

อุปกรณ์ควบคุมประสิทธิภาพของตู้เย็นประตูเดียว
THE SINGLE DOOR REFRIGERATOR FOR EFFICEINCY CONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรการปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SINGLE DOOR REFRIGERATOR FOR EFFICEINCY CONTROLLER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

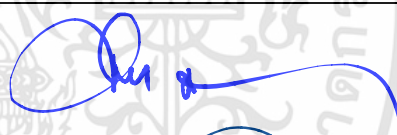
หัวข้อปริญญาานิพนธ์ อุปกรณ์ควบคุมประสิทธิภาพของตู้เย็นประตูเดียว
THE SINGLE DOOR REFRIGERATOR FOR EFFICEINCY CONTROLLER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชาคริต พงศ์วิทยาเลิศ รหัสนักศึกษา 61010233
 นายภาณุพงศ์ ชนะยุท รหัสนักศึกษา 61010810

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2564

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อุปกรณ์ควบคุมประสิทธิภาพของตู้เย็นประตูเดียว	
	THE SINGLE DOOR REFRIGERATOR FOR EFFICEINCY CONTROLLER	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชาคริต พงศ์วิทยาเลิศ	รหัสนักศึกษา 61010233
	นายภาณุพงศ์ ชนะยุทธ	รหัสนักศึกษา 61010810
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล	
ปีการศึกษา	2564	

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์สำหรับควบคุมการทำงานของตู้เย็นแบบประตูเดียว โดยใช้อุปกรณ์ควบคุม Microcontroller ให้สามารถตัดการทำงานของตู้เย็นเองโดยอัตโนมัติเมื่อไม่มีการใช้งานจากผู้ใช้งาน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็งหนาจนเกินไป จนส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง และเกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในตู้เย็นร่วมกับพลังงานที่ใช้ เพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

Thesis Title	THE SINGLE DOOR REFRIGERATOR FOR EFFICEINCY CONTROLLER
Authors	Mr. Chakrit Phongwithayaalert Mr. Phanupong Chanayut
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana Asst. Prof. Sutham Satthamsakul
Year	2021

ABSTRACT

This project involves the creation of a control device for controlling the functioning of a single door refrigerator. Microcontroller It can turn off the refrigerator while the user is not using it to avoid ice from collecting too thickly in the freezer. As a result, cooling efficiency and electrical energy consumption are reduced. It uses data from a temperature analysis within the refrigerator, as well as the amount of energy used, to ensure that the device operates at optimal efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่าย บุคคลที่เป็นส่วนสำคัญในการผลักดันให้เกิดโครงการนี้และทำให้สำเร็จลุล่วงได้ก็คือ อาจารย์วิศรุต ศรีรัตนะ และ อาจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำและช่วยเหลือเสมอมา ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นก็คือบิดามารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกพระคุณอันสูงสุดและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญาบัตรฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ตู้เย็น.....	3
2.1.1 การทำงานภาครวมของระบบ.....	3
2.1.2 วงจรในตู้เย็นประตูเดียว.....	4
2.1.3 หลักการทำงานของคอมเพรสเซอร์.....	5
2.2 Arduino.....	6
2.3 DHT22.....	6
2.4 pzem-004t v3.0+CT senser.....	7
2.5 งานวิจัยที่ค้นพบ.....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	11
3.1 การศึกษาเบื้องต้น.....	11
3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	11
3.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินการ	11
3.1.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินการ	12
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	17
3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	17
3.2.2 เชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์	18
3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัด	20
3.2.4 การศึกษาและพิสูจน์สมมุติฐาน	21
3.2.4.1 ศึกษาพฤติกรรมของอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของตู้เย็น.....	21
3.2.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการทำความเย็นจากโหลด	22
3.2.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นโดยการควบคุมอัตโนมัติ.....	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	24
4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัด.....	24
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็น	24
4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นจากอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าตู้เย็น.....	24
4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นจากอุณหภูมิของโหลดที่เปลี่ยนแปลง....	32
4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผล.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	38
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	39
บรรณานุกรม.....	40
ภาคผนวก	42



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์ pzem-004t v3.0 กับ Digital multimeter.....	24
4.2 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย และต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 15-25 มีนาคม 2565	26
4.3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย และต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 3 - 13 เมษายน 2565	30
4.4 อุณหภูมิของน้ำ 1 ลิตรที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 4 ชั่วโมงในแต่ละวัน.....	33



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานของผู้แช่.....	4
รูปที่ 2.2 วงจรการทำงานของผู้เย็น	5
รูปที่ 2.3 Arduino RS232 ต้นแบบของArduino	6
รูปที่ 2.4 DHT22	7
รูปที่ 2.5 PZEM-004T-10A	8
รูปที่ 3.1 โปรแกรม Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.19.....	12
รูปที่ 3.2 หน้าต่างโปรแกรม Arduino 1.8.19	12
รูปที่ 3.3 ไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลนาฬิกา และโมดูล SD Card.....	13
รูปที่ 3.4 แสดงการเขียนโปรแกรมตั้งเวลาใน Arduino IDE.....	13
รูปที่ 3.5 แสดงการอัปโหลดตัวอย่าง Library	14
รูปที่ 3.6 คำสั่งเรียกใช้ไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลเซนเซอร์.....	14
รูปที่ 3.7 เว็บไซต์โหลดไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ DHT22.....	15
รูปที่ 3.8 เว็บไซต์โหลดไลบรารีสำหรับเซนเซอร์ pzem 004T V3.0.....	15
รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังการทำงาน	16
รูปที่ 3.10 เขียนโปรแกรมเพื่ออัปโหลดเข้า Microcontroller Arduino Uno.....	17
รูปที่ 3.11 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22.....	18
รูปที่ 3.12 การติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ pzem-004t v3.0	18
รูปที่ 3.13 เชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจรู้เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	19
รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงบล็อกไดอะแกรมของการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์	19
รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์	20
รูปที่ 3.16 การวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Digital multimeter.....	20
รูปที่ 3.17 แสดงวิธีการวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Digital multimeter.....	21
รูปที่ 3.18 นำเข้าค่าที่บันทึกได้ในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกซ์เซล.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19	การวัดอุณหภูมิขดน้ำ.....	22
รูปที่ 3.20	ขั้นตอนการวัดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็น	22
รูปที่ 4.1	แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 15 มี.ค. 2565 น.-25 มี.ค. 2565.....	25
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวัน..... ตั้งแต่วันที่ 15 มี.ค. - 25 มี.ค. 2565	27
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละวัน..... ตั้งแต่วันที่ 15 มี.ค. - 25 มี.ค. 2565	28
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 3 เม.ย. - 13 เม.ย. 2565.....	29
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวัน..... ตั้งแต่วันที่ 3 เม.ย. - 13 เม.ย. 2565	31
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ใช้ตั้งแต่วันที่ 3 เม.ย.-13 เม.ย. 2565 ...	32
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 4 ชั่วโมงในแต่ละวัน	33
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าของตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์	34
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 1 พ.ค. – 11 พ.ค. 2565.....	35
รูปที่ 4.12	แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ตู้เย็นใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1 พ.ค. – 11 พ.ค. 2565	36
รูปที่ 4.13	แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ตู้เย็นที่ถูกควบคุมโดยรีเลย์และตู้เย็นที่ทำงานแบบปกติ	36
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ใช้ตั้งแต่วันที่ 1 พ.ค.-11 พ.ค 2565 ...	37
รูปที่ 4.15	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตู้เย็นปกติและตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์.....	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานที่แทบทุกบ้านมีไว้ใช้งาน โดยเฉพาะตู้เย็นแบบประตูเดียวนั้นมีจำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดเนื่องจากมีราคาย่อมเยา และความจุเพียงพอต่อการใช้งานในบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป ซึ่งหลักการทำงานของตู้เย็นในลักษณะแบบนี้จะอาศัยการแผ่ความเย็นจากช่องทำความเย็นที่อยู่ด้านบน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ความชื้นในอากาศเวลาที่มีการเปิดตู้เย็น จะเข้าไปภายในตู้เย็นและทำให้ช่องทำความเย็น เริ่มมีน้ำแข็งเกาะ และผู้ใช้งานส่วนใหญ่ไม่ค่อยยกคูปุ่มละลายน้ำแข็งเมื่อน้ำแข็งเริ่มเกาะมากขึ้น แต่จะรอให้น้ำแข็งเกาะจนหนามากจึงจะทำการละลายน้ำแข็ง จากปัญหาดังกล่าวนั้นมีความเป็นไปได้ว่าการปล่อยให้ น้ำแข็งเกาะช่องแช่แข็งจนหนามาก น่าจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นภายในตู้เย็นลดลง ในขณะที่เดียวกันก็น่าจะกินพลังงานมากขึ้นด้วย เพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าว จึงเป็นที่มาของโครงการที่ต้องการ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตู้เย็นแบบประตูเดียว และสร้างอุปกรณ์เพื่อควบคุมการทำงานของ ตู้เย็นเพื่อให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรม Arduino IDE และ ภาษา C++
2. ศึกษาการทำงานของตู้เย็นประตูเดียว การทำความเย็น
3. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องมือวัด และเซนเซอร์
4. ศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.3 ขอบเขตการทำงาน

ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็น เพื่อเป็นการต่อยอดในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องมือหรือเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม การซ่อมบำรุงรักษาเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือเครื่องจักรต่าง ๆ รู้จักเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ขั้นตอนและวิธีการวัดที่ถูกต้องรวมถึงการวัดระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วย เพื่อให้ได้ผลการวัดที่จะนำมาวิเคราะห์ หามาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมต่อไป และวิธีการเขียนรายงาน การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานให้ถูกต้องตามกฎกระทรวง และการแก้ปัญหาตู้เย็นประตูเดียวเมื่อเกิดน้ำแข็งส่วนเกิน โดยการควบคุมการทำงานของตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาการทำงานของตู้เย็นประตูเดียว
2. ศึกษาทฤษฎีการเกิดน้ำแข็งเกาะในช่องแช่แข็ง
3. ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์โมดูลเซนเซอร์
4. ศึกษาวิธีและขั้นตอนการตรวจวัด
5. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่าง ๆ จากโมดูลเซนเซอร์ และบันทึกค่าข้อมูลที่วัดได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ
6. ศึกษาการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า
7. ทดลองและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของตู้เย็นประตูเดียว
8. สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ฝึกการแก้ปัญหา และอุปสรรคต่าง ๆ
2. ฝึกความสามารถในการทำงานเป็นกลุ่ม
3. รู้หลักการการทำงานของเซนเซอร์ การใช้งานอุปกรณ์ และการวิเคราะห์ผลจากการทดลอง
4. รู้หลักการหาประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้า และการแก้ปัญหาที่ตรงจุด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมตู้แช่ด้วย Arduino จะต้องมีองค์ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของตู้แช่โดยรวมและเชิงลึก การเลือกใช้อุปกรณ์และการทำงานของอุปกรณ์ Arduino การทำงานของโมดูลเซ็นเซอร์ และการประยุกต์ใช้งาน รวมถึงศึกษาจากผลงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการตีพิมพ์ออกมาก่อน หน้า สำหรับใช้ในการพัฒนาตัวอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิด้วย Arduino ดังนี้

2.1 ตู้เย็น

ตู้เย็น เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำความเย็นโดยประกอบด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนฉนวนป้องกันความร้อน (ป้องกันไม่ให้ความร้อนไหลเข้ามา) และ ส่วนทำความเย็น (ปั๊มที่นำความร้อนออกไปสู่ภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า) ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นิยมมากตามบ้านเรือน และใช้กันอย่างแพร่หลาย คนส่วนใหญ่ใช้ตู้เย็นเก็บอาหาร เพื่อป้องกันการเน่าเสีย เนื่องจากแบคทีเรียเติบโตช้ากว่าในอุณหภูมิต่ำ ตู้เย็นมีหลายประเภทตั้งแต่แบบที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (ช่องธรรมดา) แบบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อย (ช่องแช่แข็ง) ก่อนที่จะมีตู้เย็นประเภทในเขตหนาวใช้กล่องน้ำแข็ง (icebox) ในการรักษาอาหาร [1]

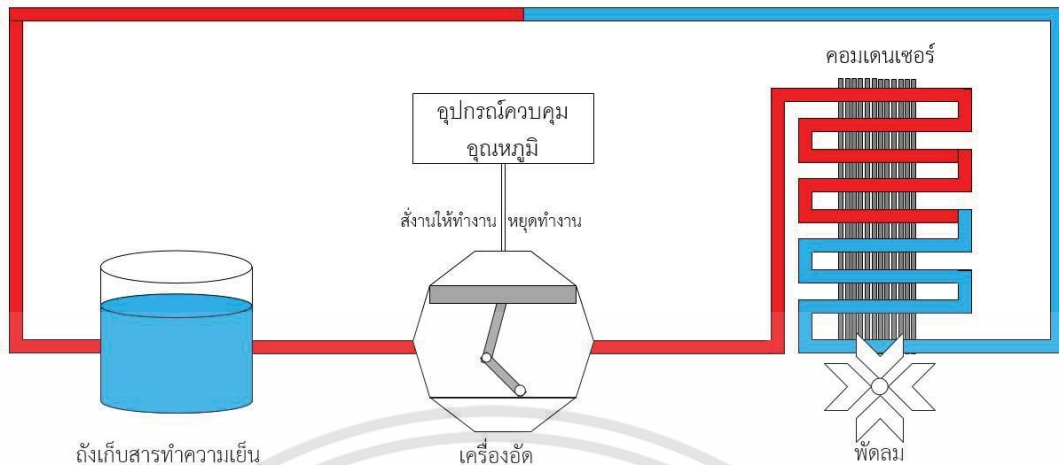
ช่องแช่แข็งของตู้เย็นที่ขายอยู่ทั่วไปมีอุณหภูมิประมาณ $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับตู้เย็นที่ใช้ในบ้านมักมีช่องธรรมดาและช่องแช่แข็งรวมกัน และมักใช้เครื่องทำความเย็นร่วมกัน (บางครั้งก็แยกกัน) ตู้เย็นรุ่นใหม่ ๆ มักมีเครื่องทำน้ำแข็งติดตั้งมาพร้อมกัน

ตู้เย็นขนาดใหญ่รวมทั้งเครื่องทำน้ำแข็งขนาดใหญ่ในโรงงานมักใช้แก๊สแอมโมเนียซึ่งเป็นอันตรายในการทำการทำความเย็น ทำให้ไม่ปลอดภัยในการใช้ในบ้านเรือน

2.1.1 การทำงานภาครวมของระบบ

จากรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยอุปกรณ์คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) สารทำความเย็น (Refrigerant) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ และ ท่อทองแดงในการนำน้ำยา โดยการทำงานของตู้แช่ในตลาดจะใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) ในการวัดอุณหภูมิในตู้แช่ซึ่งมีแท่งทองแดงอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งของตู้แช่ซึ่งเป็นจุดที่ใช้กำหนดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดจากโรงงานทำให้โลหะสองชนิดที่ต่างกันจะสัมผัสกัน เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าไหลถึงคอมเพรสเซอร์ให้ทำงานอัดน้ำยาทำความเย็นไปตามท่อทองแดงภายในตู้แช่ เพื่อนำความร้อนภายในตู้แช่ออกมา และไปลดอุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



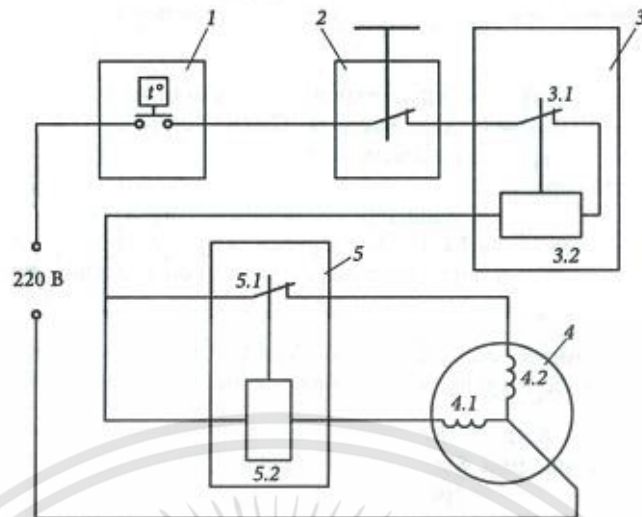
รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานของตู้แช่

กระบวนการนี้จะทำงานแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้จากโรงงานโลหะทั้งสองชนิดจะแยกออกจากกันทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่าน แต่โลหะจะมีระยะเวลาการหดตัวและคลายตัวอยู่เมื่อใช้ไปนาน ๆ โลหะจะห่างกันมากขึ้นทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง ส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิไม่ตรงที่กำหนด และสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการทำมาเย็นไปอย่างสิ้นเปลือง [3] ซึ่งจากการค้นคว้าพบบทความวิจัยการพัฒนาระบบ Arduino ควบคุมเครื่องปรับอากาศมาประยุกต์ใช้ [4]

2.1.2 วงจรในตู้เย็นประตูเดียว

จากรูปที่ 2.2 เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกนำไปใช้กับวงจรกระแสไฟฟ้าจะผ่านหน้าสัมผัสที่ปิดของเทอร์โมสแตท ปุ่มละลายน้ำแข็งบังคับ รีเลย์ป้องกันความร้อน หน้าสัมผัสรีเลย์ แผ่น bimetallic สตาร์ทรีเลย์ หน้าสัมผัสรีเลย์ ขดลวดรีเลย์ มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เนื่องจากมอเตอร์ไม่หมุนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทำงานจะสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้หลายเท่า สตาร์ทรีเลย์ถูกจัดเรียงในลักษณะที่เมื่อกระแสเกินพิกัดหน้าสัมผัสรีเลย์ จะปิดการเชื่อมต่อสตาร์ทขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้ากับวงจรซึ่งเริ่มหมุนเป็นผลให้กระแสในขดลวดทำงานลดลง หน้าสัมผัสรีเลย์ของสตาร์ทรีเลย์แต่มอเตอร์ไฟฟ้ายังคงทำงานในโหมดปกติ เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้หน้าสัมผัสจะเปิด และหยุดมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ สำหรับการปิดมอเตอร์ไฟฟ้าในกรณีที่กระแสไฟฟ้าแรงอันตรายการป้องกันความร้อนมีจุดประสงค์ ในอีกด้านหนึ่งก็ช่วยปกป้องความร้อนสูงเกินไปของมอเตอร์และแตกหัก รีเลย์ประกอบด้วยแผ่น bimetallic ซึ่งมีความร้อนและหน้าสัมผัสจะเกิดการดัดงอและเปิด จากนั้นเมื่อแผ่น bimetallic เย็นลง หน้าสัมผัสจะถูกปิดอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงจรการทำงานของผู้เย็น

- 1) เทอร์โม
- 2) ปุ่มละลายน้ำแข็งบังคับ
- 3) รีเลย์ป้องกันความร้อน
 - 3.1) หน้าสัมผัสรีเลย์
 - 3.2) แผ่น bimetallic
- 4) มอเตอร์คอมเพรสเซอร์มอเตอร์,
 - 4.1) ขดลวดทำงาน
 - 4.2) สตาร์ทขดลวด
- 5) สตาร์ทรีเลย์
 - 5.1) หน้าสัมผัสรีเลย์
 - 5.2) ขดลวดรีเลย์

2.1.3 หลักการทำงานของคอมเพรสเซอร์

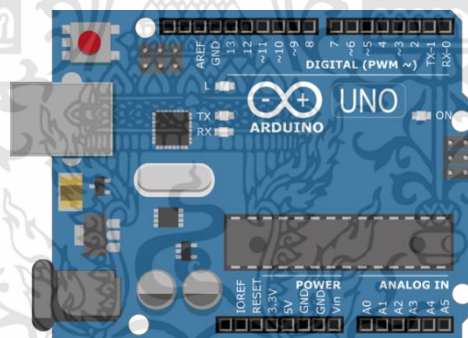
คอมเพรสเซอร์ (Compressor) หรือเครื่องอัดไอ เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญอันหนึ่งของระบบทำความเย็น ทำหน้าที่ในการดูดและอัดสารทำความเย็นในสถานะแก๊ส คอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่เป็น Superheat แก๊สความดันต่ำ และอุณหภูมิต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ผ่านเข้ามาทางท่อซักชั่น เข้ายังทางดูดของคอมเพรสเซอร์ แล้วอัดแก๊สนี้ให้มีความดันสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ส่งเข้ายังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านเข้าทางท่อดิสชาร์จเพื่อไปกลั่นตัวเป็นของเหลวใน คอนเดนเซอร์ ด้วยการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นอีกทีหนึ่ง [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันในระบบระหว่างด้านความดันสูงและความดันต่ำ สารทำความเย็นที่ถูกดูดเข้ามาในคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สที่มีความดันต่ำและสารทำความเย็นที่อัดส่งจากคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นแก๊สที่มีความดันสูง

2.2 Arduino

Arduino เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งใช้ในการเรียกโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล AVR แบบ Open Source โดยจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เริ่มต้นพัฒนาสร้างบอร์ดและวงจรมicrocontroller ต้นทุนต่ำ เพื่อพัฒนาวัตถุตอบโต้แบบพึ่งพาตนเอง (Standalone) สามารถพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบได้หลากหลายระบบปฏิบัติการได้อย่างง่ายดาย จากรูปที่ 2.3 Arduino R5232 เป็นต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2004 ถูกพัฒนาโดยนาย MassimoBanzi จากการที่นักเรียนนักศึกษาที่เรียนเกี่ยวกับวิชาอิเล็กทรอนิกส์ในเมืองไอวีเรีย (Ivrea) ประเทศอิตาลี ต้องซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์เบสิก (BASIC Stamp) ที่มีราคาสูงถึง 100 ดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งนาย Massimo Banzi เห็นว่านักเรียนต้องซื้อสินค้าราคาแพง ราคาไม่สมเหตุสมผล จึงปรึกษากับนาย Hernando Barragan ให้ช่วยออกแบบวงจรขึ้นมา และนอกจากนี้นาย David Cuartielles ได้แนะนำว่าควรให้บอร์ดนี้เป็นระบบโอเพนซอร์ซ (Open Source) เพื่อให้ทุกคนสามารถเข้าถึงได้ [6]



รูปที่ 2.3 Arduino RS232 ต้นแบบของArduino

2.3 DHT22

รูปที่ 2.4 DHT22 โมดูลเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียว มีความแม่นยำสูง มีตัวต้านทาน Pull up มาแล้วสามารถต่อขาทดลองได้เลยไม่ต้องต่อเพิ่มถ้าต้องการความถูกต้องแม่นยำในการวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 High Accuracy Digital Temperature and Humidity Sensor DHT22 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น ออกแบบมาให้วัดได้แม่นยำกว่ารุ่น DHT11 ใช้ง่ายสามารถนำ DHT22 ไปเปลี่ยนแทน DHT11 ได้



รูปที่ 2.4 DHT22

โดยคุณลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบไปด้วย

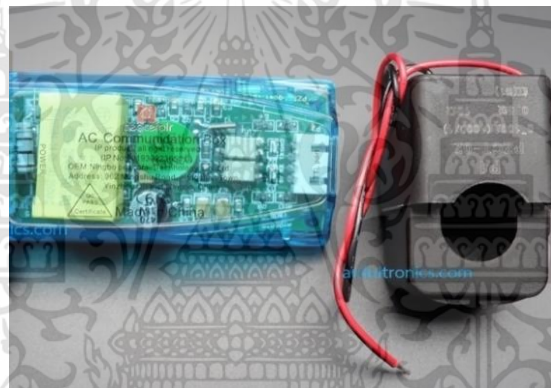
- แหล่งจ่ายไฟ 3.3-6V และกระแสไฟเลี้ยง 1-1.5mA
- ย่านการวัดอุณหภูมิ -40~80 °C และย่านการวัดความชื้น 0-100%RH
- ความแม่นยำของความชื้น $\pm 2\%RH$ (Max $\pm 5\%RH$) ความแม่นยำของอุณหภูมิ ± 0.2 °C
- ความละเอียดหรือความไวความชื้น $\pm 0.1\%RH$ ความละเอียดหรืออุณหภูมิ ± 0.1 °C
- ความสามารถในการทวนซ้ำของความชื้น $\pm 1\%RH$ และของอุณหภูมิ ± 0.2 °C
- ฮิสเทอรีซิส (hysteresis) และของความชื้น $\pm 0.3\%RH$
- การศึกษาความคงสภาพระยะยาว $\pm 0.5\%RH/year$
- ระยะเวลาเฉลี่ยในการตรวจจับ 2s
- ความสามารถในการทดแทนกันได้ : ใช้แทนกันได้อย่างเต็มที่

2.4 pzem-004t v3.0+CT senser

สำหรับการวัดค่าเพื่อบันทึกการใช้งานไฟฟ้า เพื่อการตรวจสอบวัดค่าการใช้พลังงาน ควบคุมค่าไฟฟ้าแล้ว อุปกรณ์วัดจำเป็นต้องให้ข้อมูลหลาย ๆ ค่า ได้แก่ แรงดัน (VAC) กระแส (IAC) กำลังไฟฟ้าจริง (Active power) ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) เพื่อมาใช้ในการคำนวณ หรือควบคุมต่อ ถ้าเป็นสมัยก่อนที่ยังไม่มีโมดูล PZEM ออกมา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5 การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับดังกล่าว อาจจะต้องใช้ Sensor เพื่อวัดกระแส และแรงดัน จากนั้นก็นำค่ามาคำนวณต่อกันเอง แต่ในปัจจุบันโมดูล PZEM รับหน้าที่การคำนวณค่าต่าง ๆ ไปเรียบร้อยแล้ว และส่งผลการคำนวณต่าง ๆ ออกมาจากโมดูลผ่านการสื่อสารแบบ serial (TX, RX) ซึ่งสามารถใช้เพื่อควบคุมสั่งการต่อยับบอร์ด Arduino หรือส่งค่าต่อไปที่คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์เป็นการต่อวงจรกับระบบไฟฟ้า 220V ซึ่งมีความอันตรายหากไม่มีความเชี่ยวชาญ จึงต้องทำงานด้วยความระมัดระวัง โดยคุณลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดัน อ่านค่าได้ตั้งแต่ 80 - 260 Vrms (ความละเอียด 0.1V ความผิดพลาดไม่เกิน 0.5%)
- กระแส ใช้งานได้ตั้งแต่ 0 - 10 A (สำหรับรุ่น PZEM-004T-10A) และ 0 - 100 A (สำหรับรุ่น PZEM-004T-100A) ความละเอียดในการวัด 0.001 A และ ความผิดพลาดไม่เกิน 0.5%
- กำลังไฟฟ้าจริง อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0 - 2.3 กิโลวัตต์ (สำหรับรุ่น PZEM-004T-10A) และ 23 กิโลวัตต์ (สำหรับรุ่น PZEM-004T-100A) ความละเอียดในการวัด 0.1 วัตต์
- ค่าตัวประกอบกำลัง วัดค่าได้ตั้งแต่ 0 - 1 ความละเอียด 0.01 ความแม่นยำ 1%
- ความถี่ วัดค่าได้ตั้งแต่ 45 ถึง 65 Hz
- วัดพลังงานได้ตั้งแต่ 0 ถึง 9,999.99 kWh ความละเอียด 0.1 Wh
- เชื่อมต่อข้อมูลแบบ RS485



รูปที่ 2.5 PZEM-004T-10A

2.5 งานวิจัยที่ค้นพบ

พลังงานไฟฟ้าคือพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการแยกตัวออกมาหรือเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือโปรตอนหรืออนุภาคอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน และไหลผ่านวงจรต่าง ๆ ทำให้ผลของกระแสไฟฟ้าเกิดผลต่าง อาทิ อากาศสนามแม่เหล็ก แสงสว่าง ความร้อน เป็นต้น [3] การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอยู่ 2 ปัจจัยอันได้แก่ ปัจจัยเชิงโครงสร้าง ลักษณะทางกายภาพ และสถานภาพของอาคาร และที่อยู่อาศัย เป็นตัวแปรสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้า ปัจจัยเชิงพฤติกรรม ลักษณะการดำรงชีวิตของแต่ละบุคคล เจตคติ ความรู้ และการตอบสนองต่อการใช้งาน [7] ซึ่งการพัฒนาไม่ได้สนใจสิ่งแวดล้อมภายนอกของตู้แช่ แต่สนใจสิ่งแวดล้อมภายในของตู้แช่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ใช้หลักการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศมาประยุกต์ใช้ [4] Arduino เรียกข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในห้องมาประมวลผลอุณหภูมิเพื่อสั่งให้รีเลย์ทำงานโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องปรับอากาศทำงาน ผลจากการทดลองสามารถรักษาอุณหภูมิได้ดีกว่าระบบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเดิม และประหยัดพลังงานไฟฟ้าเล็กน้อย แต่ไม่มีการนำ Arduino มาควบคุมตู้แช่เชิงพาณิชย์ เนื่องจากตู้แช่เชิงพาณิชย์มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Digital Temperature Controller) การออกแบบโดยใช้หลักการของ PLC (Programmable Logic Controller) มีข้อดีคือสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำเหมือน FTC และมีข้อเสียอยู่ 2 ประการหลักคือ 1.ราคาจำหน่ายในประเทศไทยมีราคาแพง จากการสำรวจตลาดในประเทศไทยเดือนตุลาคม 2559 พบว่าราคาเริ่มต้นของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัลนั้นอยู่ที่ 1,500 บาทขึ้นไป เมื่อเปรียบกับอุปกรณ์ FTC ตัวต้นแบบแล้ว มีค่าใช้จ่ายอุปกรณ์โดยที่คุณสมบัติเท่ากันอยู่ที่ 1,000 บาท และ 2. อุปกรณ์เสียหายจะต้องซื้อตัวใหม่มาเปลี่ยนใหม่ทั้งชุดเพราะวงจรได้ถูกเชื่อมต่อกับโรงงานผลิตโดยตรง แต่ FTC ที่จะสามารถเปลี่ยนเฉพาะจุดที่เสียหายได้ด้วยตัวเองเพราะอุปกรณ์เชื่อมต่อกันแบบน็อตขันเท่านั้น

J. Cai และ J. Stoustrup ได้นำเสนอบทความเรื่อง การลดความเสื่อมสภาพของอาหารที่เป็นผลมาจากการละลายน้ำแข็งว่า [8] น้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยเป็นปรากฏการณ์ที่รู้จักกันดี และน้ำแข็งจะลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน การทำละลายน้ำแข็งจะต้องมีการทำอย่างสม่ำเสมอ ในปัจจุบันโดยทั่วไปรูปแบบการควบคุมการละลายน้ำแข็งมีสองรูปแบบคือการละลายน้ำแข็งตามความต้องการ และการละลายน้ำแข็งตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากจุดบกพร่องของระบบละลายน้ำแข็งตามความต้องการที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเซ็นเซอร์ชนิดพิเศษ ระบบการละลายน้ำแข็งตามที่กำหนดไว้ยังคงเป็นระบบละลายน้ำแข็งที่ใช้กันมากที่สุดตามโครงการในซูเปอร์มาร์เก็ตต่าง ๆ ระบบทำความเย็นเชิงพาณิชย์ ระหว่างรอบการทำงานตามปกติอุณหภูมิอากาศภายในตู้ที่แสดงเป็นปกติการควบคุมภายในข้อกำหนดอุณหภูมิสูงและต่ำตามตัวควบคุม ซึ่งเพียงพอที่จะรักษาอุณหภูมิสินค้าอยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อละลายน้ำแข็ง อุณหภูมิอากาศภายในตู้จะเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิอาหารเพิ่มสูงขึ้นด้วย บางครั้งอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นนี้ยังละเมิดกฎระเบียบจากหน่วยงานด้านอาหาร อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการจับเก็บปกติจะทำให้เกิดการการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ปัจจุบันนี้ สำหรับระบบทำความเย็นเชิงพาณิชย์ยังไม่มีมาตรการที่ชัดเจน และเชื่อถือได้ที่สามารถป้องกันการก่อตัวของน้ำแข็ง การละลายน้ำแข็งต้องมีการทำอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการควบคุมแบบดั้งเดิม ผลข้างเคียงของการละลายน้ำแข็งจะมีผลต่อคุณภาพของการจัดเก็บอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ มีเพียงวิธีการลดผลข้างเคียงนี้โดยรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพเพียงบางส่วน Nasrollah Azam Baleghy, Seyed Kamal-e-ddin Mousavi Mashhadi กล่าวถึงระบบควบคุมของตู้เย็นโนฟรอสต์ว่า การเจริญเติบโตและการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของระบบทำความเย็นโดยเฉพาะอย่างยิ่งตู้เย็น และตู้แช่แข็งภายในประเทศมีการปรับปรุงการควบคุม ปัจจุบันตู้เย็นโนฟรอสต์ทางเลือกที่เหมาะสมกว่าตู้เย็นที่ละลายน้ำแข็งด้วยมือ พิจารณาจากประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และประสิทธิภาพการทำงาน การออกแบบระบบการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับตู้เย็นดังกล่าวเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษา ปัจจุบันได้มีตัวควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบใหม่เป็นสององค์ประกอบที่สำคัญในการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระบบการควบคุมประกอบด้วยสองส่วนแยกออกจากกันคือ การควบคุมอุณหภูมิและการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอินพุตของตัวควบคุมและความถี่ของคอมเพรสเซอร์ และแรงดันไฟฟ้าของพัดลมระเหยเป็นเอาต์พุต ในแง่ของปัญหาในทางปฏิบัติสำหรับการทำงานของตัวควบคุมพีดีซีไบนีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ไม่เป็นเชิงเส้นหลายตัวแปร การถดถอยถูกนำมาใช้ รูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นแบบไดนามิกของตู้เย็น และรูปแบบที่ไม่รู้จักเป็นสองสาเหตุในการออกแบบตัวควบคุมพีดีซีโลจิก

Dingyuan Wang and Tangfei Tao [9] ได้นำเสนอบทความเรื่อง การวัดความหนาของน้ำแข็งแบบไม่สัมผัสด้วยกล้องขนาดเล็ก และเทคโนโลยีการประมวลผลรูปว่า ความหนาของน้ำแข็งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อระบบเครื่องทำความเย็น แต่ไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะวัดความหนาของน้ำแข็งด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม สำหรับน้ำแข็งสามารถทำละลายได้โดยง่ายจากความร้อน หรือความดัน จุดมุ่งหมายของการวัดความหนาของน้ำแข็ง ที่วิธีการวัดอยู่บนพื้นฐานของระบบรูปจากกล้องจุลทรรศน์ และเทคโนโลยีการประมวลผลรูป ที่มีการเสนอและอธิบายแนวคิดความหนาของน้ำแข็ง

ผลการทดลองกับความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มหนาขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมทั้งสองข้างเห็นได้อย่างชัดเจนจากการสังเกต และบันทึกขั้นตอนการเกิดขึ้นของผลึกน้ำแข็ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายในช่วงกระบวนการเกิดน้ำแข็ง และมันอาจจะสังเกตกระบวนการเกิดน้ำแข็งได้อย่างง่ายดายเช่นเดียวกับการวัดความหนาของน้ำแข็งที่มีความแม่นยำสูง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และสามารถนำมาใช้ในการวัดการก่อตัวของผลึกน้ำค้างแข็งและความหนาของชั้นน้ำค้างแข็งบนพื้นผิวที่เย็น เช่น แผ่นอลูมิเนียม และครีบบของเครื่องระเหย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาเบื้องต้น

สร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น โดยทำการเก็บข้อมูลของปริมาณกระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็น ขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการทั้งส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ลงมือเขียนโปรแกรม จากนั้นประกอบฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ทดสอบโปรแกรมก่อนนำไปใช้จริง

3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการสร้างอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น โดยจะเริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นโดยบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิ จากอุปกรณ์ตรวจวัด เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจากอินเทอร์เน็ต การศึกษาฮาร์ดแวร์จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์และการนำไปต่อใช้งาน ส่วนการศึกษาซอฟต์แวร์เพื่อให้สามารถทำการโปรแกรมฮาร์ดแวร์ให้ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ได้

3.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินการ

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินงานประกอบด้วย ส่วนประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนวัดค่าซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ส่วนบันทึกข้อมูล และส่วนรับส่งข้อมูล โดยประกอบด้วย

1. ตู้เย็นแบบประตูเดียว Toshiba GR-D149-SH
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO
3. โมดูลเซนเซอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า pzem-004t v3.0+CT sensor
4. โมดูลเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22
5. โมดูลบันทึกข้อมูล SD Card Data Logger Shield
6. Digital multi meter
7. Clamp meter UT202A
8. Fluke 51-2
9. SONGLE รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินการ

- 1) ดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่ออัปโหลดโปรแกรมลง Arduino UNO จาก <https://www.arduino.cc/en/software> (สืบค้นเมื่อมิถุนายน 2565) และทำการติดตั้งโปรแกรม ซึ่งสามารถเลือกเวอร์ชันที่จะติดตั้งได้แสดงดังรูปที่ 3.1

Downloads



รูปที่ 3.1 โปรแกรม Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.19

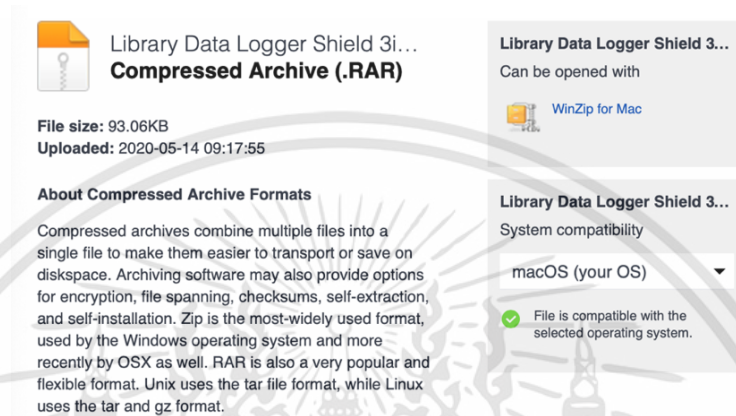
เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะได้โปรแกรม Arduino IDE เวอร์ชัน 1.8.19 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หน้าต่างโปรแกรม Arduino 1.8.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ติดตั้งไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลนาฬิกา และโมดูล SD Card
- ติดตั้งไลบรารีสำหรับ Datalogger Shield เพื่อตั้งเวลา และบันทึกข้อมูลลง SD Card ที่เว็บไซต์ https://www.mediafire.com/file/Library_Data_Logger_Shield_3in1.rar/file (สืบค้นเมื่อมิถุนายน 2565) ซึ่งหน้าดาวน์โหลดจะแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลนาฬิกา และโมดูล SD Card

- อัปเดตโปรแกรมตั้งเวลาลงบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งโปรแกรมจะ Set เวลาให้ตรงกับคอมพิวเตอร์

```

Settime | Arduino 1.8.13

#include <DS1307RTC.h>
#include <TimeLib.h>
#include <Wire.h>

const char *monthName[12] = {
  "Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
  "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"
};

tmElements_t tm;

void setup() {
  bool parse=false;
  bool config=false;

  // get the date and time the compiler was run
  if (getDate(__DATE__) && getTime(__TIME__)) {
    parse = true;
    // and configure the RTC with this info
    if (RTC.write(tm)) {
      config = true;
    }
  }

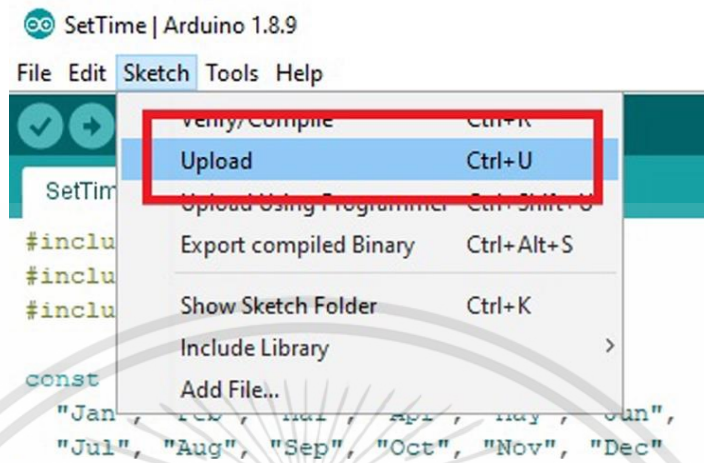
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial); // wait for Arduino Serial Monitor
  delay(200);
  if (parse && config) {
    Serial.print("DS1307 configured Time=");
    Serial.print(__TIME__);
    Serial.print(", Date=");
    Serial.println(__DATE__);
  } else if (parse) {

```

รูปที่ 3.4 แสดงการเขียนโปรแกรมตั้งเวลาใน Arduino IDE

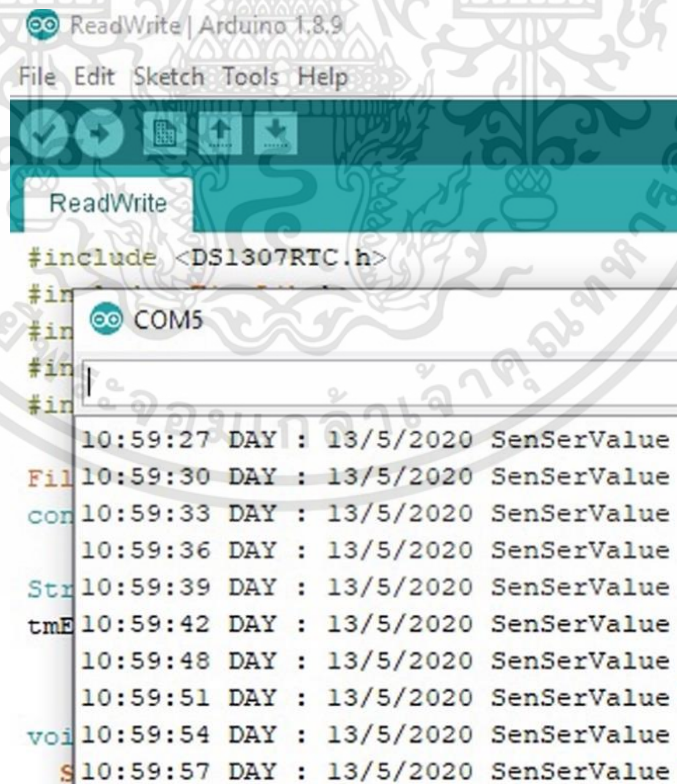
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากรูปที่ 3.5 แสดงการอัปโหลดตัวอย่าง Library ดังกล่าว



รูปที่ 3.5 แสดงการอัปโหลดตัวอย่าง Library

- จากนั้นนำ SD Card ที่มีไฟล์ Test.text อยู่ภายในแล้วเชื่อมต่อกับบอร์ด และทำการอัปโหลดโค้ดลงบอร์ด Arduino โปรแกรมจะนำเวลาที่อ่านได้ บันทึกลง SD Card จากนั้นเปิด Serial Monitor เพื่อทดสอบการทำงานดังรูปที่ 3.6

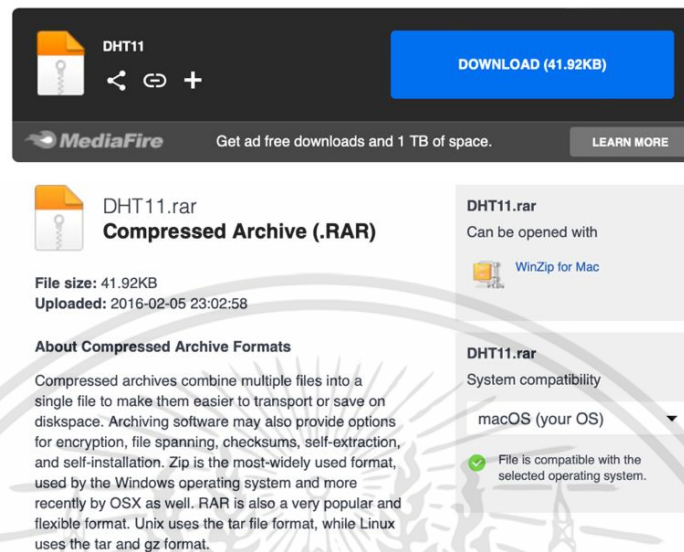


รูปที่ 3.6 คำสั่งเรียกใช้ไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ติดตั้งไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลเซนเซอร์

- ดาวน์โหลดและติดตั้งไลบรารีสำหรับเซนเซอร์ DHT22 ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เว็บไซต์ดาวน์โหลดไลบรารีสำหรับรับรองการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ DHT22

- ดาวน์โหลดและติดตั้งไลบรารีสำหรับเซนเซอร์ pzem 004T V3.0 ผ่านเว็บไซต์ <https://www.mediafire.com/file/vr17jw6dg4oyyua/PZEM004T.rar/file> (สืบค้นเมื่อมิถุนายน 2565) ดังรูปที่ 3.8

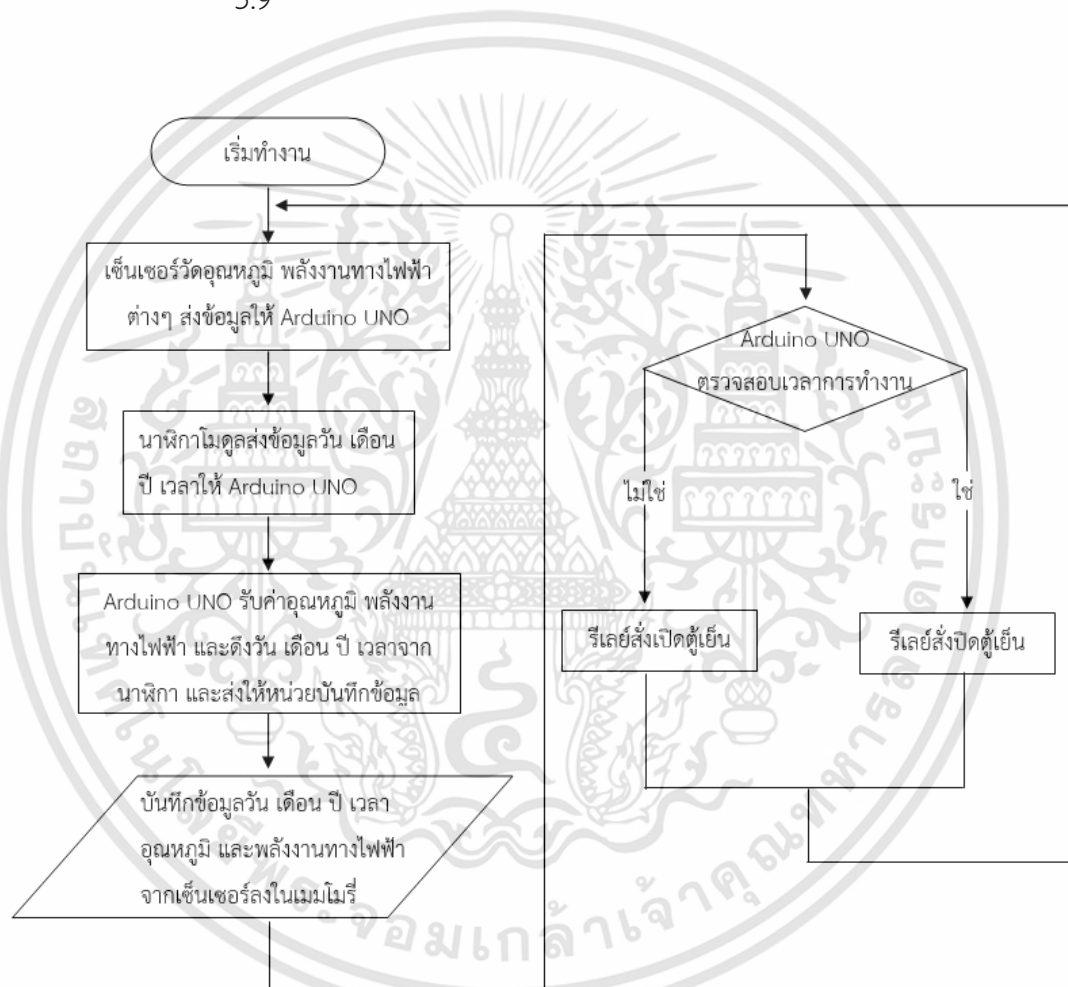


รูปที่ 3.8 เว็บไซต์ดาวน์โหลดไลบรารีสำหรับเซนเซอร์ pzem 004T V3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เขียนแผนผังการทำงาน

เขียนโปรแกรมผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE แสดงดังรูปที่ 3.10 โดยโปรแกรมจะแบ่ง เป็นส่วนหลัก ๆ สองส่วนคือส่วนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22 จะวัดอุณหภูมิภายในตู้เย็น และเซนเซอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า pzem-004t v3.0+CT sensor จะวัดค่ากระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และสั่งให้รีเลย์ เปิด-ปิด การทำงาน โดยบันทึกค่าโดย Datalogger ลง SD card ทุก ๆ 1 นาที แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังการทำงาน

pzem_dataloger | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)

File Edit Sketch Tools Help

```

pzem_dataloger
#include <DS1307RTC.h>
#include <TimeLib.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "DHT.h"
#include <PZEM004Tv30.h>

File myFile;
const int chipSelect = 10;
String time ;
tmElements_t tm;

//-----
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
PZEM004Tv30 pzem(8, 9);

float t[2] ;

```

รูปที่ 3.10 เขียนโปรแกรมเพื่ออัปโหลดเข้า Microcontroller Arduino Uno (ภาคผนวก ก)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นโดยจะมีส่วนวัดหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นจะทำการวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้เย็น และจะส่งค่าไปยังภายนอกเครื่องทำความเย็น ซึ่งภายนอกเครื่องทำความเย็นโดยจะตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า และค่าแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องทำความเย็นใช้ และทำการบันทึกค่าต่าง ๆ เหล่านี้นำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น เพื่อตัดกระแสไฟของเครื่องทำความเย็นที่ประสิทธิภาพไม่เหมาะสมหรือกำลังสร้างน้ำแข็งหนา

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการสร้างอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น โดยจะเริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นโดยบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิ จากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจากอินเทอร์เน็ต [10] การศึกษาฮาร์ดแวร์จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์และการนำไปต่อใช้งาน ส่วนการศึกษาซอฟต์แวร์เพื่อให้สามารถทำการโปรแกรมฮาร์ดแวร์ให้ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

ภายในเครื่องทำความเย็นจะเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นโดยใช้ DHT 22 ดังรูปที่ 3.11 เพื่อส่งต่ออุณหภูมิไปยังภายนอกช่องแช่แข็ง และติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ pzem-004t v3.0 ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า pzem-004t v3.0 เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และรับค่าอุณหภูมิที่ส่งมาจากภายในตู้เย็น และบันทึกค่าต่าง ๆ ด้วย Data logger shield ดังรูปที่ 3.13 และนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตู้เย็น แสดงแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.14 และแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.15

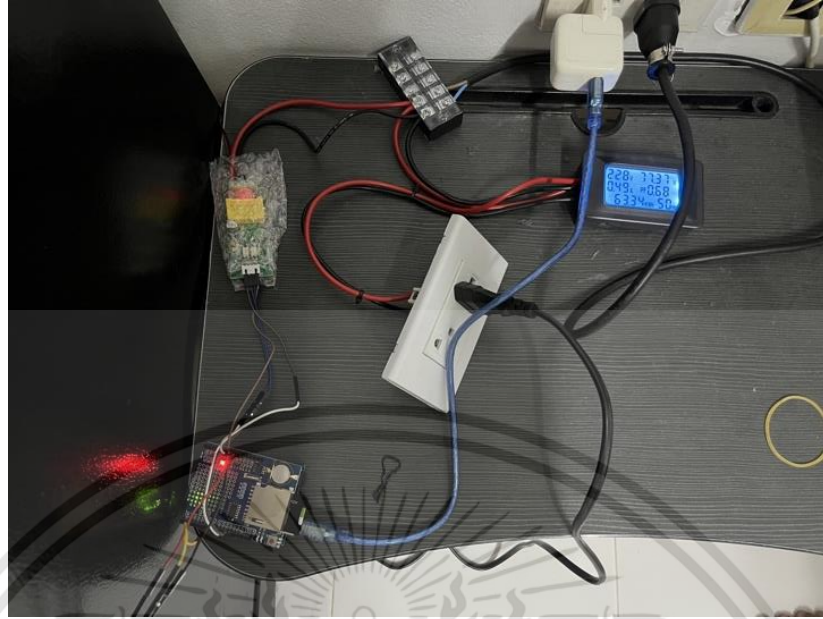


รูปที่ 3.11 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22

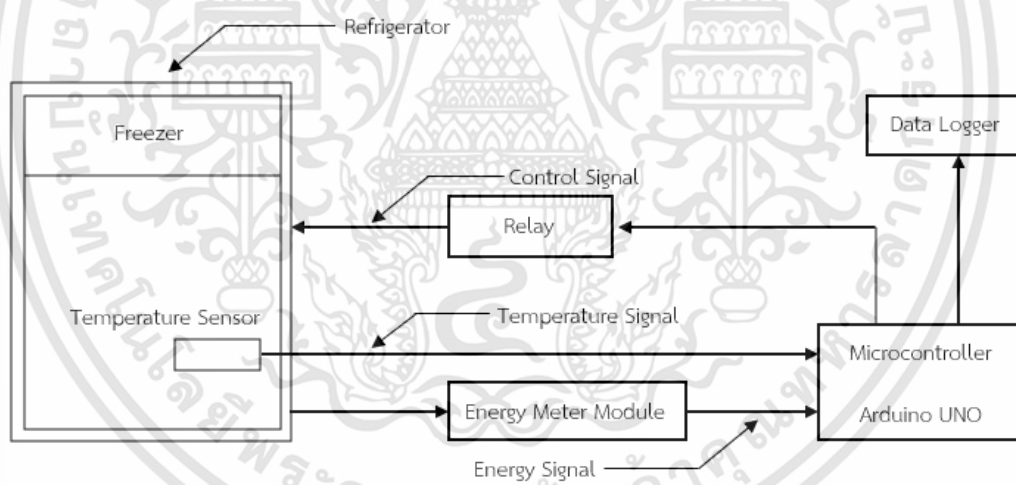


รูปที่ 3.12 การติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ pzem-004t v3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

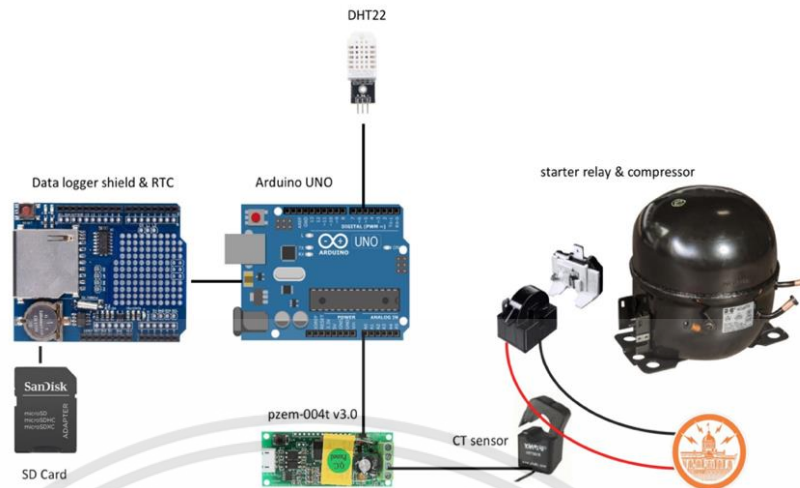


รูปที่ 3.13 เชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจรู้เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงบล็อกไดอะแกรมของการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์

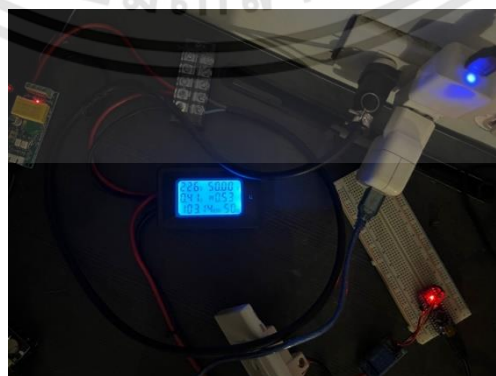
3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัด

การศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดเช่นโมดูลเซนเซอร์ต่าง ๆ ว่ามีความเที่ยงตรง แม่นยำ และค่าความไม่แน่นอนมากน้อยเพียงใด เป็นค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์ pzem-004t v3.0+CT sensor กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Digital multimeter ดังรูปที่ 3.16 และแสดงวิธีการวัดกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.17 จากนั้นมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าความผิดพลาดของโมดูลเซนเซอร์เฉลี่ยสิบครั้งจากนั้นนำมาหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์จากสมการค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ $= |X_t - X_m|$ และนำมาหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์จากสมการ 3.1

$$\text{ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์} = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ X_t คือ ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

X_m คือ ค่าที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์



รูปที่ 3.16 การวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Digital multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงวิธีการวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Digital multimeter

3.2.4 การศึกษาและพิสูจน์สมมติฐาน

การศึกษาสมมติฐานจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการก่อตัวของน้ำแข็งในช่องแช่แข็ง ที่ว่าการก่อตัวของน้ำแข็งในช่องแช่แข็งส่งผลให้อุณหภูมิในช่องแช่แข็งสูงขึ้น เนื่องจากน้ำแข็งเป็นฉนวนความเย็น และส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นลดต่ำลง

3.2.4.1 ศึกษาพฤติกรรมของอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของตู้เย็น

ศึกษาพฤติกรรมของอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของตู้เย็นที่สัมพันธ์กับระยะเวลาที่น้ำแข็งเริ่มก่อตัวทำการวัดอุณหภูมิภายในตู้เย็นโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการนำข้อมูลใน SD card ที่บันทึกได้ มานำเข้าในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกซ์เซล แสดงดังรูปที่ 3.18 และนำมาวิเคราะห์ผลค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของตู้เย็น โดยคิดพลังงานไฟฟ้า (kWh) [11] ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันได้จากสมการที่ 3.1 และหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อกำลังงานที่ใช้และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละวันแสดงดังสมการที่ 3.2 [12]

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (kWh)} = \text{กำลังไฟฟ้า (kW)} \times \text{เวลา (Hr)} \quad (3.2)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อกำลังงาน} = \frac{25 - T(t)}{P(t)} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ $T(t)$ คือ อุณหภูมิที่วัดได้ภายในตู้เย็นที่เวลา t ($^{\circ}\text{C}$)

$P(t)$ คือ กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่เวลา t (Watt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	14:46:11	DAY	4/4/22	Temp:	8.4 °C	current:	0.43 A	power:	52.6 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
2	14:46:46	DAY	4/4/22	Temp:	8.4 °C	current:	0.43 A	power:	52.6 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
3	14:48:55	DAY	4/4/22	Temp:	8.1 °C	current:	0.43 A	power:	52.4 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
4	14:49:13	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	52.6 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
5	14:49:17	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	52.9 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
6	14:51:18	DAY	4/4/22	Temp:	8.2 °C	current:	0.43 A	power:	52.8 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
7	14:53:18	DAY	4/4/22	Temp:	8.2 °C	current:	0.43 A	power:	53 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.55					
8	14:55:18	DAY	4/4/22	Temp:	8.2 °C	current:	0.43 A	power:	53.1 W	energy:	5.22 kWh	PF:	0.54					
9	14:57:19	DAY	4/4/22	Temp:	8.1 °C	current:	0.43 A	power:	53 W	energy:	5.23 kWh	PF:	0.54					
10	14:59:19	DAY	4/4/22	Temp:	8.1 °C	current:	0.43 A	power:	53.1 W	energy:	5.23 kWh	PF:	0.54					
11	15:01:19	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	53.1 W	energy:	5.23 kWh	PF:	0.54					
12	15:03:19	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	53 W	energy:	5.23 kWh	PF:	0.54					
13	15:05:20	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	53 W	energy:	5.23 kWh	PF:	0.54					
14	15:07:20	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	53.2 W	energy:	5.24 kWh	PF:	0.54					
15	15:09:20	DAY	4/4/22	Temp:	8 °C	current:	0.43 A	power:	53.2 W	energy:	5.24 kWh	PF:	0.54					

รูปที่ 3.18 นำเข้าค่าที่บันทึกได้ในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกซ์เซล

3.2.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการทำความเย็นจากโหลด

ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้ Fluke แสดงดังรูปที่ 3.19 ของตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร ทุก ๆ 4 ชั่วโมง ในแต่ละวันเริ่มตั้งแต่ 12.00 น. 16.00 น. 20.00 น. 24.00 น. และ 04.00 น. แสดงดังรูปที่ 3.20 จากนั้นทำการเปลี่ยนตัวอย่างน้ำใหม่ใน 12.00 น. ของวันถัดไปเรื่อย ๆ เป็นเวลา 11 วันโดยกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นเป็นอุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง $28.7 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แสดงดังรูปที่ 3.20 และตั้งขวดน้ำในตู้เย็นในตำแหน่งเดียวกันทุก และไม่มีโหลดอื่นอยู่ในตู้เย็น



รูปที่ 3.19 การวัดอุณหภูมิขวดน้ำ

น้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตร



$28.7 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$

เปลี่ยนตัวอย่างทุกๆ 24 ชั่วโมง

นำออกมาวัดทุก 4 ชั่วโมง

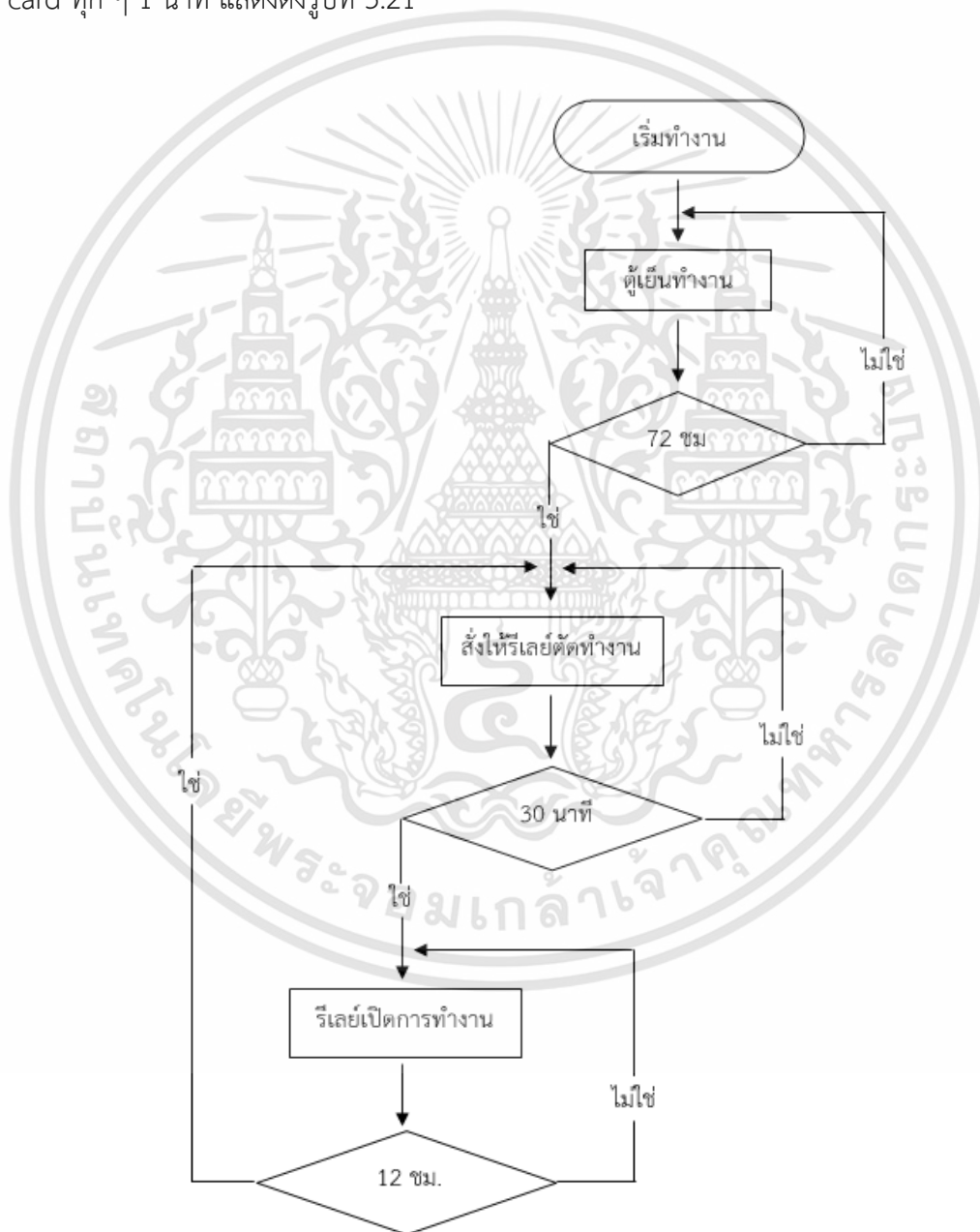
ตู้เย็น

รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการวัดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นโดยควบคุมการเปิด-ปิดอัตโนมัติ

ใช้รีเลย์ในการควบคุมการทำงานของตู้เย็นโดยจะเริ่มปิดการทำงานของตู้เย็น [14] หลังจากตู้เย็นทำงานไปแล้ว 3 วัน เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจะปิดการทำงานของตู้เย็นทุก ๆ 12 ชั่วโมงเป็นเวลา 30 นาทีไปเรื่อย ๆ จำลองจากการทำงานของตู้เย็นละลายน้ำแข็งแบบอัตโนมัติ โดยจะวัดอุณหภูมิภายในตู้เย็น และเซนเซอร์วัดปริมาณทางไฟฟ้า pzem-004t v3.0+CT sensor จะวัดค่ากระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และสั่งให้รีเลย์ เปิด-ปิด การทำงาน จากนั้นบันทึกค่าโดย Datalogger ลง SD card ทุก ๆ 1 นาที แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงแผนผังการทำงานของตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัด

การศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดเช่นโมดูลเซนเซอร์ต่าง ๆ ว่ามีความเที่ยงตรง แม่นยำ และค่าความไม่แน่นอนมากน้อยเพียงใด เป็นค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าความผิดพลาดของโมดูลเซนเซอร์ ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดมาตรฐานโดยใช้ Digital multimeter และทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากโมดูลเซนเซอร์ pzem-004t v3.0 CT sensor และเฉลี่ยสิบครั้งจากนั้น และนำมาหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์จากสมการที่ 3.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณทางไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้จาก PZEM-04T V3.0 กับ Digital multimeter มีค่าที่ใกล้เคียงกันและสามารถยอมรับได้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์ pzem-004t v3.0 กับ Digital multimeter

ปริมาณทางไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ PZEM-04T V3.0 Sensor	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก Digital multimeter	ค่าเฉลี่ย ความผิดพลาด	ร้อยละของ ความผิดพลาด
ศักย์ไฟฟ้า(โวลต์)	229	229	0	0
กระแสไฟฟ้า(แอมป์แปร์)	0.44	0.45	0.01	2.22
กำลังไฟฟ้า(วัตต์)	64.21	64.93	0.72	1.11
ตัวประกอบกำลัง	0.6	0.61	0.01	1.64

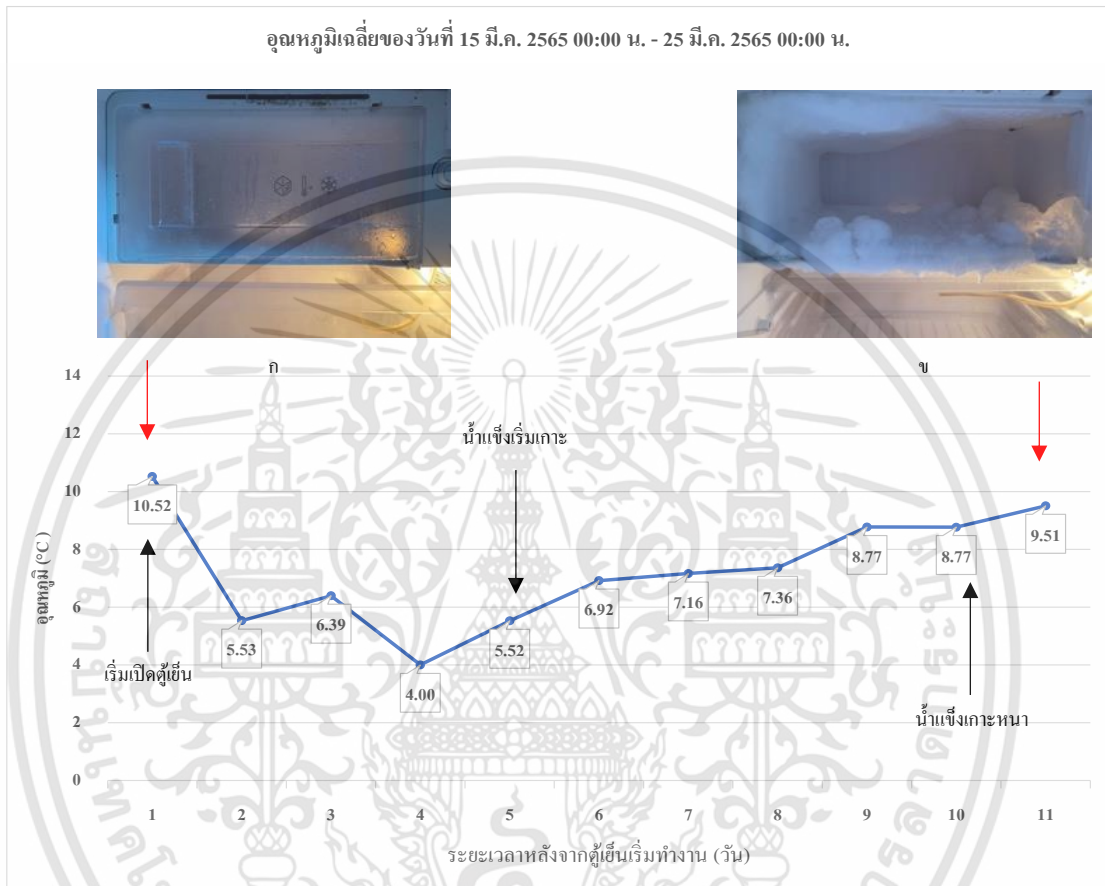
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็น

4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นจากอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าตู้เย็น

ทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในตู้เย็นและและบันทึกค่าทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 วัน ตั้งแต่เริ่มทำงานจนมีน้ำแข็งเกาะหนา และหาอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน และค่าอุณหภูมิต่ำสุดสูงสุดในแต่ละวัน รวมถึงวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน และนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

1) การทดลองครั้งที่ 1

กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันของตู้เย็นในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 15 มีนาคม เวลา 00.00 น. – 25 มีนาคม เวลา 00.00 น. พร้อมแสดงปริมาณน้ำแข็งในช่องแช่แข็งตั้งแต่เริ่มทำการทดลอง จนถึงสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 15 มี.ค. 2565 00:00 น.-25 มี.ค. 2565 00:00 น.

- (ก) ช่องแช่แข็งขณะเริ่มเปิดตู้เย็น (วันที่ 0)
 (ข) ช่องแช่แข็งขณะเปิดไปแล้ว 10 วัน (วันที่ 10)

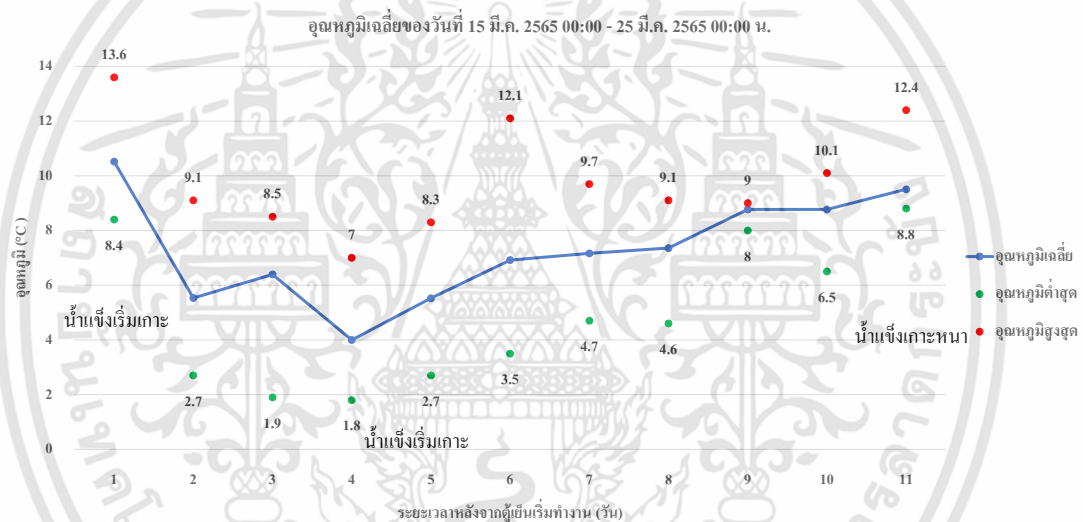
จากรูปที่ 4.1 วันที่ 15 มีนาคม 00.00 น ได้ทำการเริ่มเสียบปลั๊กตู้เย็น โดยที่ไม่มีน้ำแข็งภายในช่องแช่แข็ง (ก) และมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 13.6 °C

- 1) วันที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดคือวันที่ 3 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงานโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 4.00 °C
- 2) เริ่มมีน้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็งวันที่ 4 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน
- 3) วันที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือวันที่ 10 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 9.5 °C และมีน้ำแข็งเกาะหนา (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย และต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 15-25 มีนาคม 2565

วันที่เริ่มวัด	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
1	8.4	13.6	10.52	เริ่มเสียบปลั๊กตู้เย็น
2	2.7	9.1	5.53	
3	1.9	8.5	6.39	
4	1.8	7	4.00	
5	2.7	8.3	5.52	
6	3.5	12.1	6.92	เริ่มมีน้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็ง
7	4.7	9.7	7.16	
8	4.6	9.1	7.36	
9	8	9	8.77	
10	6.5	10.1	8.77	
11	8.8	12.4	9.51	น้ำแข็งเกาะหนา



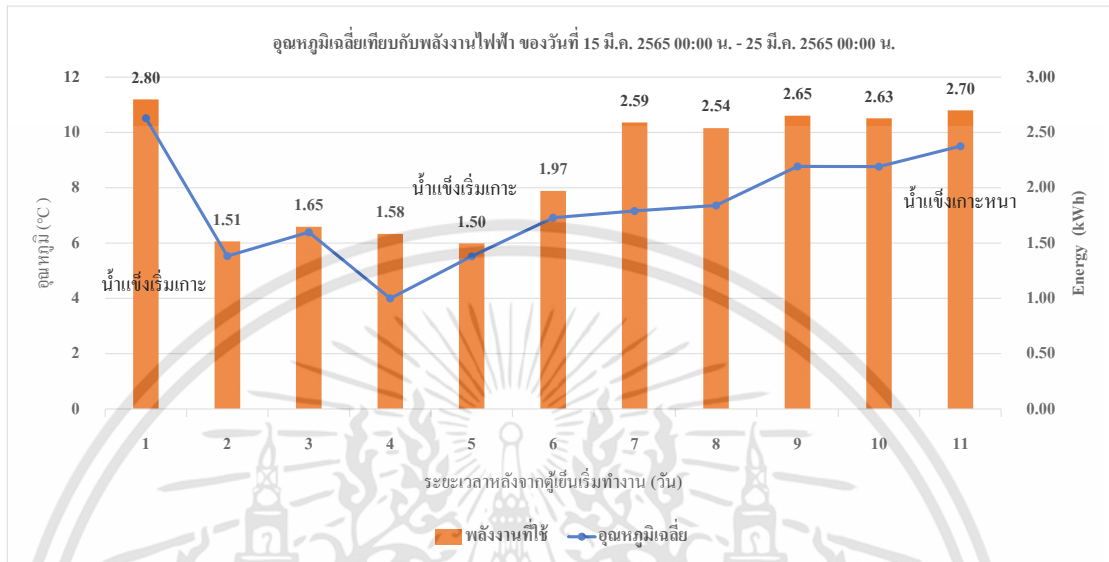
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 15-25 มี.ค. 2565

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็น 10 วันพบว่า

- 1) อุณหภูมิต่ำสุดของตู้เย็นที่วัดได้คือ 1.8 °C ในวันที่ 3 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน
- 2) อุณหภูมิสูงสุดของตู้เย็นที่วัดได้คือ 12.4 °C ในวันที่ 10 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงานและมีน้ำแข็งเกาะหนาที่ช่องแช่แข็ง
- 3) อุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุดที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ใน 4 วันแรก หลังจากเปิดตู้เย็น ก่อนที่จะมีแนวโน้มสูงขึ้นหลังจากวันที่ 5 ซึ่งเริ่มมีน้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 15-25 มีนาคม 2565 โดยคิดพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันได้จากสมการที่ 3.1



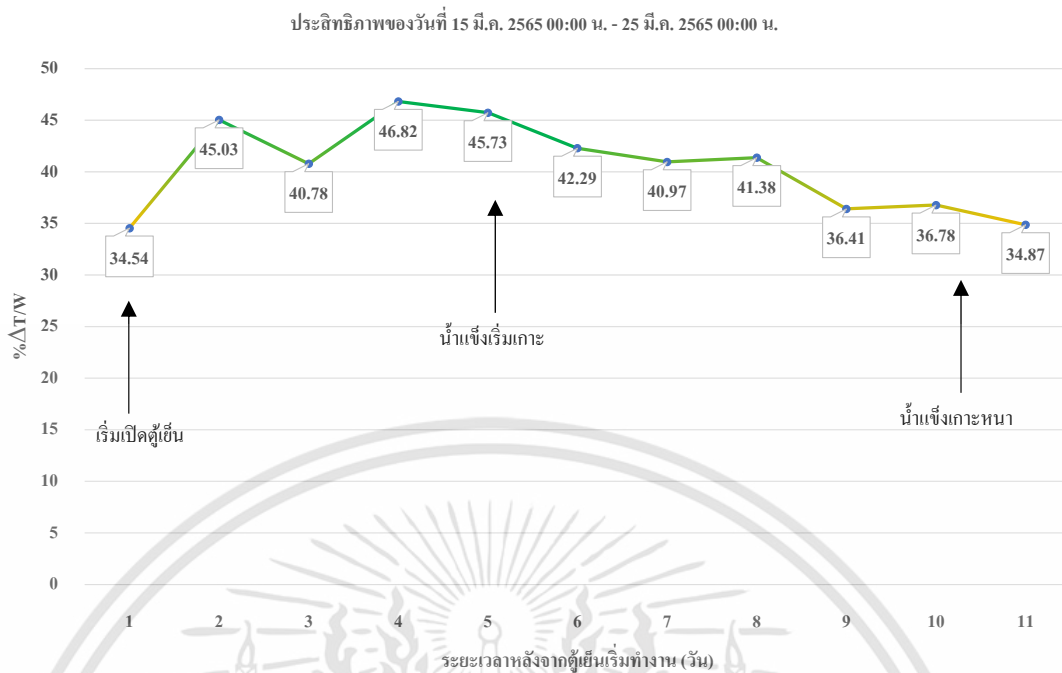
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 15-25 มี.ค. 2565

จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันจำนวน 11 วัน พบว่า

- 1) คอมเพรสเซอร์ตู้เย็นใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดที่ 2.8 kWh ในวันแรกที่ตู้เย็นเริ่มทำงาน
- 2) คอมเพรสเซอร์ตู้เย็นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดที่ 1.5 kWh ในวันที่ 4 หลังจากเปิดตู้เย็น
- 3) คอมเพรสเซอร์ตู้เย็นมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเรื่อย ๆ ในวันที่ 5 และมากที่สุดวันที่ 10 สูงถึง 2.7 kWh ในวันที่น้ำแข็งเกาะหนา

กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อกำลังงานที่ใช้ ($\Delta T/kW$) เฉลี่ยแต่ละวันภายในตู้เย็น โดยคิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน จากอุณหภูมิอ้างอิงที่ 25 °C หรืออุณหภูมิภายนอก เทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละวัน จากนั้นนำมาคิดค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยจากสมการที่ (3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละวันตั้งแต่ วันที่ 15-25 มี.ค 2565

จากรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพของตู้เย็นเพิ่มมากขึ้นใน 3 วันแรกหลังจากตู้เย็นเริ่มทำงานซึ่งวันที่ 3 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน ตู้เย็นมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงที่สุด และหลังจากวันที่ 3 (วันที่ 4 – วันที่ 10 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน) ซึ่งมีน้ำแข็งเริ่มเกาะ ประสิทธิภาพการทำความเย็นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนวันที่ 10 หลังตู้เย็นเริ่มทำงานจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่อกำลังไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นวันที่มีน้ำแข็งเกาะหนา

2) การทดลองครั้งที่ 2

กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันของตู้เย็นในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 3 มีนาคม เวลา 00.00 น – 13 มีนาคม เวลา 00.00 น พร้อมแสดงปริมาณน้ำแข็งในช่องแช่แข็งตั้งแต่เริ่มทำการทดลอง จนสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 3 เมษายน - 13 เมษายน 2565

(ก) ช่องแช่แข็งขณะเริ่มเปิดตู้เย็น (วันที่ 0)

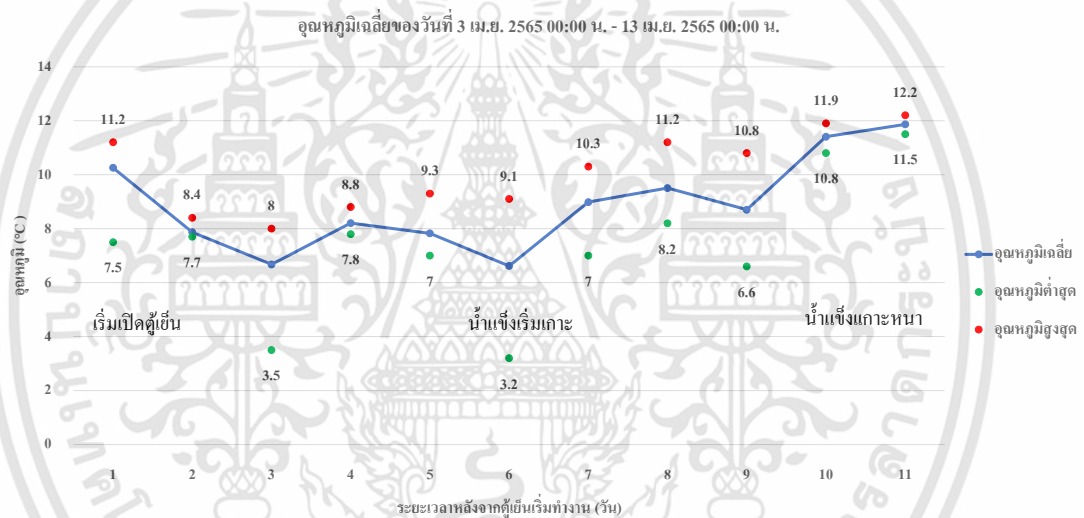
(ข) ช่องแช่แข็งขณะเปิดไปแล้ว 10 วัน (วันที่ 10)

จากรูปที่ 4.5 วันที่ 3 เมษายน 00.00 น ได้ทำการเริ่มเสียบปลั๊กตู้เย็น โดยที่ไม่มีน้ำแข็งภายในช่องแช่แข็ง (ก) และมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 11.2 °C

- 1) วันที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดคือวันที่ 2 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงานโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 6.62 °C
- 2) เริ่มมีน้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็งวันที่ 5 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน
- 3) วันที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือวันที่ 10 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 11.86 °C และมีน้ำแข็งเกาะหนา (ข)

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย และต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 3 - 13 เมษายน 2565

วันที่เริ่มวัด	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	หมายเหตุ
1	7.5	11.2	10.25	เริ่มเสียบปลั๊กตู้เย็น
2	7.7	8.4	7.87	
3	3.5	8	6.67	
4	7.8	8.8	8.21	
5	7	9.3	7.82	
6	3.2	9.1	6.62	เริ่มมีน้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็ง
7	7	10.3	8.98	
8	8.2	11.2	9.50	
9	6.6	10.8	8.70	
10	10.8	11.9	11.41	
11	11.5	12.2	11.86	น้ำแข็งเกาะหนา



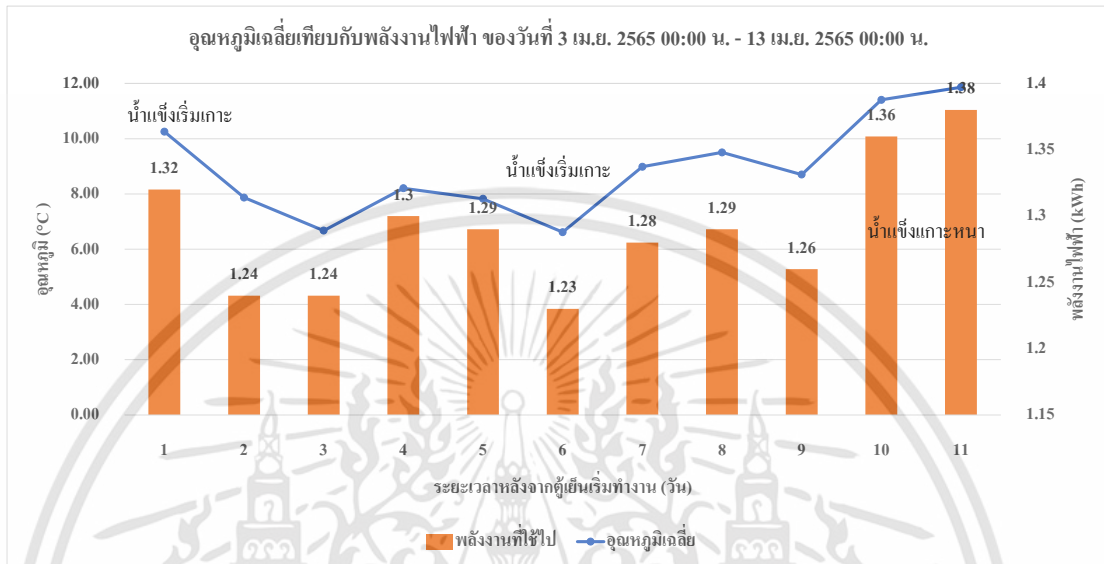
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 3 - 13 เมษายน 2565

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและต่ำสุด-สูงสุดของตู้เย็น 10 วันพบว่า

- 1) อุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุดที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ใน 2 วันแรกหลังจากเปิดตู้เย็น
- 2) อุณหภูมิจะมีแนวโน้มสูงขึ้นระยะเวลา 1 วัน เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกที่สูงขึ้น และหลังจากวันที่ 5 อุณหภูมิจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมีน้ำแข็งเกาะที่ช่องแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 3-13 เมษายน 2565 โดยคิดพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันได้จากสมการที่ 3.1



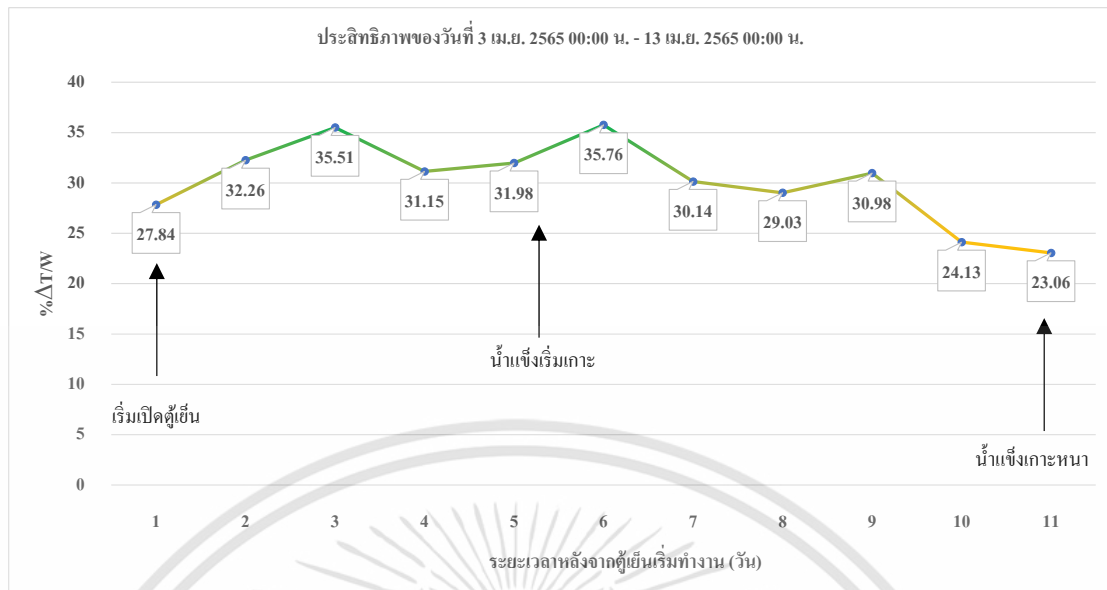
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 3-13 เมษายน 2565

จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวัน 11 วันพบว่า

- 1) คอมเพรสเซอร์ตู้เย็นใช้พลังงานไฟฟ้ามากถึง 1.32 kWh ในครั้งแรกที่ตู้เย็นเริ่มทำงาน
- 2) คอมเพรสเซอร์ตู้เย็นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดที่ 1.23 kWh ในวันที่ 5 หลังจากเปิดตู้เย็น
- 3) คอมเพรสเซอร์ตู้เย็นมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 3 และมากที่สุดในวันที่ 10 สูงถึง 1.38 kWh ในวันที่น้ำแข็งเกาะหนา

กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยต่อกำลังงานที่ใช้ ($\Delta T/kW$) แต่ละวันภายในตู้เย็น โดยคิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน จากอุณหภูมิอ้างอิงที่ 25 °C หรืออุณหภูมิภายนอก เทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละวัน จากนั้นนำมาคิดค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยจากสมการที่ (3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ใช้ตั้งแต่วันที่ 3-13 เม.ย 2565

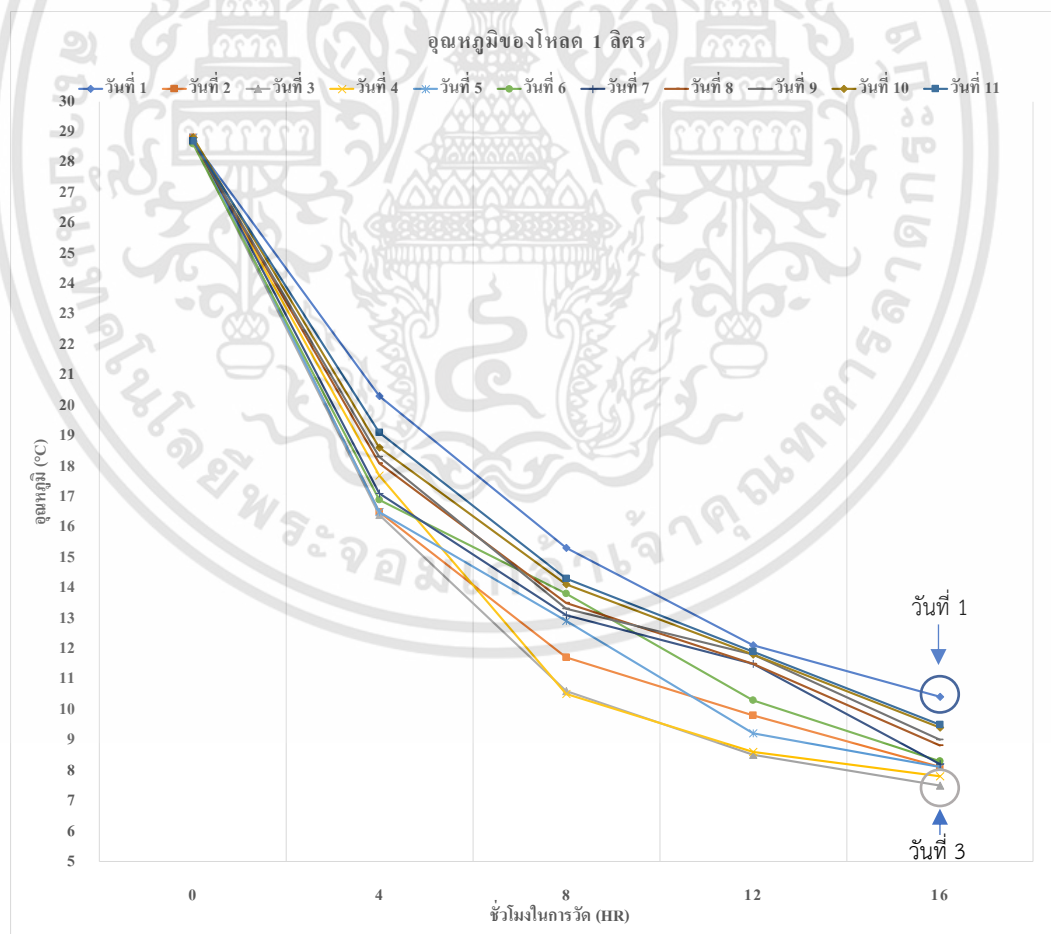
จากรูปที่ 4.8 พบว่าประสิทธิภาพของตู้เย็นเพิ่มมากขึ้นใน 3 วันแรก หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน จากนั้นเริ่มลดลงในวันที่ 2 ถึงวันที่ 3 เนื่องจากอุณหภูมิภายนอก (ภาคผนวก ข) ซึ่งอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีความผันผวนของอุณหภูมิสูงและ ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นจนถึงวันที่ 5 หลังจากวันที่ 5 ซึ่งมีน้ำแข็งเริ่มเกาะหนาประสิทธิภาพการทำความเย็นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นจากอุณหภูมิของไหลที่เปลี่ยนแปลงไป

ทำการวัดอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำ 1 ลิตรทุก ๆ 4 ชั่วโมงในแต่ละวันเริ่มตั้งแต่ 12.00 น. 16.00 น. 20.00 น. 24.00 น. และ 04.00 น. จากนั้นทำการเปลี่ยนตัวอย่างน้ำใหม่ใน 12.00 น. วันถัดไปเรื่อย ๆ เป็นเวลา 11 หลังจากเริ่มเปิดตู้เย็นและตั้งขวดน้ำในตู้เย็นในตำแหน่งเดียวกันทุก และไม่มีไหลอื่นอยู่ในตู้เย็นแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำ 1 ลิตรที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 4 ชั่วโมงในแต่ละวัน

วันที่เริ่มทดลอง	อุณหภูมิของน้ำ 1 ลิตร (°C) ชั่วโมงที่				
	0	4	8	12	16
1	28.7	20.3	15.3	12.1	10.4
2	28.8	16.5	11.7	9.8	8.1
3	28.7	16.4	10.6	8.5	7.5
4	28.7	17.7	10.5	8.6	7.8
5	28.8	16.5	12.9	9.2	8.1
6	28.6	16.9	13.8	10.3	8.3
7	28.8	17.1	13.1	11.5	8.2
8	28.7	18.1	13.5	11.5	8.8
9	28.7	18.3	13.3	11.8	9
10	28.8	18.6	14.1	11.8	9.4
11	28.7	19.1	14.3	11.9	9.5



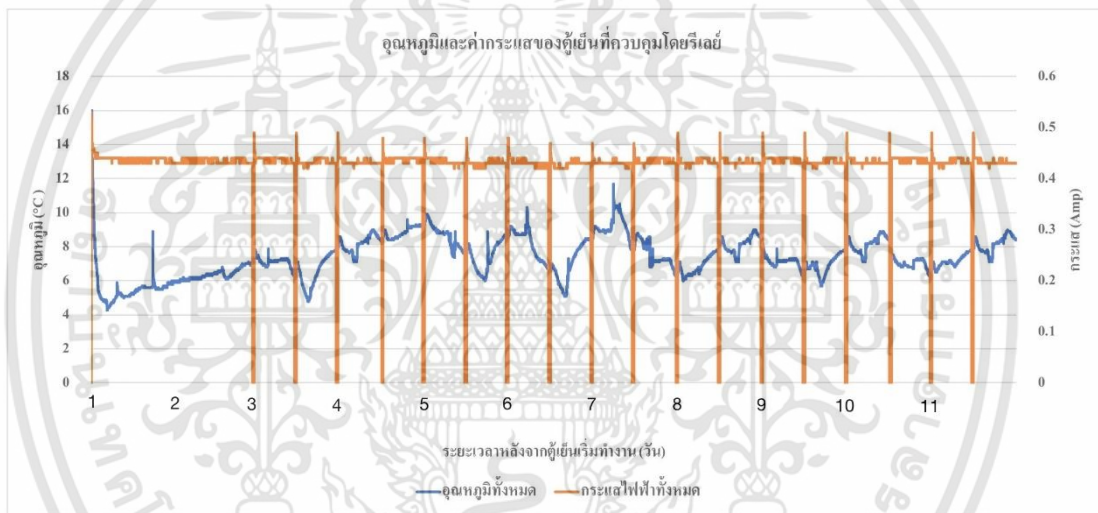
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 4 ชั่วโมงในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิของน้ำ 1 ลิตร ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยควบคุมอุณหภูมิ เริ่มต้นที่ $28.7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าการทำความเย็นในวันที่ 3 จะมีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด และอุณหภูมิของน้ำ หลังแช่ในตู้เย็นเป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากวันที่ตู้เย็นเริ่มทำงานโดยการวัดอุณหภูมิ ของโหลดตัวอย่าง

4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดอัตโนมัติ

ใช้รีเลย์ในการควบคุมการทำงานของตู้เย็นโดยจะเริ่มปิดการทำงานของตู้เย็น หลังจากตู้เย็นทำงานไปแล้ว 3 วัน เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจะปิดการทำงานของตู้เย็นทุก ๆ 12 ชั่วโมงเป็นเวลา 30 นาทีไปเรื่อย ๆ จากรูปแสดงการตัดกระแสไฟฟ้าของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 00.00 น. – 11 พฤษภาคม 00.00 น. 2565



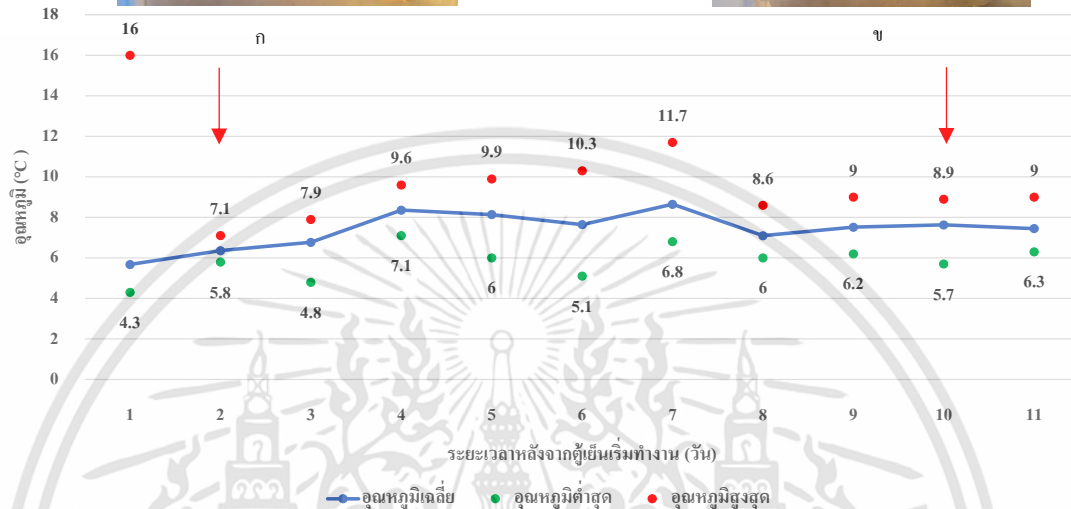
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้ของตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์ ของวันที่ 1 พฤษภาคม – 11 พฤษภาคม 2565

- 1) จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้จะลดลงเป็น 0 อุณหภูมิจะสูงขึ้นเนื่องจาก ตู้เย็นไม่มีการทำงาน
- 2) เมื่อตู้เย็นเริ่มทำงานใหม่กระแสไฟฟ้จะเพิ่มสูงขึ้นและสูงที่สุดถึง 0.49 Amp ก่อนที่จะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงช่วง 0.42 Amp แสดงว่าคอมเพรสเซอร์จะใช้ กระแสไฟฟ้มากในตอนเริ่มทำงาน

รูปที่ 4.11 แสดงกราฟอุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด ที่วัดได้ในแต่ละวัน พร้อมแสดงปริมาณน้ำแข็งในช่องแช่แข็งตั้งแต่เริ่มทำการทดลอง จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเฉลี่ยและสูงสุด-ต่ำสุด ของวันที่ 1 พ.ค. 2565 00:00 น. - 11 พ.ค. 2565 00:00 น.



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของตู้เย็นตั้งแต่วันที่ 1-11 พ.ค 2565

(ก) ช่องแช่แข็งขณะเริ่มเปิดตู้เย็น (วันที่ 0)

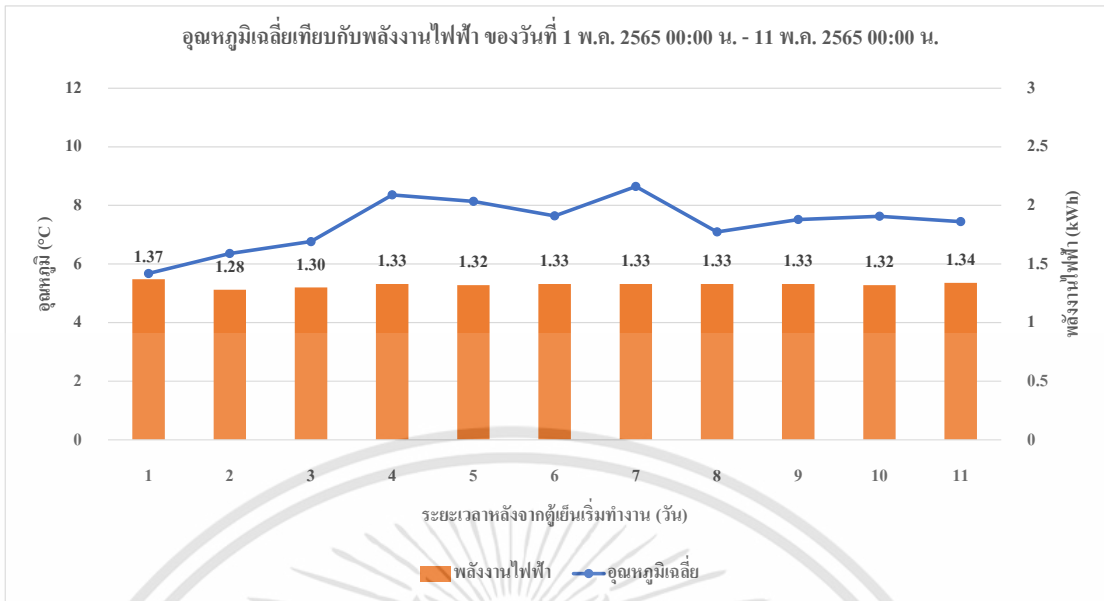
(ข) ช่องแช่แข็งขณะเปิดไปแล้ว 10 วัน (วันที่ 10)

จากรูปที่ 4.11 วันที่ 1 พ.ค 00.00 น. ได้ทำการเริ่มเสียบปลั๊กตู้เย็น โดยที่ไม่มีน้ำแข็งภายในช่องแช่แข็ง (ก) และมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 16 °C

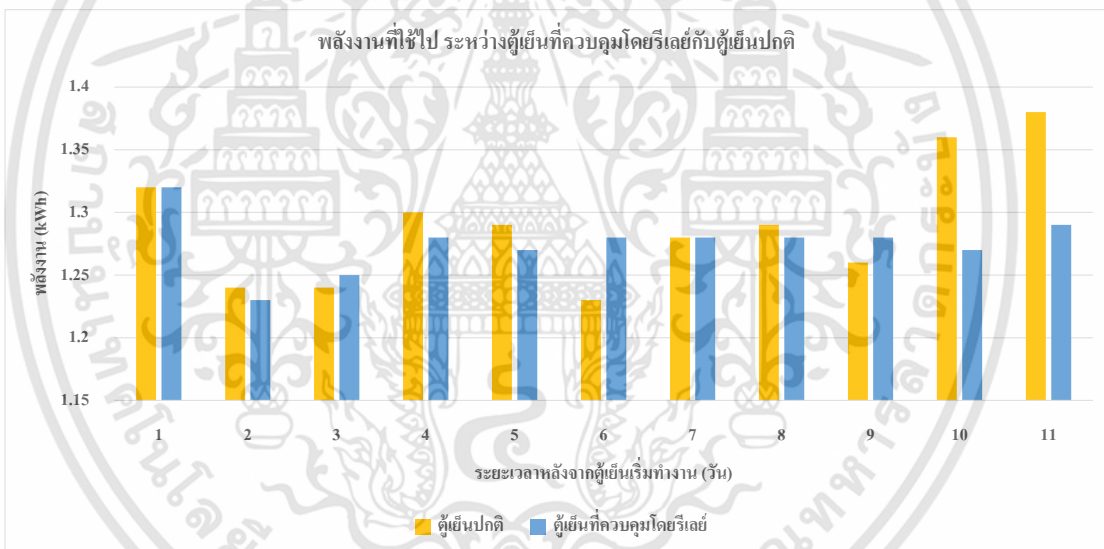
- 1) วันที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดคือวันที่แรกหลังจากตู้เย็นเริ่มทำงานโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 4.3 °C รองลงมาคือวันที่ 2 คือ 4.8 °C
- 2) เริ่มมีน้ำแข็งเกาะเล็กน้อยในวันที่ 7 หลังจากตู้เย็นเริ่มทำงาน

จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพร้อมพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1-11 พฤษภาคม 2565 และรูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวันระหว่างตู้เย็นที่ถูกควบคุมโดยสียล์กับตู้เย็นที่ทำงานปกติ โดยคิดพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวันได้จากสมการที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



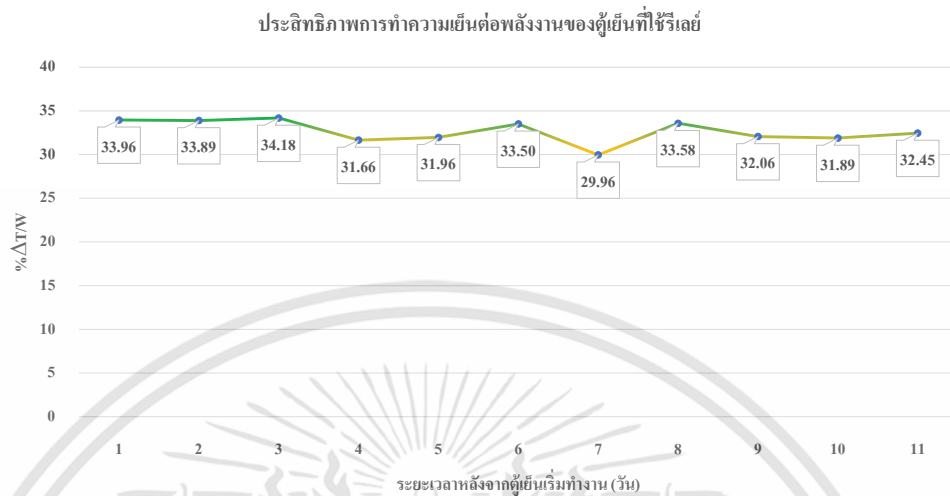
รูปที่ 4.12 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ยื่นใช้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1 พค – 11 พค 2565



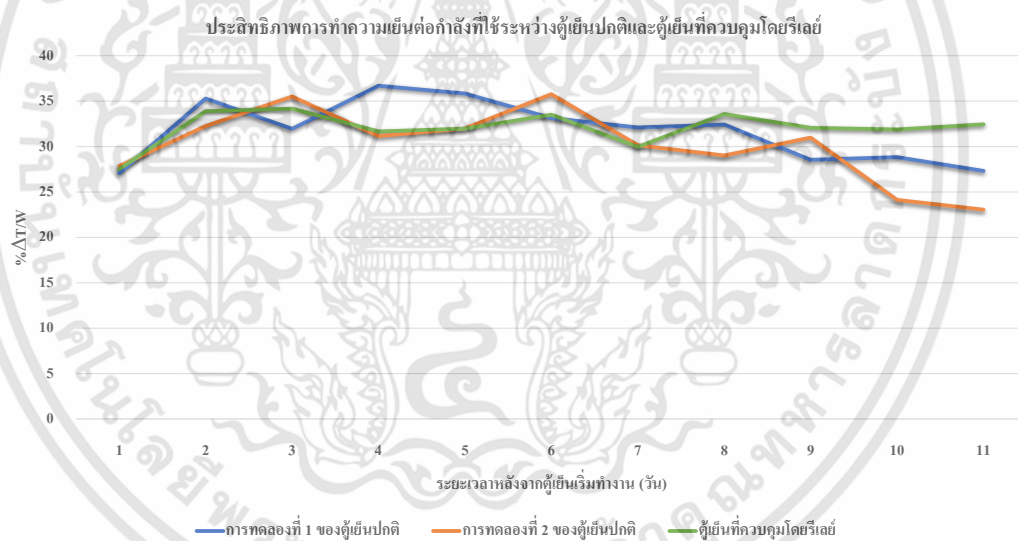
รูปที่ 4.13 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ยื่นที่ถูกควบคุมโดยรีเลย์และผู้ยื่นที่ทำงานแบบปกติใช้

จากรูปแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวัน 11 วันพบว่า พลังงานไฟฟ้าของผู้ยื่นที่ทำงานแบบปกติมีการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับผู้ยื่นที่ถูกควบคุมโดยรีเลย์ แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่าผู้ยื่นที่ถูกควบคุมโดยรีเลย์ขณะที่ผู้ยื่นทำงานไปถึงวันที่ 9 ในวันที่มีน้ำแข็งเกาะหนา และจากรูปที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อกำลังงานที่ใช้ ($\Delta T/kW$) เฉลี่ยแต่ละวันของผู้ยื่น โดยคิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน จากอุณหภูมิอ้างอิงที่ 25 °C หรืออุณหภูมิภายนอกเทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละวัน จากนั้นนำมาคิดค่า

ประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยจากสมการที่ 3.3 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อกำลังงานที่ใช้ของตู้เย็นปกติ และตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ใช้ตั้งแต่วันที่ 1-11 พ.ค 2565



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตู้เย็นปกติและตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์

จากรูปพบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยต่อกำลังงานที่ใช้ของตู้เย็นที่ทำงานปกติจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในช่วงสัปดาห์แรก และหลังจากมีน้ำแข็งเกาะประสิทธิภาพของตู้เย็นที่ทำงานแบบปกติได้ลดต่ำลงในขณะที่ตู้เย็นที่ถูกควบคุมด้วยรีเลย์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในระยะยาวหลังจากวันที่ 6 ที่ตู้เย็นเริ่มงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

โครงการนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพตู้เย็นแบบประตูเดียว โดยทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในตู้เย็น และพลังงานไฟฟ้าที่ตู้เย็นใช้ต่อวัน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นต่อกำลังไฟฟ้าที่ตู้เย็นใช้ในแต่ละวัน และสังเกตพฤติกรรมของอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของตู้เย็นเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

- 1) ตู้เย็นแบบประตูเดียวที่เริ่มทำงานในช่วง 1-3 วันแรกหลังจากเสียบปลั๊กในขณะที่ยังไม่มีน้ำแข็งเกาะจะมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่อกำลังไฟฟ้าสูงกว่าตู้เย็นในวันที่มีน้ำแข็งเกาะหนา ตามสมมุติฐานที่ว่าตู้เย็นที่มีน้ำแข็งเกาะหนาจะส่งผลต่อการหมุนเวียนของระบบทำความเย็นลดลง
- 2) อากาศภายนอกตู้เย็นมีผลต่อการทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้าของตู้เย็น เนื่องจากคอยล์ร้อนอยู่ด้านหลังของตู้เย็นซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากภายนอกได้น้อยกว่าวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำ
- 3) ตู้เย็นที่ถูกการตัดการทำงานอัตโนมัติจะมีน้ำแข็งเกาะช้ากว่าตู้เย็นที่ทำงานแบบปกติ และใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า แต่คอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นจะทำงานหนักจากการเปิดและปิดบ่อย ๆ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1) การทดสอบใช้ระยะเวลาาน ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง เนื่องจากการทดสอบจะวัดปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ โดยการเก็บข้อมูลตลอดเวลา ทำให้มีข้อผิดพลาดที่เกิดจากการดับไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ทำให้ข้อมูลที่ได้เก็บมาเกิดการขาดช่วง จำเป็นต้องเริ่มทำการทดลองใหม่ และรวมทั้งการตกของไฟฟ้าภายในอาคารที่ทำการทดลองทำให้กระแสไฟฟ้ามีการผันผวนตามไปด้วย
- 2) การเก็บข้อมูลเข้าอุปกรณ์เก็บข้อมูลเกิดข้อผิดพลาดบางช่วงขณะ มีการบันทึกค่าที่เพี้ยนเนื่องจากการต่อสายไฟฟ้าที่ไม่แน่นพอ
- 3) ทรัพยากรของการเก็บข้อมูลซอฟต์แวร์ที่มีอย่างจำกัดของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้จำเป็นต้องลบซอฟต์แวร์การแสดงผลบางส่วนออกเพื่อจัดการทรัพยากรของซอฟต์แวร์ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอัปโหลดเข้าตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และไม่กระทบต่อการทำงานของโครงการ

- 4) ขาดองค์ความรู้ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เลือกวัสดุที่เหมาะสมไม่ดี จากที่เลือกสายไฟไม่เหมาะสมทำให้สายไฟไม่สามารถทนรับแรงดันกระแสไฟฟ้าได้ และการที่เชื่อมอุปกรณ์งานไฟฟ้าไม่ดีส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายเมื่อใช้งานจริง
- 5) อุปกรณ์วัสดุที่ขายใช้ระยะเวลาในการขนส่งนานเพราะนำเข้าจากต่างประเทศโดยไม่ผ่านพ่อค้าคนกลางในประเทศไทย ราคาถูกกว่า 50%-70% เมื่อเปรียบเทียบกับที่ขายในประเทศไทยคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียหายต้องรอการขนส่งมาส่งสินค้า
- 6) อุณหภูมิภายนอกตู้เย็นที่ไม่คงที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์ร้อนด้านหลังตู้เย็นส่งผลให้ตู้เย็นทำงานแบบมีประสิทธิภาพน้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรควบคุมอุณหภูมิภายนอกให้มีค่าคงที่ตลอดการศึกษาเนื่องจากอุณหภูมิภายนอกส่งผลต่อการทำงานของตู้เย็นทำให้อุณหภูมิภายในตู้เย็นไม่เป็นไปตามปกติ
- 2) การวัดอุณหภูมิภายในตู้เย็นควรวัดมากกว่า 1 จุดคิดค่าเฉลี่ยจากอุณหภูมิเนื่องจากอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งภายในตู้เย็นมีค่าไม่เท่ากัน และไม่ควรวัดอุณหภูมิในช่องแช่แข็งเนื่องจากมีสภาพความชื้นที่ไม่เหมาะสม

บรรณานุกรม

- [1] Wikipedia. 2561. “ตู้เย็น.” <https://th.wikipedia.org/wiki/ตู้เย็น> (สืบค้นเมื่อ 28 เม.ย.2565)
- [2] อัครเดช สีนธฤภาค. 2538. “การทำความเย็น.” กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. สำนักหอสมุดกลาง.
- [3] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2555. “คู่มือจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน.” www.dip.go.th/th/category/2016-09-17-17-31-47-1/2012-06-13-12-02-31 (สืบค้นเมื่อ 28 เม.ย. 2565)
- [4] ธรารธร มั่นแย้ม, ทนงชัย หล้าวัน และสหพล สิงคะปะ. 2556. “การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนกรณีศึกษาภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์.” industrial.uru.ac.th/dbproject/main/list_project/view.php?id_pro=49&id_author1=55&id_author2=22&id_author3=56&id_author4=0&id_author5=0. (สืบค้นเมื่อ 28 เม.ย. 2565)
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ตู้เย็น สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม : ประสิทธิภาพพลังงาน.” มอก. 2186-2547.
- [6] Banzhi, M., & Shiloh, M. 2014. “Make: Getting started with arduino (3'd ed.).” California: Maker Media.
- [7] โอภาส สุขหวาน. 2556. “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัย.” วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [8] J. Cai, J. Stoustrup, B. D. Rasmussen. 2008. “An Active Defrost Scheme for Balancing Energy Consumption and Food Quality Loss in Supermarket Refrigeration Systems Chapter 6.” Denmark: Department of Control Engineering, Aalborg Universiteit
- [9] Dingyuan Wang & Tangfei Tao, 2010 “Non-contact Frost Thickness Measurement by Using a Micro-camera and Image Processing Technology”, IEEE288-293.
- [10] พิษณุพัฒน์ สุวรรณสิงห์, ชาญญานุช เต่าอุดม. 2560. “ระบบบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านระบบเครือข่ายแบบไร้สาย.” กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. สำนักหอสมุดกลาง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. “ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านไฟฟ้าการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า (Electrical energy audit) ตอนที่ 3 บทที่ 3 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า.” http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Elec/Elec_6.pdf (สืบค้นเมื่อ 1 พ.ค. 2565)
- [12] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2561. “กำหนดหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตู้เย็นและตู้เย็นแบบมีช่องแช่เยือกแข็ง สำหรับใช้ในที่อยู่อาศัย.” มาตรฐานเลขที่ มอก. 2186-2561.
- [13] ชนดิศ จุลศิลป์, พรสัณฑ์ มีวน. 2562. “เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทางสำหรับระบบโซลาร์เซลล์.” กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. สำนักหอสมุดกลาง.
- [14] Murilo Ferreira Vitor, Alexsandro dos Santos Silveira, Rodolfo César Costa Flesch. 2020. “Ambient virtual sensor based defrost control for single compartment refrigerators.” <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700720302255?via%3Dihub> (สืบค้นเมื่อ 28 เม.ย. 2565)



ภาคผนวก ก
การเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม 1.1 ตั้งเวลาบอร์ด Arduino ให้ตรงกับคอมพิวเตอร์

```

#include <DS1307RTC.h>
#include <TimeLib.h>
#include <Wire.h>
const char *monthName[12] = {
  "Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
  "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"
};
tmElements_t tm;

void setup() {
  bool parse=false;
  bool config=false;
  // get the date and time the compiler was run
  if (getDate(__DATE__) && getTime(__TIME__)) {
    parse = true;
    // and configure the RTC with this info
    if (RTC.write(tm)) {
      config = true; }
  }
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial); // wait for Arduino Serial Monitor
  delay(200);
  if (parse && config) {
    Serial.print("DS1307 configured Time=");
    Serial.print(__TIME__);
    Serial.print(", Date=");
    Serial.println(__DATE__); }
  else if (parse) {
    Serial.println("DS1307 Communication Error :-{");
    Serial.println("Please check your circuitry");
  } else {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("Could not parse info from the compiler, Time=\");
Serial.print(__TIME__);
Serial.print("\", Date=\");
Serial.print(__DATE__);
Serial.println("\"); }
}

void loop() {
}

bool getTime(const char *str)
{
  int Hour, Min, Sec;
  if (sscanf(str, "%d:%d:%d", &Hour, &Min, &Sec) != 3) return false;
  tm.Hour = Hour;
  tm.Minute = Min;
  tm.Second = Sec;
  return true;
}

bool getDate(const char *str)
{
  char Month[12];
  int Day, Year;
  uint8_t monthIndex;
  if (sscanf(str, "%s %d %d", Month, &Day, &Year) != 3) return false;
  for (monthIndex = 0; monthIndex < 12; monthIndex++) {
    if (strcmp(Month, monthName[monthIndex]) == 0) break; }
  if (monthIndex >= 12) return false;
  tm.Day = Day;
  tm.Month = monthIndex + 1;
  tm.Year = CalendarYrToTm(Year);
  return true;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม 1.2 เก็บค่าลง SD Card ที่มีไฟล์ Test.tex

```

#include <DS1307RTC.h>
#include <TimeLib.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "DHT.h"
#include <PZEM004Tv30.h>

File myFile;
const int chipSelect = 10;
String time ;
tmElements_t tm;

//-----
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
PZEM004Tv30 pzem(8, 9);

float t[2] ;

//-----
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  dht.begin();

  //-----
  while (!Serial) ; // wait for serial
  delay(200);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(SS,OUTPUT);

if (!SD.begin(chipSelect)) {
  return;
}
Serial.println("SD Card OK.");
ReadText();
}

void loop() {
  float h = dht.readHumidity();
  float temp = dht.readTemperature();
  float f = dht.readTemperature(true);

  float voltage = pzem.voltage();
  float current = pzem.current();
  float power = pzem.power();
  float energy = pzem.energy();
  float frequency = pzem.frequency();
  float pf = pzem.pf();

  if (isnan(h) || isnan(temp) || isnan(f)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    return;
  }
  //-----
  time = Now()+" T "+temp+" °C C "+current+" A P "+power+" W E "+energy+" kWh
  PF "+pf;
  Serial.println(time);Serial.println();
  WriteText(time);
  delay(60000);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void ReadText(){
  // re-open the file for reading:
  myFile = SD.open("test.txt");
  if (myFile) {
    Serial.println("test.txt:");
    while (myFile.available()) {
      Serial.write(myFile.read());
    }
    myFile.close();
  }
}

void WriteText(String txt){
  myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    myFile.println(txt);
    myFile.close();
  }
  else {
    Serial.println("error opening test.txt");
  }
}

String Now(){
  String time = "";
  if (RTC.read(tm)) {
    //time = String(tm.Hour+":"+tm.Minute+":"+tm.Second+" DAY :
    "+tm.Day+"/"+tm.Month+"/"+tm.YearToCalendar(tm.Year));
    time+=tm.Hour;
    time+=":";
    time+=tm.Minute;
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

time+=":";

time+=tm.Second;
time+=" DAY : ";

time+=tm.Day;
time+="/";

time+=tm.Month;
time+="/";

time+=tmYearToCalendar(tm.Year);
}
else {
time = "NO";
if (RTC.chipPresent()) {
Serial.println("The DS1307 is stopped.");
Serial.println();
}
else {
Serial.println("DS1307 read error!");
Serial.println();
}
}
return time;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม 1.3 ส่วนควบคุมรีเลย์

```

const byteรีเลย์ = 2;
int l = 0;
void setup() {
  pinMode(relay,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  if(i==0)
  {
    digitalWrite(relay,HIGH);
    Serial.println("on");
    delay(172800000);
    i++;
  }
  for(i=1;i<5;i++)
  {
    digitalWrite(relay,LOW);
    Serial.println("off");
    delay(1800000);
    digitalWrite(relay,HIGH);
    Serial.println("on");
    delay(43200000);
    i--;
  }
}

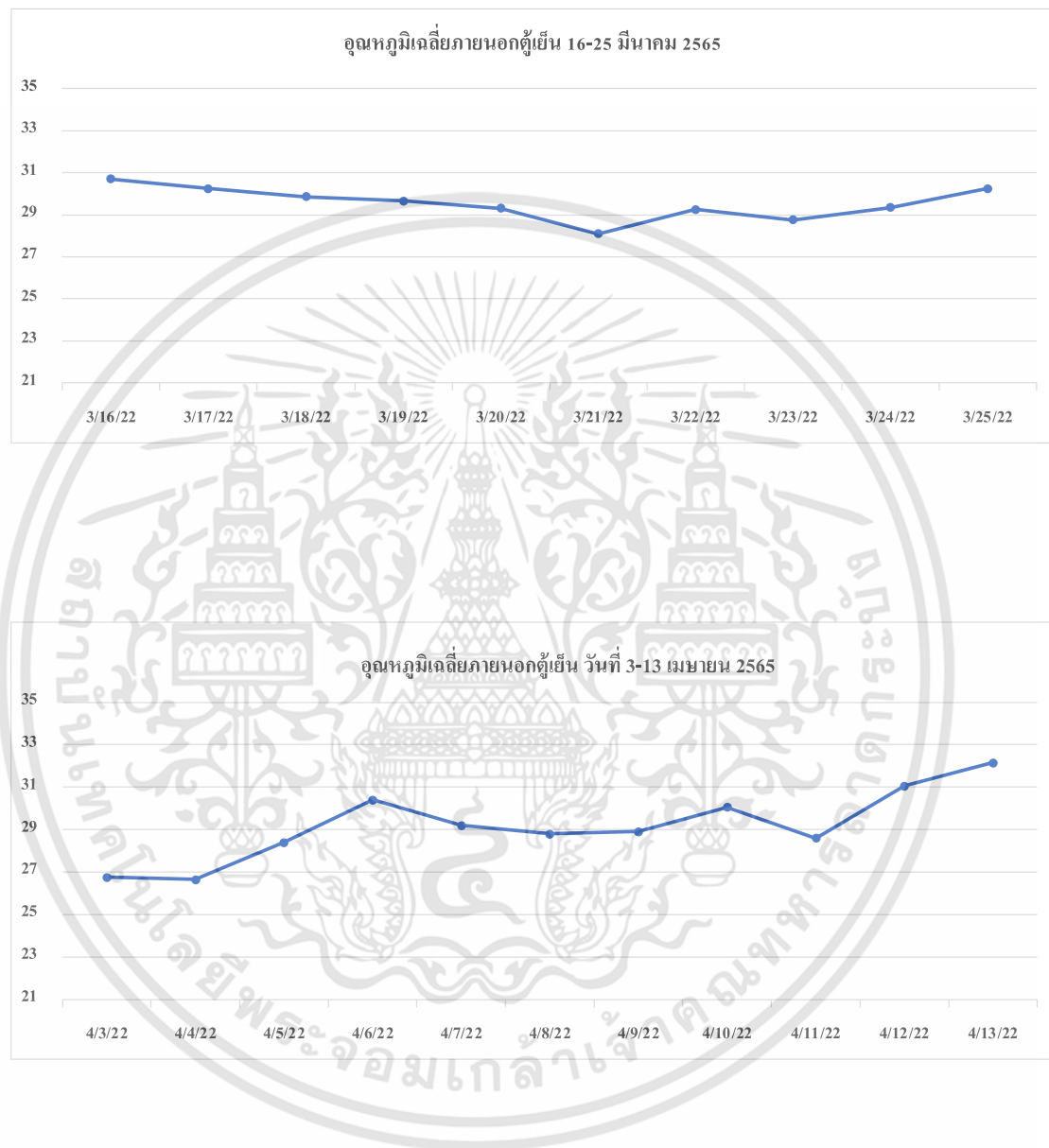
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยที่เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ที่มา :
<https://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=1>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PZEM-004T V3.0 User Manual

Overview

This document describes the specification of the **PZEM-004T** AC communication module, the module is mainly used for measuring AC voltage, current, active power, frequency, power factor and active energy, the module is without display function, the data is read through the **TTL** interface.

PZEM-004T-10A: Measuring Range 10A (Built-in Shunt)

PZEM-004T-100A: Measuring Range 100A (external transformer)

1. Function description

1.1 Voltage

1.1.1 Measuring range: 80~260V

1.1.2 Resolution: 0.1V

1.1.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.2 Current

1.2.1 Measuring range: 0~10A (**PZEM-004T-10A**) ; 0~100A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.2 Starting measure current: 0.01A (**PZEM-004T-10A**) ; 0.02A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.3 Resolution: 0.001A

1.2.4 Measurement accuracy: 0.5%

1.3 Active power

1.3.1 Measuring range: 0~2.3kW (**PZEM-004T-10A**) ; 0~23kW (**PZEM-004T-100A**)

1.3.2 Starting measure power: 0.4W

1.3.3 Resolution: 0.1W

1.3.4 Display format:

<1000W, it display one decimal, such as: 999.9W

≥1000W, it display only integer, such as: 1000W

1.3.5 Measurement accuracy: 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 Power factor

1.4.1 Measuring range: 0.00~1.00

1.4.2 Resolution: 0.01

1.4.3 Measurement accuracy: 1%

1.5 Frequency

1.5.1 Measuring range: 45Hz~65Hz

1.5.2 Resolution: 0.1Hz

1.5.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6 Active energy

1.6.1 Measuring range: 0~9999.99kWh

1.6.2 Resolution: 1Wh

1.6.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6.4 Display format:

< 10kWh, the display unit is Wh(1kWh=1000Wh), such as: 9999Wh

≥ 10kWh, the display unit is kWh, such as: 9999.99kWh

1.6.5 Reset energy: use software to reset.

1.7 Over power alarm

Active power threshold can be set, when the measured active power exceeds the threshold, it can alarm

1.8 Communication interface

RS485 interface.

2 Communication protocol

2.1 Physical layer protocol

Physical layer use UART to RS485 communication interface

Baud rate is 9600, 8 data bits, 1 stop bit, no parity

2.2 Application layer protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The application layer use the Modbus-RTU protocol to communicate. At present, it only supports function codes such as 0x03 (Read Holding Register), 0x04 (Read Input Register), 0x06 (Write Single Register), 0x41 (Calibration), 0x42 (Reset energy).etc.

0x41 function code is only for internal use (address can be only 0xF8), used for factory calibration and return to factory maintenance occasions, after the function code to increase 16-bit password, the default password is 0x3721

The address range of the slave is 0x01 ~ 0xF7. The address 0x00 is used as the broadcast address, the slave does not need to reply the master. The address 0xF8 is used as the general address, this address can be only used in single-slave environment and can be used for calibration etc.operation.

2.3 Read the measurement result

The command format of the master reads the measurement result is(total of 8 bytes):

Slave Address + 0x04 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Number of Registers High Byte + Number of Registers Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Reply: Slave Address + 0x04 + Number of Bytes + Register 1 Data High Byte + Register 1 Data Low Byte + ... + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte

Error Reply: Slave address + 0x84 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

Abnormal code analyzed as following (the same below)

- 0x01,Illegal function
- 0x02,Illegal address
- 0x03,Illegal data
- 0x04,Slave error

The register of the measurement results is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB correspond to 0.1V
0x0001	Current value low 16 bits	1LSB correspond to 0.001A
0x0002	Current value high 16 bits	
0x0003	Power value low 16 bits	1LSB correspond to 0.1W
0x0004	Power value high 16 bits	
0x0005	Energy value low 16 bits	1LSB correspond to 1Wh
0x0006	Energy value high 16 bits	
0x0007	Frequency value	1LSB correspond to 0.1Hz
0x0008	Power factor value	1LSB correspond to 0.01
0x0009	Alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000 is not alarm

For example, the master sends the following command (CRC check code is replaced by 0xHH and 0xLL, the same below)

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x0A + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to read 10 registers with slave address 0x01 and the start address of the register is 0x0000

The correct reply from the slave is as following:

0x01 + 0x04 + 0x14 + 0x08 + 0x98 + 0x03 + 0xE8 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0x98 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x01 + 0xF4 + 0x00 + 0x64 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

The above data shows

- Voltage is 0x0898, converted to decimal is 2200, display 220.0V
- Current is 0x000003E8, converted to decimal is 1000, display 1.000A
- Power is 0x00000898, converted to decimal is 2200, display 220.0W
- Energy is 0x00000000, converted to decimal is 0, display 0Wh
- Frequency is 0x01F4, converted to decimal is 500, display 50.0Hz
- Power factor is 0x0064, converted to decimal is 100, display 1.00
- Alarm status is 0x0000, indicates that the current power is lower than the alarm power threshold

2.4 Read and modify the slave parameters

At present, it only supports reading and modifying slave address and power alarm threshold

The register is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0001	Power alarm threshold	1LSB correspond to 1W
0x0002	Modbus-RTU address	The range is 0x0001~0x00F7

The command format of the master to read the slave parameters and read the measurement results are same (described in details in Section 2.3), only need to change the function code from 0x04 to 0x03.

The command format of the master to modify the slave parameters is (total of 8 bytes):

Slave Address + 0x06 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Response: Slave Address + 0x06 + Number of Bytes + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

Error Reply: Slave address + 0x86 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For example, the master sets the slave's power alarm threshold:

$0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x01 + 0x08 + 0xFC + 0xHH + 0xLL$

Indicates that the master needs to set the 0x0001 register (power alarm threshold) to 0x08FC (2300W).

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

For example, the master sets the address of the slave

$0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x02 + 0x00 + 0x05 + 0xHH + 0xLL$

Indicates that the master needs to set the 0x0002 register (Modbus-RTU address) to 0x0005

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

2.5 Reset energy

The command format of the master to reset the slave's **energy** is (total 4 bytes):

Slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: Slave address + 0xC2 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

2.6 Calibration

The command format of the master to calibrate the slave is (total 6 bytes):

$0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + \text{CRC check high byte} + \text{CRC check low byte}$.

Correct reply: $0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + \text{CRC check high byte} + \text{CRC check low byte}$.

Error Reply: $0xF8 + 0xC1 + \text{Abnormal code} + \text{CRC check high byte} + \text{CRC check low byte}$.

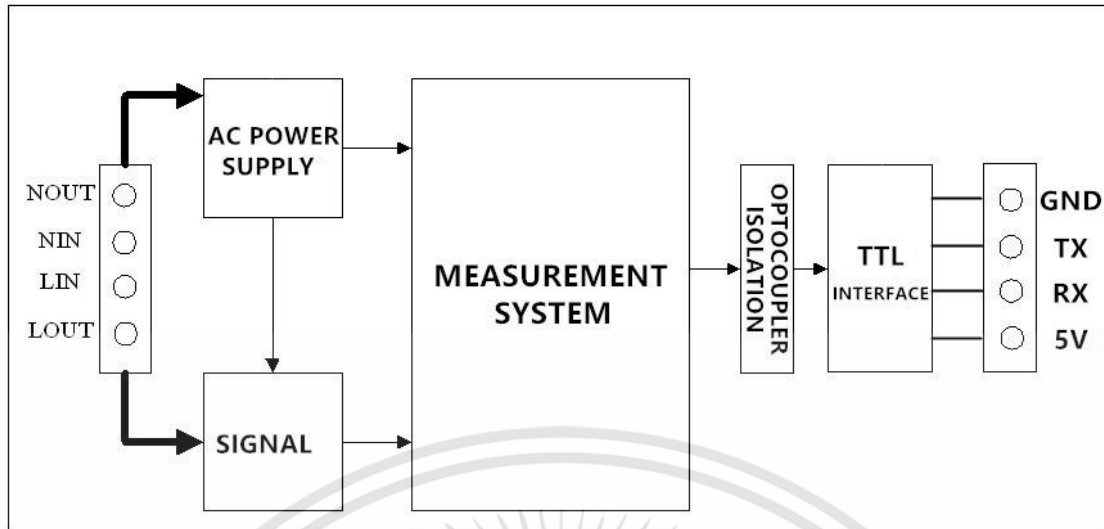
It should be noted that the calibration takes 3 to 4 seconds, after the master sends the command, if the calibration is successful, it will take 3 ~ 4 seconds to receive the response from the slave.

2.7 CRC check

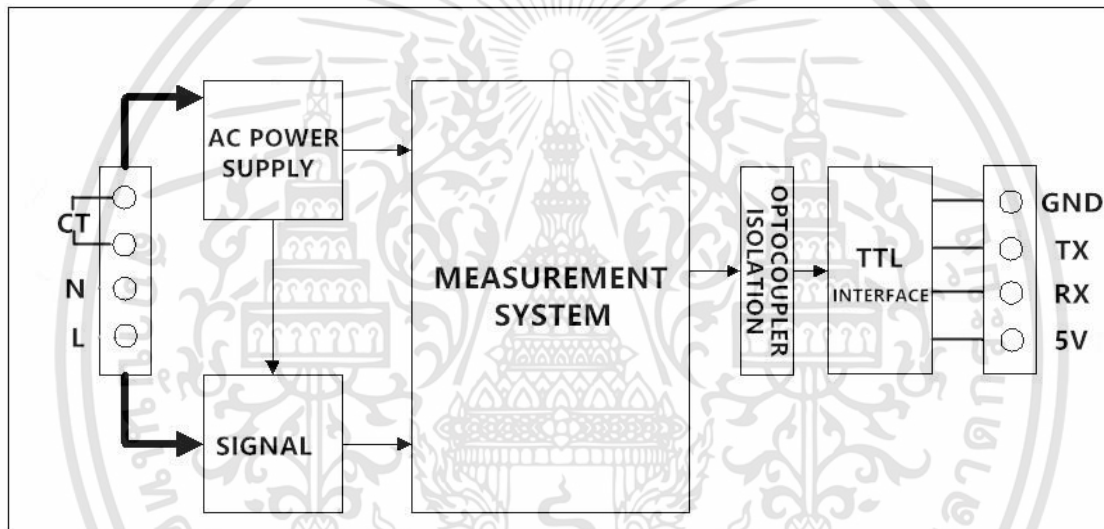
CRC check use 16bits format, occupy two bytes, the generator polynomial is $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$, the polynomial value used for calculation is 0xA001.

The value of the CRC check is a frame data divide all results of checking all the bytes except the CRC check value.

3 Functional block diagram

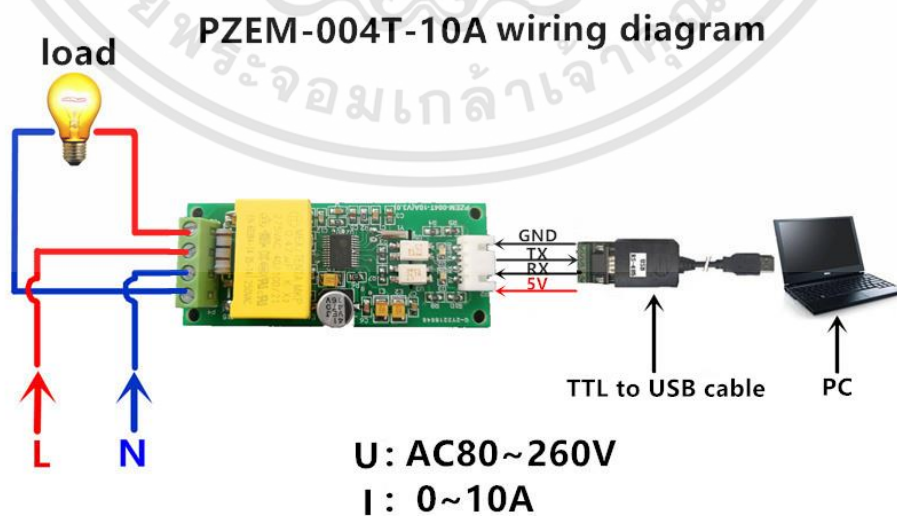


Picture 3.1 PZEM-004T-10A Functional block diagram



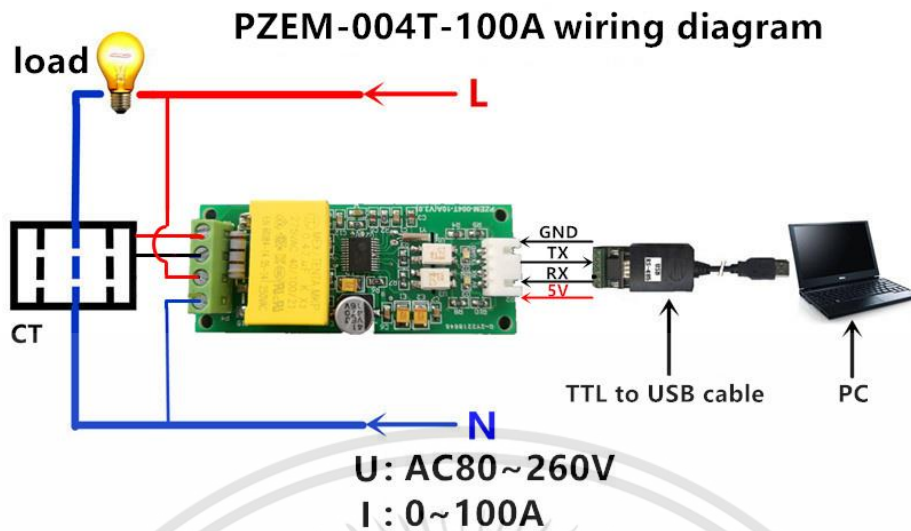
Picture 3.2 PZEM-004T-100A Functional block diagram

4 Wiring diagram



Picture 4.1 PZEM-004T-10A wiring diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Picture 4.2 PZEM-004T-100A wiring diagram

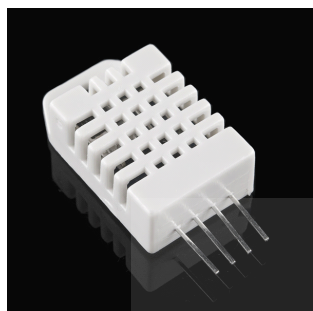
5 Other instructions

5.1 The TTL interface of this module is a passive interface, it requires external 5V power supply, which means, when communicating, all four ports must be connected (5V, RX, TX, GND), otherwise it cannot communicate.

5.2 Working temperature

-20°C ~ +60°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Standard AM2302/DHT22



AM2302/DHT22 with big case and wires

Digital relative humidity & temperature sensor AM2302/DHT22

1. Feature & Application:

- *High precision
- *Capacitive type
- *Full range temperature compensated
- *Relative humidity and temperature measurement
- *Calibrated digital signal
- *Outstanding long-term stability
- *Extra components not needed
- *Long transmission distance, up to 100 meters
- *Low power consumption
- *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

AM2302 output calibrated digital signal. It applies exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable AM2302 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	AM2302	
Power supply	3.3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via 1-wire bus	
Sensing element	Polymer humidity capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH;	temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH (Max +-5%RH);	temperature +-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH;	temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3%RH	
Long-term Stability	+-0.5%RH/year	
Interchangeability	fully interchangeable	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

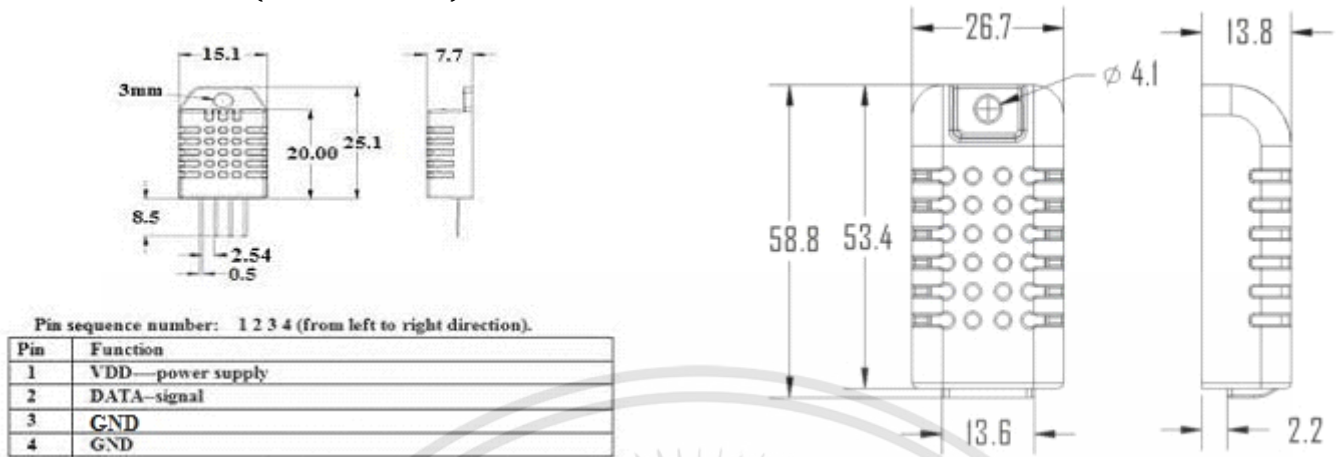
Thomas Liu (Sales Manager)

- 1 -

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Email: thomasliu198518@aliyun.com

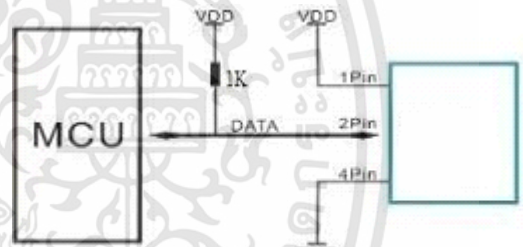
4. Dimensions: (unit---mm)



Standard AM2302's dimensions as above

Big case's dimensions as above
Red wire--power supply, Black wire--GND
Yellow wire--Data output

5. Electrical connection diagram:



6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

1-wire bus is used for communication between MCU and AM2302. (Our 1-wire bus is specially designed, it's different from Maxim/Dallas 1-wire bus, so it's incompatible with Dallas 1-wire bus.)

Illustration of our 1-wire bus:

DATA=16 bits RH data+16 bits Temperature data+8 bits check-sum

Example: MCU has received 40 bits data from AM2302 as

0000 0010 1000 1100 0000 0001 0101 1111 1110 1110
 16 bits RH data 16 bits T data check sum

Here we convert 16 bits RH data from binary system to decimal system,

0000 0010 1000 1100 → 652

Binary system Decimal system

RH=652/10=65.2%RH

Here we convert 16 bits T data from binary system to decimal system,

0000 0001 0101 1111 → 351

Binary system Decimal system

T=351/10=35.1°C

When highest bit of temperature is 1, it means the temperature is below 0 degree Celsius.

Example: 1000 0000 0110 0101, T= minus 10.1°C

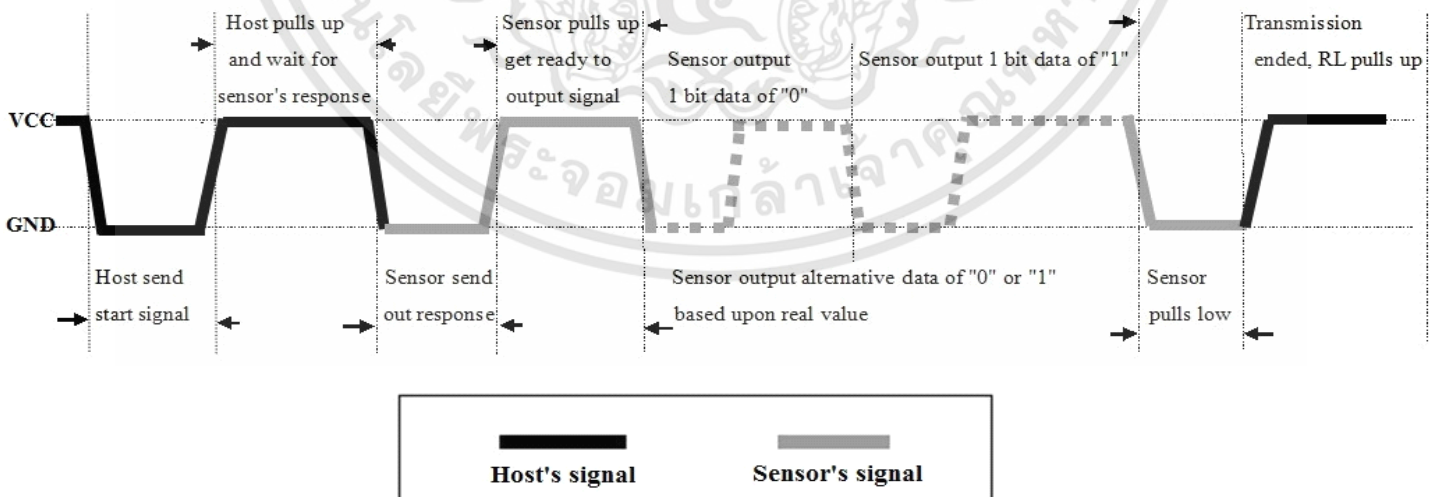
16 bits T data

Sum=0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111=1110 1110

Check-sum=the last 8 bits of Sum=1110 1110

When MCU send start signal, AM2302 change from standby-status to running-status. When MCU finishes sending the start signal, AM2302 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity and temperature to MCU. Without start signal from MCU, AM2302 will not give response signal to MCU. One start signal for one response data from AM2302 that reflect the relative humidity and temperature. AM2302 will change to standby status when data collecting finished if it don't receive start signal from MCU again.

See below figure for overall communication process, **the interval of whole process must beyond 2 seconds.**



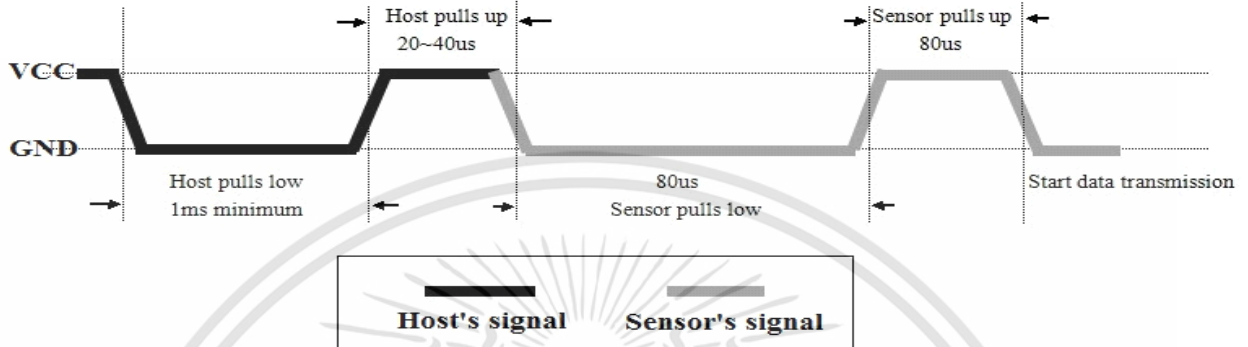
1) Step 1: MCU send out start signal to AM2302 and AM2302 send response signal to MCU

Thomas Liu (Sales Manager)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Email: thomasliu198518@aliyun.com
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

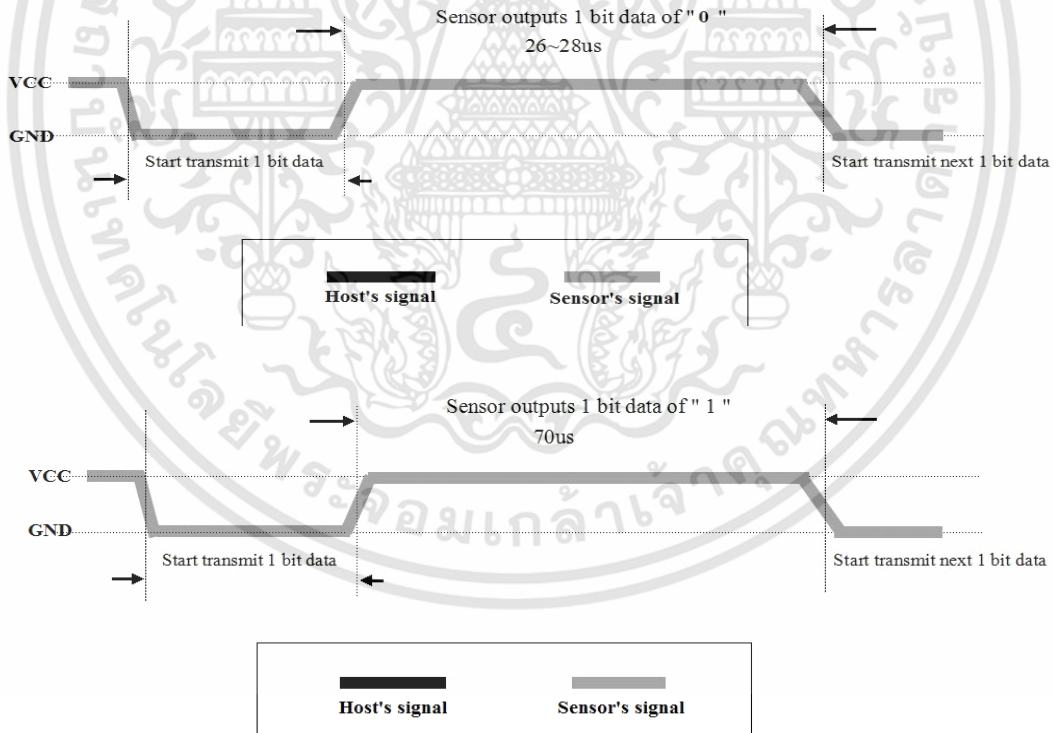
Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and AM2302 begins, MCU will pull low data-bus and this process must beyond at least 1~10ms to ensure AM2302 could detect MCU's signal, then MCU will pulls up and wait 20-40us for AM2302's response.

When AM2302 detect the start signal, AM2302 will pull low the bus 80us as response signal, then AM2302 pulls up 80us for preparation to send data. See below figure:



2). Step 2: AM2302 send data to MCU

When AM2302 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0". See below figures:



Attention:

If signal from AM2302 is always high-voltage-level, it means AM2302 is not working properly, please check the electrical connection status.

Thomas Liu (Sales Manager)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Email: thomasliu198518@aliyun.com
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Electrical Characteristics:

Items	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The AM2302 sensor can recover after working in abnormal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere AM2302's sensitive-elements and debase AM2302's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the AM2302 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the AM2302 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

AM2302 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase AM2302's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of AM2302 may cause personal injury.

SONGLE RELAY

	<p>RELAY ISO9002</p>	<p>SRD</p>
---	----------------------	-------------------



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.)

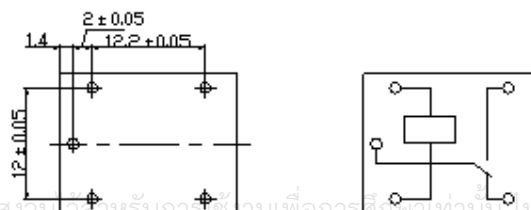
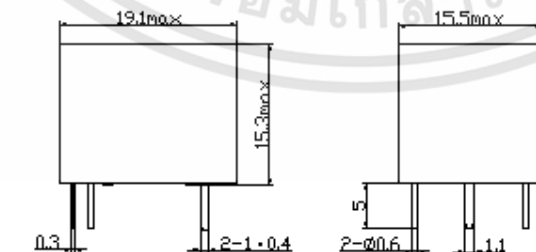
3. ORDERING INFORMATION

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:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL /CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION (unit:mm) DRILLING (unit:mm) WIRING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับลูกค้าท่านเพื่อการศึกษารายละเอียดเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω $\pm 10\%$)	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
	48	48	7.5	6400				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

7. CONTACT RATING

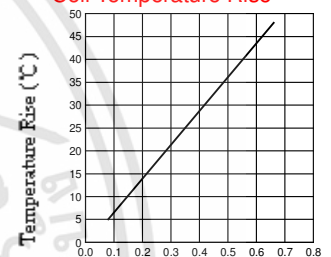
Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load ($\cos\Phi=1$)		10A 125VAC	10A 240VAC
		7A 240VAC	
Inductive Load ($\cos\Phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC	5A 120VAC
		3A 28VDC	5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

8. PERFORMANCE (at initial value)

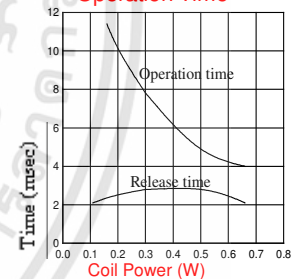
Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m Ω Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M Ω Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching	Mechanically	300 operation/min
	Electrically	30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration	Endurance	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
	Error Operation	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy	Mechanically	10 ⁷ operations. Min. (no load)
	Electrically	10 ⁵ operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

9. REFERENCE DATA

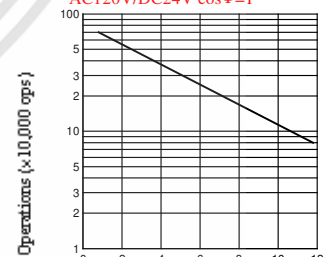
Coil Temperature Rise



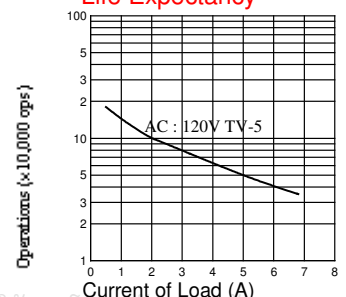
Operation Time

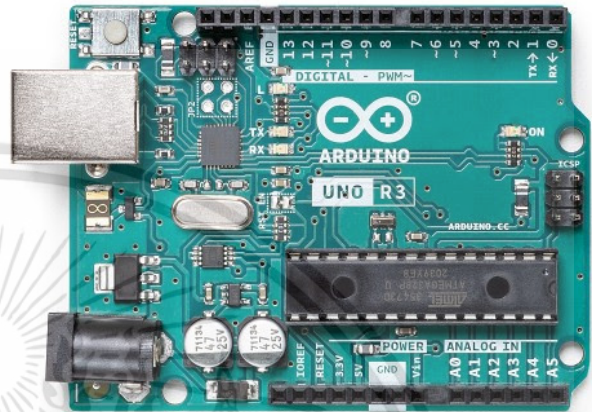


Life Expectancy



Life Expectancy





Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile microcontroller is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor. This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

Target areas:

Maker, introduction, industries



Features

- **ATMega328P Processor**
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32KB Flash
 - 2KB SRAM
 - 1KB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
 - **ATMega16U2 Processor**
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
 - **Memory**
 - 16 KB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
 - **Power**
 - 2.7-5.5 volts



CONTENTS

1 The Board	4
1.1 Application Examples	4
1.2 Related Products	4
2 Ratings	4
2.1 Recommended Operating Conditions	4
2.2 Power Consumption	5
3 Functional Overview	5
3.1 Board Topology	5
3.2 Processor	6
3.3 Power Tree	6
4 Board Operation	7
4.1 Getting Started - IDE	7
4.2 Getting Started - Arduino Web Editor	7
4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud	7
4.4 Sample Sketches	7
4.5 Online Resources	7
4.6 Board Recovery	8
5 Connector Pinouts	8
5.1 JANALOG	9
5.2 JDIGITAL	9
5.3 Mechanical Information	10
5.4 Board Outline & Mounting Holes	10
6 Certifications	11
6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	11
6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	11
6.3 Conflict Minerals Declaration	12
7 FCC Caution	12
8 Company Information	13
9 Reference Documentation	13
10 Revision History	13



1 The Board

1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks.

First entry to electronics: If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

Industry-standard development board: Using the Arduino UNO board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

Education purposes: Although the UNO board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

1.2 Related Products

- Starter Kit
- Tinkerkit Braccio Robot
- Example

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40°F)	85 °C (185°F)

NOTE: In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected due to the extreme temperature conditions

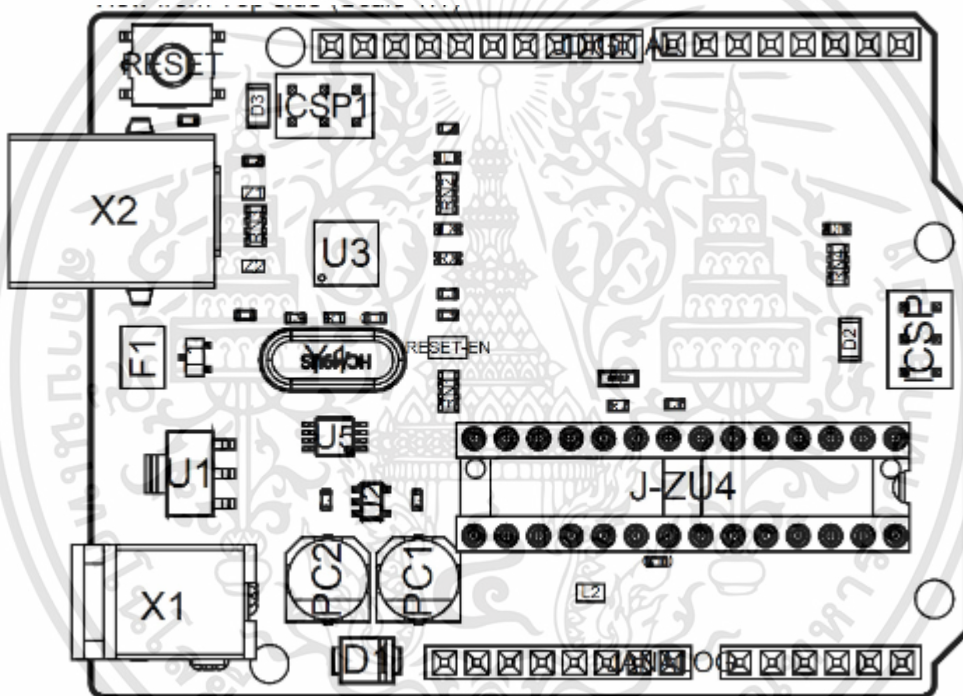
2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

3 Functional Overview

3.1 Board Topology

Top view



Board topology

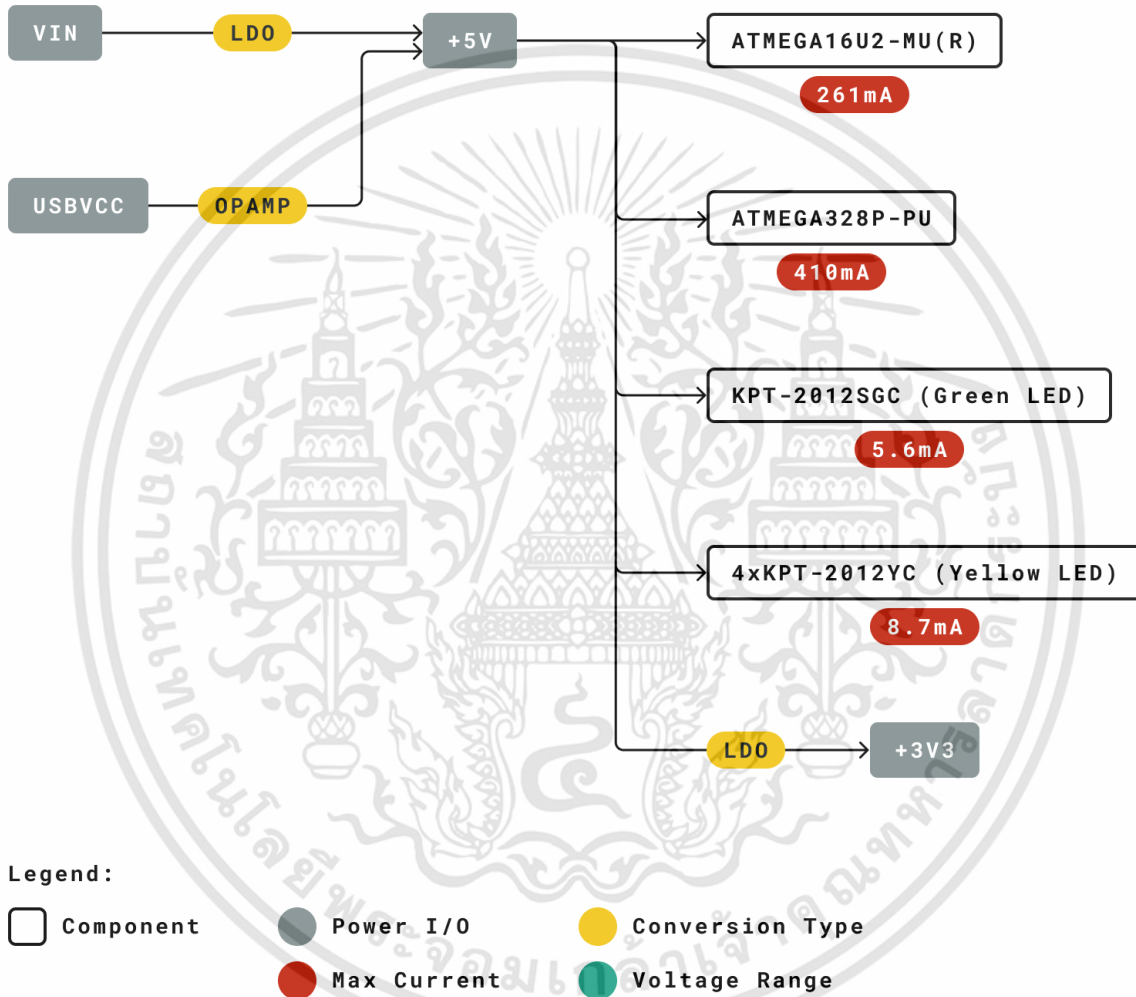
Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		



3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.

3.3 Power Tree



Power tree



4 Board Operation

4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino UNO while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino UNO to your computer, you'll need a Micro-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

4.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud

All Arduino IoT enabled products are supported on Arduino IoT Cloud which allows you to Log, graph and analyze sensor data, trigger events, and automate your home or business.

4.4 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino XXX can be found either in the “Examples” menu in the Arduino IDE or in the “Documentation” section of the Arduino Pro website [4]

4.5 Online Resources

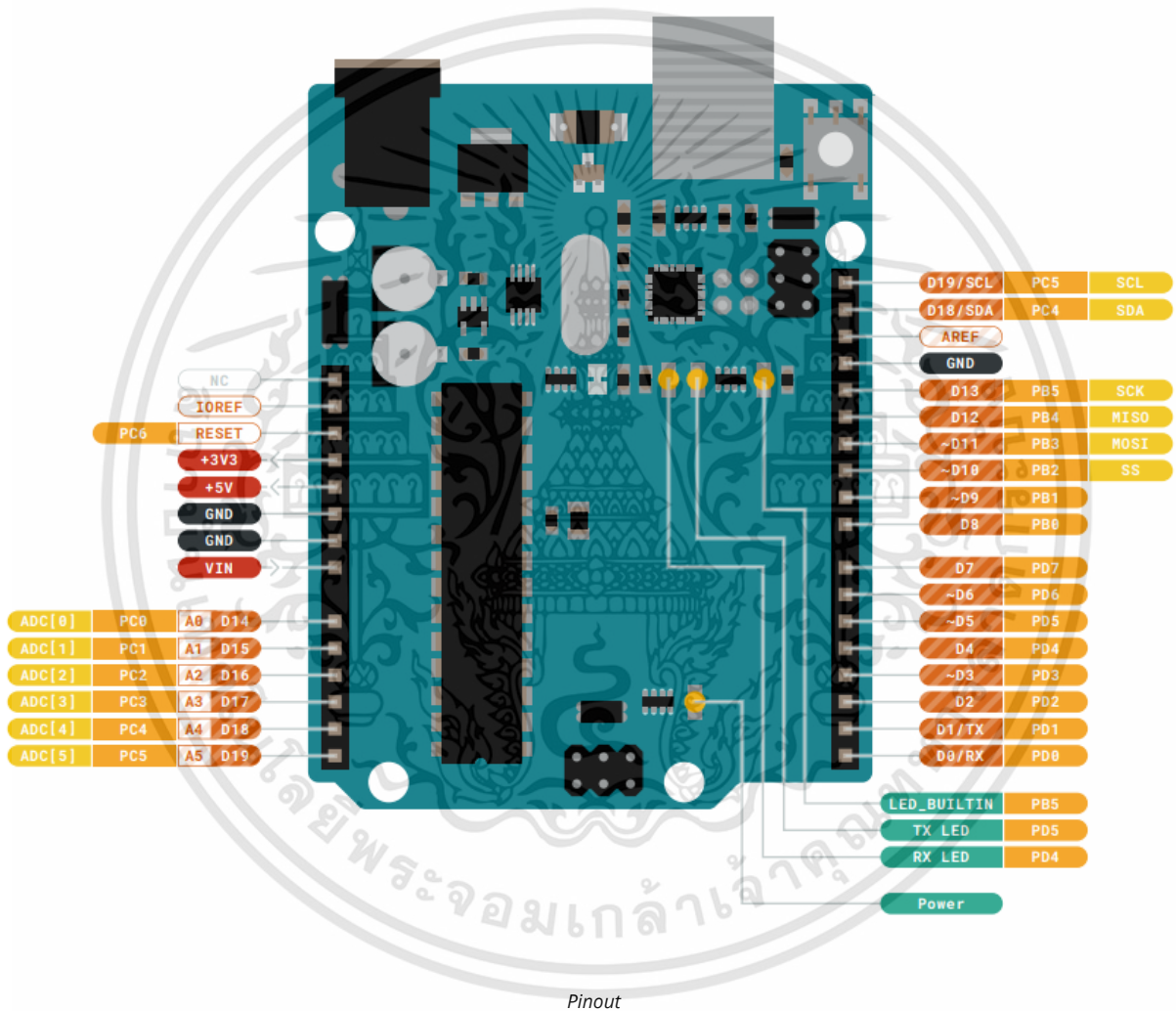
Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more



4.6 Board Recovery

All Arduino boards have a built-in bootloader which allows flashing the board via USB. In case a sketch locks up the processor and the board is not reachable anymore via USB it is possible to enter bootloader mode by double-tapping the reset button right after power up.

5 Connector Pinouts





5.1 JANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

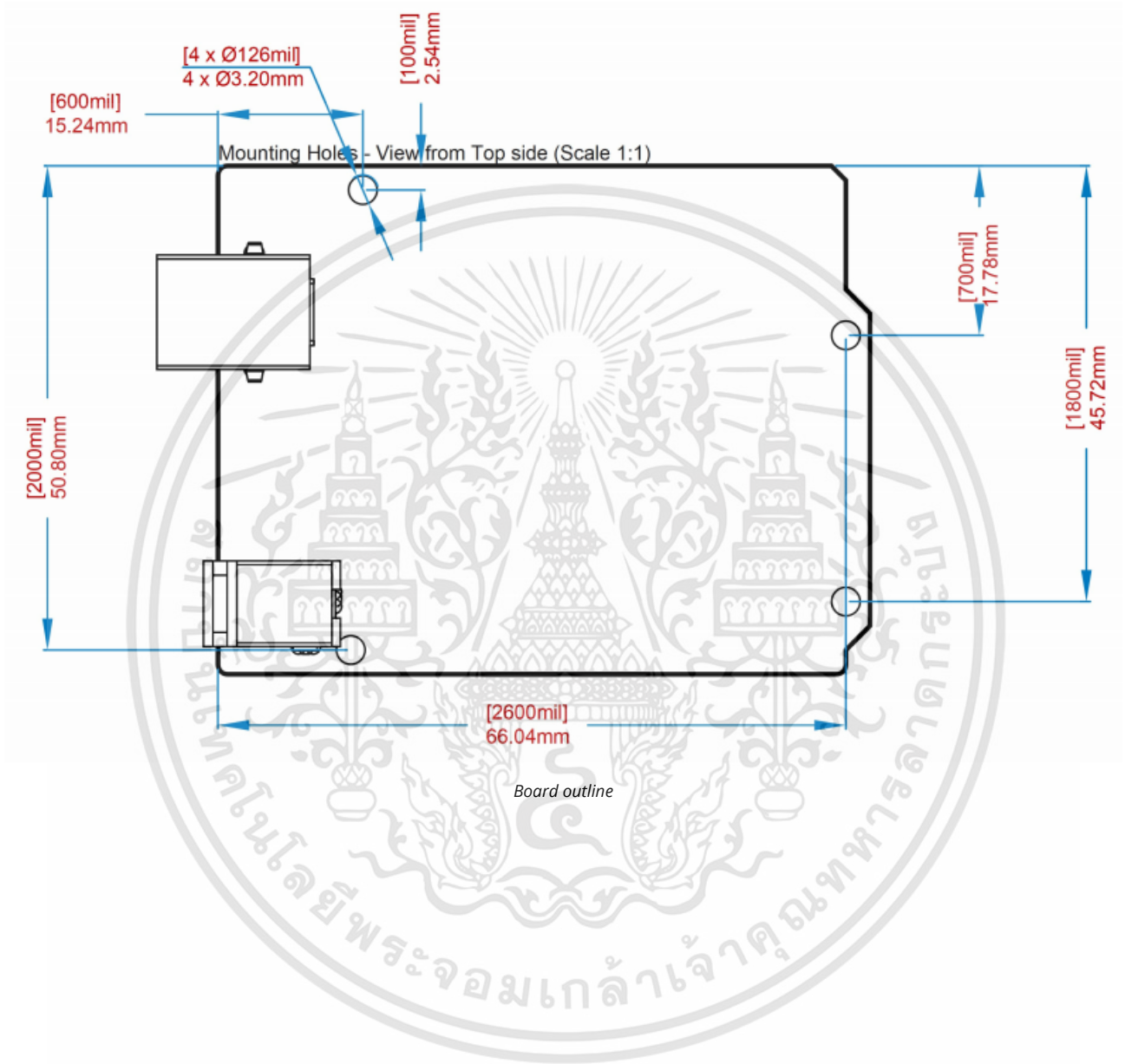
5.2 JDIGITAL

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)



5.3 Mechanical Information

5.4 Board Outline & Mounting Holes





6 Certifications

6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

ROHS 2 Directive 2011/65/EU	
Conforms to:	EN50581:2012
Directive 2014/35/EU. (LVD)	
Conforms to:	EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/AC:2011
Directive 2004/40/EC & 2008/46/EC & 2013/35/EU, EMF	
Conforms to:	EN 62311:2008

6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl} phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions: No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.



6.3 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

7 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

FCC RF Radiation Exposure Statement:

- 1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
- 2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
- 3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for license-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l'appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

IC SAR Warning:

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า



Important: The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

8 Company Information

Company name	Arduino S.r.l
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	https://www.arduino.cc/en/Main/Software
Arduino IDE (Cloud)	https://create.arduino.cc/editor
Cloud IDE Getting Started	https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a
Arduino Pro Website	https://www.arduino.cc/pro
Project Hub	https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&part_id=11332&sort=trending
Library Reference	https://www.arduino.cc/reference/en/
Online Store	https://store.arduino.cc/

10 Revision History

Date	Revision	Changes
xx/06/2021	1	Datasheet release