สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย

Wireless temperature and humidity controller

โดย

นายอโนเชาว์ ศรีวิลัย

นายอภิสิทธิ์ ล้อตระกานนท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72124
วัน,เดือน,ปี 11 มิ.ย. 2550

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว
(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย

Wireless temperature and humidity controller

โดย

นายอโนเชาว์ ศรีวิลัย 47015074

นายอภิสิทธิ์ ล้อตระกานนท์ 47015075

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.สุรพล บุญจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย**

Wireless temperature and humidity controller

ผู้จัดทำ

1. นาย อโนเชาว์ ศรีวิลัย 47015074
2. นาย อภิสิทธิ์ ล้อตระกานนท์ 47015075

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. สุรพล บุญจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย

Wireless temperature and humidity controller

โดย นาย อโนเชาว์ ศรีวิลัย 47015074
นาย อภิสิทธิ์ ล้อตระกานนท์ 47015075

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สุรพล บุญจันทร์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนออุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สาย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเพาะปลูกพืชที่ต้องการอุณหภูมิและความชื้นที่คงที่ โดยใช้การตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในพื้นที่เพาะปลูก ถ้าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ จะมีการสั่งงานผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเพื่อทำการสั่งงานอุปกรณ์ทำความเย็นและความชื้น และเมื่อได้ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ตั้งไว้จึงหยุดการทำงานดังกล่าว

ABSTRACT

This project presents a wireless temperature and humidity controller which makes planting more convenience. When the measured temperature and humidity in the air is lower than the threshold value the wireless controller will send the signal to automatically start cooler and humidity device. Until the measured temperature and humidity reaches to the threshold value,the automatic cooler and humidity device process then stops.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่างจาก อาจารย์ สุรพล บุญจันทร์ และขอขอบคุณ เพื่อนๆของข้าพเจ้าทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ทำให้งานสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดเรื่อยมาจนงานเสร็จสิ้นลง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		I
กิตติกรรมประกาศ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูปภาพ		V
สารบัญตาราง		VI
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1	พื้นฐานการสื่อสาร	2
2.1.1	ระบบและสัญญาณ	2
2.1.2	ส่วนประกอบของระบบโทรคมนาคม	3
2.2	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628	4
2.2.1	โครงสร้างพื้นฐาน	4
2.2.2	รีจิสเตอร์กำหนดการทำงานของ PIC16F628	6
2.2.3	รีจิสเตอร์แสดงสถานะการทำงานPIC16F628	6
2.2.4	การติดต่อ I/O PORT	7
2.2.5	อินเตอร์รัปต์ใน PIC16F628	7
2.2.6	คุณลักษณะพิเศษของ PIC16F628	8
2.3	อินเตอร์เฟส RS232	9
2.3.1	RS232C	11
2.4	หน่วยแสดงผลข้อมูล (LCD MODULE)	14
2.4.1	ชุดอ่านเขียนข้อมูลและการแสดงข้อความ	17
2.4.2	ความเข้าใจพื้นฐาน	18
2.4.3	รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง	19
2.4.4	การอ่านและเขียนข้อมูลกับ DDRAM/CGRAM	22
2.4.5	แนวทางการเขียนโปรแกรมควบคุม	22
2.5	ทฤษฎีของระบบบัสไอสแควซี	23
2.5.1	คุณสมบัติทั่วไปของบัส I^2C	23
2.5.2	หลักการของบัส I^2C	24
2.6	การสื่อสารดิจิตอลแบบแบนด์พาส (Bandpass digital communication)	25
2.6.1	การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency-shift Keying:FSK)	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	การออกแบบและการสร้าง	
3.1	ระบบควบคุมในโครงงาน	27
3.1.1	อุปกรณ์ตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิ	27
3.1.2	วงจรจ่ายแรงดัน	27
3.1.3	วงจรการวัดค่าและส่งข้อมูลแบบไร้สาย	28
3.1.4	วงจรการรับค่าและการแสดงผล	30
3.1.5	วงจรการขับโหลด	32
3.2	ภาครับและภาคส่งแบบไร้สาย	33
บทที่ 4	การทดลอง	
4.1	การทดลองอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ	35
4.2	วิธีการใช้งานเครื่อง	35
4.2.1	การตั้งค่าอุณหภูมิ	35
4.2.2	การตั้งค่าความชื้น	36
4.3	แผนผังการทำงาน	38
บทที่ 5	สรุปผลและแนวทางการพัฒนา	39
5.1	ปัญหาและอุปสรรค	39
5.2	แนวทางการพัฒนา	39
บรรณานุกรม		40
ภาคผนวก		41
ภาคผนวก ก.		
ภาคผนวก ข.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนผังของระบบ 2
รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบหลักในระบบโทรคมนาคม 3
รูปที่ 2.3 ลักษณะของหัวต่อแบบ DB-9 12
รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารทางเดียว 13
รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารสองทาง 14
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรภาคจอแสดงผล LCD 16
รูปที่ 2.7 สัญญาณ FSK (ก) binary FSK (ข) 4-Array FSK 26
รูปที่ 3.1 วงจรจ่ายแรงดัน 27
รูปที่ 3.2 วงจรการวัดค่าและส่งข้อมูล 28
รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานทางด้านการวัดค่าและส่งข้อมูลแบบไร้สาย 29
รูปที่ 3.4 วงจรการรับค่าและแสดงผล 30
รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานทางด้านการรับค่าและแสดงผล 31
รูปที่ 3.6 วงจรการขับโหลด 32
รูปที่ 3.7 วงจรส่วนของภาครับและภาคส่งของอุปกรณ์ ET-RF24G 33
รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิ และการควบคุมความชื้น 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดของมาตรฐาน RS232C	11
ตารางที่ 2.2 DB-9 ตัวผู้ ทางด้านคอมพิวเตอร์	12
ตารางที่ 2.3 หน้าที่ของสัญญาณต่างๆ	13
ตารางที่ 2.4 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาของจอแสดงผลLCD	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งนับวันก็ยิ่งจะมีความสำคัญในชีวิตประจำวันมาขึ้นเช่นกัน เมื่อเทียบกับปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต

ในโครงงานนี้ได้นำเสนออุปกรณ์การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติแบบไร้สาย เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และให้ผลผลิตสูง ซึ่งเป็นการอำนวยความสะดวกสบาย และประหยัดเวลาในการดูแล โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่เพาะปลูกซึ่งอยู่ห่างไกล

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F628 เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ
2. ศึกษาการทำงานของการรับ-ส่งแบบไร้สาย
3. ศึกษาการนำอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นรวมถึงวงจรที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน

ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถเลือกกำหนดค่าอุณหภูมิโดยใช้การตรวจวัดอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้
2. สามารถเลือกกำหนดค่าความชื้นโดยใช้การตรวจวัดความชื้นตามที่กำหนดไว้
3. สามารถทำการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พื้นฐานการสื่อสาร

การติดต่อสื่อสารระหว่างกันเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับมนุษย์ชาติ สมัยโบราณการติดต่ออาจมีจำกัดอยู่ในวงแคบ แต่เมื่อมนุษย์เจริญขึ้นความจำเป็นในการสื่อสารก็ขยายกว้างขึ้น อีกทั้งยังต้องการความรวดเร็วในการติดต่อระยะไกลเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการสื่อสารเรื่อยมาเป็นลำดับ กิจการติดต่อสื่อสารระยะไกลมีศัพท์ที่ใช้เฉพาะว่า กิจการโทรคมนาคม แม้ว่าในกิจการโทรคมนาคมอาจใช้สัญญาณอื่นนอกจากสัญญาณไฟฟ้า เพื่อเป็นสื่อสำหรับการส่งถ่ายข่าวสารได้ก็ตาม แต่เนื่องจากการควบคุมสัญญาณไฟฟ้านั้น สามารถทำได้ง่ายกว่าการควบคุมสัญญาณชนิดอื่น ดังนั้นในปัจจุบันสัญญาณหลักที่ใช้เพื่อการโทรคมนาคมในปัจจุบันจึงได้แก่สัญญาณไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ ถ้าจะกล่าวถึงการสื่อสารเบื้องต้นแล้วประเด็นพื้นฐานก็จะเกิดอยู่บนการสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าเป็นหลักนั่นเอง

2.1.1 ระบบและสัญญาณ

โดยความหมายกว้างๆของคำว่า ระบบ (system) จะหมายถึง ลำดับหรือขั้นตอนที่มีแบบอย่างโดยเฉพาะตัว แต่สำหรับความหมายของระบบที่จะกล่าวถึงในนี้นั้น จะหมายถึง กลุ่มของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ถูกจัดขึ้นให้ทำงานร่วมกันเพื่อให้ผลลัพธ์ตามที่ได้หวังไว้ ตามปรกติระบบนั้นจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณเข้า หรือสัญญาณอินพุต (input signal) หรือตัวกระตุ้น (excitation) ของระบบ และก็จะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่าสัญญาณออก หรือสัญญาณเอาต์พุต (output signal) หรือผลตอบสนอง (response) ของระบบ ซึ่งความสัมพันธ์ของระบบและสัญญาณเหล่านี้จะมีดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แผนผังของระบบ

โดยปรกติคุณสมบัติของระบบ จะถือกำหนดจากความสัมพันธ์ของผลตอบสนองกับตัวกระตุ้นของระบบนั้นว่าเป็นเช่นไร ยกตัวอย่างเช่น ถ้าผลตอบสนองมีค่าเท่ากับผลขยายของตัวกระตุ้น ระบบที่ทำหน้าที่ดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเป็นระบบขยายสัญญาณดังนี้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำศัพท์ที่มาคู่กับคำว่าระบบ ก็คือศัพท์คำว่า สัญญาณ ซึ่งหมายถึงปริมาณทางกายภาพที่มีค่าขึ้นกับเวลา และสามารถใช้ส่งเข้าสู่ระบบเพื่อกระตุ้นระบบให้ทำงานตามต้องการ

เนื่องจากในปัจจุบัน ระบบการสื่อสารทั่วไปนั้นใช้สัญญาณไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงคำว่าสัญญาณก็หมายถึงสัญญาณไฟฟ้า ยกเว้นไว้แต่เมื่อมีการกล่าวบ่งชี้ไว้เป็นอย่างอื่น เหตุสำคัญที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าเป็นหลักในการสื่อสารก็เพราะสัญญาณไฟฟ้าสามารถควบคุมและจัดการต่างๆได้ง่าย

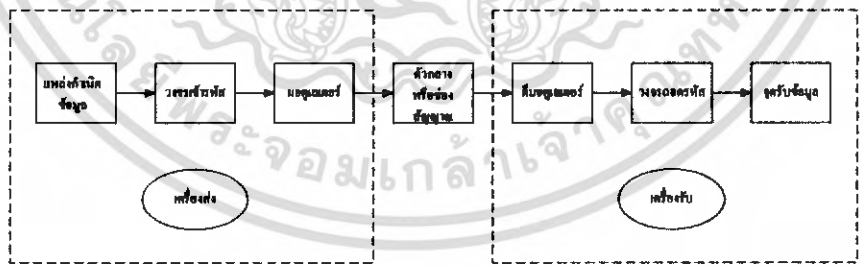
เพราะสัญญาณนั้นมีค่าขึ้นกับเวลา t กล่าวคือ มันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนั้นเมื่อนำเอาคณิตศาสตร์มาอธิบายเรื่องของสัญญาณในทางคณิตศาสตร์จึงใช้สัญลักษณ์แทนด้วยฟังก์ชันของเวลา เช่น $f(t)$, $g(t)$ หรือ $r(t)$ ดังนี้เป็นต้น และในกรณีที่สัญญาณมีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจำเพาะลงไปอยู่ในรูปของฟังก์ชันที่คุ้นเคยเช่นมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปไซน์ (sinusoidal signal) เราก็จะเขียนฟังก์ชันแทนสัญญาณ และอธิบายค่าของฟังก์ชันนั้นได้ดังต่อไปนี้

$$f(t) = A\cos(\omega t + \theta) \qquad (2\text{-}1)$$

โดยอาศัยสมการ (2-1) นี้ เราก็จะเข้าใจจากรูปของฟังก์ชันได้ว่า $f(t)$ ในที่นี้คือ สัญญาณรูปไซน์ซึ่งมีแอมปลิจูดเท่ากับ A มีความถี่เรเดียน คือ ω และมีค่าเฟสเริ่มต้น θ ดังนี้เป็นต้น อนึ่งควรทำความเข้าใจด้วยว่า ความถี่เรเดียน ω นั้นในความครั้งก็จะเรียกสั้นๆว่า ความถี่เท่านั้น จึงจำเป็นที่เราจะต้องสังเกตความหมายด้วยว่า ความถี่ที่กำลังสนใจอยู่นั้นเป็นเป็นความถี่ ω ที่มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที หรือเป็นความถี่ f ที่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ ให้ถูกต้องด้วย อย่างไรก็ดี ความถี่ทั้งสองนั้นสามารถแปรหากันได้โดยความสัมพันธ์ง่ายๆ คือ $\omega = 2\pi f$

2.1.2 ส่วนประกอบของระบบโทรคมนาคม

ส่วนประกอบหลักของระบบโทรคมนาคมมีดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในระบบโทรคมนาคมบางระบบ อาจจะมีส่วนประกอบน้อยกว่าระบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และชนิดของการใช้งาน แต่ส่วนที่จำเป็นจะต้องมีอย่างแน่นอนก็คือ ช่อง (channel) หรือตัวกลาง (medium) สำหรับการสื่อสาร ซึ่งอาจมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาวะ



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบหลักในระบบโทรคมนาคม

บางระบบอาจไม่มี วงจรการเข้ารหัส (encoder or coder) และวงจรถอดรหัส (decoder) แต่สำหรับระบบที่ต้องการลดอัตราการผิดพลาดในการสื่อสารนั้น ก็จำเป็นที่จะต้องใช้วงจรเหล่านี้ เพราะวัตถุประสงค์หลักของการเข้ารหัส ก็เพื่อลดอัตราการผิดพลาดของการส่งข้อมูลเป็นหลัก ส่วนวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูเลเตอร์ (modulator) เป็นวงจรที่ช่วยย้ายย่านความถี่ของสัญญาณข้อมูล โดยอาศัย คลื่นพาห์ (carrier) เป็นตัวช่วย เพื่อที่จะให้เกิดความเหมาะสมในการส่งสัญญาณผ่านตัวกลางไปยังเครื่องรับ แต่อย่างไรก็ดีถ้าย่านความถี่ของสัญญาณข้อมูลเดิมนั้นมีความเหมาะสมในการที่จะผ่านตัวกลางได้แล้ว วงจรมอดูเลเตอร์นี้ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ในกรณีนั้น วงจรที่ทำหน้าที่คู่กันกับวงจรมอดูเลเตอร์ก็คือ วงจรดีมอดูเลเตอร์ (demodulator) ซึ่งทำหน้าที่แยกเอาสัญญาณข้อมูลออกจากคลื่นพาห์ที่รับมาได้ทางเครื่องรับ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

วงจรมอดูเลเตอร์ และวงจรดีมอดูเลเตอร์เมื่ออยู่รวมกัน จะมีชื่อเรียกว่า โมเดม (modem) และวงจรเข้ารหัสเมื่ออยู่รวมกันกับวงจรถอดรหัสจะมีชื่อว่า โคเดค (codec) ทั้งโคเดคและโมเดมมีบทบาทคล้ายกันในการที่จะทำให้การส่งและรับสัญญาณมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่วัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันคือ โคเดคถูกใช้โดยมีจุดมุ่งหมายในการที่จะลดความผิดพลาดในการส่งและรับข้อมูลให้น้อยที่สุด ในขณะที่การใช้โมเดมมีจุดมุ่งหมายที่จะจัดการให้สัญญาณที่จะส่งมีย่านความถี่เหมาะสมกับการส่งผ่านตัวกลางได้เป็นหลัก

ปัญหาที่เกิดกับระบบโทรคมนาคมนั้น ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากตัวกลางที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณ เช่น อาจทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ทำให้เกิดการลดทอนต่อสัญญาณ ฯลฯ ตัวกลางที่กล่าวถึงนี้ อาจเป็นบรรยากาศ (สำหรับส่งคลื่นวิทยุ) หรือสายส่งสัญญาณต่างๆที่พบเห็นกันโดยทั่วไป สัญญาณรบกวนต่างๆที่มีขึ้น ก็มักเกิดมาจากตัวกลางเหล่านี้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าถ้าไม่มีปัญหาจากตัวกลางที่เสียอย่างเดียวแล้ว ปัญหาต่างๆในระบบโทรคมนาคมก็จะหมดสิ้นไปเกือบทั้งสิ้น

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

PIC16F628 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี CPU , RAM , EEPROM , TIMER , COMPARATOR, I/OPORT, USART,CCP ในตัวซึ่ง CPU ภายในตัวมันเป็นแบบ RISC สามารถประมวลผลข้อมูลได้ครั้งละ 8 bit มีหน่วยความจำที่สามารถโปรแกรมได้ 2K WORD(1 WORD = 14 BIT) และมีหน่วยความจำ RAM 224 byte มีหน่วยความจำ EEPROM 128 byte มี PORT ใช้งานมากถึง 16 bit มีชุดคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง

2.2.1 โครงสร้างพื้นฐาน

PIC16F628 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์ดวาร์ด กล่าวคือ มีการจัดแยกหน่วยความจำโปรแกรมและ หน่วยความจำข้อมูลออกจากกันมีบัสสำหรับติดต่อแยกกัน โดยที่ซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสของแอดเดรส 13 บิต และบัสของข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิตในขณะที่บัสติดต่อหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต และยังสามารถต่อ memory ภายนอกได้ 128 byte โดยใช้ 8 bit data นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้วการกระทำคำสั่งทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า pipeline ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบันส่งผล ให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้นนั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก สำหรับกระบวนการ pipeline แต่ถ้าเป็นคำสั่งกระโดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไม่ทำการเฟตช์ในทันที แต่จะทำการเก็บแอดเดรสของคำสั่งเดิมก่อนแล้ว ค่อยกระโดดไปที่แอดเดรสที่ทำคำสั่งที่กระโดดไป โดยที่โครงสร้างพื้นฐานจะประกอบไปด้วย

ก. โครงสร้าง Memory

ใน PIC16F628 นี้มีหน่วยความจำอยู่ภายในตัวมันอยู่ 3 ชนิด

- Program Memory : ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถโปรมแกรมลงไปเพื่อให้ตัว PIC16F628 นี้ทำงานในตอนเริ่มทำงานอย่างไร โดยสามารถโปรแกรมได้ 2k x 14 บิต (0000H - 07FFH)

- Data Memory : เป็นหน่วยความจำที่มีทั้งหมด 4 แบงก์โดยภายจะประกอบไปด้วย รีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษซึ่งบางตัวก็สามารถใช้งานได้ และที่สงวนไว้สำหรับตัว chip เองด้วย และอีกส่วนประกอบไปด้วยรีจิสเตอร์ไฟล์ซึ่งเป็นส่วนที่เราสามารถใช้เป็น RAM ได้สามารถใช้ได้ 224 ตำแหน่งๆละ 8 บิต

- EEPROM Memory : เป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนได้เหมือนรีจิสเตอร์ไฟล์แต่จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ EECON1 , EECON2 , EEDATA , EEADR โดยหน่วยความส่วนนี้สามารถใช้ได้ 128 ตำแหน่งๆละ 8 บิตและที่สำคัญคือไม่ไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้ก็ไม่หายไปอีกด้วย

ข. โครงสร้าง Program Counter

โปรแกรมเคาน์เตอร์แบ่งออกเป็นสองส่วนส่วนแรกมีขนาด 8 บิตเป็นข้อมูลในไบต์ต่ำ (บิต 0-7) เรียกว่ารีจิสเตอร์ PCL มีแอดเดรสอยู่ที่ 0X02 อีกส่วนหนึ่งมีขนาด 5 บิตเป็นข้อมูลในไบต์สูง (บิต 8-12) เรียกว่ารีจิสเตอร์ PCH สำหรับรีจิสเตอร์ PCH ไม่สามารถเข้าถึงได้โดยตรง การปรับปรุงข้อมูลใน PCH ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0X0A

กำหนดค่าลงในโปรแกรมเคาน์เตอร์ซึ่งอาจเกิดขึ้น 2 ลักษณะคือ ในลักษณะที่ 1 เป็นการกำหนดค่า PC หลังจากการกระทำคำสั่งทั่วไป โดยข้อมูลแอดเดรส 8 บิต ใน PCL จะได้มาจากหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (ALU) ส่วนอีก 5 บิต จะผ่านมายังรีจิสเตอร์ PCLATH

ลักษณะที่ 2 เมื่อ ซีพียูกระทำคำสั่ง GOTO หรือ CALL OPCODE 11 บิตแรก (บิต 0 - 10) ซึ่งเป็นค่าของแอดเดรสปลายทางจะเก็บไว้ใน PCL 8 บิต ร่วมกับอีก 3 บิตล่าง ของ PCH ส่วน 2 บิตบน ของ PCH จะได้ข้อมูลมาจากบิต 3 และ 4 ของรีจีสเตอร์ PCLATH

ค. โครงสร้างของ Stack

ใน PIC มีหน่วยความจำสำรองสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ชั่วคราวขนาด 13 บิต หรือเรียกว่า สแต็ก โดยสามารถเก็บข้อมูลเก็บข้อมูล ได้ทั้งสิ้น 8 ระดับ โดยพื้นที่ของสแต็กนั้นจะจัดสรรแยกไว้ต่างหากไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ของหน่วยความจำแต่อย่างใดตัวชี้ตำแหน่งของสแต็กหรือเรียกว่าสแต็กพอยน์เตอร์ (STACK POINTER) ไม่สามารอ่านและเขียนข้อมูลได้ โดยค่าของสแต็กพอยน์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติจาก การกระทำคำสั่ง CALL ,RETURN,RETLW และ RETFIE การเก็บค่าของของสแต็กจะต่อเนื่องเป็นวงกลม สามารถเก็บข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันได้ 8 ค่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลครั้งที่ 9 เข้ามาข้อมูลนั้นจะไปทับในสแต็กของข้อมูลในครั้งแรกวนเช่นนี้ ไปตลอดดังนั้นในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จึงไม่มีการแจ้งเหตุการณ์สแต็กเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นการเก็บค่าหรืออ่านค่าในสแต็กของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกระทำคำสั่ง CALL ,RETURN,RETLW และ RETFIE หรือเกิดการอินเตอร์รัปต์เท่านั้น ไม่มีคำสั่ง PUSH หรือ POP เพื่อการติดต่อกับสแต็กเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่น

ง. โครงสร้างของ Register w

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพราะไม่ว่าจะเป็นการประมวลผลทางคณิตศาสตร์หรือลอจิก ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ w เท่านั้นหรืออาจกล่าวได้ว่ารีจิสเตอร์ w คือ แอคคิวมูเลเตอร์ ในการเรียกใช้งานรีจิสเตอร์ตัวนี้สามารถกระทำได้ทันทีและตลอดเวลา โดยผ่านคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับรีจิสเตอร์ w

2.2.2 รีจิสเตอร์กำหนดการทำงานของ PIC16F628

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มีพารามิเตอร์อยู่ตัวหนึ่งที่สำคัญและจำเป็นอย่างมากที่ผู้ใช้งานต้องทราบและทำความเข้าใจ พารามิเตอร์ตัวนี้คือ Configration word ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่บรรจุข้อมูลสำหรับกำหนดการทำงานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่ว่าจะเป็นการเลือกป้องกันข้อมูล,การเลือกให้สามารถโปรแกรมหน่วยความจำด้วยแรงดันต่ำ, หรือกระทั่งการเลือกชนิดของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตำแหน่งของ configguration word อยู่ที่แอดเดรส 0x2007 ดังมีรายละเอียดของการกำหนดข้อมูลแต่ละบิตดังนี้

- CP1,CP0 (Code protection Bit - 13-10) เป็นบิตเลือกพื้นที่สำหรับป้องกันการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม โดยข้อมูลในบิต 13 กับ 11 (บิต CP1) ต้องเหมือนกันและข้อมูลในบิต 12 และ 10 ต้องเหมือนกัน

- CPD (Data code protection bit - บิต 8) เป็นบิตเลือกการอ่านหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม

- LVP (Low voltage programing Enable - บิต 7) เป็นบิตเลือกการโปรแกรมหน่วยความจำด้วยแรงดันต่ำ

- BODEN (Brown-out detect enable bit - บิต 6) เป็นบิตเลือกการตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงเพื่อทำให้เกิดการรีเซตโดยอัตโนมัติหรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (brown-out reset)

- MCLRE (RA5/ MCLR pin function select - บิต 5) เป็นบิตเลือกการทำงานของขา RA5/ MCLR

- PWRTE (Power-up timer enable bit - บิต 3) เป็นบิตเลือกการทำงานของเพาเวอร์อัปไทเมอร์

- WDTE (Watchdog timer enable bit - บิต 2) เป็นบิตเลือกการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์

- FOSC2: FOSC0 (Oscilaltor selection bit - บิต 4, บิต 1 และบิต 0) เป็นบิตเลือกโหมดของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

2.2.3 รีจิสเตอร์แสดงสถานะการทำงานPIC16F628

เป็นรีจิสเตอร์ใช้เก็บข้อมูลแสดงสถานการณ์ทำงานของ PIC ไม่ว่าเป็นแฟลกแสดงผลของการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกมีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 0x83 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- IRP (Indirect Register Bank select bit - บิต 7) ใช้เลือกแบงค์ของหน่วยความจำข้อมูลแรมและรีจิสเตอร์ไฟล์เมื่อใช้การอ้างถึงแบบโดยอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RP1 - RP0 (Register Bank select bit - บิต 6 และ 5) ใช้เลือกแบงค์ของหน่วยความจำข้อมูลแรมและรีจิสเตอร์ไฟล์เมื่อใช้การอ้างถึงแบบโดยตรง

- TO (Time - out bit - บิต 4) เป็นบิตแสดงขอบเขตเวลาแสดงการเกิดไทม์เอาต์

- PD (Power - down bit -บิต 3) เป็นบิตแสดงการทำงานในโหมดสลีปหรือโหมดประหยัดพลังงาน

- Z (Zero bit - บิต 2) เป็นบิตศูนย์ใช้แสดงผลการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์

- DC (Digit carry/borrow bit -บิต 1) เป็นบิตทดหรือยืมระหว่างหลักในกรณีที่มีการกระทำ

- C (Carry/borrow bit - บิต 0) เป็นบิตทดหรือยืม

2.2.4 การติดต่อ I/O PORT

ใน PIC16F628 นี้มีพอร์ตให้ใช้งานอยู่สองพอร์ตคือ Port A และ Port B ซึ่งทั้งสองพอร์ตนี้สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุตพอร์ต และเป็นแบบ LATCH ด้วยโดยเมื่อรวมพอร์ตในการใช้งานแล้วจะสามารถมีพอร์ตใช้งาน 16 พอร์ตและยังสามารถต่อพอร์ตเพิ่มได้อีก ด้วยการ Multiplex หรือใช้การ Shift รีจิสเตอร์เข้ามาช่วยก็ได้

การกำหนดว่าจะให้พอร์ตไหนเป็นเอาท์พุตหรืออินพุตนี้ สามารถกำหนดได้ผ่านทางรีจิสเตอร์ที่ชื่อว่า TRISA มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x85 และ TRISB มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x86 ถ้าต้องการให้พอร์ตไหนเป็นอินพุตก็กำหนดให้เป็น 1 ถ้าเป็นเอาท์พุตก็กำหนดให้เป็น 0

2.2.5 อินเตอร์รัปต์ใน PIC16F628

ใน PIC16F628 สามารถตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ได้ 10 แหล่งดังนี้

- จากไทเมอร์ 3 แหล่งคือ การเกิดโอเวอร์โฟว์ในไทเมอร์ 0 และไทเมอร์ 1 อีกแหล่งหนึ่งจากค่าเท่ากันหรือตรงกันในไทเมอร์ 2

- จากการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ EEPROM เสร็จ 1 แหล่ง

- จากโมดูลสื่อสารอนุกรม (USART) 2 แหล่งคือ เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อรับส่งข้อมูลสมบรูณ์

- จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาลอก 1 แหล่ง

- จากพอร์ต B 2 แหล่ง จากสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา RB0/INT การเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4 - RB7

การที่จะทำการอินเตอร์รัปต์ ได้นั้นต้องมีการเตรียมการ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON หากบิตนี้ไม่มีการเซตจะไม่ มีการเกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้

2. เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์

3. เขียนบริการอินเตอร์รัปต์ซึ่งมีค่า Address Interrupt vector อยู่ที่ 0x0004

การทำอินเตอร์รัปต์ นี้ต้องอาศัยการตั้งค่ารีจิสเตอร์ 3 ตัวคือ

- รีจิสเตอร์ INTCON

เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการเกิดอินเตอร์รัปต์รวมของ PIC16F628 อันได้แก่ การเกิดอินเตอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วง,จากการเกิดโอเวอร์โฟว์ของไทเมอร์ 0 , จากการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RB0/INT จากสัญญาณภายนอก มีแอดเดรส อยู่ที่ 0x0B ในแบงก์ 0 , 0x8B ในแบงก์ 1 , 0x10B ในแบงก์ 2, 0x18B ในแบงก์ 3 คือว่ามีอยู่ทุกแบงก์เพื่อจะได้เข้าถึงได้อย่างไม่ต้องเสียเวลา

- รีจิสเตอร์ PIE1

เป็นรีจิสเตอร์ใช้แสดงสถานะเงื่อนไขของการเกิดอินเตอร์รัปต์ของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ต่อพ่วงทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ PIE1 โดยเมื่อเงื่อนไขของการอินเตอร์รัปต์เป็นจริง จะเกิดการเซตบิตสถานะในรีจิสเตอร์ PIR1 จากนั้นจะตรวจสอบว่ามีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้น ๆ ที่รีจิสเตอร์ PIE1 หรือไม่ ถ้ามีจะตรวจสอบว่า บิต PIE1 และ GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON เซตไว้ทั้งคู่หรือไม่ ถ้าหากเซตไว้ก็เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นอย่างสมบูรณ์ รีจิสเตอร์ PIE1 มีการแอดแดรส อยู่ที่ 0x0C สามารถทำการอ่านและเขียนได้ทุกบิตยกเว้นบิต 4 และ 5 (บิต TXIF และ RCIF) ที่สามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียว

2.2.6 คุณลักษณะพิเศษของ PIC16F628

ใน PIC16F628 นี้มีคุณสมบัติอื่นที่น่าสนใจในการใช้งานมากมายดังนี้

- OSC selection- Reset

ใน PIC16F628 นี้สามารถใช้แหล่งกำเนิดความถี่ภายในได้โดยไม่ต้องต่อจากภายนอกโดยมีให้เลือกอยู่ 2 ความถี่คือ 4MHz และ 37KHz อีกทั้งยังสามารถปรับความถี่แบบเลือกได้ด้วยโดยใช้ต้านทาน สามารถกำหนดการใช้งานได้ที่รีจิสเตอร์ PCON

- SLEEP

เป็นสภาวะที่ PIC16F628 นี้สามารถประหยัดพลังงานที่ใช้เลี้ยงตัวมัน โดยใช้คำสั่ง SLEEP สามารถออกจากโหมดนี้ได้ด้วยการเกิดอินเตอร์รัปต์

- Timer / Counter

ใน PIC16F628 นี้มีไทเมอร์ให้ 3 ตัว Timer 1 เป็นแบบ 8 บิต , Timer 2 เป็นแบบ 16 บิต , Timer 3 เป็นแบบ 8 บิต

- Module Analog

มีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกให้ 2 ชุดกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ CMCON

- Voltage Referance Module

แรงดันอ้างอิงนี้จะส่งออกที่ขาพอร์ต RA2 สามารถเลือกได้ 2 ย่านคือ 0 - 0.625VDD, 0-0.71875VDD โดย VDD คือไฟเลี้ยงวงจร

- Code protection

เป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่น่าสนใจเพราะคุณสมบัตินี้สามารถป้องกันการอ่าน Code ที่เราเขียนได้ โดยสามารถเลือกว่าจะป้องกันทั้งหมดหรือ เป็นส่วนได้

- In-circuit serial programming

เป็นคุณสมบัติที่ใช้ติดต่อสื่อสารผ่านระบบอนุกรม ผ่านโมดูล USART เหมือนกับ RS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อินเตอร์เฟส RS232

อินเตอร์เฟส RS232 เป็นอินเตอร์เฟสตามมาตรฐานของ Electronics Industry Association (EIA) ในประเทศสหรัฐอเมริกา (ความหมายของ RS นั้นหมายถึง Recommend Standard) มาตรฐาน RS232 นี้เป็นมาตรฐานในการรับส่งข้อมูล Data Terminal Equipment (DTE) และ Data Circuit Terminating Equipment (DCE) โดยใช้เทคนิคสื่อสารข้อมูล Binary แบบอนุกรม (Serial Binary Data Interchange) ซึ่งถือกำเนิดครั้งแรกในปลายทศวรรษ 1960 เนื่องจากระยะนั้นได้เริ่มมีความต้องการในการที่จะ access เข้ามายัง mainframe computers จากระยะทางไกลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

อินเตอร์เฟส RS232C เป็นมาตรฐานที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เป็นอินเตอร์เฟสที่ใช้สายเพียงหนึ่งเส้นในแต่ละ circuit ในการนำสัญญาณจาก terminal ไปยัง MODEM หรือจาก MODEM มายัง terminal และทุก circuit จะใช้สายร่วมกันหนึ่งเส้นเป็น circuit common หรือ return path โดยที่ circuit common นี้ก็คือจุดที่เป็น absolute voltage reference สำหรับวงจรทั้งหมดหรือการวัดแรงดัน ณ จุดใด หรือสายเส้นใดในวงจรจะต้องวัดเทียบกับจุดนี้

เนื่องจากต้องมีการตรวจสอบและควบคุมให้ DTE และ DCE ทำงานสัมพันธ์กัน ดังนั้น กระบวนการ handshaking จึงถูกนำมาใช้ในการควบคุมการไหลของข้อมูล ผ่านอินเตอร์เฟส และการควบคุมอื่นๆ

อินเตอร์เฟส RS232C และ RS232D ที่ออกโดย Electronics Industry Association นี้จะใกล้เคียงกับ ITU-T V2.4/V2.8 INTERFACE โดยที่ V2.4 คือ functional description ส่วน V2.8 คือ electrical specification

อินเตอร์เฟส RS232 นี้ค่า maximum load capacitance ที่ยอมรับได้คือไม่เกิน 2500pf โดยปกติแล้วค่า capacitance ในสาย cable ยาว 1 เมตร จะตกประมาณ 130pf ดังนั้นอินเตอร์เฟส RS232C จึงสามารถใช้ cable ยาวที่สุดได้เพียงประมาณ 50 ฟุต โดยที่ความเร็วสูงที่สุดไม่ควรเกิน 20kbps แต่อาจใช้ในระยะทางที่เกินกว่านี้ได้แต่ก็ไม่ควรเกิน 30 เมตร โดยเลือกสายที่เป็น low capacitance cable ร่วมกับการใช้ error correction mechanism ที่เหมาะสม

EIA ได้แบ่งฟังก์ชันในการทำงานออกเป็นกลุ่มย่อยทั้งสิ้น 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

1. A - Ground circuit
2. B - Data circuit
3. C - Control circuit
4. D - Timing circuit
5. S - Secondary channel circuit

GROUND CIRCUIT

มีสองส่วนคือ Protective ground (pin-1,circuit AA) ซึ่งจะถูกต่ออยู่กับ protective ground ของ terminal และ modem วงจรนี้ถูกนำมาใช้งานเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานเท่านั้น ไม่รวมถึงการเป็น common return ของสัญญาณในแต่ละขาซึ่งเป็นหน้าที่ของ signal ground (pin-7,circuit AB) ซึ่งเป็น ground reference ของสัญญาณอินเตอร์เฟสทุกขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA CIRCUIT

มีสองส่วนเช่นกันคือ Transmit data (pin-1,circuit BA) ทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูล terminal ไปยัง modem โดยที่ terminal ควรส่งข้อมูลไปยัง modem เพียงขณะเมื่อสัญญาณ RTS (request to send), CTS (clear to send), DSR (data set ready) และ DTR (data terminal ready) อยู่ในสถานะ High หรือ "ON" และเมื่อ terminal ไม่มีข้อมูลที่จะส่งมันควรจะ hold วงจร TD (circuit BA) ให้เป็น "MARK" หรืออยู่ในสถานะ logical "1"

ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ได้รับข้อมูลเข้ามาจาก modem โดยที่ modem จะส่งเข้ามาทางขา 3 (pin-3,circuit BB) ในกรณีที่ไม่มีการรับข้อมูลแต่ modem ยัง on-line มันควรจะถูก hold ไว้ที่ "MARK" ตราบเท่าที่ data carrier detect : DCD (pin-8,circuit CF) ยังคง on อยู่

TIMING CIRCUIT

ในกรณีที่เป็นการส่งแบบ synchronous transmission, transmit data (pin-,circuit BA) สามารถถูก clocked โดยวิธี หรือสองวิธีที่แตกต่างกัน โดยวิธีแรกคือ terminal สามารถกำหนด clock signal เพื่อป้อนให้แก่ modem ผ่านทาง DTE (pin-24,circuit DA) หรือรับสัญญาณ clock จาก modem ผ่านทาง transmitter signal element timing (DEC source ขาที่15 circuit DB)

CONTROL CIRCUIT

Circuit CD [DTR] (data terminal ready,pin-20): เป็นตัวส่งสัญญาณควบคุมจาก terminal ไปยัง modem สัญญาณจาก circuit จะถูก asserted เมื่อ terminal พร้อมที่จะส่งข้อมูล หรือได้รับการ setup หลังจากที่เปิดกระแสไฟฟ้า (powered up) เรียบร้อยแล้ว

Circuit CC [DSR] (data set ready,pin-6): เป็นสัญญาณควบคุมถูกส่งจาก modem มายัง terminal ทั้งนี้เพื่อกระตุ้นหรือบอกแก่ terminal ว่าขณะนี้ modem พร้อมทำงานแล้ว

Circuit CE [R1] (ring indicator,pin-22): เป็นสัญญาณจาก modem มายัง terminal เพื่อบอกกับ terminal ว่าขณะนี้มีโทรศัพท์เข้าคือ modem สามารถ detects สัญญาณเรียก (ringing signal) ในสายโทรศัพท์ได้

Circuit CA [RTS] (request to send,pin-4): terminal เป็นผู้ส่งสัญญาณนี้ไปยัง modem เพื่อบอกกับ modem ว่า มันต้องการที่จะส่งข้อมูลให้กับ modem

Circuit CB [CTS] (clear to send,pin-5): เป็นสัญญาณตอบกลับจาก modem เพื่อบอกกับ terminal ว่าพร้อมที่จะส่งข้อมูลมาให้หรือไม่

Circuit CF [DCD] (data carrier detect also know as recive line singal detector : RLSD,pin-8): เป็นสัญญาณที่ถูกส่งจาก modem มายัง terminal เพื่อบอกว่าขณะนี้ modem รับสัญญาณ (carrier) จาก modem ฝั่งตรงข้ามได้ ถ้าสัญญาณนี้หายไปมันจะติดต่อกับ modem ฝั่งตรงข้ามไม่ได้ คือมันจะไม่สามารถรับ/ส่งข้อมูลกันได้ตามปกติ

Circuit CG (signal quality detector,pin-21): เป็นสัญญาณควบคุมจาก modem ไปยัง terminal เพื่อบอกว่า ขณะนี้สัญญาณที่รับได้มีโอกาสเกิด error (high probability of error) ดังนั้นหากสัญญาณนี้ on หมายความถึงว่าคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ไม่ค่อยดีนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circuit CH [DTE Source] (data signal rate selector,pin-23): เป็นสัญญาณที่ถูกส่งจาก terminal ไปยัง modem โดยที่ circuit นี้ถูกใช้เมื่อมีการติดตั้ง dual rate modems สัญญาณจาก circuit นี้เป็นการแสดงว่า indicaters จะมีการเปลี่ยนอัตราการส่งสัญญาณจาก terminal ไปยัง modem เมื่อ on หมายถึงว่า จะส่งด้วยอัตราที่สูงกว่าในสองอัตราที่สามารถทำงานได้

Circuit CI [DCE Source] (data signal rate selector,pin-23): สัญญาณนี้การทำงานคล้ายๆกับ CH แต่เป็นกรณีที่ modem ส่งไปควบคุม terminal เพื่อบอกว่าขณะนี้ modem จะติดต่อกับ terminal ด้วย rate ใดในสอง rate ที่ modem สามารถทำงานได้ในการส่งข้อมูลให้กับ terminal

Secondary channel circuit

ใน modem บางรุ่น เช่น modem ตามมาตรฐาน Bell 202, CCITT V2.6 ฯลฯ สามารถใช้ low speed secondary channel เพื่อทำงานอิสระจาก primary channel โดยที่อินเตอร์เฟสที่ต่ออยู่กับ modem ประเภทนี้จะแยก separate ส่วนของ data และสัญญาณควบคุมที่จำเป็นในการทำงานออกจาก primary channel โดยที่ secondary circuit จะใช้ชื่อเหมือนกับที่ใช้ใน primary channel เพียงแต่เติม "S" เพิ่มเข้าไปข้างหน้า เช่น ขาที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก terminal (TD) ไปยัง modem ใน primary channel ใช้ชื่อว่า BA และขาที่ทำหน้าที่รับข้อมูล (RD) ที่ถูกส่งมาจาก modem ใน primary channel ใช้ชื่อว่า BB แต่เมื่อเป็นกรณีของ secondary channel แล้วจะกลายเป็น SBA และ SBB ตามลำดับ

2.3.1 RS232C

ตามมาตรฐาน RS-232C อุปกรณ์ DTE ควรใช้หัวต่อตัวผู้ และอุปกรณ์ DCE ควรใช้หัวต่อตัวเมีย ซึ่งหัวต่อที่นิยมใช้กันอยู่จะเป็นชนิด D-Type ชนิด 9 ขา และ 25 ขา (บางครั้งเรียก DB-25และ DB-9)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Serial Port ตามมาตรฐาน RS232C พอสรุปได้ดังนี้

1. Logic '0' หรือ "Space" มีค่า +3 Volt ถึง +25 Volt
2. Logic '1' หรือ "Mark" มีค่า -3 Volt ถึง -25 Volt
3. ช่วง +3 Volt ถึง –3 Volt เป็นช่วง Undefined
4. Open Circuit Voltage เมื่อเทียบกับ ground ต้องไม่เกิน 25 Volt
5. Short Circuit Current ต้องไม่เกิน 500 mA ซึ่ง Driver ต้องสามารถรองรับได้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดของมาตรฐาน RS232C

Specifications	RS-232C
Mode of Operation	Single-Ended
Total Number of Drivers and Receivers on One Line	1 Driver and 1 Receiver
Maximum Cable Length	50 FT.
Maximum Data Rate	20 KBPS
Maximum Driver Output Voltage	+/-25 V
Driver Output Signal Level (Loaded Min.)	+/-5 V to +/-15 V
Driver Output Signal Level (Unloaded Max)	+/-25 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Driver Load Impedance (Ω)	3k to 7k
Max. Driver Current in High Z State (Power On)	N/A
Max. Driver Current in High Z State (Power Off)	+/-6mA @ +/-2v
Slew Rate (Max.)	30V/ μS
Receiver Input Voltage Range	+/-15V
Receiver Input Sensitivity	+/-3V
Receiver Input Resistance (Ohms)	3k to 7k

ลักษณะของหัวต่อตามมาตรฐาน RS232C (DB-25 & DB-9)

Serial Port มีขั้วต่อ 2 แบบคือ แบบ D-Type 25 Pin และแบบ D-Type 9 Pin ซึ่งทั้ง 2 แบบจะเป็นชนิดตัวผู้ทางด้านของ Computer ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อกับ Computer จึงต้องใช้ขั้วต่อชนิดตัวเมีย ตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดง ชื่อสัญญาณของขาต่าง ๆ

(Male at a computer side)

(Female at a cable side)

รูปที่ 2.3 ลักษณะของหัวต่อแบบ DB-9

ตารางที่ 2.2 DB-9 ตัวผู้ ทางด้านคอมพิวเตอร์

Pin	Signal	Description
1	CD	Carrier Detect
2	RxD	Receive Data
3	TxD	Transmit Data
4	DTR	Data Terminal Ready
5	GND	System Groun
6	DSR	Data Set Ready
7	RTS	Request to Send
8	CTS	Clear to Send
9	RI	Ring Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

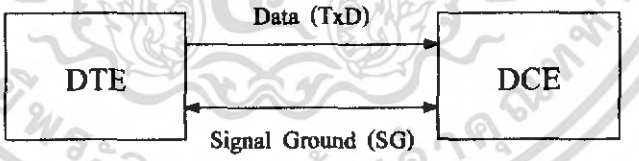
ตารางที่ 2.3 หน้าที่ของสัญญาณต่างๆ

Signal	Full Name	Originator	Function
TxD	Transmit Data	DTE	ส่งข้อมูลทีละบิตจาก DTE ไปยัง DCE
RxD	Receive Data	DCE	รับข้อมูลทีละบิตจาก DCE ไปยัง DTE
CTS	Clear to Send	DCE	ตรวจจับสัญญาณจาก DCE ว่าพร้อมจะรับข้อมูลจาก DTE
CD	Carrier Detect	DCE	เมื่อไรที่ตรวจสัญญาณเจอที่ปลายทางของสายสัญญาณจะทำให้สายสัญญาณ Active
DSR	Data Set Ready	DCE	บอก DTE ว่า DCE พร้อมที่จะทำงานแล้ว
DTR	Data Terminal Ready	DTE	สัญญาณจาก DTE บอกให้ DCE เตรียมพร้อม
RTS	Request to Send	DTE	สัญญาณจาก DTE บอกให้ DCE เตรียมพร้อมที่จะรับข้อมูล
RI	Ring Indicator	DCE	ตรวจจับสัญญาณของสายโทรศัพท์

การสื่อสารทางเดียว

สัญญาณหลักที่ใช้สำหรับการสื่อสารมีอยู่สองสัญญาณได้แก่

- สายสัญญาณสำหรับข้อมูลจาก DTE →DCE
- สายสัญญาณสำหรับ Signal Ground (SG) ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงร่วมสำหรับขั้วและแรงดันไฟฟ้าของสายอื่น

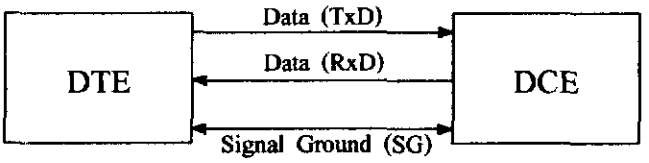


รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารทางเดียว

การสื่อสารสองทาง

ในกรณีที่ข้อมูลถูกส่งผ่านในสองทิศทาง โดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์สองตัวสื่อสารกัน จำนวนสายที่น้อยที่สุดในการสื่อสารสองทางคือ 3 เส้น ได้แก่ สายข้อมูลในแต่ละทิศทาง และ Signal Ground ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารสองทาง

สัญญาณทางไฟฟ้า

มาตรฐาน RS-232C ได้กำหนดลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการเชื่อมต่อแบบอนุกรมนี้มี 2 ลักษณะคือ Space หมายถึง logic '0' และ Mark หมายถึง logic '1' โดย

Space จะเป็นแรงดันไฟฟ้าบวก Output อยู่ในช่วง +5 ถึง +15 Volt

Input อยู่ในช่วง +3 ถึง +15 Volt

Mark จะเป็นแรงดันไฟฟ้าลบ Output อยู่ในช่วง –5 ถึง –15 Volt

Input อยู่ในช่วง –3 ถึง –15 Volt

ค่าระหว่าง –3 Volt ถึง 3 Volt จะเป็นค่า undefined

ความแตกต่างของ Output และ Input มีไว้เผื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายสัญญาณ และจะพบว่าเมื่อให้สายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณทำให้สถานะจากแรงดันไฟฟ้าบวกและลบไม่ชัดเจน ทำให้การติดต่อไม่ได้ระยะไกลนัก แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม เช่น Line driver

2.4 หน่วยแสดงผลข้อมูล (LCD MODULE)

ปัจจุบัน LCD เป็นที่นิยมกันอย่างมาก สำหรับการแสดงผลในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมด้วยประการทั้งปวง ทั้งในด้านการกินกระแสต่ำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิคได้ (เฉพาะรุ่น) จะติดปัญหาก็คือในด้านวงจร ซึ่งมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ขณะนี้ผู้ผลิต LCD จะทำรุ่นที่เป็น LCD MODULE ออกมาคือเป็น MODULE ที่มีตัวLCD และตัวควบคุมให้พร้อม ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายและสะดวกสำหรับการเขียนโปรแกรม รวมทั้งมีจำหน่ายกันอย่างกว้างขวางและมีราคาที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้งานทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์หันมาใช้แผงแสดงด้วย LCD MODULE กันมากขึ้น LCD MODULE มีอยู่มากมายหลายรุ่น และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ

1. DOT MATRIX จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5*8 DOT และมีจำนวนอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

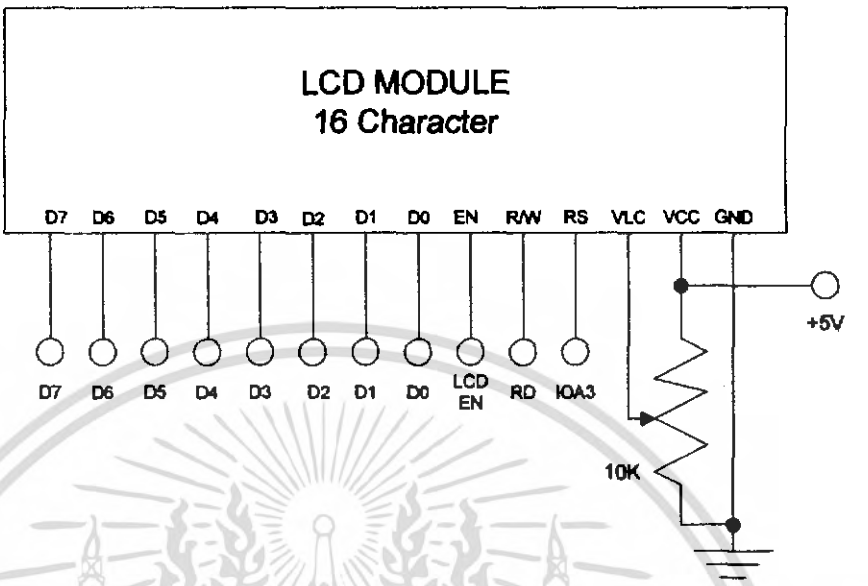
2. GRAPHIC จะสามารถแสดงผลในแบบ BIT-MAP คือจะสร้างเป็นภาพใดๆก็ได้ตามต้องการ

แนวทางในการใช้งานของทั้งสองแบบ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ DOT MATRIX มากกว่าเนื่องจากว่ามีราคาถูก และเพียงพอต่องานเป็นส่วนใหญ่ คุณสมบัติของ DOT MATRIX สามารถสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

1. มีเลือกหลายรุ่นตามการใช้งาน โดยมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดที่ตากต่างกันไป
2. ตัวอักษรแสดงด้วย DOT MATRIX ขนาด 5*8 DOT
3. สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 ลักษณะ คือแบบ MEMORY MAP (20 PIN LCD BUS) และแบบผ่าน 8255 PORT (26 PIN 8255 BUS โดยกรณี 26 PIN 8255 BUS จะใช้แผ่น PCP (DMCAD) เป็นตัว ADAPTER ทำให้เป็น 8255 BUS อีกที
4. การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงแค่ส่งข้อมูลให้กับ LCD MODULE เท่านั้น ข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดง และจะค้างไว้ตลอด ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาหลักของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
5. มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น CLEAR DISPLAY,HOME RSOR,ON OFF CURSOR,BLINK CHARACTER และอื่นๆอีก
6. สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว
7. กินกระแสน้อย และมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทำงานด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5 V เท่านั้น

การแสดงผลการทำงานของเครื่องควบคุมนี้จะใช้จอแสดงผล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร ซึ่งสามารถแสดงข้อความตัวอักษรได้อย่างชัดเจนและทำให้ผู้ใช้งานทำความเข้าใจได้ง่าย การเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD เข้ากับภาคของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูป 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรภาคจอแสดงผล LCD

จอแสดงผล LCD มีขาต่อใช้งานทั้งหมด 14 ขา แสดงการทำงานแต่ละขาในตารางที่ 2.4 ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อที่ขา 3 ของจอแสดงผล LCD ทำหน้าที่ปรับความเข้มในการแสดงผลและจากวงจรที่เชื่อมต่อขา IOA3 เข้ากับขา RS (Register Select) ซึ่งทำหน้าที่ในการเลือกรีจิสเตอร์ที่ใช้รับคำสั่งและรีจิสเตอร์ที่ใช้รับข้อมูลการแสดงผล และขา EN ที่เชื่อมต่อเข้ากับขาสัญญาณ LCD EN จึงทำให้ตำแหน่งแอดเดรสของจอแสดงผล LCD ที่ใช้งานมีอยู่ 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง C001H และ C009H ซึ่งถ้าอ้างในตำแหน่งพอร์ต C001H จะเป็นการติดต่อเพื่อรับหรือส่งข้อมูลคำสั่งกับจอแสดงผล LCD แต่ถ้าอ้างในตำแหน่งพอร์ต C009H จะเป็นการติดต่อเพื่อรับหรือส่งข้อมูลกับจอแสดงผล LCD

สำหรับการเชื่อมต่อเพื่อรับหรือส่งข้อมูลใดๆกับจอแสดงผล LCD จะใช้ขา D0-D7 (ขา 7-14) เชื่อมต่อกับข้อมูลของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาของจอแสดงผลLCD

ตำแหน่งขา	สัญลักษณ์	หน้าที่การทำงาน
1	Vss	เป็นกราวด์
2	Vdd	ต่อไฟตรง +5 โวลต์
3	Vo	ปรับความสว่าง (โดยปรับที่ VR1)
4	RS	ขาเลือกรีจิสเตอร์ ที่ต่อกับ IOA3 0 = ข้อมูลที่ได้รับเป็นคำสั่ง 1 = ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูล
5	R/W	เป็นการเลือกการอ่านหรือการเขียน 0 = การเขียนข้อมูล 1 = การอ่านข้อมูล
6	E	เอ็นเอเบิลการอ่านหรือเขียน LCD
7	DB0	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 1
8	DB1	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 2
9	DB2	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 3
10	DB3	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 4
11	DB4	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 5
12	DB5	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 6
13	DB6	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 7
14	DB7	ดาต้าอินพุต/เอาท์พุตบิตที่ 8

2.4.1 ชุดอ่านเขียนข้อมูลและการแสดงข้อความ

การเขียนหรืออ่านข้อมูล LCD MODULE ก็คือ การกำหนดคุณสมบัติต่างๆในการใช้งานของชุดของ LCD ตามชุดคำสั่งควบคุมและรวมถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงด้วย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

INSTRUCTION	RS	R/W	DATA BIT								EXE. TIME
			7	6	5	4	3	2	1	0	()
CLEAR DISPLAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1640
CURSOR AT HOME	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72124

ENTRY MODE SET	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40
DISPLAY ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40
DISPLAY SHIFT	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40
FUNCTION SET	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	40
SET CGRAM ADD	0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						40
SET DDRAM ADD	0	0	1	DDRAM ADDRESS							40
BUSY,ADD,READ	0	1	BF	ADDRESS							0
CGRAM,DDRAM WR	1	0	WRITE DATA								40
CGRAM,DDRAM RD	1	1	READ DATA								40

2.4.2 ความเข้าใจพื้นฐาน

1. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD MODULE จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ INSTRUCTION และ DATA โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า RS=0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม(INSTRUCTION) หรืออ่านค่าFLAG สภาพการทำงานของ LCD MODULE

2. หลักการในการเขียนข้อมูลให้ LCD MODULE นี้ คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลเข้าไปแล้ว ตัว LCD MODULE จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบได้จาก BUSY FLAG (BF) และถ้าเรียบร้อยแล้วจึงสามารถเขียนข้อมูลอันต่อไปได้ ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O PORT คือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะต้องใช้วิธีหน่วงเวลาแทน

3. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD MODULE สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 BIT และ 4 BIT โดยกรณี 4 BIT จะใช้สายสัญญาณ DATA เพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 (ใช้สำหรับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 4 BIT หรือเพื่อการประหยัดสาย) การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือนกับ 8 BIT เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้งคือ DB4-DB7 ก่อน แล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง FUNCTION SET ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. DDRAM (DISPLAY DATA RAM) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD MODULE ที่เป็น BUFFER ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ASCII ใดๆลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏ เป็นตัวอักษรที่แผงแสดงทันที

5. CGRAM(CHARACTER GENERATOR RAM) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD MODULE สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง(8 ตัว) โดยจะอ้าง ADDRESS ได้ทั้งหมด 64 BYTE คือ 8 ตัวอักษร คูณกับ 8 ROW

2.4.3 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

1. CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการ CLEAR DISPLAY โดยจะทำการเขียนตัวอักษร SPACE ลงใน DDRAM ทั้งหมดและกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น0 พร้อมทั้ง CURSOR จะกลับไปที่ตำแหน่งซ้ายสุดของจอภาพ

2. CURSOR AT HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับการกำหนดค่า DDRAM ADDRESS ให้เป็น 0 พร้อมทั้งCURSOR จะไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยที่ข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3. ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

I/D = 0 กำหนดทิศทางของ CURSOR และ DDRAM ให้เป็นแบบ DECREMENT

I/D = 1 กำหนดทิศทางของ CURSOR DDRAM INCREMENT

S = 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะถูกดันไปทิศทางตามค่า I/D

S = 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว CURSOR จะอยู่กับที่และตัวอักษรจะถูกดันไปทิศทางตามค่า I/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนด I/D และ S นี้ ให้กำหนดก่อนการเขียนข้อมูลใน DDRAM และเมื่อกำหนดแล้วจะต้องไม่ใช้คำสั่ง CLEAR DISPLAY อีก

4. DISPLAY ON/OFF

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	C	B

D = 0 กำหนดให้ OFF DISPLAY

D = 1 กำหนดให้ ON DISPLAY

C = 0 กำหนดให้ OFF CURSOR

C = 1 กำหนดให้ON CURSOR โดย CURSOR จะเป็นเส้นขีดได้ตัวอักษร

B = 0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR

B = 1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่ง CURSOR

5. DISPLAY SHIFT

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	S/C	R/L	*	*

S/C = 0 กำหนดให้เลื่อน CURSOR ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 COLUMN

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L = 1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

6. FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL = 0 กำหนดให้ติดต่อกับ LCD MODULE เป็นแบบ4 BIT

DL = 1 กำหนดให้ติดต่อกับ LCD MODULE เป็นแบบ 8 BIT

จะสังเกตว่า การกำหนดค่า DL นี้ สามารถกระทำได้ที่ DB4-DB7 ซึ่งถ้ามีการกำหนดให้เป็นแบบ 4 BIT ตั้งแต่แรก หลังจากจ่ายไฟเลี้ยง ก็จะทำให้ LCD MODULE มีการรับข้อมูลแบบ 4 BIT ทันที

N = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 DUTY และ 1/11 DUTY

N = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/6 DUTY

F = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 5*7 DOTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 5*10 DOTS (กรณีที่ LCD MODULE เป็นแบบ 5*7 อยู่แล้ว ก็จะไม่มีผลอะไร)

7. SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้ว การอ่านและการเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม ADDRESS ที่กำหนดทันที

8. SET DDRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS						

สำหรับการกำหนด ADDRESS ของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้ว การอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้จะ เป็นไปตาม ADDRESS ในแต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันบ้าง เพราะจำนวนอักษรต่อบรรทัดไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

แบบการจัด ADDRESS ของ DDRAM หน้าจอแบบต่างๆ

16 ตัวอักษร 1 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	04	40	41	42	43	44	45	46	47

16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

20 ตัวอักษร 1 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 ตัวอักษร 2 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53

9. BUS FLAG AND ADDRES READ

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

สำหรับการอ่านค่า BF (BUSY FLAGE) ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD MODULE ในการรับข้อมูล ถ้า BF = 0 หมายถึงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ แต่ถ้า BF = 1 หมายถึงว่ายังไม่พร้อม นอกจากนี้ยังเป็นการอ่าน ADDRESS ของ CGRAM หรือ ADDRAM ด้วย

2.4.4 การอ่านและเขียนข้อมูลกับ DDRAM/CGRAM

1. WRITE DATA TO DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	DATA							

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่มหรือลดลงโดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นกับว่า ก่อนหน้าคำสั่งนี้ มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

2. READ DATA FROM DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	DATA							

สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ DDRAM หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว ADDRESS จะถูกเพิ่มหรือลงโดยอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการอ่านจะเป็น DDRAM หรือ CGRAM ก็ขึ้นอยู่กับว่า ก่อนหน้าคำสั่งนี้ มีการกำหนด ADDRESS ที่ใด

2.4.5 แนวทางการเขียนโปรแกรมควบคุม

1. เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ LCD MODULE ครั้งแรก ภายในจะมีการ RESET ระบบโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะใช้เวลา 10 ms หลังจากที่ระดับแรงไฟขึ้นถึง 4.5 V แล้ว ทั้งนี้ระบบ RESET ดังกล่าวจะกระทำสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการ CLEAR จอภาพทั้งหมด

- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง FUNCTION SET คือ DL = 1 (ติดต่อกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในแบบ 8 BIT), N = 0 (แสดงผล 1 บรรทัด),ไชว์ 0 (กำหนดตัวอักษรแบบ 5*7 DOT)

- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง DISPLAY ON/OFF คือ D = 0 (ไม่แสดงข้อมูล), C = 0 (CURSOR OFF) ,B = 0 (BLANK OFF)

- กำหนดคุณสมบัติด้วยคำสั่ง ENTRY MODE SET คือ I/D = 1 (INCREMENT),S = 0 (NO SHIFT)

การใช้งาน LCD MODULE ต้องรอให้ขบวนการ RESET ภายในทำงานเรียบร้อยก่อน ซึ่งจะตรวจสอบได้ด้วย BF (BUSY FLAGE) หรืออาจจะใช้การหน่วงเวลาก็ได้

2. การใช้งาน LCD MODULE จะเกี่ยวข้องกับทางด้านโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่ ชุดคำสั่งต่างๆ รวมทั้งการอ่านหรือเขียนข้อมูลนั้น จะถูกกำหนดด้วยขาสัญญาณทั้งหมดที่มีอยู่ ปรกติโปรแกรมจะต้องกำหนดคุณสมบัติต่างๆที่ต้องการไว้ที่ส่วนต้น และจากนั้นก็จะเป็นการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงใน DDRAM ซึ่งก็คือข้อความที่จะให้แสดงนั่นเอง

2.5 ทฤษฎีของระบบบัสไอสแควซี

บัสไอสแควซี(I^2C) ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึงการติดต่อระหว่างไอซีโดยได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัทฟิลิปส์ เซมิคอนดัคเตอร์ (Phillip Semiconductor) ด้วยจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงานได้ด้วยสายสัญญาณเพียง 2 เส้น

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (Bi-Directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (Open Drain) หรือ คอลเล็คเตอร์เปิด (Open Collector)

อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัสสูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (Standard Mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (Fast Mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัสจะต้องมีความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 ไมโครฟารัด การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 แบบ คือ 7 บิต(7-bit addressing) และ 10 บิต(10-bit addressing)

สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มีไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอุปกรณ์บนบัสตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่ง ใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อร่วมกันบนบัสสามารถทำได้ในลักษณะของกรณีที่อุปกรณ์ 2 ตัวใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ (Rp) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 หลักการของบัส I^2C

บัสไอสแควซีประกอบด้วยบัสสัญญาณ 2 เส้น คือ SDA (Serial Data Line), SCL(Serial Clock Line) อุปกรณ์ที่สามารถต่อบนบัสมีมากมายดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัสที่เรียกว่าโปรโตคอล (Protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าขณะนี้มีอุปกรณ์ใดบ้างที่ทำการติดต่ออยู่ และอุปกรณ์ใดเป็นตัวรับตัวส่ง อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูลเรียกว่า (Transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูลเรียกว่า (Receiver) ในอุปกรณ์บนบัสไอสแควซีสามารถเป็นได้ทั้งตัวรับหรือตัวส่งบางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดๆบนบัสไอสแควซีทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัสเรียกว่า มาสเตอร์ (Master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปในบัสเรียกว่าสเลฟ (Slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส ไอสแควซี คือ

1. การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
2. ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัสมีอยู่ด้วยกัน 3 สถานะ ดังนี้

1. บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นได้เมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั้นหมายความว่าการถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้
2. เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start Data Transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA เปลี่ยนแปลงระดับจากลอจิกสูงเป็นลอจิกต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่าสภาวะเริ่มต้น (Start)
3. หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop Data Transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่าสภาวะหยุด (Stop)
4. ข้อมูลคำรงอยู่บนบัส (Data Valid) สภาวะนี้เกิดต่อจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น 0 หรือ 1 ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สภานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์ Master ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นผิดพลาดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การตอบรับข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่ถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่า บิตตอบรับ (Acknowledge bit) มีสถานะลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์ จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ออกมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

2.6 การสื่อสารดิจิตอลแบบแบนด์พาส (Bandpass digital communication)

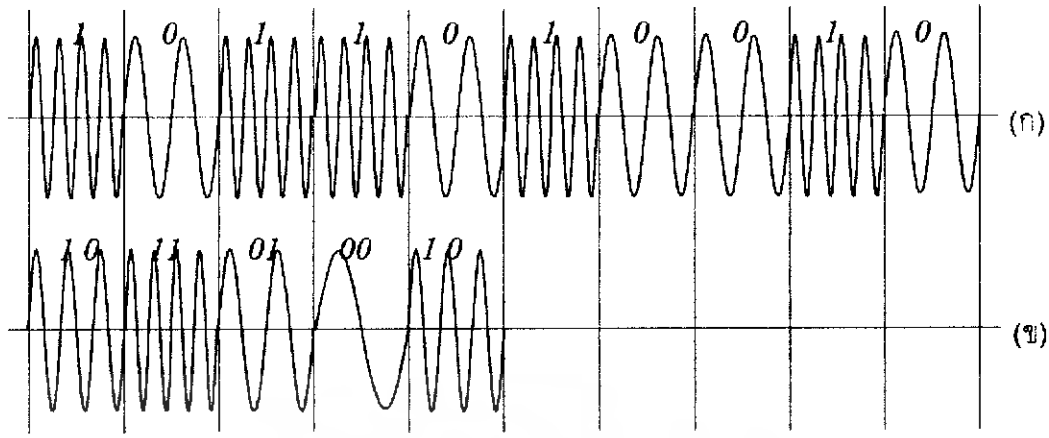
การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลซึ่งมีขนาดที่แน่นอน ซึ่งระดับสัญญาณพาหะจะถูกเปลี่ยนขนาดความถี่หรือเฟสเป็นระดับที่แน่นอนจึงเรียกว่าเป็นการ shift โดยเมื่อเปลี่ยนขนาดความถี่หรือเฟสไปตามบิตข้อมูลที่เข้ามาก็จะเรียกว่า Amplitude-shift Keying; ASK, Frequency-shift Keying; FSK, Phase-shift Keying; PSK ตามลำดับการเลือกวิธีการมอดูเลตรูปแบบต่างๆนั้นจะพิจารณาสิ่งเหล่านี้

- ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด (Maximum data rate)
- ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดต่ำที่สุด (Minimum probability of symbol error)
- กำลังในการส่งต่ำที่สุด (Minimum transmitted power)
- แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณน้อยที่สุด (Minimum channel bandwidth)
- การทนต่อสัญญาณรบกวนมากที่สุด (Maximum resistance to interfering signal)
- ความยุ่งยากของวงจรน้อยที่สุด (Minimum circuit complexity)

2.6.1 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency-shift Keying:FSK)

เป็นการเปลี่ยนความถี่ของพาหะ การเปลี่ยนแปลงความถี่ เนื่องจากการมอดูเลตด้วยสัญญาณดิจิตอลจะทำให้พาหะของสัญญาณเปลี่ยนไปเป็นความถี่ที่แน่นอน ในลักษณะของการเลื่อนความถี่ซึ่งถ้าเป็นการมอดูเลตแบบ binary FSK คือมีคอมบิเนชันของบิตข้อมูล 0 กับ 1 ก็จะทำให้สัญญาณพาหะเปลี่ยนไปเป็นความถี่สองความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ก) และเมื่อใช้หลายความถี่เพื่อแทนคอมบิเนชันของบิตข้อมูลที่มากขึ้นจะทำให้ความถี่ของพาหะเปลี่ยนไปหลายความถี่ได้เป็นการมอดูเลตแบบ M-array FSK ดังรูปที่ 2.7 (ข) ซึ่งเป็นกรณี 4-array FSK จะทำให้ได้อัตราบิตที่สูงขึ้น แต่การใช้หลายความถี่ในการแทนคอมบิเนชันของบิตข้อมูลเช่นนี้ จะทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วกว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่างกับกรณีของ M-array ASK ที่ ยังคงเป็นความถี่เดียวอยู่ ทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วไม่กว้างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การมอดูเลตแบบ FSK นี้จึงมักนิยมใช้กันในการส่งสัญญาณที่มีอัตราบิตไม่สูงนัก เช่น 800,1200 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 สัญญาณ FSK (ก) binary FSK (ข) 4-Array FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

3.1 ระบบควบคุมในโครงงาน

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบไร้สายนี้มีองค์ประกอบดังนี้

1. อุปกรณ์ตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิ
2. วงจรจ่ายแรงดัน
3. วงจรการวัดค่าและส่งข้อมูลแบบไร้สาย
4. วงจรการรับค่าและการแสดงผล
5. วงจรการขับโหลด

3.1.1 อุปกรณ์ตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิ

ในโครงงานนี้จะใช้โมดูลตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น SHT11 โดยคุณสมบัติของ SHT11 คือ

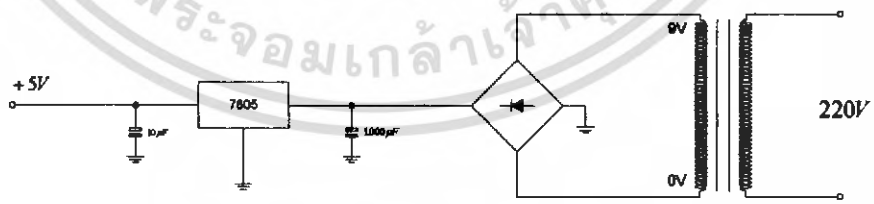
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-125°C ความละเอียดในการวัด 0.1° C
- สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 1-99.9%RH ความละเอียดในการวัด 0.1%RH
- ใช้แหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ กินกระแสต่ำ
- ใช้สายสัญญาณในการควบคุม 2 เส้น คือ DATA CLOCK ภายใต้มาตรฐาน I^2C
- มีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่±0.5 °C ส่วนความชื้น ±3.5%RH

การใช้งานSHT11 ข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นจะเป็นข้อมูลตัวเลขฐาน 16 ซึ่งค่าของอุณหภูมินั้นจะมีขนาด 12 บิต ส่วนค่าความชื้นจะมีขนาด 14 บิต ซึ่งตัวเลขฐาน 16 นี้จะต้องถูกนำไปแปลงให้เป็นเลขฐานสิบก่อน จากนั้นจึงนำค่าตัวเลขฐานสิบที่ได้มาเข้าสูตรการคำนวณดังสมการ คือ

ค่าความชื้น (%RH) = $-4+(0.0405 \times 12\ bit) + (-2.8 \times 10^{-6} \times 12\ bit^2)$

ค่าอุณหภูมิ(°C) = $-40+ (0.01 \times 14\ bit)$

3.1.2 วงจรจ่ายแรงดัน



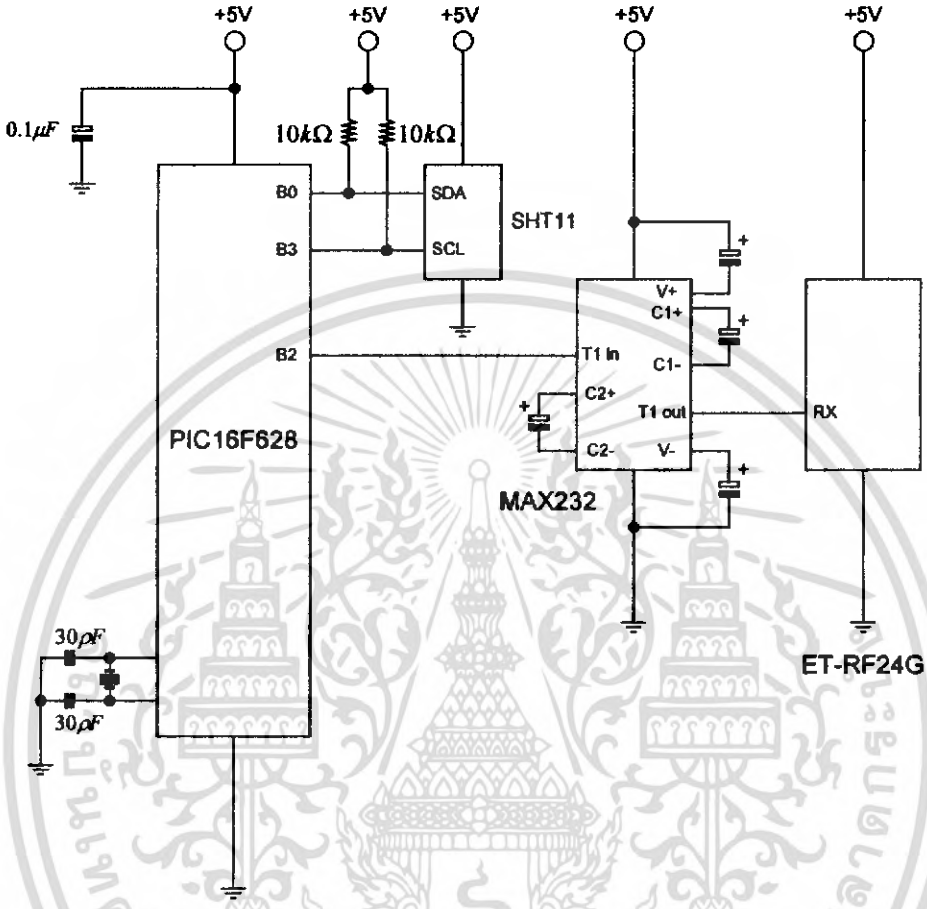
รูปที่ 3.1 วงจรจ่ายแรงดัน

เมื่อทำการป้อนไฟสลับขนาด 220V ให้กับวงจรแล้ว แรงดัน 220V นี้ก็จะผ่านหม้อแปลงเพื่อแปลงแรงดันให้มีขนาดลดลงเป็น 9 V จากนั้นก็ผ่านไอซี Bridge Rectifier โดยมีตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่กรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันให้เรียบยิ่งขึ้น และผ่านเรกูเลเตอร์ ไอซี 7605 ซึ่งจะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในวงจร

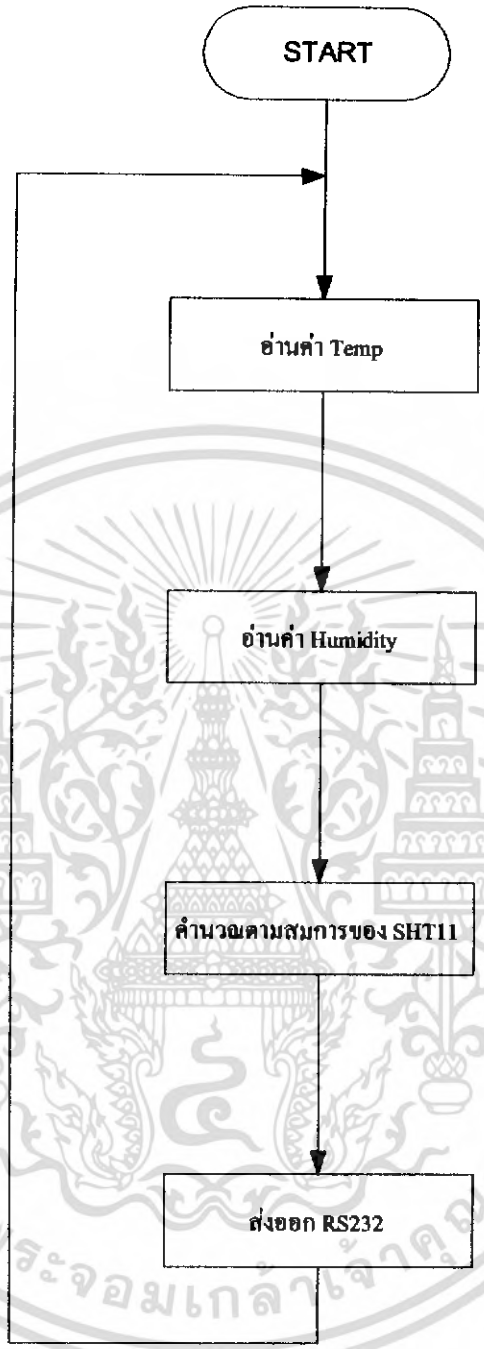
3.1.3 วงจรการวัดค่าและส่งข้อมูลแบบไร้สาย



รูปที่ 3.2 วงจรการวัดค่าและส่งข้อมูล

จากรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นวงจรการวัดค่าและการส่งข้อมูล โดยการทำงานนั้นจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC16F628 ซึ่งจะรับค่าอุณหภูมิและค่าชื้นจากไอซี SHT11 ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด12 และ14บิตตามลำดับ โดยการต่อการใช้งานของ SHT11 นั้นสามารถต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลยเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีการทำงานด้วยระบบบัส I^2C เหมือนกัน โดยเมื่อตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับค่าอุณหภูมิและค่าชื้นจากไอซี SHT11 แล้วก็จะทำงานประมวลผลและส่งออกไปยัง ไอซี MAX232 โดยที่ไอซี MAX232 นี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณไฟฟ้าของขาสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลออกไปยังภายนอกซึ่งเป็นแบบ TTL ให้เป็นระดับสัญญาณแบบ RS232 แล้วจึงส่งข้อมูลไปยัง ET-RF24G ซึ่งเป็นอุปกรณ์การส่งสัญญาณแบบไร้สายโดยจะเป็นการติดต่อข้อมูลแบบอนุกรม

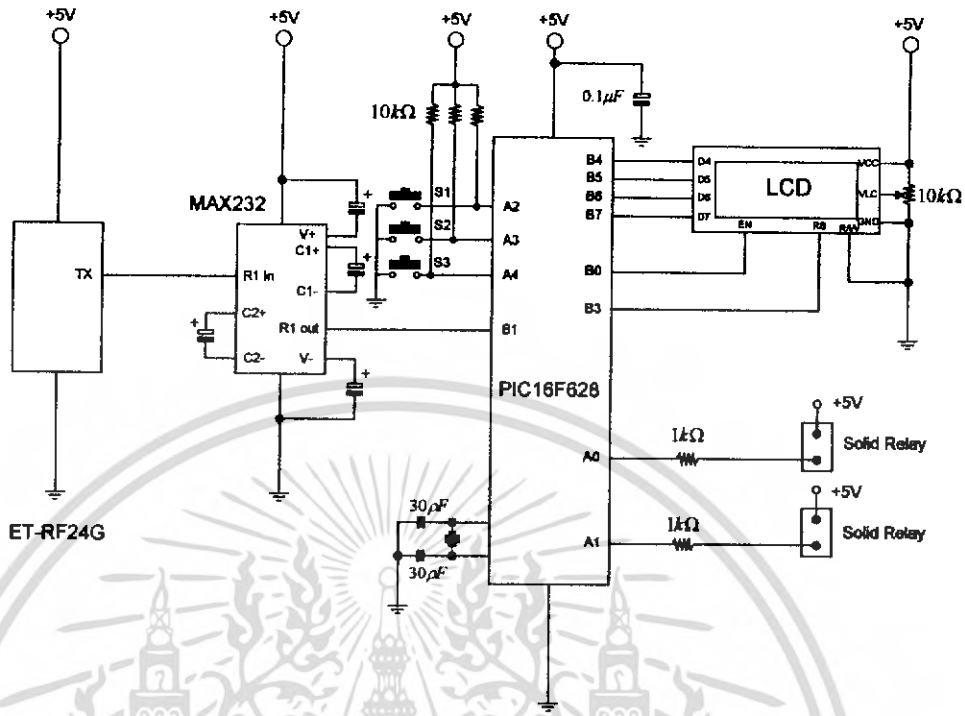
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานทางด้านการวัดค่าและส่งข้อมูลแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วงจรการรับค่าและการแสดงผล

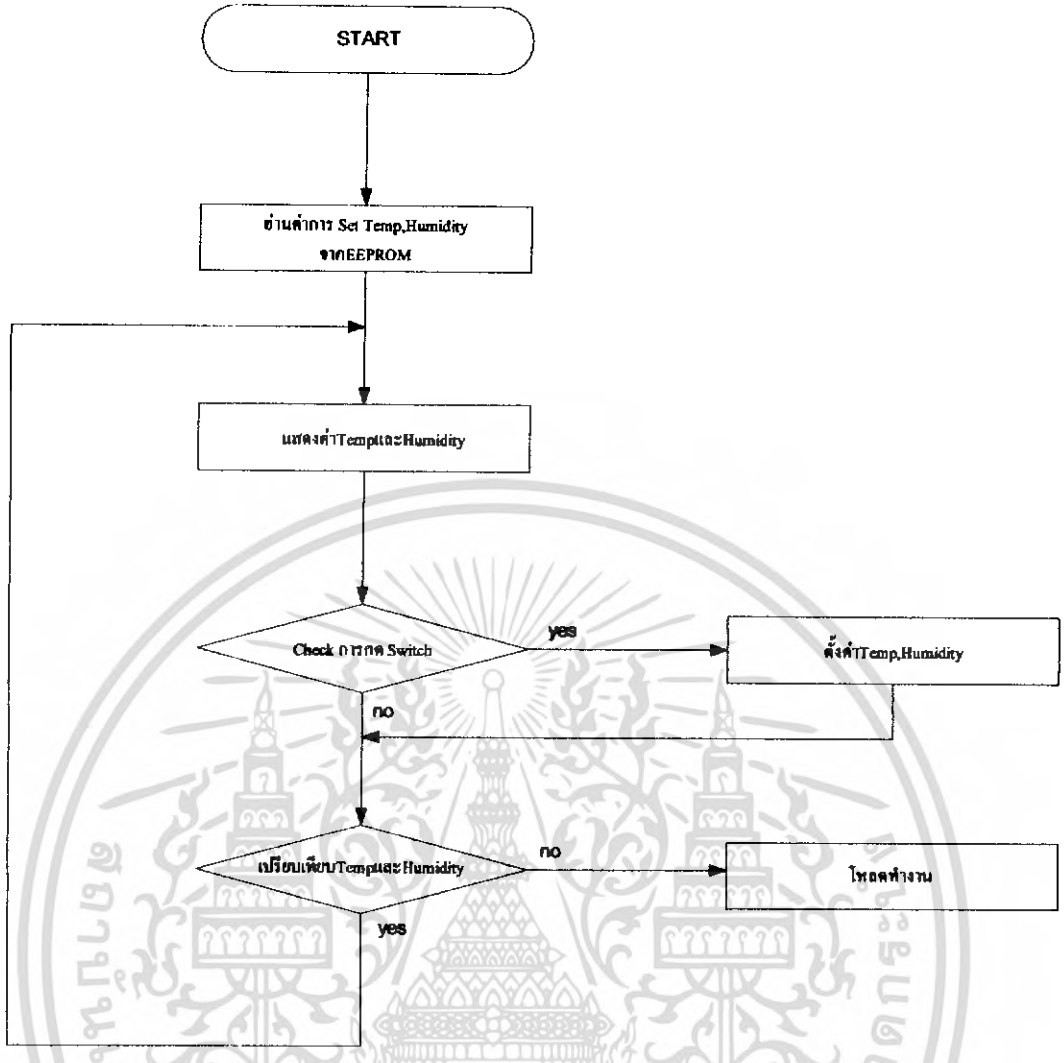


รูปที่ 3.4 วงจรการรับค่าและแสดงผล

จากรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นวงจรการรับค่าและแสดงผล โดยการทำงานนั้นเมื่อตัวรับสัญญาณ ET-RF24G รับข้อมูลเข้ามาแล้วก็จะทำการส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านไอซี MAX232 เพื่อแปลงระดับสัญญาณทางไฟฟ้าแบบ RS232 ให้เป็นระดับสัญญาณทางไฟฟ้าแบบ TTL และเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูลมาแล้วก็จะทำการประมวลผลและส่งผ่านข้อมูลไปยัง LCD เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ในขณะนั้น โดยโมดูล LCD นี้จะเป็นการต่อขาใช้งานในโหมด 4 บิต ซึ่งจะใช้ขาข้อมูลในการต่อเพียง 4 เส้นเท่านั้น คือขา D4-D7 ส่วนขาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD นั้นจะมีอยู่ 3 ขา คือ ขา EN ซึ่งทำหน้าที่สั่งการอีนาเบิลโมดูล LCD, ขา RW ซึ่งทำหน้าที่ในการเลือกอ่านหรือเขียนข้อมูลลงยังโมดูล LCD และสุดท้ายขา RS ซึ่งทำหน้าที่เลือกชนิดของข้อมูล/คำสั่งที่จะเขียนยังโมดูล LCD

ในส่วนวงจรการรับค่าและแสดงผลนี้จะสามารถทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ โดยการตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการผ่านสวิตช์ S1,S2 และ S3 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับลอจิก "0" ที่ได้มาจากการกดสวิตช์แต่ละตัวเข้ามายังพอร์ต A2,A3และ A4 เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

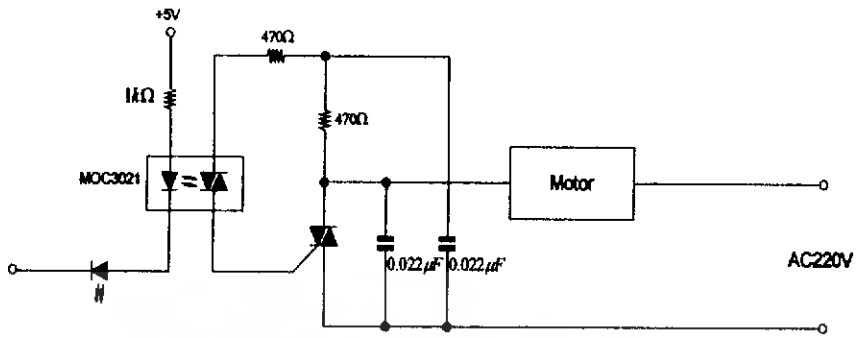
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานทางด้านการรับค่าและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 วงจรการขับโหลด

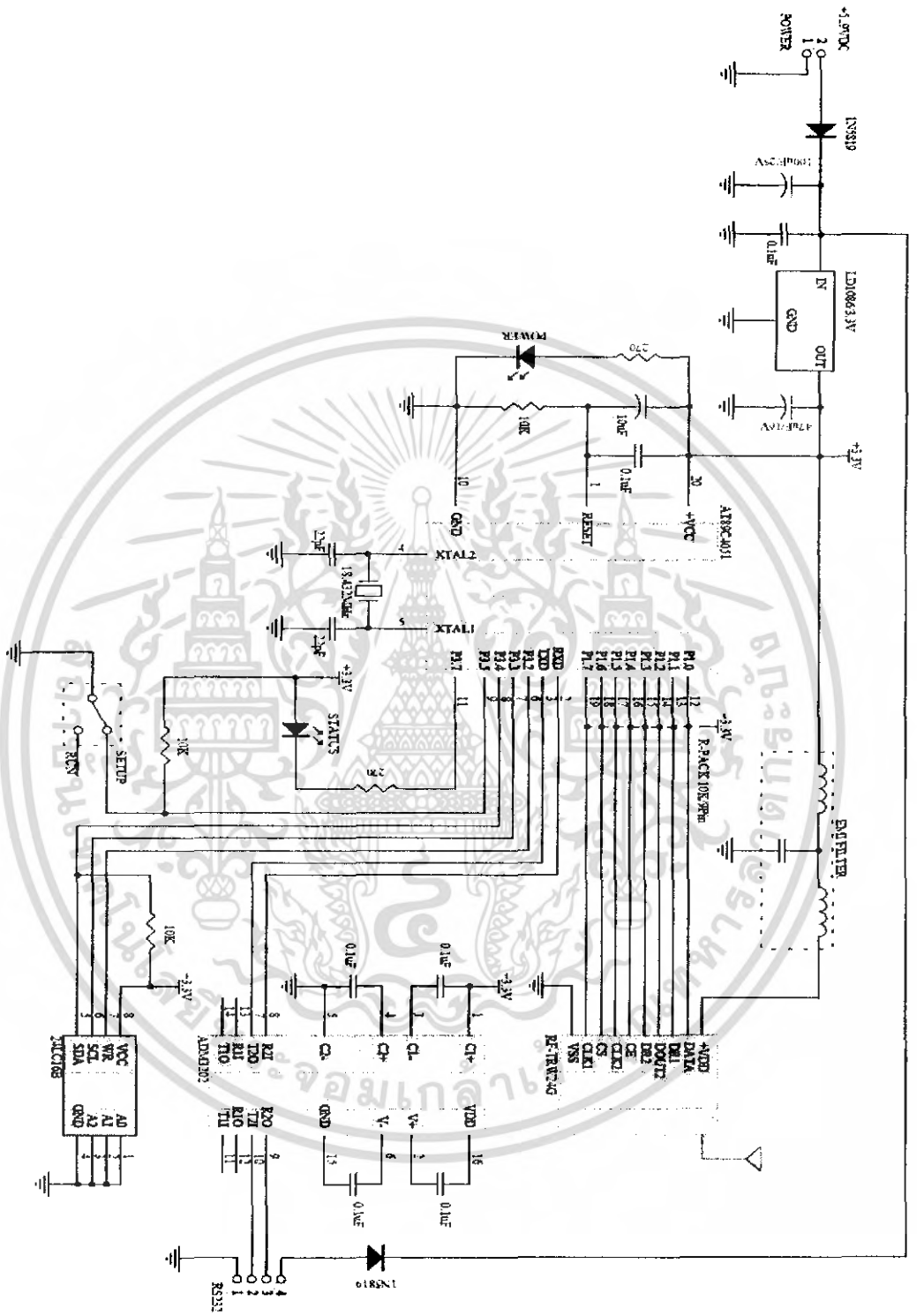


รูปที่ 3.6 วงจรการขับโหลด

ส่วนของวงจรการขับโหลดนี้ จะใช้ไอซี MOC3021 เพื่อควบคุมเฟสของตัวไทรแอก ซึ่งลักษณะการทำงานของไทรแอกนี้จะใช้หลักการเดียวกันกับการควบคุมมุมนำกระแสของเอสซีอาร์ เนื่องจากไทรแอกนำกระแสได้สองทาง ดังนั้นจึงทำงานได้ทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบของไฟสลับ โดยการทำงานนั้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลออกมาโดยเป็นลอจิก "0" ป้อนเข้าที่อินพุตของไอซี MOC3021 ก็จะทำให้หลอดไฟสว่าง และไอซี MOC3021 ก็จะทำงานตาม ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสลับ AC 220V ที่ไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่ออยู่ด้วยเข้ามายัง MOC3021 ไปเข้าขังขาเกตของไทรแอก ทำให้ไทรแอกทำงานปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับ AC220V ให้กับโหลด โดยที่ตัวเก็บประจุที่ต่อขนานอยู่ภายในวงจรนั้นจะทำหน้าที่ช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนขณะโหลดทำงาน และทำหน้าที่ช่วยกรองความถี่สูงที่จะเข้ามารบกวนการทำงานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ภาครับและภาคส่งแบบไร้สาย



รูปที่ 3.7 วงจรส่วนของภาครับและภาคส่งของอุปกรณ์ ET-RF24G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้จะใช้อุปกรณ์ ET-RF24G เป็นตัวส่งข้อมูลแบบไร้สาย จากวงจรจะเห็นว่าจะเป็นการแปลงสัญญาณระหว่าง พอร์ตอนุกรม และ RF-Wirelessโดยในโหมดการทำงานของการส่งข้อมูล (Transmitter) จะทำหน้าที่รอรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรมจากขา RX แล้วแปลงเป็นสัญญาณความถี่ส่งออกไปในอากาศ และในทางกลับกันในโหมดการทำงานแบบรับ (Receiver) ตัววงจร ก็จะทำหน้าที่คอยตรวจจับข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณความถี่ จากด้าน RF เพื่อแปลงกลับเป็นข้อมูลแบบ อนุกรมส่งออกไปทางขา TX ได้ด้วย

การทำงานของวงจรจะเป็นการทำงานชนิด 2 ทิศทาง แบบ Half Duplex หรือ ผลัดกันรับผลัดกันส่ง ซึ่งสามารถใช้รับส่งข้อมูลระหว่างต้นทางและปลายทางได้ โดยใช้วงจรเดียวกัน โดยเมื่อฝ่ายรับทำการรับข้อมูลได้จนครบแล้วจึงจะสลับหน้าที่เป็นฝ่ายส่งเพื่อส่งข้อมูลย้อนกลับไป โดยการทำงานของวงจรจะทำหน้าที่เป็นทั้งฝ่ายรับและฝ่ายส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยในสภาวะปรกติจะอยู่ในสภาวะของการรอรับข้อมูล ซึ่งถ้าพบว่ามีข้อมูลส่งเข้ามาทางด้านของ RF ก็จะนำข้อมูลนั้นส่งออกไปทางด้านขา TX ทันที และในทำนองเดียวกัน ถ้าพบว่ามีข้อมูลส่งเข้ามาทางด้าน RX วงจรก็จะทำการรับข้อมูลนั้นพร้อมกับเปลี่ยนทิศทางของอุปกรณ์ RF จากการรอรับข้อมูลให้ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลแทน เพื่อทำการส่งข้อมูลที่รับได้ออกไปทาง RF ในทันที ซึ่งหลังจากที่วงจรทำการสลับโหมดการทำงานของอุปกรณ์ด้าน RF จากการรอรับเป็นการส่งและทำการเริ่มต้นส่งข้อมูลออกไปทางด้านRFเรียบร้อยแล้ว ก็จะวนกลับไปตรวจสอบการรับข้อมูลจากด้านต้นทางอีกว่ายังมีข้อมูลส่งเข้ามาอีกหรือไม่ ถ้าพบว่ายังมีข้อมูลส่งเข้ามีอีกก็จะทำการแปลงข้อมูลนั้นเพื่อส่งออกไปยังด้านRF ต่อไปอีกจนกว่าการส่งข้อมูลด้านต้นทางจะสิ้นสุดลง ซึ่งข้อมูลที่ส่งเข้ามานั้นจะส่งอย่างต่อเนื่องโดยเมื่อวงจรทำการส่งข้อมูลแต่ละ Byte ออกไปทางด้าน RF เรียบร้อยแล้วก็จะวนรอบรอรับข้อมูล Byte ถัดไป ภายในเวลา 2.5 ms ถ้าไม่พบข้อมูลส่งเข้ามาอีกภายในระยะเวลาดังกล่าวจึงจะทำการเปลี่ยนหน้าที่ของอุปกรณ์ด้าน RF ให้กลับมาทำหน้าที่เป็นการรอรับข้อมูลตามเดิม โดยในขณะที่อุปกรณ์ด้าน RF ถูกกำหนดให้เป็นฝ่ายส่งข้อมูลอยู่นั้น จะไม่สามารถทำการรับข้อมูลจาก RF ได้ ซึ่งถ้ามีการส่งข้อมูลเข้ามาในขณะนั้นก็จะไม่สามารถรับได้ โดยค่าเวลาที่จะใช้ในการสลับโหมดการทำงานของ RF จากฝ่ายส่งข้อมูลให้เป็นฝ่ายรับข้อมูลนั้นจะมีค่าเป็น 2.5ms ดังนั้นเมื่อฝ่ายรับสามารถรับข้อมูลได้ครบหมดแล้วก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลเพื่อตอบกลับไปยังฝ่ายตรงข้ามนั้น การหน่วงเวลาจะต้องไม่น้อยกว่า 3ms นับจากรับข้อมูล Byte สุดท้ายได้เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มต้นส่งข้อมูล Byte แรกย้อนกลับไป ซึ่งถ้าฝ่ายรับทำการส่งข้อมูลตอบกลับไปยังฝ่ายตรงข้ามเร็วกว่านี้อาจทำให้ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถรับข้อมูล Byte แรกได้ทันสำหรับการทำงานของวงจรนี้ การรับและส่งข้อมูลด้านส่งนั้น จะไม่มีการตรวจสอบความพร้อมของฝ่ายรับและส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 การทดลองอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

เมื่อได้ทำการประกอบเครื่องเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำเครื่องไปทดลองอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศที่ได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป โดยการวางเซนเซอร์ไว้ในตำแหน่งที่เราต้องการจะทำการวัด ก็จะทำให้ทราบอุณหภูมิและความชื้น ณ เวลานั้นๆ

4.2 วิธีการใช้งานเครื่อง

เมื่อเริ่มเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน ตัวเครื่องจะอยู่ในโหมดการทำงานแบบใช้การวัดอุณหภูมิและความชื้น และจะแสดงผลการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศขณะนั้นออกทาง LCD

ส่วนหน้าจอจะแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นที่อ่านได้ ดังนี้

```
Temp = XX.X C
Humi = XX.X %
```

4.2.1 การตั้งค่าอุณหภูมิ

การตั้งค่าอุณหภูมินี้ การตั้งค่าจะแบ่งเป็น 2 ช่วงการควบคุมคือ ช่วง Min และช่วง Max โดยช่วง Min จะเป็นการควบคุมโดยที่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าค่านี้ ตัวพัดลมจะหยุดทำงาน ส่วนช่วง Max จะเป็นช่วงของการควบคุมโดยที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้นี้ ตัวพัดลมก็จะทำงานเพื่อลดค่าอุณหภูมิให้น้อยลง

การตั้งค่าอุณหภูมิในช่วง Min ที่เราต้องการจะควบคุมทำได้โดยการกดปุ่ม FUNC ที่หน้าจอจะปรากฏข้อความให้เราตั้งค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เราต้องการจะควบคุม โดยที่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้นี้แล้ว พัดลมก็จะหยุดทำงาน

```
Set Temp
    Min = XX C
```

กดปุ่ม UP เพื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิจนได้ค่าอุณหภูมิที่เราต้องการจะควบคุม ซึ่งถ้าเราต้องการจะบันทึกค่าให้กดปุ่ม FUNC

ในกรณีที่เราได้ทำการกดสวิตช์เพื่อทำการตั้งค่าแล้ว เกิดเลยค่าที่เราต้องการจะทำการควบคุม เราจะสามารถทำการตั้งค่าได้ใหม่อีกครั้งโดยทำการกดสวิตช์ RESET ซึ่งหน้าจอแสดงผลจะแสดงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Set Temp Min = 00 C

หลังจากกดปุ่ม FUNC แล้วหน้าจอจะแสดงค่าให้เราทำการตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดที่เราต้องการให้พัดลมทำงาน เพื่อทำการลดอุณหภูมิโดยรอบลง โดยที่หน้าจอแสดงผลจะแสดงค่าดังนี้

Set Temp Max = XX C

กดปุ่ม UP เพื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิจนได้ค่าอุณหภูมิที่เราต้องการจะควบคุม ซึ่งถ้าเราต้องการจะบันทึกค่าให้กดปุ่ม FUNC

เช่นเดียวกันในกรณีที่เราได้ทำการกดสวิตช์เพื่อทำการตั้งค่าแล้ว เกิดเลยค่าที่เราต้องการจะทำการควบคุม เราจะสามารถทำการตั้งค่าได้ใหม่อีกครั้งโดยทำการกดสวิตช์ RESET ซึ่งหน้าจอแสดงผลจะแสดงดังนี้

Set Temp Max = 00 C

4.2.2 การตั้งค่าความชื้น

การตั้งค่าความชื้นนี้ การตั้งค่าก็จะแบ่งเป็น 2 ช่วงการควบคุมเช่นเดียวกับการตั้งค่าในการตั้งค่าของอุณหภูมิ คือ ช่วง Min และช่วง Max โดยช่วง Min จะเป็นการควบคุมโดยที่เมื่อค่าความชื้นต่ำกว่าค่านี้ ตัวทำความชื้นจะทำงานเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ส่วนช่วง Max จะเป็นช่วงของการควบคุมโดยที่เมื่อความชื้นสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้นี้ ตัวทำความชื้นก็จะหยุดการทำงาน

การตั้งค่าความชื้นในช่วง Min ที่เราต้องการจะควบคุมทำได้โดยการกดปุ่ม FUNC 3 ครั้ง ในขณะที่หน้าจออยู่ในสภาวะแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น เมื่อเราทำการกดปุ่มสวิตช์ 3 ครั้งแล้วที่หน้าจอจะปรากฏข้อความให้เราตั้งค่าความชื้นต่ำสุดที่เราต้องการจะควบคุมให้ตัวทำความชื้นทำงานเพื่อเพิ่มความชื้นโดยรอบ โดยที่หน้าจอแสดงผลจะปรากฏดังนี้

Set Humidity Min = XX %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม UP เพื่อเพิ่มค่าความชื้นจนได้ค่าความชื้นที่เราต้องการจะควบคุม ซึ่งถ้าเราต้องการจะบันทึกค่าให้กดปุ่ม FUNC

ในกรณีที่เราได้ทำการกดสวิตช์เพื่อทำการตั้งค่าแล้ว เกิดเลยค่าที่เราต้องการจะทำการควบคุม เราจะสามารถทำการตั้งค่าได้ใหม่อีกครั้งโดยทำการกดสวิตช์ RESET ซึ่งหน้าจอแสดงผลจะแสดงดังนี้

Set Humidity Min = 00 %

หลังจากกดปุ่ม FUNC แล้วหน้าจอจะแสดงค่าให้เราทำการตั้งค่าความชื้นสูงสุดที่เราต้องการให้ตัวทำความชื้นหยุดทำงาน โดยที่หน้าจอแสดงผลจะแสดงค่าดังนี้

Set Humidity Max = XX %

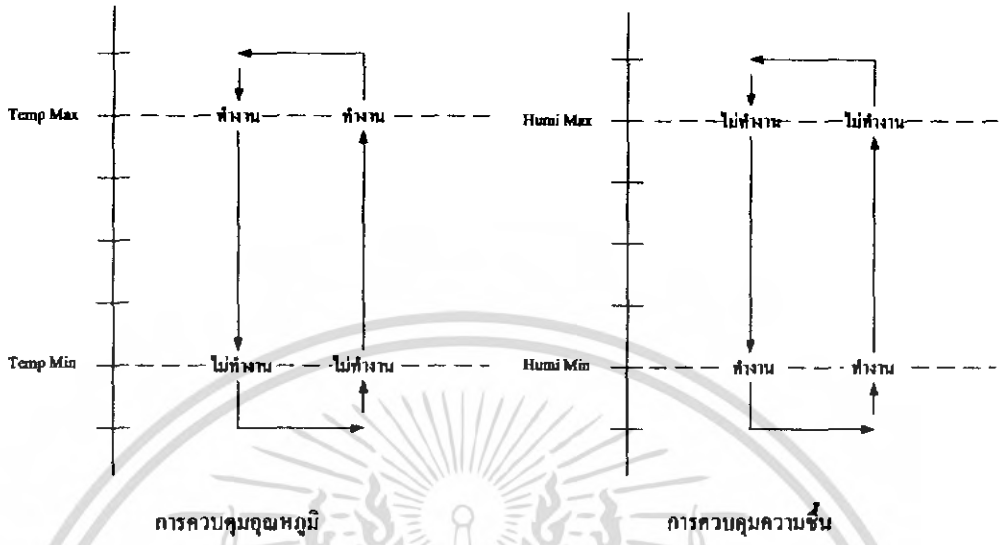
กดปุ่ม UP เพื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิจนได้ค่าความชื้นที่เราต้องการจะควบคุม ซึ่งถ้าเราต้องการจะบันทึกค่าให้กดปุ่ม FUNC

เช่นเดียวกันในกรณีที่เราได้ทำการกดสวิตช์เพื่อทำการตั้งค่าแล้ว เกิดเลยค่าที่เราต้องการจะทำการควบคุม เราจะสามารถทำการตั้งค่าได้ใหม่อีกครั้งโดยทำการกดสวิตช์ RESET ซึ่งหน้าจอแสดงผลจะแสดงดังนี้

Set Humidity Max = 00 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แผนผังการทำงาน



รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิ และการควบคุมความชื้น

รูปที่ 4.1 เป็นแผนผังแสดงการทำงานของส่วนควบคุมอุณหภูมิและการควบคุมความชื้น โดยจะยกตัวอย่างการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดังนี้ โดยสมมุติว่าตั้งค่าอุณหภูมิ Min ไว้ที่ 37 °C และตั้งค่าอุณหภูมิ Max ไว้ที่ 39 °C ซึ่งก็คือต้องการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง37-39 °C นั่นเอง เมื่อดูตามแผนผัง เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 39 °C พัดลมก็จะทำงาน จนกระทั่งอุณหภูมิต่ำกว่า 37 °C พัดลมก็จะหยุดทำงาน และเมื่ออุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้นเรื่อยๆจนมากกว่า 39 °C พัดลมก็จะเริ่มทำงานอีกครั้ง ซึ่งจะวนเวียนอยู่อย่างนี้ไปเรื่อยๆ

ส่วนการตั้งค่าควบคุมความชื้นนั้น สมมุติว่าตั้งค่าความชื้น Min ไว้ที่ 70 % และตั้งค่าความชื้น Max ไว้ที่ 90 % ซึ่งก็คือต้องการควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 70-90 % นั่นเอง เมื่อดูตามแผนผัง เมื่อความชื้นต่ำกว่า 70 % ตัวทำความชื้นก็จะทำงาน จนกระทั่งความชื้นสูงมากกว่า 90 % ตัวทำความชื้นก็จะหยุดทำงาน และเมื่อความชื้น โดยรอบต่ำลงเรื่อยๆจนต่ำกว่า 70 % ตัวทำความชื้นก็จะเริ่มทำงานอีกครั้ง ซึ่งจะวนเวียนอยู่อย่างนี้ไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

5.1 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากวงจรที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น เป็นวงจรในส่วนของระบบควบคุม ซึ่งมีไมโครคอนโทรเลอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน ดังนั้นหากส่วนโปรแกรมยังไม่สมบูรณ์ ก็จะทำให้การทำงานของส่วนอื่นๆ ไม่สามารถทำงานได้ตามไปด้วย หรืออาจทำงานอย่างไม่สมบูรณ์

5.2 แนวทางการพัฒนา

- พัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นพัฒนาให้สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายชนิดอื่นๆได้
- ออกแบบให้ชุดเซนเซอร์กับชุดสั่งงานอุปกรณ์สามารถทำงานในส่วนเดียวกันได้ และมีชุดสำหรับควบคุมคำสั่งอยู่ในอีกที่หนึ่ง โดยผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย
- ออกแบบให้มีการบันทึกค่าและเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อการศึกษาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. วิวัฒน์ กิรานนท์. วิศวกรรมการสื่อสาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพ : อักษรสยามการพิมพ์,2546

2. http://www.se-ed.com

3. http://www.arcelect.com/rs232.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมทางด้านการรับค่าและแสดงผล

```
LIST  P=16F628
#INCLUDE <P16F628.INC>
__CONFIG 0X3F41
CBLOCK      0X20
DUMMY0
DUMMY1
DUMMY2
COUNT
COUNT8
CHK_SUM
T_MSB
T_LSB
H_MSB
H_LSB
BITS
T_H
T_L
T_P
H_H
H_L
H_P
TMI_H
TMI_L
TMA_H
TMA_L
HMI_H
HMI_L
HMA_H
HMA_L
TEMP
HU
TEMP_MIN
TEMP_MAX
HU_MIN
HU_MAX
FLAG
ENDC
#DEFINE     E      PORTB,0
#DEFINE     RS     PORTB,3
#DEFINE     RX     PORTB,1
#DEFINE     T_OP   PORTA,0
#DEFINE     H_OP   PORTA,1
#DEFINE     SW_MODE      PORTA,2
#DEFINE     SW_SEL       PORTA,3
#DEFINE     SW_CLR       PORTA,4
      ORG   0X000
      GOTO  INIT
      ORG   0X004
      GOTO  INT
TABLE ADDWF PCL,F
      DT    '0','1','2','3','4','5','6','7','8','9'
INIT  MOVLW .7
      MOVWF CMCON
      BSF   STATUS,RP0
      MOVLW B'00011100'
      MOVWF TRISA
      MOVLW B'00000010'
      MOVWF TRISB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        BSF    PIE1,RCIE
        BSF    INTCON,PEIE
        MOVLW  .25          ;ส่วนกำหนดค่าการทำงาน usart 9600,8,N,1
        MOVWF  SPBRG
        BSF    TXSTA,BRGH
        BSF    TXSTA,TXEN
        BCF    STATUS,RP0
        BSF    RCSTA,CREN
        BSF    RCSTA,SPEN
        BSF    INTCON,GIE
        CALL   INIT_232
        CALL   INIT_LCD
        CLRF   T_H
        CLRF   T_L
        CLRF   T_P
        CLRF   H_H
        CLRF   H_L
        CLRF   H_P
        CLRF   TMI_H
        CLRF   TMI_L
        CLRF   TMA_H
        CLRF   TMA_L
        CLRF   HMI_H
        CLRF   HMI_L
        CLRF   HMA_H
        CLRF   HMA_L
        CLRF   FLAG
        BSF    T_OP
        BSF    H_OP
READ_EEPROM             ; READ DATA FROM EEPROM SECTION
        MOVLW  0X00
        CALL   EEREAD
        MOVWF  TMI_H
        MOVLW  0X01
        CALL   EEREAD
        MOVWF  TMI_L
        MOVLW  0X02
        CALL   EEREAD
        MOVWF  TMA_H
        MOVLW  0X03
        CALL   EEREAD
        MOVWF  TMA_L
        MOVLW  0X04
        CALL   EEREAD
        MOVWF  HMI_H
        MOVLW  0X05
        CALL   EEREAD
        MOVWF  HMI_L
        MOVLW  0X06
        CALL   EEREAD
        MOVWF  HMA_H
        MOVLW  0X07
        CALL   EEREAD
        MOVWF  HMA_L
MAIN    CALL   SHOW_TH
        CALL   CHK_SW
        CALL   COMPARE
        GOTO   MAIN
DELAY   CLRF   DUMMY0
        CLRF   DUMMY1
        DECFSZ      DUMMY1,F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        GOTO  $-1
        DECFSZ      DUMMY0,F
        GOTO  $-4
        RETURN
;************ SUBPROGRAM COMPARE VALUE FOR OPEN/CLOSE LOAD
*************
COMPARE
        MOVF  TEMP,W                    ; TEST  TEMP = TEMP_MAX
        SUBWF TEMP_MAX,W
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  COM1
        BCF   T_OP              ; ON LOAD
        GOTO  TEST_HU
COM1    MOVF  TEMP_MIN,W        ; TEST  TEMP < TEMP_MIN
        SUBWF TEMP,W
        BTFSC STATUS,C
        GOTO  COM2
        BSF   T_OP              ; OFF LOAD
        GOTO  TEST_HU
COM2    MOVF  TEMP,W                    ; TEST  TEMP > TEMP_MAX
        SUBWF TEMP_MAX,W
        BTFSC STATUS,C
        GOTO  TEST_HU
        BCF   T_OP              ; ON LOAD
TEST_HU
        MOVF  HU,W              ; TEST  HU = HU_MAX
        SUBWF HU_MAX,W
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  COM4
        BSF   H_OP              ; OFF LOAD
        RETURN
COM4    MOVF  HU_MIN,W          ; TEST  HU < HU_MIN
        SUBWF HU,W
        BTFSC STATUS,C
        GOTO  COM5
        BCF   H_OP              ; ON LOAD
        RETURN
COM5    MOVF  HU,W              ; TEST  HU > HU_MAX
        SUBWF HU_MAX,W
        BTFSC STATUS,C
        RETURN
        BSF   H_OP              ; OFF LOAD
        RETURN
;********* SUBPROGRAM CHECK PRESS SWITCH ********************
CHK_SW      BTFSC SW_MODE
        RETURN
LOOP0 CALL  SHOW_SET_TMI
        CALL  LOCK_M
        CALL  DELAYS
LOOP1 BTFSS SW_MODE
        GOTO  SET_TMAX
        BTFSS SW_SEL
        GOTO  INC
        BTFSS SW_CLR
        GOTO  CLR1
        GOTO  LOOP1
CLR1    CLRF  TMI_H
        CLRF  TMI_L
        GOTO  LOOP0
INC     INCF  TMI_L,F
        MOVF  TMI_L,W
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  LOOP0
        CLRF  TMI_L
        INCF  TMI_H,F
        MOVF  TMI_H,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  LOOP0
        CLRF  TMI_L
        CLRF  TMI_H
        GOTO  LOOP0
SET_TMAX
        MOVF  TMI_H,W
        MOVWF TEMP_MIN
        SWAPF TEMP_MIN,F
        MOVF  TMI_L,W
        IORWF TEMP_MIN,F
        CALL  SHOW_SET_TMA
        CALL  LOCK_M
        CALL  DELAYS
LOOP2   BTFSS SW_MODE
        GOTO  SET_HMIN
        BTFSS SW_SEL
        GOTO  INC1
        BTFSS SW_CLR
        GOTO  CLR2
        GOTO  LOOP2
CLR2    CLRF  TMA_H
        CLRF  TMA_L
        GOTO  SET_TMAX
INC1    INCF  TMA_L,F
        MOVF  TMA_L,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  SET_TMAX
        CLRF  TMA_L
        INCF  TMA_H,F
        MOVF  TMA_H,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  SET_TMAX
        CLRF  TMA_L
        CLRF  TMA_H
        GOTO  SET_TMAX
SET_HMIN
        MOVF  TMA_H,W
        MOVWF TEMP_MAX
        SWAPF TEMP_MAX,F
        MOVF  TMA_L,W
        IORWF TEMP_MAX,F
        CALL  SHOW_SET_HMI
        CALL  LOCK_M
        CALL  DELAYS
LOOP3   BTFSS SW_MODE
        GOTO  SET_HMAX
        BTFSS SW_SEL
        GOTO  INC2
        BTFSS SW_CLR
        GOTO  CLR3
        GOTO  LOOP3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLR3   CLRF   HMI_H
       CLRF   HMI_L
       GOTO   SET_HMIN
INC2   INCF   HMI_L,F
       MOVF   HMI_L,W
       SUBLW  0X0A
       BTFSS  STATUS,Z
       GOTO   SET_HMIN
       CLRF   HMI_L
       INCF   HMI_H,F
       MOVF   HMI_H,W
       SUBLW  0X0A
       BTFSS  STATUS,Z
       GOTO   SET_HMIN
       CLRF   HMI_L
       CLRF   HMI_H
       GOTO   SET_HMIN
SET_HMAX
       MOVF   HMI_H,W
       MOVWF  HU_MIN
       SWAPF  HU_MIN,F
       MOVF   HMI_L,W
       IORWF  HU_MIN,F
       CALL   SHOW_SET_HMA
       CALL   LOCK_M
       CALL   DELAY5
LOOP4  BTFSS  SW_MODE
       GOTO   BA1
       BTFSS  SW_SEL
       GOTO   INC3
       BTFSS  SW_CLR
       GOTO   CLR4
       GOTO   LOOP4
CLR4   CLRF   HMA_H
       CLRF   HMA_L
       GOTO   SET_HMAX
INC3   INCF   HMA_L,F
       MOVF   HMA_L,W
       SUBLW  0X0A
       BTFSS  STATUS,Z
       GOTO   SET_HMAX
       CLRF   HMA_L
       INCF   HMA_H,F
       MOVF   HMA_H,W
       SUBLW  0X0A
       BTFSS  STATUS,Z
       GOTO   SET_HMAX
       CLRF   HMA_L
       CLRF   HMA_H
       GOTO   SET_HMAX
BA1    MOVF   HMA_H,W
       MOVWF  HU_MAX
       SWAPF  HU_MAX,F
       MOVF   HMA_L,W
       IORWF  HU_MAX,F

       CALL   WR_EEPROM
       CALL   SHOW_TH
       CALL   LOCK_M
       RETURN
LOCK_M       CALL   DELAY5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        BTFSS SW_MODE
        GOTO  $-1
        CALL  DELAY5
        RETURN
LOCK_S  CALL  DELAY5
        BTFSS SW_SEL
        GOTO  $-1
        CALL  DELAY5
        RETURN
DELAYS  MOVLW 0XFF
        MOVWF DUMMY0
        CLRF  DUMMY1
        DECFSZ      DUMMY1,F
        GOTO  $-1
        DECFSZ      DUMMY0,F
        GOTO  $-4
        RETURN
;****************** SUBPROGRAM LCD SHOW  *********************
SHOW_TH
        CALL  FLINE
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'T'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 'm'
        CALL  SEND
        MOVLW 'p'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW '='
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVF  T_H,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVF  T_L,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW '.'
        CALL  SEND
        MOVF  T_P,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'C'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        CALL  SLINE
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'H'
        CALL  SEND
        MOVLW 'u'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL  SEND
        MOVLW 'm'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW '='
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVF  H_H,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVF  H_L,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW '.'
        CALL  SEND
        MOVF  H_P,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW '%'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        RETURN
SHOW_SET_TMI
        CALL  FLINE
        MOVLW 'S'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 't'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'T'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 'm'
        CALL  SEND
        MOVLW 'p'
        CALL  SEND
        MOVLW .8
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        CALL  SLINE
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'M'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL  SEND
        MOVLW 'n'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW '='
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVF  TMI_H,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVF  TMI_L,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'C'
        CALL  SEND
        MOVLW .5
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        RETURN
SHOW_SET_TMA
        CALL  FLINE
        MOVLW 'S'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 't'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'T'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 'm'
        CALL  SEND
        MOVLW 'p'
        CALL  SEND
        MOVLW .8
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        CALL  SLINE
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'M'
        CALL  SEND
        MOVLW 'a'
        CALL  SEND
        MOVLW 'x'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVLW '='
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVF  TMA_H,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVF  TMA_L,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'C'
        CALL  SEND
        MOVLW .5
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        RETURN
SHOW_SET_HMI
        CALL  FLINE
        MOVLW 'S'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 't'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'H'
        CALL  SEND
        MOVLW 'u'
        CALL  SEND
        MOVLW 'm'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
        CALL  SEND
        MOVLW 'd'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
        CALL  SEND
        MOVLW 't'
        CALL  SEND
        MOVLW 'y'
        CALL  SEND
        MOVLW .4
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        CALL  SLINE
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'M'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
        CALL  SEND
        MOVLW 'n'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW '='
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVF  HMI_H,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVF  HMI_L,W
        CALL  TABLE
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW '%'
        CALL  SEND
        MOVLW .5
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        RETURN
SHOW_SET_HMA
        CALL  FLINE
        MOVLW 'S'
        CALL  SEND
        MOVLW 'e'
        CALL  SEND
        MOVLW 't'
        CALL  SEND
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'H'
        CALL  SEND
        MOVLW 'u'
        CALL  SEND
        MOVLW 'm'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
        CALL  SEND
        MOVLW 'd'
        CALL  SEND
        MOVLW 'i'
        CALL  SEND
        MOVLW 't'
        CALL  SEND
        MOVLW 'y'
        CALL  SEND
        MOVLW .4
        MOVWF COUNT
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-3
        CALL  SLINE
        MOVLW 0X20
        CALL  SEND
        MOVLW 'M'
        CALL  SEND
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      MOVLW 'a'
      CALL  SEND
      MOVLW 'x'
      CALL  SEND
      MOVLW 0X20
      CALL  SEND
      MOVLW '='
      CALL  SEND
      MOVLW 0X20
      CALL  SEND
      MOVF  HMA_H,W
      CALL  TABLE
      CALL  SEND
      MOVF  HMA_L,W
      CALL  TABLE
      CALL  SEND
      MOVLW 0X20
      CALL  SEND
      MOVLW '%'
      CALL  SEND
      MOVLW .5
      MOVWF COUNT
      MOVLW 0X20
      CALL  SEND
      DECFSZ      COUNT,F
      GOTO  $-3
      RETURN
;********************  LCD SUB PROGRAM  ************************
;*****************************************************************
CLR_LCD     BCF   RS
      CALL  DELAY125
      MOVLW 0X01
      CALL  SEND
      BSF   RS
      CALL  DELAY125
      RETURN
RESET_LCD MACRO
      MOVLW 0X38
      MOVWF BITS
      CALL  FLIP
      CALL  PULSE
      CALL  DELAY125
      ENDM
INIT_LCD BCF    E
      BCF   RS
      CALL  DELAY125
      RESET_LCD
      RESET_LCD
      RESET_LCD
      RESET_LCD
      MOVLW 0X28  ; SEND 4 BIT MODE TO LCD
      MOVWF BITS
      CALL  FLIP
      CALL  PULSE
      CALL  DELAY125
      MOVLW 0X28  ; SEND 4 BIT MODE , 2 LINE TO LCD
      CALL  SEND
      MOVLW 0X0C  ; SET LCD ON,CURSER OFF,CURSER NOT BLINK MODE TO
LCD
      CALL  SEND
      MOVLW 0X01  ; CLEAR DISPLAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      CALL  SEND
      CALL  DELAY5
      RETURN
;************************ SEND DATA  ************************
SEND  MOVWF BITS
      CALL  FLIP
      CALL  PULSE
      SWAPF BITS,F
      CALL  FLIP
      CALL  PULSE
      CALL  DELAY125
      RETURN
FLIP  BCF   PORTB,4
      BTFSC BITS,4
      BSF   PORTB,4
      BCF   PORTB,5
      BTFSC BITS,5
      BSF   PORTB,5
      BCF   PORTB,6
      BTFSC BITS,6
      BSF   PORTB,6
      BCF   PORTB,7
      BTFSC BITS,7
      BSF   PORTB,7
      RETURN
PULSE BSF   E
      NOP
      BCF   E
      CALL  DELAY125
      RETURN
DELAY125 MOVLW    .42
      MOVWF DUMMY1
      DECFSZ      DUMMY1,F
      GOTO  $-1
      RETURN
DELAY5      MOVLW .41
      MOVWF DUMMY2
D1    CALL  DELAY125
      DECFSZ      DUMMY2,F
      GOTO  D1
      RETURN
FLINE BCF   RS              ;กำหนด แสดงตัวแรกบรรทัดที่1
      CALL  DELAY125
      MOVLW 0X80
      CALL  SEND
      BSF   RS
      CALL  DELAY125
      RETURN
SLINE BCF   RS              ;กำหนด แสดงตัวแรกบรรทัดที่2
      CALL  DELAY125
      MOVLW 0XC0
      CALL  SEND
      BSF   RS
      CALL  DELAY125
      RETURN
;********* initial  RS232 ************************
INIT_232 BSF      STATUS,RP0
      MOVLW .25
      MOVWF SPBRG
      BCF   TXSTA,SYNC
      BSF   TXSTA,BRGH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      BSF   TXSTA,TXEN
      BCF   STATUS,RP0
      BSF   RCSTA,SPEN
      RETURN
;****** TEST EMPTY 232 **************************
TEST_EMP BSF      STATUS,RP0
      BTFSS TXSTA,TRMT
      GOTO  $-1
      BCF   STATUS,RP0
      RETURN
;************** โปรแกรม Interrupt ******************************
INT   MOVF  RCREG,W
      MOVWF T_H
READD BTFSS PIR1,RCIF    ;อ่านค่าจาก USART
      GOTO  $-1
      MOVF  RCREG,W
      MOVWF T_L
      BTFSS PIR1,RCIF
      GOTO  $-1
      MOVF  RCREG,W
      MOVWF T_P
      BTFSS PIR1,RCIF
      GOTO  $-1
      MOVF  RCREG,W
      MOVWF H_H
      BTFSS PIR1,RCIF
      GOTO  $-1
      MOVF  RCREG,W
      MOVWF H_L
      BTFSS PIR1,RCIF
      GOTO  $-1
      MOVF  RCREG,W
      MOVWF H_P
      MOVF  T_H,W
      MOVWF TEMP
      SWAPF TEMP,F
      MOVF  T_L,W
      IORWF TEMP,F
      MOVF  H_H,W
      MOVWF HU
      SWAPF HU,F
      MOVF  H_L,W
      IORWF HU,F
      RETFIE
;*************************************************************
WR_EEPROM
      BCF   INTCON,GIE
      MOVF  TMI_H,W
      BSF   STATUS,RP0
      MOVWF EEDATA
      MOVLW 0X00
      MOVWF EEADR
      CALL  EEWRITE
      MOVF  TMI_L,W
      BSF   STATUS,RP0
      MOVWF EEDATA
      MOVLW 0X01
      MOVWF EEADR
      CALL  EEWRITE
      MOVF  TMA_H,W
      BSF   STATUS,RP0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVWF EEDATA
        MOVLW 0X02
        MOVWF EEADR
        CALL  EEWRITE
        MOVF  TMA_L,W
        BSF   STATUS,RP0
        MOVWF EEDATA
        MOVLW 0X03
        MOVWF EEADR
        CALL  EEWRITE
        MOVF  HMI_H,W
        BSF   STATUS,RP0
        MOVWF EEDATA
        MOVLW 0X04
        MOVWF EEADR
        CALL  EEWRITE
        MOVF  HMI_L,W
        BSF   STATUS,RP0
        MOVWF EEDATA
        MOVLW 0X05
        MOVWF EEADR
        CALL  EEWRITE
        MOVF  HMA_H,W
        BSF   STATUS,RP0
        MOVWF EEDATA
        MOVLW 0X06
        MOVWF EEADR
        CALL  EEWRITE
        MOVF  HMA_L,W
        BSF   STATUS,RP0
        MOVWF EEDATA
        MOVLW 0X07
        MOVWF EEADR
        CALL  EEWRITE
        BSF   INTCON,GIE
        RETURN
;************** EEPROM SUBPROGRAM *************************
;********* READ WRITE EEPROM *************
EEWRITE     BSF   EECON1,WREN
        MOVLW 0X55
        MOVWF EECON2
        MOVLW 0XAA
        MOVWF EECON2
        BSF   EECON1,WR
        BCF   EECON1,WREN
        BTFSC EECON1,WR
        GOTO  $-1
        BCF   STATUS,RP0
        RETURN
EEREAD      BSF   STATUS,RP0
        MOVWF EEADR
        BSF   EECON1,RD
        MOVF  EEDATA,W
        BCF   STATUS,RP0
        RETURN
        ORG   0X2100
        DE    0X00,0X00,0X00,0X00,0X00,0X00,0X00,0X00
        END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมทางด้านการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น

```
LIST  P=16F628
#INCLUDE <P16F628.INC>
__CONFIG 0X3F41
CBLOCK      0X20
DUMMY0
DUMMY1
DUMMY2
COUNT
COUNT2
WRITE_BUFFER
READ_BUFFER
COUNT8
CHK_SUM
T_MSB
T_LSB
H_MSB
H_LSB
T_P2
T_P1
T_U
T_T
T_H
H_P2
H_P1
H_U
H_T
H_H
FLAG
TEMP1
TEMP2
TEMP3
ENDC
#DEFINE     SDA    PORTB,0
#DEFINE     SCL    PORTB,3
#DEFINE     TX     PORTB,2
      ORG   0X000
INIT  MOVLW .7
      MOVWF CMCON
      BSF   STATUS,RP0
      CLRF  TRISA
      CLRF  TRISB
      MOVLW .25           ;ส่วนกำหนดค่าการทำงาน usart 9600,8,N,1
      MOVWF SPBRG
      BSF   TXSTA,BRGH
      BSF   TXSTA,TXEN
      BCF   STATUS,RP0
      BSF   RCSTA,CREN
      BSF   RCSTA,SPEN
      BSF   SCL
      BSF   SDA
      CALL  DELAY9
      CALL  INIT_I2C
      CALL  INIT_232
      CALL  DELAY9
MAIN  CALL  READ_T
      CALL  DELAY5MS
      CALL  READ_H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      CALL  CONVERT
      CALL  SEND_232
;     CLRF  DUMMY0
;     CLRF  DUMMY1
;     DECFSZ      DUMMY1,F
;     GOTO  $-1
;     DECFSZ      DUMMY0,F
;     GOTO  $-4
      GOTO  MAIN

;********** SUBPROGRAM CONVERT TO DECIMAL 4 DIGIT
*************************
CONVERT     CLRF  T_P2        ; TEMP CONVERT
      CLRF  T_P1
      CLRF  T_U
      CLRF  T_T
      CLRF  T_H
      CLRF  FLAG
NEXT1 INCF  T_P2,F
      MOVF  T_P2,W
      SUBLW 0X0A
      BTFSS STATUS,Z
      GOTO  NEXT2
      CLRF  T_P2
      INCF  T_P1,F
      MOVF  T_P1,W
      SUBLW 0X0A
      BTFSS STATUS,Z
      GOTO  NEXT2
      CLRF  T_P1
      INCF  T_U,F
      MOVF  T_U,W
      SUBLW 0X0A
      BTFSS STATUS,Z
      GOTO  NEXT2
      CLRF  T_U
      INCF  T_T,F
      MOVF  T_T,W
      SUBLW 0X0A
      BTFSS STATUS,Z
      GOTO  NEXT2
      CLRF  T_T
      INCF  T_H,F
      MOVF  T_H,W
      SUBLW 0X0A
      BTFSS STATUS,Z
      GOTO  NEXT2
      CLRF  T_P2
      CLRF  T_P1
      CLRF  T_U
      CLRF  T_T
      CLRF  T_H
NEXT2 DECFSZ      T_LSB,F
      GOTO  NEXT3
      BTFSC FLAG,2
      GOTO  MINUT
      BSF   FLAG,1
      GOTO  NEXT1
NEXT3 BTFSS FLAG,1
      GOTO  NEXT1
      BCF   FLAG,1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DECFSZ      T_MSB,F
        GOTO  NEXT1
        BSF   FLAG,2
        GOTO  NEXT1

;************** CALCULATE TEMP FROM FORMULA ************************
MINUT MOVLW .4          ; 4 DIGIT VALUE -40
        MOVWF COUNT
NEXT4 DECF  T_T,F
        MOVF  T_T,W
        SUBLW 0XFF
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  NEXT5
        MOVLW 0X09
        MOVWF T_T
        DECF  T_H,F
NEXT5 DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  NEXT4

;************ HUMIDITY CALCULATE ***************************
HU      CLRF  TEMP1
        MOVLW .3          ; LSB * 4
        MOVWF COUNT
        MOVF  H_LSB,W
        ADDWF H_LSB,F
        BTFSC STATUS,C
        INCF  TEMP1,F           ; INCREMENT TEMP1
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-4
        MOVLW .3          ; MSB * 4
        MOVWF COUNT
        MOVF  H_MSB,W
        ADDWF H_MSB,F
        DECFSZ      COUNT,F
        GOTO  $-2
        MOVF  TEMP1,W           ; MSB + TEMP1
        ADDWF H_MSB,F
CONV_HU     CLRF  H_P2          ; HUMIDITY CONVERT
        CLRF  H_P1
        CLRF  H_U
        CLRF  H_T
        CLRF  H_H
        CLRF  FLAG
        CLRF  TEMP1
        CLRF  TEMP2
        CLRF  TEMP3
HU1     INCF  H_P2,F
        MOVF  H_P2,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  HU2
        CLRF  H_P2
        INCF  H_P1,F
        MOVF  H_P1,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  HU2
        CLRF  H_P1
        INCF  H_U,F
        MOVF  H_U,W
        SUBLW 0X0A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  HU2
        CLRF  H_U
        INCF  H_T,F
        MOVF  H_T,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  HU2
        CLRF  H_T
        INCF  H_H,F
        MOVF  H_H,W
        SUBLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  HU2
        CLRF  H_H
HU2     DECFSZ      H_LSB,F
        GOTO  HU3
        BTFSC FLAG,2
        GOTO  H_MINUT
        BSF   FLAG,1
        GOTO  HU1
HU3     BTFSS FLAG,1
        GOTO  HU1
        BCF   FLAG,1
        DECFSZ      H_MSB,F
        GOTO  HU1
        BSF   FLAG,2
        GOTO  HU1

;*********** CALCULATE HUMIDITY FROM FORMULA ********************
H_MINUT     MOVLW .4            ; HUMIDITY VALUE - 4
        SUBWF H_U,F
        BTFSC STATUS,C
        GOTO  BACK2
        DECF  H_T,F
        MOVF  H_U,W
        SUBLW 0XFF
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  L5
        MOVLW .9
        MOVWF H_U
        GOTO  BACK2
L5      MOVF  H_U,W
        SUBLW 0XFE
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  L6
        MOVLW .8
        MOVWF H_U
        GOTO  BACK2
L6      MOVF  H_U,W
        SUBLW 0XFD
        BTFSS STATUS,Z
        GOTO  L7
        MOVLW .7
        MOVWF H_U
        GOTO  BACK2
L7      MOVF  H_U,W
        SUBLW 0XFC
        BTFSS STATUS,Z
        RETURN
        MOVLW .6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      MOVWF H_U
      GOTO  BACK2
BACK2 MOVF  H_H,W       ; CHECK HUMIDITY VALUE = 100 THEN SEND VALUE
99.9
      SUBLW 0X01
      BTFSS STATUS,Z
      RETURN
      MOVLW 0X09
      MOVWF H_P1
      MOVWF H_U
      MOVWF H_T
      RETURN

;********* SUBPROGRAM READ VALUE FROM SHT11 ************************
READ_T
      CALL  START_I2C
      MOVLW 0X03        ; COMMAND TO READ TEMP
      CALL  WRITE_DATA
      BTFSC SDA
      GOTO  $-1
      CALL  READ_DATA
      CALL  SEND_ACK
      MOVF  READ_BUFFER,W
      MOVWF T_MSB
      CALL  READ_DATA
      CALL  SEND_ACK
      MOVF  READ_BUFFER,W
      MOVWF T_LSB
      CALL  READ_DATA
      CALL  SEND_NACK
      MOVF  READ_BUFFER,W
      MOVWF CHK_SUM
      RETURN

READ_H
      CALL  START_I2C
      MOVLW 0X05        ; COMMAND TO READ HUMIDITY
      CALL  WRITE_DATA
      BTFSC SDA
      GOTO  $-1
      CALL  READ_DATA
      CALL  SEND_ACK
      MOVF  READ_BUFFER,W
      MOVWF H_MSB
      CALL  READ_DATA
      CALL  SEND_ACK
      MOVF  READ_BUFFER,W
      MOVWF H_LSB
      CALL  READ_DATA
      CALL  SEND_NACK
      MOVF  READ_BUFFER,W
      MOVWF CHK_SUM
      RETURN

;********* initial  RS232 ***********************
INIT_232 BSF      STATUS,RP0
      MOVLW .25
      MOVWF SPBRG
      BCF   TXSTA,SYNC
      BSF   TXSTA,BRGH
      BSF   TXSTA,TXEN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      BCF   STATUS,RP0
      BSF   RCSTA,SPEN
      RETURN

;****** TEST EMPTY 232 **************************
TEST_EMP BSF      STATUS,RP0
      BTFSS TXSTA,TRMT
      GOTO  $-1
      BCF   STATUS,RP0
      RETURN

;******** ส่วนส่งมาออก usart ********************
SEND_232
      CALL  TEST_EMP
      MOVF  T_T,W
      MOVWF TXREG
      CALL  TEST_EMP
      MOVF  T_U,W
      MOVWF TXREG
      CALL  TEST_EMP
      MOVF  T_P1,W
      MOVWF TXREG
      CALL  TEST_EMP
      MOVF  H_T,W
      MOVWF TXREG
      CALL  TEST_EMP
      MOVF  H_U,W
      MOVWF TXREG
      CALL  TEST_EMP
      MOVF  H_P1,W
      MOVWF TXREG
      CALL  TEST_EMP
      RETURN

;************ INITIAL I2C **************************
INIT_I2C
      CALL  START_I2C
      MOVLW 0X1E          ; COMMAND RESET
      CALL  WRITE_DATA
      CALL  DELAY5MS
      CALL  DELAY5MS
      CALL  DELAY5MS
      MOVLW 0X06          ; COMMAND WRITE STATUS REGISTER
      CALL  WRITE_DATA
      MOVLW 0X00          ; VALUE OF STATUS REGISTER
      CALL  WRITE_DATA
      RETURN

;////// ** SUBPROGRAM I2C *** ////////////////

START_I2C CALL    SDA_HIGH
      CALL  SCL_HIGH
      BTFSS SCL
      GOTO  $-1
      BTFSS SDA
      GOTO  $-1
      CALL  SDA_LOW
;     CALL  DELAY555
      CALL  SCL_LOW
;     CALL  DELAY555
      CALL  SCL_HIGH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      BTFSS SCL
      GOTO  $-1
;     CALL  DELAY555
      CALL  SDA_HIGH
      BTFSS SDA
      GOTO  $-1
      RETURN
WRITE_DATA
      CALL  WRITE
      CALL  READ_ACK
      RETURN
WRITE MOVWF WRITE_BUFFER
      MOVLW .8
      MOVWF COUNT8
      CALL  SCL_LOW
WRITE_LOOP
      RLF   WRITE_BUFFER,F
      BC    SEND_1
SEND_0      CALL  SDA_LOW
      CALL  SCL_PULSE
      GOTO  CHECKEE
SEND_1      CALL  SDA_HIGH
      CALL  SCL_PULSE
CHECKEE     DECFSZ      COUNT8,F
      GOTO  WRITE_LOOP
      CALL  SDA_HIGH
      RETURN
READ_ACK
      CALL  SDA_HIGH
      CALL  SCL_LOW
      CALL  SCL_HIGH
      BTFSC SDA
      GOTO  STOP
      BTFSS SCL
      GOTO  $-1
      CALL  SCL_LOW
      RETURN
STOP  CALL  SCL_LOW
      CALL  SDA_LOW
      CALL  SCL_HIGH
      CALL  SDA_HIGH
      CALL  DELAY555
      RETURN
SCL_HIGH
      BANKSEL     TRISB
      BSF   TRISB,3
      BANKSEL     PORTB
      RETURN
SCL_LOW
      BANKSEL     TRISB
      BCF   TRISB,3
      BANKSEL     PORTB
      BCF   PORTB,3
      RETURN
SDA_HIGH
      BANKSEL     TRISB
      BSF   TRISB,0
      BANKSEL     PORTB
      RETURN
SDA_LOW
      BANKSEL     TRISB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        BCF    TRISB,0
        BANKSEL      PORTB
        BCF    PORTB,0
        RETURN
DELAY555
        NOP
        GOTO   $+1
        RETURN
DELAY5MS
        MOVLW .20
        MOVWF DUMMY1
        MOVLW .255
        MOVWF DUMMY0
        DECFSZ       DUMMY0,1
        GOTO   $-1
        DECFSZ       DUMMY1,1
        GOTO   $-5
        RETURN
SCL_PULSE
        CALL   SCL_LOW
        CALL   SCL_HIGH
        CALL   SCL_LOW
        RETURN
SEND_NACK
        CALL   SCL_LOW
        CALL   SDA_HIGH
        CALL   SCL_HIGH
        CALL   SCL_LOW
        CALL   SDA_HIGH
        RETURN
SEND_ACK
        CALL   SCL_LOW
        CALL   SDA_LOW
        CALL   SCL_HIGH
        CALL   SCL_LOW
        CALL   SDA_HIGH
        RETURN
READ_DATA
        MOVLW .8
        MOVWF COUNT8
        CALL   SCL_LOW
        CALL   SDA_HIGH
READ_LOOP
        CALL   SCL_HIGH
        BTFSC SDA
        GOTO   RECEIVE_1
RECEIVE_0
        CLRC
        GOTO   ROTATE_DATA
RECEIVE_1
        SETC
ROTATE_DATA
        RLF    READ_BUFFER,F
        CALL   SCL_LOW
        DECFSZ       COUNT8,F
        GOTO   READ_LOOP
        RETURN
DELAY9       CLRF   DUMMY1
        CLRF   DUMMY0
        DECFSZ       DUMMY0,F
        GOTO   $-1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DECFSZ      DUMMY1,F
GOTO  $-4
RETURN
END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARALLAX
599 Menlo Drive, Suite 100
Rocklin, California 95765, USA
Office: (916) 624-8333
Fax: (916) 624-8003

General: info@parallax.com
Technical: support@parallax.com
Web Site: www.parallax.com
Educational: www.stampsinclass.com

Sensirion SHT11 Sensor Module (#28018)
Precision Temperature and Humidity Measurement

Introduction

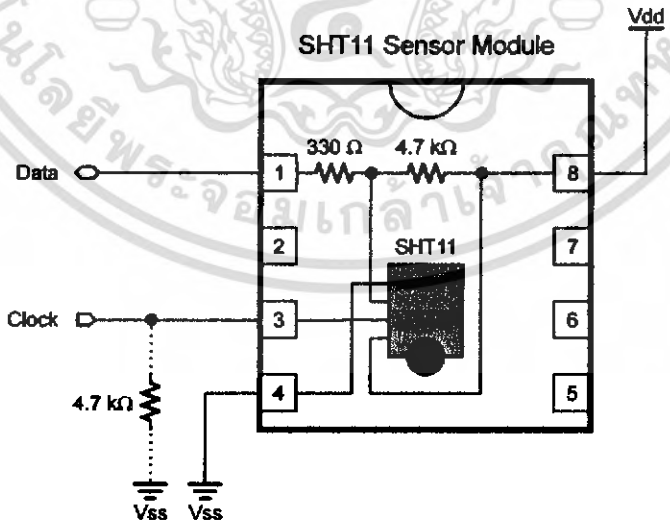
When it comes to precision temperature and humidity measurement, Sensirion (www.sensirion.com) has simplified the process their SHT1x sensor series. Through a two-wire serial interface, both temperature and humidity can be read with excellent response time and accuracy. Parallax has simplified the use of the SHT11 by mounting it in a user-friendly 8-pin DIP module. The module includes a data-line pull-up and series limiter making it possible to connect directly to the BASIC or Javelin Stamp.

Features

- Temperature range: -40 °F (-40 °C) to +254.9 °F (+123.8 °C)
- Temp. accuracy: +/- 0.5 °C @ 25 °C
- Humidity range: 0 to 100% RH
- Absolute RH accuracy: +/- 3.5% RH
- Low power consumption (typically 30 µW)

Connections

The SHT11 is interfaced to the Stamp over two I/O pins. The 4.7 kΩ pull-down resistor on the clock is optional but may be required if your application experiences sensor lock-up.



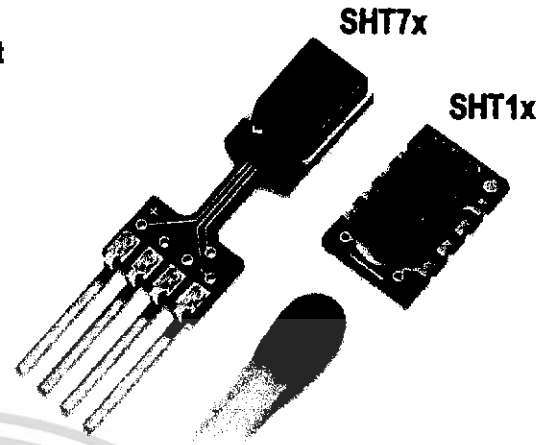
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

SHT1x / SHT7x

Humidity & Temperature Sensor

Evaluation Kit Available



- Relative humidity and temperature sensors
- Dew point
- Fully calibrated, digital output
- Excellent long-term stability
- No external components required
- Ultra low power consumption
- Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- Small size
- Automatic power down

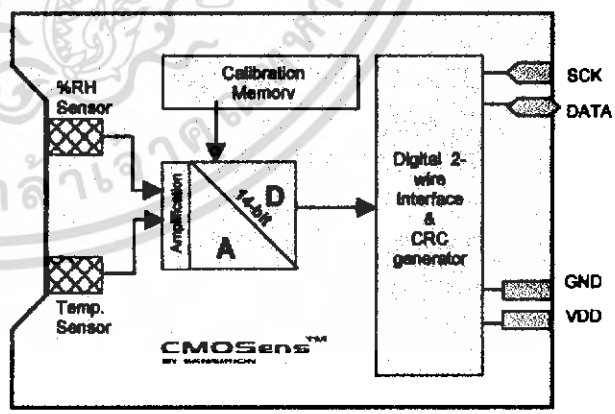
SHT1x / SHT7x Product Summary

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price.
Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors.
The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.
The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

Applications

_ HVAC
_ Automotive
_ Consumer Goods
_ Weather Stations
_ Humidifiers
_ Dehumidifiers
_ Test & Measurement
_ Data Logging
_ Automation
_ White Goods
_ Medical

Block Diagram



Ordering Information

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [K] @ 25 °C	Package
SHT10	±4.5	±0.5	SMD (LCC)
SHT11	±3.0	±0.4	SMD (LCC)
SHT15	±2.0	±0.3	SMD (LCC)
SHT71	±3.0	±0.4	4-pin single-in-line
SHT75	±1.8	±0.3	4-pin single-in-line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Sensor Performance Specifications

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution (2)		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
Repeatability			±0.1		%RH
Accuracy (1) Uncertainty	linearized	see figure 1			
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Hysteresis			±1		%RH
Long term stability	typical		< 0.5		%RH/yr
Temperature					
Resolution (2)		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±0.2		°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

Table 1 Sensor Performance Specifications

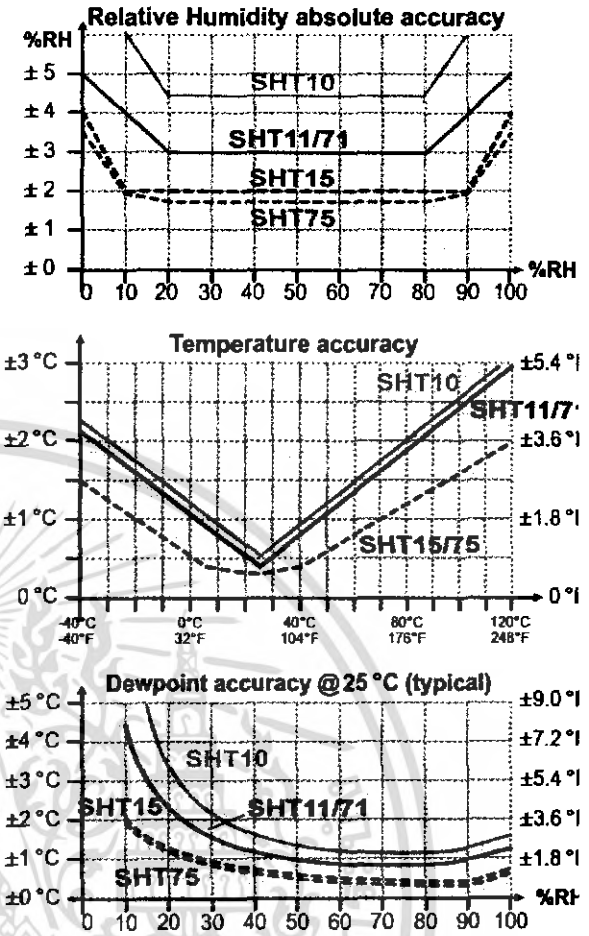


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2 Interface Specifications

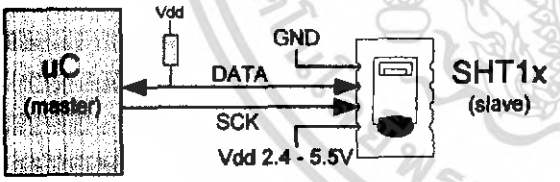


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

The SHTxx requires a voltage supply between 2.4 and 5.5 V. After powerup the device needs 11ms to reach its "sleep" state. No commands should be sent before that time.
Power supply pins (VDD, GND) may be decoupled with a 100 nF capacitor.

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with I²C interfaces, see FAQ for details.

2.2.1 *Serial clock input (SCK)*

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

2.2.2 *Serial data (DATA)*

The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. DATA **changes after the falling edge** and is **valid on the rising edge** of the serial clock SCK. During transmission the DATA line must remain stable while SCK is high. To avoid signal contention the microcontroller should only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10 kΩ) is required to pull the signal high. (See Figure 2) Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 5 for detailed IO characteristics.

(1) Each SHTxx is tested to be fully within RH accuracy specifications at 25 °C (77 °F) and 48 °C (118.4 °F)
(2) The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit through the status register.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 *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.

Figure 3 "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only "000" is currently supported) and five command bits. The SHTxx 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 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 2 SHTxx list of commands

2.2.4 *Measurement sequence (RH and T)*

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210 ms for a 8/12/14bit measurement. The exact time varies by up to ±15% with the speed of the internal oscillator. To signal the completion of a measurement, the SHTxx pulls down the data line 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 as convenient.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum will then be transmitted. The uC 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). 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 the measurement and communication have ended.

Warning: To keep self heating below 0.1 °C the SHTxx should not be active for more than 10% of the time (e.g. max. 2 measurements / second for 12bit accuracy).

2.2.5 *Connection reset sequence*

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset its serial interface:
While leaving DATA high, toggle SCK 9 or more times. 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.

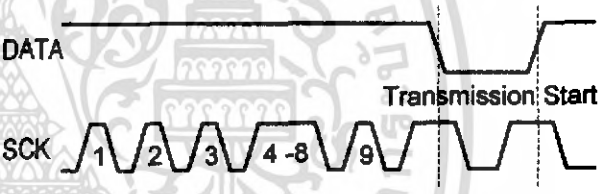


Figure 4 Connection reset sequence

2.2.6 *CRC-8 Checksum calculation*

The whole digital transmission is secured by a 8 bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated.
Please consult application note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

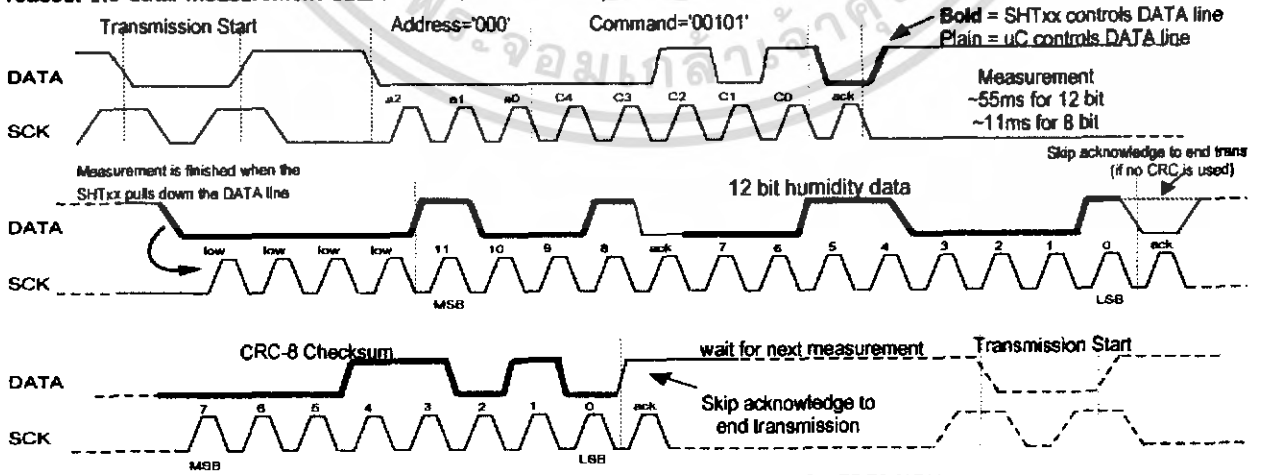


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001 ' 0011'0001"= 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

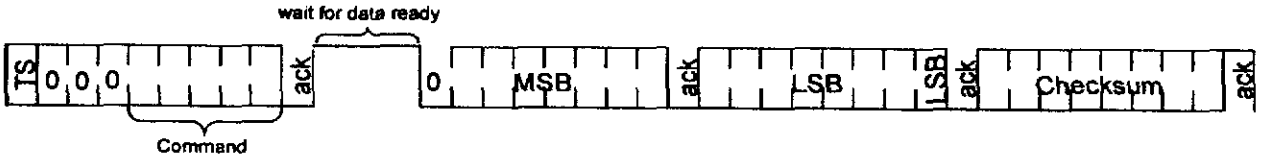


Figure 6 Overview of Measurement Sequence (TS = Transmission Start)

2.3 Status Register

Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the application note "Status Register"

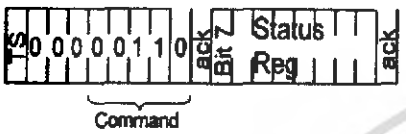


Figure 7 Status Register Write

Figure 8 Status Register Read

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 Temperature resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temperature resolution	0	12bit RH 14bit Temp.

Table 3 Status Register Bits

2.3.1 *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.

2.3.2 *End of Battery*

The "End of Battery" function detects VDD voltages below 2.47 V. Accuracy is ±0.05 V

2.3.3 *Heater*

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by 5-15 °C (9-27 °F). Power consumption will increase by ~8 mA @ 5 V.
Applications:
By comparing temperature and humidity values before and after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.

- In high (>95 %RH) RH environments heating the sensor element will prevent condensation, improve response time and accuracy

Warning: While heated the SHTxx will show higher temperatures and a lower relative humidity than with no heating.

2.4 Electrical Characteristics[1]

VDD=5V, Temperature = 25 °C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		µA
	average	2[2]	28[3]		µA
	sleep		0.3	1	µA
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		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	µA
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		µA

Table 4 SHTxx DC Characteristics

	Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit
F_{SCK}	SCK frequency	VDD > 4.5 V			10	MHz
		VDD < 4.5 V			1	MHz
T_{RFO}	DATA fall time	Output load 5 pF	3.5	10	20	ns
		Output load 100 pF	30	40	200	ns
T_{CLK}	SCK hi/low time		100			ns
T_V	DATA valid time			250		ns
T_{SU}	DATA set up time		100			ns
T_{HO}	DATA hold time		0	10		ns
T_R/T_F	SCK rise/fall time			200		ns

Table 5 SHTxx I/O Signals Characteristics

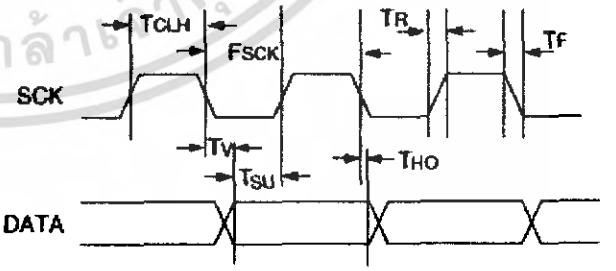


Figure 9 Timing Diagram

1) Parameters are periodically sampled and not 100% tested
2) With one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second
3) With one measurement of 12bit accuracy per second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Converting Output to Physical Values

3.1 Relative Humidity

To compensate for the non-linearity of the humidity sensor and to obtain the full accuracy it is recommended to convert the readout with the following formula[1]:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \bullet SO_{RH} + c_3 \bullet SO_{RH}^2$$

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-4	0.0405	$-2.8 * 10^{-6}$
8 bit	-4	0.648	$-7.2 * 10^{-4}$

Table 6 Humidity conversion coefficients

For simplified, less computation intense conversion formulas see application note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation".

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100% RH.

The humidity sensor has no significant voltage dependency.

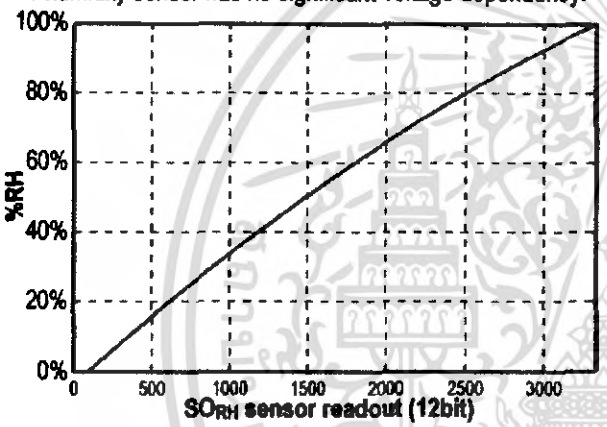


Figure 10 Conversion from SO_{RH} to relative humidity

3.1.1 *Humidity Sensor RH/Temperature compensation*

For temperatures significantly different from 25 °C (~77 °F) the temperature coefficient of the RH sensor should be considered:

$$RH_{true} = (T_{°C} - 25) \bullet (t_1 + t_2 \bullet SO_{RH}) + RH_{linear}$$

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

Table 7 Temperature compensation coefficients

This equals ~0.12 %RH / °C @ 50 %RH

3.2 Temperature

The bandgap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert from digital readout to temperature:

$$Temperature = d_1 + d_2 \bullet SO_T$$

VDD	d_1 [°C]	d_1 [°F]
5V	-40.00	-40.00
4V	-39.75	-39.50
3.5V	-39.66	-39.35
3V	-39.60	-39.28
2.5V	-39.55	-39.23

SO_T	d_2 [°C]	d_2 [°F]
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

Table 8 Temperature conversion coefficients

For improved accuracies in extreme temperatures with more computation intense conversion formulas see application note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation".

3.3 Dewpoint

Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHTxx allows superb dewpoint measurements. See application note "Dewpoint calculation" for more.

[1] Where SO_{RH} is the sensor output for relative humidity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 Applications Information

4.1 Operating and Storage Conditions

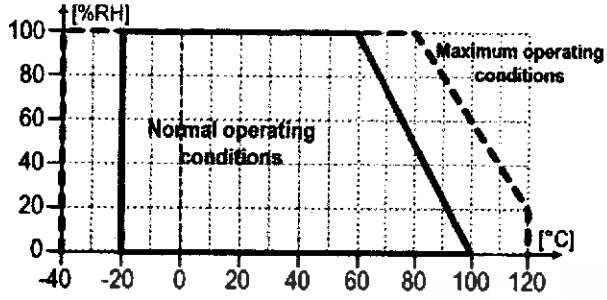


Figure 1 Recommended operating conditions

Conditions outside the recommended range may temporarily offset the RH signal up to ±3 %RH. After return to normal conditions it will slowly return towards calibration state by itself. See 4.3 "Reconditioning Procedure" to accelerate this process. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.

4.2 Exposure to Chemicals

Chemical vapors may interfere with the polymer layers used for capacitive humidity sensors. The diffusion of chemicals into the polymer may cause a shift in both offset and sensitivity. In a clean environment the contaminants will slowly outgas. The reconditioning procedure described below will accelerate this process. High levels of pollutants may cause permanent damage to the sensing polymer.

4.3 Reconditioning Procedure

The following reconditioning procedure will bring the sensor back to calibration state after exposure to extreme conditions or chemical vapors.
80-90 °C (176-194°F) at < 5 %RH for 24h (baking) followed by
20-30 °C (70-90°F) at > 74 %RH for 48h (re-hydration)

4.4 Temperature Effects

The relative humidity of a gas strongly depends on its temperature. It is therefore essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured.
If the SHTxx shares a PCB with electronic components that give off heat it should be mounted far away and below the heat source and the housing must remain well ventilated.
To reduce heat conduction copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB should be minimized and a slit may be milled in between (see figure 13).

4.5 Membranes

A membrane may be used to prevent dirt from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times air volume behind the membrane must be kept to a minimum. For the SHT1x package Sensirion recommends the SF1 filter cap for optimal IP67 protection.

4.6 Light

The SHTxx is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

4.7 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer, increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are: All Metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF
For sealing and gluing (use sparingly): High filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone. Outgassing of these materials may also contaminate the SHTxx (cf. 4.2). Store well ventilated after manufacturing or bake at 50°C for 24h to outgas contaminants before packing.

4.8 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals.
Please see the application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.
Power supply pins (VDD, GND) should be decoupled with a 100 nF capacitor if wires are used.

4.9 Qualifications

Extensive tests were performed in various environments. Please contact SENSIRION for detailed information.

Environment	Norm	Results[1]
Temperature Cycles	JESD22-A104-B -40 °C / 125 °C, 1000 cy	Within Specifications
HAST Pressure Cooker	JESD22-A110-B 2.3 bar 125 °C 85 %RH	Reversible shift by +2 %RH
High Temperature and Humidity	JESD22-A101-B 85 °C 85 %RH 1250h	Reversible shift by +2 %RH
Salt Atmosphere	DIN-50021ss	Within Spec.
Condensing Air	-	Within Spec.
Freezing cycles fully submerged	-20 / +90 °C, 100 cy 30min dwell time	Reversible shift by +2 %RH
Various Automotive Chemicals	DIN 72300-5	Within Specifications

Table 9 Qualification tests (excerpt)

4.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2 kV)).
Latch-up immunity is provided at a force current of ±100 mA with T_{amb} = 80 °C according to JEDEC 17. See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

[1] The temperature sensor passed all tests without any detectable drift. Package and electronics also passed 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Package Information

5.1 SHT1x (surface mountable)

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial data, bidirectional
3	SCK	Serial clock, input
4	VDD	Supply 2.4 - 5.5 V
	NC	Remaining pins must be left unconnected

Table 10 SHT1x Pin Description

5.1.1 Package type

The SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensors housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8 mm FR4 substrate. The device is free of Pb, Cd and Hg. (Fully ROHS, WEEE compliant)
Device size is 7.42 x 4.88 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch)
Weight 100 mg

The production date is printed onto the cap in white numbers in the form wwy. e.g. "351" = week 35, 2001.

5.1.2 Delivery Conditions

The SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs or 400pcs. (SHT10 at 2000pcs only). Reels are individually labelled with barcode and human readable labels. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and test.

Figure 12 Tape configuration and unit orientation

5.1.3 Soldering Information

Standard reflow soldering ovens may be used. For details please see application note "soldering procedure".

For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350 °C.
After soldering the devices should be stored at >74 %RH for at least 24h to allow the polymer to rehydrate.
Please consult the application note "Soldering procedure" for more information.

5.1.4 Mounting Examples

Figure 13 SHT1x PCB Mounting example

The SF1 membrane filter cap is available for optimal IP67 protection. When mounted through a housing the interior can be protected from the environment while still allowing high quality humidity measurements (see example below).

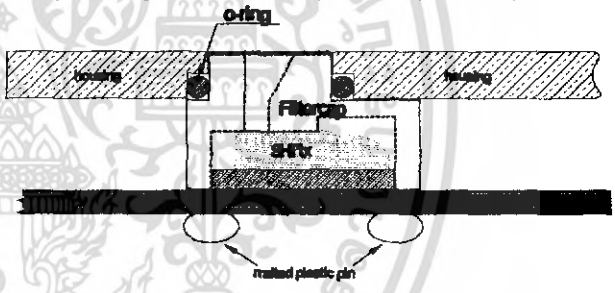


Figure 14 SF1 IP67 filter cap mounting example

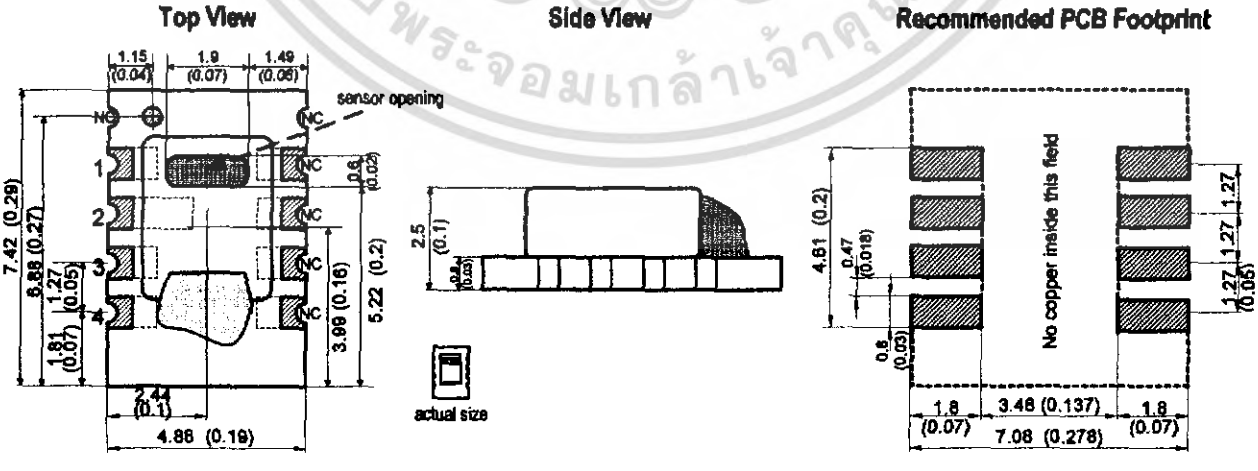


Figure 15 SHT1x drawing and footprint dimensions in mm (inch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 SHT7x (4-pin single-in-line)

Pin	Name	Comment
1	*SCK*	*Serial clock input*
2	*VDD*	*Supply 2.4 - 5.5 V*
3	*GND*	*Ground*
4	*DATA*	*Serial data bidirectional*

Table 11 SHT7x Pin Description

5.2.1 Package type[1]

The device is supplied in a single-in-line pin type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.6 mm FR4 substrate. The device is Cd and Hg free.
The sensor head is connected to the pins by a small bridge to minimize heat conduction and response times. The gold plated back side of the sensor head is connected to the GND pin.
A 100nF capacitor is mounted on the back side between VDD and GND.
All pins are gold plated to avoid corrosion. They can be soldered or mate with most 1.27 mm (0.05") sockets e.g.: Preci-dip / Mill-Max 851-93-004-20-001 or similar
Total weight: 168 mg, weight of sensor head: 73 mg

The production date is printed onto the cap in white numbers in the form wwy. e.g. "351" = week 35, 2001.

5.2.2 Delivery Conditions

The SHT7x are shipped in 32 mm tape. These reeled parts in standard option are shipped with 500 units per 13 inch diameter reel. Reels are individually labelled with barcode and human readable labels.

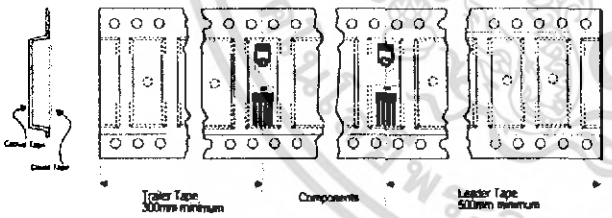


Figure 16 Tape configuration and unit orientation

5.2.3 Soldering Information[2]

Standard wave SHT7x soldering ovens may be used at maximum 235 °C for 20 seconds.
For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350 °C.
After wave soldering the devices should be stored at >74 %RH for at least 24 h to allow the polymer to rehydrate.
Please consult the application note "Soldering procedure" for more information.

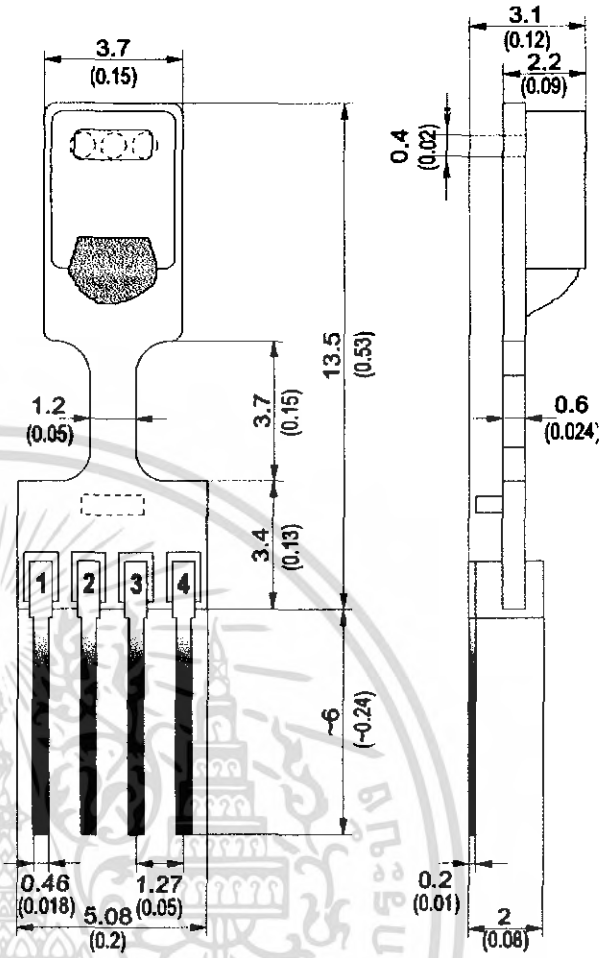


Figure 17 SHT7x dimensions in mm (inch)

[1] Other packaging options may be available on request.
[2] For maximum accuracy do not solder SHT75!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 Revision history

Date	Version	Page(s)	Changes
February 2002	Preliminary	1-9	First public release
June 2002	Preliminary		Added SHT7x information
March 2003	Final v2.0	1-9	Major remake, added application information etc. Various small modifications
	V2.01	1-9	Typos, Graph labeling
July 2004	V2.02	1-9	Improved specifications, added SF1 information, improved wording
April 2005	V2.03	1-2	Added SHT10 information
May 2005	V2.04	1-9	Changed company address
March 2006	V2.05	1-10	Changed disclaimer

The latest version of this document and all application notes can be found at:
www.sensirion.com/humidity

7 Important Notices

7.1 Warning, personal injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Do not use this product for applications other than its intended and authorized use. Before installing, handling, using or servicing this product, please consult the data sheet and application notes. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

If the Buyer shall purchase or use SENSIRION products for any unintended or unauthorized application, Buyer shall defend, indemnify and hold harmless SENSIRION and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if SENSIRION shall be allegedly negligent with respect to the design or the manufacture of the product.

7.2 ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take customary and statutory ESD precautions when handling this product.
See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

7.3 Warranty

SENSIRION warrants solely to the original purchaser of this product for a period of 12 months (one year) from the date of delivery that this product shall be of the quality, material and workmanship defined in SENSIRION's published specifications of the product. Within such period, if proven to be defective, SENSIRION shall repair and/or replace this product, in SENSIRION's discretion, free of charge to the Buyer, provided that:

- notice in writing describing the defects shall be given to SENSIRION within fourteen (14) days after their appearance;
- such defects shall be found, to SENSIRION's reasonable satisfaction, to have arisen from SENSIRION's faulty design, material, or workmanship;
- the defective product shall be returned to SENSIRION's factory at the Buyer's expense; and
- the warranty period for any repaired or replaced product shall be limited to the unexpired portion of the original period.

This warranty does not apply to any equipment which has not been installed and used within the specifications recommended by SENSIRION for the intended and proper use of the equipment. EXCEPT FOR THE WARRANTIES EXPRESSLY SET FORTH HEREIN, SENSIRION MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, WITH RESPECT TO THE PRODUCT. ANY AND ALL WARRANTIES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE EXPRESSLY EXCLUDED AND DECLINED.
SENSIRION is only liable for defects of this product arising under the conditions of operation provided for in the data sheet and proper use of the goods. SENSIRION explicitly disclaims all warranties, express or implied, for any period during which the goods are operated or stored not in accordance with the technical specifications.
SENSIRION does not assume any liability arising out of any application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. All operating parameters, including without limitation recommended parameters, must be validated for each customer's applications by customer's technical experts. Recommended parameters can and do vary in different applications.
SENSIRION reserves the right, without further notice, (i) to change the product specifications and/or the information in this document and (ii) to improve reliability, functions and design of this product.

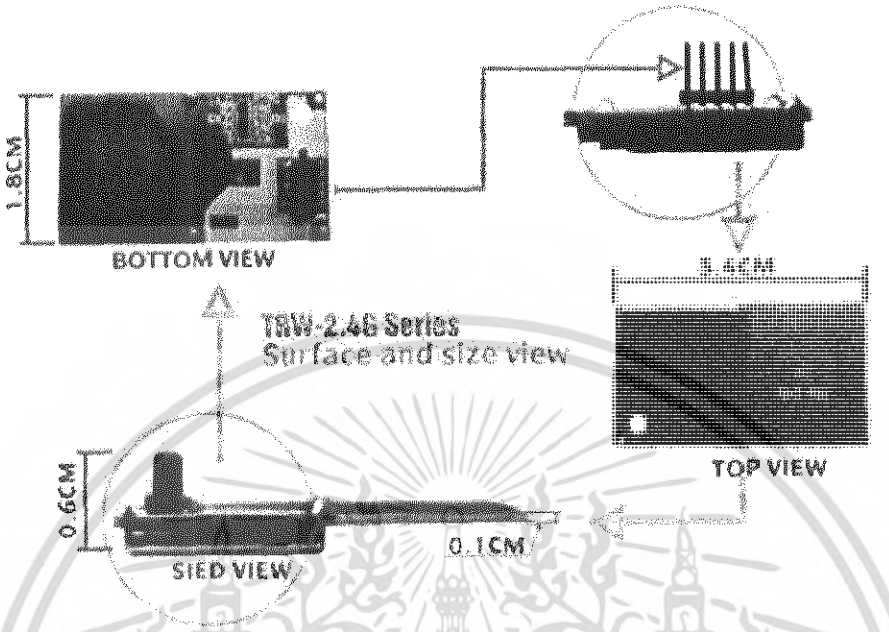
Copyright© 2001-2005, SENSIRION.
CMOSens® is a trademark of Sensirion
All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

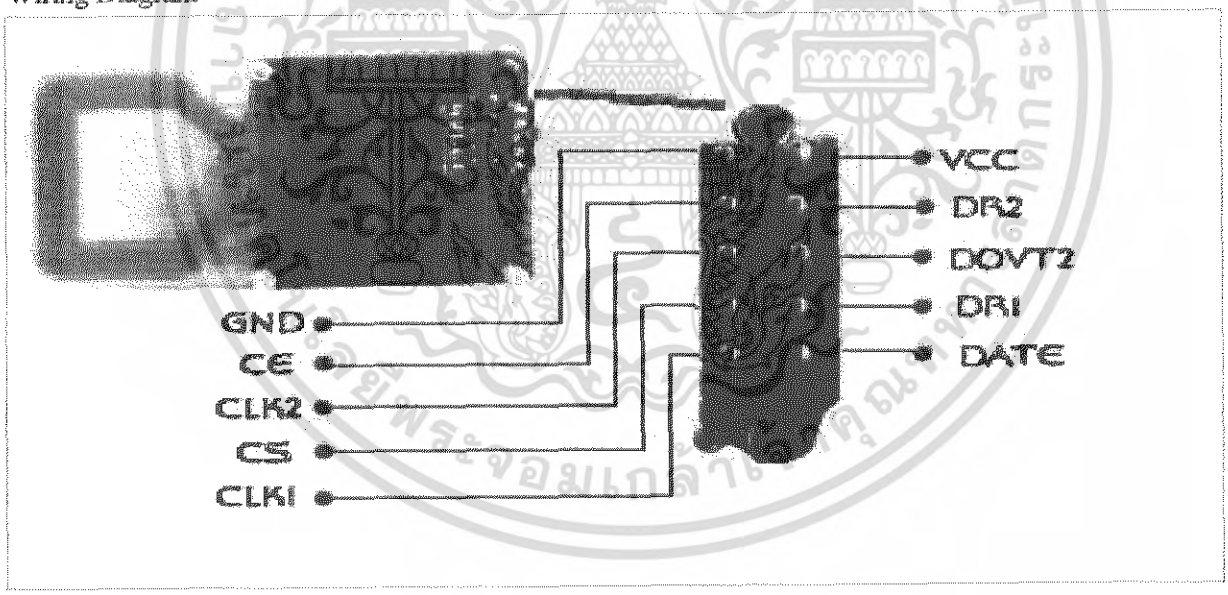
Ensemble list

Transmitter	**Receiver**	**Distance**
TRW-2.4G(250kbps)	TRW-2.4G(250kbps)	280m
TRW-2.4G(1Mbps)	TRW-2.4G(1Mbps)	150m

Suface And Size View



Wiring Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conditions: VDD = +3V, VSS = 0V, T_A = - 40°C to + 85°C

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
	Operating conditions					
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C
	Digital input pin					
V_{IH}	HIGH level input voltage		VDD- 0.3		VDD	V
V_{IL}	LOW level input voltage		Vss		0.3	V
	Digital output pin					
V_{OH}	HIGH level output voltage (I_{OH}=-0.5mA)		VDD- 0.3		VDD	V
V_{OL}	LOW level output voltage (I_{OL}=0.5mA)		Vss		0.3	V
	General RF conditions					
f_{OP}	Operating frequency	1)	2400		2524	MHz
Δf	Frequency deviation			±156		kHz
R_{GFSK}	Data rate ShockBurst™		>0		1000	kbps
$F_{CHANNEL}$	Channel spacing			1		MHz
	Transmitter operation					
P_{RF}	Maximum Output Power	4)		0	-4	dBm
P_{RFC}	RF Power Control Range		16	20		dB
P_{RFCR}	RF Power Control Range Resolution				±3	dB
P_{BW}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier				1000	kHz
P_{RF2}	2nd Adjacent Channel Transmit Power 2MHz				-20	dBm
P_{RF3}	3rd Adjacent Channel Transmit Power 3MHz				-40	dBm
I_{VDD}	Supply current @ 0dBm output power	5)		13		mA
I_{VDD}	Supply current @ -20dBm output power	5)		8.8		mA
I_{VDD}	Average Supply current @ -5dBm output power, ShockBurst™	6)		0.8		mA
I_{VDD}	Average Supply current in stand-by mode	7)		12		µA
I_{VDD}	Average Supply current in power down			1		µA
	Receiver operation					
I_{VDD}	Supply current one channel 250kbps			18		mA
I_{VDD}	Supply current one channel 1000kbps			19		mA
I_{VDD}	Supply current two channels 250kbps			23		mA
I_{VDD}	Supply current two channels 1000kbps			25		mA
RX_{SENS}	Sensitivity at 0.1%BER (@250kbps)			-90		dBm
RX_{SENS}	Sensitivity at 0.1%BER (@1000kbps)			-80		dBm
C/I_{CO}	C/I Co-channel			6		dB
C/I_{1ST}	1st Adjacent Channel Selectivity C/I 1MHz			-1		dB
C/I_{2ND}	2nd Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz			-16		dB
C/I_{3RD}	3rd Adjacent Channel Selectivity C/I 3MHz			-26		dB
RX_{II}	Blocking Data Channel 2			-41		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ShockBurst™

The ShockBurst™ technology uses on-chip FIFO to clock in data at a low data rate and transmit at a very high rate thus enabling extremely power reduction.
When operating the TRW-2.4G in ShockBurst™, you gain access to the high data rates (1 Mbps) offered by the 2.4 GHz band without the need of a costly, high-speed micro controller (MCU) for data processing.
By putting all high speed signal processing related to RF protocol on-chip, the TRW-2.4G offers the following benefits:

- Highly reduced current consumption
- Lower system cost (facilitates use of less expensive micro controller)
- Greatly reduced risk of 'on-air' collisions due to short transmission time

The TRW-2.4G can be programmed using a simple 3-wire interface where the data rate is decided by the speed of the micro controller.
By allowing the digital part of the application to run at low speed while maximizing the data rate on the RF link, the nRF ShockBurst™ mode reduces the average current consumption in applications considerably.

ShockBurst™ principle

When the TRW-2.4G is configured in ShockBurst™, TX or RX operation is conducted in the following way (10 kbps for the example only).

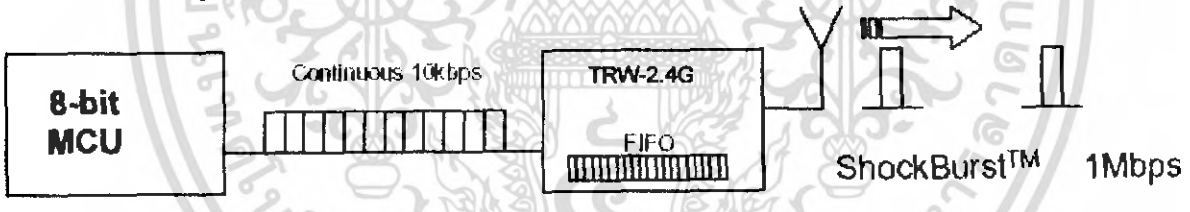


Figure 4 Clocking in data with MCU and sending with ShockBurst™ technology

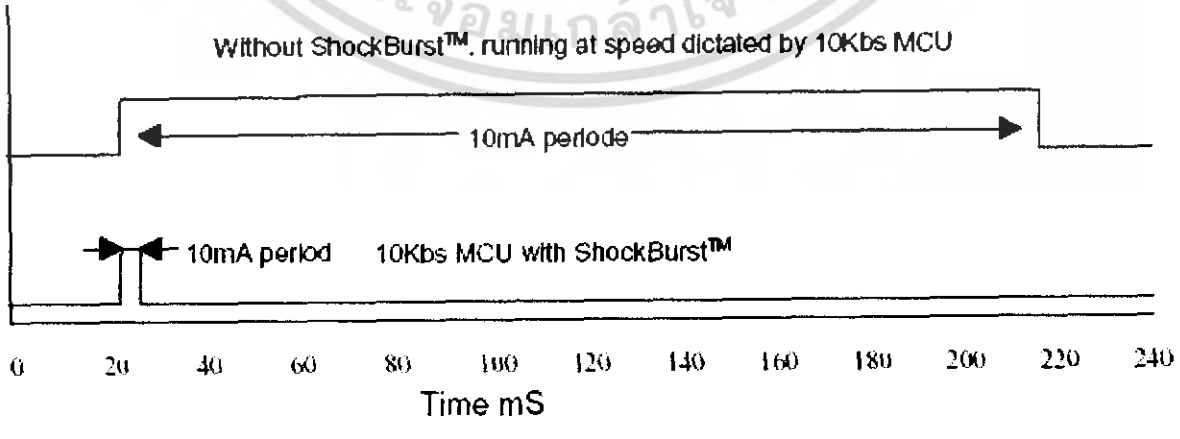


Figure 5 Current consumption with & without ShockBurst™ technology

เอกสารนี้ [illegible] ชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

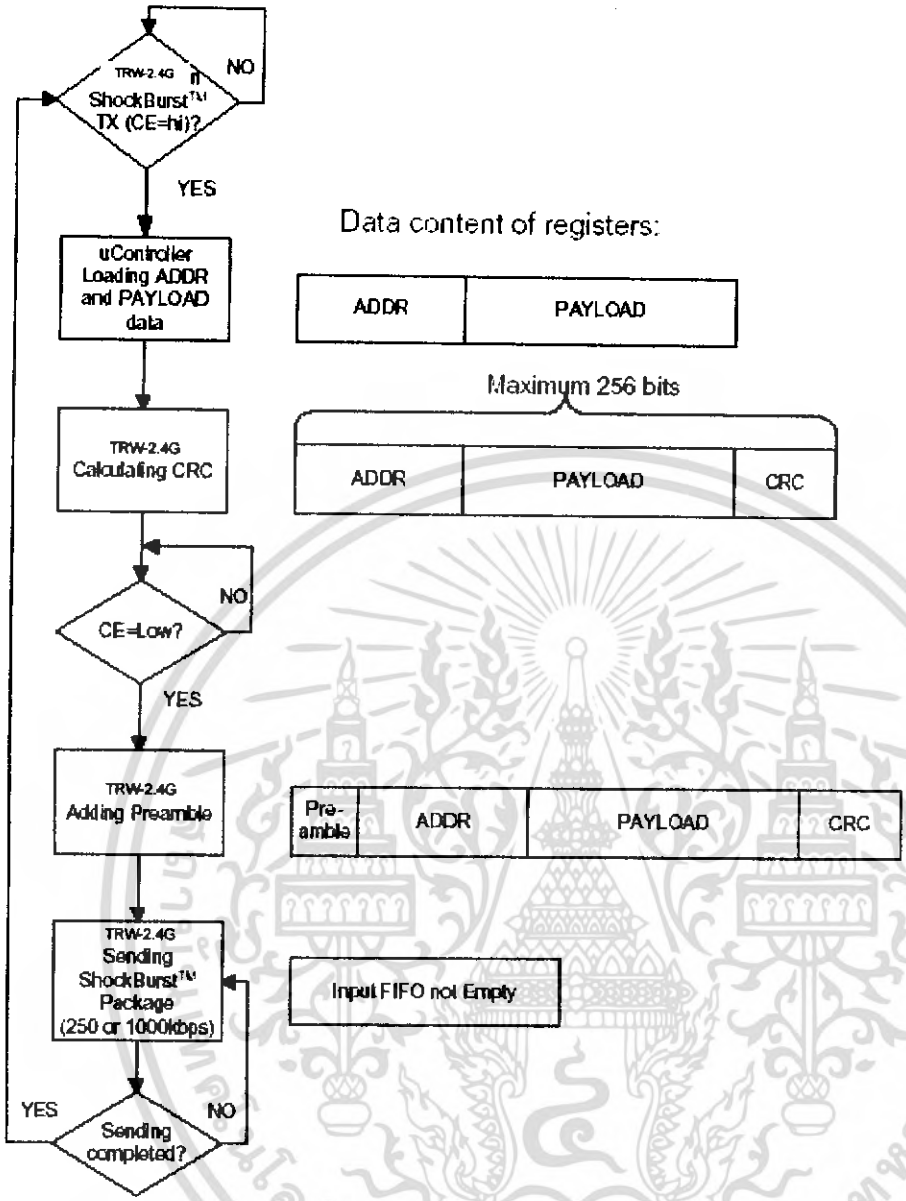


Figure 2 Flow Chart ShockBurst™ Transmit of TRW-2.4G

nRF2401 ShockBurst™ Transmit:

MCU interface pins: CE, CLK1, DATA

1. When the application MCU has data to send, set CE high. This activates TRW-2.4G on-board data processing.
2. The address of the receiving node (RX address) and payload data is clocked into the TRW-2.4G . The application protocol or MCU sets the speed <1Mbps (ex: 10kbps).
3. MCU sets CE low, this activates a TRW-2.4G ShockBurst™ transmission.
4. TRW-2.4G ShockBurst™:
   - RF front end is powered up
   - RF package is completed (preamble added, CRC calculated)
   - Data is transmitted at high speed (250 kbps or 1 Mbps configured by user).
   - TRW-2.4G return to stand-by when finished

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

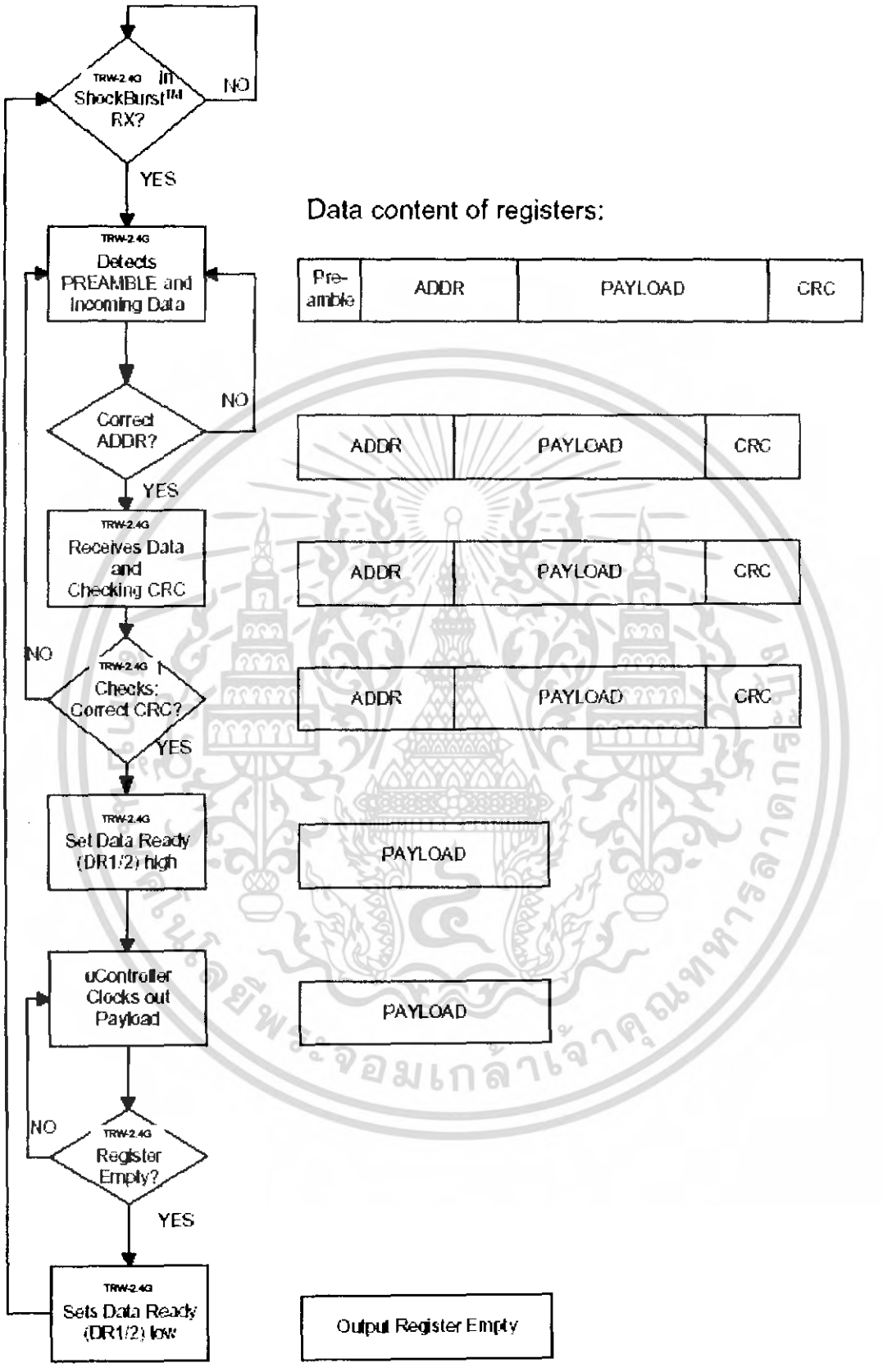


Figure 3 Flow Chart ShockBurst™ Receive of TRW-2.4G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRW-2.4G ShockBurst™ Receive:

MCU interface pins: CE, DR1, CLK1 and DATA (one RX channel receive)

1. Correct address and size of payload of incoming RF packages are set when TRW-2.4G is configured to ShockBurst™ RX.
2. To activate RX, set CE high.
3. After 200 µs settling, TRW-2.4G is monitoring the air for incoming communication.
4. When a valid package has been received (correct address and CRC found), TRW-2.4G removes the preamble, address and CRC bits.
5. TRW-2.4G then notifies (interrupts) the MCU by setting the DR1 pin high.
6. MCU may (or may not) set the CE low to disable the RF front end (low current mode).
7. The MCU will clock out just the payload data at a suitable rate (ex. 10 kbps).
8. When all payload data is retrieved TRW-2.4G sets DR1 low again, and is ready for new incoming data package if CE is kept high during data download. If the CE was set low, a new start up sequence can begin, see Figure 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DuoCeiver™ Simultaneous Two Channel Receive Mode

In both ShockBurst™ .. .. modes the TRW-2.4G can facilitate simultaneous reception of two parallel independent frequency channels at the maximum data rate. This means:

- TRW-2.4G can receive data from two 1 Mbps transmitters (ex: TRW-2.4G or TRW-2.4G_) 8 MHz (8 frequency channels) apart through one antenna interface.
- The output from the two data channels is fed to two separate MCU interfaces.
  - Data channel 1: CLK1, DATA, and DR1
  - Data channel 2: CLK2, DOUT2, and DR2
  - DR1 and DR2 are available only in ShockBurst™.

The TRW-2.4G DuoCeiver™ technology provides 2 separate dedicated data channels for RX and replaces the need for two, stand alone receiver systems.

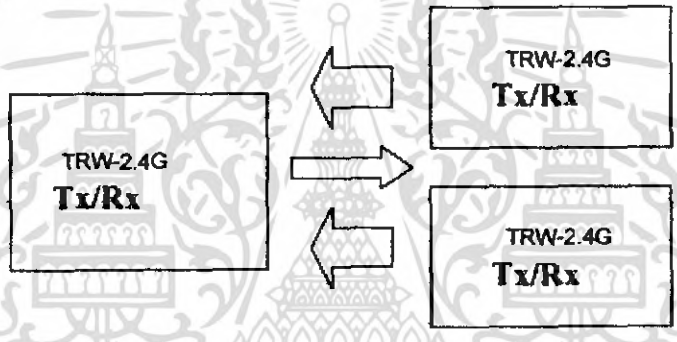


Figure 4 Simultaneous 2 channel receive on TRW-2.4G

There is one absolute requirement for using the second data channel. For the TRW-2.4G to be able to receive at the second data channel the frequency channel must be 8MHz higher than the frequency of data channel 1. The TRW-2.4G must be programmed to receive at the frequency of data channel 1. No time multiplexing is used in TRW-2.4G to fulfil this function. In direct mode the MCU must be able to handle two simultaneously incoming data packets if it is not multiplexing between the two data channels. In ShockBurst™ it is possible for the MCU to clock out one data channel at a time while data on the other data channel waits for MCU availability, without any lost data packets, and by doing so reduce the needed performance of the MCU.

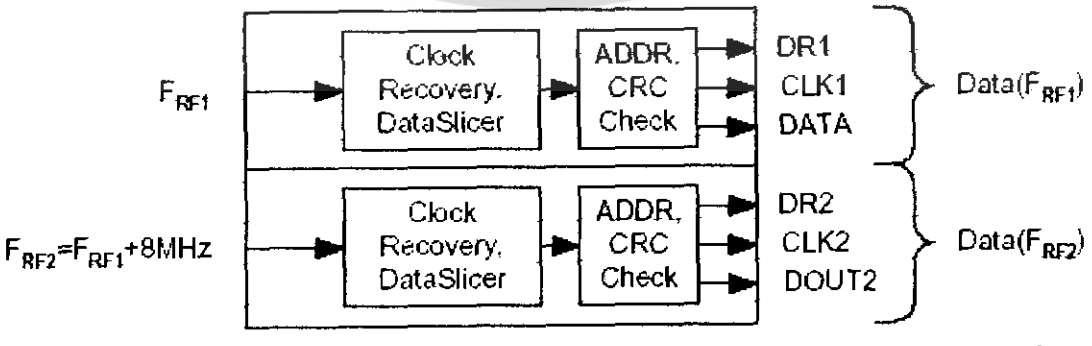


Figure 5 DuoCeiver™ with two simultaneously independent receive channels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVICE CONFIGURATION

All configuration of the TRW-2.4G is done via a 3-wire interface to a single configuration register. The configuration word can be up to 15 bytes long for ShockBurst™

Configuration for ShockBurst™ operation

The configuration word in ShockBurst™ enables the TRW-2.4G to handle the RF protocol. Once the protocol is completed and loaded into TRW-2.4G only one byte, bit[7:0], needs to be updated during actual operation.

The configuration blocks dedicated to ShockBurst™ is as follows:

- Payload section width: Specifies the number of payload bits in a RF package. This enables the TRW-2.4G to distinguish between payload data and the CRC bytes in a received package.
- Address width: Sets the number of bits used for address in the RF package. This enables the TRW-2.4G to distinguish between address and payload data.
- Address (RX Channel 1 and 2): Destination address for received data.
- CRC: Enables nRF2401 on-chip CRC generation and de-coding.

NOTE:
These configuration blocks, with the exception of the CRC, are dedicated for the packages that a TRW-2.4G is to receive.
In TX mode, the MCU must generate an address and a payload section that fits the configuration of the TRW-2.4G that is to receive the data.
When using the TRW-2.4G on-chip CRC feature ensure that CRC is enabled and uses the same length for both the TX and RX devices.

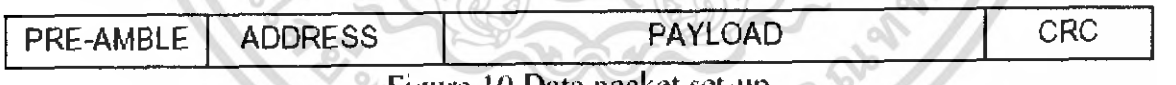


Figure 10 Data packet set-up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Configuration Word overview

	Bit position	Number of bits	Name	Function
ShockBurst™ configuration	143:120	24	TEST	Reserved for testing
	119:112	8	DATA2_W	Length of data payload section RX channel 2
	111:104	8	DATA1_W	Length of data payload section RX channel 1
	103:64	40	ADDR2	Up to 5 byte address for RX channel 2
	63:24	40	ADDR1	Up to 5 byte address for RX channel 1
	23:18	6	ADDR_W	Number of address bits (both RX channels).
	17	1	CRC_L	8 or 16 bit CRC
	16	1	CRC_EN	Enable on-chip CRC generation/checking.
General device configuration	15	1	RX2_EN	Enable two channel receive mode
	14	1	CM	Communication mode (Direct or ShockBurst™)
	13	1	RFDR_SB	RF data rate (1Mbps requires 16MHz crystal)
	12:10	3	XO_F	Crystal frequency
	9:8	2	RF_PWR	RF output power
	7:1	7	RF_CH#	Frequency channel
	0	1	RXEN	RX or TX operation

Table 1 Table of configuration words.

The configuration word is shifted in MSB first on positive CLK1 edges. New configuration is enabled on the falling edge of CS.

NOTE.
On the falling edge of CS, the TRW-2.4G updates the number of bits actually shifted in during the last configuration.
Ex:
If the TRW-2.4G is to be configured for 2 channel RX in ShockBurst™, a total of 120 bits must be shifted in during the first configuration after VDD is applied.
Once the wanted protocol, modus and RF channel are set, only one bit (RXEN) is shifted in to switch between RX and TX.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Configuration Word Detailed Description

The following describes the function of the 144 bits (bit 143 = MSB) that is used to configure the TRW-2.4G
General Device Configuration: bit[15:0]
ShockBurst™ Configuration: bit[119:0]
Test Configuration: bit[143:120]

MSB	TEST							
D143	D142	D141	D140	D139	D138	D137	D136	
Reserved for testing								
1	0	0	0	1	1	1	0	Default

MSB	TEST														
D135	D134	D133	D132	D131	D130	D129	D128	D127	D126	D125	D124	D123	D122	D121	D120
Reserved for testing														Close PLL in TX	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	Default

DATA2_W								
D119	D118	D117	D116	D115	D114	D113	D112	
Data width channel#2 in # of bits excluding addr/crc								
0	0	1	0	0	0	0	0	Default

DATA1_W								
D111	D110	D109	D108	D107	D106	D105	D104	
Data width channel#1 in # of bits excluding addr/crc								
0	0	1	0	0	0	0	0	Default

ADDR2												
D103	D102	D101	....	D71	D70	D69	D68	D67	D66	D65	D64	
Channel#2 Address RX (up to 40bit)												
0	0	0	...	1	1	1	0	0	1	1	1	Default

ADDR1												
D63	D62	D61	....	D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24	
Channel#1 Address RX (up to 40bit)												
0	0	0	...	1	1	1	0	0	1	1	1	Default

ADDR_W						
D23	D22	D21	D20	D19	D18	
Address width in # of bits (both channels)						
0	0	1	0	0	0	Default

CRC		
D17	D16	
CRC Mode 1 = 16bit, 0 = 8bit	CRC 1 = enable; 0 = disable	
0	1	Default

RF-Programming															LSB	
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Two Ch.	BUF	OD	XO			RF Power		Channel selection							RXEN	
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	Default

Table 2 Configuration data word

The MSB bit should be loaded first into the configuration register.
Default configuration word: h8E08.1C20.2000.0000.00E7.0000.0000.E721.0F04.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ShockBurst™ configuration:

The section B[119:16] contains the segments of the configuration register dedicated to ShockBurst™ operational protocol. After VDD is turned on ShockBurst™ configuration is done once and remains set whilst VDD is present. During operation only the first byte for frequency channel and RX/TX switching need to be changed.

PLL_CTRL

PLL_CTRL		
D121	D120	PLL
0	0	Open TX/Closed RX
0	1	Open TX/Open RX
1	0	Closed TX/Closed RX
1	1	Closed TX/Open RX

Table 10 PLL setting.

Bit 121-120:

PLL_CTRL: Controls the setting of the PLL for test purposes. With closed PLL in TX no deviation will be present.

DATAx_W

DATA2_W							
119	118	117	116	115	114	113	112

DATA1_W							
111	110	109	108	107	106	105	104

Table 4 Number of bits in payload.

Bit 119 – 112:

DATA2_W: Length of RF package payload section for receive-channel 2.

Bit 111 – 104:

DATA1_W: Length of RF package payload section for receive-channel 1.

NOTE:

The total number of bits in a ShockBurst™ RF package may not exceed 256! Maximum length of payload section is hence given by:

$$DATAx_W(bits) = 256 - ADDR_W - CRC$$

Where:

ADDR_W: length of RX address set in configuration word B[23:18]
CRC: check sum, 8 or 16 bits set in configuration word B[17]
PRE: preamble, 4 or 8 bits are automatically included

Shorter address and CRC leaves more room for payload data in each package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDRx

ADDR2											
103	102	101	....	71	70	69	68	67	66	65	64

ADDR1											
63	62	61	....	31	30	29	28	27	26	25	24

Table 5: Address of receiver #2 and receiver #1.

Bit 103 – 64:

ADDR2: Receiver address channel 2, up to 40 bit.

Bit 63 – 24: ADDR1

ADDR1: Receiver address channel 1, up to 40 bit.

NOTE!

Bits in ADDRx exceeding the address width set in ADDR_W are redundant and can be set to logic 0.

ADDR_W & CRC

ADDR_W						CRC_L	CRC_EN
23	22	21	20	19	18	17	16

Table 6 Number of bits reserved for RX address + CRC setting.

Bit 23 – 18:

ADDR_W: Number of bits reserved for RX address in ShockBurst™ packages.

NOTE:

Maximum number of address bits is 40 (5 bytes). Values over 40 in ADDR_W are not valid.

Bit 17:

CRC_L: CRC length to be calculated by TRW-2.4G in ShockBurst™.
Logic 0: 8 bit CRC
Logic 1: 16 bit CRC

Bit: 16:

CRC_EN: Enables on-chip CRC generation (TX) and verification (RX).
Logic 0: On-chip CRC generation/checking disabled
Logic 1: On-chip CRC generation/checking enabled

NOTE:

An 8 bit CRC will increase the number of payload bits possible in each ShockBurst™ data packet, but will also reduce the system integrity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General device configuration:

This section of the configuration word handles RF and device related parameters.

Modes:

RX2_EN	CM	RFDR_SB	XO_F			RF_PWR	
15	14	13	12	11	10	9	8

Table 7 RF operational settings.

Bit 15:

RX2_EN:

Logic 0: One channel receive
Logic 1: Two channels receive

NOTE:

In two channels receive, the TRW-2.4G receives on two, separate frequency channels simultaneously. The frequency of receive channel 1 is set in the configuration word B[7-1], receive channel 2 is always 8 channels (8 MHz) above receive channel 1.

Bit 14:

Communication Mode:

Logic 1: nRF2401 operates in ShockBurst™ mode

Bit 13:

RF Data Rate:

Logic 0: 2.[illegible] TRW-2.4G
Logic 1: 1 Mbps

NOTE:

Utilizing 250 kbps instead of 1Mbps will improve the receiver sensitivity by 10 dB. 1Mbps requires 16MHz crystal.

Bit 12-10:

D12	D11	D10
0	1	1

Table 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 9-8:

RF_PWR: Sets TRW-2.4G RF output power in transmit mode:

RF OUTPUT POWER		
D9	D8	P [dBm]
0	0	-20
0	1	-10
1	0	-5
1	1	0

Table 9 · RF output power setting.

RF channel & direction

RF_CH#							RXEN
7	6	5	4	3	2	1	0

Table 10 Frequency channel + RX / TX setting.

Bit 7 – 1:

RF_CH#: Sets the frequency channel the nRF2401 operates on.

The channel frequency in ***transmit*** is given by:

$$Channel_{TX} = 2400\,MHz + RF_CH\# \cdot 1.0\,MHz$$

RF_CH #: between 2400MHz and 2527MHz may be set.

The channel frequency in ***data channel 1*** is given by:

$$Channel_{RX} = 2400\,MHz + RF_CH\# \cdot 1.0\,MHz$$ (Receive at PIN#8)

RF_CH #: between 2400MHz and 2524MHz may be set.

NOTE:
The channels above 83 can only be utilized in certain territories (ex: Japan)

The channel frequency in ***data channel 2*** is given by:

$$Channel_{RX} = 2400\,MHz + RF_CH\# \cdot 1.0\,MHz$$ +8MHz (Receive at PIN#4)

RF_CH #: between 2408MHz and 2524MHz may be set.

Bit 0:

Set active mode:

Logic 0: transmit mode
Logic 1: receive mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA PACKAGE DESCRIPTION

PRE-AMBLE	ADDRESS	PAYLOAD	CRC

Figure 7 Data Package Diagram

The data packet for both ShockBurst™ mode and direct mode communication is divided into 4 sections. These are:

1. PREAMBLE	· The preamble field is required in ShockBurst.
2. ADDRESS	· The address field is required in ShockBurst. mode. · 8 to 40 bits length. · Address automatically removed from received packet in ShockBurst.mode
3. PAYLOAD	· The data to be transmitted · In Shock-Burst mode payload size is 256 bits minus the following:(Address: 8 to 40 bits. + CRC 8 or 16 bits).
4. CRC	· 8 or 16 bits length · The CRC is stripped from the received output data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

配置WS2401模組數據時從高位開始。

范例：在ShockBurth的發射模式，以一個通道在2410MHz下以1Mbps Rate傳送。

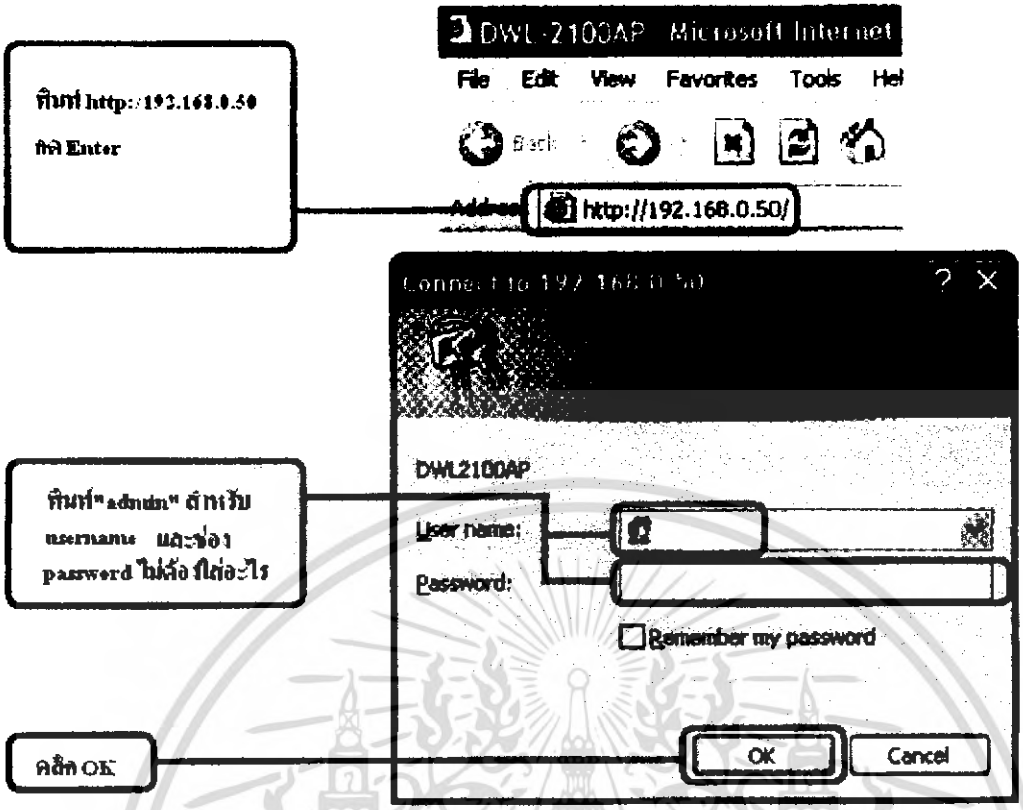
Bit143	Bit142	Bit141	Bit140	Bit139	Bit138	Bit137	Bit136
1	0	0	0	1	1	1	0
Bit135	Bit134	Bit133	Bit132	Bit131	Bit130	Bit129	Bit128
0	0	0	0	1	0	0	0
Bit127	Bit126	Bit125	Bit124	Bit123	Bit122	Bit121	Bit120
0	0	0	1	1	1	0	0
Bit119	Bit118	Bit117	Bit116	Bit115	Bit114	Bit113	Bit112
1	1	0	0	1	0	0	0
Bit111	Bit110	Bit109	Bit108	Bit107	Bit106	Bit105	Bit104
1	1	0	0	1	0	0	0
Bit103	Bit102	Bit101	Bit100	Bit99	Bit98	Bit97	Bit96
1	1	0	0	0	0	0	0
Bit95	Bit94	Bit93	Bit92	Bit91	Bit90	Bit89	Bit88
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit87	Bit86	Bit85	Bit84	Bit83	Bit82	Bit81	Bit80
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit79	Bit78	Bit77	Bit76	Bit75	Bit74	Bit73	Bit72
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit71	Bit70	Bit69	Bit68	Bit67	Bit66	Bit65	Bit64
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit63	Bit62	Bit61	Bit60	Bit59	Bit58	Bit57	Bit56
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit55	Bit54	Bit53	Bit52	Bit51	Bit50	Bit49	Bit48
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit47	Bit46	Bit45	Bit44	Bit43	Bit42	Bit41	Bit40
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit39	Bit38	Bit37	Bit36	Bit35	Bit34	Bit33	Bit32
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
1	0	1	0	0	0	1	1
Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
			0	1	1	1	1
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0	0	0	1	0	1	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

范例：在ShockBurth的接收模式，以一個通道在2410MHz下以1Mbps Rate接收。

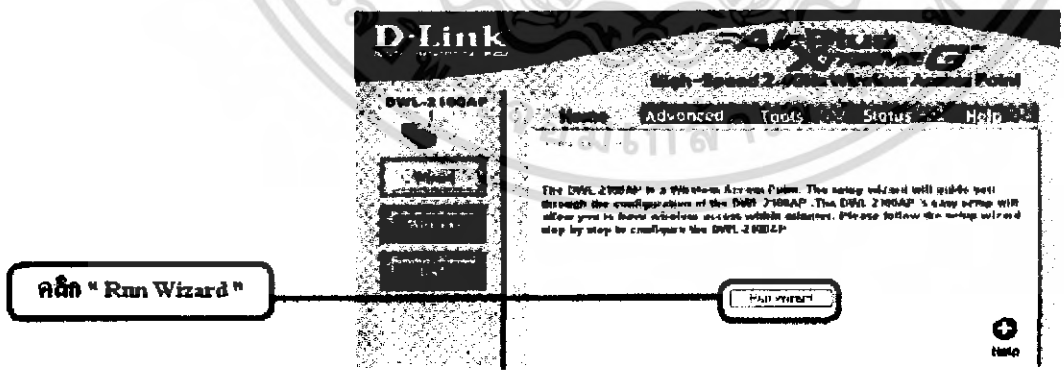
Bit143	Bit142	Bit141	Bit140	Bit139	Bit138	Bit137	Bit136
1	0	0	0	1	1	1	0
Bit135	Bit134	Bit133	Bit132	Bit131	Bit130	Bit129	Bit128
0	0	0	0	1	0	0	0
Bit127	Bit126	Bit125	Bit124	Bit123	Bit122	Bit121	Bit120
0	0	0	1	1	1	0	0
Bit119	Bit118	Bit117	Bit116	Bit115	Bit114	Bit113	Bit112
1	1	0	0	1	0	0	0
Bit111	Bit110	Bit109	Bit108	Bit107	Bit106	Bit105	Bit104
1	1	0	0	1	0	0	0
Bit103	Bit102	Bit101	Bit100	Bit99	Bit98	Bit97	Bit96
1	1	0	0	0	0	0	0
Bit95	Bit94	Bit93	Bit92	Bit91	Bit90	Bit89	Bit88
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit87	Bit86	Bit85	Bit84	Bit83	Bit82	Bit81	Bit80
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit79	Bit78	Bit77	Bit76	Bit75	Bit74	Bit73	Bit72
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit71	Bit70	Bit69	Bit68	Bit67	Bit66	Bit65	Bit64
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit63	Bit62	Bit61	Bit60	Bit59	Bit58	Bit57	Bit56
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit55	Bit54	Bit53	Bit52	Bit51	Bit50	Bit49	Bit48
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit47	Bit46	Bit45	Bit44	Bit43	Bit42	Bit41	Bit40
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit39	Bit38	Bit37	Bit36	Bit35	Bit34	Bit33	Bit32
0	1	0	1	0	1	0	1
Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
1	0	1	0	1	0	1	0
Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
1	0	1	0	0	0	1	1
Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
			0	1	1	1	1
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0	0	0	1	0	1	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 การตั้งค่าตัว Wireless Access Point

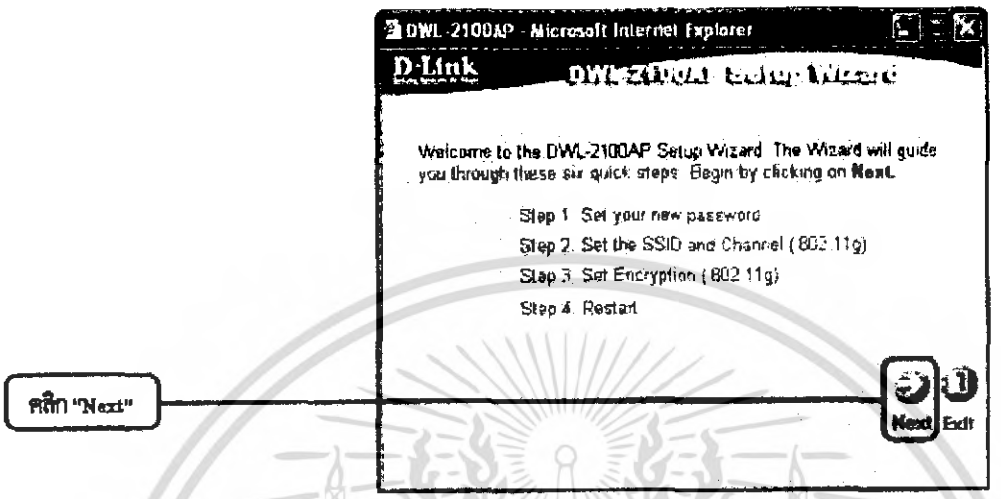
3. เริ่มทำการ Setup ขั้นแรกให้คลิกที่ Setup Wizard



รูปที่ 3 การ Setup Wizard ของ Wireless Access Point

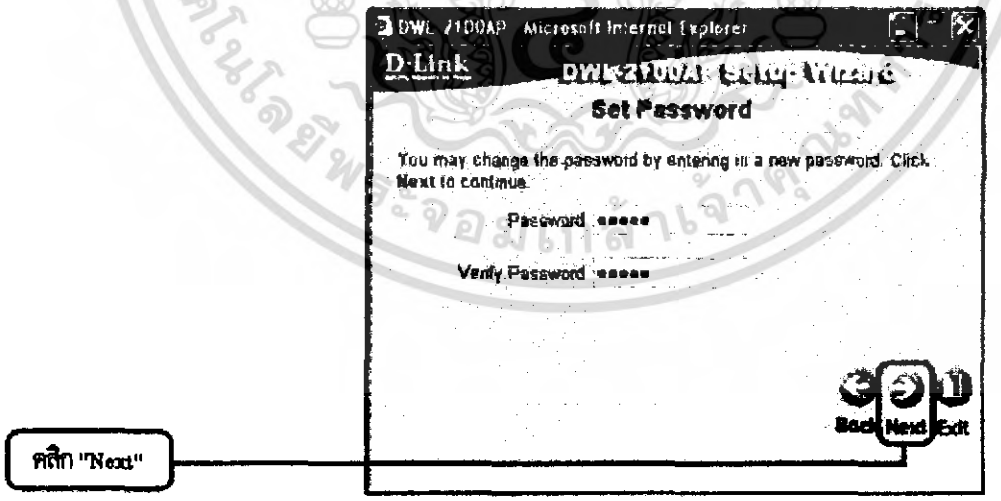
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หน้าจอ Setup Wizard จะบอกว่า อย่างน้อยควรที่จะผ่าน 4 ขั้นตอนในการ Setup คือ เปลี่ยน Password, การตั้งชื่อ SSID และ Channel, ตั้งการเข้ารหัสข้อมูล หลังจากนั้นก็ restart



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนในการ Setup ของ Wireless Access Point

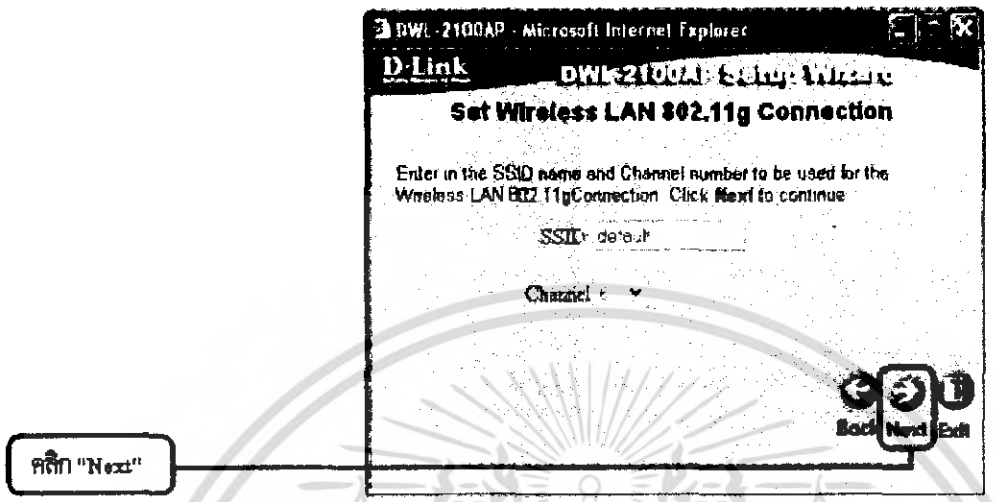
5. ขั้นแรกที่จะต้องทำคือ เปลี่ยน password โดยพยายามเลือก password ที่ไม่ง่ายในการเดาเกินไปนัก ใช้คำที่ไม่มีใน Dictionary ยิ่งปลอดภัย



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนในการ Set Password

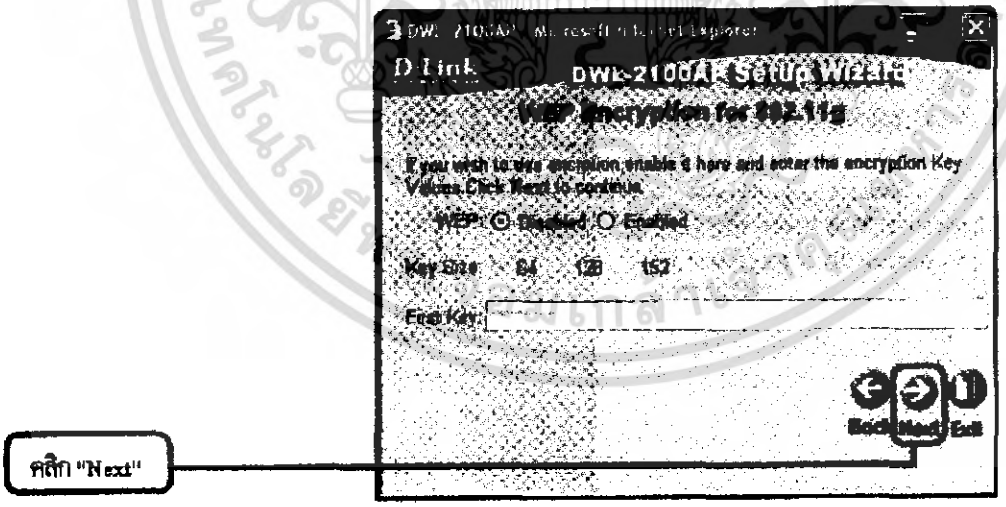
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลังจากนั้นก็คือการเปลี่ยนชื่อ SSID ซึ่งก็คือระบบ Network ไร้สาย หรือเรียกย่อๆว่า WLAN (Wireless Local Area Network) การตั้งชื่อ SSID นี้สามารถตั้งเป็นอะไรก็ได้ แต่ต้องไม่เกิน 32 ตัวอักษร



รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนชื่อ SSID

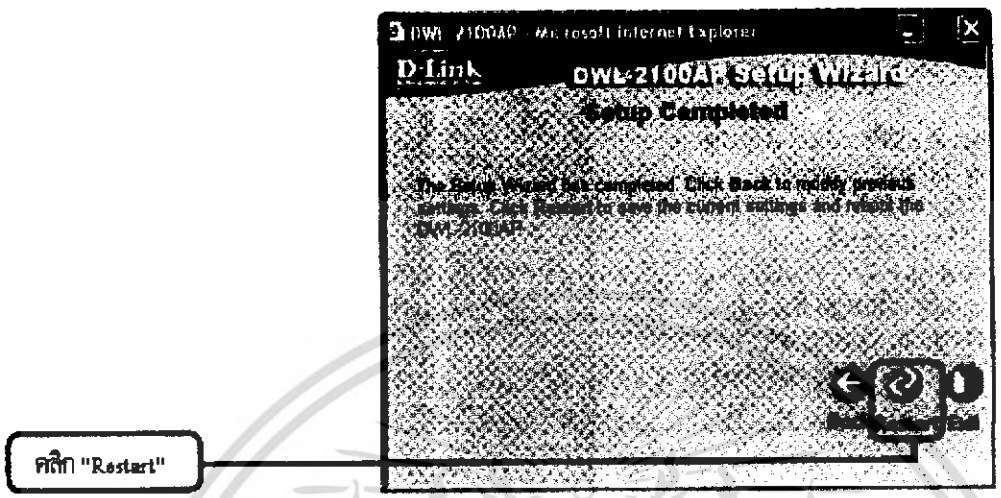
7. การ Set ค่า WEP (Wired Equivalent Privacy) คือ ความปลอดภัยหรือความเป็นส่วนตัวเสมือนระบบที่ใช้สายนั่นเอง ในขั้นต้นนี้จะปล่อยให้เป็นค่า Default ที่ตั้งมาจากโรงงาน คือ Disabled



รูปที่ 7 แสดงการ set ค่า WEP

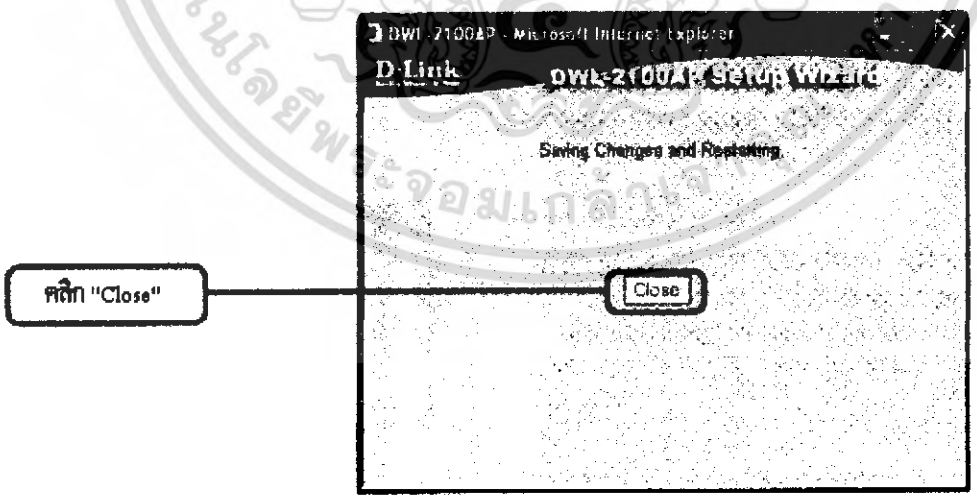
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จากนั้นคลิก Next ก็จะมีหน้าจอขึ้นมาบอกว่า กำลัง restart Wireless Access Point อยู่



รูปที่ 8 แสดงการ restart Wireless Access Point

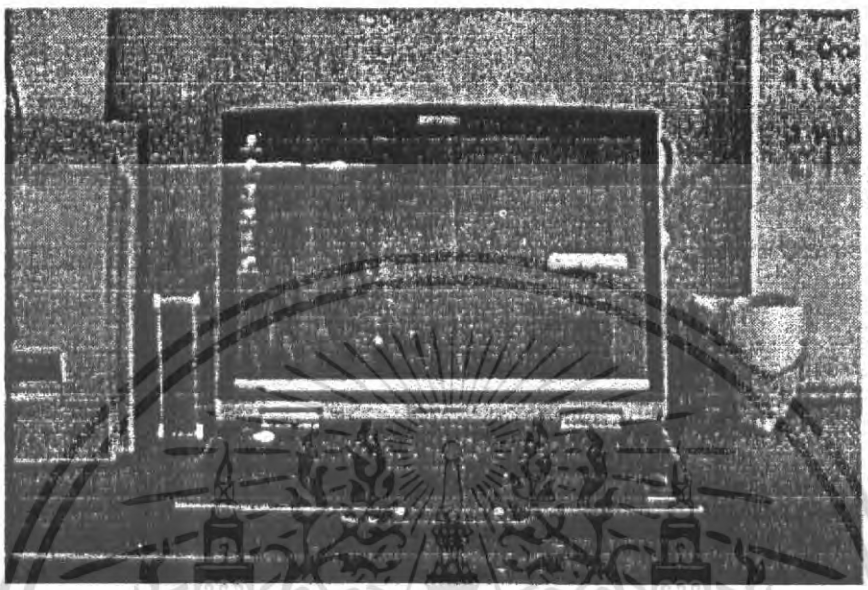
9. คลิก Continue จากนั้นก็ให้เป็น Web Browser



รูปที่ 9 แสดงการปิด Web Browser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การ Setup ตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่อง Notebook เป็นตัวทดลอง โดยต่อเข้ากับอุปกรณ์ Wireless LAN และของ LAN แบบมีสาย



รูปที่ 10 แสดงตัวเครื่องลูกข่ายโดยใช้เครื่อง Notebook

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำสอนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และ รศ.ดร.สมผล โกศัลวิตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอดในการทำโครงงาน ขอขอบคุณ พี่ๆห้องโปรเจ็คที่ให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี โดยเฉพาะ คุณกิตติศักดิ์ แพบัว และคุณกฤตยา ชวานนท์พิทักษ์ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่างๆเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังใจเสมอและช่วยเหลือสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศ.ดร.ไมไนย ไกรฤกษ์, "ทฤษฎีสายอากาศ," ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2537

[2] รศ.ดร. จเร สุรวัฒน์ปัญญา,' Electromagnetic Wave', 2532

[3] Constantine.A. Balanis," Antenna Theory Analysis and Design," 3 ed. Wiley, 2005

[4] Antennas: for all applications / John D. Kraus, Ronald J. Marhefka, 3rd ed. McGrawHill, c2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้