

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือน
AUTOMATIC TEMPERATURE AND HUMIDITY
CONTROL SYSTEM IN A SILO



T117582



นางสาวพรรณวดี ภาณุสุวรรณ
นายวีรพงษ์ ศิริกุลประดิษฐ์
นางสาวสุปรียา ว่างบัวทอง
นางสาวอลิษา ทรัพย์เพิ่ม

เลขหมู่.....
ศก.เขียน... 117582
วัน,เดือน,ปี... - 9 ค.ค. 2554

1234 ๗๗๘๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**AUTOMATIC TEMPERATURE AND HUMIDITY
CONTROL SYSTEM IN A SILO**



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553


สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือน

AUTOMATIC TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM IN A SILO

ผู้จัดทำ	นางสาวพรรณวดี	ภาณุสุวรรณ	50011056
	นายวีรพงษ์	ศิริกุลประดิษฐ์	50011497
	นางสาวสุปรียา	วังบัวทอง	50011732
	นางสาวอลิษา	ทรัพย์เพิ่ม	50011904


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือน

โดย

นางสาวพรรณวดี ภาณุสุวรรณ 50011056

นายวีรพงษ์ ศิริกุลประดิษฐ์ 50011497

นางสาวสุปรียา วังบัวทอง 50011732

นางสาวอลิษา ททรัพย์เพิ่ม 50011904

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอระบบควบคุมสภาวะอากาศโดยอัตโนมัติในโรงเรือนจำลอง เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้เกษตรกรได้รับผลประโยชน์สูงสุด โครงการนี้ได้จัดสร้างโรงเรือนจำลอง ขนาดกว้าง 50 ซม. ยาว 60 ซม. และสูง 45 ซม. และได้สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 โดยจะส่งข้อมูลและรับข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายโดยอาศัยโมดูล Zigbee ซึ่งระบบควบคุมจะทำการควบคุมพัดลมระบายอากาศในการลดอุณหภูมิในโรงเรือนจำลอง และใช้ขดลวดความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่โรงเรือน เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ส่วนในการควบคุมความชื้นนั้นใช้เครื่องทำไอน้ำเป็นตัวทำให้เกิดไอน้ำ และใช้พัดลมดูดไอน้ำเข้าสู่โรงเรือน และใช้พัดลมระบายอากาศในการระบายความชื้นออกจากโรงเรือน เพื่อให้ได้ค่าที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM IN A SILO

By

Panvadee Panusuwan 50011056

Weraphong Sirikilpradit 50011497

Supreeya Wangbuathong 50011732

Alisa Supperm 50011904

Advisor

Asst.Prof.Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2010

ABSTRACT

This project presents the automatic temperature and humidity control system in a silo. Thailand is an agriculture country so the agriculture product saving efficiently will give the most benefit for agriculturists. For the silo model, its size is width 50 centimeters, length 60 centimeters and height 45 centimeters. The design control system can control temperature and humidity in the silo automatically using a sensor (SHT15) and transfer data to computer via wireless communication using Zigbee module. The temperature is reduced by a ventilated fan. To increase the temperature, a heater is used. For the humidity, the ventilated fans are used to control the proper humidity level for the silo.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก ศศ.ดร.นพดล มณีรัตน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอด ตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยตามไล่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นางสาวพรรณวดี ภาณุสุวรรณ

นายวีรพงษ์ ศิริกุลประดิษฐ์

นางสาวสุปรียา วังบัวทอง

นางสาวอลิษา ทรัพย์เพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่ออังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ	2
1.5 รายละเอียดของปฏิญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุม	3
2.1.1 อุนหภูมิ	3
2.1.2 ความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์	4
2.1.2.1 ค่าความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์	4
2.1.2.2 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	4
2.2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	4
2.2.1.1 คุณสมบัติของ PIC16F877A	5
2.2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม	6
2.2.3 ความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	6
2.2.4 หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	6
2.2.5 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	7
2.3 เครื่องทำความชื้นชนิดอัลตราโซนิค	10
2.4 อุปกรณ์ในการให้ความร้อน	11
2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 คุณสมบัติเบื้องต้น	11
2.5.2 ลำดับคำสั่ง (Command Sequence)	13
2.5.3 คำสั่งในการทำงาน และการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์	15
2.6 ส่วนแสดงผลทางโมดูล LCD	18
2.6.1 โครงสร้างของโมดูล LCD	19
2.7 คีย์แพด (Keypad)	20
2.8 ZigBee	20
2.8.1 คุณสมบัติของโมดูล ZigBee	21
2.8.2 รูปแบบระบบเครือข่ายของโมดูล ZigBee	21
2.8.3 การติดต่อโมดูล Zigbee กับคอมพิวเตอร์	22
2.8.4 การกำหนดค่าให้โมดูล Zigbee	24
2.8.5 การรับส่งข้อมูลโดยอาศัยโมดูล Zigbee	26
บทที่ 3 โครงสร้างและการออกแบบ	28
3.1 โครงสร้างโรงเรียนจำลอง	28
3.2 หลักการทำงานของระบบ	29
3.3 ส่วนของวงจร	33
3.3.1 วงจรควบคุมพัลลัม	33
3.3.2 วงจร โพลิตสเตอร์รีเลย์	33
3.3.3 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความชื้น	34
3.3.4 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความร้อน	34
3.3.5 วงจรแสดงผลผ่านทางโมดูล LCD	35
3.3.6 วงจรอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	37
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	47
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ปัญหาที่พบและอุปสรรค	47
5.3 แนวทางการแก้ไขและปรับปรุง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุม	51
ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	71
ประวัติผู้จัดทำ	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

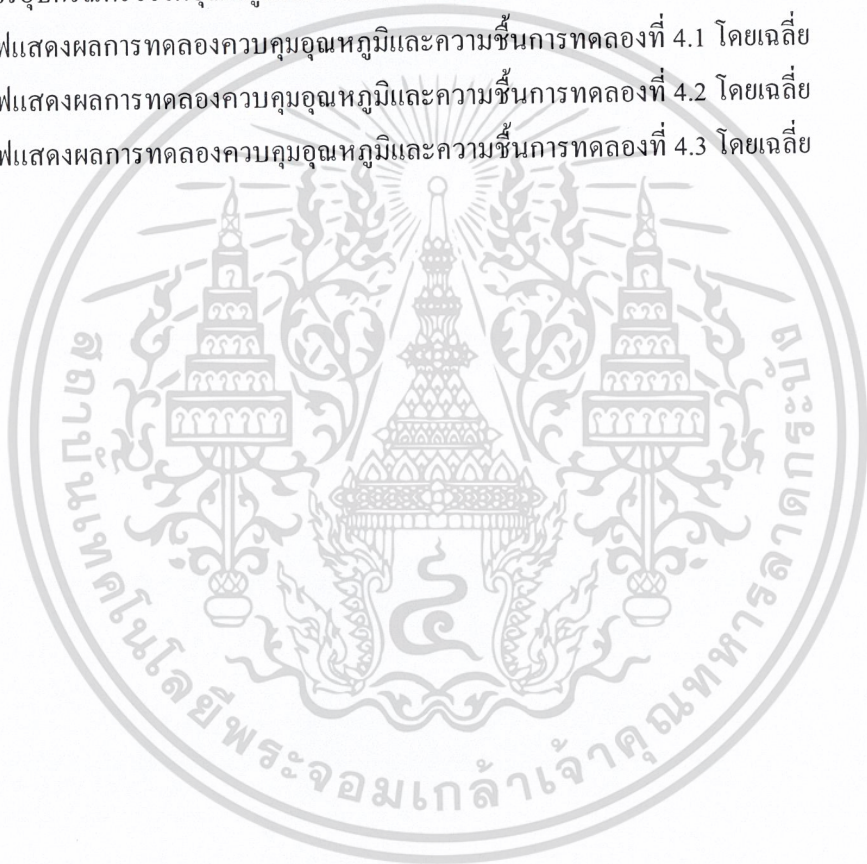
รูปที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างของPIC 16F877A	6
2.2	สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	8
2.3	เครื่องทำความขึ้นชนิดอัลตราโซนิก	10
2.4	ขดลวดความร้อน	11
2.5	ลักษณะของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15	12
2.6	โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ SHT15	12
2.7	ลักษณะสัญญาณเมื่อเริ่มต้นการทำงาน (Transmission Start)	13
2.8	การรีเซ็ตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence)	13
2.9	แผนภาพเวลาการทำงานคุณลักษณะของสัญญาณเข้าและออก	14
2.10	การรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์	15
2.11	ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์	16
2.12	ลักษณะสัญญาณในการรับข้อมูลจากเซนเซอร์	16
2.13	ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูล CRC 1byte จากเซนเซอร์	17
2.14	ลักษณะจอโมดูล LCD	19
2.15	ลักษณะโครงสร้างของจอโมดูล LCD	19
2.16	แสดงลักษณะของคีย์แพด (Keypad)	20
2.17	การเชื่อมต่อบอร์ดภาครับเข้ากับคอมพิวเตอร์	22
2.18	หน้าต่างกำหนดการเชื่อมต่อของโปรแกรม X-CTU	23
2.19	หน้าต่างแสดงการเชื่อมต่อสมบูรณ์	24
2.20	การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Zigbee Coordinator	25
2.21	การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Zigbee End Device	26
2.22	การรับค่าอุณหภูมิและความชื้นจากภาคส่งกับเซ็นเซอร์ SHT15	27
3.1	แสดงลักษณะโรงเรือนจำลอง	28
3.2	หลักการทำงานของระบบ	29
3.3	แผนผังการแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบ	30
3.4	แผนผังแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนจำลอง	31
3.5	แผนผังแสดงผลการควบคุมความชื้นในโรงเรือนจำลอง	32
3.6	วงจรควบคุมพัลลัม	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 วงจรโซลิตสเตตรีเลย์	34
3.8 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความชื้น	34
3.9 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความร้อน	35
3.10 วงจรแสดงผลผ่านทางโมดูล LCD	35
3.11 วงจรอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15	36
4.1 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 โดยเฉลี่ย	39
4.2 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 โดยเฉลี่ย	42
4.3 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 โดยเฉลี่ย	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเก็บรักษาเมตล็ดพันธุ์	3
2.2 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	9
2.3 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ SHT15	12
2.4 ตารางคุณลักษณะของสัญญาณเข้าและออก (I/O Characteristics)	14
2.5 คำสั่งในการทำงานและการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์	15
2.6 ตารางแสดงการหาค่า d1, d2 ขนาด 14 bit, 12 bit ที่แรงดัน 5 V และ 3V	17
4.1 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 ครั้งที่ 1	37
4.2 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 ครั้งที่ 2	38
4.3 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 ครั้งที่ 3	38
4.4 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 โดยเฉลี่ย	39
4.5 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 ครั้งที่ 1	40
4.6 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 ครั้งที่ 2	41
4.7 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 ครั้งที่ 3	41
4.8 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 โดยเฉลี่ย	42
4.9 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 ครั้งที่ 1	43
4.10 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 ครั้งที่ 2	44
4.11 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 ครั้งที่ 3	44
4.12 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 โดยเฉลี่ย	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงเครือข่ายแบบไร้สาย มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มนุษย์จึงมีทางเลือกที่จะนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลผลิตที่ได้จากการเกษตรบางชนิดต้องการอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม จึงได้นำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของผลผลิตทางการเกษตร ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกษตรกรได้รับผลประโยชน์เพิ่มขึ้น

ในโครงการนี้ได้จัดทำระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติขึ้น เพื่อช่วยในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีการป้อนค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านทางคีย์แพด (Keypad) โดยระบบควบคุมอุณหภูมิจะใช้พัดลมระบายอากาศและขดลวดความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิ และใช้เครื่องทำความชื้นชนิดอัลตราโซนิค (Ultrasonic Humidifiers) ในการควบคุมความชื้น โดยมีการแสดงผลผ่านทางจอแสดงผลชนิดผลึกเหลว (Liquid Crystal Display : LCD) และมีการส่งข้อมูลผ่านทางเครือข่ายไร้สายโดยอาศัย โมดูล Zigbee เพื่อไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

1.2 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนจำลองโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877
2. ศึกษาวงจรการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น รวมทั้งศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15
3. ศึกษาเกี่ยวกับหน้าจอแสดงผลชนิดผลึกเหลว (Liquid Crystal Display : LCD)
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877
5. ศึกษาเกี่ยวกับระบบเครือข่ายไร้สายโดยอาศัยโมดูล ZigBee ให้สามารถรับและส่งข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น เพื่อแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ทำการศึกษาและทดลองใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบควบคุม
2. ทำการศึกษาและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ประกอบเป็น โครงสร้างทางกล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุม
3. ทำการศึกษาระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตรกรรม

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ

1. ทำการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับ โครงการ
2. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ในการทำโครงการ
3. ศึกษาทำความเข้าใจในการทำงานของอุปกรณ์ในการทำโครงการ
4. ออกแบบและจัดทำวงจรที่ใช้ในการทำโครงการ
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877
6. เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบของโครงการ
7. ทดสอบการทำงานของโครงการ บันทึกผลการทดลอง
8. สรุปผลการทำงาน

1.5 รายละเอียดของปริิญาณิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิญาณิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำกล่าวถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขตของโครงการ ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปริิญาณิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกล่าวถึงหลักการแลทฤษฎีที่เกี่ยวข้องวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องและนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอการประกอบโครงสร้างของระบบ รวมถึงแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุม

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ ตลอดจนการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ก่อนที่จะมีการออกแบบและสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือน นั้น จำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นของระบบควบคุมที่สนใจให้เข้าใจเสียก่อน พบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนนั้นมีส่วนสำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษา และอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำไปใช้งานจริงในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุม และอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุม

ระบบควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือนจำลองนั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญในการควบคุม อยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมอุณหภูมิ และส่วนควบคุมความชื้น

2.1.1 อุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร การควบคุมอุณหภูมิทำให้ลดการเสียหายของผลิตผลทางการเกษตรเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น แมลง และการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช เป็นต้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมล็ดพันธุ์พืชสามารถงอกได้ สามารถแสดงได้โดยตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์

ชนิดพืช	อุณหภูมิ (° C)		
	ต่ำสุด	เหมาะสม	สูงสุด
ข้าว	10-20	20-30	40-42
ข้าวโพด	3-5	15-20	30-40
ข้าวบาร์เลย์	8-10	25	40-44
ข้าวสาลี	3-5	15-20	30-43

ข้อมูลจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์

จากโครงการสามารถแบ่งหัวข้อความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ได้ 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 ค่าความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้น (Humidity) หมายถึง จำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relatively Humidity: RH) หมายถึง “อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน” หรือ “อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว” ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%)

2.1.2.2 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

การเก็บผลิตผลทางการเกษตรในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ ผลิตผลทางการเกษตรแต่ละชนิดต้องการความชื้นในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จะทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรไม่ให้เกิดความเสียหายได้

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภทนี้คือ พยายามรวมฟังก์ชันการทำงานหลายๆ อย่างเอาไว้ในตัวไม่ว่าจะเป็น Program Memory, RAM, EEPROM, Serial Port, I²C, PWM, A/D เป็นต้น

2.2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ส่วนประกอบหลักคือ CPU หน่วยความจำข้อมูล ส่วนติดต่อพอร์ต ส่วนจัดการสัญญาณนาฬิกาของระบบ วงจรรีเซตหลัก ส่วนควบคุมการตอบสนองอินเทอร์รัปต์และส่วนจัดการด้านไฟเลี้ยง แต่จะมีโมดูลพิเศษเพิ่มเติมเข้ามาหากพอสมควร เพื่อช่วยให้ PIC16F877 มีความสามารถสูงมากขึ้น ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (Brown out reset) ส่วนแก้ไขข้อมูลส่วนวงจรหรือดีบั๊กเกอร์ (In circuit debugger) วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (Low voltage programming) โมดูลสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณวงจร มอดูลชั้นทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (CCP : Compare Capture Pulse width modulation) นอกจากนี้ในอนุกรม PIC16F877 จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อก และโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

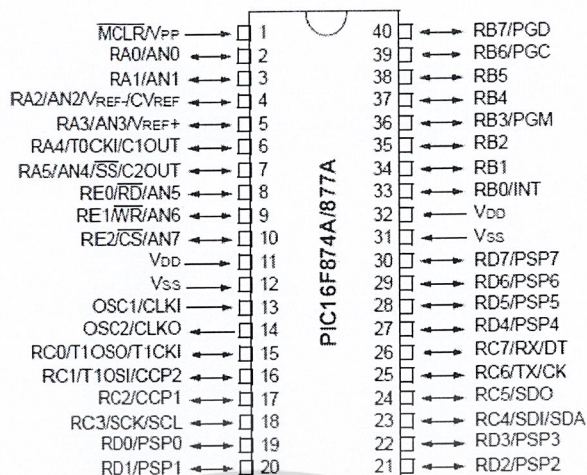
2.2.1.1 คุณสมบัติของ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีคุณสมบัติสำคัญๆ ดังต่อไปนี้

1. มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง
2. คำสั่งหนึ่งๆ ใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle
3. ทำงานได้สูงสุดที่ 20MHz
4. ทำงานแบบ Pipe-line ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆ กันได้
5. หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8 kWord
6. มี RAM ขนาด 368 ไบต์ ให้เราใช้งาน
7. มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์
8. ตอบสนองกับอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งหมด 14 แหล่ง
9. มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
10. มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer
11. Watchdog timer
12. มีระบบ Code Protection
13. มีโหมดประหยัดพลังงาน
14. สัญญาณนาฬิกา มีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจร RC ก็ได้
15. สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5VDC ได้
16. ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming
17. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2VDC ถึง 5.5VDC
18. Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25 mA
19. มี Timer/Counter 3 ตัว
20. มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด
21. มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้า ในตัวเอง
22. มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232 หรือดีกว่า
23. มีระบบตรวจระดับไปเลี้ยง (Brown-out reset)
24. มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต

โดยโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ PIC 16F877

2.2.2 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 มีหน่วยความจำข้อมูลเริ่มสำหรับใช้งานทั่วไป 368 ไบต์ มีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 บิต 54 บิต 56 บิต แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่มีการใช้งานจริงในแต่ละแบงก์ต่างกัน

2.2.3 ความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

ภาคของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC 16F877 ใช้เวลาเพียง 0.25 μ s แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จากบริษัท Microchip และได้พัฒนาให้มีความเร็วมากกว่าเดิม

2.2.4 หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

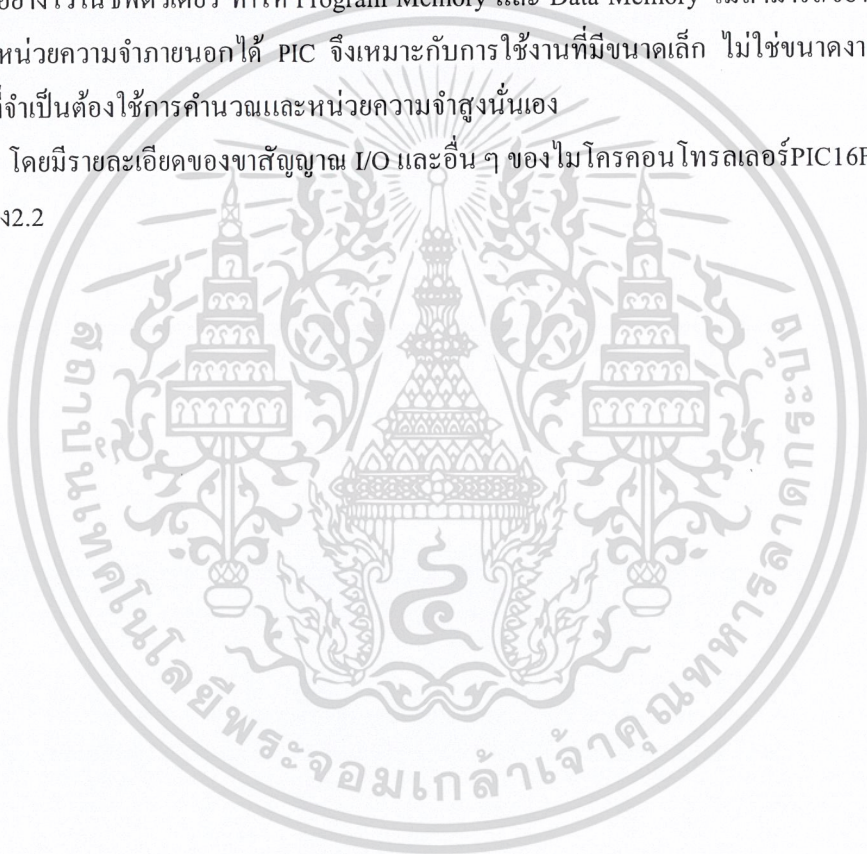
ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คือ อยู่ระหว่าง 512 เวิร์ด ถึง 4 กิโลเวิร์ด แต่ในปัจจุบันบริษัท Microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้หน่วยความจำของ PIC มีขนาดเป็นหลายกิโลไบต์ และยังมีการพัฒนาให้มีความจุเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่ 1 คำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 บิต ดังนั้นจะเรียกว่า 1 เวิร์ด ของ PIC จะมีขนาด 14 บิต เช่น PIC 16F84A ระบุว่ามีความจำ 1 กิโล ซึ่งหมายถึง 1 กิโลเวิร์ด ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 ไบต์ = 8 บิต จะได้ $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$ บิต ดังนั้น $14,336 \times 1,024 = 1.75$ กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

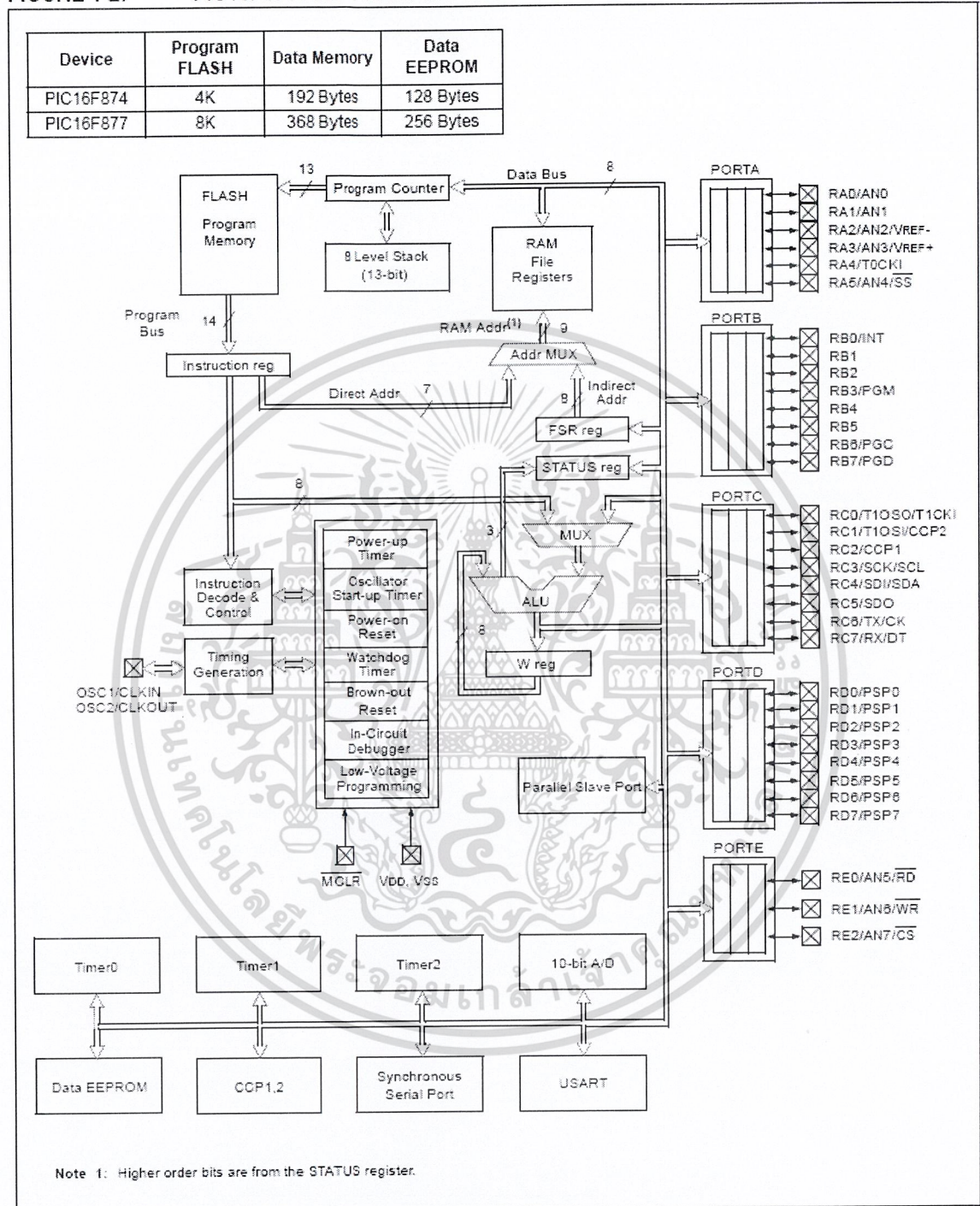
ในปัจจุบันมี 3 สายหลักซึ่งในอดีตมีเพียงสองแบบ คือ ประเภทที่ขึ้นต้นด้วย IC เบอร์ 16xxx, IC เบอร์ 17xxx แต่ปัจจุบันมี IC เบอร์ 18xxx ถ้ากล่าวถึงคุณสมบัติที่เพิ่มมากขึ้นนั้นหากทำการเรียงจากน้อยไปมากแล้วจะได้ว่า IC เบอร์ 16xxx, IC เบอร์ 17xxx, IC เบอร์ 18xxx ซึ่งคำสั่ง assembly ของ IC เบอร์ 17xxx, IC เบอร์ 18xxx มีมากกว่า IC เบอร์ 16xxx ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น และราคาก็จะเพิ่มขึ้น แต่ที่เป็นที่นิยมคือ IC เบอร์ 16xxx ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว PIC จะยึดถือการออกแบบที่รวบรวมทุกอย่างไว้ในชิปตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดเพิ่ม ผลที่ตามมาคือแผ่นวงจรมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อเสีย เนื่องจากหลักการที่รวบรวมทุกอย่างไว้ในชิปตัวเดียว ทำให้ Program Memory และ Data Memory ไม่สามารถขยายโดยใช้ร่วมกับหน่วยความจำภายนอกได้ PIC จึงเหมาะกับการใช้งานที่มีขนาดเล็ก ไม่ใช่ขนาดงานที่ใหญ่ๆ ที่จำเป็นต้องใช้การคำนวณและหน่วยความจำสูงนั่นเอง

โดยมีรายละเอียดของขาสัญญาณ I/O และอื่น ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีดังตาราง 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE0/RD/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.
RE1/WR/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.
RE2/CS/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

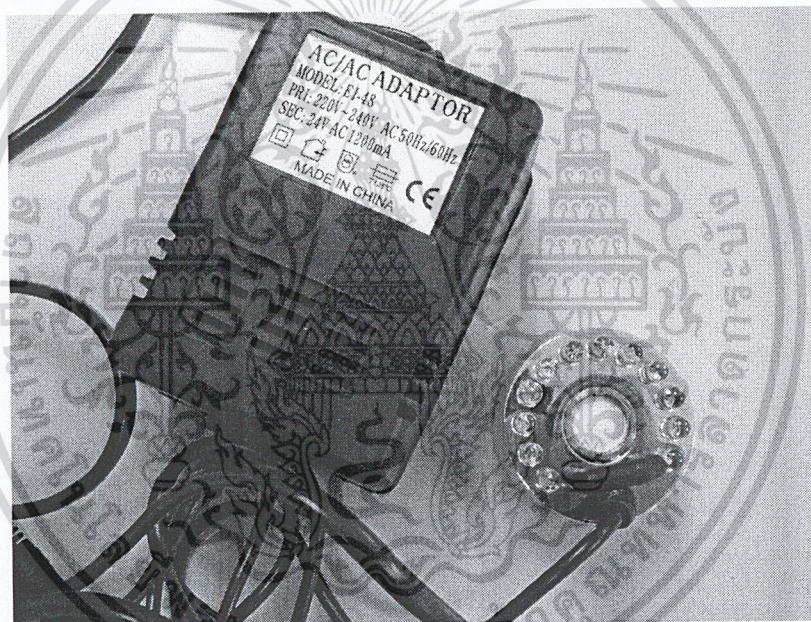
- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เครื่องทำความชื้นชนิดอัลตราโซนิค (Ultrasonic Humidifiers)

ตัวทำความชื้นถูกปรับใช้ในการปรับระดับความชื้นให้อยู่ในช่วงที่สามารถควบคุมได้ในระบบการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ลดการเกิดไฟฟ้าสถิตในห้องคอมพิวเตอร์และห้องควบคุมเครื่องความสะอาดของโรงงานอุตสาหกรรม

เครื่องทำความชื้นชนิดอัลตราโซนิค (Ultrasonic Humidifiers) จะสร้างกลุ่มหมอกไอน้ำที่ปราศจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโดยใช้การสั่นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นการสั่นเชิงกล โดยใช้แผ่นเพียโซ (Piezo disk) จุ่มลงในน้ำ การสั่นเชิงกลจะมีผลโดยตรงต่อผิวน้ำซึ่งทำให้เกิดความถี่สูงที่บริเวณผิวน้ำทำให้เกิดกลุ่มหมอกหยดน้ำบริเวณนั้น กระบวนการนี้ไม่สามารถส่งผ่านความร้อนได้และไม่ทำให้เกิดการกักครอนซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพของภายในอาคาร โดยลักษณะของเครื่องทำความชื้นชนิดอัลตราโซนิค (Ultrasonic Humidifiers) แสดงในรูปที่ 2.3

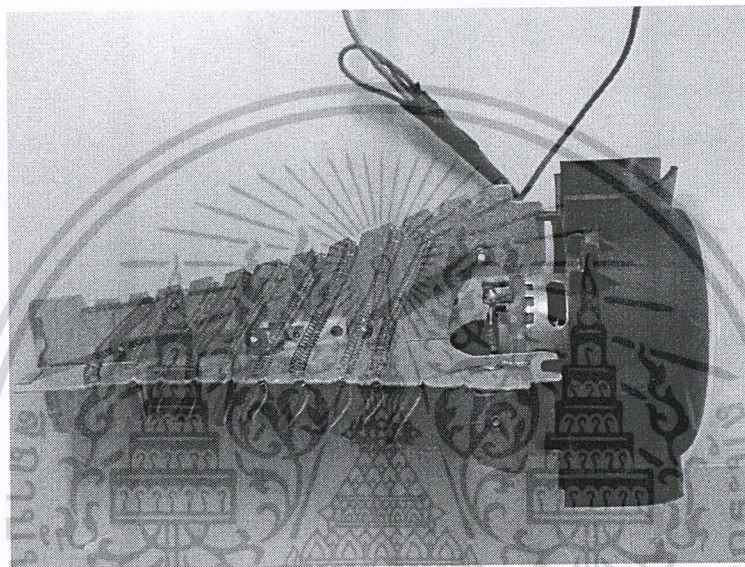


รูปที่ 2.3 เครื่องทำความชื้นชนิดอัลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์ในการให้ความร้อน

ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่โรงเรือนนั้นในโครงการนี้ได้นำขดลวดทำความร้อน มาใช้ในการให้ความร้อน โดยการส่งลมร้อนเข้าสู่ตัวโรงเรือน โดยใช้กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ มีกำลังไฟ 2000 วัตต์ ในการทำความร้อน มีข้อดีกว่าการใช้อุปกรณ์ทำความร้อนชนิดแท่ง (Heater) ในเรื่องความร้อนที่ยังคงแผ่ออกมาจากอุปกรณ์หลังจากที่อุปกรณ์ทำความร้อนชนิดแท่งหยุดการทำงานลงไปเรียบร้อยแล้ว ลักษณะของขดลวดความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขดลวดความร้อน

2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

ส่วนการวัดผลทางอุณหภูมิจะวัดค่าอุณหภูมิโดยใช้เซนเซอร์ SHT15 เป็นอุปกรณ์ในการวัด เนื่องจากเซนเซอร์ SHT15 สามารถวัดค่าได้ทั้งอุณหภูมิ และความชื้น เพราะมีตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) อยู่ใน เซนเซอร์ SHT15 เป็นอุปกรณ์ที่นำค่าเอาต์พุตที่ได้ไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อนำไปผ่านการคำนวณค่ามาตรฐานของอุปกรณ์จึงจะได้ค่าอุณหภูมิและความชื้น

2.5.1 คุณสมบัติเบื้องต้น

เซนเซอร์ SHT15 มีลักษณะดังรูปที่ 2.5 สามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น และยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ หลายประการ

- มี 2 เซนเซอร์ภายใน สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ได้ตั้งแต่ 1-99.9% ความละเอียดในการวัด 0.1%RH
 - สามารถวัดค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 0-125°C ความละเอียดในการวัด 0.1°C
 - ใช้แหล่งจ่ายไฟ +5V กินกระแสไฟต่ำ
 - มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ 0.5°C ส่วนความชื้นที่ 3.5%RH
- ลักษณะโครงสร้างของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 แสดงในตารางที่

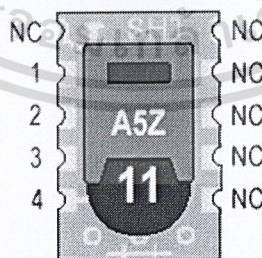
2.3 และแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ลักษณะของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

ตารางที่ 2.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ SHT15

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NG	NC	Must be left unconnected



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

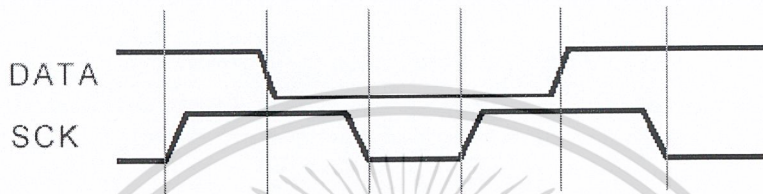
2.5.2 ลำดับคำสั่ง (Command Sequence)

2.5.2.1 การเริ่มต้นการทำงาน (Transmission Start)

ลักษณะเงื่อนไขของสัญญาณมีลักษณะเป็น

- Data เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 \downarrow ขณะที่ SCK ลูกแรก เป็น 1
- Data เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 \uparrow ขณะที่ SCK ลูกที่ 2 เป็น 1

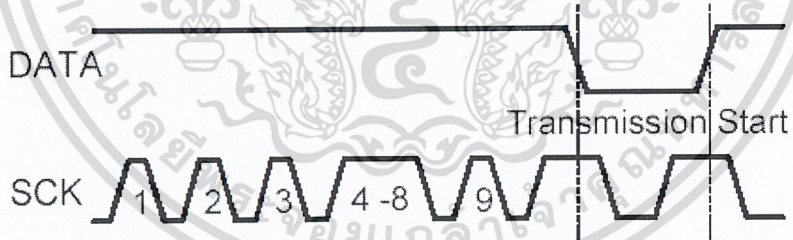
ลักษณะของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะสัญญาณเมื่อเริ่มต้นการทำงาน (Transmission Start)

2.5.2.2 การรีเซ็ตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence)

เมื่อขาดการติดต่อกับอุปกรณ์ ให้ส่งสัญญาณนาฬิกา (SCK) ไปอย่างน้อย 9 ลูก ขณะที่สัญญาณรับส่งข้อมูล (Data) เป็น 1 แล้วตามด้วย Transmission Start ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การรีเซ็ตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence)

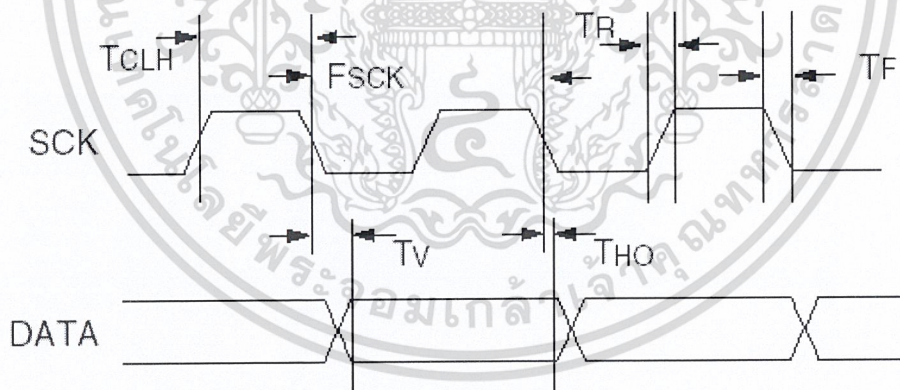
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 คุณลักษณะของสัญญาณเข้าและออก (I/O Characteristics)

คุณลักษณะของสัญญาณเข้าและออก (I/O Characteristics) แสดงในตารางที่ 2.4 และรูปที่ 2.9

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของสัญญาณเข้าและออก (I/O Characteristics)

	Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max	Unit
FSCK	SCK frequency	VDD > 4.5 V			10	MHz
		VDD > 4.5 V			1	MHz
TRFO	DATA fall time	Output load 5 pF	3.5	10	20	Ns
		Output load 100 pF	30	40	200	Ns
TCLH	SCK high time		100			Ns
TCLL	SCK low time		100			Ns
TV	DATA valid from			50		Ns
THO	Output hold time		0	10		Ns
TR/TF	SCK rise/fall time				200	Ns



รูปที่ 2.9 แผนภาพเวลาการทำงานคุณลักษณะของสัญญาณเข้าและออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 คำสั่งในการทำงาน และการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์

คำสั่งในการทำงานและการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คำสั่งในการทำงานและการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์

Command	Code	Description
Reserved	0000x	Reserved
Measure Temperature	00011	Temperature measurement
Measure Humidity	00101	Humidity measurement
Status Register Read	00111	Read access to the status register (see application note)
Status Register Write	00110	Write access to the status register (see application note)
Reserved	0101x- 1110x	Reserved
Soft reset	11110	resets the chip, clears the status register to default values
		wait 11ms before next command

2.5.3.1 การอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์

ชุดคำสั่งประกอบด้วย Transmission Start + Address + Command โดย Address = 000 3 bit + Command 5 bit ดังแสดงในรูปที่ 2.10

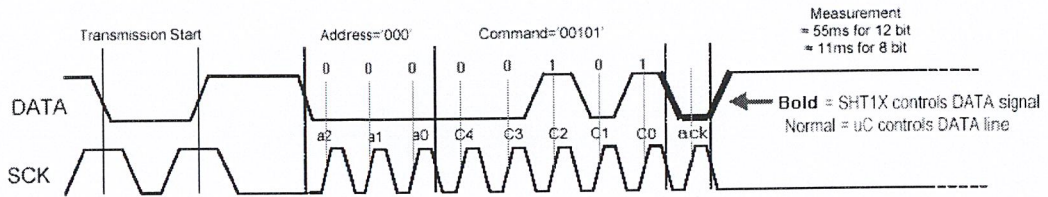


รูปที่ 2.10 การรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์

2.5.3.2 การอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

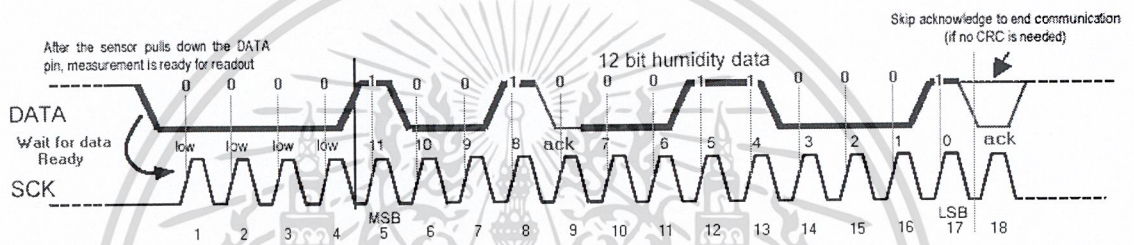
การอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตัวอย่างเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องการอ่านค่าความชื้นจากเซนเซอร์ซึ่งมี Address = 000 และคำสั่ง = 00101 จะมีชุดคำสั่งดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์

เมื่อเซนเซอร์รับทราบคำสั่งแล้วจะส่ง Acknowledge (ACK) ด้วยการดึง Data ลงเป็น 0 (เส้นทึบ) แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะสัญญาณในการรับข้อมูลความจากเซนเซอร์

- ข้อมูลของอุณหภูมิมีขนาด 14 บิต และ ความชื้นมีขนาด 12 บิต (สามารถเปลี่ยนได้เป็น 12 และ 8 บิต โดยสถานะการทำงาน)

- เมื่อได้รับ Acknowledge แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รอสักครู่ประมาณ > 210 ms เพื่อให้เซนเซอร์พร้อม แล้วจึงส่งสัญญาณ SCK ต่อไปอีก 2 ไบต์ สำหรับรับข้อมูล และ 1 ไบต์ สำหรับข้อมูลตรวจสอบความผิดพลาด (CRC)

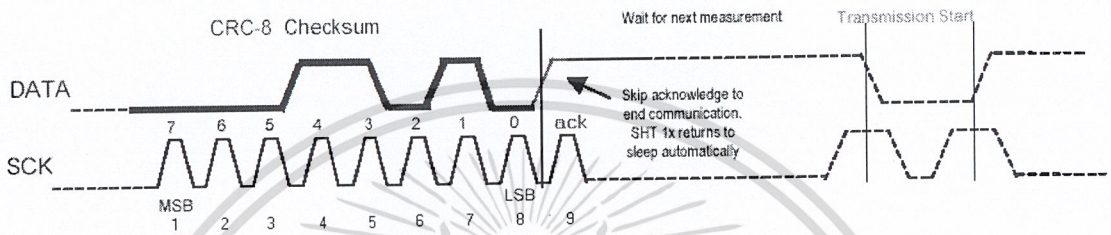
จากตัวอย่างจะสามารถอ่านข้อมูล 12 บิตของความชื้น (4 บิต แรกเป็น 0 เสมอ) ได้เป็น 0000 1001 0011 0001 = 2353 (dec) = 75.79 %RH เมื่อได้ข้อมูลครบแล้วหากต้องการ CRC ให้ตอบ Acknowledge ด้วยการดึง Data ลงเป็น 0 หากไม่ต้องการก็ข้ามขั้นตอนนี้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3 การอ่านข้อมูลเพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาด (CRC)

ส่งสัญญาณ SCK ต่อไปอีก 1 ไบต์ (8 บิต) สำหรับข้อมูล CRC

- หากสิ้นสุดการติดต่อก็ไม่ต้องตอบ Acknowledge ปล่อยให้ Data เป็น 1 ไว้ เมื่อผ่าน SCK ลูกที่ 9
- หากต้องการอ่านข้อมูลต่อ ให้ตอบ Acknowledge ด้วยการดึงขา Data ลงเป็น 0 แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณในการอ่านข้อมูล CRC 1 ไบต์จากเซนเซอร์

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงการหาค่า d1, d2 ขนาด 14 bit, 12 bit ที่แรงดัน 5 V และ 3V

	Celsius		Fahrenheit	
	d1	d2	d1	d2
SOT				
14 bit 5V	-40	0.01	-40	0.018
12 bit 5V	-40	0.04	-40	0.072
14 bit 3V	-38.4	0.0098	-37.1	0.0176
12 bit 3V	-38.4	0.0392	-37.1	0.0704

2.5.3.4 การเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัล

การเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นข้อมูลอุณหภูมิ ค่าของข้อมูลอุณหภูมิมิลักษณะเป็นเชิงเส้น สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{Temperature} = d_1 + d_2 * SO_T \tag{2.1}$$

เมื่อ SO_T = Serial Output Temperature

d_1, d_2 เป็น ค่าคงที่เชิงเส้น

เช่น อ่านข้อมูลดิจิตอลขนาด 14 bit ได้ SOT = 011010 11111111B = 06911 dec ที่แรงดัน 5 V เมื่อต้องการอ่านค่าเป็นองศาเซลเซียสจะได้ค่า $d1 = -40$, $d2 = 0.01$ ผลการคำนวณ temperature = 29.11 °C

การเปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นข้อมูลความชื้น ค่าของข้อมูลความชื้นมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

คำนวณหา RH_{Linear} โดยใช้สูตร

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 * SO_{RH} + c_3 * SO_{RH}^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ $RH =$ Serial Output Humidity แบบ Linear และ c_1, c_2, c_3 มีค่าเป็น

$$c_1 = -4 \quad c_2 = 0.045 \quad c_3 = -2.8 * 10^{-6} \quad \text{for 12 bit } SO_{RH}$$

$$c_1 = -4 \quad c_2 = 0.648 \quad c_3 = -7.2 * 10^{-4} \quad \text{for 8 bit } SO_{RH}$$

เมื่อได้ ค่า RH_{linear} และ T_c แล้ว หาค่า RH_{true} โดยใช้สูตร

$$RH_{true} = (T_c - 25) * (t_1 + t_2 * SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (2.3)$$

เมื่อ $t_1 = 0.01; t_2 = 0.00008, t_2 = 0.00128$ for 8 bit SO_{RH}

เช่น อ่านข้อมูลดิจิตอลขนาด 12 bit ได้ $RH_{linear} = 0110 11111111B = 1791$ dec ที่แรงดัน 5 V อ่านค่า $T_c = 29.11$ °C เมื่อต้องการหาค่า humidity จะได้ค่า $c_1 = -4$, $c_2 = 0.0405$, $c_3 = -0.0000028$ ผลการคำนวณค่า humidity = 60.18 %RH

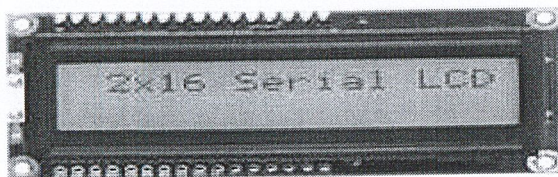
2.6 ส่วนแสดงผลทางโมดูล LCD

เป็นจอแสดงผลแบบผลึกเหลวซึ่งเป็นสารที่รวมตัวกันได้สัดส่วนระหว่างของเหลวกับผลึก LCD มีข้อดีหลายประการ

- กินพลังงานน้อย ต้องการกำลังงานน้อย แรงดันต่ำ
- เชื้อถั่วได้ ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง มีอายุการใช้งานนาน
- การควบคุมการแสดงผลจอดีทำได้ง่าย
- ราคาถูก

ซึ่งด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้โมดูล LCD กลายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ผลิตออกสู่ท้องตลาดในปัจจุบัน โดยในโครงการนี้ได้นำตัวแสดงผลแบบโมดูล LCD แบบแสดงตัวอักษรขนาด 16 x 2 มาใช้ในการทำโครงการ ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

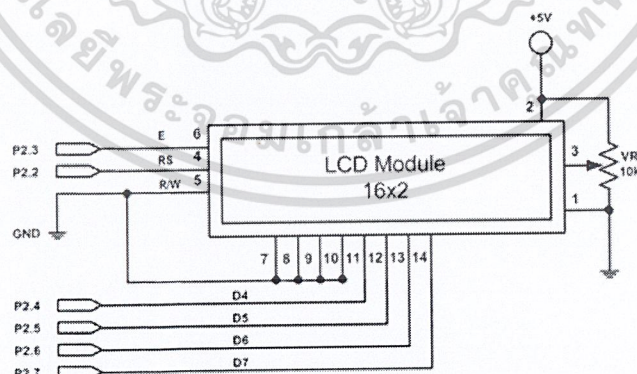


รูปที่ 2.14 ลักษณะจอโมดูล LCD

2.6.1 โครงสร้างของโมดูล LCD

แสดงการจัดขาของโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ดังรูปที่ 2.15

- Vss (ขา 1) : ต่อกราวด์
- Vdd (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง +5 vdc
- Vo (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความขาวของการแสดงผล
- RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้แยกชนิดข้อมูลที่ประมวลผลว่าเป็นคำสั่งหรือข้อมูล โดยถ้าขานี้เป็น 0 ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าเป็น 1 ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลแสดงผล
- RW (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือการเขียนข้อมูลของโมดูล LCD ถ้าเป็น 0 เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น 1 จะเป็นการอ่านข้อมูล
- E (ขา 6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน
- D0-D7 (ขา 7-14) : เป็นขาข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต



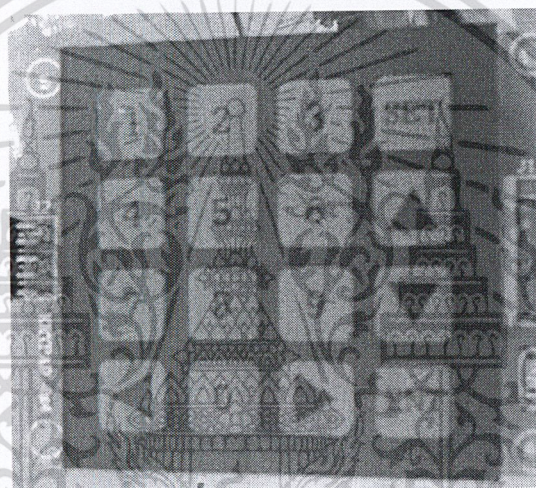
รูปที่ 2.15 ลักษณะโครงสร้างของจอโมดูล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 คีย์แพด (Keypad)

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมกับ ซึ่งแบ่งได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. มีการต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดมาต่อกับวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง วงจรในลักษณะนี้ไม่มีความซับซ้อน สามารถอ่านค่าได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าหากจำนวนของสวิตช์มีมากมาย จำนวนของสายข้อมูลก็จะมีมากตาม ทำให้วงจรโดยรวมจะมีขนาดใหญ่และสิ้นเปลือง
2. มีการต่อวงจรแบบเมตริกซ์ คือสวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแนวนอน จะเรียกแนวตั้งว่าหลัก หรือคอลัมน์ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของคีย์แพด (Keypad)

2.8 ZigBee

ชื่อ ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก และจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกัน ที่เกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่ การทำงานของ ZigBee จะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูล ผ่านชิปเล็กจิ๋วนี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้ อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิ การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำ ท่อแก๊สโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่กินไฟน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZigBee ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล(WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการตัวเองได้ เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจิ๋ว จำนวนเป็นพันๆ หมื่นๆ ชั้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน

2.8.1 คุณสมบัติของโมดูล ZigBee

ZigBee มีระยะการสื่อสารในช่วง 10 - 75 เมตร โดยใช้ความถี่ที่ช่วงของ Unlicensed RF Worldwide (2.4GHz global, 915MHz Americas or 868 MHz Europe) ซึ่งในแต่ละความถี่มีอัตราการรับส่งข้อมูลดังนี้ 250 kbps ที่ 2.4GHz , 40 kbps ที่ 915 MHz และ 20 kbps ที่ 868 MHz ซึ่งในประเทศไทยใช้ความถี่ที่ 2.4 Ghz ซึ่งมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ 250 kbps ในระบบ ZigBee Network อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถที่จะมีสถานะเป็น FFD (Full - Function Device) หรือ RFD (Reduced - Function Device) โดย FFD สามารถที่จะทำงานได้สาม mode คือ PAN Coordinator , Coordinator , or Device ซึ่งใน ZigBee Network ต้องมี FFD อย่างน้อยหนึ่งตัวซึ่งจะทำหน้าที่เป็น PAN Coordinator โดย FFD สามารถที่จะติดต่อได้ทั้ง FFD และ RFD แต่ RFD จะสามารถติดต่อได้เพียง FFD เท่านั้น

2.8.2 รูปแบบระบบเครือข่ายของโมดูล ZigBee

ZigBee สามารถสร้างระบบเครือข่าย ได้ 3 รูปแบบ คือ

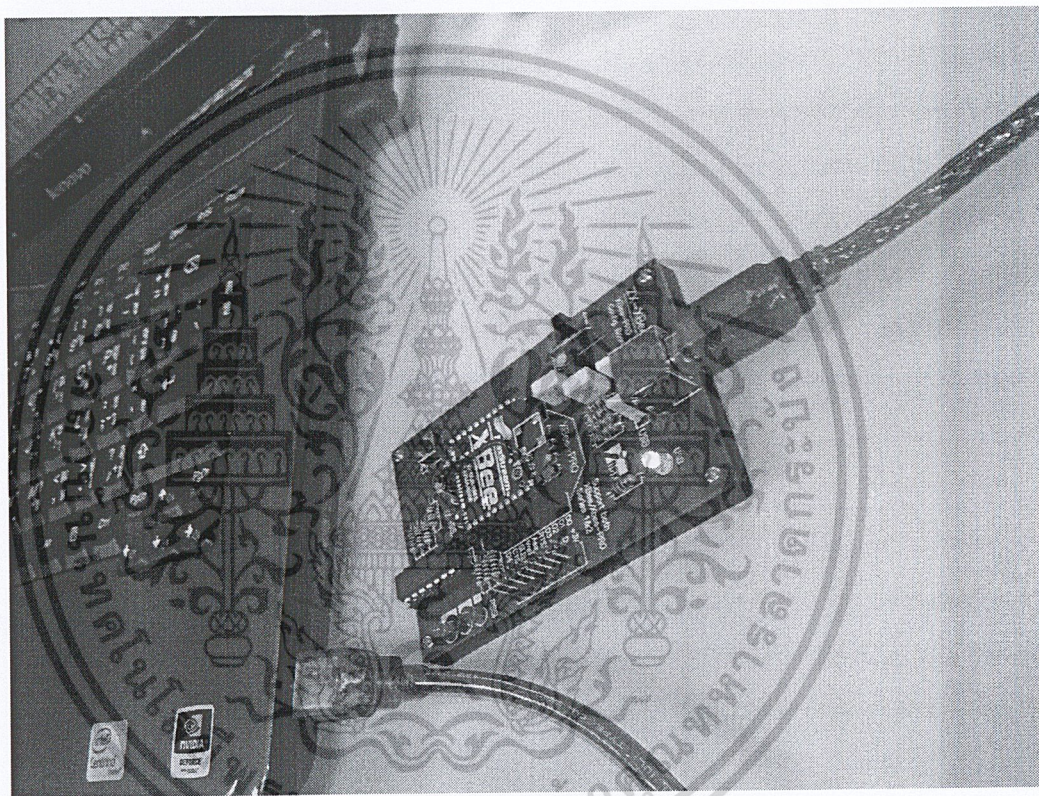
- Star Topology เมื่อ FFD ทำงานเป็นครั้งแรก มันจะทำการสร้าง Network ของตนเอง และจะกลายเป็น PAN coordinator หลังจากนั้นจะทำการเลือก PAN Identifier ซึ่งจะต้องไม่ถูกใช้ในระบบเน็ตเวิร์กอื่น
- Peer - To - Peer Topology จะมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็น PAN Coordinator ซึ่งอุปกรณ์ทุกตัวสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆแบบ Peer - To -Peer ได้ และ Peer - To - Peer Network สามารถที่จะเป็นได้ทั้ง ad hoc, Self - Organizing และ Self-Healing
- Cluster Tree Topology ในการสร้างระบบ Cluster Tree PAN Coordinator จะใช้ตัวเองเป็น Cluster แรกเรียกว่า Cluster Head (CLH) และ Cluster Identifier (CID) เป็นศูนย์ หลังจากนั้นทำการเลือก PAN Identifier และทำการBroadcasting Beacon Frame ไปยังอุปกรณ์ข้างเคียง และเมื่ออุปกรณ์ตัวอื่นได้รับก็จะส่ง Request ไปที่ CLH จากนั้น CLH ทำการยอมรับ และเพิ่มชื่ออุปกรณ์ใน Neighbor List แบบเป็นลูกข่าย (child) ในขณะที่อุปกรณ์ที่เข้ามาใหม่จะเพิ่มชื่อ CLH ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นใน Neighbor List ว่าเป็นแม่ข่าย (parent) หลังจากนั้นก็ทำการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ตัวอื่นๆต่อไป

2.8.3 การติดต่อโมดูล Zigbee กับคอมพิวเตอร์

1) เริ่มต้นด้วยการต่อสายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างบอร์ดภาครับเข้ากับคอมพิวเตอร์ จากนั้นจ่ายไฟให้กับบอร์ดและเมื่อใส่โมดูล Zigbee ลงไปแล้ว ไฟ LED ที่ตำแหน่ง ON จะติดแสดงสถานะพร้อมใช้งานของโมดูล Zigbee ดังรูปที่ 2.17



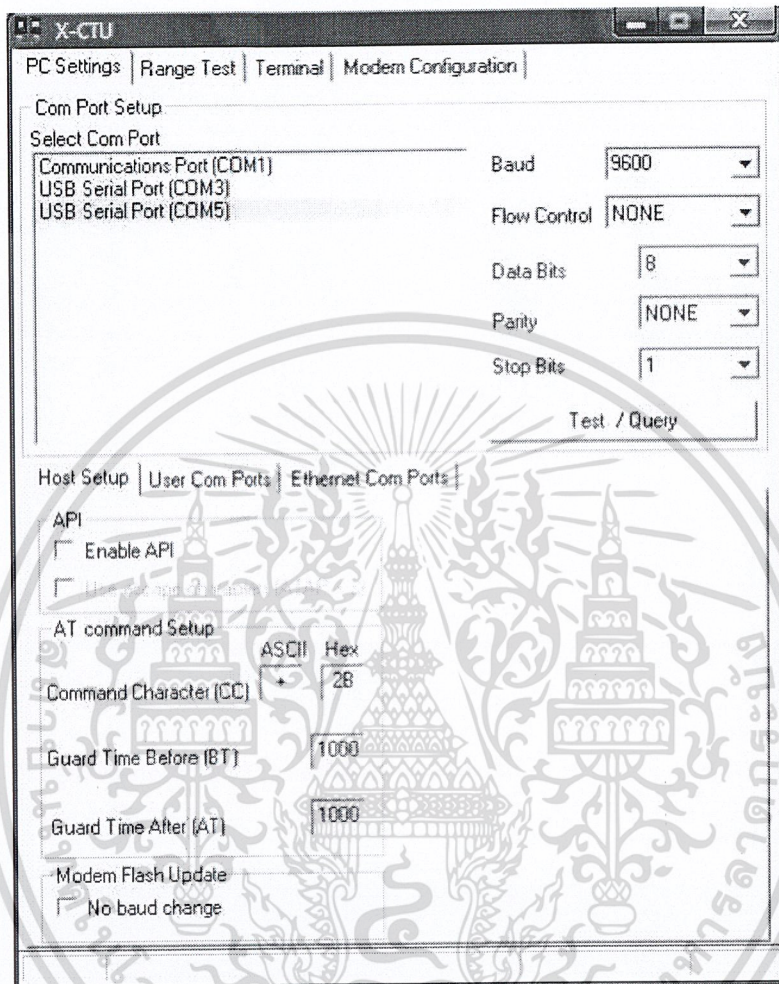
รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อบอร์ดภาครับเข้ากับคอมพิวเตอร์

2) กำหนดการเชื่อมต่อพอร์ตคอมพิวเตอร์กับโมดูล Zigbee โดยใช้โปรแกรม X-CTU ทำการเลือกคอมพอร์ต แสดงในรูปที่ 2.18 และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

- อัตราบอด (Baudrate) ที่ 9600 bps (ซึ่งค่านี้ต้องตรงกับที่กำหนดไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้ากำหนดไว้ไม่ตรงกับตัว Coordinator กับอุปกรณ์ End Device จะไม่สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้)
- Data Bits เป็น 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

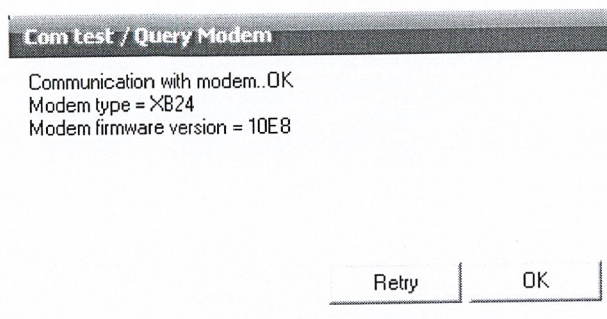
- Parity หรือบิตตรวจสอบเป็น NONE (ไม่มีการตรวจสอบ)
- Stop Bits เป็น 1 บิต



รูปที่ 2.18 หน้าต่างกำหนดการเชื่อมต่อของโปรแกรม X-CTU

- 3) จากนั้นกด Test เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่างโมดูล Zigbee กับโปรแกรม X-CTU ว่าสามารถติดต่อกันได้หรือไม่ เมื่อเชื่อมต่อกันจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 หน้าต่างแสดงการเชื่อมต่อสมบูร์น

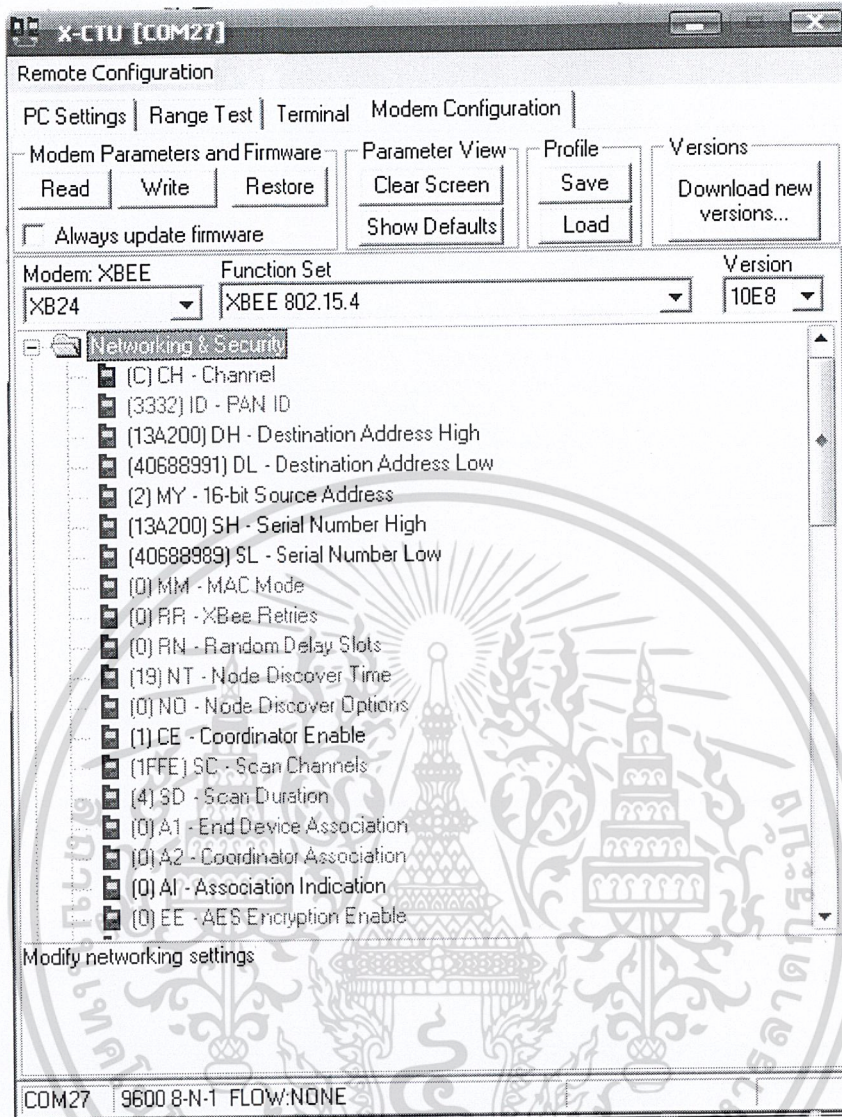
2.8.4 การกำหนดค่าให้โมดูล Zigbee

2.8.4.1 การกำหนดพารามิเตอร์ (Parameter) ให้กับ Coordinator

ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับโมดูล Zigbee ภาครับ โดยจะต้องกำหนดการทำงานด้วยว่าจะให้เป็น Coordinator หรือ End Device โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล Zigbee นั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับเครือข่าย (Networking) ซึ่งมีพารามิเตอร์สำคัญๆ ที่ต้องกำหนดค่าดังนี้ แสดงในรูปที่ 2.20

- CH (Channel) ใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณ
- ID (PAN ID) ใช้ในการกำหนดหมายเลขเครือข่าย
- DH (Destination Address High) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวรับ
- DL (Destination Address Low) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวส่ง
- MY (16-bit Source Address) ใช้กำหนดแอดเดรส 16 บิตของแต่ละโมดูล
- SH/SL (Serial Number High/Low) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าหมายเลขเฉพาะ (Serial Number) ของแต่ละโมดูล ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
- CE (Coordinator Enable) ใช้กำหนดการทำงานของโมดูล Zigbee เป็น Coordinator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

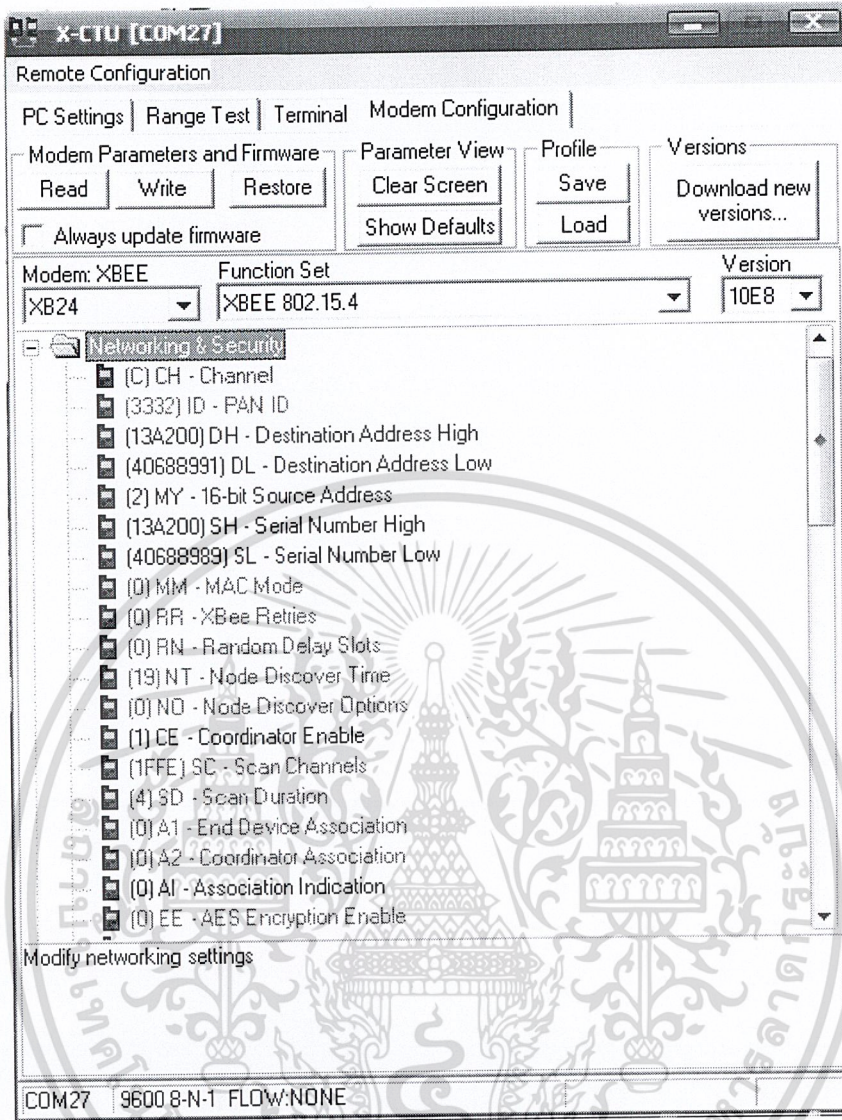


รูปที่ 2.20 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Zigbee Coordinator

2.8.4.2 การกำหนดพารามิเตอร์ (Parameter) ให้กับ End Device

สำหรับ Zigbee ที่ภาคส่ง จะทำงานเป็น End Device โดยมีพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด คล้ายคลึงกับ Zigbee ที่ภาครับ แสดงในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

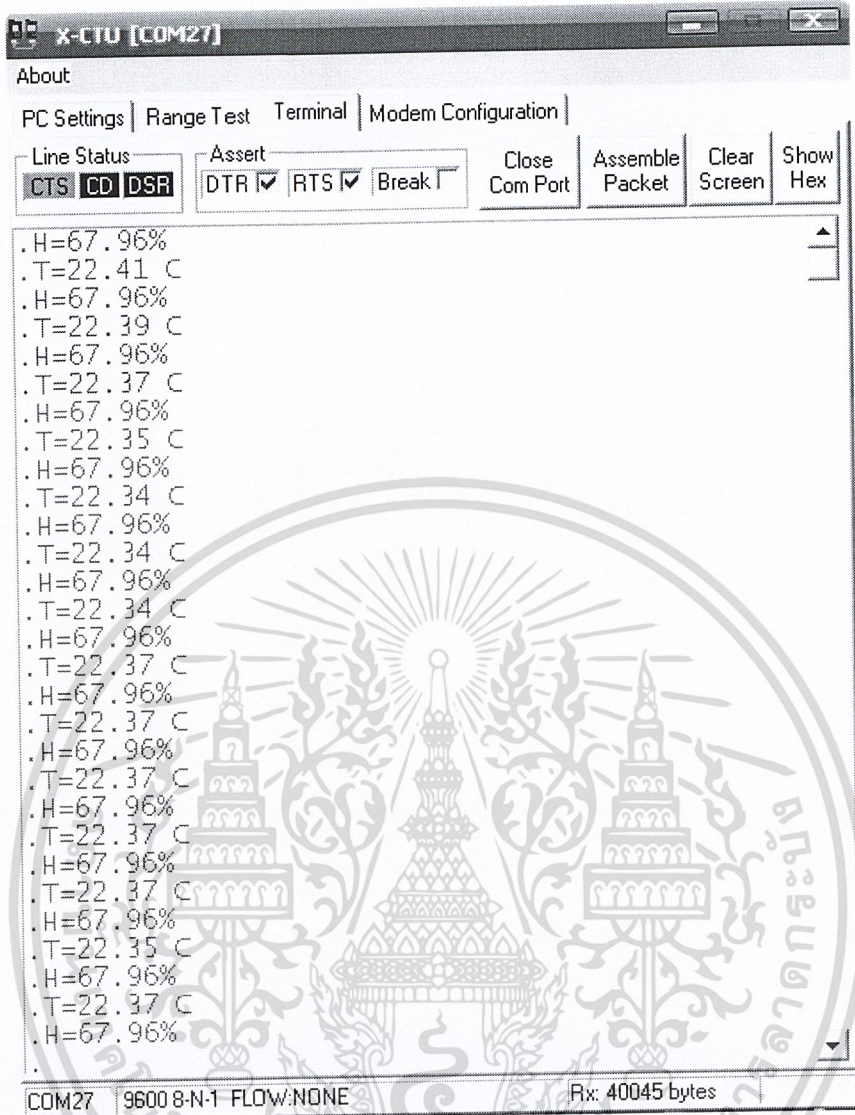


รูปที่ 2.21 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ Zigbee End Device

2.8.5 การรับส่งข้อมูลโดยอาศัยโมดูล Zigbee

เมื่อทำการกำหนดค่าให้โมดูล Zigbee สามารถสร้างเครือข่ายและติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว จะทำการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ภาคส่ง ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งมายังคอมพิวเตอร์โดยผ่านการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล Zigbee ค่าที่วัดได้จะถูกส่งมาแสดงบนโปรแกรม X-CTU แบบ Real Time แสดงดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การรับค่าอุณหภูมิและความชื้นจากภาคส่งกับเซ็นเซอร์ SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

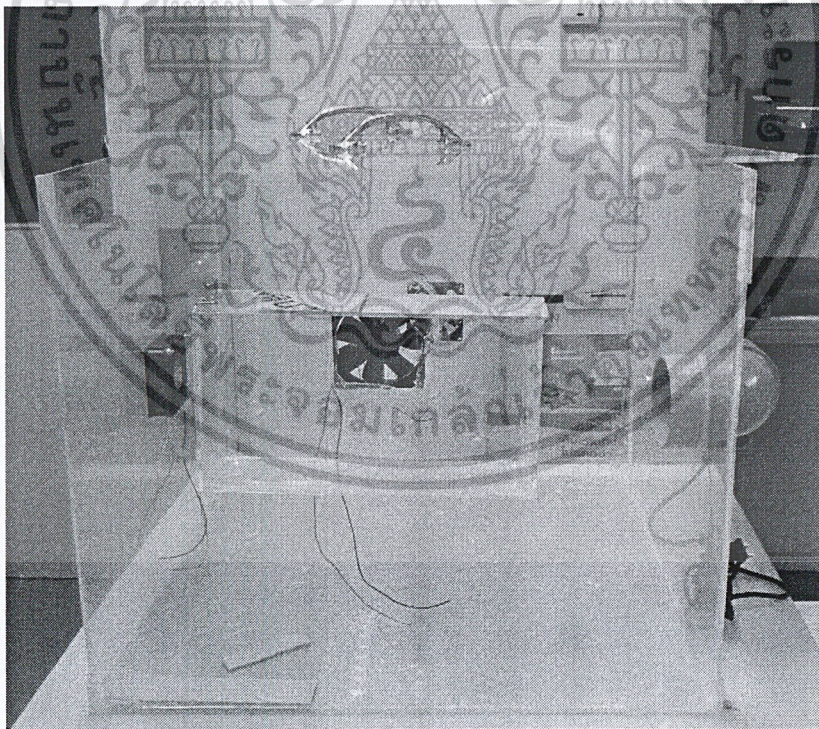
โครงสร้างและการออกแบบ

ภายในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบโรงเรือนจำลอง เพื่อใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ควบคุม อุณหภูมิ และความชื้น มีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้

3.1 โครงสร้างโรงเรือนจำลอง

3.1.1 ลักษณะของโรงเรือน

โรงเรือนจำลองประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของโรงเรือนซึ่งมีขนาด 50 x 60 x 45 เซนติเมตร ซึ่งได้มีการเจาะรูที่ผนังเพื่อทำการติดตั้งชุดพัฒนาระบายอากาศ และส่วนของห้องเก็บ ความชื้น โดยห้องนี้เป็นห้องที่ทำการเก็บไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำที่ถูกเก็บไว้ภายในห้องมาทำความชื้น ให้แก่โรงเรือน โดยมีการเจาะรูที่ผนังเพื่อทำการติดตั้งชุดพัฒนาระบายอากาศเพื่อนำความชื้นเข้าสู่ โรงเรือน ดังรูปที่ 3.1

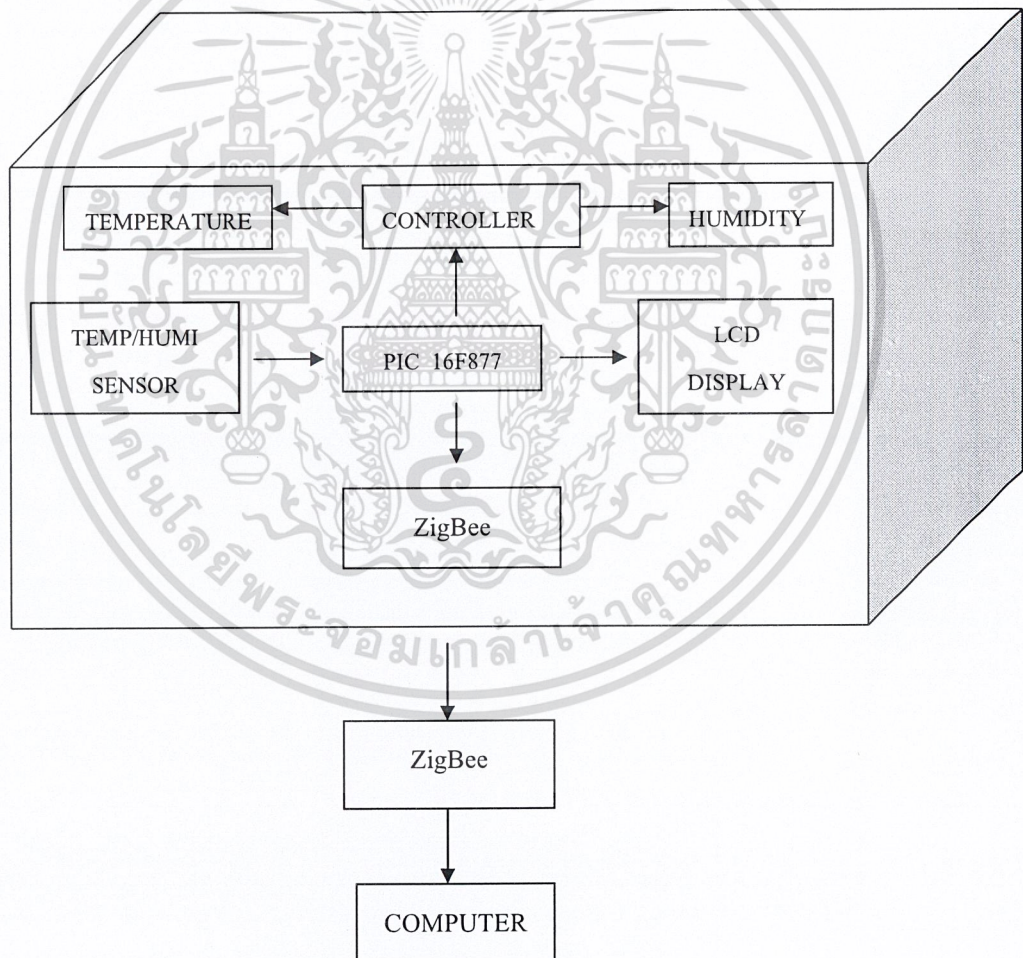


รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะโรงเรือนจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการทำงานของระบบ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงภาพรวมของหลักการทำงานของโครงการเรื่องระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิอัตโนมัติในโรงเรือน ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นตัวประมวลผลหลักในการสั่งการทำงาน โดยตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านทางคีย์แพด ซึ่งหลังจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลที่ได้รับแล้วจะทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน โดยเซนเซอร์ SHT15 จะเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดและเปรียบเทียบอุณหภูมิ และความชื้นภายในโรงเรือน แล้วจึงส่งค่าที่เปรียบเทียบได้กลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลที่ได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิและความชื้นจะแสดงผลที่โมดูล LCD และคอมพิวเตอร์โดยคอมพิวเตอร์จะได้รับข้อมูลผ่านทางโมดูล ZigBee ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงหลักการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากว่าอุณหภูมิของโรงเรือนมากกว่าอุณหภูมิที่กำหนดจะทำการเปิดพัดลมระบายอากาศ และดูอากาศของโรงเรือน หรืออุณหภูมิของโรงเรือนน้อยกว่าอุณหภูมิที่กำหนดจะทำการเปิดขดลวดความร้อน และเปิดพัดลมระบายอากาศและดูอากาศของโรงเรือน ดังรูปที่ 3.4

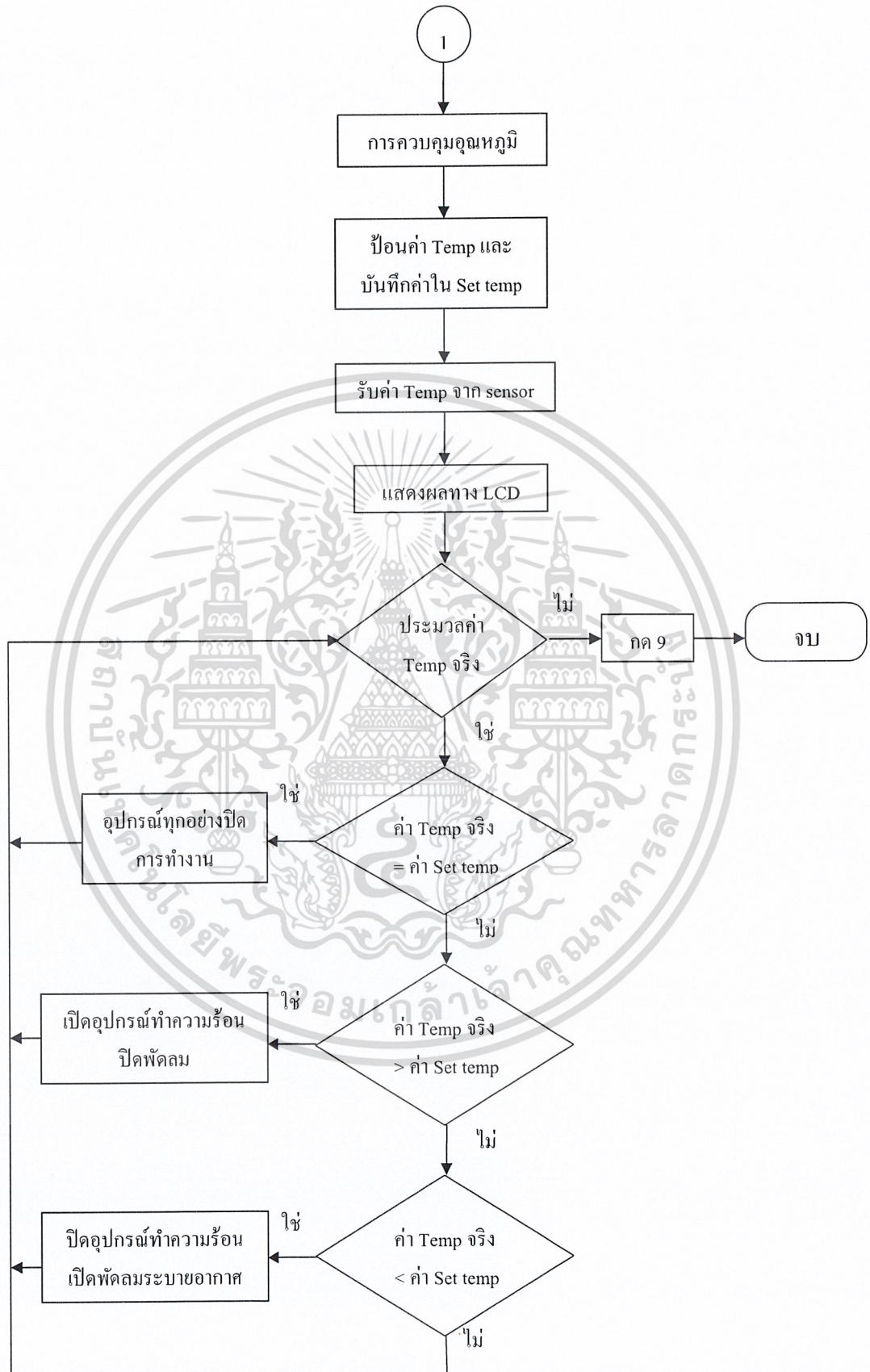
ค่าความชื้นของโรงเรือนมากกว่าค่าความชื้นที่กำหนดจะทำการเปิดพัดลมระบายอากาศ และดูอากาศของโรงเรือน หรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนน้อยกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดจะทำการเปิดอุปกรณ์ทำความชื้น และเปิดพัดลมดูความชื้น ดังรูปที่ 3.5

และเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ทำการป้อนเข้าไปได้เท่ากับค่าจริงที่เกิดขึ้นในโรงเรือน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ เพื่อให้ได้ค่าของอุณหภูมิ และความชื้นที่ทำการตั้งค่าไว้เพื่อคงสภาพของระบบ โดยรูปที่ 3.3 จะแสดงแผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบ ตั้งแต่การเริ่มการทำงาน



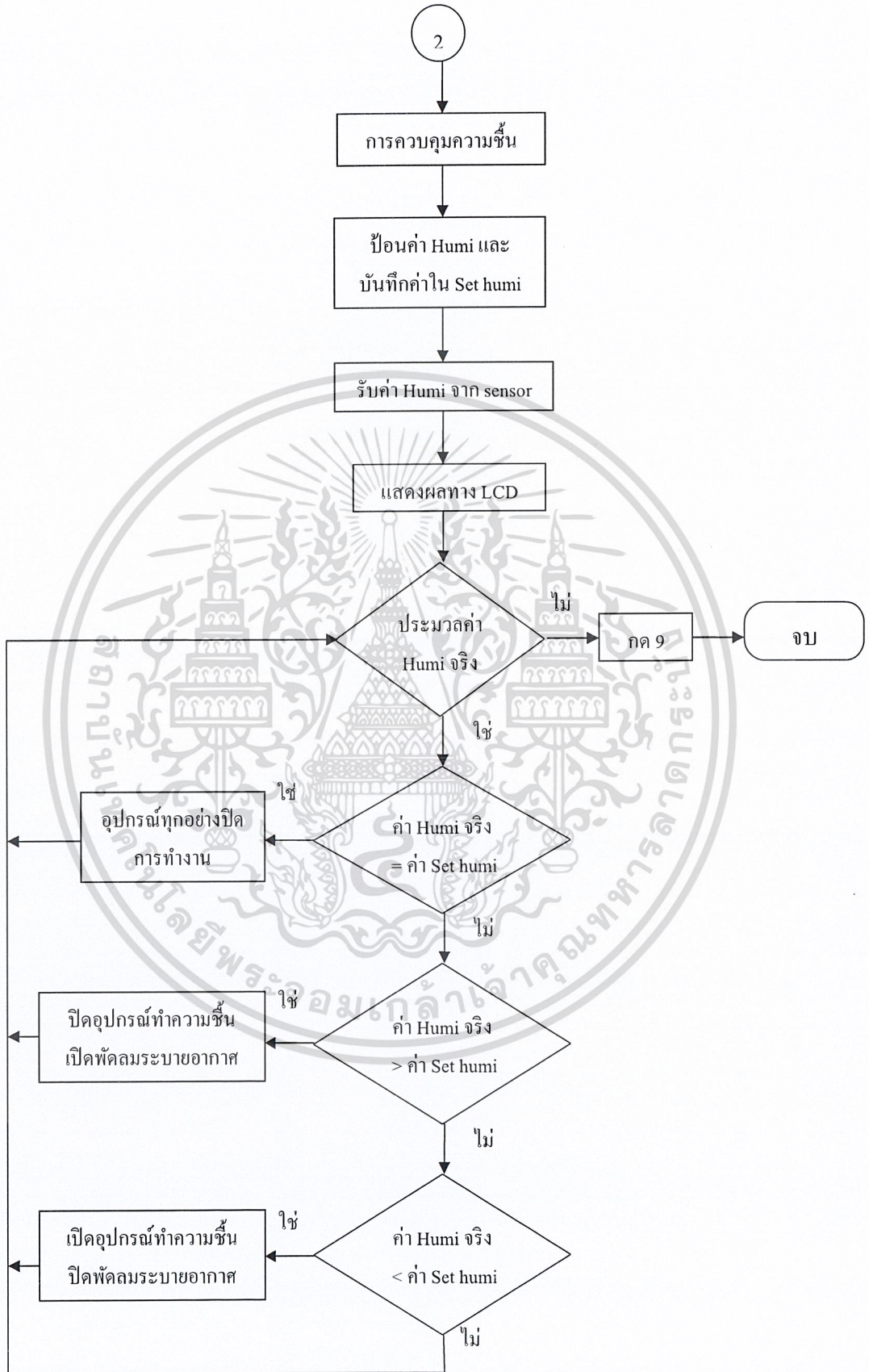
รูปที่ 3.3 แผนผังการแสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนลิขสิทธิ์ในเนื้อหาและสิ่งพิมพ์อื่นที่เกี่ยวข้องด้วย

รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงการควบคุมอุณหภูมิในโรงเรียนจำลอง



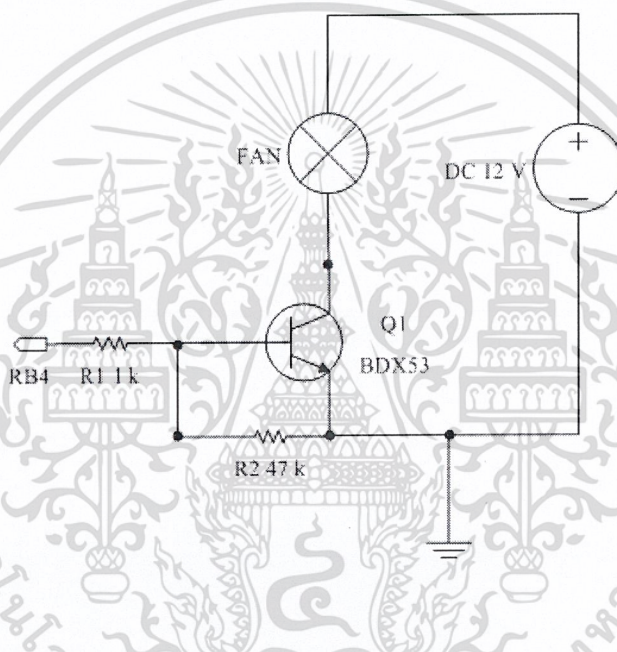
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการควบคุมความชื้นในโรงเรือนจำลอง

3.3 ส่วนของวงจร

ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนจำลองมีวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ ได้แก่

3.3.1 วงจรควบคุมพัดลม

ทำหน้าที่ควบคุมพัดลม ใช้ IC BDX53 ในการตัดกระแสไฟฟ้า เพื่อให้พัดลมที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ทำงาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์พัดลมจะทำงาน หากไม่มีกระแสไฟฟ้าจากคอนโทรลเลอร์พัดลมก็จะหยุดหมุน มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวกับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 3.6

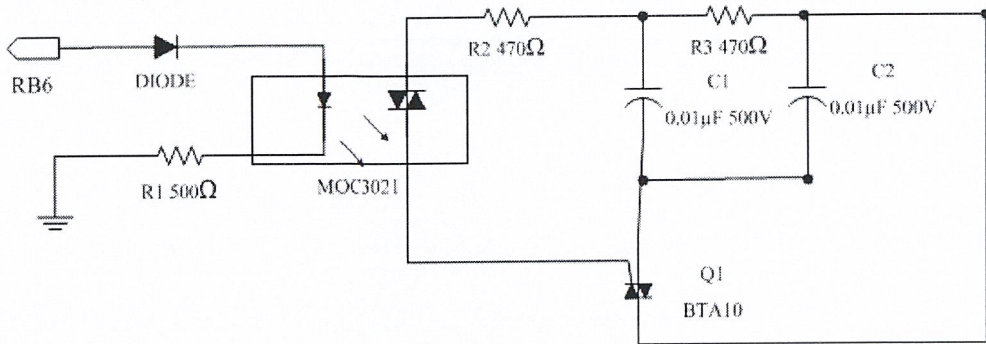


รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมพัดลม

3.3.2 วงจรโซลิตสเตรีย

การทำงานของวงจรจะเริ่มขึ้นเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟกระแสตรง 5-15 โวลต์ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านไดโอด D1 วงจรรวม IC1 และ ตัวต้านทาน R1 จะทำให้เกิดการทำงานของวงจรรวม IC1 ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขาเกตของวงจรรวม IC1 กระแสไฟฟ้านี้ด้านเอาต์พุตไหลผ่านโหลดได้ และจะหยุดเมื่อหยุดป้อนแรงดันไฟเข้า ซึ่งจากความสามารถจึงนำมาใช้ในการตัดกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ของวงจร ได้แก่ อุปกรณ์ให้ความร้อน อุปกรณ์ทำไอน้ำแก่โรงเรือน ดังรูปที่ 3.7

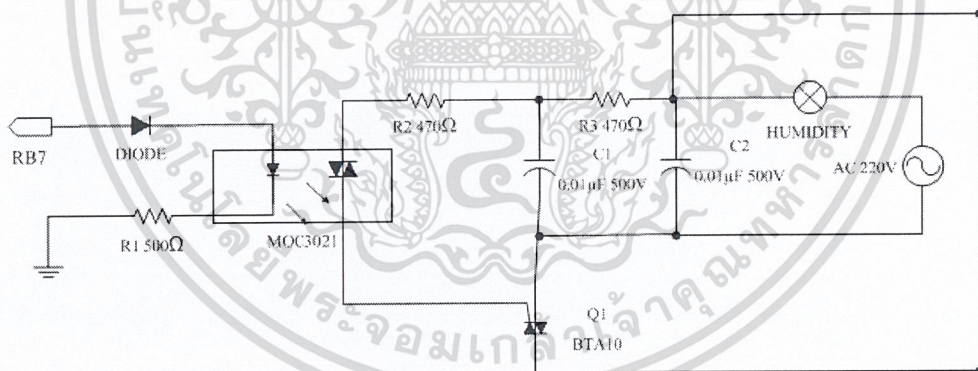
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรโซลิดสเตตรีเลย์

3.3.3 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความชื้น

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ให้ความชื้นแก่ระบบ ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ในการทำงานเพื่อให้เกิดไอน้ำ อุปกรณ์ทำงานเมื่อรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงใช้วงจรโซลิดสเตตรีเลย์ในการตัดกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ ดังรูปที่ 3.8

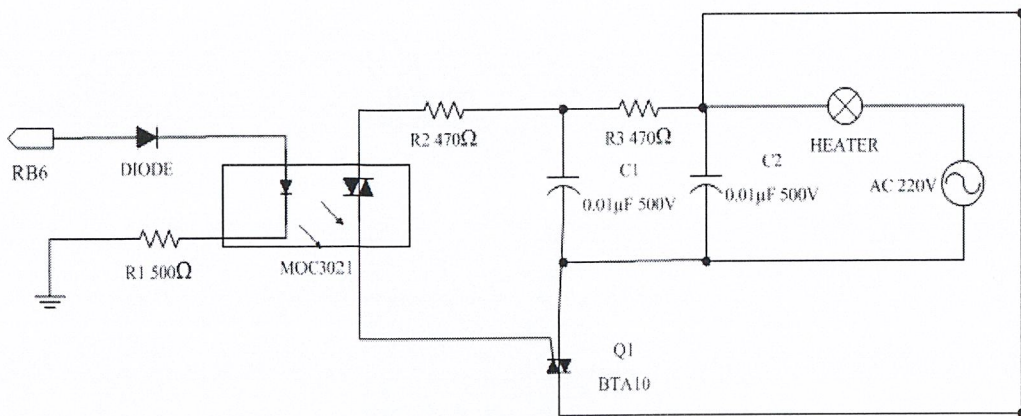


รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความชื้น

3.3.4 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความร้อน

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ให้ความร้อน ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ในการทำงานเพื่อให้เกิดลมร้อน เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานเมื่อรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์จึงใช้วงจรโซลิดสเตตรีเลย์ในการตัดต่อกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ ดังรูปที่ 3.9

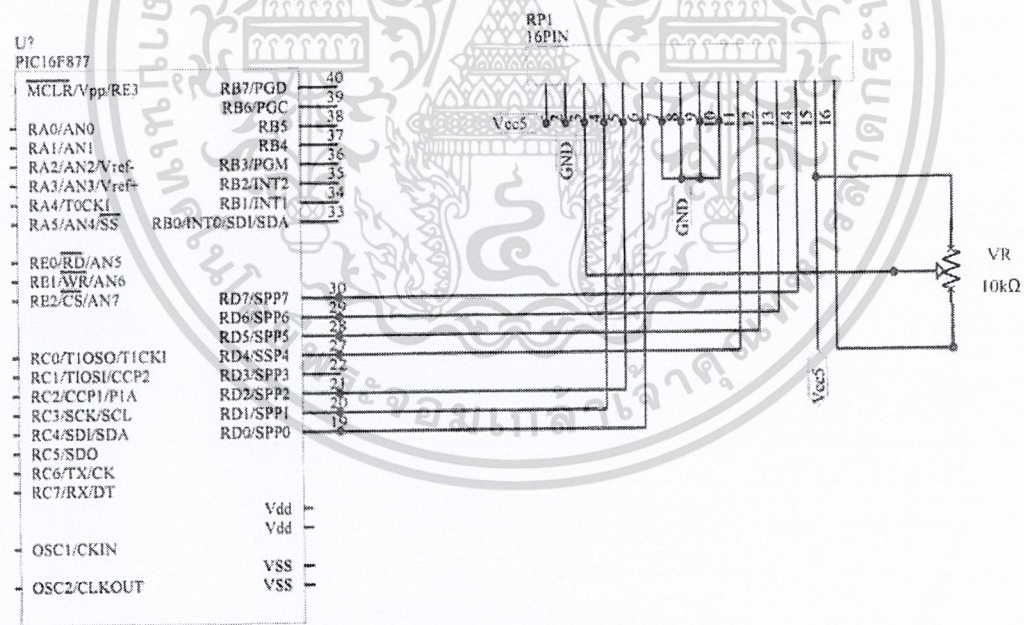
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรควบคุมอุปกรณ์เครื่องทำความร้อน

3.3.5 วงจรแสดงผลผ่านทางโมดูล LCD

แสดงค่าที่รับได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวกับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 3.10

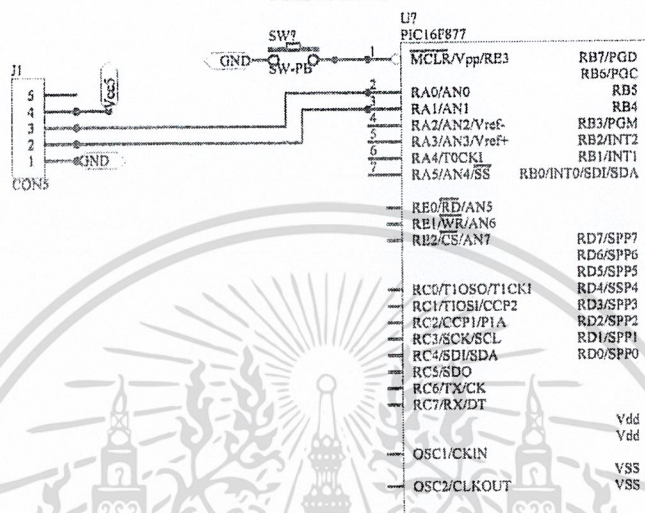


รูปที่ 3.10 วงจรแสดงผลผ่านทางโมดูล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 วงจรอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณค่าอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวกับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในส่วนนี้ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างโรงเรือนจำลอง เพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จึงได้ออกแบบการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 4.1 เป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยตั้งค่าความชื้นให้คงที่ ภายในการทดลองนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิโดยให้ความชื้นคงที่ จนได้อุณหภูมิเข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ

- กำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 30 °C โดยให้ความชื้นคงที่
- บันทึกผลการทดลอง และทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
- ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 ครั้งที่ 1

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	26.42	60.37
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	26.42	60.37
30	29.49	56.05
60	29.22	56.12
90	29.47	56.51
120	27.32	59.93
150	29.19	55.64
180	29.36	54.83
210	27.14	58.89
240	29.29	54.17
270	29.11	53.79
300	29.33	53.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 ครั้งที่ 2

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	26.83	61.86
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	26.83	61.86
30	29.54	52.61
60	29.50	52.87
90	26.61	52.87
120	29.39	53.61
150	29.11	53.61
180	26.43	55.55
210	29.22	55.67
240	29.67	55.67
270	27.29	54.49
300	29.30	54.49

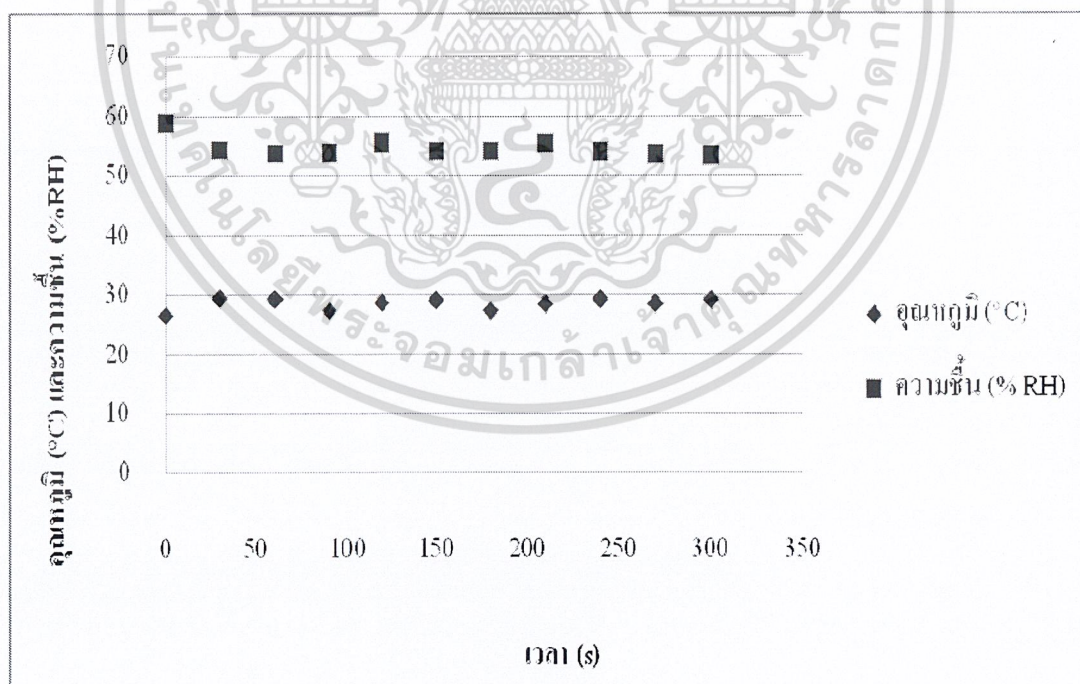
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 ครั้งที่ 3

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	26.57	54.79
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	26.57	54.79
30	29.55	54.79
60	29.35	52.32
90	26.15	52.32
120	29.47	53.48
150	29.18	53.48
180	26.50	52.32
210	29.33	52.26
240	29.11	52.71
270	29.36	52.71
300	29.13	52.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 โดยเฉลี่ย

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	26.61	59.01
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	26.61	59.01
30	29.53	54.48
60	29.36	53.77
90	27.41	53.90
120	28.73	55.67
150	29.16	54.24
180	27.43	54.23
210	28.56	55.61
240	29.35	54.18
270	28.59	53.66
300	29.25	53.54



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.1 โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะเห็นว่าเมื่อได้กำหนดค่าอุณหภูมิให้มีค่า 30 °C โดยให้ค่าความชื้นมีค่าคงที่ ระบบจะทำการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยในการทดลองนี้ระบบจะทำการเพิ่มอุณหภูมิโดยสั่งให้ขดลวดความร้อนทำงาน เมื่อได้ค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการขดลวดความร้อนก็จะหยุดทำงาน และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบควบคุมก็จะสั่งให้เพิ่มอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่กำหนด โดยจากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อค่าอุณหภูมิมียังมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นมีค่าที่ต่ำลง

การทดลองที่ 4.2 เป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยตั้งค่าความชื้นให้คงที่ภายในการทดลองนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิโดยให้ความชื้นคงที่ จนได้อุณหภูมิเข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ

- กำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 35 °C โดยให้ความชื้นคงที่
- บันทึกผลการทดลอง และทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
- ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5, 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 ครั้งที่ 1

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	27.05	48.45
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	27.05	48.45
30	26.87	52.56
60	29.51	45.89
90	32.01	45.42
120	32.05	45.29
150	34.40	45.71
180	31.79	45.89
210	34.29	45.29
240	31.72	45.71
270	34.30	45.47
300	34.25	45.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 ครั้งที่ 2

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	26.86	61.47
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	26.86	61.47
30	26.57	61.31
60	29.71	56.16
90	32.41	52.56
120	32.19	45.87
150	34.29	45.29
180	31.83	45.72
210	34.33	45.71
240	34.46	45.49
270	31.72	45.47
300	34.41	45.49

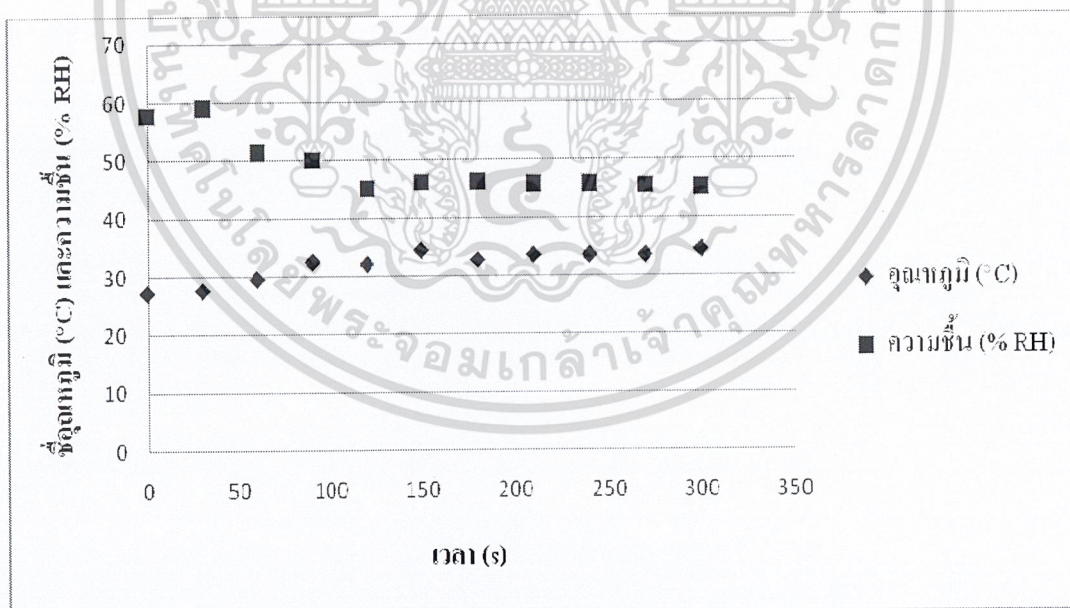
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 ครั้งที่ 3

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	27.47	63.33
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	27.47	63.33
30	29.18	63.21
60	29.46	52.32
90	32.85	52.11
120	31.79	44.21
150	34.28	47.34
180	34.38	47.12
210	31.83	46.53
240	34.25	46.21
270	34.38	45.38
300	34.48	44.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 โดยเฉลี่ย

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	27.13	57.75
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	27.13	57.75
30	27.54	59.03
60	29.56	51.46
90	32.42	50.03
120	32.01	45.12
150	34.32	46.11
180	32.67	46.24
210	33.48	45.84
240	33.50	45.80
270	33.47	45.49
300	34.38	45.18



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.2 โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะเห็นว่าเมื่อได้กำหนดค่าอุณหภูมิให้มีค่า 35 °C โดยให้ค่าความชื้นมีค่าคงที่ ระบบจะทำการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยในการทดลองนี้ระบบจะทำการเพิ่มอุณหภูมิโดยสั่งให้ขดลวดความร้อนทำงาน เมื่อได้ค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการขดลวดความร้อนก็จะหยุดทำงาน และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงกว่าค่าที่กำหนด ระบบควบคุมก็จะสั่งให้เพิ่มอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่กำหนด ซึ่งจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิมีค่าแปรผกผันกับค่าความชื้นที่ได้ โดยเมื่อค่าอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นมีค่าที่ต่ำลง

การทดลองที่ 4.3 เป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยตั้งค่าความชื้นให้คงที่ ในการทดลองนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิโดยให้ความชื้นคงที่ จนได้อุณหภูมิเข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ

- กำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C โดยให้ความชื้นคงที่
- บันทึกผลการทดลอง และทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
- ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9, 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 ครั้งที่ 1

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	28.64	57.14
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	28.64	57.14
30	28.12	58.32
60	27.82	60.17
90	27.21	60.42
120	26.47	61.38
150	26.23	61.49
180	27.62	62.37
210	27.11	62.21
240	26.74	61.79
270	26.35	61.78
300	27.31	62.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 ครั้งที่ 2

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	27.32	59.03
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	27.32	59.03
30	27.11	60.27
60	26.78	61.54
90	26.33	61.72
120	26.82	61.21
150	27.54	60.48
180	27.21	60.89
210	26.86	61.13
240	26.32	61.25
270	27.11	60.71
300	26.73	61.02

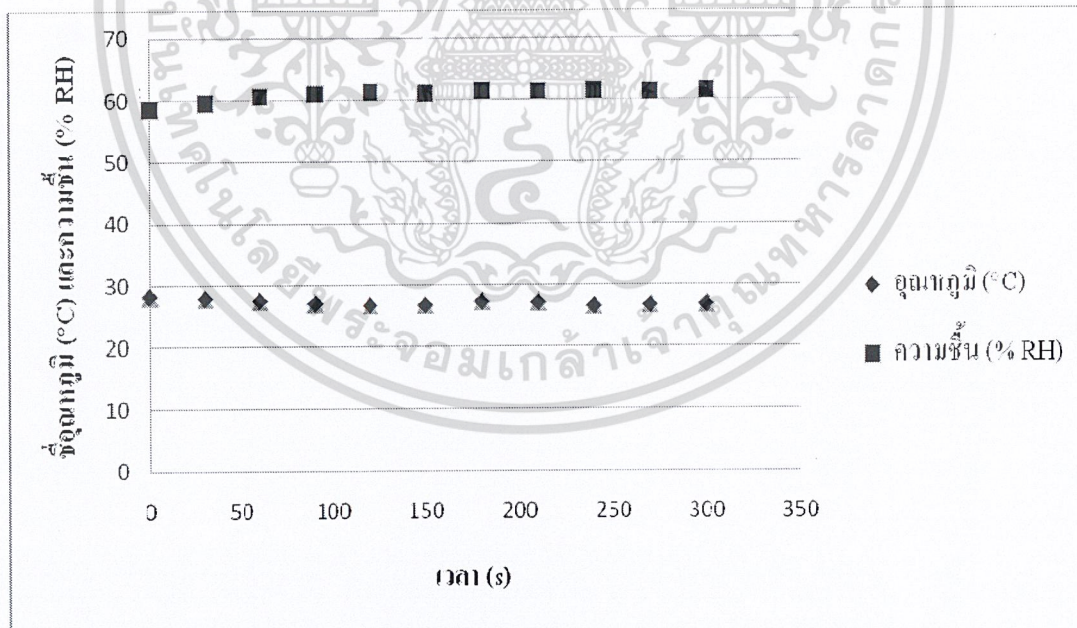
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 ครั้งที่ 3

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	28.53	59.39
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	28.53	59.39
30	28.17	59.87
60	27.65	60.12
90	27.31	60.78
120	26.78	61.24
150	26.33	61.12
180	26.87	61.12
210	27.32	60.79
240	26.44	61.33
270	26.51	61.27
300	26.32	61.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 โดยเฉลี่ย

ค่าอุณหภูมิ และความชื้น		
ก่อนทำการทดลอง	28.13	58.52
เวลา (s)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (% RH)
0	28.13	58.52
30	27.80	59.49
60	27.42	60.61
90	26.95	60.97
120	26.69	61.28
150	26.70	61.03
180	27.23	61.46
210	27.10	61.38
240	26.50	61.46
270	26.66	61.25
300	26.79	61.48



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้นการทดลองที่ 4.3 โดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะเห็นว่าเมื่อได้กำหนดค่าอุณหภูมิให้ มีค่า 25 °C โดยให้ค่าความชื้นมีค่าคงที่ ระบบจะทำการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ ต้องการ โดยในการทดลองนี้ระบบจะทำการลดอุณหภูมิโดยสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงาน เมื่อ ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการพัดลมระบายอากาศก็จะหยุดทำงาน และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า ค่าที่กำหนด ระบบควบคุมก็จะสั่งให้ลดอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่กำหนด ซึ่งจากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิมียค่าแปรผกผันกับค่าความชื้นที่ได้ โดยเมื่อค่าอุณหภูมิมียค่าลดต่ำลงจะทำให้ค่า ความชื้นมีค่าที่สูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือน เมื่อกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นระบบจะทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยจากการทดลองได้กำหนดให้อุณหภูมิมีค่า 30 °C, 35 °C และ 25 °C ตามลำดับ โดยกำหนดให้ ความชื้นมีค่าคงที่ ซึ่งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นก็จะทำการรับค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) โดยจะนำค่าที่ได้มาประมวลผลแล้วจึงสั่งให้ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นทำงาน เมื่อได้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นตามที่กำหนดระบบจะหยุดทำงาน ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิมีค่าแปรผกผันกับค่าความชื้นที่ได้จากการทดลอง โดยเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นค่าความชื้นจะมีค่าลดลง และเมื่อค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงค่าความชื้นจะมีค่าสูงขึ้น

5.2 ปัญหาที่พบและอุปสรรค

1. โครงสร้างโรงเรือนจำลองมีขนาดไม่เหมาะสม ทำให้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนจำลองเป็นไปได้ยาก
2. เซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นมีจำนวนน้อยเกินไป ทำให้ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้มีความไม่แม่นยำ
3. การเขียนโปรแกรมควบคุมเป็นไปได้ยาก เนื่องจากไม่มีความรู้ในการเขียนโปรแกรม ทำให้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไม่สมบูรณ์

5.3 แนวทางการแก้ไขและปรับปรุง

1. ปรับปรุงโครงสร้างโรงเรือนจำลองให้มีขนาดพอเหมาะกับจำนวนของอุปกรณ์ในการทดลอง เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ง่ายขึ้น
2. ควรเพิ่มเซนเซอร์ให้มากขึ้น และวางตำแหน่งของเซนเซอร์ให้กระจายกันเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่แม่นยำ
3. ควรศึกษาการเขียนโปรแกรมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้สมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามที่กำหนดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม และเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นมีหลายชนิด จึงควรศึกษาชนิดของเซนเซอร์ที่จะนำมาใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและมีราคาที่เหมาะสม

ควรมีการปรับปรุงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ดีกว่านี้ เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ดีมากขึ้น

ในโครงการนี้ได้มีการส่งข้อมูลไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์แต่ไม่สามารถควบคุมการทำงานของระบบผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ จึงควรมีการปรับปรุงระบบเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปณีสย์ คุณหาคติภพ, ประวูฒิ คຸ້มโซคโปลสาค, พงศชร อิศรโกรศีล. “เครือขำยเซนเซอร์ไร้สายในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช่ Zigbee.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.
- [2] นคร กักศิชาติม ชัยวัฒน์ ลิมพรจิตรวิไล. ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโปรแกรมภาษาซี ฉบับ P89V51RD2. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.2521.
- [3] ประจัน พลังสันติกุล. เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์.2547.
- [4] Mmiship. “ข้อมูลสำหรับการสร้างบอร์ด SHT15.” [Online]. Available : <http://manmachine-interface.com/sht15/sht15.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุม

```

#include <16F877.h>
#include <delay.h>
//#fuses XT,PUT,BROWNOUT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#fuses XT,PUT,BROWNOUT,HS,NOWDT,NOPT,NOPT,NOPT,NOPT
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#define FAN_2    PIN_C1
#define FAN_1    PIN_C2
#define FAN_DRY_ICE PIN_C3
#define DRY_ICE  PIN_C4
#define MOTOR_HEAT PIN_C5

#define SHT1xDATA PIN_A1
#define SHT1xSCK  PIN_A0
#define noACK 0
#define ACK 1

#define use_portb_lcd

#include <lcd.c>

//
// SHT1x address=000 is currently supported
// SHT1x command code
//adr command r/w
#define STATUS_REG_W 0x06 //000 0011 0
#define STATUS_REG_R 0x07 //000 0011 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define MEASURE_TEMP 0x03 //000 0001 1
#define MEASURE_HUMI 0x05 //000 0010 1
#define RESET 0x1E //000 1111 0

// constant use for SHT1x Humidity Measurement
#define C1 -4.0
#define C2 0.0405
#define C3 -0.0000028

// #define C1 -2.0468
// #define C2 0.0367
// #define C3 -0.00040845

// constant use for SHT1x Temperature Measurement
#define D1 -40.0
#define D2 0.01

// #define D1 -40.1
// #define D2 0.04
//
// constant use for SHT1x True Humidity Measurement
#define T1 0.01
#define T2 0.00008
// #define T2 0.00128

//PIC16F6X8
// #define CMCON 0x1F
// #define PORTA 0x05
// #define PORTB 0x06
// /////////////////////////////////// define variable ///////////////////////////////////
char ch;

int num_value[14] = {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,0,12}; // value to calculate

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int value[4];

int ans;

int mode=0;

int running;

float settemp=0,sethumi=0;

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////   sensor   //////////////////////////////////////

void InitialChip(void);

//SHT1x Transmission Start condition
void SHTStart()
{
  output_high(SHT1xDATA);
  output_low(SHT1xSCK);
  output_high(SHT1xSCK);
  output_low(SHT1xDATA);
  output_low(SHT1xSCK);
  output_high(SHT1xSCK);
  output_high(SHT1xDATA);
  output_low(SHT1xSCK);
}

// SHT1x Connection Reset:
void SHTConReset()
{
  int i;

  output_high(SHT1xDATA);

  for (i=0; i<9; i++)
  {
    output_high(SHT1xSCK);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay_us(2);
    output_low(SHT1xSCK);
    delay_us(2);
}
SHTStart();
}

// SHT1x Address & Command Mode with address=000
int SHTWrite(int Data)
{
    int i;

    for (i=0x80;i>0;i/=2) //shift bit for masking data
    {
        if(i&Data)
            output_high(SHT1xDATA);
        else
            output_low(SHT1xDATA);

        delay_us(2); //Send Clock each bit
        output_high(SHT1xSCK);
        delay_us(2);
        output_low(SHT1xSCK);
    }

    output_float(SHT1xDATA); //Change DATA Line to Input
    delay_us(2);

    output_high(SHT1xSCK); //Clock for Acknowledge
    delay_us(2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

output_low(SHT1xSCK);
delay_ms(250);
return (i);
}

//Read data from SHT1x
float SHTRead(void)
{
int i;
long lTmp,lVal1,lVal2,lValue;

lVal1=0;
lVal2=0;

//get MSB from SHT1x
for (i=0; i<8; i++)
{
lVal1<<=1;
output_high(SHT1xSCK); //Send Clock Hight
lTmp = input(SHT1xDATA); //Read Data Bit
//delay_us(2);
output_low(SHT1xSCK); //Send Clock Low
//delay_us(2);

if(lTmp)
lVal1|=1; //store in lVal1
}

//Acknowledge routine for Next byte
output_low(SHT1xDATA);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//delay_us(2);

output_float(SHT1xDATA);    //Change to Input
output_low(SHT1xSCK);
//delay_us(2);

//get LSB from SHT1x
for (i=0; i<8; i++)
{
  IVal2<<=1;
  output_high(SHT1xSCK);    //Send Clock Hight
  ITmp = input(SHT1xDATA);  //Read Data Bit
  //delay_us(2);
  output_low(SHT1xSCK);    //Send Clock Low
  //delay_us(2);

  if(ITmp)
    IVal2|=1;              //store in IVal2
}

IValue = make16(IVal1,IVal2); //Makes a 16 bit number out of two 8 bit numbers.
return(IValue);
}

// SHT1x Soft Reset
// resets the interface, clears the status register to default values
// wait minimum 1 lms before next command
void SHTSoftReset()
{
  SHTConReset();
  SHTWrite(RESET);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// calculate dewpoint
float sht1x_calc_dewpoint(float fRh,float fTemp)
{
    float fDewpoint;
    float fLogEW;

    fLogEW = ((7.5*fTemp)/(237.3+fTemp))+log10(fRh)-1.33923;
    fDewpoint = ((0.66077-log10(fLogEW))*(237.3))/(log10(fLogEW)-8.16077);
    return(fDewpoint);
}

void InitialChip(void)
{
    // setup_comparator(NC_NC_NC_NC); //Input Digital
    set_tris_a(0B00000000);
    set_tris_c(0B10000000);
}
////////// End Sensor //////////
////////// Keypad //////////
int atoc(char c) //Convert char to int
{
    int i;
    i= c-'1';
    if(c=='0') i=10;
    if(c=='e') i=20; //suppose if press "<" will get integer = 20
    if(c=='<') i=21; //suppose if press ">" will get integer = 21
    // if(c=='#') i=11;

    return(i);
}

char get_keypad()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

output_d(0b00000001);
//c1 r1
if(input(pin_D4)==1)
{
    while(input(pin_D4)==1)
    delay_ms(1);
    return('1');
}
//c1 r2
else if(input(pin_D5)==1)
{
    while(input(pin_D5)==1)
    delay_ms(1);
    return('4');
}
//c1 r3
else if(input(pin_D6)==1)
{
    while(input(pin_D6)==1)
    delay_ms(1);
    return('7');
}
//c1 r4
else if(input(pin_D7)==1)
{
    while(input(pin_D7)==1)
    delay_ms(1);
    return('<');
}

//check column 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//c2 r1
if(input(pin_D4)==1)
{
  while(input(pin_D4)==1);
  delay_ms(1);
  return('2');
}
//c2 r2
else if(input(pin_D5)==1)
{
  while(input(pin_D5)==1)
  delay_ms(1);
  return('5');
}
//c2 r3
else if(input(pin_D6)==1)
{
  while(input(pin_D6)==1)
  delay_ms(1);
  return('8');
}
//c2 r4
else if(input(pin_D7)==1)
{
  while(input(pin_D7)==1)
  delay_ms(1);
  return('0');
}
//check col3
output_d(0b00000100);
//c3 r1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
  while(input(pin_D4)==1)
  delay_ms(1);
  return('3');
}
//c3 r2
else if(input(pin_D5)==1)
{
  while(input(pin_D5)==1)
  delay_ms(1);
  return('6');
}
//c3 r3
else if(input(pin_D6)==1)
{
  while(input(pin_D6)==1)
  delay_ms(1);
  return('9');
}
//c3 r4
else if(input(pin_D7)==1)
{
  while(input(pin_D7)==1)
  delay_ms(1);
  return('>');
}

//check column 4
output_d(0b00001000);
//c4 r1
if(input(pin_D4)==1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(input(pin_D4)==1);
delay_ms(10);
return('s');
}
//c4 r2
else if(input(pin_D5)==1)
{
while(input(pin_D5)==1)
delay_ms(10);
return('u');
}
//c4 r3
else if(input(pin_D6)==1)
{
while(input(pin_D6)==1)
delay_ms(10);
return('d');
}
//c4 r4
else if(input(pin_D7)==1)
{
while(input(pin_D7)==1)
delay_ms(10);
return('e');
}
}
float CheckKeyPress()
{
char ch;
int a1=0,a2=0,count=0;
int ans=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(ans==0)
{
    ch=0;
    ch = get_keypad();           // get value from keypad
    if(ch!=0)                   // check if there is any press
    {

        a1 = atoc(ch);          // send ch to ATOC function and return c l
        if(a1!=20 && a1!=21)     // press any key 0-9
        {
            a2 = num_value[a1];  // get real value
            //lcd_putc(ch);
            value[count]=a2;     // store value in variable array named value
            printf(lcd_putc,"%d",a2);
            delay_ms(1);
            count=count+1;
            ch='0';
        }

        else if(a1==21)         // press key '<'
        {
            lcd_putc("\f");
            lcd_putc("Insert again\n");
            delay_ms(2000);
            //lcd_putc("\f");
            count=0;             //clear everthing
            ch='0';              //clear everthing
            ans=0;               //clear everthing
            value[0]=0,value[1]=0,value[2]=0,value[3]=0; //clear everthing
            a1=0;
            a2=0;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

printf(lcd_putc, "\fsettemp=%.1f C\n", settemp);
delay_ms(1000);

running=1;
return(1);
}
else if(ch=='2')
{
lcd_putc("\fSet Humidity\n");
delay_ms(100);
sethumi=CheckKeyPress();
printf(lcd_putc, "\fsethumi=%.1f\n", sethumi);
delay_ms(1000);

running=1;
return(2);
}
else if(ch=='9')
{
lcd_putc("\f--- END ---");
running=1;
return(9);
}
else
{
goto start;
}
}
}
}

//////////////////// End keypad //////////////////////

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Main Program
void main(float)
{
float fRh_lin=0;
float fRh_true=0,fRh_true_1=0;
float fTemp_true=0,fTemp_true_1=0;
float IValue_rh=0;
float IValue_temp=0;
float R;

lcd_init();

InitialChip();
delay_ms(200);

set_tris_b(0x00);

SHTConReset();

lcd_putc("\fHello world\n");
printf("Hello World");
delay_ms(1000);

menu_ :

mode=menu_func();

while (TRUE)
{
SHTConReset();
// delay >1 ms before next command
delay_ms(12);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SHTStart(); // @1 start transmission
R=SHTWrite(MEASURE_TEMP); // @2 measure temperature
if(R==1)
{
printf(lcd_putc, "\fSensor Error\n");
delay_ms(1000);
continue;
}

IValue_temp = SHTRead();

// temperature calculation
fTemp_true_1 = (D1+(D2*IValue_temp));
if(fTemp_true_1>10 &&fTemp_true_1<80)
{
fTemp_true =fTemp_true_1;
}

// delay 11ms before next command
delay_ms(12);
SHTConReset();
// delay >11ms before next command
delay_ms(12);
// start transmission
SHTStart();

// measure relative humidity
SHTWrite(MEASURE_HUMI);
IValue_rh = SHTRead();

// relative humidity calculation

```

```
fRh_lin = (C1+(C2*IValue_rh)+(C3*IValue_rh*IValue_rh));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fRh_true_1 = (((fTemp_true-25)*(T1+(T2*IValue_rh)))+fRh_lin);
if(fRh_true_1>10 &&fRh_true_1<80)
{
    fRh_true =fRh_true_1;
}
ch = get_keypad();
if(ch!=0)
{
    if(ch=='9')
    {
        goto menu_;
    }
}
if(mode==1)
{
    printf(lcd_putc,"%fSettemp=%.1f C\n",settemp);
    printf(lcd_putc,"T=%3.2f C\n",fTemp_true);
    printf("T=%3.2f C\r\n",fTemp_true);
    printf("H=%3.2f%%\r\n",fRh_true);

    delay_ms(1000);

    if((settemp>=fTemp_true-1) && (settemp<=fTemp_true+1))
    {
        output_low(MOTOR_HEAT);
        output_low(FAN_1);
        output_low(FAN_2);
        output_low(FAN_DRY_ICE);
        output_low(DRY_ICE);
    }
    else if (fTemp_true > Settemp+1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
}  
else if (fRh_true >= Sethumi+1)  
{  
    output_low(MOTOR_HEAT);  
    output_high(FAN_1);  
    output_high(FAN_2);  
    output_low(FAN_DRY_ICE);  
    output_low(DRY_ICE);  
}  
else if (fRh_true <= Sethumi-1)  
{  
    output_low(MOTOR_HEAT);  
    output_low(FAN_1);  
    output_low(FAN_2);  
    output_high(FAN_DRY_ICE);  
    output_high(DRY_ICE);  
}  
}  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน PIC16F877

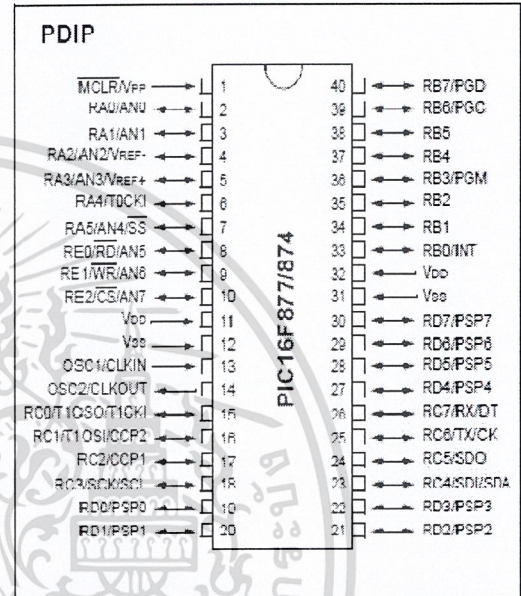
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F073
- PIC16F076
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C/3B/4B/6/7/7
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 μ A typical standby current

Pin Diagram

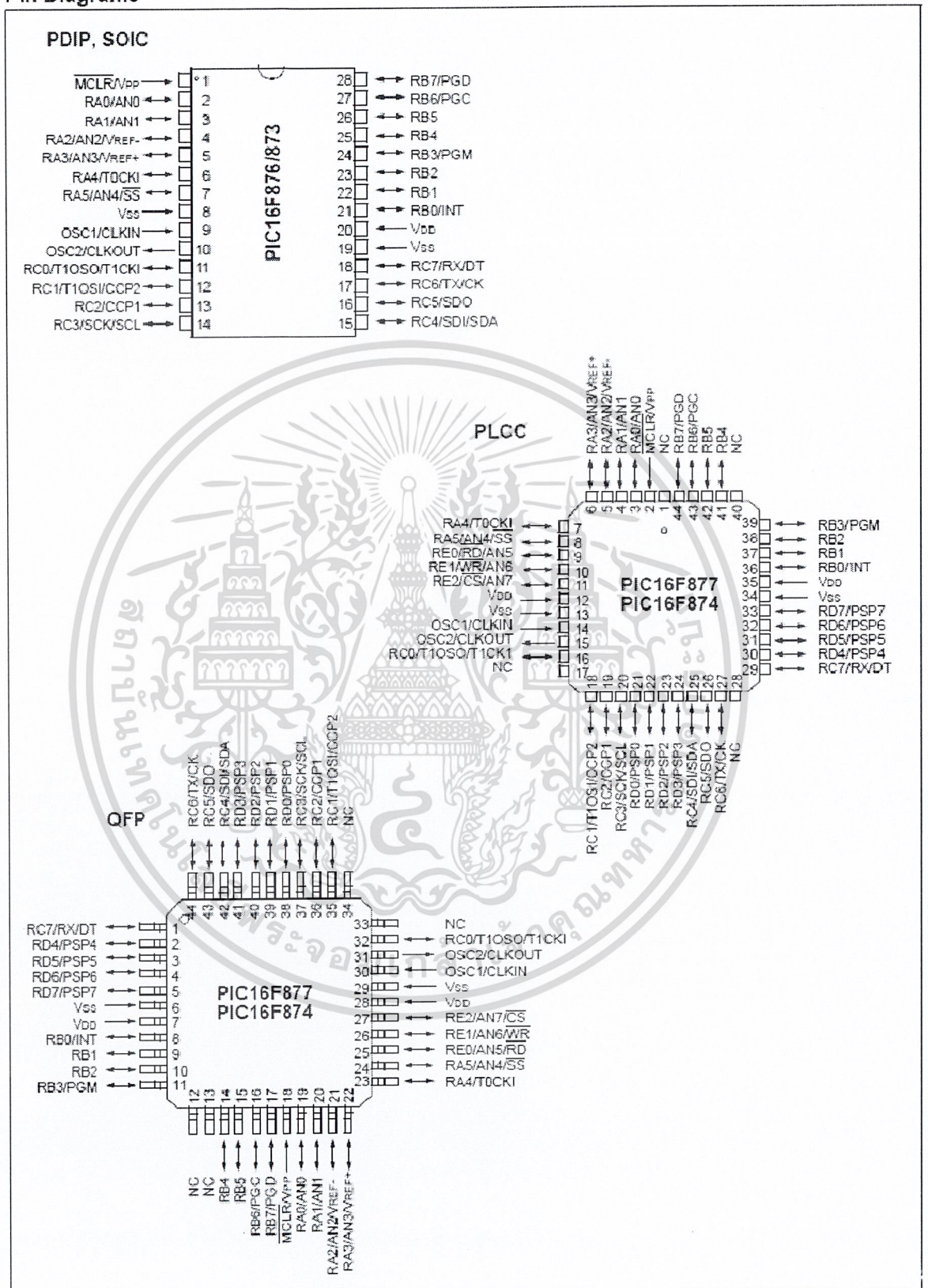


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9 bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{CS} controls (10/11-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

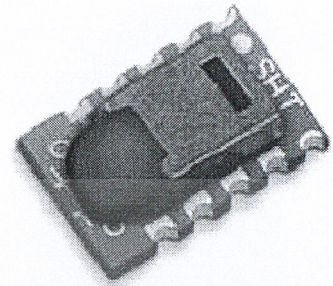


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน SHT15

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

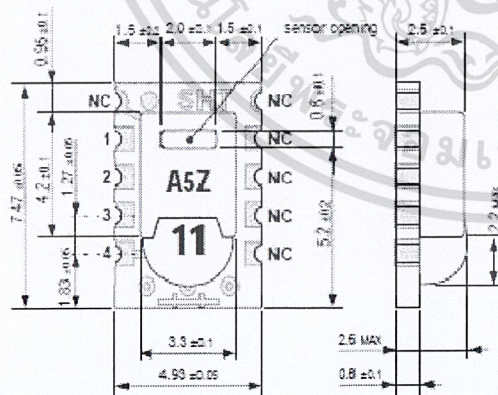


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides the humidity and temperature sensors the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application (data logging) of the sensor there is an evaluation kit *EK-VH4* available including SHT71 (same sensor chip as SHT1x) and 4 sensor channels, hard and software to interface with a computer. For other evaluation kits please check www.sensirion.com/humidity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Non-linearity	linearized		<<1		%RH
Response time ³ τ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

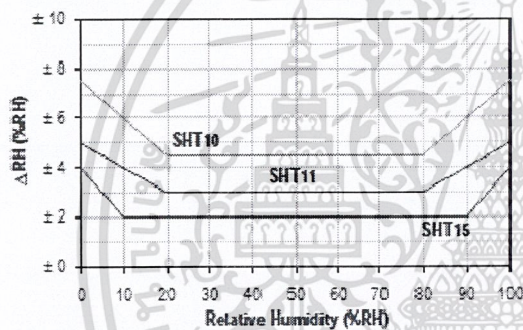


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ³ τ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

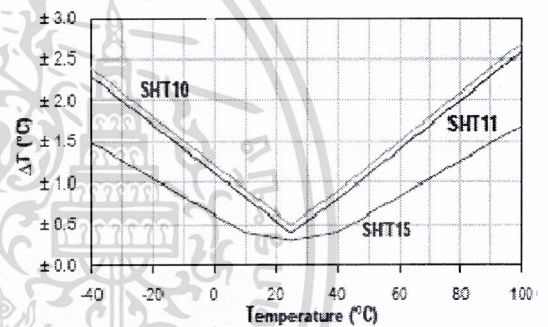


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	µW
	measuring		3		mW
	average		90		µW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	-10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

This datasheet is subject to change and may be amended without prior notice.

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12bit by command to status register.

² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and are applicable to non-condensing environments only.

³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

⁵ Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Interface Specifications

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

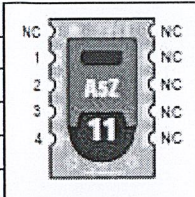


Table 1: SHT1x pin assignment, NC remain floating.

2.1 Power Pins (VDD, GND)

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I²C protocol; however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

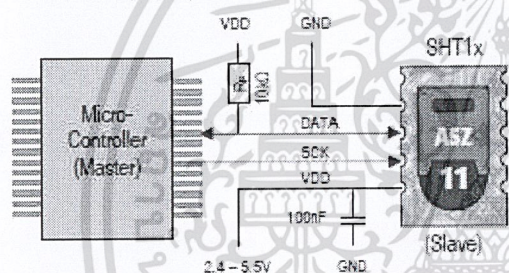


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_p and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

2.2 Serial clock input (SCK)

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.3 Serial data (DATA)

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK the DATA value may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T_{SU} and T_{HO} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_V after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10k Ω) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

2.4 Electrical Characteristics

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μ A
	sleep		0.3	1.5	μ A
Low level output voltage	$I_{OL} < 4$ mA	0		250	mV
High level output voltage	$R_L < 25$ k Ω	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	μ A
	Output current	on		4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μ A

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_p stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

¹⁰ Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.

¹¹ Minimum value with one measurement of 8bit resolution without ODP reload per second. Typical value with one measurement of 12bit resolution per second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute maximum ratings for VDD versus GND are +7V and -0.3V. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the sensor reliability (e.g. hot carrier degradation, oxide breakdown). For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.

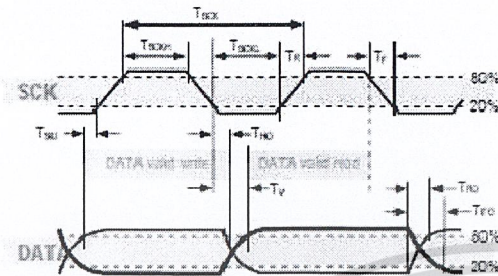


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Note that DATA valid read time is triggered by falling edge of anterior toggle.

	Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F _{SCK}	SCK Frequency	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
		VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T _{SCKL}	SCK hi/low time		100			ns
T _R /T _F	SCK rise/fall time		1	200	*	ns
T _{FO}	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
		OL = 100pF	30	40	200	ns
T _{RO}	DATA rise time		**	**	**	ns
T _V	DATA valid time		200	250	***	ns
T _{SU}	DATA setup time		100	150	***	ns
T _{HO}	DATA hold time		10	15	****	ns

* $T_{R,fall} + T_{R,rise} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCKH} - T_{SCKL}$

** T_{R} is determined by the $R_{int} \cdot C_{bus}$ time-constant at DATA line.

*** $T_{V,read}$ and $T_{SU,write}$ depend on external pull-up resistor (R_{PU}) and total bus line capacitance (C_{bus}) at DATA line.

**** $T_{H,read} < T_V - \max(T_{R,fall}, T_{R,rise})$

Table 3: SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

3 Communication with Sensor

3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.

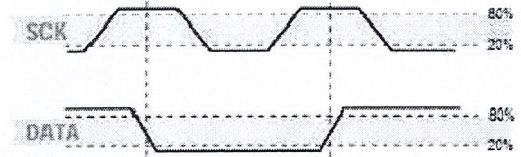


Figure 12: "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 4: SHT1x list of commands

3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ACK high. The device automatically returns to Sleep Mode after measurement and communication are completed.

Important: To keep self heating below 0.1°C, SHT1x should not be active for more than 10% of the time – e.g. maximum one measurement per second at 12bit accuracy shall be made.

3.4 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset the serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK nine or more times – see Figure 13. This must be followed by a Transmission Start sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

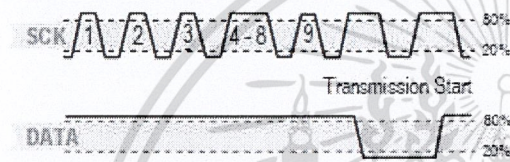


Figure 13: Connection Reset Sequence

3.5 CRC Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by an 8bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated. As described above this is an additional feature of which may be used or abandoned. Please consult Application Note "CRC Checksum" for information on how to calculate the CRC.

3.6 Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x such as selecting measurement resolution, end-of-battery notice, use of OTP reload or using the heater may be activated by sending a command to the status register. The following section gives a brief overview of these features.

After the command Status Register Read or Status Register Write – see Table 4 – the content of 8 bits of the status register may be read out or written. For the communication compare Figure 14 and Figure 15 – the assignation of the bits is displayed in Table 5.



Figure 14: Status Register Write

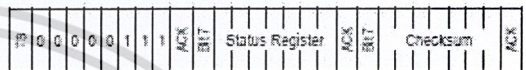


Figure 15: Status Register Read

Examples of full communication cycle are displayed in Figure 16 and Figure 17.

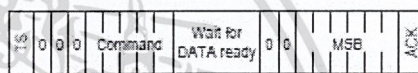


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit.

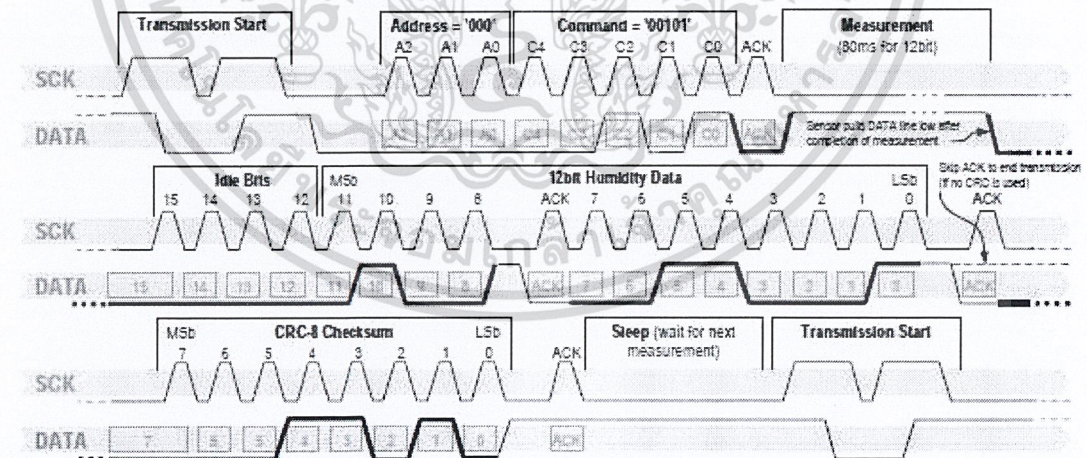


Figure 17: Example RH measurement sequence for value "00000100000110001" = 1073 = 35.50%RH (without temperature compensation). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 5: Status Register Bits

Measurement resolution: The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

End of Battery function detects and notifies VDD voltages below 2.47V. Accuracy is $\pm 0.05V$.

Heater: An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by $5 - 10^{\circ}C^{12}$ beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

OTP reload: With this operation the calibration data is uploaded to the register before each measurement. This may be deactivated for reducing measurement time by about 10ms.

4 Conversion of Signal Output

4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout

¹² Corresponds to 9 – 18°F

(SO_{RH}) with the following formula with coefficients given in Table 6:

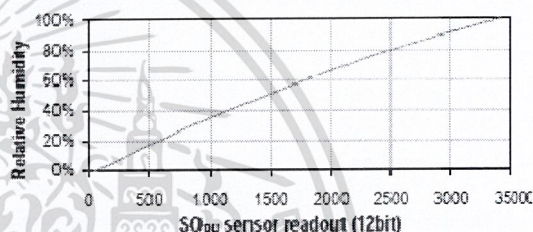
$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (\%RH)$$

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Table 6: V4 humidity conversion coefficients

The values given in Table 6 are optimized coefficients for V4 sensors. The parameter set for V3 sensors, which has been proposed in earlier datasheets, still applies and is provided by Sensirion upon request.

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from $25^{\circ}C$ ($\sim 77^{\circ}F$) the humidity signal requires temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to $0.12\%RH/^{\circ}C$ @ 50%RH. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 7.

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7: Temperature compensation coefficients¹⁴

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design.

¹³ If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.

¹⁴ Coefficients apply both to V3 as well as to V4 sensors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 8:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d_1 (°C)	d_2 (°F)	SO_T	d_1 (°C)	d_2 (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Table 8: Temperature conversion coefficients¹⁵.

4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T_d) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 – 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 9:

$$T_d(RH, T) = T_n \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T_n (°C)	m
Above water, 0–50°C	243.12	17.62
Above ice, -40–0°C	272.62	22.46

Table 9: Parameters for dew point (T_d) calculation.

Please note that “ln(...)” denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note “Introduction to Humidity”.

5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence

enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note “Qualification Guide”.

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. G qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100 temperature grade 2 test conditions listed in Table 10¹⁶. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer's specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results ¹⁷
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc: JE3D22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH / ≈2.3bar, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 1000h	Within specifications
ESD immunity	MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with $T_{amb} = 80^\circ\text{C}$, acc. JEDEC 17	Qualified

Table 10: Qualification tests. HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated Stress Test, THU = Temperature Humidity Unbiased

¹⁵ Temperature coefficients have slightly been adjusted compared to datasheet SHT1x version 3.01. Coefficients apply to V3 as well as V4 sensors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 เอกสารคู่มือการใช้งาน Zigbee

Key Features

High Performance, Low Cost

- Indoor/Urban: up to 300' (100 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1.6 km)
- Transmit Power Output: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Receiver Sensitivity: -102 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 Each direct sequence channel has over 65,000 unique network addresses available
 Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported
 Self-routing, self-healing and fault-tolerant mesh networking

Low Power

XBee-PRO

- TX Current: 295 mA (@3.3 V)
- RX Current: 45 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 1 μ A @ 25°C

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box: RF communications

AT and API Command Modes for configuring module parameters

Small form factor

Extensive command set

Free X-CTU Software (Testing and configuration software)

Free & Unlimited Technical Support

Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee[®]/XBee-PRO[®] ZB OEM RF Module

Specification	XBee	XBee PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)	up to 300 ft. (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)	up to 1 mile (1.6 km)
Transmit Power Output	2mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled	50mW (+17 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-96 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled	-102 dBm
Power Requirements		

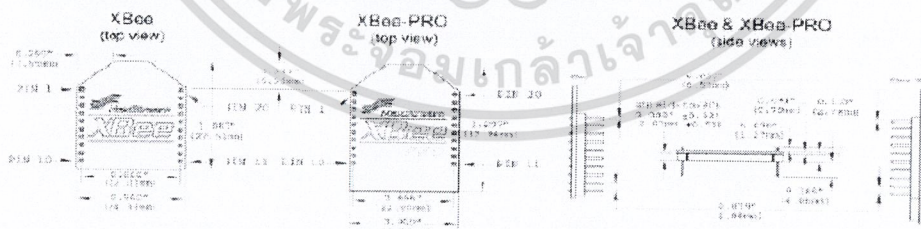
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® ZB OEM RF Module

Specification	XBee	XBee PRO
Supply Voltage	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V
Operating Current (Transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295mA (@3.3 V)
Operating Current (Receive))	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15mA	15mA
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C	< 1 uA @ 25°C
General		
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector*	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector*
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh
Number of Channels	16 Direct Sequence Channels	13 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	FCC ID: OUR-XBEE2	FCC ID: MCQ-XBEEPRO2
Industry Canada (IC)	IC: 4214A-XBEE2	IC: 1846A-XBEEPRO2
Europe (CE)	ETSI	ETSI
RoHS	Compliant	Compliant

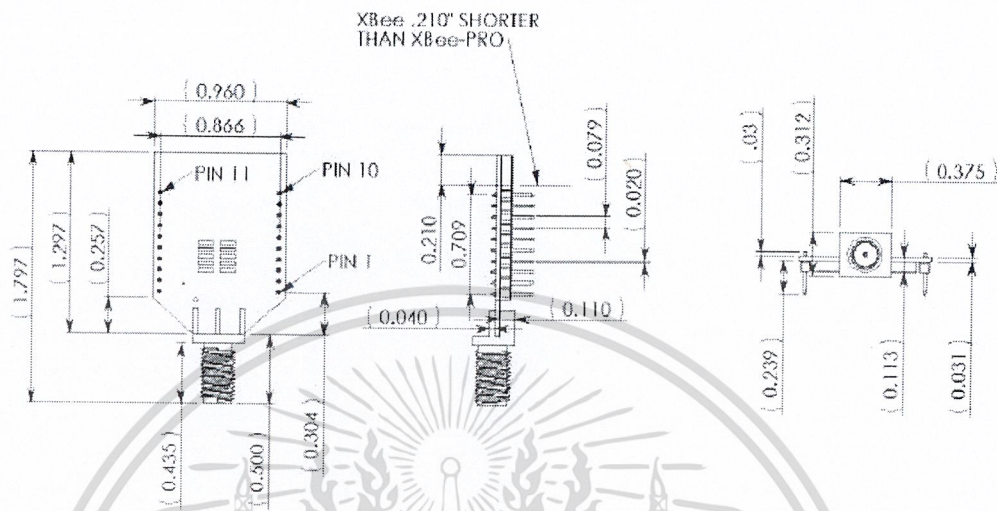
Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee®/XBee-PRO® ZB OEM RF Modules (antenna options not shown)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure I-02. Mechanical Drawings for the RPSMA Variant



Electrical Characteristics

Table I-03. DC Characteristics of the XBee-PRO (VCC = 3.0 - 3.4 VDC)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Units
V _{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.2 * VCC	V
V _{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.8 * VCC	-	-	V
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{OL} = 2 mA, VCC >= 2.7 V	-	-	0.18 * VCC	V
V _{OH}	Output High Voltage	I _{OH} = -2 mA, VCC >= 2.7 V	0.82 * VCC	-	-	V
I _{IN}	Input Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	-	0.5uA	uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Signals

Figure 1-04. XBee®/XBee-PRO® ZB RF Module Pin Number
(top sides shown - shields on bottom)

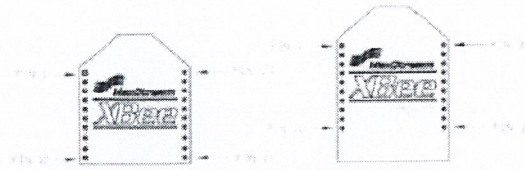


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee-PRO Modules
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DIO12	Either	Digital I/O 12
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI / DIO10	Either	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator / Digital I/O
7	PWM / DIO11	Either	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DIO8	Either	Pin Sleep Control Line or Digital I/O 8
10	GND	-	Ground
11	DIO4	Either	Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP / DIO9	Output	Module Status Indicator or Digital I/O 9
14	VREF	Input	Not used on this module. For compatibility with other XBee modules, we recommend connecting this pin to a voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND.
15	Associate / DIO5	Either	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	RTS / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 / Commissioning Button	Either	Analog Input 0, Digital I/O 0, or Commissioning Button

Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections to support serial firmware upgrades: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 30k Ohm resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected
- Pin 20 can be connected to a push button (pin grounded when closed) to support the commissioning push button functionality. See "Commissioning Pushbutton and Associate LED" for details.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modes of Operation

Idle Mode

When not receiving or transmitting data, the RF module is in Idle Mode. During Idle Mode, the RF module is also checking for valid RF data. The module shifts into the other modes of operation under the following conditions:

- Transmit Mode (Serial data in the serial receive buffer is ready to be packetized)
- Receive Mode (Valid RF data is received through the antenna)
- Sleep Mode (End Devices only)
- Command Mode (Command Mode Sequence is issued)

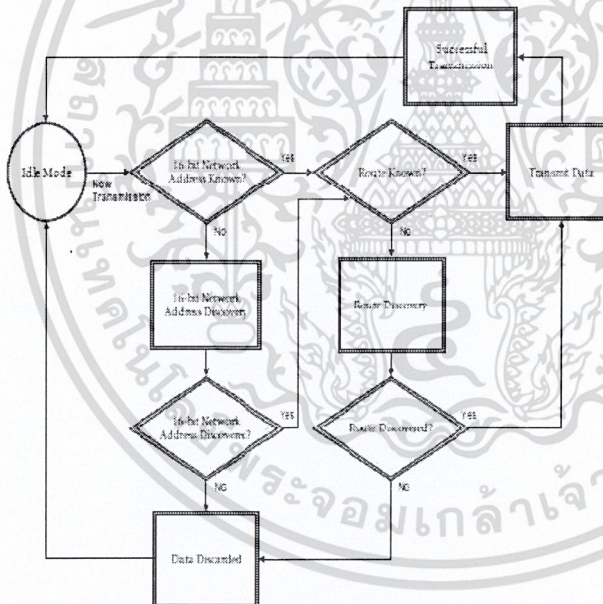
Transmit Mode

When serial data is received and is ready for packetization, the RF module will exit Idle Mode and attempt to transmit the data. The destination address determines which node(s) will receive the data.

Prior to transmitting the data, the module ensures that a 16-bit network address and route to the destination node have been established.

If the destination 16-bit network address is not known, network address discovery will take place. If a route is not known, route discovery will take place for the purpose of establishing a route to the destination node. If a module with a matching network address is not discovered, the packet is discarded. The data will be transmitted once a route is established. If route discovery fails to establish a route, the packet will be discarded.

Figure 2-04. Transmit Mode Sequence



When data is transmitted from one node to another, a network-level acknowledgement is transmitted back across the established route to the source node. This acknowledgement packet indicates to the source node that the data packet was received by the destination node. If a network acknowledgement is not received, the source node will re-transmit the data.

It is possible in rare circumstances for the destination to receive a data packet, but for the source to not receive the network acknowledgment. In this case, the source will retransmit the data, which could cause the destination to receive the same data packet multiple times. The XBee modules do not filter out duplicate packets. The application should include provisions to address this potential issue.

See Data Transmission and Routing in chapter 3 for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Receive Mode

If a valid RF packet is received, the data is transferred to the serial transmit buffer.

Command Mode

To modify or read RF Module parameters, the module must first enter into Command Mode - a state in which incoming serial characters are interpreted as commands. Refer to the API Mode section in Chapter 7 for an alternate means of configuring modules.

AT Command Mode

To Enter AT Command Mode:

Send the 3-character command sequence "+++" and observe guard times before and after the command characters. [Refer to the "Default AT Command Mode Sequence" below.]

Default AT Command Mode Sequence (for transition to Command Mode):

- No characters sent for one second [GT (Guard Times) parameter = 0x3E8]
- Input three plus characters ("+++") within one second [CC (Command Sequence Character) parameter = 0x2B.]
- No characters sent for one second [GT (Guard Times) parameter = 0x3E8]

Once the AT command mode sequence has been issued, the module sends an "OK\r" out the DOUT pin. The "OK\r" characters can be delayed if the module has not finished transmitting received serial data.

When command mode has been entered, the command mode timer is started (CT command), and the module is able to receive AT commands on the DIN pin.

All of the parameter values in the sequence can be modified to reflect user preferences.

NOTE: Failure to enter AT Command Mode is most commonly due to baud rate mismatch. By default, the BD (Baud Rate) parameter = 3 (9600 bps).

To Send AT Commands:

Send AT commands and parameters using the syntax shown below.

Figure 2-05. Syntax for sending AT Commands

"AT" Prefix + ASCII Command + Space (Optional) + Parameter (Optional, HEX) + Carriage Return

Example: ATDT 1F<CR>

To read a parameter value stored in the RF module's register, omit the parameter field.

The preceding example would change the RF module Destination Address (Low) to "0x1F". To store the new value to non-volatile (long term) memory, subsequently send the WR (Write) command.

Sleep Mode

Sleep modes allow the RF module to enter states of low power consumption when not in use. The XBee OEM RF modules support both pin sleep (sleep mode entered on pin transition) and cyclic sleep (module sleeps for a fixed time). XBee sleep modes are discussed in detail in section 5.3.

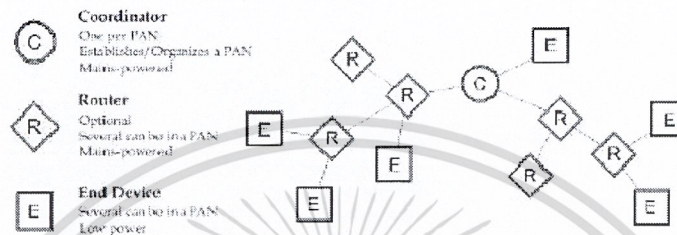
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZigBee Network Formation

ZigBee networks are called **personal area networks** or **PANs**. Each network is defined with a unique PAN identifier (PAN ID). XBee ZB supports both a 64-bit (extended) PAN ID and a 16-bit PAN ID. The 16-bit PAN ID is used in all data transmissions. The 64-bit PAN ID is used during joining, and to resolve 16-bit PAN ID conflicts that may occur.

ZigBee defines three different device types: coordinator, router, and end devices. An example of such a network is shown below:

Figure 3-01. Node Types / Sample of a Basic ZigBee Network Topology



A **coordinator** has the following characteristics: it

- Selects a channel and PAN ID (both 64-bit and 16-bit) to start the network
- Can allow routers and end devices to join the network
- Can assist in routing data
- Cannot sleep--should be mains powered.

A **router** has the following characteristics: it

- Must join a ZigBee PAN before it can transmit, receive, or route data
- After joining, can allow routers and end devices to join the network
- After joining, can assist in routing data
- Cannot sleep--should be mains powered.

A **end device** has the following characteristics: it

- Must join a ZigBee PAN before it can transmit or receive data
- Cannot allow devices to join the network
- Must always transmit and receive RF data through its parent. Cannot route data.
- Can enter low power modes to conserve power and can be battery-powered.

In ZigBee networks, the coordinator must select a PAN ID (64-bit and 16-bit) and channel to start a network. After that, it behaves essentially like a router. The coordinator and routers can allow other devices to join the network and can route data.

After an end device joins a router or coordinator, it must be able to transmit or receive RF data through that router or coordinator. The router or coordinator that allowed an end device to join becomes the "parent" of the end device. Since the end device can sleep, the parent must be able to buffer or retain incoming data packets destined for the end device until the end device is able to wake and receive the data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZigBee PANs

ZigBee networks are formed when a coordinator first selects a channel and PAN ID. After the coordinator has started the PAN, routers and end devices may join the PAN. The PAN ID is selected by the coordinator when it starts the PAN. Routers and end devices become a part of the PAN (and inherit the coordinator's PAN ID) when they join a PAN.

ZigBee supports mesh routing in the network, allowing data packets to traverse multiple nodes (multiple "hops") in order to reach the destination node. This allows ZigBee nodes to be spread out over a large region, and still support communications among all devices in the network.

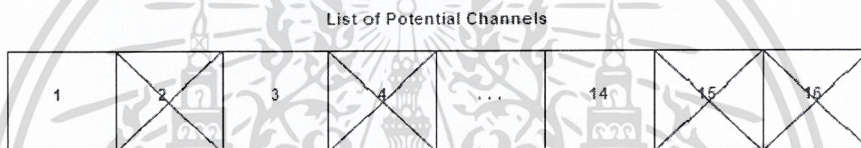
All devices in a ZigBee network receive a 16-bit address (network address) when they join a PAN. The 16-bit address of the coordinator is always 0.

Starting a PAN

Since the coordinator is responsible for starting a ZigBee network, all ZigBee networks must have a coordinator present initially. To start a PAN, the coordinator performs a series of scans to discover the level of RF activity on different channels (energy scan), and to discover any nearby operating PANs (PAN scan). Energy Scan

When a coordinator comes up for the first time, it performs an energy scan on multiple channels (frequencies) to detect energy levels on each channel. Channels with excessive detected energy levels are removed from its list of potential channels to start on.

Figure 3-02. Potential Channels

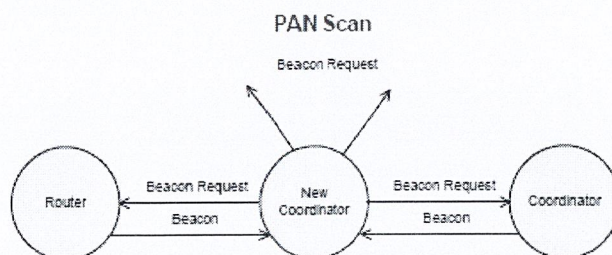


Performing an energy scan allows the coordinator to avoid starting on channels with high energy levels.

When the energy scan completes, the coordinator scans the remaining quiet channels (found in the energy scan) for existing PANs. To do this, the coordinator sends a broadcast, one-hop beacon request. Any nearby coordinators and routers will respond to the beacon request by sending a beacon frame back to the coordinator. The beacon frame contains information about the PAN the sender is on, including the PAN identifier (PAN ID), and whether or not the device is allowing joining. (The PAN scan is more commonly called an active scan or a beacon scan.)

PAN Scan

Figure 3-03. PAN Scans



A PAN Scan allows the coordinator to detect nearby PAN IDs to avoid duplicating existing PAN IDs

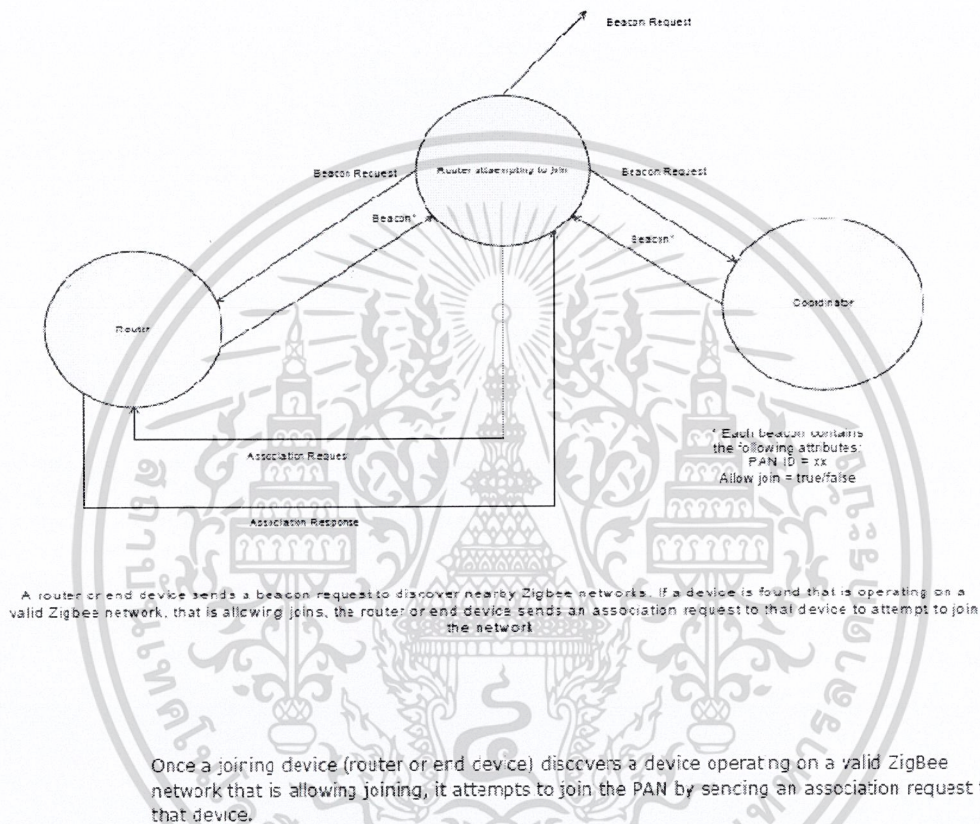
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Joining a PAN

Router and end device types must discover and join a ZigBee PAN. To do this, they first issue a PAN scan, just like the coordinator does when it starts a PAN. From the PAN scan, the router or end device receives a list of beacons from nearby ZigBee devices. The router or end device parses this list to find a valid ZigBee network to join.

Routers and end devices can be configured to join any ZigBee PAN, or to only join a PAN with a certain PAN ID. However, they must always find a coordinator or router that is allowing joins.

Figure 3-14. Joining a PAN



Once a joining device (router or end device) discovers a device operating on a valid ZigBee network that is allowing joining, it attempts to join the PAN by sending an association request to that device.

Allowing Joining

The coordinator and all routers can allow new routers and end devices to join to them. Whether or not a particular coordinator or router will allow a new device to join depends upon two things:

- its permit-joining attribute (if joins are allowed)
- the number of end device children it already has

Permit-Joining Attribute

The coordinator and all routers have a permit-joining attribute. This attribute on a coordinator and any joined routers can be configured to always allow joins, allow joins for a short time, or to not allow any more joins. In order for a new device to join the network, this attribute must be set on a nearby device such that joins are enabled.

End Device Children

Since end devices rely on their parent router or coordinator to buffer incoming RF packets, the coordinator and each router can support a finite number of end device children. Once that number of end devices has joined a particular router or coordinator, the device can no longer allow end devices to join to it.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Security

If security is enabled, the coordinator will start up using a 128-bit AES encryption key. Only devices that have the same security key can communicate on the PAN. Routers and end devices that will join a secure PAN must obtain the correct security key. The security key can be obtained in one of two ways:

- pre-installation
- key is received over-the-air (in the clear) during joining.

XBee ZB defines a network key and a link key (trust center link key). Both keys are 128-bits and are used to apply AES encryption to RF packets.

Network Security Key

The coordinator selects a network security key when it forms the network. Joining routers and end devices obtain the key when they join the network. The network key can be transmitted securely to joining devices if they have a pre-installed link key that is shared by the coordinator. Otherwise, the coordinator will transmit the network key unencrypted to joining devices.

The network security key is used to apply 128-bit AES encryption to the payload portion of all network level transmissions. This includes APS headers and data including route requests, route replies, APS commands, ZDO commands, application data packets, etc. All network layer packets are encrypted and authenticated using AES-128. A 4-byte message integrity code (MIC) is appended to the end of the packet.

Network security supports a 32-bit frame counter. The counter is incremented for each transmission sent by the device. (Each device maintains the last received frame counter value for all of its neighbors.) The frame counter cannot wrap to 0. If a packet is received from a neighbor with a frame counter less than or equal to the last received frame counter, the packet is dropped. The frame counter is reset to 0 when the network key is updated.

Network layer security is applied on a hop-by-hop basis. As each node along a route receives an encrypted packet, it decrypts and authenticates the packet before processing it. When forwarding the packet to the next hop, the node re-encrypts the packet with its own network security parameters (source address and frame counter).

Because of the hop-by-hop overhead to decrypt, authenticate, and re-encrypt data, transmitting data in a secure network has added latency over transmissions in an unsecured network. Also, due to the additional bytes required to for secure data transmissions, the maximum data packet size is reduced when security is enabled.

APS Link Key

The ZigBee APS layer provides end-to-end security between source and destination devices using a link key that is only known between the two devices. APS security encrypts the APS payload (which includes the data payload) and authenticates the APS header, APS security header, and the APS payload. A 4-byte message integrity code (MIC) is appended to the end of the APS data. After encrypting and authenticating a transmission at the APS layer, the packet is passed to the network layer for processing. APS security is only encrypted by the source and decrypted by the destination - not by each hop.

Network Key Updates

As mentioned previously, network security requires a 32-bit frame counter be maintained by each device. This frame counter is incremented after each transmission and cannot wrap to 0. If a neighbor receives a transmission with a frame counter that is less than or equal to the last received frame counter, the packet will be discarded.

To prevent an eventual lockup where the frame counter on a device reaches 0xFFFFFFFF, the network key should be periodically updated (changed) on all devices in the network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



นางสาวพรรณวดี ภาณุสุวรรณ

เกิดวันที่ 25 เมษายน 2532

เบอร์โทรศัพท์ : 089-7671015

อีเมลล์ : top_love46@windowlives.com

สำเร็จมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแอ็ดเวนตีสเอกราช

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2550

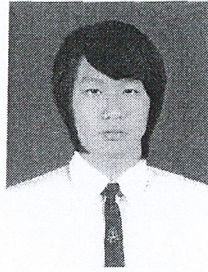
ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office, Protel 99, Solid Work 2008

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัทปตท. จำกัด(มหาชน) ระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



นายวีรพงษ์ ศิริกุลประดิษฐ์

เกิดวันที่ 10 มกราคม 2532

เบอร์โทรศัพท์ : 083-1741750

อีเมลล์ : ky-kub@hotmail.com

สำเร็จมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2550

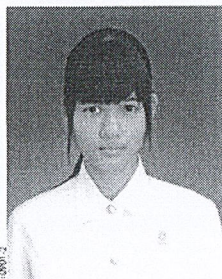
ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office, Protel 99, Solid Work 2008

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัทรีเจ็นท์กรีนทาวเวอร์ ระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



นางสาวสุปรียา วังบัวทอง

เกิดวันที่ 2 มีนาคม 2532

เบอร์โทรศัพท์ : 084-6554797

อีเมลล์ : pe_peung@hotmail.com

สำเร็จมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีทุ่งสง

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2550

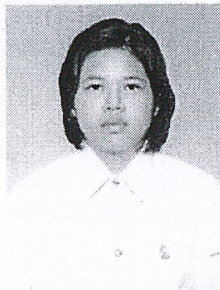
ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office, Protel 99, Solid Work
2008

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัทปูนซีเมนต์ไทยทุ่งสง จำกัด (มหาชน) ระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม
พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



นางสาวอลิษา ทรัพย์เพิ่ม

เกิดวันที่ 28 เมษายน 2532

เบอร์โทรศัพท์ : 089-6512651

อีเมลล์ : dekza_aha@hotmail.com

สำเร็จมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัย ตรัง

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2550

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม : Microsoft office, Protel 99, Solid Work 2008

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัทไทยโรละสุสะจำกัด ระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้