สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลองผ่านระบบ TDM

Humidity and temperature transfer from mushroom production model via TDM system

โดย

นางสาวทัตวิภา คงอินทร์

นายหัสนัย กูลโท

จ.พ.
ท3437ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72701
วัน,เดือน,ปี 21 มิ.ย. 2550

b 11271562
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลองผ่านระบบ TDM

Humidity and temperature transfer from mushroom production model via TDM system

โดย

นายหัสนัย กุลโท 47015034

นางสาวทัตวิภา คงอินทร์ 47015051

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.นิภา ฉิมารุจิ

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลองผ่านระบบ TDM**

Humidity and temperature transfer from mushroom production model via TDM system

ผู้จัดทำ

1. **นายทัฉนัย กุลโท** **47015034**
2. **นางสาวทัศวิภา คงอินทร์** **47015051**

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.นิภา ธีอารุจิ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ณรงค์ เหมกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลองผ่านระบบ TDM

Humidity and temperature transfer from mushroom production model via TDM system

โดย นายหัสนัย กุลโท 47015034
นางสาวทัตวิภา คงอินทร์ 47015051

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.นิภา ลีลารุจิ
รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์โครงงานนี้นำเสนอการสร้างและออกแบบระบบส่งข้อมูลความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนจำลองเพาะเห็ด โดยอาศัยระบบ TDM(Time Division Multiplex) โดยที่ชิ้นงานถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของตัวโรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง,ส่วนที่ 2 คือส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัด(sensor), ส่วนที่ 3 คือ ส่วนของเครื่องส่ง (Transmitter)โดยที่อุปกรณ์ตรวจวัดจะทำการติดต่อกับเครื่องส่งโดยตรง แล้วส่งข้อมูลไปยังส่วนของเครื่องรับต่อไปและ ส่วนที่ 4 คือส่วนของเครื่องรับ(Receiver) ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องส่งแล้วส่งต่อไปประมวลผลในไมโครคอมพิวเตอร์

ABSTRACT

The object of this project is to measure and transfer data of humidity and temperature in construct mushroom production model by TDM (Time Division Multiplex) system. This system divide into 4 parts Part 1 is construct mushroom production model, Part 2 compose of humidity and temperature sensors, part 3 is data transfer from transmitter to receiver and part 4 is receiver and data processing unit in microcomputer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จตามเป้าหมายได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังให้ผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์นิภา ลีลารุจิและ อาจารย์ณรงค์ เหมกรณ์ ได้กรุณาให้คำปรึกษาคำแนะนำ พร้อมทั้งได้ประสิทธิประสาทความรู้แก่ผู้จัดทำ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

สารบัญรูปภาพ II

สารบัญตาราง III

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ 1

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

1.3 ความเป็นมาของโครงงาน 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 2

2.1 การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) 2

2.2 การซิงโครไนซ์ (Synchronization) 4

2.3 ลักษณะของระบบส่งสัญญาณ TDM 6

2.4 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม 7

2.4.1 ความเร็วของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม 7

2.4.2 รูปแบบของการส่งข้อมูลอนุกรม 7

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 8

2.5.1 การใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรม 8

2.5.2 กระบวนการรับและส่งข้อมูลอนุกรมของ MCS-51 10

2.5.3 รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม SCON 16

2.5.4 หน่วยความจำและการเชื่อมต่อกับ MCS – 51 16

2.6 การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ I^2C 19

2.6.1 บิตทรานเฟอร์ (Bit Transfer) 19

2.6.2 บิตเริ่มต้นและบิตหยุด (Start and Stop Conditions) 20

2.6.3 ซิสเต็มคอนฟิกูเรชั่น (System Configuration) 20

2.6.4 แอคโนว์เลดจ์ (Acknowledge) 20

2.7 อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) 21

2.7.1 คุณสมบัติทั่วไปของทรานดิวเซอร์ 22

2.7.2 ชนิดของเปียโซอิเล็กทริคทรานดิวเซอร์ 22

2.7.3 โครงสร้างและหลักการทำงาน 23

2.7.4 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริค 24

2.8 ความชื้นและเสถียรภาพของอากาศ 25

2.8.1 ไอน้ำในอากาศ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.8.2 ความชื้น 27

2.9 รีเลย์ (Relay) 27

2.91 ชนิดของรีเลย์ 28

2.92 หลักการพื้นฐานของรีเลย์ 29

2.93 รีเลย์ไฟตรงหรือไฟสลับ 30

2.94 การจำแนกโหลด 31

2.95 ชนิดของโหลดรีเลย์ 31

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง 34

3.1 หน่วยประมวลผลกลาง 34

3.1.1 คำอธิบายในส่วนของโฟลว์ชาร์ตการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง 35

3.2 วงจรประมวลผลกลาง 36

3.2.1 คำอธิบายโฟลว์ชาร์ตของไมโครคอนโทลเลอร์ 39

3.3 ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ 39

3.3.1 คำอธิบายในส่วนของโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมส่วน
ที่ติดต่อกับผู้ใช้ 41

3.4 การออกแบบส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งาน 41

3.5 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT15) 42

3.5.1 คุณสมบัติของโมดูลเอส เอชที 15 (SHT15) 42

3.5.2 ขาสัญญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15) 43

3.5.3 การสื่อสารข้อมูลของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15) 43

3.6 อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic) 44

3.7 หลักการออกแบบและการควบคุมอุณหภูมิ 46

3.8 แบบโรงเรือนจำลองเพาะเห็ด 47

3.8.1 การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ 48

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 51

4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบวงจรสวิทช์ 51

4.1.1 วัตถุประสงค์ 51

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 51

4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง 51

4.1.4 ผลการทดลอง 52

4.2 การทดลองที่ 2 การเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน 52

4.2.1 วัตถุประสงค์ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

4.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 52

4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง 53

4.2.4 ผลการทดลอง 53

4.3 การทดลองที่ 3 การเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือน 55

4.3.1 วัตถุประสงค์ 55

4.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 55

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง 55

4.3.4 ผลการทดลอง 55

4.4 การทดลองที่ 4 ทดสอบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ด 56

4.4.1 วัตถุประสงค์ 56

4.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 57

4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง 57

4.4.4 ผลการทดลอง 57

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป 61

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสือและเอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 (ก) แผนภาพผังงานระบบ TDM และรูปคลื่น 2
รูปที่ 2.1 (ข) แผนภาพผังงานระบบ TDM และรูปคลื่น 3
รูปที่ 2.2 มาตราส่วนเวลาของเครื่องส่งและเครื่องรับ 4
รูปที่ 2.3 การจัดกรอบหนึ่งกรอบในระบบ TDM ซึ่งจัดสรรร่องเวลาจำนวน 2 ร่องต่อ 1 ช่องสัญญาณและร่องเวลาคุม 1 ร่อง 5
รูปที่ 2.4 กระบวนการซิงโครไนซ์ 6
รูปที่ 2.5 ผังการทำงานโหมด 0 12
รูปที่ 2.6 ผังการทำงานโหมด 1 13
รูปที่ 2.7 ผังการทำงานโหมด 2 14
รูปที่ 2.8 ผังการทำงานโหมด 3 15
รูปที่ 2.9 แสดงกลุ่มสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำ 17
รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณในการอ่านข้อมูล 17
รูปที่ 2.11 แสดงสัญญาณในการเขียนข้อมูล 18
รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณของ MCS – 51 ที่ใช้ติดต่อกับตำแหน่งของหน่วยความจำ 18
รูปที่ 2.13 แสดงการต่อหน่วยความจำประเภท ROM และ RAM กับ MCS – 51 19
รูปที่ 2.14 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของบิตทรานเฟอร์ 20
รูปที่ 2.15 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของ Start and Stop Conditions 20
รูปที่ 2.16 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของแอคโนว์เลดจ์ (Acknowledge) 21
รูปที่ 2.17 อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริค 23
รูปที่ 2.18 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริค 25
รูปที่ 2.19 โมเลกุลของน้ำและไอน้ำในอากาศ 25
รูปที่ 2.20 กราฟปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว 26
รูปที่ 2.21 รูปร่างลักษณะของรีเลย์แบบต่าง ๆ 28
รูปที่ 3.1ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของระบบ 34
รูปที่ 3.2ไฟลว์ชาร์ตการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง 35
รูปที่ 3.3 วงจรประมวลผลกลาง 37
รูปที่ 3.4 ไฟลว์ชาร์ตของไมโครคอนโทลเลอร์ 38
รูปที่ 3.5 รูปการออกแบบไฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ 40
รูปที่ 3.6 ส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งาน 41
รูปที่ 3.7 โมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15) 43
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15) 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.9 อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic) 45
รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์(Ultrasonic)พื้นฐาน 45
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์สร้างความร้อน 46
รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์สร้างความร้อน 46
รูปที่ 3.13 โรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง 47
รูปที่ 3.14 ชั้นวางก้อนเห็ด (ด้านข้าง) 48
รูปที่ 3.15 ชั้นวางก้อนเห็ด (ด้านล่าง) 48
รูปที่ 3.16 ฝาปิดด้านบนของโรงเรือน (ด้านหน้า) 49
รูปที่ 3.17 ฝาปิดด้านบนของโรงเรือน (ด้านบน) 49
รูปที่ 3.18 โรงเรือนจำลองพร้อมใช้งาน 50
รูปที่ 4.1 วงจรสวิทช์ 51
รูปที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิต่อเวลา 56
รูปที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิต่อเวลาเฉลี่ย 56
รูปที่ 4.4 แสดงส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งาน 57
รูปที่ 4.5 แสดงการเริ่มทำงานของอุปกรณ์สร้างความร้อน 58
รูปที่ 4.6 แสดงการหยุดการทำงานของอุปกรณ์สร้างความร้อน 58
รูปที่ 4.7 แสดงการเริ่มทำงานของชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ 59
รูปที่ 4.8 แสดงการหยุดการทำงานของชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ 59
รูปที่ 4.9 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม 8

ตารางที่ 4.1 แสดงสถานะของคีเลย์ 52

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการสร้างความชื้นต่อวินาที 53

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบเวลา 55

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบความชื้น 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

ในปัจจุบันประชาชนได้ให้ความสนใจและหันมาประกอบอาชีพด้านการเพาะเห็ดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้แก่ผู้เพาะค่อนข้างสูงและ เป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร มาก่อให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้การเพาะเห็ดยังเป็นกิจการที่ใช้พื้นที่ไม่มากเหมือนการประกอบอาชีพทางการเกษตรด้านอื่นๆ ประกอบกับประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดหลายชนิด และวัสดุที่ใช้ในการเพาะเห็ดที่มีอย่างเหลือเฟือ โดยเฉพาะถ้าเพาะเห็ดในโรงเรือนเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งนอกจากจะกันศัตรูพืชได้แล้วยังสามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเห็ดได้อีกด้วย จึงควรได้รับความสนใจและทำวิจัยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการวิจัยเพื่อหารูปแบบและโครงสร้างโรงเรือนที่เหมาะสมกับชนิดของเห็ดที่ต้องการจะปลูกและ ลดค่าใช้จ่ายในการจ้างคนมาดูแล รวมทั้งสามารถเก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับสภาวะของการเจริญเติบโตที่ดีของเห็ดแต่ละชนิดได้

1.1 วัตถุประสงค์

1. สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เห็ดต้องการ
2. สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
3. ผู้ใช้สามารถสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์และแสดงผลออกหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้อย่างอัตโนมัติ
2. ผู้ใช้สามารถรู้สถานะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ เวลาปัจจุบันได้

1.3 ความเป็นมาของโครงงาน

เนื่องจากการปลูกเห็ดในโรงเรือนประสบปัญหาเนื่องจากสภาพแวดล้อมในโรงเรือนที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดและไม่สามารถให้ผลผลิตได้มากเท่าที่ควร โครงงานการส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง จึงได้ถูกคิดค้นขึ้น เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนให้เหมาะสมกับความต้องการของชนิดเห็ดที่ปลูก

ซึ่งทางผู้จัดทำคาดหวังว่าโครงงานนี้จะได้รับการพัฒนาต่อไปเพื่อประโยชน์กับเกษตรกรไทยและช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยได้บ้างไม่มากก็น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

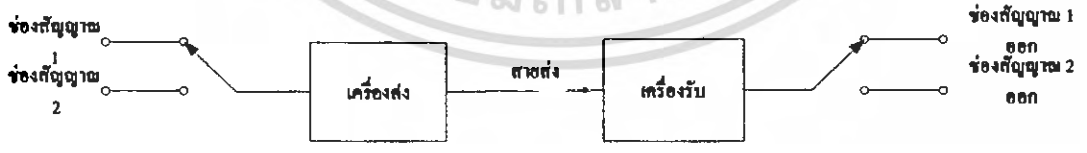
2.1 การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing)

การมัลติเพล็กซ์คือ กระบวนการนำมาใช้เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณหลายๆสัญญาณบนช่องการส่งสัญญาณเพียงหนึ่งช่องและสามารถทำให้ปลายทางด้านรับรับสัญญาณแต่ละสัญญาณที่ส่งมาได้ กระบวนการมัลติเพล็กซ์ทำได้ 2 วิธีคือ ส่งสัญญาณไปบนแถบความถี่ที่แตกต่างกันเรียกว่าการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ FDM (Frequency Division Multiplexing) การรับส่งสัญญาณที่เวลาต่างกันเรียกว่า การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา TDM (Time Division Multiplexing) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาเท่านั้น

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) คือการส่งสัญญาณข่าวสารจากแหล่งกำเนิดสัญญาณจำนวนมากออกไปบนช่องทางการสื่อสารอันเดียวกัน ที่เวลาที่แตกต่างกัน โดยการที่ส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดหนึ่งๆ จะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งที่มีช่วงของเวลาที่แน่นอน

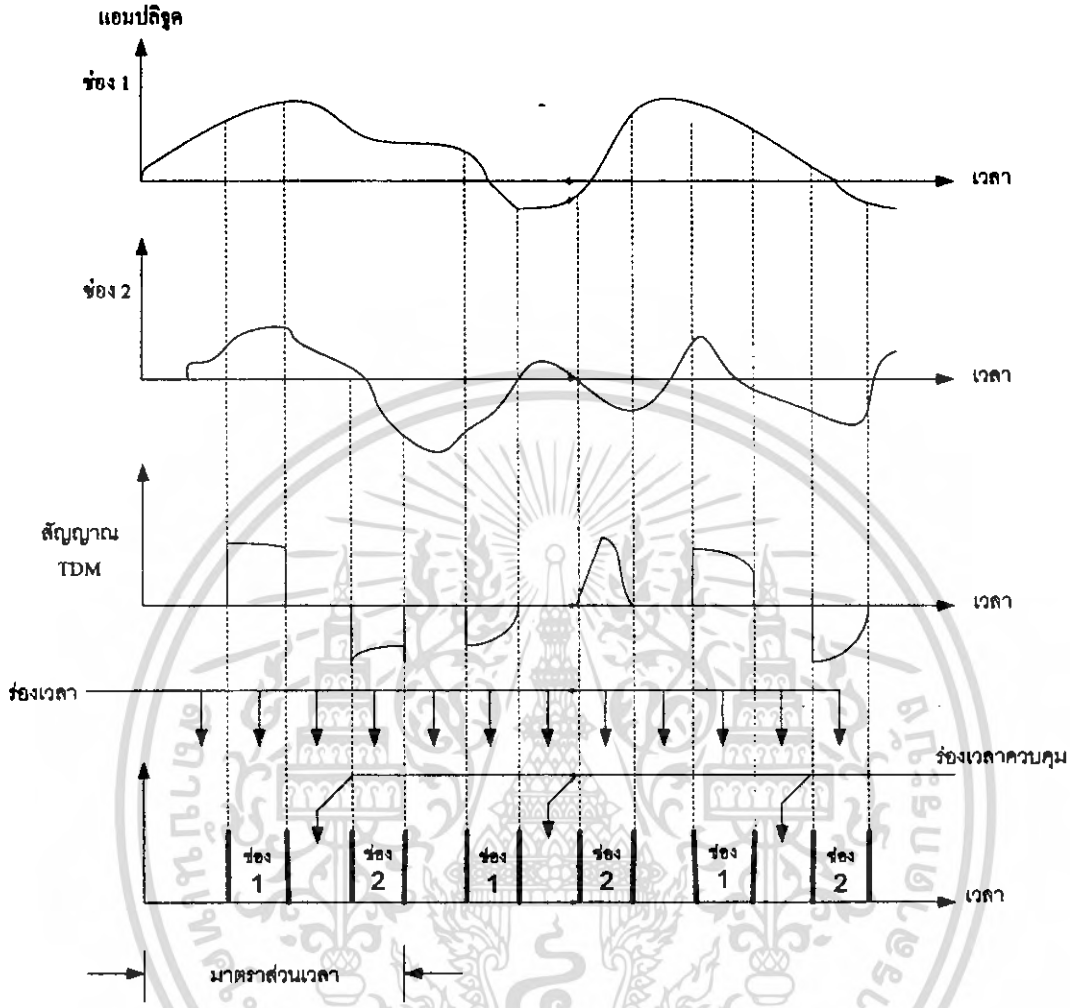
รูปที่ 2.1(ก) แสดงแผนภาพผังงานของระบบ TDM ซึ่งการเชื่อมต่อของสวิทช์ที่เครื่องรับ กับสวิทช์ที่เครื่องส่งนั้น จะต่อเพื่อให้มีการส่งและรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิด สัญญาณแหล่งอื่นๆด้วยคาบเวลาที่แน่นอนคาบหนึ่ง จากนั้นสวิทช์จะเปลี่ยนการเชื่อมต่อการส่งและรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิด สัญญาณจากแหล่งที่สองต่อไป ด้วยคาบเวลาที่เท่ากันแต่ที่เวลาแตกต่างกัน จากรูปที่ 2.1(ข) สังเกตได้ว่ามาตราส่วนเวลา (Time Scale) ถูกแบ่งออกเป็นร่องเวลา (Time Slot) จำนวนหนึ่งซึ่งใช้สำหรับแยกช่องสัญญาณ ที่มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต่างกัน และระหว่างร่องเวลาแต่ละร่องจะมีร่องเวลาคุม (Guard Time) แทรกอยู่เพื่อป้องกันสัญญาณไขว้แทรก (Crosstalk) ระหว่างช่องสัญญาณ ตามรูปที่ 2.1(ข) นี้แสดงลักษณะของสัญญาณที่ส่งเป็นสัญญาณ PAM (Pulse Amplitude Modulation)

ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในระบบTDMคือการซิงโครไนซ์ของวงจรเวลาที่เครื่องส่งกับเวลาที่เครื่องรับซึ่งขณะที่ความถี่ขณะทำงาน ต้องเท่ากันในขณะทั้งในเครื่องส่งและเครื่องรับ มิฉะนั้นทำให้การสวิทช์เปลี่ยนตำแหน่งที่เวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 (ก) แผนภาพผังงานระบบ TDM และรูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

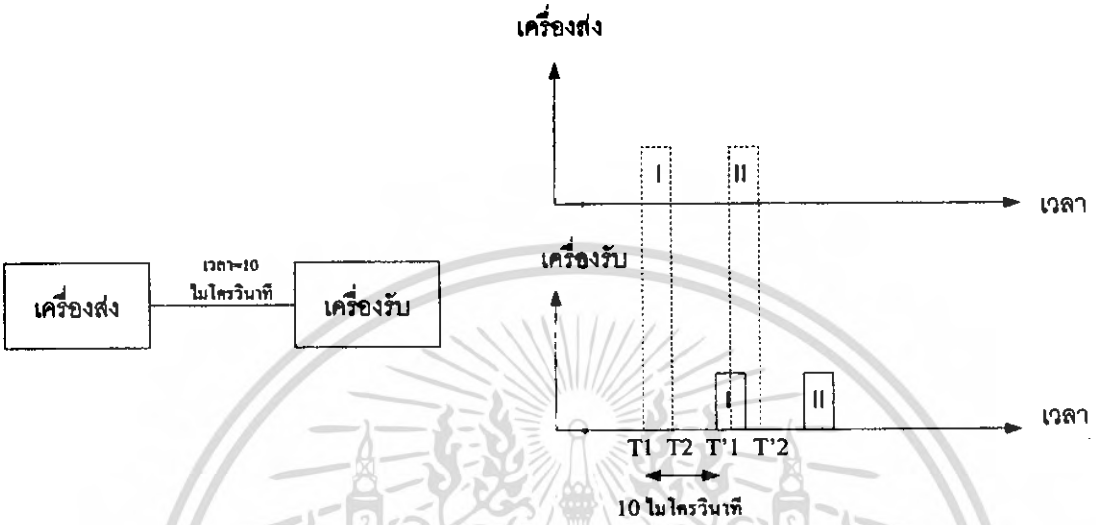


รูปที่ 2.1 (ข) แผนภาพผังงานระบบ TDM และรูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 2 การซิงโครไนซ์(Synchronization)

การซิงโครไนซ์ คือ การทำให้เครื่องส่ง และ เครื่องรับปฏิบัติงานที่มาตราส่วนเวลาที่เท่ากันแต่ไม่จำเป็นต้องทำหน้าที่เดียวกันในเวลาเดียวกัน

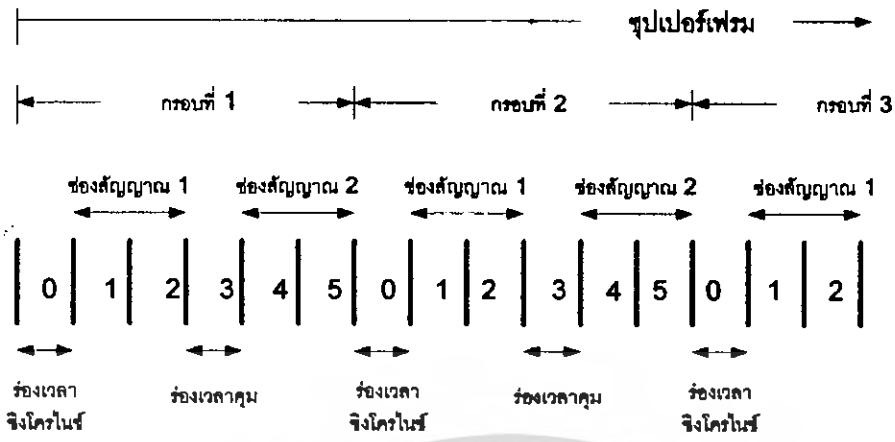


รูปที่ 2.2 มาตราส่วนเวลาของเครื่องส่งและเครื่องรับ

ถ้าระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางจากเครื่องส่งไปเครื่องรับใช้เวลา 10ไมโครวินาที มาตราส่วนเวลาของเครื่องรับจะตามหลังมาตราส่วนเวลาของเครื่องส่งอยู่ 10ไมโครวินาที ดูในรูปที่ 2.2 ดังนั้นช่วงเวลา T'_1,T'_2 ในมาตราส่วนเวลาของเครื่องรับจะต้องเท่ากับช่วงเวลา T_1,T_2 ในมาตราส่วนเวลาของเครื่องส่ง

การซิงโครไนซ์ทำได้โดยการส่งพัลส์พิเศษหรือรับพัลส์ออกไปจากเครื่องส่ง ซึ่งจะต้องมีความแตกต่างจากพัลส์ของข่าวสารโดยที่ในระบบดิจิตอลทั่วไปนั้นมีวิธีการส่งลำดับของพัลส์ซ้ำๆกันออกไป เพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์ตามวิธีดังกล่าวนี้จะต้องมีการจัดสรรร่องเวลาให้เป็นกลุ่มที่มีรูปแบบที่แน่นอน ด้วยวิธีบางประการ โดยมีร่องเวลาที่ว่างเผื่อไว้ สำหรับส่งพัลส์ซิงโครไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การจัดกรอบหนึ่งกรอบในระบบ TDM ซึ่งจัดสรรร่องเวลาจำนวน 2 ร่อง ต่อ 1 ช่องสัญญาณและร่องเวลาคุม 1 ร่อง

การจัดสรรร่องเวลาในระบบ TDM 2 ช่องสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.3 หน่วยพื้นฐานหนึ่งหน่วยเรียกว่ากรอบ (Frame) ซึ่งประกอบด้วยร่องเวลาจำนวนหนึ่ง และแบ่งร่องเวลาหนึ่งร่องให้กับพัลส์ซิงโครไนซ์โดยช่องสัญญาณช่องหนึ่งจะได้รับการจัดสรรร่องเวลาที่อยู่ติดกันจำนวนหนึ่งร่องหรือมากกว่าและมีร่องเวลาคุมแทรกอยู่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่อง ถ้าการส่งพัลส์ซิงโครไนซ์เป็นอนุกรมของพัลส์ จะต้องทำการส่งพัลส์ซิงโครไนซ์จำนวนหนึ่งพัลส์ในหนึ่งกรอบ แต่ทั้งนี้การส่งอนุกรมของพัลส์ซิงโครไนซ์ที่สมบูรณ์ จะต้องใช้กรอบจำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่งรวมกันเป็นหนึ่งกลุ่มเรียกว่าซุปเปอร์เฟรม(Super Frame)

ดังนั้นในหนึ่งซุปเปอร์เฟรมจะประกอบไปด้วย กลุ่มของกรอบ ที่มีจำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่ง ในขณะที่กรอบหนึ่งกรอบจะประกอบด้วยกลุ่มของร่องเวลาที่จำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่ง และกลุ่มของร่องเวลาแต่ละกลุ่มจะทำหน้าที่เฉพาะตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น ใช้ส่งพัลส์ข่าวสาร,ใช้ส่งซิงพัลส์และส่งพัลส์ข้อมูลหรือเป็นร่องเวลาคุม

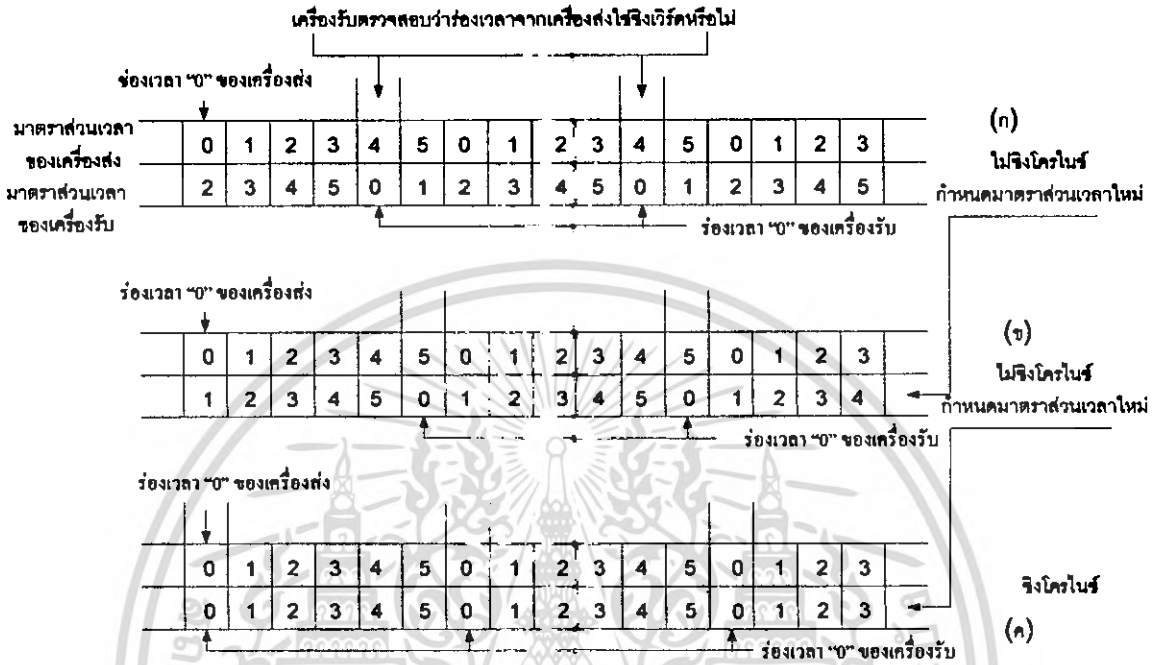
อนุกรมของพัลส์ซิงโครไนซ์แบบดิจิตอล 1 ชุด เรียกว่าซิงโครไนซ์เวิร์ด (Synchronize Word) 1 คำ โดยการส่งพัลส์ซิงโครไนซ์จำนวน 1 บิต ออกไปในกรอบแต่ละกรอบ

ในรูปที่ 2.4 แสดงการซิงโครไนซ์ชนิดหนึ่ง โดยเครื่องรับจะกำหนดมาตราส่วนเวลาให้กับตัวเอง และจะทำการตรวจสอบว่า มาตราส่วนเวลาอันไหนที่ซิงโครไนซ์กับมาตราส่วนเวลาของเครื่องส่งที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4 นั้นกรอบหนึ่งกรอบประกอบด้วย ร่องเวลาจำนวน 6 ร่อง แต่ละร่องเวลาแสดงด้วย 0,1,2,3,4,5 โดยมีบิตของพัลส์ซิงโครไนซ์อยู่ในร่องเวลา 0 ของเครื่องส่ง

เครื่องรับจะตรวจสอบว่าบิตที่รับเข้ามาในร่องเวลา 0 ของเครื่องรับใช่ซิงโครไนซ์เวิร์ดหรือไม่ ถ้าใช่ก็แสดงว่าร่องเวลาของเครื่องรับซิงโครไนซ์กับร่องเวลาของอนุกรมของพัลส์ที่ส่งเข้ามา ถ้าไม่ใช่ซิงโครไนซ์(ดูรูปที่ 2.4 (ข))เครื่องรับจะกำหนดร่องเวลาใหม่ ให้สัมพันธ์กับร่องเวลาของเครื่องส่ง ด้วยวิธีการหยุดร่องเวลาของเครื่องรับเองเป็นจำนวนหนึ่งร่องเวลา ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 2.4 (ข) จะเห็นว่าร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาของเครื่องรับยังคงนำหน้าร่องเวลาของเครื่องส่งอยู่เป็นจำนวน 1 ร่องเวลา วิธีหยุดร่องเวลาของเครื่องรับก็จะดำเนินต่อไปจนกระทั่ง เกิดการซิงโครไนซ์กับร่องเวลาของเครื่องส่ง ผลสุดท้ายก็จะทำให้เครื่องรับสามารถรับบิตซิงโครไนซ์เข้ามาที่ร่องเวลา 0 ของเครื่องรับได้ แสดงในรูปที่ 2.4 (ค)



รูปที่ 2.4 กระบวนการซิงโครไนซ์

2.3 ลักษณะของระบบส่งสัญญาณ TDM

- ระบบส่งสัญญาณ TDM มีข้อดีกว่าระบบส่งสัญญาณ FDM ดังต่อไปนี้ ถึงแม้ระบบแรกจะต้องใช้แถบความถี่ที่กว้างกว่าก็ตาม

- ระบบ TDM ไม่ต้องใช้ฟิลเตอร์ราคาแพง และใช้ฟิลเตอร์เพียงจำนวนน้อยเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์ปลายทางของระบบนี้จึงมีราคาถูกกว่า

- เคเบิลคุณภาพต่ำ เช่นเคเบิลความถี่เสียงพูดก็ใช้ระบบ TDM ได้เพราะการทวนสัญญาณแบบสร้างใหม่ (Regenerative Repeating) ได้กำจัดผลเสียจากการรบกวน (Noise) การบิดเบือน (Distortion) และการพูดแทรก (Crosstalk) ออกแล้ว

- การเปลี่ยนระดับขึ้นลงของช่องสัญญาณ ถูกควบคุมด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์ปลายทางแต่เพียงอย่างเดียวและไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียในสายส่ง นั่นคือระบบนี้เป็นวงจรที่มีการสูญเสียสุทธิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสื่อสารข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมเป็นการรับหรือส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิต คราวละหนึ่งบิต เรียงลำดับเรื่อยไปจนสิ้นสุด การสื่อสารแบบนี้จะมีข้อแตกต่างจากการสื่อสารแบบขนานเป็นอย่างมาก เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลแบบขนานมีการ โอนย้ายมาพร้อมกัน จึงมีความจำเป็นต้องใช้จำนวนเส้นสัญญาณมากขึ้นตามจำนวนบิตของข้อมูลด้วย ในขณะที่การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นต้องการเส้นสัญญาณเพียงสองหรือสามเส้นเท่านั้น ดังนั้นการสื่อสารแบบขนานจึงไม่เหมาะในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นระยะทางไกลๆเพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

2.4.1 ความเร็วของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม เป็นการรับ/ส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตข้อมูล (Bit Stream) ดังนั้น จึงต้องให้ความสนใจในการพิจารณาเรื่องอัตราเร็วในการรับ/ส่งบิตเหล่านี้เป็นอันดับแรกโดยทั่วไปมักจะระบุกันในหน่วยของจำนวนบิตข้อมูลภายในเวลาหนึ่งวินาที เรียกว่า อัตราบอด ตามค่ามาตรฐานเหล่านี้ ได้แก่ 110,150,300,1200,2400,4800,9600,19200 บอด ข้อมูลทั้งแปดบิตนี้หากว่าถูกส่งออกมาด้วยอัตรา 9600 บอด จะใช้เวลาในการส่งข้อมูลหนึ่งบิตมีค่าเท่ากับ 1/9600 หรือ 104 ไมโครวินาที และเวลาในการส่งข้อมูลทั้งแปดบิตมีค่าเท่ากับ 8×104 หรือ 832 ไมโครวินาที

2.4.2 รูปแบบของการส่งข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัสจะใช้การแปลงข้อมูลขนานให้เป็นอนุกรมแล้วเพิ่มเติมบิตบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริงซึ่งได้แก่

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit)

บิตเริ่มต้นมีหน้าที่สำหรับการบ่งบอกให้ทราบถึงตำแหน่งเริ่มต้นก่อนบิตข้อมูล ตามปกติแล้วค่าของบิตเริ่มต้นจะเป็นระดับลอจิกต่ำ

2. บิตแสดงสภาวะความเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)

บิตนี้มีหน้าที่เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยทั่วไปมักเรียกว่า บิตพาริตี้และจะนำไปต่อท้ายบิตของข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของบิตที่เป็น 1 ซึ่งจะเป็นได้สองลักษณะคือ พาริตี้คู่ (Even Parity) หรือพาริตี้คี่ (Odd Parity) ตัวอย่างเช่นระบบที่ติดต่อกันโดยระบุว่าจะใช้พาริตี้คู่ ทางด้านส่งจะนำค่าข้อมูลที่จะส่งมาพิจารณาหาจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 หากเป็นเลขจำนวนคู่อยู่แล้ว ค่าของพาริตี้จะมีค่าเป็นศูนย์ แต่หากว่าจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 เป็นเลขจำนวนคี่ ค่าของพาริตี้ก็จะมีค่าเป็น 1 การพิจารณาทางด้านรับเป็นการตรวจสอบจำนวนบิตที่มีค่าเป็น 1 ของข้อมูลที่ได้รับมาทั้งหมด รวมทั้งบิต พาริตี้ ถ้ามีค่าเป็นเลขจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานี้ถูกต้องแต่หากไม่เป็นเลขจำนวนคู่แสดงว่าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บิตสิ้นสุด (Stop Bit)

บิตสิ้นสุดเป็นบิตที่เพิ่มขึ้นเพื่อระบุถึงขอบเขตการสิ้นสุดของกลุ่มบิตข้อมูล บิตสิ้นสุดสามารถโปรแกรมได้คือ 1 บิต, 1 ½ บิต และ 2 บิต ดังนั้นกรณีของการส่งข้อมูล 8 บิต หากข้อมูลถูกส่งออกไปด้วยอัตราเร็ว 9600 บอด เวลาโดยรวมในการส่งข้อมูลหนึ่งไบต์ จะมีค่าเป็น 12×104 หรือ 1.25 มิลลิวินาที

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.5.1 การใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรม

พอร์ตสื่อสารอนุกรมมีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่าฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) สามารถรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน

Serial Port Buffer (SBUF) ใช้เป็นบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลอนุกรมโดยมีอยู่ 2 ตัว

พอร์ตสื่อสารอนุกรมสามารถโปรแกรมการทำงานได้หลายโหมดด้วยกันโดยเลือกทีละบิต SM1 และ SM0 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ควบคุม SCON การทำงานของทั้ง 4 โหมด ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม มีดังนี้

ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

SM0	SM1	โหมด	การทำงาน
0	0	0	Shift Register ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลเท่ากับ (1/2) ของ CPU Osc
0	1	1	8 Bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดได้จาก Timer 1,2
1	0	2	9 Bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล = (1/32) หรือ (1/64) เท่าของ CPU Osc โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON
1	1	3	9 Bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดที่ Timer 1,2

โหมด 0 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 8 บิต โดยการส่งข้อมูลเลื่อนออกทีละบิตโดยส่งบิต D0 ออกไปก่อนทางขา RxD เนื่องจากไม่มีการส่งบิตเริ่มต้น แต่จะส่ง Shift Clock ทางขา TxD (ความเร็ว 1/12 เท่าของ CPU Osc)

โหมด 1 : พอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม 10 บิต ข้อมูล 8 บิต 1 บิตเริ่มต้น และ 1 บิตสิ้นสุด และสามารถเปลี่ยน แปลงความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1,2

$$\text{บอดเรท โหมด 1,3} = \frac{2^{SMOD} \times \text{CPU Osc}}{32 \times 12 \times \left[256 - (TH1)\right]} \quad \text{โดยใช้ Timer 1 ..... .(1)}$$

$$\text{บอดเรท โหมด 1,3} = \frac{\text{CPU Osc}}{32 \times \left[65536 - (RCAP2H, RCAP2L)\right]} \quad \text{โดยใช้ Timer 2 ..... (2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 2 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 11 บิต ข้อมูล 9 บิต 1 บิตเริ่มต้น และ 1 บิตสิ้นสุด (TB8 นิยมนำมาใช้ส่งพาริตี้บิต) ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 1/32 หรือ 1/64 เท่าของ CPU Osc โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON

$$\text{บอดเรท (โหมด 2)} = \frac{\left(2^{SMOD}\right)\text{CPU Osc}}{64} \qquad \text{.....(3)}$$

- บอดเรท (โหมด 2) = 1/32 CPU Osc เมื่อ SMOD = 1
- บอดเรท (โหมด 2) = 1/64 CPU Osc เมื่อ SMOD = 0

โหมด 3 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 11 บิต ข้อมูล 9 บิต 1 บิตเริ่มต้น และ 1 บิตสิ้นสุด เหมือนโหมด 2 ยกเว้นอัตราความเร็วจะขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 2

$$\text{บอดเรท โหมด 1,3} = \frac{2^{SMOD} \times \text{CPU Osc}}{32 \times 12 \times \left[256 - (TH1)\right]} \quad \text{โดยใช้ Timer 1.....(4)}$$

$$\text{บอดเรท โหมด 1,3} = \frac{\text{CPU Osc}}{32 \times \left[65536 - (RCAP2H, RCAP2L)\right]} \quad \text{โดยใช้ Timer 2.....(5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กระบวนการรับและส่งข้อมูลอนุกรมของ MCS-51

การส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมของ MCS-51 จะเริ่มต้นขึ้นภายหลังเมื่อมีการเขียนข้อมูลลงไปใน SBUF ข้อมูลนี้ จะถูกเลื่อนทีละบิต และส่งสัญญาณออกไปภายนอกโดยอัตโนมัติ เมื่อข้อมูลเหล่านี้ได้ส่งออกไปครบถ้วนแล้วจะทำให้ค่าแฟลกซ์ T1 เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะนี้ SBUF ว่างและพร้อมที่จะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปแล้ว ในกรณีที่ใช้เขียนข้อมูลใหม่ลงในรีจิสเตอร์ SBUF โดยไม่รอให้แฟลกซ์ T1 มีค่าเป็น 1 ก่อน จะมีผลทำให้ข้อมูลที่ส่งไปผิดพลาดได้

สำหรับการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมจะต้องเริ่มต้นโดยการกำหนดค่า REN (Receive Enable) ให้มีค่าเป็น 1 ก่อน หลังจากนั้นเมื่อมีข้อมูลภายนอกถูกส่งเข้ามายัง 8051 ทีละบิตจนครบ และเมื่อบิตสุดท้ายเลื่อนเข้ามาเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลนั้นจะถูกย้ายมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ SBUF และแฟลกซ์ RI ก็จะมีค่าเป็น 1 (ถูกเซต)

1. พอร์ตอนุกรม (โหมด 0)

การทำงานของพอร์ตอนุกรม (โหมด 0) เป็นการรับและส่งข้อมูลอนุกรมจำนวน 8 บิต โดยใช้เพียงขาสัญญาณ RxD เท่านั้น (ขานี้ใช้งาน 2 หน้าที่ใช้ส่งและรับข้อมูล) ส่วนขาสัญญาณ TxD จะนำไปใช้เพื่อเป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการให้จังหวะ การเลื่อนข้อมูลกับวงจร เลื่อนบิตภายนอก สำหรับอัตราเร็วจะถูกกำหนดไว้คงที่ที่ค่า 1/12 เท่าของ CPU Osc จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพเวลาสัญญาณต่างๆในโหมด 0 เมื่อมีการรับหรือส่งข้อมูล 1 ไบต์ โดยสัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนบิตนี้จะเกิดภายในตัว 8051 เอง เนื่องจากโหมดนี้ไม่มีการส่งบิตเริ่มต้นและบิตสิ้นสุด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องส่งสัญญาณ Shift Clock ออกไป เพื่อใช้ Synchronize ระหว่างฝ่ายรับและฝ่ายส่ง โดยจะใช้ขา TxD ส่วนการรับข้อมูลจะรับข้อมูลเข้าทางขา RxD และรับ Shift Clock เข้าทางขา TxD ถ้า CPU Osc มีค่าเท่ากับ 12 เมกะเฮิรตซ์ ก็จะส่งได้ถึง 1 ล้านบอด ซึ่งโหมด 0 เป็นโหมดที่ส่งข้อมูลได้เร็วที่สุด รายละเอียดผังเวลาในการรับส่งดังแสดงในรูปที่ 2.5

2. พอร์ทอนุกรม (โหมด 1)

การทำงานในโหมด 1 เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมจำนวน 10 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 บิต ข้อมูลจำนวน 8 บิต และบิตสิ้นสุดอีก 1 บิต ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยข้อมูลจะถูกส่งออกทาง TxD และรับเข้ามาทางขาสัญญาณ RxD ในส่วนของข้อมูล 8 บิต ที่ได้รับหรือทำการส่งออก จะเป็นบิตนัยสำคัญต่ำเป็นลำดับแรก ส่งทางฝ่ายรับค่าของบิตสิ้นสุดจะส่งเข้ามาจัดเก็บไว้ในบิต RB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของโหมด 1 นั้น สามารถเลือกได้จากไทม์เมอร์ 1 ผังเวลาการทำงานแสดงดังในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

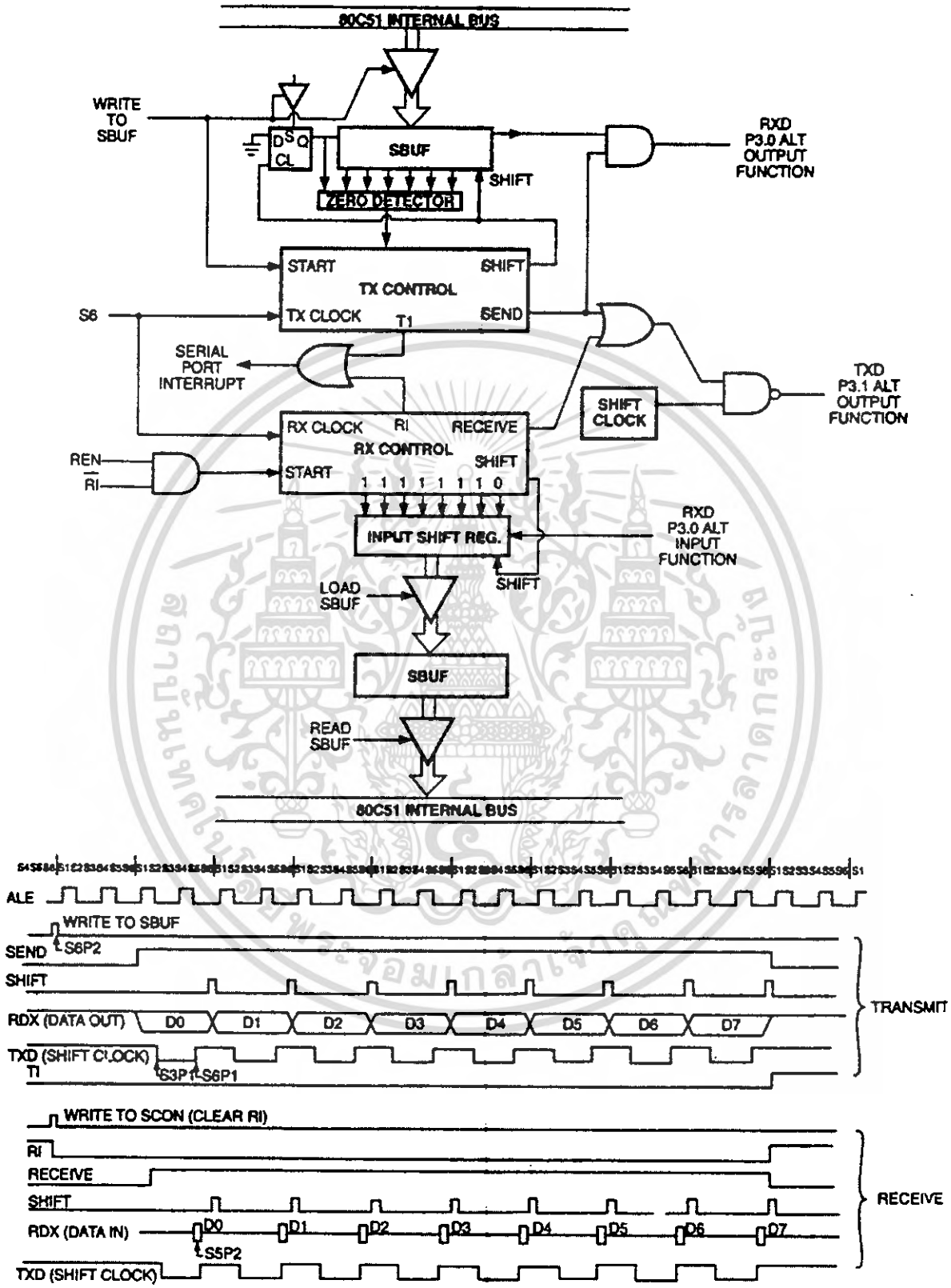
3. พอร์ตอนุกรม (โหมด 2)

โหมด 2 ใช้ทั้งหมด 11 บิต โดยแบ่งเป็น บิตเริ่มต้น, 9 บิตข้อมูล และบิตสิ้นสุด โดยบิตที่ 9 ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเองได้ว่าจะส่งค่าอะไรออกไป โดยจะต้องนำไปใส่ไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON ส่วนมากผู้ใช้มักจะนำบิตนี้มาใช้เป็นพาริตี้บิต โดยหลักค่าที่มาจากพาริตี้แฟลกซ์ใน PSW ส่วนทางด้านรับบิตที่ 9 จะถูกนำไปเก็บไว้ใน RB8 อัตราเร็วในการส่ง/รับข้อมูลกับ CPU Osc และค่า SMODซึ่งอยู่ในบิต 7 ใน SCON ผังเวลาการทำงานแสดงดังในรูปที่ 2.7

4. พอร์ตอนุกรม (โหมด 3)

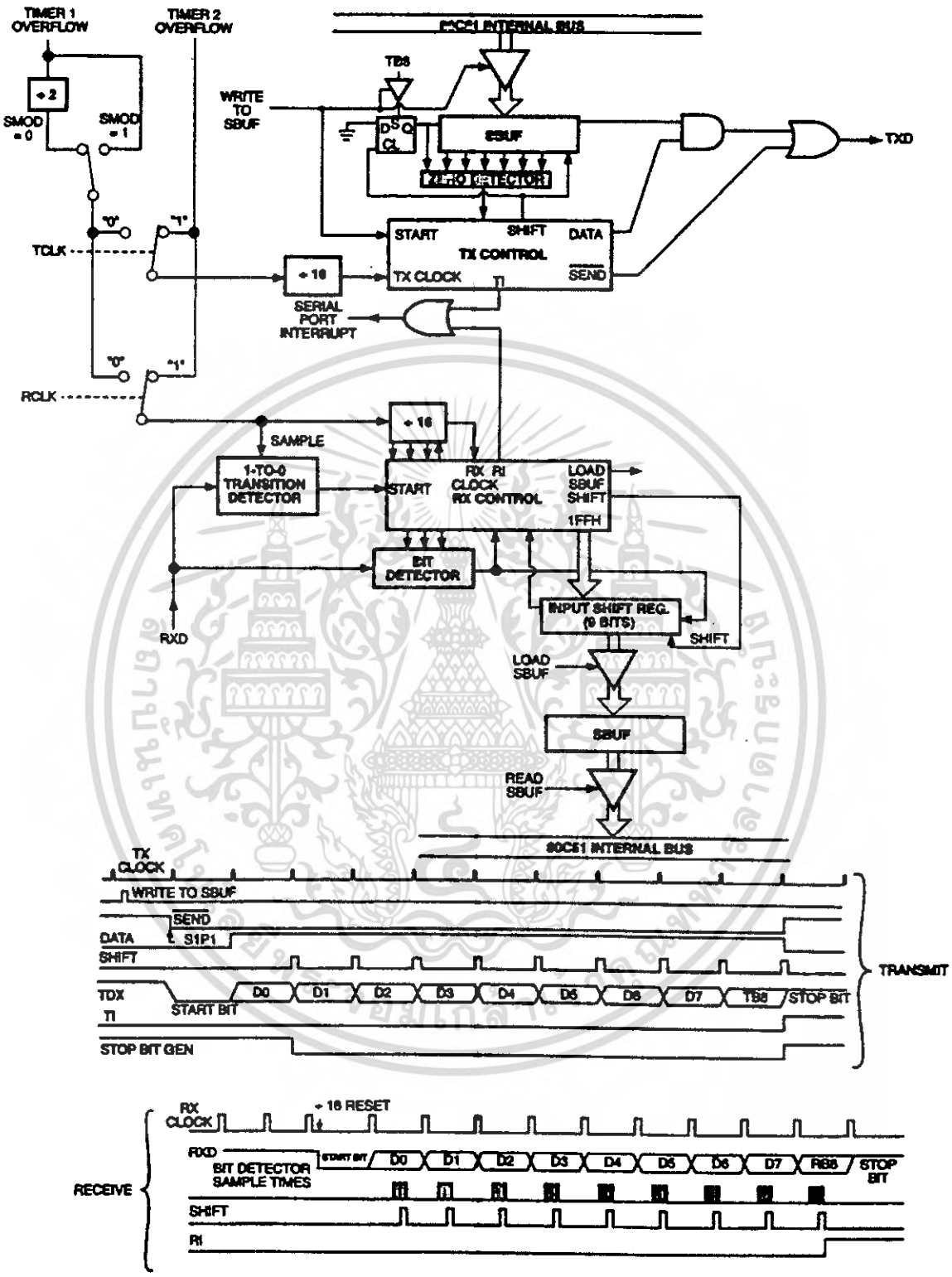
การทำงานเหมือนกับโหมด 2 ทุกอย่าง ยกเว้นความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะขึ้นกับอัตราโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์ 1 หรือ ไทม์เมอร์ 2 โดยมีผังการทำงานแสดงดังในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



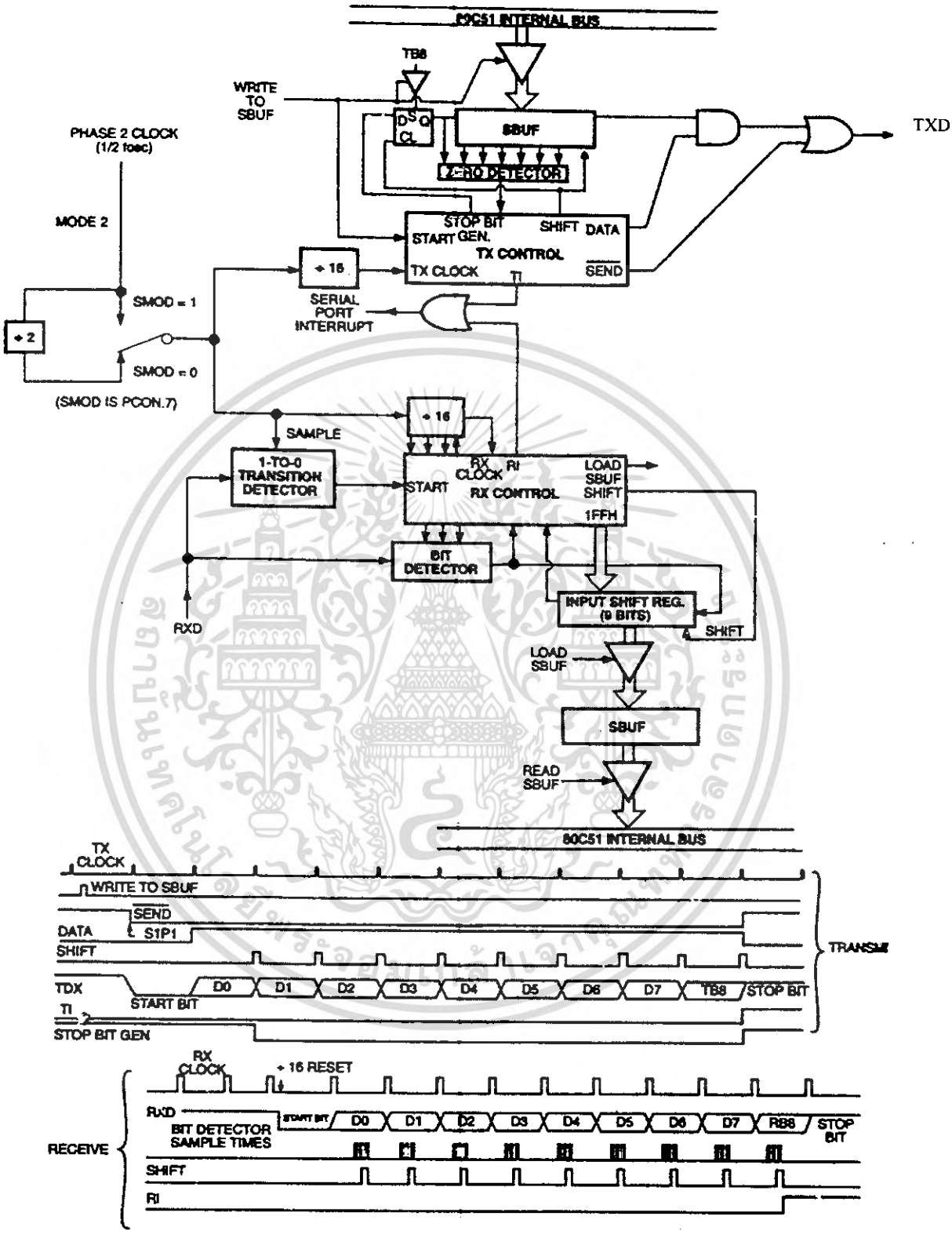
รูปที่ 2.5 ผังการทำงานโหมด 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



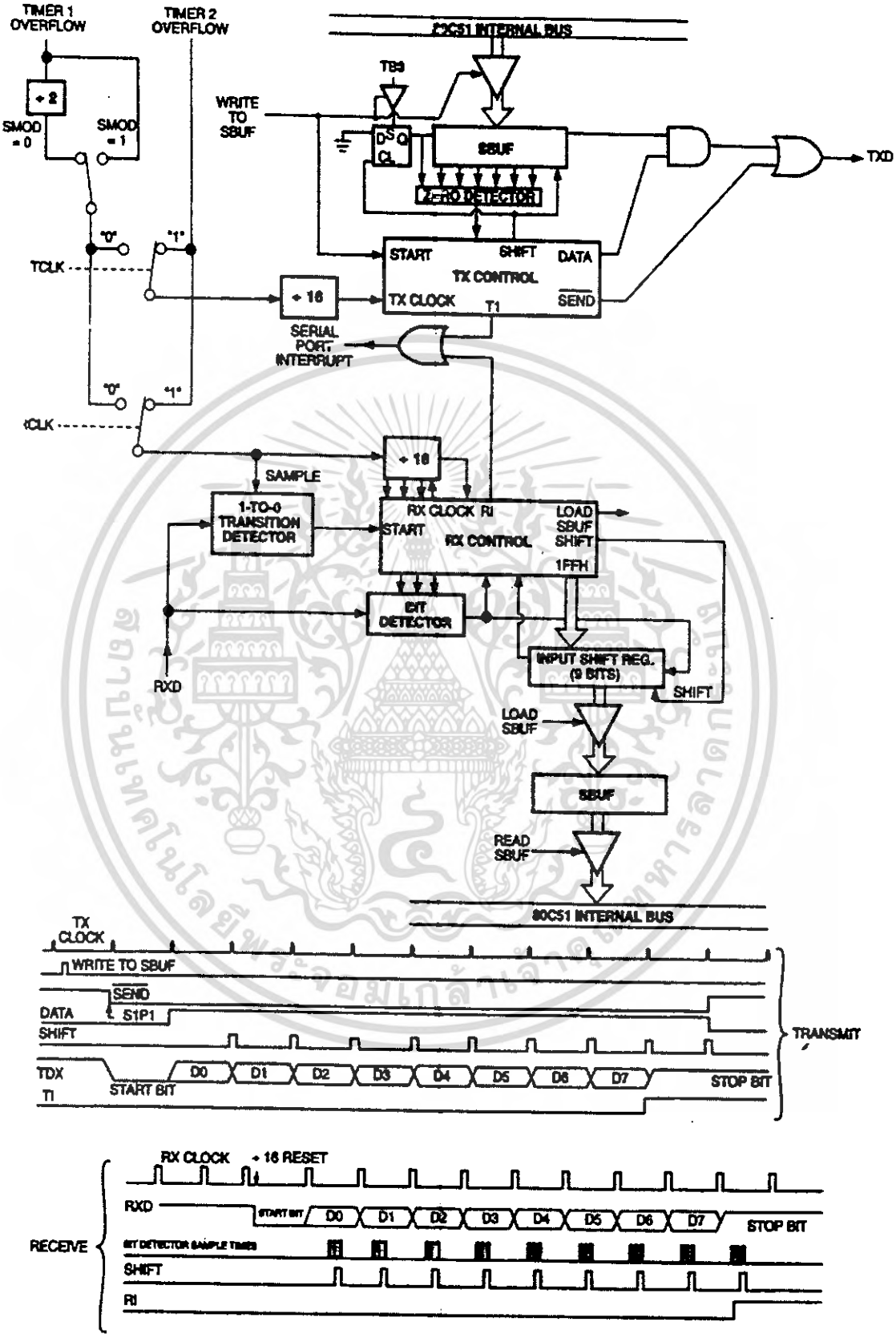
รูปที่ 2.6 ผังการทำงานโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ผังการทำงานโหมด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ผังการทำงานโหมด 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม SCON

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0, SM1: บิตเลือกโหมดการทำงาน

SM2 : บิตเลือกการทำงานแบบ Single Processor Environment หรือ Multiprocessor Environment

1 : เลือก Multiprocessor Environment ใช้ได้กับโหมด 2, 3

0 : เลือก Single Processor Environment ใช้ได้กับทุกโหมด

REN (Receive Enable): บิตควบคุมให้รับหรือไม่ให้รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูล

0 : ห้ามรับข้อมูล

TB8 (Transmit Bit D8): ข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งออกไปในโหมด 2, 3 ให้ใส่ในบิตนี้

RB8 (Receive Bit D8): ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะมาเก็บในบิตนี้

TI: แฟลกซ์ TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล 1 ไบต์

RI: แฟลกซ์ RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูลเสร็จ 1 ไบต์

2.5.4 หน่วยความจำและการเชื่อมต่อกับ MCS – 51

การสร้างระบบไมโครคอนโทรเลอร์โดยการใช้ชิพMCS–51 จำเป็นต้องมีการขยายหน่วยความจำภายนอกสำหรับเก็บโปรแกรมและเก็บข้อมูลจากการประมวลผล เพราะว่าชิพ MCS – 51 บางรุ่นไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน บางเบอร์มีหน่วยความจำภายในขนาดเล็กซึ่งไม่พอต่อการใช้งาน หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมเรียกว่าหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

1. หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

เป็นหน่วยความจำที่สามารถเก็บข้อมูลได้แม้ว่าไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะยังคงอยู่ หน่วยความจำประเภทนี้มักใช้เก็บโปรแกรมระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอีก เช่น BIOS ในคอมพิวเตอร์ โปรแกรมมอนิเตอร์ในบอร์ดควบคุมต่างๆ หน่วยความจำประเภทนี้แบ่งได้หลายชนิดแต่เรียกรวมๆว่า ROM

- EEPROM (Electrically Erasable PROM)

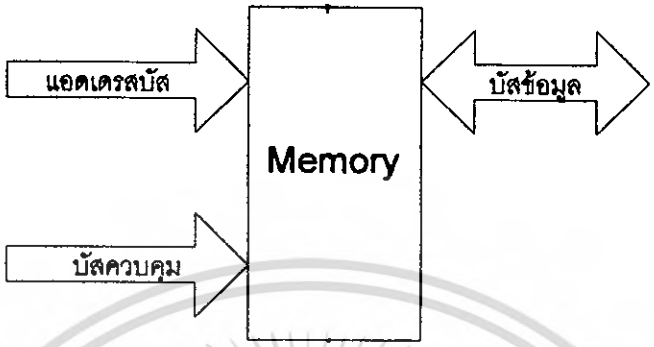
หน่วยความจำชนิดนี้จะคล้ายกับ EPROM แต่สามารถลบได้โดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยไม่ต้องใช้แสง UV

2. การอ่านและเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำ

ไอซีหน่วยความจำโดยทั่วไปจะประกอบด้วยกลุ่มสัญญาณ 3 กลุ่ม คือแอดเดรสบัส, บัสข้อมูล และบัสควบคุม โดยแอดเดรสบัสจะใช้ในการอ้างตำแหน่ง ถ้ามีแอดเดรสบัส I0 เส้น คือ A0 – A9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอ้างตำแหน่งได้ 2^{10} หรือ 1 กิโลไบต์ บัสข้อมูลจะเป็นตัวบอกว่าในแต่ละตำแหน่งจะเก็บข้อมูลได้อีกกี่บิต เช่น ถ้ามีข้อมูล 8 เส้น คือ D0 – D7 สามารถเก็บข้อมูลได้ตำแหน่งละ 1 ไบต์ ส่วนบัสควบคุมจะใช้ในการอ่านเขียนหน่วยความจำ ระบบบัสทั้ง 3 แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



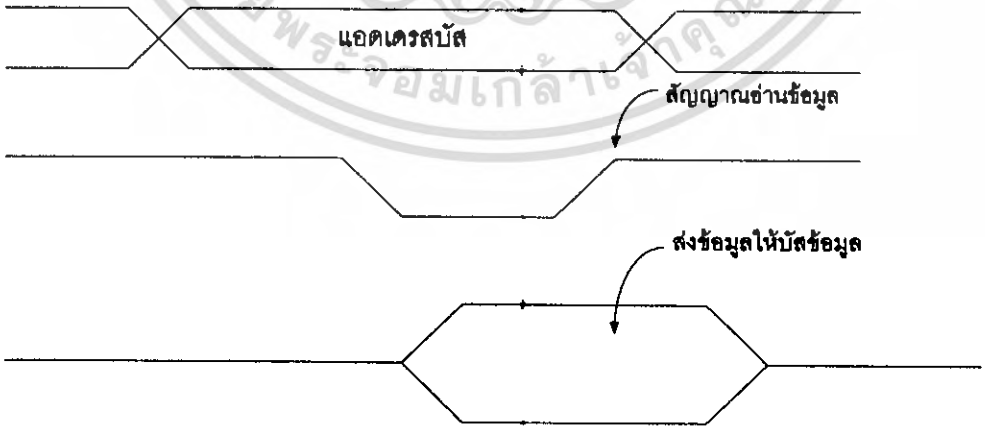
รูปที่ 2.9 แสดงกลุ่มสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำ

โดยทั่วไปไอซีหน่วยความจำจะมีขา CE (Chip Enable) ไว้สำหรับเลือกให้ไอซีตัวที่ต้องการใช้ทำงาน ในกรณีที่มีไอซีหน่วยความจำหลายๆ ตัว ขา OE (Output Enable) จะใช้ต่อกับไอซีถอดรหัสสำหรับการอ่านข้อมูล ถ้าขานี้แอคทีฟ ข้อมูลที่อยู่ในไอซีหน่วยความจำจะส่งออกมาทางบัสข้อมูลได้

การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ มีลำดับขั้นดังนี้

1. ส่งตำแหน่งที่จะอ่านไปก่อนทางแอดเดรสบัส
2. ส่งสัญญาณควบคุมว่าต้องการจะอ่าน
3. ข้อมูลในไอซีหน่วยความจำถูกส่งออกมาทางบัสข้อมูล

การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมเวลาได้ดังรูปที่ 2.10



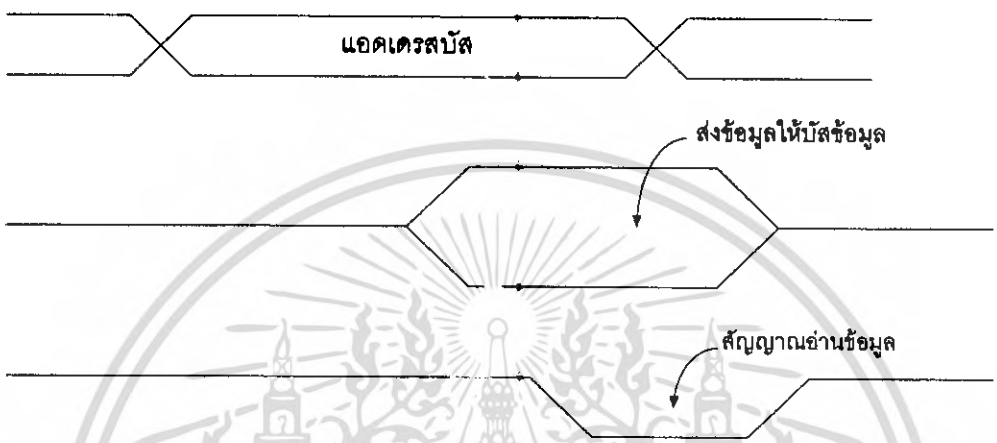
รูปที่ 2.10 แสดงสัญญาณในการอ่านข้อมูล

72701
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ มีลำดับขั้นดังนี้

1. **ส่งตำแหน่งที่จะเขียนข้อมูลออกไปก่อนทางแอดเดรสบัส**
2. **ส่งข้อมูลที่จะเขียนไปทางบัสข้อมูล**
3. **ส่งสัญญาณเขียนข้อมูล**

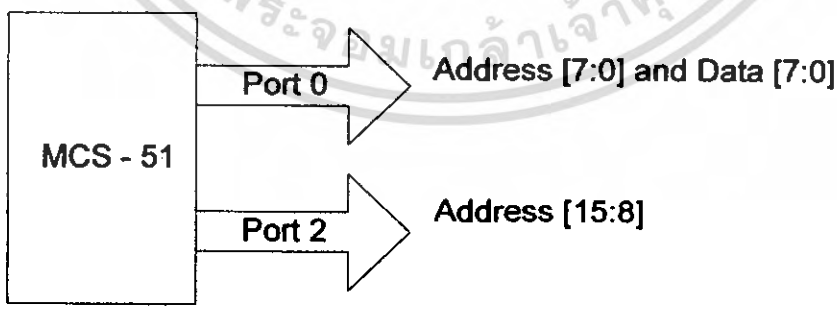
การเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมเวลาได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 **แสดงสัญญาณในการเขียนข้อมูล**

3. การเชื่อมต่อหน่วยความจำกับ MCS – 51

สัญญาณที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำประกอบด้วย แอดเดรสบัส บัสข้อมูล และบัสควบคุม ใน MCS – 51 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 64 กิโลไบต์ โดยจะใช้สายสัญญาณแอดเดรสบัส 16 เส้น ส่งออกมาทาง พอร์ท 0 และ พอร์ท 2 โดยพอร์ท 0 จะใช้ Multiplexed ระหว่างแอดเดรสบัส และบัสข้อมูล โดยแอดเดรสบัสจะเป็นบิตต่ำ A0 – A7 ดังรูปที่ 2.12



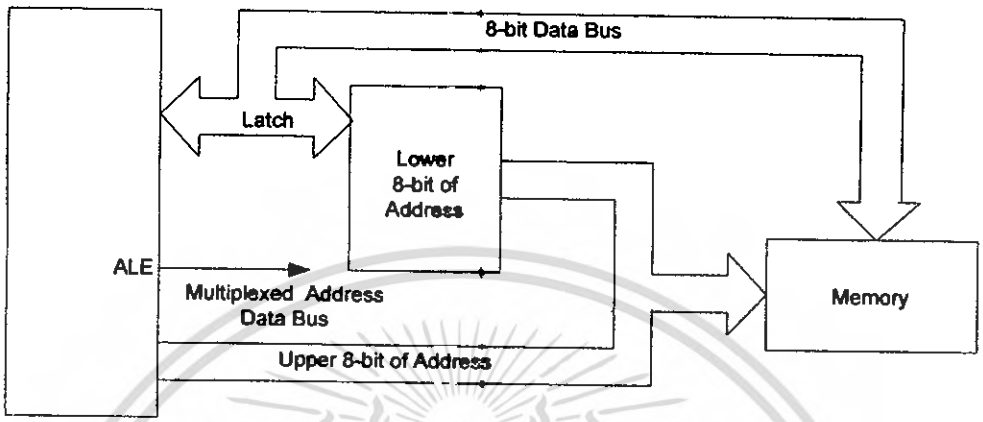
รูปที่ 2.12 **แสดงสัญญาณของ** MCS – 51 **ที่ใช้ติดต่อกับตำแหน่งของหน่วยความจำ**

ในการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีอุปกรณ์ภายนอกมา Latch **สัญญาณแอดเดรสบัส ที่ได้จากพอร์ท 0 เพื่อที่จะใช้พอร์ท 0 เป็นบัสข้อมูลต่อไปนี้ ในรูปที่**2.13 **จะแสดงการต่อหน่วยความจำประเภท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROM และ RAM กับ MCS – 51 โดยมีอุปกรณ์ภายนอกมา Latch ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำเอาไว้ เรียกว่า "Address Latching"

อุปกรณ์ที่นิยมใช้ได้แก่ ไอซี TTL โดยใช้สัญญาณที่ใช้ Latch คือสัญญาณ ALE จาก MCS – 51



รูปที่ 2.13 แสดงการต่อหน่วยความจำประเภท ROM และ RAM กับ MCS – 51

2.6 การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ I^2C

การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบI^2C บัสเป็นอีกมิติหนึ่งของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ประกอบร่วม ระบบ I^2C เป็นระบบที่ถูกพัฒนาจากบริษัท PHILLIPS ดังนั้นอุปกรณ์หลายๆตัวที่มีการสื่อสารแบบ I^2C จึงถูกผลิตออกมาจากบริษัท PHILLIPS

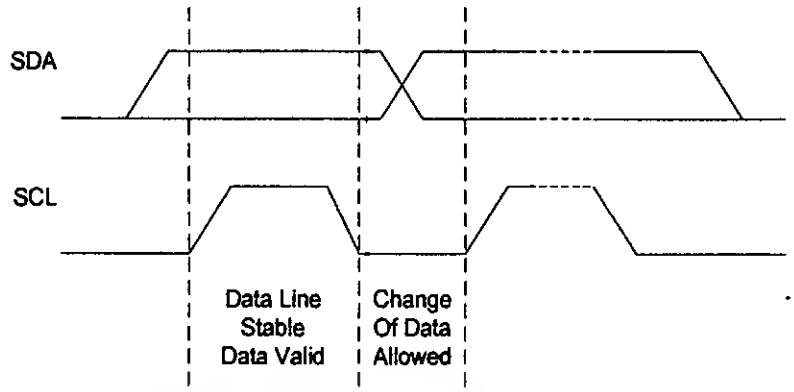
ระบบ I^2C บัสเป็นการสื่อสารแบบ 2 ทาง โดยใช้สายสัญญาณในการสื่อสารเพียง 2 เส้น โดยสารที่ใช้สื่อสารนี้คือ SDA ซึ่งเป็นสายสัญญาณข้อมูลและ SCL ซึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา

ทางบริษัทผู้พัฒนาระบบ I^2C ได้ให้คำจำกัดความของการสื่อสารแบบ I^2C ไว้เพื่อให้การศึกษาเกิดความเข้าใจเดียวกันโดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

2.6.1 บิตทรานเฟอร์ (Bit Transfer)

ข้อมูล 1 บิตจะถูกส่งออกไปด้วยช่วงเวลา 1 สัญญาณนาฬิกา โดยข้อมูลที่สาย SDA จะต้องคงที่ในขณะที่สัญญาณนาฬิกาเป็นลอจิก 1

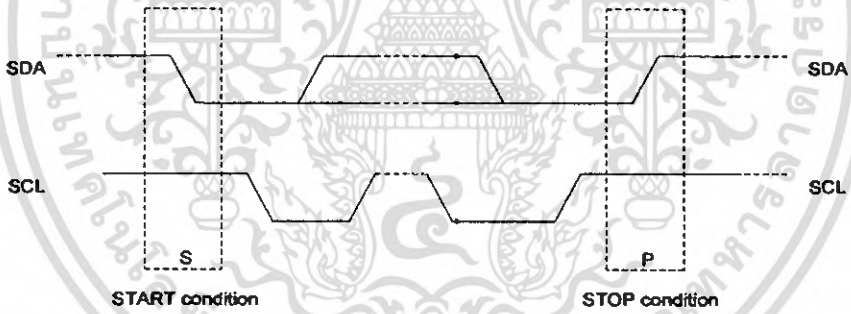
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของบิตทรานเฟอร์

2.6.2 บิตเริ่มต้นและบิตหยุด (Start and Stop Conditions)

ทั้งสายสัญญาณ SDA และสายสัญญาณ SCL ถ้าอยู่ในสถานะไม่ BUSY จะเป็นลอจิก 1 การเปลี่ยนแปลงจากลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 ของสายสัญญาณ SDA ขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น 1 เรียกว่าการกำหนดเงื่อนไข START แต่การเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 ของสายสัญญาณ SDA ในขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น 1 เรียกว่าการกำหนดเงื่อนไข STOP



รูปที่ 2.15 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของ Start and Stop Conditions

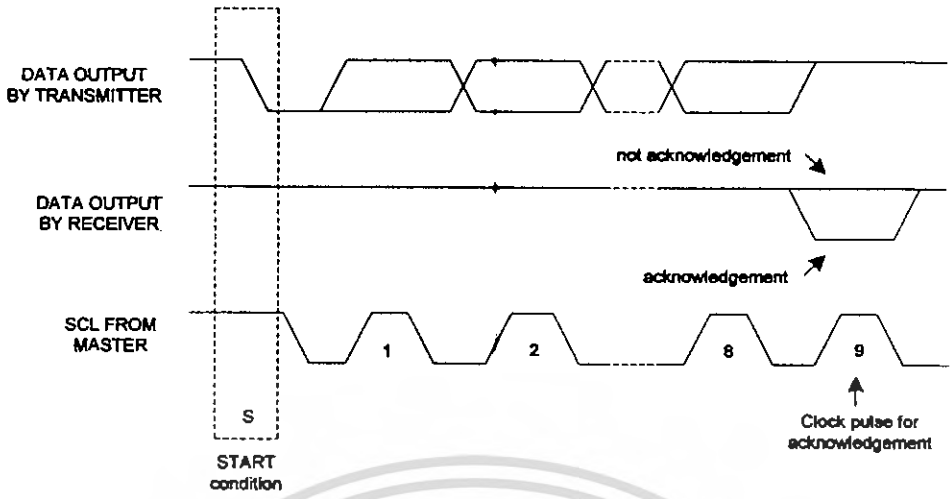
2.6.3 ซิสเต็มคอนฟิกูเรชั่น (System Configuration)

อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลเรียกว่าทรานสมิตเตอร์(Transmitter) ส่วนอุปกรณ์ที่รับข้อมูลเรียกว่ารีซีฟเวอร์ (Receiver) และอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการสื่อสารข้อมูลเรียกว่ามาสเตอร์ (Master) และอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมจากมาสเตอร์เรียกว่าสเลฟ (Slave)

2.6.4 แอคโนว์เลดจ์ (Acknowledge)

จำนวนไบต์ข้อมูล ที่ถูกส่งระหว่างตัวรับ และ ตัวส่งมีได้ไม่จำกัด ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 1 ไบต์ จะต้องส่งบิต ACK ตามออกไป 1 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของแอคโนว์เลดจ์ (Acknowledge)

2.7 อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)

คลื่นอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic Wave) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงประมาณ 15 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้น ดังนั้นอุลตร้าโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์

เหตุผลที่มีการนำอุลตร้าโซนิคมาใช้งาน เนื่องมาจากอุลตร้าโซนิคเป็นคลื่นที่มีทิศทางที่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของคลื่นโดยทั่วไปคือคลื่นที่มีความถี่สูงการเลี้ยวเบนจะต่ำ จึงทำให้เราสามารถส่งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง ถ้าคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาของตัวกำเนิดความถี่เสียงเช่น คลื่นความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ ในอากาศจะมีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้คลื่นเกิดการกระจายทิศทาง แต่ถ้าคลื่นมีความถี่อยู่ในย่านอุลตร้าโซนิคเช่น ความถี่ 40 กิกะเฮิรตซ์ จะมีความยาวคลื่นในอากาศประมาณ 8 มม.เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวกำเนิดความถี่เสียงมาก จึงทำให้คลื่นเสียงไม่เกิดการหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง คลื่นเสียงจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆที่มีทิศทาง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคทำให้เราสามารถนำอุลตร้าโซนิคไปใช้งานได้หลายด้านอาทิเช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic Remote Control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตจากระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล เครื่องหาตำแหน่งของอวัยวะในร่างกาย เครื่องทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งานเช่น คลื่นเสียงที่ต้องเดินทางผ่านอากาศความถี่ที่ใช้จะไม่เกิน 50 กิโลเฮิรตซ์ เพราะถ้าความถี่สูงกว่านี้คลื่นเสียงจะถูกอากาศดูดกลืนมากขึ้นทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะทางไกลขึ้น ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆอาจใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกะเฮิรตซ์ถึง 10 เมกะเฮิรตซ์ ขณะที่การใช้งานในหลายๆด้านที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศจะมีความถี่เป็นกิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดคลื่นอุลตร้าโซนิคเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศ โดยอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานรูปอื่น ให้มาเป็นพลังงานกล หรือ แปลงพลังงานทางกลให้กลายเป็นพลังงานรูปอื่นได้นั้น เรียกว่า "อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)" ในปัจจุบันอุลตร้าโซนิค ทรานดิวเซอร์ที่ใช้งานมีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ โดยอุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์ที่นิยมใช้กันมากได้แก่

แบบเปียโซอิเล็กทริค (Piezo-Electric Transducer) แบบนี้จะมีการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่รีโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

แบบแมกนีโตสตริคทีฟ (Magnetostrictive Transducer) แบบนี้จะมีการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

แบบอิเล็กโตรสตริคทีฟ (Electrostrictive Transducer) แบบนี้จะมีการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล

ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะอุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริค เนื่องจากเป็นแบบที่นำมาใช้ในการทดลองและใช้งานในโครงงานนี้

2.7.1 คุณสมบัติทั่วไปของทรานดิวเซอร์

ทรานดิวเซอร์ที่ใช้ทางอุลตร้าโซนิคมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริคเอฟเฟ็ค และ ที่ใช้กันมากคือ ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz) แบเรียมไททาเนท (Barrium Titanate) และ ลีดเซอร์โคเนทเทตน์(Lead Circonate Tetn) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานดิวเซอร์จะแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าอีกด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะได้สัดส่วนคงที่กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริค (Dielectric , K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่และหารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่ว่าอิเล็กโทรดที่อยู่ 2 ข้างถูกแยกโดยช่องที่มีเซรามิค สารเซรามิคเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ไดโพล (Dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไปก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริค ถ้าภายหลังเซรามิคที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีก คุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริคจะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลายทรานดิวเซอร์ได้โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินที่กำหนด

2.7.2 ชนิดของเปียโซอิเล็กทริคทรานดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริคทรานดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. ชนิดที่แสดงสมบัติแบบ Direct Piezoelectric Effect หรือ Generator Effect

แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริคจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ทรานดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้เป็นตัวรับ และนำไปใช้งานเป็นตัวจุดเตาแก๊ส (Gasignitor) , ไมโครโฟน (Microphone) , เซนเซอร์ (Sensor) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดที่แสดงสมบัติแบบ Converse Piezoelectric Effect หรือ Motor Effect

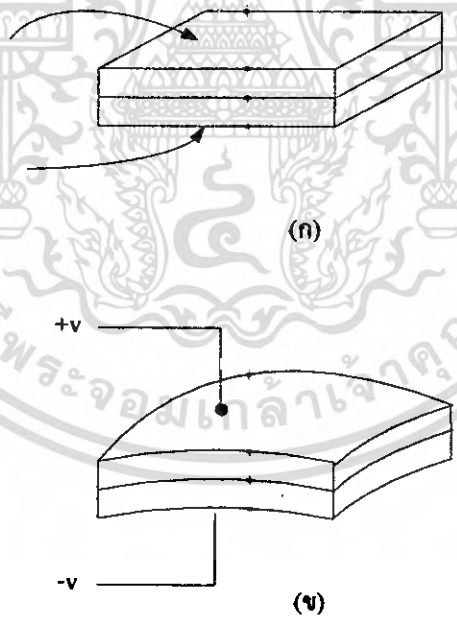
การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเปียโซอิเล็กทริคจะทำให้เกิดคลื่นอุลตร้าโซนิคโดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเปียโซอิเล็กทริคจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมัน ทรานดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้เป็นตัวส่งและนำไปใช้งานเป็นลำโพง (Loudspeaker) และอุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) เป็นต้น

3. ชนิดที่แสดงสมบัติทั้ง Direct และ Converse Piezoelectric Transducer

ใช้ทำตัวกรองสัญญาณ (Filter) ,ตัวจับสัญญาณโซนาร์(Sonar)และเปียโซทรานฟอร์เมอร์ (Piezo Transformer) เป็นต้น

2.7.3 โครงสร้างและหลักการทำงาน

อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริค ภายในจะประกอบไปด้วยชิ้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยม ซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา โดยชิ้นสารเซรามิคประกอบขึ้นจากสารเซรามิค 2 ชิ้นประกบกัน โดยขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของสารเซรามิคทั้ง 2 ชิ้นจะวางในทิศทางตรงข้ามกันดังรูปที่ 2.17



(ก) อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริคที่ใช้สารเซรามิค

(ข) เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริค จะทำให้ ชิ้นสารเซรามิคเกิดการโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศ

รูปที่ 2.17 อุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นสารเซรามิคถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นขณะทำงาน โครงสร้างของตัวถังจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 ซม. ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดที่มีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตร้าโซนิคเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวถังทำด้วยวัสดุที่เป็นโลหะต้องต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่เป็นชีลด์

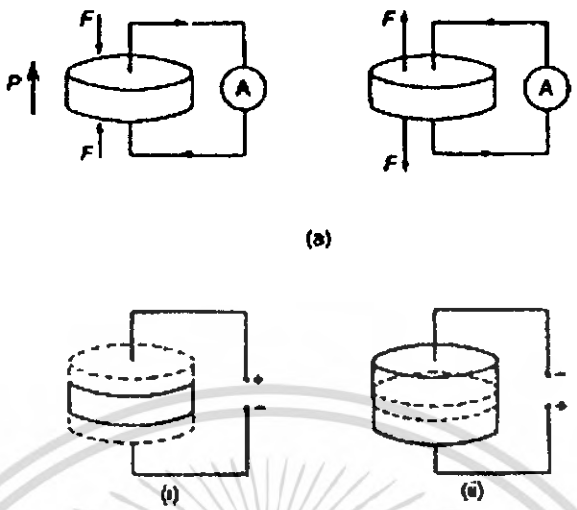
เมื่อมีสัญญาณแรงดันมากระทบกับผิวทั้งสองของชิ้นสารเซรามิคดังรูป 2.17(ข) จะทำให้ชิ้นสารเซรามิคเกิดการโก่งงอ โดยที่ชิ้นสารเซรามิคจะโก่งงอมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณนั้นๆ ซึ่งทำให้เกิดการกดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณนั้นออกไป โดยทั่วไปแล้วกำลังเอาท์พุทที่ออกไปจะมีประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป กำลังเอาท์พุทจะมีค่าสูงสุดเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่รีโซแนนท์ซึ่งเป็นความถี่ทางกลทางธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้นๆส่วนที่ความถี่อื่นๆกำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้มาก ในทางกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่รีโซแนนท์ของชิ้นสารเซรามิคจะทำให้ชิ้นสารเกิดการโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันขึ้นมากระทบขั้วทั้งสองของอุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริค คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตร้าโซนิคทรานดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริคคือมีค่าความต้านทานไฟตรงที่สูงมากถึง 100 เมกะวัตต์

2.7.4 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก

เปียโซอิเล็กทริค เป็นแร่จำพวกคริสตัลหรือเซรามิกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อได้รับแรงกล (Mechanical Force) จะให้แรงดันไฟฟ้า ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริค (Piezoelectric Effect)"

ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริค คือเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกแบบ Perovskite ซึ่งสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เมื่อให้แรงเชิงกล (Stress) กระทำแก่วัสดุดังกล่าวแรงเชิงกลนี้จะไปลดระยะห่างระหว่างไดโพลที่มีการจัดเรียงตัวอยู่ในวัสดุซึ่งจะมีผลทำให้ไดโพลโมเมนต์ (Dipole Moment) ของวัสดุทั้งหมดลดลง การเปลี่ยนแปลงไดโพลไมเมนต์ของวัสดุนี้จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบที่อยู่แต่ละด้านของวัสดุ และความแตกต่างของความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองด้านเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้าม ผลที่ตามมาคือจะก่อให้เกิดอิเล็กทริคโพลาไรเซชั่น (Electrical Polarization) และขนาดของโพลาไรเซชั่น (Polarization) จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับขนาดของ Stress ที่กระทำกับวัสดุ ในทางกลับกัน (Inverse Piezoelectric Effect) ถ้าให้สนามไฟฟ้าแก่วัสดุดังกล่าว ก็จะทำให้ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้านเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและขนาดของวัสดุดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



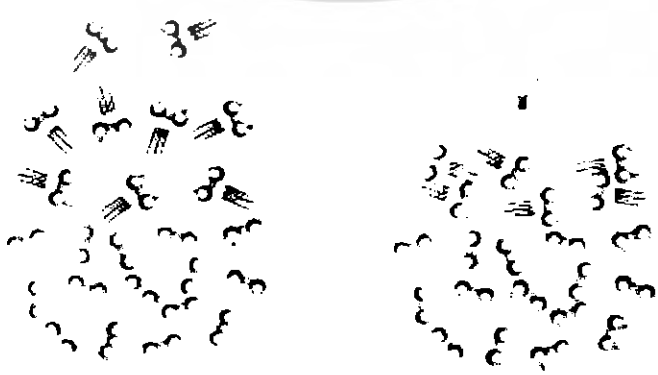
รูปที่ 2.18 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริค

ผลของเปียโซอิเล็กทริค (Piezoelectric)เป็นผลทางอิเล็กโตรแมคคานิคคอล (Electromechanical)ของวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแรงทางกลไปเป็นกระแสไฟฟ้าหรือในทางตรงกันข้ามสามารถเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าไปเป็นแรงทางกลได้

2.8 ความชื้นและเสถียรภาพของอากาศ

แม้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของบรรยากาศจะเป็น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน แต่ก๊าซทั้งสองก็มิได้มีอิทธิพลต่อในการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซทั้งสองมีจุดควบแน่น และจุดเยือกแข็งต่ำมาก อุณหภูมิของอากาศมิได้ต่ำพอที่จะทำให้ก๊าซทั้งสองเปลี่ยนสถานะได้

2.8.1 ไอน้ำในอากาศ



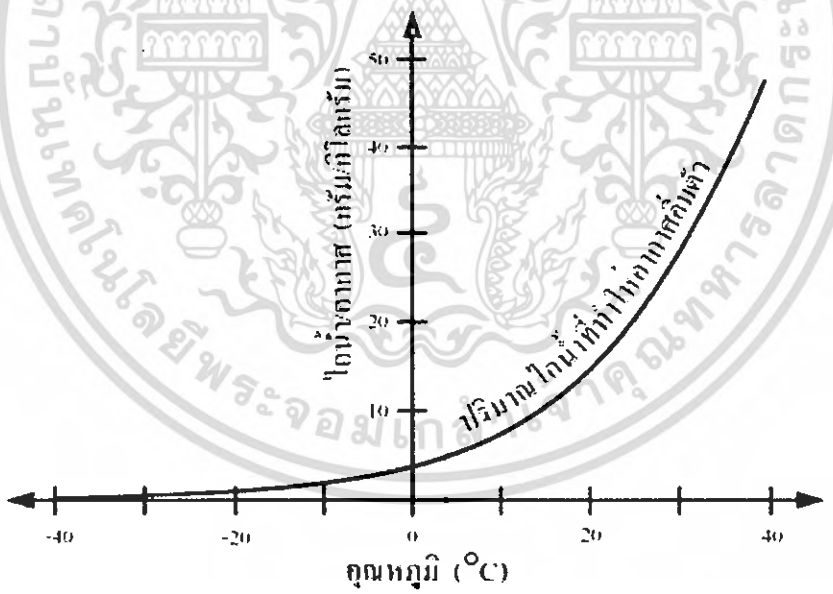
รูปที่ 2.19 โมเลกุลของน้ำและไอน้ำในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพขยายแสดงโมเลกุลของน้ำอยู่เบียดเสียด วิ่งไปวิ่งมา โดยที่โมเลกุลแต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน ช้าบ้าง เร็วบ้าง ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก็คือ "อุณหภูมิ" ของน้ำ (พลังงานจลน์) ถ้าโมเลกุลที่อยู่บริเวณผิวน้ำมีความเร็วมากพอ ที่จะทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่หลุดออกไปสู่อากาศ โมเลกุลเหล่านี้จะเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำ ซึ่งก็คือ "การระเหย" นั่นเอง

เมื่อเราปิดฝาถังและดันเข้าไปดังเช่นในภาพขวามือ น้ำที่เคยระเหยเป็นไอน้ำ จะถูกควบแน่นกลับเป็นของเหลวอีก ครั้งหนึ่ง หาก "จำนวนโมเลกุลของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำ จะเท่ากับจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ควบแน่นกลับเป็นน้ำพอดี" เราจะเรียกว่า "อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ" ในทางกลับกันหากเราดึงฝาเปิดออก ไอน้ำในอากาศซึ่งเคยอยู่ในถังจะหนีออกมา ทำให้จำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในถังน้อยกว่าจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว อากาศจึงไม่เกิดการอิ่มตัว (ปัจจัยในธรรมชาติที่ช่วยให้อากาศไม่เกิดการอิ่มตัวคือ กระแสลม)

นอกจากความดันแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำคือ อุณหภูมิน้ำร้อนระเหยได้ง่ายกว่าน้ำเย็น เนื่องจากความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้น และหลุดหนีจากสถานะของเหลวไปเป็นก๊าซ ในทำนองกลับกัน อากาศเย็นทำให้เกิดการควบแน่นได้ดีกว่าอากาศร้อน เนื่องจากโมเลกุลของไอน้ำเย็นมีพลังงานน้อยกว่า จึงสูญเสียความเร็วและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ง่าย



รูปที่ 2.20 กราฟปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว

กราฟในภาพที่ 2.20 แสดงให้เห็นว่าปริมาณไอน้ำที่จะทำให้เกิดอากาศอิ่มตัวภายใต้อุณหภูมิต่างๆ เราจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส อากาศจะต้องการปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น 2 เท่า เพื่อทำให้เกิดการอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 7 กรัม

ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 14 กรัม

ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 28 กรัม

เราจึงสรุปได้ว่า "อากาศร้อนมีความสามารถในการเก็บจำนวนโมเลกุลของไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น"

2.8.2 ความชื้น

ความชื้น (Humidity) หมายถึงจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความดัน และอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relativity Humidity) หมายถึง"อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อ ปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน" หรือ "อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริง ต่อ ความดันไอน้ำอิ่มตัว" ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%)

2.9 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำหน้าที่ ตัด-ต่อวงจร คล้ายกับสวิทช์ โดยใช้หลักการหน้าสัมผัส และขั้นตอนแรกต้องจ่ายไฟให้มันตามที่กำหนด เพราะเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวรีเลย์แล้วจะทำให้หน้าสัมผัสติดกัน กลายเป็นวงจรปิด และจะตรงกันข้ามทันทีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้มัน ตัวรีเลย์ก็จะกลายเป็นวงจรเปิด

รีเลย์ เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลีนอยด์ (Solenoid)รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจร ไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิทช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. **รีเลย์กำลัง (Power Relay)** หรือมักเรียกกันว่าคอนแทคเตอร์ (Contactor or Magnetic Contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. **รีเลย์ควบคุม (Control Relay)** มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนักหรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ขนาดใหญ่รีเลย์ควบคุมบางทีเรียกกันง่ายๆว่า "รีเลย์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังมีทิศ (Directional Power Relay) และรีเลย์กระแสมีทิศ (Directional Current Relay)

8. รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) คือ รีเลย์ระยะทางมีแบบต่างๆ ดังนี้

- รีแอกแตนซ์รีเลย์ (Reactance Relay)
- อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance Relay)
- โมห์รีเลย์ (Mho Relay)
- โอห์มรีเลย์ (Ohm Relay)
- โพลาไรซ์โมห์รีเลย์ (Polaized Mho Relay)
- ออฟเซ็ตโมห์รีเลย์ (Off Set Mho Relay)

9. รีเลย์อุณหภูมิ (Temperature Relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้

10. รีเลย์ความถี่ (Frequency Relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานเมื่อความถี่ของระบบต่ำกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งไว้

2.9.2 หลักการพื้นฐานของรีเลย์

ถ้าแปลคำว่า รีเลย์ (Relay) ตรงตัวตามแบบฉบับของนักอิเล็กทรอนิกส์จะได้ความหมายว่า ตัวถ่ายทอดกำลัง เพราะเราป้อนกำลังงานไฟฟ้าให้แก่รีเลย์เพียงเล็กน้อย ก็สามารถควบคุมวงจรกำลังงานสูงๆ ที่ต่ออยู่กับ หน้าสัมผัส (ซึ่งทั่วไปมักนิยมเรียกว่า คอนแทค) ของรีเลย์ได้ ไม่ว่าจะเป็นรีเลย์แบบธรรมดาหรือแบบเฉพาะงาน ถ้าถอดมันออกมาแล้วจะมีเหลืออยู่เพียง หน่วยสร้างสนามแม่เหล็ก และกลุ่มของหน้าสัมผัส เวลาใช้เพียงแต่ป้อนกระแสไฟฟ้าแก่หน่วยสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งมักจะเป็นขดลวดพันรอบแกนเหล็ก ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กจากแกนเหล็กไปดูดเหล็กก่อน ที่เรียกว่า อาร์เมเจอร์ให้โน้มต่ำลงมา ที่ปลายของอาร์เมเจอร์ด้านหนึ่งมักจะยึดติดกับสปริงและอีกปลายหนึ่งยึดติดกับหน้าสัมผัส การเคลื่อนอาร์-เมเจอร์จึงเป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสอันนี้ให้แยกจาก หรือแตะกับหน้าสัมผัสอีกด้านหนึ่ง ซึ่งยึดติดอยู่กับที่ เมื่อหยุดป้อนกระแสเข้าขดลวด อาร์เมเจอร์ก็จะเด้งกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมด้วยแรงหดตัวของสปริง เป็นแบบหนึ่งที่เมื่อป้อนกระแสแล้ว หน้าสัมผัสทั้งสองจะแตะกัน

สรุปว่ารีเลย์คืออุปกรณ์ที่ถูกควบคุมด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ไปปิด หรือเปิดหน้าสัมผัส (ทำหน้าที่เหมือนกับสวิทช์) ซึ่งจะไปควบคุมวงจรเดียวกันหรือวงจรอื่นๆ อีกทอดหนึ่ง

นอกจากนั้นเพื่อให้เป็นการชัดแจ้งว่าภาวะปกติ (เมื่อไม่มีกระแสป้อนเข้าขดลวด) หน้าสัมผัสของรีเลย์อยู่ในลักษณะใดจึงมักมีอักษรย่อเพิ่มเติมเข้ามาอีก เช่น NO (ย่อมาจาก Normally Open) หมายถึง ภาวะปกติหน้าสัมผัสกับขั้วแยกจากกัน และจะแตะกันก็ต่อเมื่อขดลวดของรีเลย์ ได้รับปริมาณกระแสมากพอ อีกตัวหนึ่ง คือ NC (ย่อมาจาก Normally Closed) หมายถึงภาวะปกติหน้าสัมผัสกับขั้วจะแตะกัน และจะแยกจากกันก็ต่อเมื่อขดลวดของรีเลย์ได้รับกระแส

นอกจากแบบการจัดหน้าสัมผัสดังกล่าวมาแล้ว ยังมีแบบอื่นๆ อีก ซึ่งสมาคมผู้ผลิตรีเลย์ในอเมริกา (NARM) ได้รวบรวมแบบต่างๆ พร้อมสัญลักษณ์ แต่ละแบบจะมีชื่อเรียกเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ตัวเลขหน้าตัวอักษรจะแสดงจำนวนกลุ่มหรือชุดของหน้าสัมผัส ตัวอย่างเช่น รีเลย์ที่มีหน้าสัมผัส ก็จะระบุตามมาตรฐานนี้ได้เป็น 4A เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่มักคิดว่าการเลือกซื้อและใช้งานของรีเลย์เป็นเรื่องง่าย เพียงแต่ทราบค่าแรงดันและกระแสที่จะต้องป้อนให้ขดลวดเท่านั้น ดังนั้น ในการเลือกใช้รีเลย์มีข้อเท็จจริง 4 ประการดังนี้

1.เลือกคุณสมบัติของรีเลย์เกินความต้องการ

2.รู้จักวงจรที่จะใช้รีเลย์น้อยเกินไป

3.เลือกคุณสมบัติของรีเลย์ต่ำกว่าการใช้งานจริง

4.มองข้ามความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติบางตัวไปซึ่งรีเลย์ของบริษัทหนึ่งมีคุณสมบัติเหมือนๆ กับอีกบริษัทหนึ่ง

2.9.3 รีเลย์ไฟตรงหรือไฟสลับ

รีเลย์ตามแบบที่อธิบายมาแล้วเป็นรีเลย์ไฟตรง แต่ในหลายๆกรณีก็อาจจะหาไฟตรงมาป้อนให้กับขดลวดไม่ได้ จำเป็นต้องใช้ไฟสลับ ข้อเสียจากการใช้ไฟสลับมีอยู่ 2 ประการใหญ่ๆ ประการแรกต้องใช้กำลังไฟฟ้าป้อนให้ขดลวดมากกว่ารีเลย์ไฟตรงที่มีขนาดและรูปร่างเท่าๆกัน อาจจะมากกว่าถึง 4 เท่า ทั้งนี้ก็เพื่อให้มีแรงเฉลี่ยที่ดึงอาร์เมเจอร์ได้เท่าเดิมตลอดรูปคลื่นไฟสลับ ประการที่สองคือ มีเสียงคราง ออกมาจากรีเลย์แต่ละครั้งที่กระแสไฟสลับผ่านศูนย์ สนามแม่เหล็กจะลดลงเป็นศูนย์ เป็นเหตุให้อาร์เมเจอร์มีจังหวะที่กลับคืนสภาพเดิมผลก็คือ อาร์เมเจอร์สั่นด้วยความถี่เป็น 2 เท่าของไฟสลับการสั่นนี้ ทำให้หน้าสัมผัสแตะกันไม่คงที่ เกิดเป็นเสียงรบกวนออกมา เกิดการอาร์กที่หน้าสัมผัส และก็ทำให้ผิวหน้าสัมผัสสึกกร่อนอีกด้วย ดังนั้นในการใช้งานส่วนใหญ่แล้วจึงนิยมใช้รีเลย์ไฟตรง

วิธีที่จะลดเสียงครางในรีเลย์ไฟสลับก็คือ เพิ่มวงแหวนทองแดงรูปตัว D เข้าไปที่ผิวหน้าของแกนเหล็กวงแหวนนี้ทำหน้าที่เป็นทางลัดวงจรให้กับพื้นที่ผิวหน้าครึ่งหนึ่ง ขั้ว (Pole) แบบนี้เรียกว่า Shaded Pole วงแหวนจะทำงานคล้ายๆกับขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง กระแสไหลผ่านในวงแหวน ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำแรงดันจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเอง เฟสของกระแสที่เกิดขึ้นในวงแหวนอยู่ในลักษณะที่ให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นเกือบจะมากที่สุด เมื่อสนามแม่เหล็กจากขดลวดลงมาเป็นศูนย์ ดังนั้นอาร์เมเจอร์ก็จะถูกดูดตลอดเวลาแม้ขณะที่กระแสในขดลวดจะเป็นศูนย์ก็ตาม

ตามปกติเรามักจะไม่ใช้รีเลย์ไฟสลับในวงจรสวิทช์ที่ซับซ้อน หรือในการใช้งานใดๆ ที่ต้องการเวลาที่อาร์เมเจอร์ถูกดูดหรือปล่อยค่อนข้างแน่นอน

หากต้องการใช้รีเลย์ไฟตรงกับไฟสลับสามารถทำได้ เพียงแต่เพิ่มเติมวงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นเข้ามาเท่านั้น ที่จะต้องระวังอยู่บ้างก็ตรงทรานเซียนต์ไฟตรง ซึ่งอาจจะสอดแทรกเข้ามา ดังนั้นควรมีวงจรกรองไฟเข้ามาอีก รีเลย์ไฟสลับที่มีจำหน่ายบางแบบจะใช้โครงสร้างภายในเป็นรีเลย์ไฟตรงแล้วมีเร็กติไฟเออร์ต่ออยู่ภายในเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 การจำแนกโหลด

หน้าที่หลักของหน้าสัมผัสของรีเลย์ก็คือ ต่อวงจรเข้าด้วยกัน,แยกวงจรออกจากกัน และก็รับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน หน้าสัมผัสจะสึกเร็ว จะเสียเร็ว หรือไม่ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางไฟฟ้าของโหลด ,โครงสร้างภายในตัวรีเลย์และสารที่ใช้ทำหน้าสัมผัส ซึ่งคำว่าโหลดในที่นี้หมายถึงโหลดของหน้าสัมผัส ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. วงจรแห้ง (Dry Circuit) เรียกหน้าสัมผัสว่าแห้ง ถ้าการทำงานไม่ได้ไปเริ่มต้น หรือหยุดการไหลของกระแสนั้น แต่กระแสอาจจะไหลหรือหยุดไหลหลังจากที่หน้าสัมผัสแตะกันหรือแยกจากกันแล้วก็ได้ ตามปกติหน้าสัมผัสที่เป็นสารโลหะผสมทองกับ สารพาลลาเดียมจะเหมาะกับโหลดจำพวกนี้

2. โหลดระดับต่ำ (Low-Level Load) โหลดในระดับนี้ดึงกระแสอยู่ในช่วงไมโครแอมแปร์ถึง 50 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งระดับแรงดัน และกระแสไม่มากพอที่จะทำให้เกิดอาร์กขึ้นที่หน้าสัมผัส หน้าสัมผัสที่เป็นสารโลหะผสมทองกับพาลลาเดียมเหมาะสมกับโหลดระดับต่ำ ไม่ควรใช้หน้าสัมผัสทอง หรือโลหะผสมทองปริมาณมากๆ เป็นหน้าสัมผัสทั้งคู่ เพราะอาจจะหลอมยึดติดกันได้ขณะกระแสไฟไหลผ่าน

3. โหลดระดับกลาง (Intermediate Load) คือ โหลดระดับ 50 มิลลิแอมแปร์ ถึง 300 มิลลิแอมแปร์จะทำให้เกิดการอาร์กที่หน้าสัมผัสเล็กน้อยขณะแตะหรือแยกออกจากกัน หากบนผิวหน้าสัมผัสมีสารอินทรีย์เกาะอยู่การอาร์กจะก่อให้เกิดสารคาร์บอนขึ้น หลังจากทำงานไปหลายพันครั้ง ทำให้ความต้านทานของหน้าสัมผัสสูงขึ้น

4. โหลดขนาดใหญ่ (Heavy Load) คือที่ ระดับพลังงานสูงๆเช่นนี้มักจะเกิดอาร์กขึ้นที่หน้าสัมผัสทุกครั้งที่ทำงาน สารคาร์บอนที่เกิดจากการอาร์กนี้แม้ว่าจะมาก แต่แรงดันและกระแสก็สูงพอที่จะทำลายล้างความต้านทานของสารคาร์บอนที่ผิวหน้าสัมผัสได้ สำหรับการสวิทช์โหลดขนาดใหญ่ หน้าสัมผัสควรจะเป็นสารพวกเงิน หรือโลหะผสมเงินและพาลเลเดียม หากกระแสมากกว่า 500 มิลลิแอมแปร์ ขึ้นมาจึงไม่ควรใช้สารทอง หรือโลหะผสมทองเด็ดขาด

2.9.5 ชนิดของโหลดรีเลย์

1. โหลดเป็นตัวต้านทาน ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นตัวต้านทานชนิดหนึ่งเพื่อต้านกระแสที่ไหลผ่านหน้าสัมผัส

2. โหลดเป็นตัวเก็บประจุ โหลดชนิดนี้ ต้องมี การป้องกันวงจร เช่น หน้าสัมผัส ที่จะใช้นั้น ทำหน้าที่ต่อแหล่งจ่ายแรงดันเข้ากับตัวเก็บประจุต่ำมากๆ หรือ ใช้หน้าสัมผัสเป็นทางให้ตัวเก็บประจุคายประจุ ซึ่งหมายความว่ามีทางจะเกิดกระแสค่าสูงๆ ในบางขณะได้ (ตอนเริ่มเก็บและคายประจุ) หน้าสัมผัสอาจจะร้อนจนหลอมติดกันไปได้ ดังนั้นอาจจะต้องต่ออนุกรมด้วยตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสผ่านหน้าสัมผัสไม่ให้สูงมากเกินไป

3. โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ เป็นชนิดที่ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะ สนามแม่เหล็ก ของขดลวด (ที่เป็นโหลดตัวเหนี่ยวนำ) จะเกิดแรงดันคร่อมตัวมันขณะนั้นสูงมาก หากมีแรงดันสูงๆเช่นนี้เกิดขึ้นคร่อมหน้าสัมผัส อาจจะเกิดอาร์กขึ้น หากเกิดการอาร์กแรงพอมีผลทำให้หน้าสัมผัสอาจจะร้อนจนเชื่อมติดกัน หรือสารที่ผิวหน้าสัมผัสถึงอาจระเหยได้ ดังนั้นถ้าโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ (จำพวกขดลวด หรือโซลีนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือคอนแทคเตอร์ หรือมอเตอร์) ก็จะต้องมีการใช้วงจรลดอาร์กเข้าไปด้วยทุกครั้ง เช่น อาจต่อไดโอดคร่อมขดลวดเข้าไป เป็นต้น

4. โหลดเป็นหลอดเผาไส้ โหลดชนิดนี้เวลาที่ตัวมันเย็นลงความต้านทานไส้หลอดจะต่ำกว่าเวลาใช้งานมาก ตัวอย่างเช่นไส้หลอดทังสเตนจะมีความต้านทานขณะตัวมันเย็นต่ำกว่าขณะใช้งาน มากถึง 12 ถึง 16 เท่า ดังนั้นเมื่อเริ่มใช้งานกระแสจะสูงกว่าที่คำนวณปกติ และจะค่อยๆลดลงมาเท่าปกติ

5. โหลดใช้กับไฟตรงหรือไฟสลับ สำหรับโหลดชนิดไฟตรงควรจะมีวงจรลดอาร์กที่หน้าสัมผัส แต่สำหรับโหลดชนิดไฟสลับ อาร์กจะแรงน้อยลงเพราะการที่หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ช้าทำให้เกิดอาร์กเต็มที่ แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสก็ลดลงจนผ่านศูนย์ไป ปกติรีเลย์ที่ต้องใช้กับกำลังงานสูงๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโหลดไฟตรง และโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ผู้ผลิตมักจะแนะนำว่าสารที่ใช้ทำหน้าสัมผัสควรจะเป็นสารอะไร จึงจะช่วยลดการสึกหรอลงไปได้ นอกจากนั้นถ้าเป็นไฟสลับก็จะต้องรู้ว่าใช้งานกับความถี่เท่าใด

ถ้าเป็นการอาร์กในพื้นที่เล็กๆ และกระแสผ่านหน้าสัมผัสได้มาก อุณหภูมิที่หน้าสัมผัสจะเพิ่มสูงขึ้นมาก จนอาจจะเกิดการหลอมเหลวละลายที่จุดนั้น ถ้าระบายความร้อนไปไม่ทันสารที่ใช้ทำหน้าสัมผัสก็อาจจะถึงขั้นระเหยไป เป็นสาเหตุที่ทำให้หน้าสัมผัสสึกกร่อน ขณะที่หน้าสัมผัสแยกตัวห่างกันมากขึ้น อาร์กก็จะยาวออกและหายไปในที่สุด ระยะที่อาร์กเริ่มหายไปขึ้นกับปริมาณกระแสโหลดและแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอาร์กได้ก็คือ โหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ เช่น ขดฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้าโซลีนอยด์และหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อหน้าสัมผัสกำลังแยกจากกัน สนามแม่เหล็กในโหลดจะตกลงอย่างรวดเร็ว จึงเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันสูงมากคร่อมโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำนั้น แรงดันสูงนี้จะคร่อมหน้าสัมผัสที่กำลังแยกจากกันนี้ด้วย เป็นเหตุให้เกิดอาร์กขึ้นแม้ว่าในบางครั้งแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ และกระแสที่โหลดดึงจะไม่พอที่จะทำให้เกิดอาร์กก็ตาม

การเด้งของหน้าสัมผัสก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาร์ก เมื่อรีเลย์ซึ่งปกติหน้าสัมผัสเปิดวงจร (NO) ได้รับกำลังงานไฟฟ้าที่ขดลวด ขั้ว (หน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้) ก็จะถูกบังคับให้เคลื่อนเข้าหาหน้าสัมผัสที่ถูกยึดอยู่กับที่ การเคลื่อนที่จะหยุดทันทีเมื่อหน้าสัมผัสทั้งสองชนกัน ความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของขั้วประกอบกับแรงคืนตัวของสปริงที่ถูกยืด จึงทำให้ขั้วเด้งไปมาหลายครั้งกว่าที่จะแตะกับหน้าสัมผัสนิ่งๆ แต่ละครั้งที่หน้าสัมผัสเด้งก็จะเกิดอาร์กขึ้น ถ้ากระแสขณะอาร์กสูงพอหน้าสัมผัสทั้งสองก็อาจจะละลาย ยิ่งแรงดูดมากขึ้น (คือจ่ายไฟให้ขดลวดมากขึ้น) และยิ่งสปริงแข็งขึ้น การเด้งก็จะนานขึ้น เหตุการณ์ทำนองนี้จะเกิดทั้งตอนที่กำลังจะแตะกัน และกำลังจะแยกจากกัน ทั้งรีเลย์แบบ NO และ NC

เทคนิคการลดอาร์กขึ้นอยู่กับเป้าหมายและราคาซึ่ง เป้าหมายการลดอาร์กมีอยู่ 3 ประเด็น คือ

1. ป้องกันอุปกรณ์อื่นจากอันตรายอันอาจจะเกิดจากแรงดันทรานเซียนต์คร่อมขดลวดของรีเลย์

2. ลดการสึกหรอของหน้าสัมผัสอันเนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ (กลับกับข้อแรก)

3. ลดสัญญาณการรบกวนความถี่สูง (RFI) เนื่องจากการทำงานของหน้าสัมผัส

ทุกครั้งที่เพิ่มเติมวงจรลดอาร์กขึ้นมานั้นเพื่อการป้องกันดังกล่าว อาจจะต้องสูญเสียสิ่งต่อไปนี้ เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น อาจจะดึงกำลังงานจากวงจรมากเกินไปหรือรีเลย์ต้องใช้เวลาเค้งออกนานขึ้น

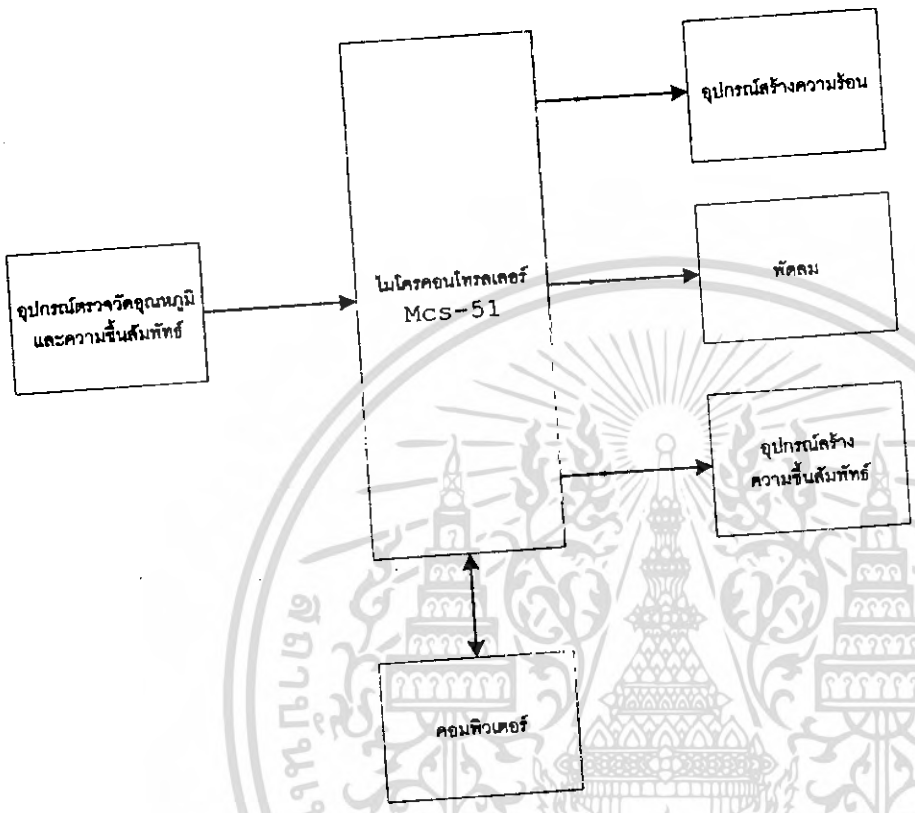
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นก่อนที่จะตัดสินใจว่าจะใช้การลดอาร์กอย่างไรนั้น ประการแรก ควรดูจุดมุ่งหมายที่ต้องการ ประการที่สอง ควรพิจารณาวงจรที่นำมาเพิ่มเติม และประการที่สาม หากมีการเพิ่มวงจรแล้วจะส่งผลกระทบกับส่วนอื่นหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

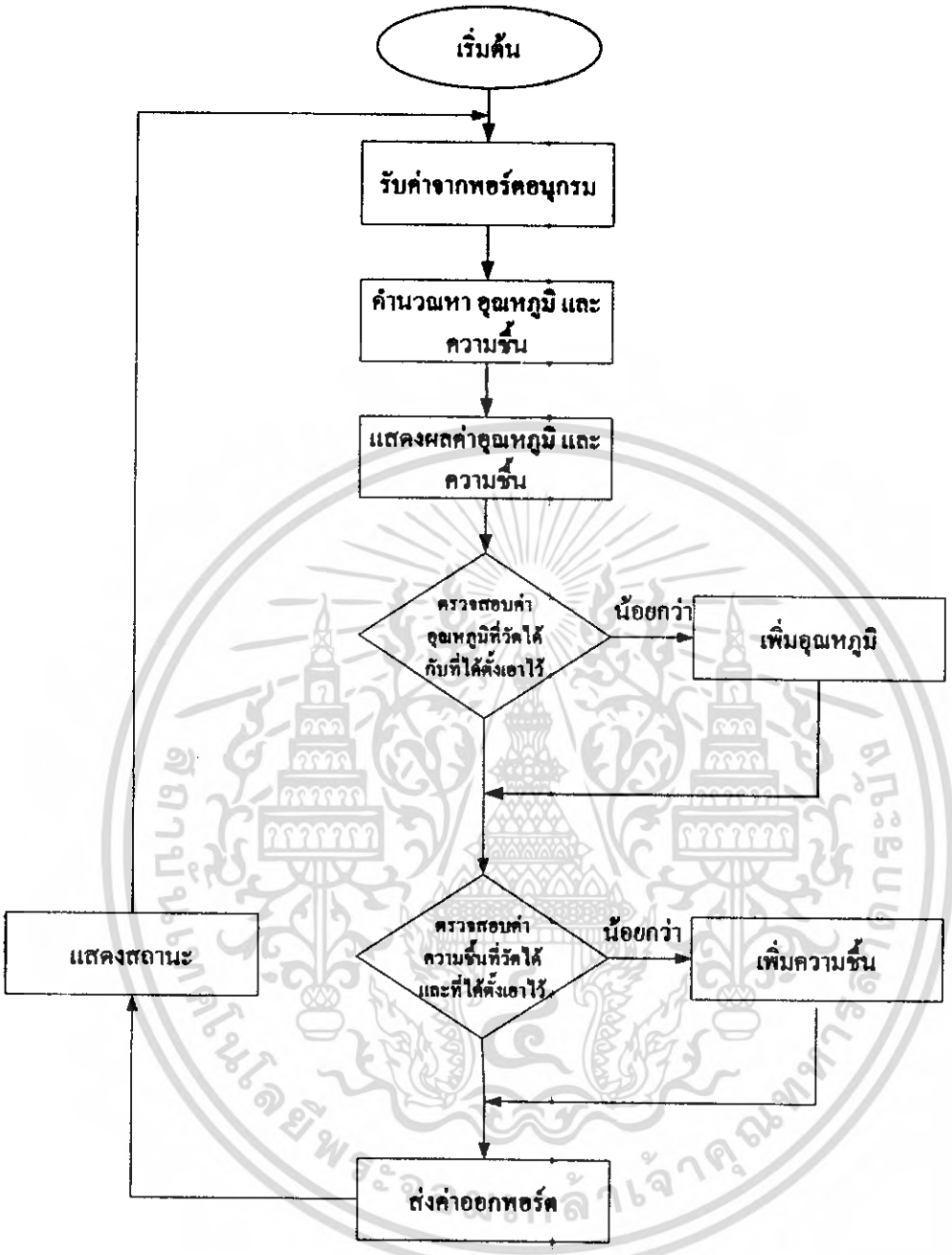
บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

3.1 หน่วยประมวลผลกลาง



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง

3.1.1 คำอธิบายในส่วนของโฟลว์ชาร์ตการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง

1. ป้อนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเห็ดชนิดที่นำมาปลูก

2. อ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเพาะเห็ดจำลอง

3. แสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเพาะเห็ดจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด อุปกรณ์สร้างความร้อนจะทำงาน และอุปกรณ์สร้างความร้อนจะหยุดทำงานเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มจนถึงค่าที่กำหนด

5. เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าที่กำหนด อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์จะทำงาน และอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์จะหยุดทำงานเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มจนถึงค่าที่กำหนด

6. กลับมารับค่าจากคอมพิวเตอร์ถ้ามีการป้อนค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใหม่ก็จะทำกระบวนการซ้ำจากข้อ 2- ข้อ 5 อีกครั้งแต่ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่นำมาเปรียบเทียบจะเป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใหม่หรือถ้าไม่มีการป้อนค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใหม่ก็จะทำกระบวนการซ้ำจากข้อ 2 – ข้อ 5 ซ้ำๆ

3.2 วงจรประมวลผลกลาง

การทำงานของวงจรประมวลผลกลางใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89V51RD2เป็นตัวควบคุมการทำงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน โดยมีการควบคุมพื้นฐานส่วนต่างๆดังนี้

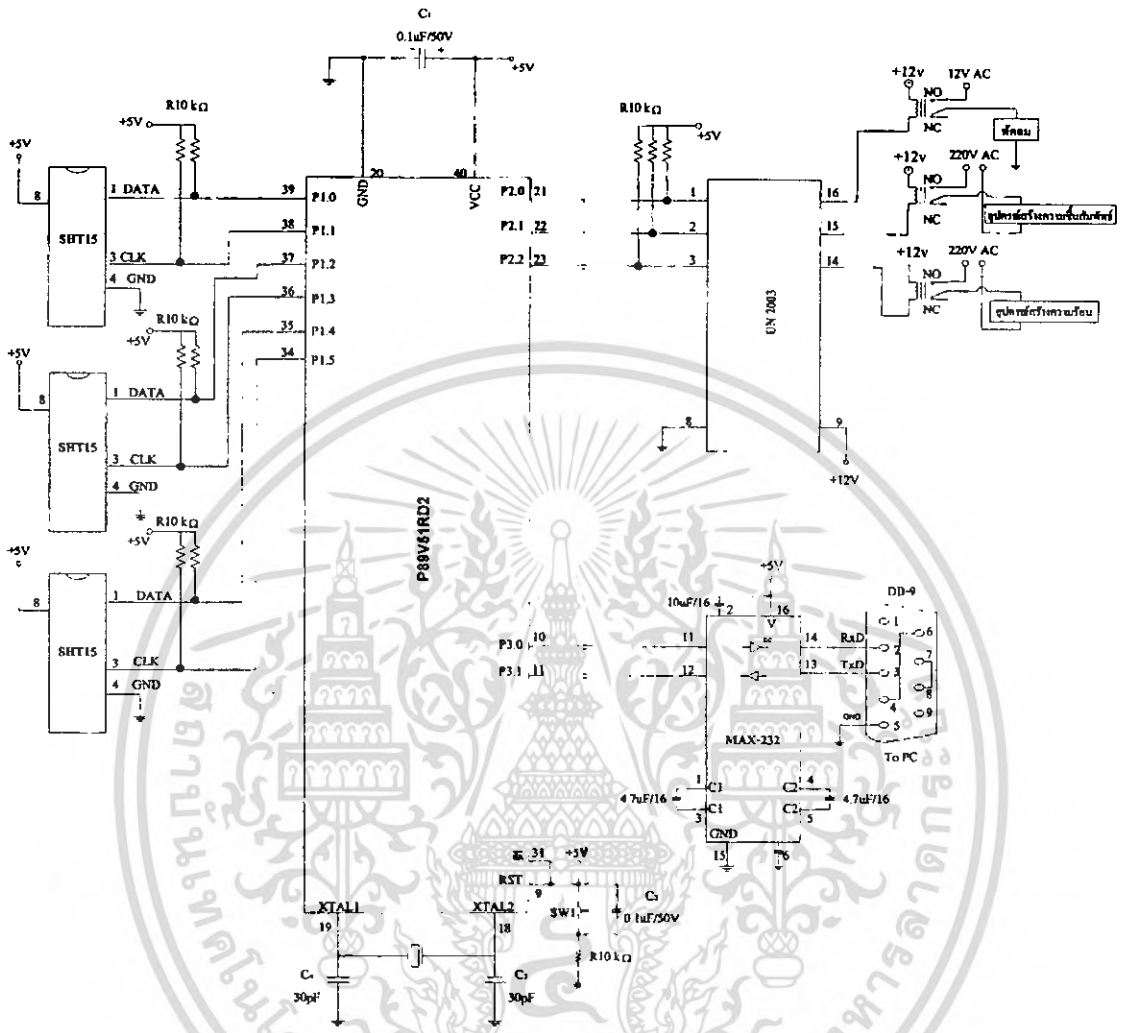
แหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดแรงดัน 5 โวลต์ การป้อนแหล่งจ่ายไฟจะทำผ่านขา 40 (Vcc) และขา 20 (GND)

สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของระบบ เนื่องจากภายใน MCS-51 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ในตัว จึงง่ายต่อการใช้งานเพียงต่อคริสตัลความถี่ 18.432 เมกะเฮิรตซ์ ที่ขา 18 และขา 19 และทำการต่อตัวเก็บประจุที่ขาทั้ง 2 ลงกราวด์

ส่วนการรีเซตเพื่อเริ่มต้นการทำงาน โดยทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไปที่จุดเริ่มต้น เงื่อนไขการรีเซตคือ สัญญาณลอจิก 1 ที่ขา 9 (Reset) อย่างน้อยเป็นเวลา 2 วงรอบการทำงานของคำสั่ง

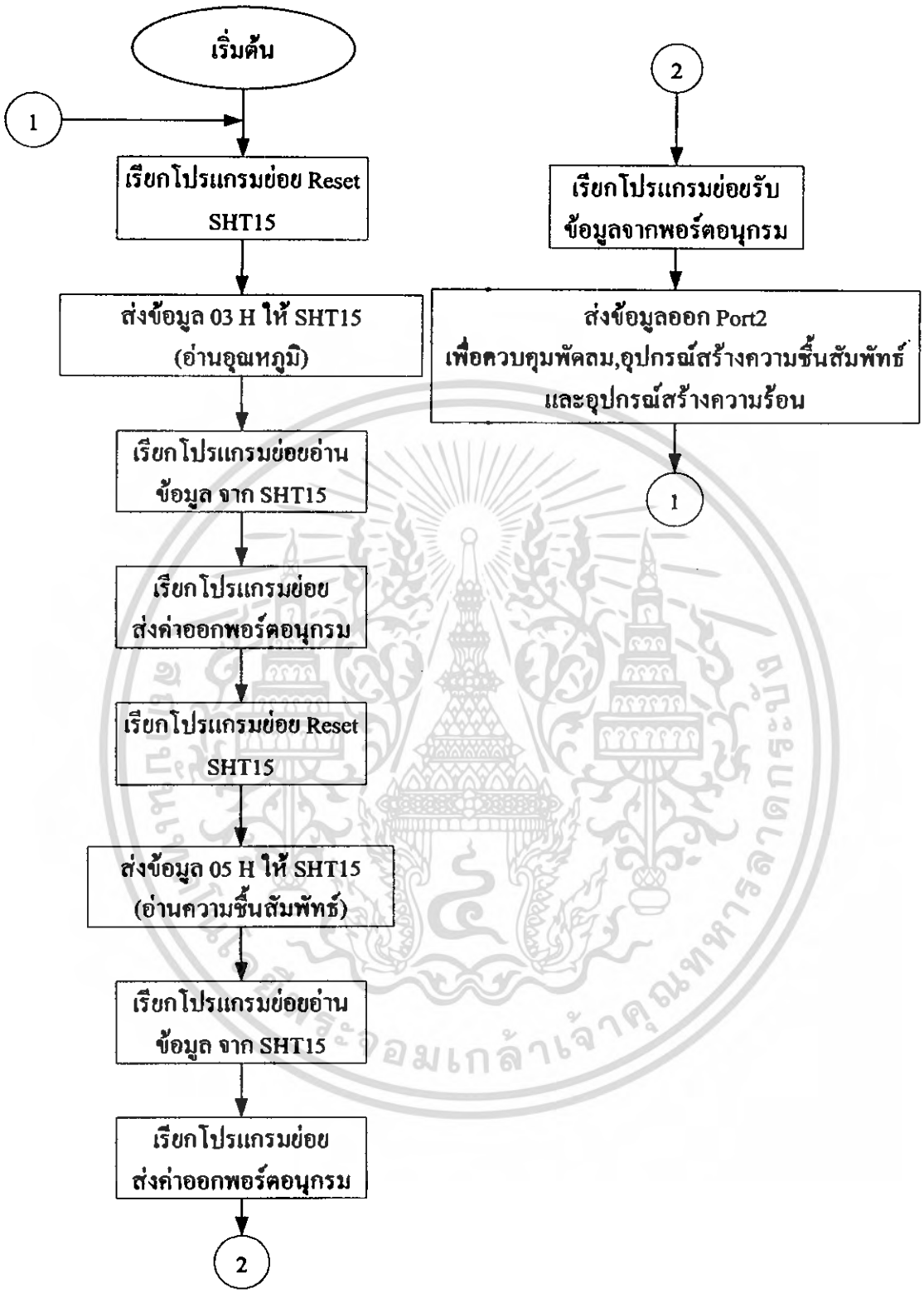
การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน จะมีการต่อ ขา $\overline{EA}$ เข้ากับ Vcc เพื่อเป็นการใช้งานกับหน่วยความจำโปรแกรมภายในและส่วนสุดท้ายคือ ส่วนของพอร์ตเอาท์พุทจะใช้ด้วยกันทั้งหมด 3 พอร์ตคือ พอร์ต 1 เป็นพอร์ตที่ใช้ต่ออุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พอร์ต 2 ต่อกับส่วนการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์สร้างความร้อน, พัดลมและอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic)พอร์ต 3 เป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โฟลว์ชาร์ตของไมโครคอนโทลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 คำอธิบายโฟลว์ชาร์ตของไมโครคอนโทรเลอร์

1. อินนิเชียลพอร์ตอนุกรมเพื่อที่จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์

2. Reset Sensor SHT15 (อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) เพื่อที่จะสร้างสภาวะเริ่มต้นพร้อมที่จะทำงาน และจะต้องสร้างสัญญาณ Reset ขึ้นก่อน โดยที่ทำให้ขา Data มีสถานะลอจิกเป็น "1" นานเท่ากับช่วงเวลาของ สัญญาณนาฬิกาที่ขา SCK 9 ลูกติดต่อกัน แล้วตามด้วยการสร้างภาวะเริ่มต้นการส่งสัญญาณ

3. ส่งคำสั่งไปให้ Sensor SHT15 (อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) เพื่อที่จะทำการอ่านค่าอุณหภูมิในที่นี้คำสั่งมีค่าเป็น 03H ในที่นี้จะเรียกใช้โปรแกรมย่อยชื่อ WRITE_MEASUR

4. อ่านค่าอุณหภูมิจาก Sensor SHT15 (อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) ในที่นี้เป็นการอ่านค่าอุณหภูมิ เพราะจาก ข้อที่ 3 ได้ส่งคำสั่งสำหรับการอ่านค่า อุณหภูมิไปให้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในที่นี้ทำการรับข้อมูลมา 2 ครั้งเป็นครั้งละ 8 บิต ในที่นี้จะใช้โปรแกรมย่อยที่ชื่อ READ_MEASUR สำหรับอ่านค่า

5. ทำการส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและแสดงค่าของอุณหภูมิ ในที่จะส่งข้อมูลผ่านทางโปรแกรมย่อยชื่อ TX_BYTE

6. ทำเหมือนข้อ 2.

7. ส่งคำสั่งไปให้ Sensor SHT15 (อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) เพื่อที่จะทำการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ในที่นี้คำสั่งมีค่าเป็น 05H ในที่นี้จะเรียกใช้โปรแกรมย่อยชื่อ WRITE_MEASUR

8. ทำการส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและแสดงค่าของความชื้นสัมพัทธ์ ในที่จะส่งข้อมูลผ่านทางโปรแกรมย่อยชื่อ TX_BYTE

9. รอรับค่าจากคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาไปสั่งงานพัดลม

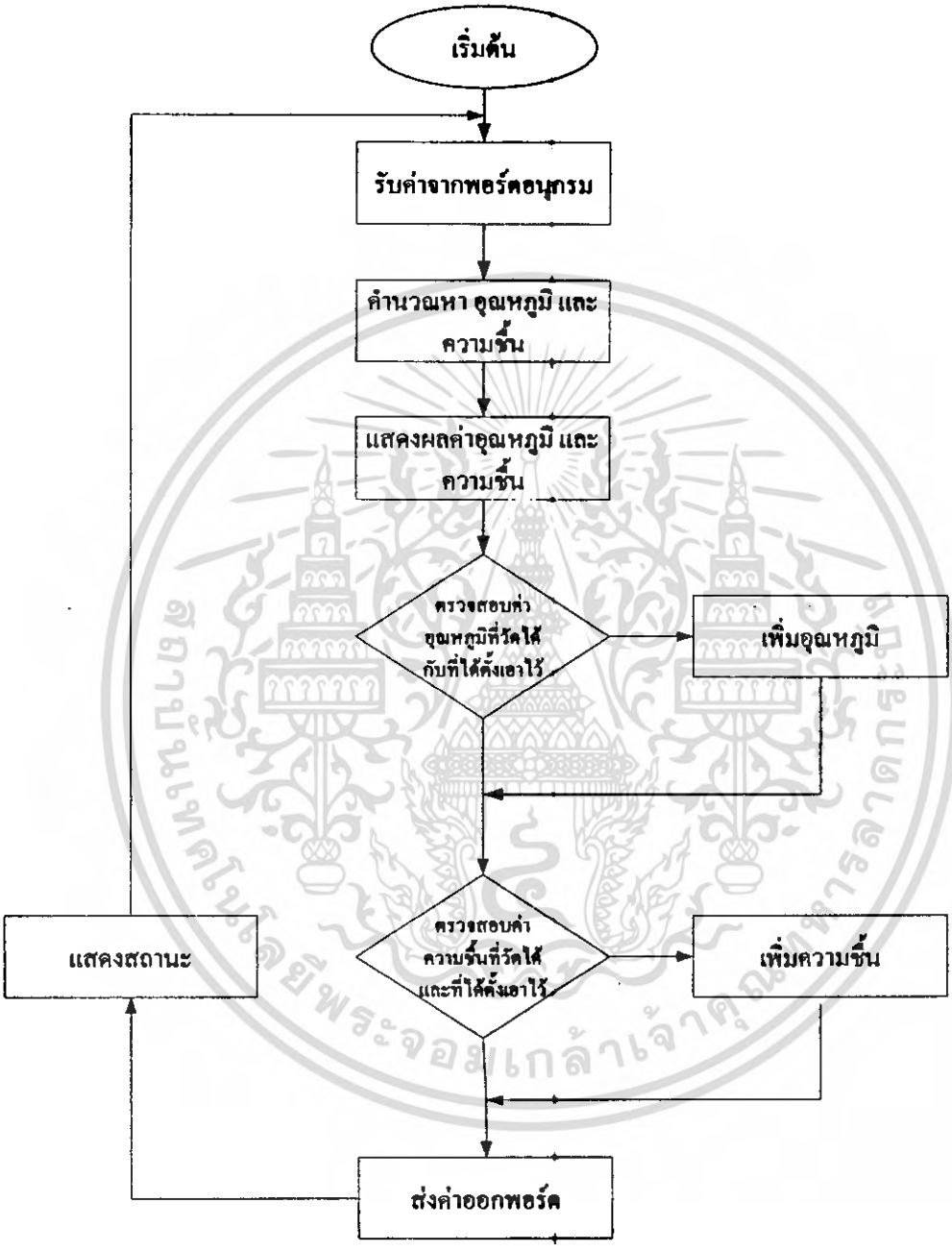
10. รอรับค่าจากคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาไปสั่งงานอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์

11. รอรับค่าจากคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาไปสั่งงานอุปกรณ์สร้างความร้อน

3.3 ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้

ในส่วนนี้ผู้ใช้จะสามารถรู้สถานะปัจจุบันของ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของเห็ด ได้ว่าเป็นอย่างไรเพื่อที่จะได้สามารถนำไปวิเคราะห์ โดยที่ในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้นี้สามารถที่จะให้ผู้ใช้ปรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบ Manual หรือจะให้โปรแกรมจัดการปรับค่าอุณหภูมิ กับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ให้อัตโนมัติตามที่เราตั้งไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รูปการออกแบบโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้

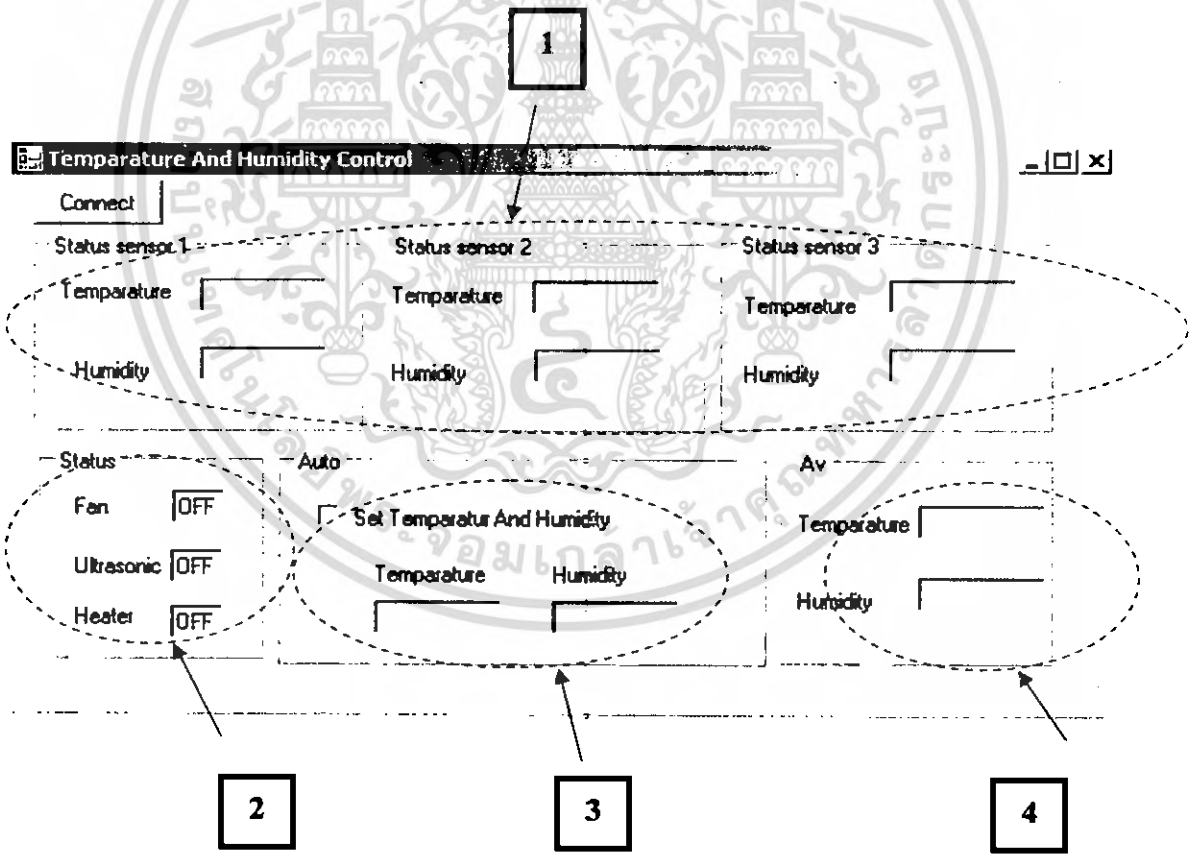
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 คำอธิบายในส่วนของโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้

1. รับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จาก พอร์ตสื่อสารอนุกรม
2. นำค่าที่อ่านมาคำนวณ จะได้ค่า อุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่เป็นจริง
3. นำค่าอุณหภูมิ และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่คำนวณได้มาแสดง
4. ตรวจสอบว่าค่าอุณหภูมิปัจจุบันกับค่าที่ตั้งเอาไว้ ถ้าอุณหภูมิปัจจุบันน้อยกว่าจะทำการเพิ่มอุณหภูมิ
5. ตรวจสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบันน้อยกว่า ทำการเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์
6. ส่งค่าออกพอร์ตสื่อสารอนุกรมเพื่อแสดงผลและเข้าสู่กระบวนการประมวลผล

3.4 การออกแบบส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งาน

ส่วนของการออกแบบส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งานจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 ส่วน ดังรูปข้างล่างนี้โดยส่วนต่างๆจะมีการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 ส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการแสดงค่าของอุณหภูมิ และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

Text Box Temperature ทำหน้าที่ในการแสดงค่าของอุณหภูมิ

Text Box Humidity ทำหน้าที่ในการแสดงค่าของความชื้นสัมพัทธ์

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการแสดงสถานะของพัดลม, อุปกรณ์สร้างความร้อนและอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์(Ultrasonic) ที่ทำการกำเนิดละอองน้ำ และ พัดลมเพื่อที่จะระบายอากาศ

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ผู้ใช้ต้องการให้โปรแกรมทำงานตามค่าที่ได้ตั้งไว้

Text Box Temperature สามารถใส่ค่าเข้าไปได้ ใส่เพื่อที่จะให้ค่าอุณหภูมิเป็นไปตามที่ผู้ใช้ได้ตั้งค่าไว้

Text Box Humidity สามารถใส่ค่าเข้าไปได้ ใส่เพื่อที่จะให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นไปตามที่ผู้ใช้ได้ตั้งเอาไว้

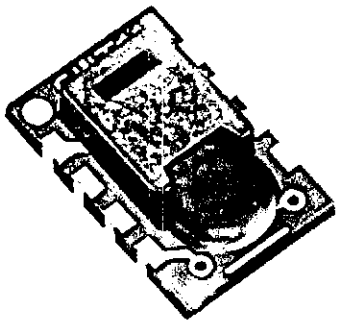
ส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

3.5 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT15)

3.5.1 คุณสมบัติของโมดูลเอส เอชที 15 (SHT15)

1. ทำหน้าที่เป็นทั้งตัววัดอุณหภูมิและความชื้นภายในตัวเดียวกัน
2. สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้ 3 แบบ
   - ความละเอียดข้อมูลที่ประมวลผล14 บิตเวลาที่ใช้ประมวลผล 210 มิลลิวินาที
   - ความละเอียดข้อมูลที่ประมวลผล12 บิตเวลาที่ใช้ประมวลผล 55 มิลลิวินาที
   - ความละเอียดข้อมูลที่ประมวลผล 8 บิต เวลาที่ใช้ประมวลผล 11 มิลลิวินาที
3. มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ
4. ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 โวลต์ ถึง +5.5 โวลต์
5. มีความเสถียรภาพในการทำงานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 โมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)

3.5.2 ขาสัญญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)

1. ขาสัญญาณนาฬิกา (SCK) ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะในการสื่อสารข้อมูล

2. ขาสัญญาณรับและส่งข้อมูล (DATA) เป็นขาสัญญาณสำหรับรับและส่งข้อมูล

3.5.3 การสื่อสารข้อมูลของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)

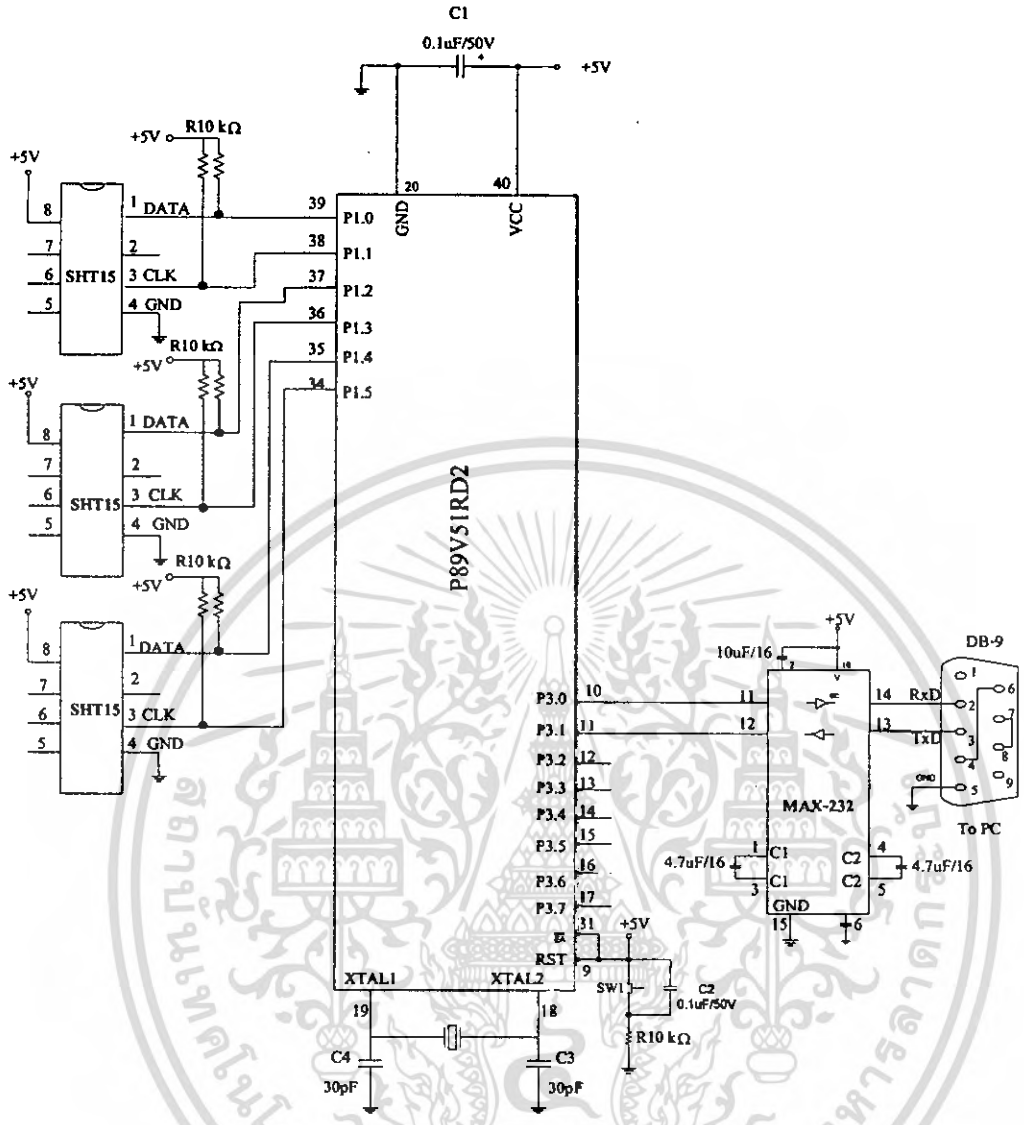
1. การสื่อสารข้อมูลจะเป็นแบบมาตรฐาน I^2C

2. เมื่อต้องการอ่านค่าอุณหภูมิ (Measure Temperature) จะส่งข้อมูลคำสั่ง "00000011" โดยโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15) จะเป็นตัวรับคำสั่ง

3. เมื่อต้องการอ่านความชื้นสัมพัทธ์ (Measure Humidity) จะส่งข้อมูลคำสั่ง "00000101" โดยโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15) จะเป็นตัวรับคำสั่ง

4. เมื่อทำการวัดอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ เรียบร้อยแล้ว จะส่งข้อมูลกลับมาให้เป็นข้อมูล 16 บิต "00XXXXXXXXXXXXXX"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

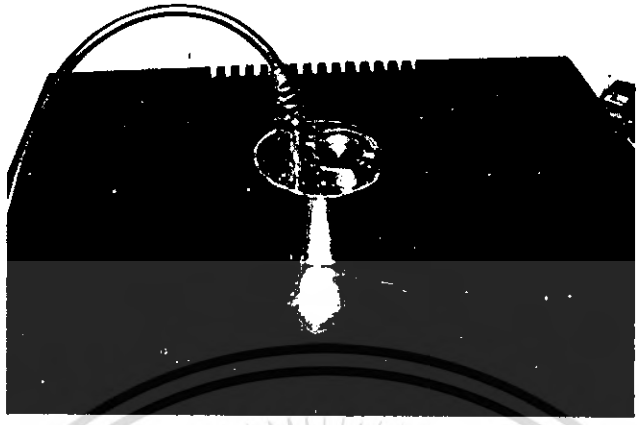


รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)

3.6 อุปกรณ์สร้างความชื้นอัลพัทร์ (Ultrasonic)

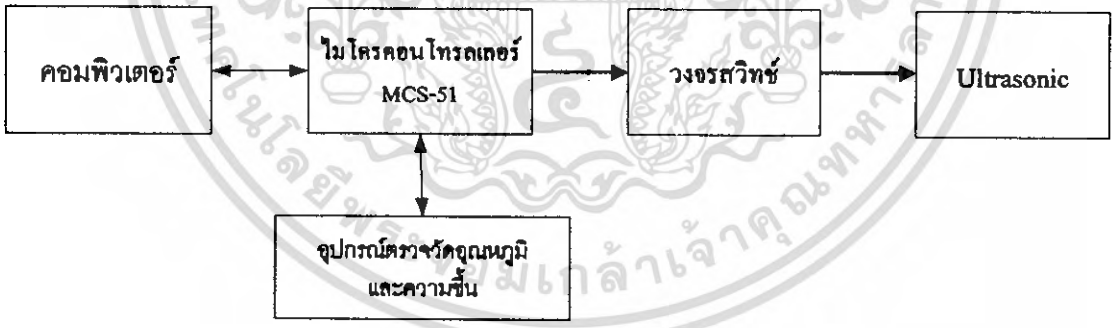
เป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการทำให้น้ำ หรือสารละลายเกิดเป็นละอองไอน้ำเล็กๆฟุ้งกระจายไปในอากาศได้เช่นเดียวกับการให้ความร้อนแก่น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ แต่ลักษณะการเกิดเป็นละอองไอน้ำจากอุปกรณ์พ่นละอองสารละลายแตกต่างจากการต้มน้ำที่ไม่ต้องทำให้น้ำเดือดก่อน โดยใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคที่มีความถี่สูงมากตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 กิโลเฮิรตซ์แทน ความถี่ดังกล่าวทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนมีการหด และขยายตัวเกิดแรงดันสูงทำให้ความหนาแน่นของอุณหภูมิของน้ำเปลี่ยน เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำด้วยความเร่งสูงมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกนับแสนเท่าทำให้อนุภาคน้ำหลุดออกจากผิวน้ำมีลักษณะเป็นน้ำพุเล็กและละอองไอน้ำขนาดประมาณ 0.4 ถึง 1.5 ไมครอนลอยไปในอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic)

หลักการทำงานของอุปกรณ์ประกอบด้วย เปียโซอิเล็กทริคทรานดิวเซอร์เป็นสารทรานดิวเซอร์บรรจุอยู่ในภาชนะที่สามารถแช่อยู่ในน้ำหรือสารละลายได้และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นจะกระตุ้นให้เปียโซอิเล็กทริคทรานดิวเซอร์ เกิดการสั่นด้วยความถี่ประมาณ 2,000 กิโลเฮิรตซ์ไปยังน้ำหรือสารละลายเร่งให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เร็วจนมีความเร็วมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้เกิดเป็นไอน้ำฟุ้งกระจายไปในอากาศได้



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic) พื้นฐาน

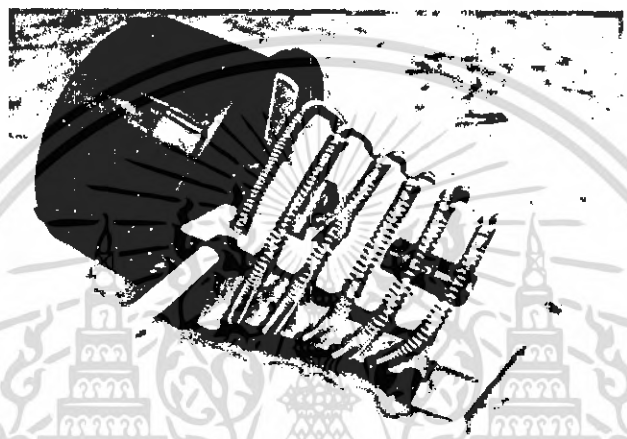
คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ประมวลผลตัดสินใจว่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับที่ตั้งค่าไว้หรือไม่ แล้วจะส่งลอจิกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้สวิทช์เปิดในกรณีถ้าความชื้นสัมพัทธ์ไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 หลักการออกแบบและการควบคุมอุณหภูมิ

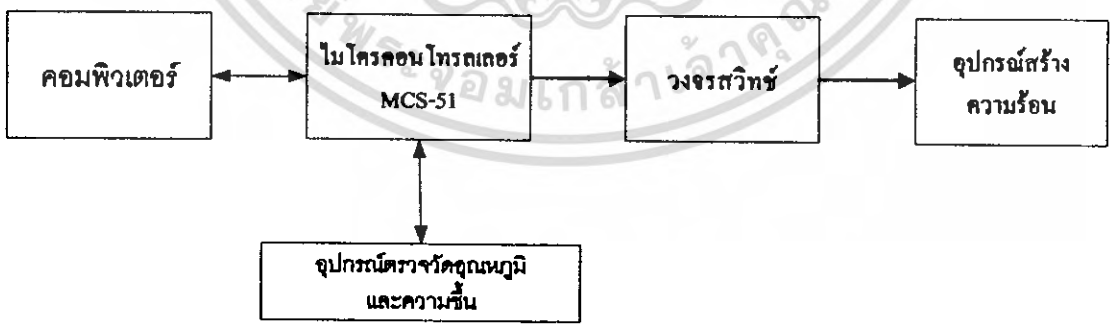
เนื่องจากโครงงานนี้เลือกเพาะเห็ดโคนญี่ปุ่นซึ่งเห็ดชนิดนี้จำเป็นต้องเพาะภายในโรงเรือนเท่านั้น โดยที่อุณหภูมิที่จำเป็นต่อการออกดอกของเห็ดโคนญี่ปุ่นจะอยู่ในช่วง 27-34 องศาเซลเซียสและความชื้นอยู่ในช่วง 80-85%

ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเห็ด โดยเฉพาะการควบคุมอุณหภูมิ โดยไม่ต้องคำนึงถึงการลดอุณหภูมิ จึงทำการเพิ่มอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวเพราะดอกเห็ดต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์สร้างความร้อน

ในการเพิ่มอุณหภูมิในโครงงานนี้ได้นำไดร์เป่าผมขนาด 250โวลต์/930วัตต์ มาใช้เป็นอุปกรณ์สร้างความร้อน

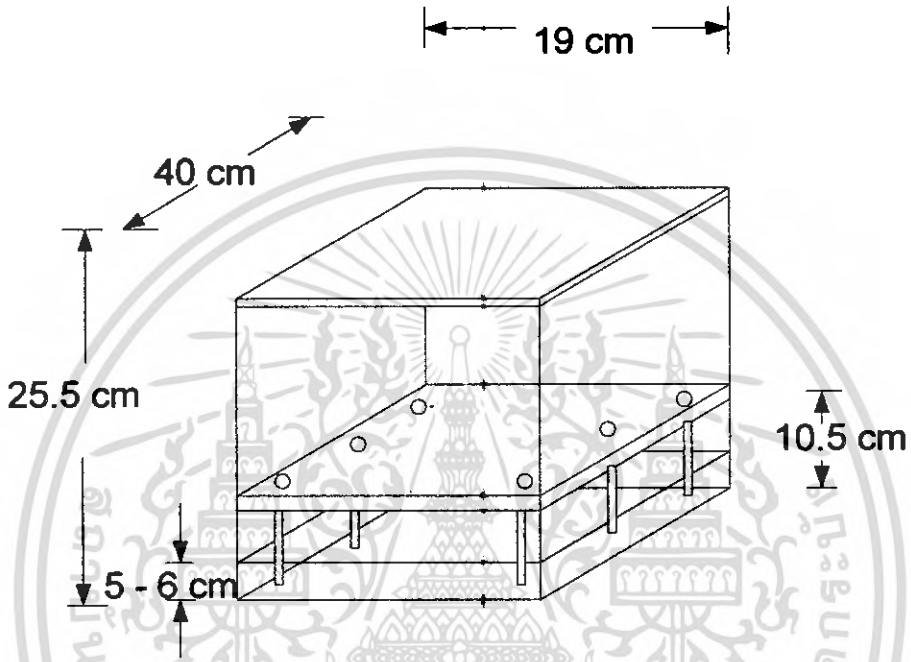


รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์สร้างความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ประมวลผลตัดสินใจว่าอุณหภูมิอยู่ในที่ระดับที่ตั้งค่าไว้หรือไม่ แล้วจะส่งลอจิกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้สวิทช์เปิดในกรณีถ้าอุณหภูมิไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้

3.8 แบบโรงเรือนจำลองเพาะเห็ด

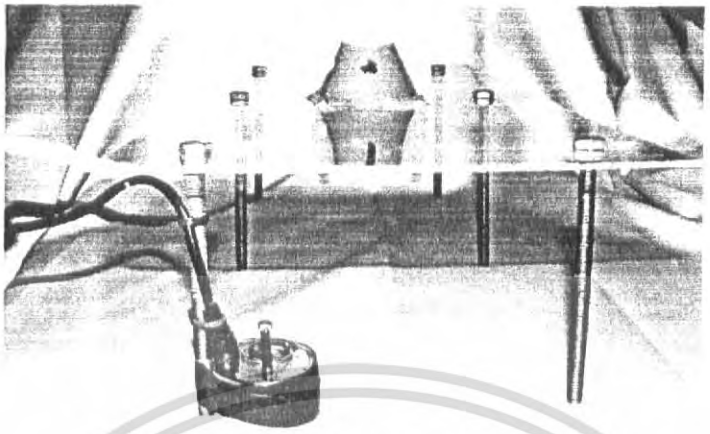


รูปที่ 3.13 โรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง

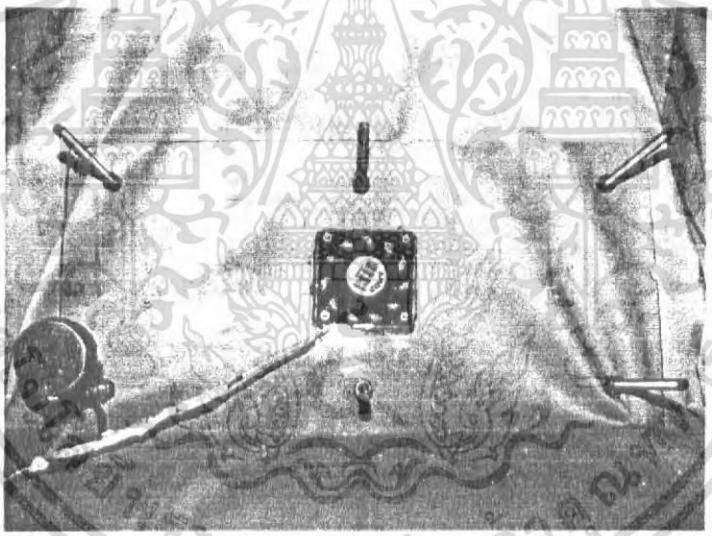
โครงสร้างของโรงเรือนเพาะเห็ดจำลองมีขนาดความสูง 25.5 เซนติเมตร, กว้าง 19 เซนติเมตร และยาว 40 เซนติเมตร โดยทำการแบ่งโรงเรือนจำลองออกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนสูง 15 เซนติเมตร ชั้นล่างมีความสูงจากพื้นโรงเรือน 10.5 เซนติเมตร และบริเวณพื้นของโรงเรือนเป็นน้ำที่มีความสูง 5 – 6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์



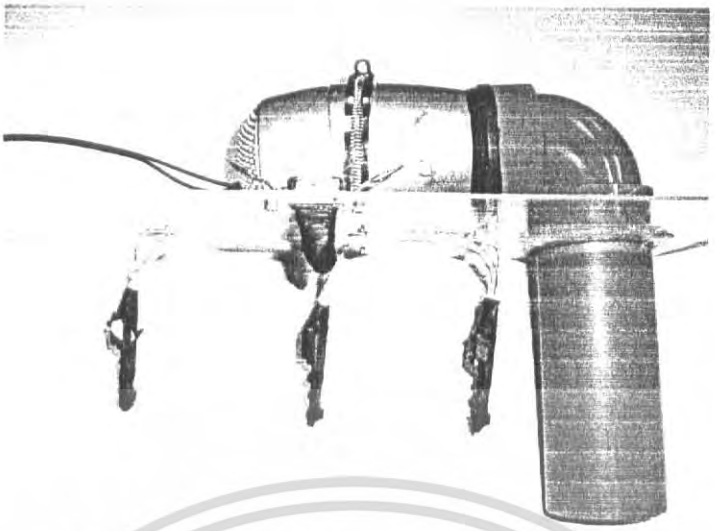
รูปที่ 3.14 ชั้นวางก้อนเห็ด (ด้านข้าง)



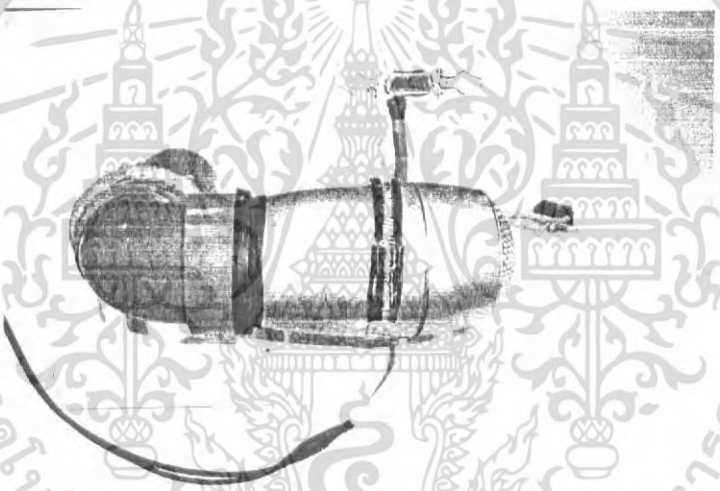
รูปที่ 3.15 ชั้นวางก้อนเห็ด (ด้านล่าง)

ชั้นวางก้อนเห็ดมีขนาดกว้าง 18.3 เซนติเมตร ,ยาว 39.3 เซนติเมตรและสูง10.5 เซนติเมตร มีอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับชั้นวางเห็ด 2 ชิ้น คือ อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์(Ultrasonic) และชุดพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



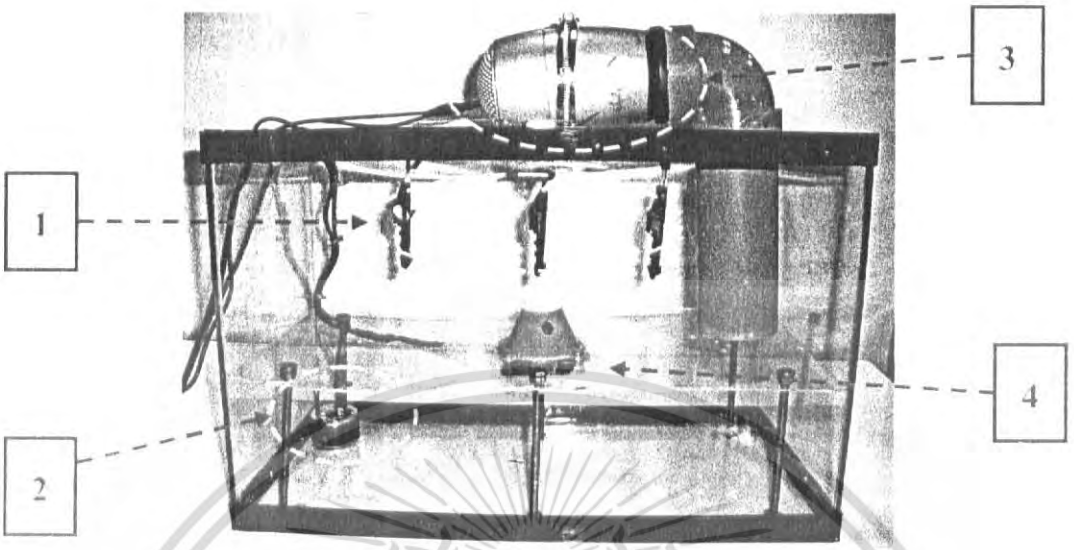
รูปที่ 3.16 ฝาปิดด้านบนของโรงเรือน (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.17 ฝาปิดด้านบนของโรงเรือน (ด้านบน)

บนฝาปิดของโรงเรือนมีขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร และ ยาว 40 เซนติเมตรติดตั้งอุปกรณ์สร้างความร้อนและชุดอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โรงเรือนจำลองพร้อมใช้งาน

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.18 โดยมีอุปกรณ์ติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆดังนี้

1. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
2. อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์
3. อุปกรณ์สร้างความร้อน
4. พัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบวงจรสวิทช์

4.1.1 วัตถุประสงค์

ทดสอบการทำงานของวงจรสวิทช์ที่จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic), พัดลมและอุปกรณ์สร้างความร้อน

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

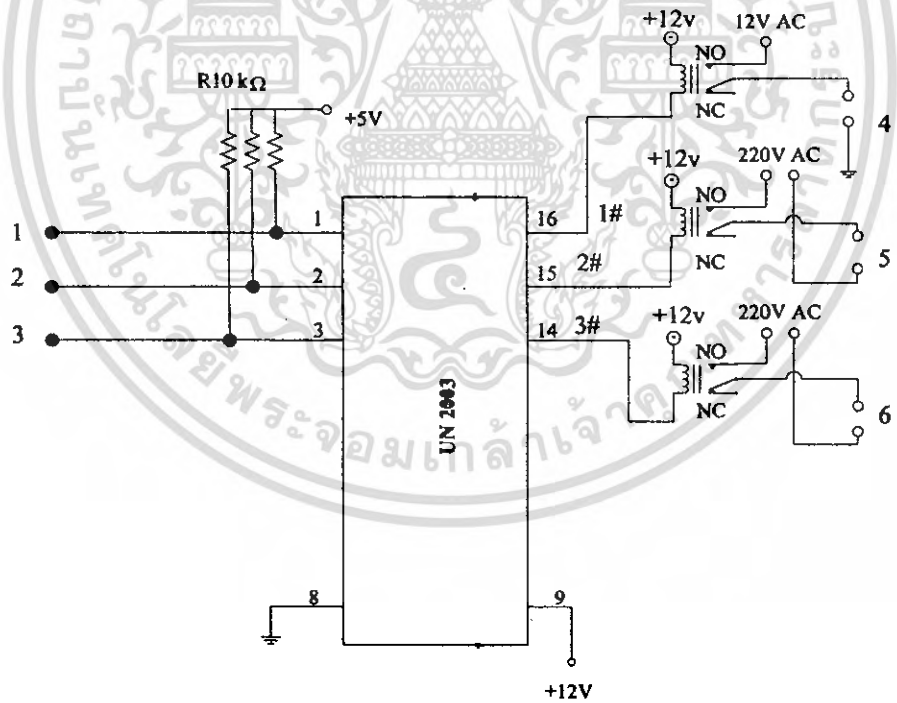
1.วงจรสวิทช์ 1 ชุด

2.แหล่งจ่ายไฟตรงปรับค่าได้ 2 เครื่อง

3.มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1.ต่อวงจรดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรสวิทช์

2.ป้อน ไฟ 5 โวลต์ให้กับจุดที่ 1

3.นำมัลติมิเตอร์ตั้งย่านโวลต์ วัดค่าความต่างศักย์ที่จุด 1#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.นำมัลติมิเตอร์ ตั้งย่านโอห์มวัดจุดที่ 4 สังเกตการณ์ติดดับของรีเลย์ 12 โวลต์

5.ป้อน 0 โวลต์ให้กับจุดที่ 1

6.นำมัลติมิเตอร์ตั้งย่านโวลต์ วัดค่าความต่างศักย์ที่จุด 1#

7.นำมัลติมิเตอร์ ตั้งย่านโอห์มวัดจุดที่ 4 สังเกตการณ์ติดดับของรีเลย์ 12 โวลต์

8.ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 7 กับจุดที่ 2 และ 3 โดยทำการวัดและบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงที่จุด 2#,5 และ3#, 6 ตามลำดับ

4.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงสถานะของรีเลย์

จุดที่	1	1#	4	2	2#	5	3	3#	6
สถานะ	5 (โวลต์)	0 (โวลต์)	Off	5 (โวลต์)	0 (โวลต์)	Off	5 (โวลต์)	0 (โวลต์)	Off
	0 (โวลต์)	5 (โวลต์)	On	0 (โวลต์)	5 (โวลต์)	On	0 (โวลต์)	5 (โวลต์)	On

จากการทดลองวงจรสวิทช์เมื่อป้อนไฟ 5 โวลต์ให้กับจุดทดสอบที่1, 2 และ 3 จะทำให้รีเลย์ดับ และเมื่อป้อน 0 โวลต์จะทำให้รีเลย์ติด

4.2 การทดลองที่ 2 การสร้างความชื้นภายในโรงเรือน

4.2.1 วัตถุประสงค์

ศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการเพาะเห็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.โรงเรือนจำลอง

2.ไมโครคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง เพื่อแสดงผลและส่งสัญญาณควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้สั่งการเปิด – ปิด อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์

4.อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

5.อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic)

6.โปรแกรม Visual C#

7.ไดร์เป่าผม 1 เครื่อง

8.นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1.เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันพร้อมติดตั้ง Visual C# ลงในคอมพิวเตอร์

2.เขียนโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาแสดงค่าความชื้นแล้วทำการประมวลผลตามความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมแล้วทำการสั่งงานไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ตั้งค่าไว้

3.ใช้ไดร์เป่าผมเป่าลดความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนให้มีประมาณ 50%

4.สั่งงานให้อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ทำงานเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นถึง 60% พร้อมกับเริ่มจับเวลา

5.สั่งงานให้อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์หยุดทำงานเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นถึง 85% และบันทึกผลการทดลอง

6.ใช้สูตรคำนวณหาอัตราการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ต่อวินาที

อัตราการสร้างความชื้นต่อวินาที = (H1-H2)/T

โดยที่ H1 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการกำหนดให้เป็น 85%

H2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เริ่มทดสอบ 60%

T คือ เวลาสร้างความชื้นสัมพัทธ์ (วินาที)

4.2.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการสร้างความชื้นต่อวินาที

ครั้งที่	เวลาสร้างความชื้นสัมพัทธ์(วินาที)	อัตราการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ต่อเวลา(%/วินาที)
1	49	0.510204082
2	46	0.543478261
3	48	0.520833333
4	47	0.531914894
5	46	0.543478261
6	46	0.543478261
7	49	0.510204082
8	48	0.520833333
9	49	0.510204082
10	47	0.531914894
11	48	0.520833333
12	47	0.531914894
13	46	0.543478261
14	48	0.520833333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลาสร้างความชื้นสัมพัทธ์(วินาที)	อัตราการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ต่อวินาที
15	48	0.520833333
16	49	0.510204082
17	47	0.531914894
18	48	0.520833333
19	47	0.531914894
20	47	0.531914894
21	46	0.543478261
22	46	0.543478261
23	49	0.510204082
24	48	0.520833333
25	47	0.531914894
26	48	0.520833333
27	48	0.520833333
28	47	0.531914894
29	46	0.543478261
30	48	0.520833333
31	48	0.520833333
32	47	0.531914894
33	49	0.510204082
34	47	0.531914894
35	49	0.510204082
36	47	0.531914894
37	47	0.531914894
38	47	0.531914894
39	46	0.543478261
40	46	0.543478261
41	47	0.531914894
42	48	0.520833333
43	48	0.520833333
44	49	0.510204082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic) สามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์จาก 60% ถึง 85% ในโรงเรือนจำลองได้ภายในเวลาเฉลี่ย 47.53 วินาที และ มีอัตราการเพิ่มของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือน 0.53% ภายใน 1 วินาที

4.3 การทดลองที่ 3 การเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือน

4.3.1 วัตถุประสงค์

ศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพื่อที่จะนำประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการเพาะเห็ดอย่างมีประสิทธิภาพ

4.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โรงเรือนจำลองที่ติดตั้งอุปกรณ์สร้างความร้อน
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

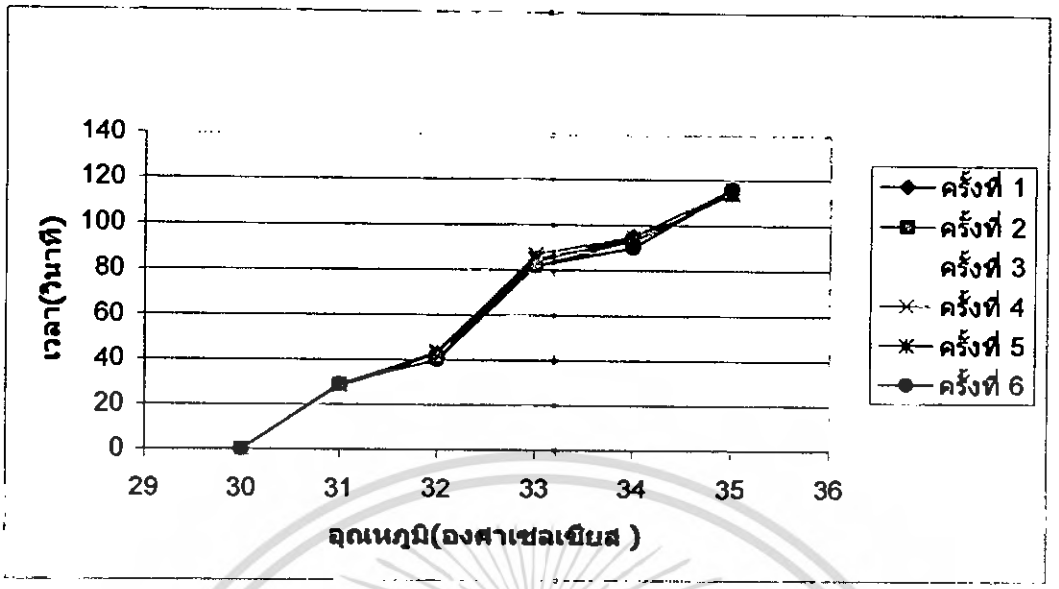
1. ทำการลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ได้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
2. เปิดอุปกรณ์สร้างความร้อน
3. บันทึกผลการทดลอง

4.3.4 ผลการทดลอง

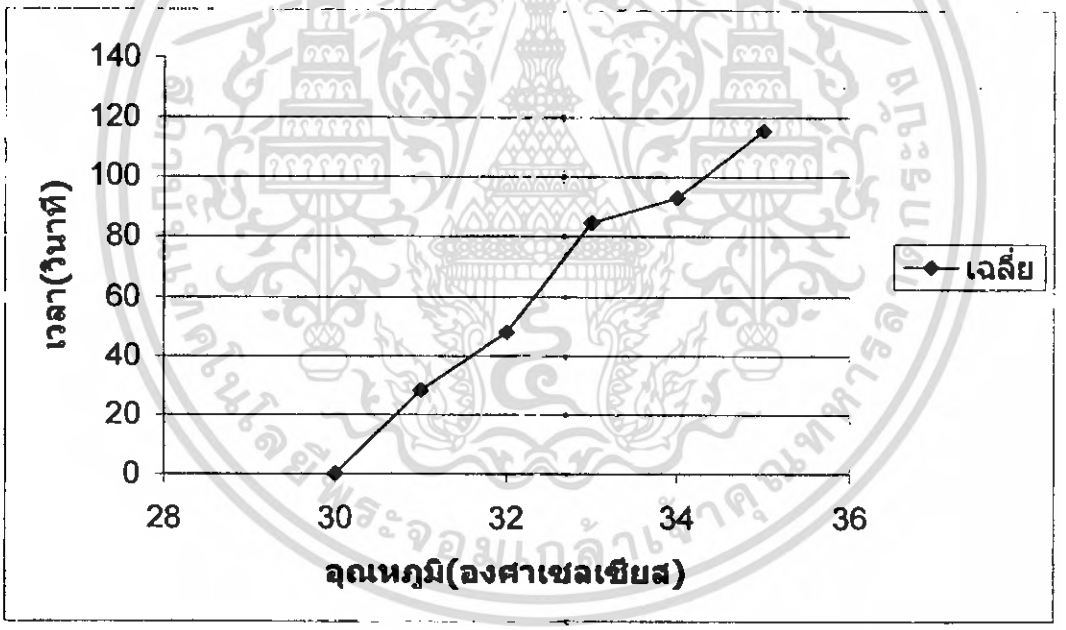
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบเวลา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่ 1 เวลา(วินาที)	ครั้งที่ 2 เวลา(วินาที)	ครั้งที่ 3 เวลา(วินาที)	ครั้งที่ 4 เวลา(วินาที)	ครั้งที่ 5 เวลา(วินาที)	ครั้งที่ 6 เวลา(วินาที)	ค่าเวลาเฉลี่ย (วินาที)
30	0	0	0	0	0	0	0
31	28	29	26	28	29	29	28.1666667
32	42	41	42	44	43	40	42
33	84	82	87	87	85	82	84.5
34	95	93	92	95	93	90	93
35	115	114	118	116	114	116	115.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิต่อเวลา



รูปที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิต่อเวลาเฉลี่ย

4.4 การทดลองที่ 4 ทดสอบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ด

4.4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการทำงานของระบบโดยรวม
2. เพื่อให้ทราบค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเวลาปัจจุบันได้
3. เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเห็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง

2.โรงเรือนจำลอง

3. ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.วงจรสวิทช์

5.ชุดอุปกรณ์สร้างความร้อนและความชื้นสัมพัทธ์

6.อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1.เติมน้ำในโรงเรือนจำลองชั้นล่างให้ได้ความลึก 5 – 6 เซนติเมตร พร้อมติดตั้งชุดอุปกรณ์สร้างความร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ และ อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

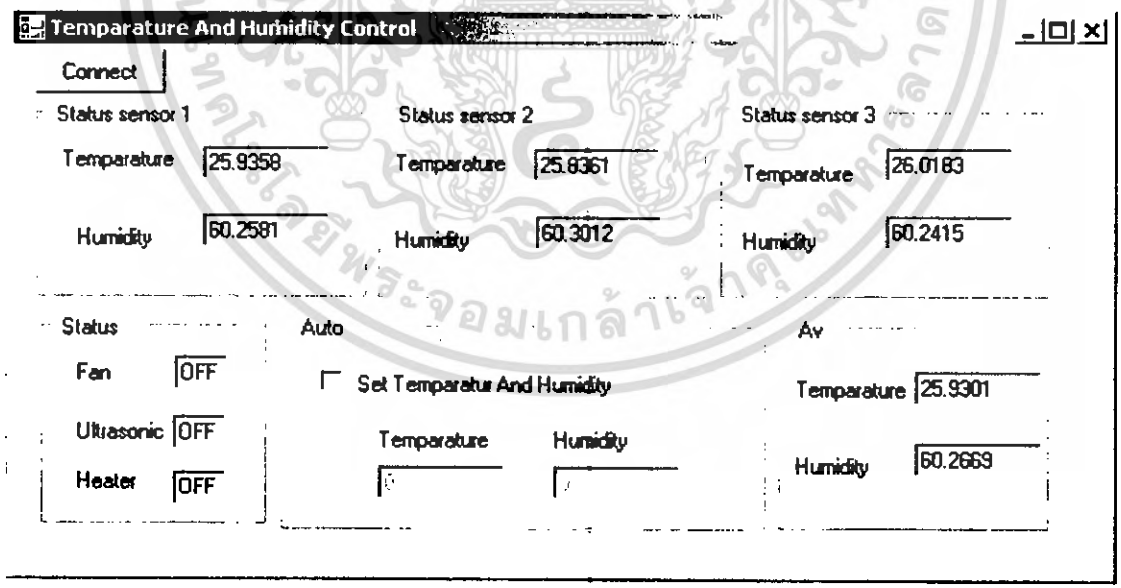
2.ทดสอบโปรแกรมในส่วนของการอ่านค่า

3.ทดสอบโปรแกรมในส่วนของการสั่งงานการควบคุมอุปกรณ์สร้างความร้อน

4.ทดสอบโปรแกรมในส่วนของการสั่งงานการควบคุมอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic)

5.ทดสอบความสามารถของชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ (Ultrasonic) ที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ

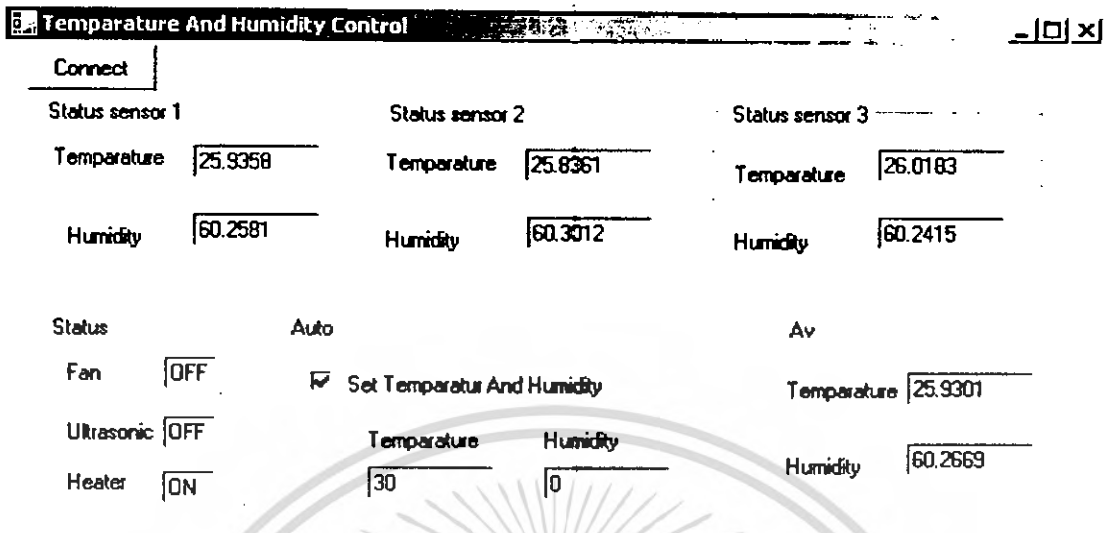
4.4.4 ผลการทดลอง



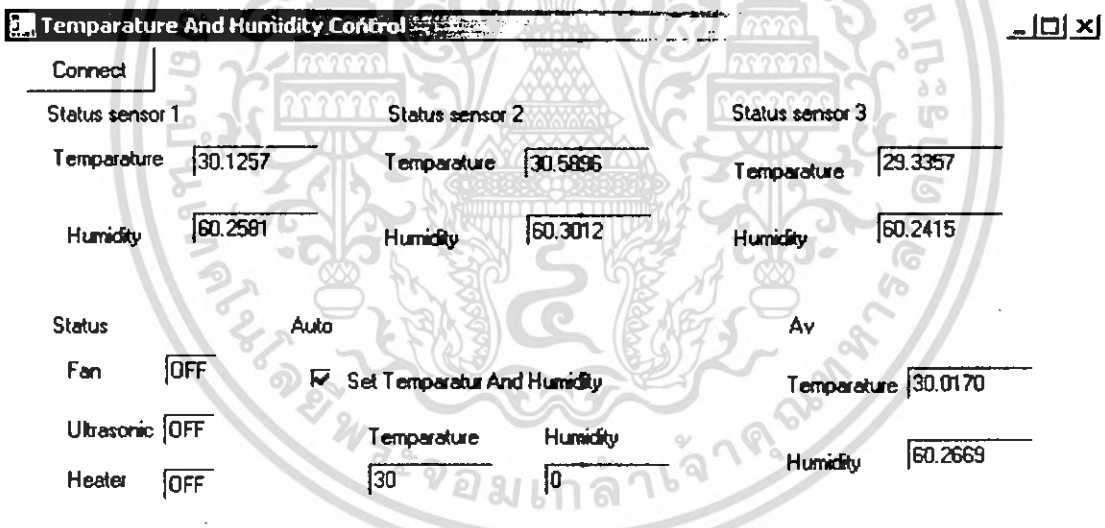
รูปที่ 4.4 แสดงส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งาน

โปรแกรมสามารถแสดงส่วนติดต่อของโปรแกรมกับผู้ใช้งานในการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



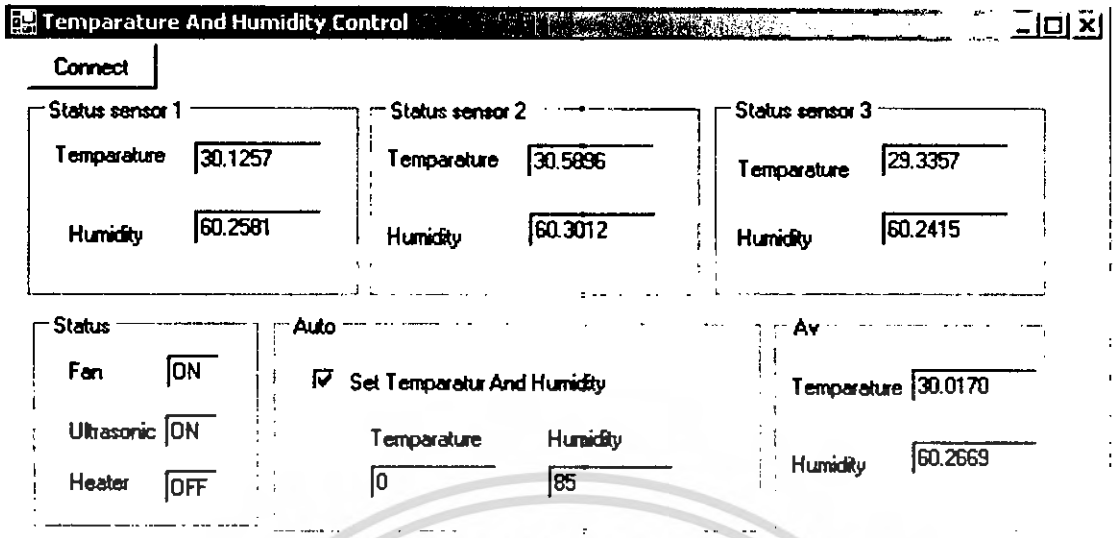
รูปที่ 4.5 แสดงการเริ่มทำงานของอุปกรณ์สร้างความร้อน



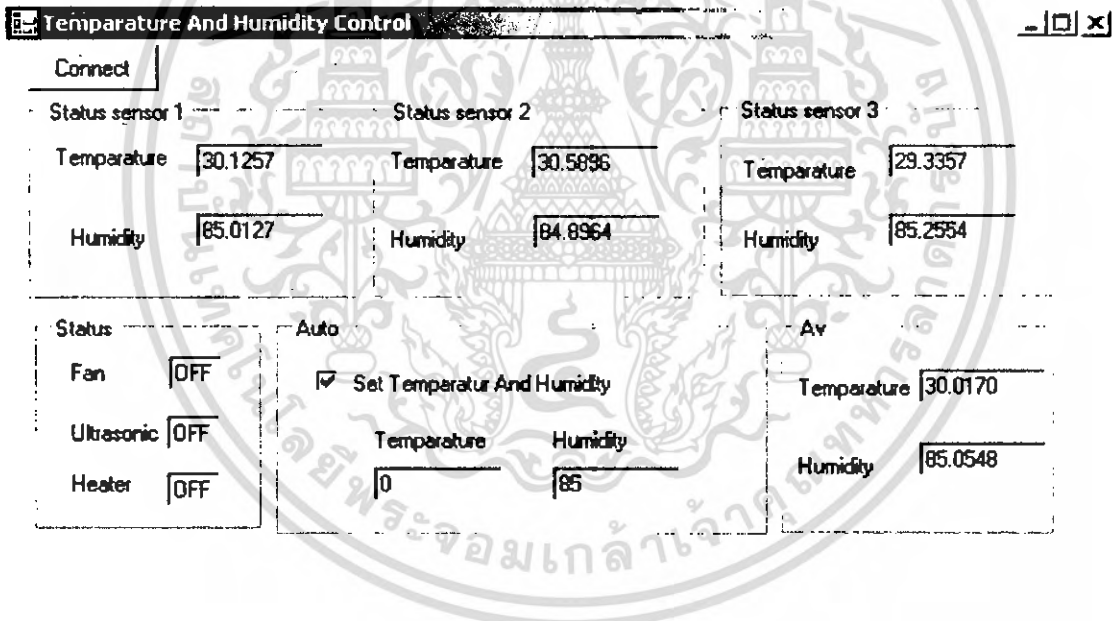
รูปที่ 4.6 แสดงการหยุดการทำงานของอุปกรณ์สร้างความร้อน

การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการสั่งงานการควบคุมอุปกรณ์สร้างความร้อนในการทดลองตั้งค่าอุณหภูมิที่ 30องศาเซลเซียส โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งค่าไว้กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและจะทำการสั่งให้อุปกรณ์สร้างความร้อนเมื่อค่าอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดดังรูปที่ 4.5 และจะสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์สร้างความร้อนเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มถึงค่าที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการเริ่มทำงานของชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4.8 แสดงการหยุดการทำงานของชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์

การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการสั่งงานการควบคุมอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ในการทดลองตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85% รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้อุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์จะทำการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ และจะสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มถึงค่าที่ได้กำหนดไว้ดังรูป4.8

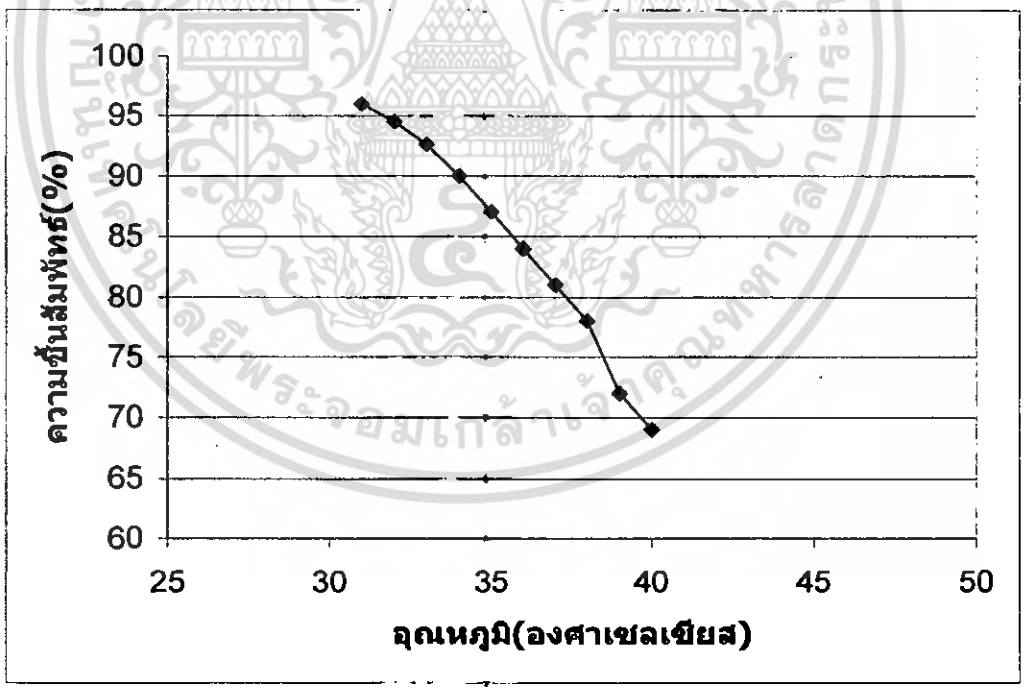
การทดสอบโปรแกรมในส่วนของการสั่งงานการควบคุมชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ในการทดลองตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ 85% โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งค่าไว้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยและจะทำการสั่งให้ชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์เมื่อค่าอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดดังรูปที่ 4.7 และจะสั่งหยุดการทำงานของชุดอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเพิ่มถึงค่าที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่4.8

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการสร้างความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในแต่ช่วงค่าอุณหภูมิ

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)
31	96
32	94.5
33	92.6
34	90
35	87
36	84
37	81
38	78
39	72
40	69



รูปที่ 4.9 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์

จากการทดลองทำให้ทราบถึงความสามารถในการสร้างความชื้นสูงสุดที่ค่าอุณหภูมิช่วง 31 องศาเซลเซียสถึง 40 องศาเซลเซียสจากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าที่ค่าอุณหภูมิต่ำจะสามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ได้มากกว่าค่าอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น

1.การสร้างความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่าอุณหภูมิสูงทำได้ช้าเนื่องจากที่ค่าอุณหภูมิสูงจะทำให้ละอองน้ำในอากาศระเหยเร็วขึ้น

2.การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ในช่วงที่ต้องการได้จากการทดลอง เมื่อสั่งหยุดการทำงานอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่าความชื้นที่ต้องการแล้วยังคงมีความชื้นบางส่วนที่ชั้นล่างของโรงเรือนจำลองผ่านขึ้นมายังชั้นปลูกเห็ดผ่านทางช่องพัดลมทำให้ค่าความชื้นยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อสั่งหยุดการทำงานอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์แล้ว

3.การกระจายความร้อนในโรงเรือนจำลองไม่ทั่วถึงเพราะแรงของลมที่กระจายออกมาไม่สามารถกระจายความร้อนออกไปได้ทั่วทุกส่วนของโรงเรือนในทันที ทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อ่านค่าอุณหภูมิได้ไม่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.สามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ได้เร็วขึ้นได้โดยทำการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์

2.แยกส่วนอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์และสร้างระบบส่งผ่านความชื้นสัมพัทธ์มายังโรงเรือนจำลองที่สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เฉพาะจุดได้

3.เพิ่มอุปกรณ์สร้างความร้อนเข้าไปในแต่ละจุดและสามารถเพิ่มความร้อนเฉพาะจุด

5.3 แนวทางการพัฒนา

1.สามารถใช้งานในโรงเรือนจริงได้

2.สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้เฉพาะจุด

3.ประยุกต์นำพลังงานธรรมชาติมาใช้ร่วมกับระบบด้วย เพื่อเป็นการลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

5.4 สรุปและวิจารณ์

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนจำลองสามารถควบคุมให้เข้าใกล้เป้าหมายได้ ถึงแม้ว่าจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนจำลอง เนื่องจากอุปกรณ์สร้างความร้อนและอุปกรณ์สร้างความชื้นสัมพัทธ์มีการทำงานไม่เป็นเชิงเส้น และอุณหภูมิจะมีผลกับค่าความชื้นสัมพัทธ์เพราะที่ค่าอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและใช้เวลามากขึ้นในการสร้างความชื้นสัมพัทธ์ จากการทดลองสามารถรับและส่งข้อมูลได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

นคร ภักดีชาติ และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. ม.ป.ป. **การทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ AT89Cx051**. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอร์เมนต์.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2546. **ภาษาแอสเซมบลี สำหรับ MCS – 51**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2547. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

สมยศ อุณณะปิติ. 2546. **การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

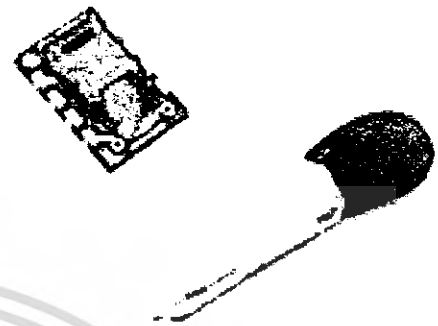
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHT1x

Humidity & Temperature Sensmitter

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



Preliminary Information March 2002

SHT1x Product Summary

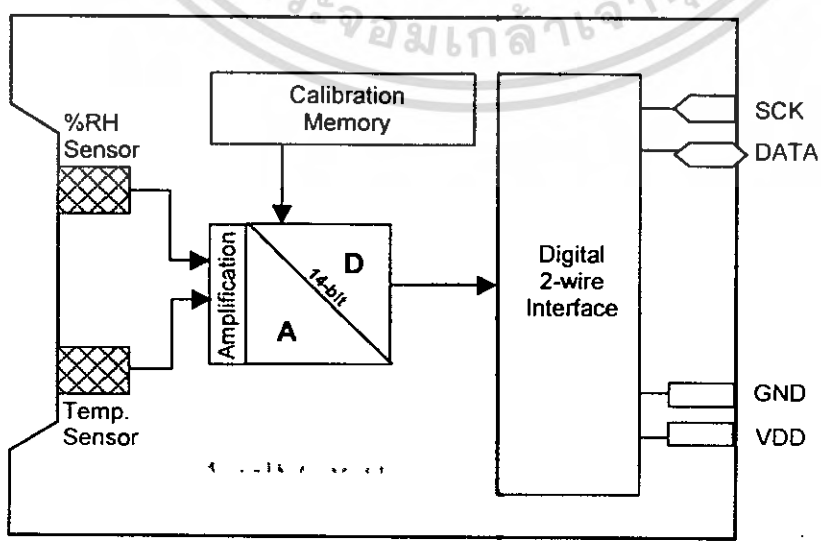
The SHT1x is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with customized post processing (CMOSens™ technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes two calibrated microsensors for relative humidity and temperature which 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 sensor is calibrated in a precision humidity chamber and 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 allows easy and fast system integration. Its tiny (7x5x3mm) size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications including automotive, instrumentation, medical equipment, heating, ventilation and air conditioning systems (HVAC), portable consumer electronics and battery-operated controllers.

The device is supplied in a surface-mountable LCC type package. Other packaging options are available on request.

SHT1x Single Chip Relative Humidity and Temperature Sensor Module



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Sensor Performance Specifications[1]

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution		0.5	0.03	0.03	% RH
		8	12	12	bit
Repeatability			±0.1		% RH
Accuracy[2] & Interchangeability		see figure 1			
Nonlinearity	10 - 90 %RH		±3		% RH
Range		0		100	% RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Hysteresis			±1		% RH
Long term stability	Typical		< 1		% RH/yr
Temperature					
Resolution		0.04	0.01	0.01	°C
					°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±.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

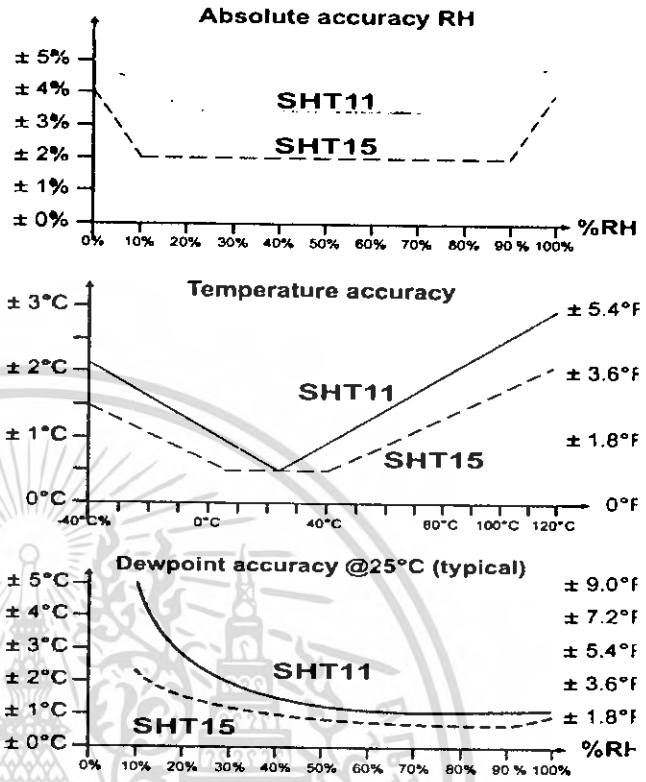


Figure 1 RH, Temperature and dewpoint accuracies

1.1 Converting the digital output to physical values

1.1.1 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:

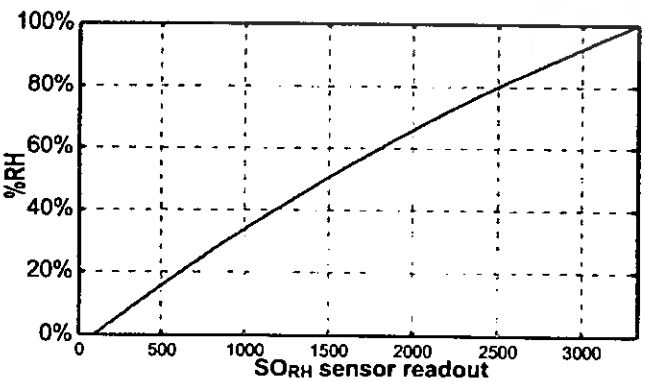
$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \bullet SO_{RH} + c_3 \bullet SO_{RH}^2$$

where SO_{RH} is the sensor readout for RH and with

$c_1 = -4$ $c_2 = 0.0405$ $c_3 = -2.8 * 10^{-6}$ for 12bit SO_{RH}

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

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



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

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

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

This equals ~0.12%RH / °C @ 50%RH

1.1.2 Temperature

The temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert from digital readout to temperature:

Temperature = $d_1 + d_2 * SO_T$

Use the appropriate table entries for 5V or 3V.

	Celsius		Fahrenheit	
SO_T	d_1	d_2	d_1	d_2
14bit 5V	-40	0.01	-40	0.018
12bit 5V	-40	0.04	-40	0.072
14bit 3V	-38.4	0.0098	-37.1	0.0176
12bit 3V	-38.4	0.0392	-37.1	0.0704

This equals a voltage dependency of ~ -0.2°C/V @ 25°C

1.1.3 Dewpoint

See application note "Dewpoint calculation" for more information.

[1] For operation within normal operation range as described in Chapter 3

[2] Not including non-linearity

[3] 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 อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือส่งต่อ ก่อนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียนเอกสารนี้

2 Serial Interface

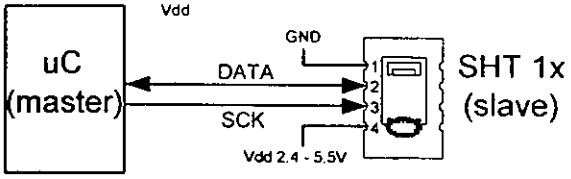


Figure 2 Typical application circuit

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

Table 2 SHT1x Pin Description

2.1 Power Pins

The SHT1x requires a voltage supply between 2.4V and 5.5V. After powerup the device requires 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 I/O Pins (Bidirectional 2-wire Interface)

See Table 5 for a detailed IO characteristics.

2.2.1 Serial clock input (SCK)

The SCK is used to synchronize the communication between a master and the SHT1x.

2.2.2 Serial data (DATA)

The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. Data must be updated on this pin after the falling edge and is valid on the rising edge of the serial clock SCK. An external pull-up resistor is required to pull the signal high. (See Figure 2). Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers

2.2.3 Command sequence

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 sequence consists of three address bits (only "000" is currently supported) and five command bits. The proper reception of a command by the SHT1x is indicated by pulling the ack bit low on the DATA pin.

See 2.2.5 "Measurement Sequence" for an application of the command sequence

2.2.4 Connection reset sequence

If communication with the SHT1x 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.

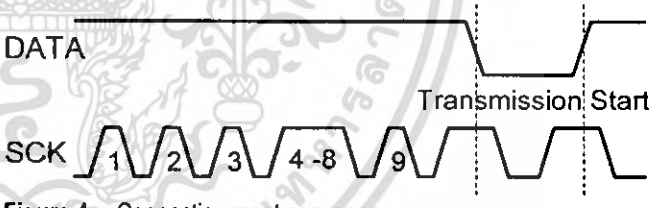
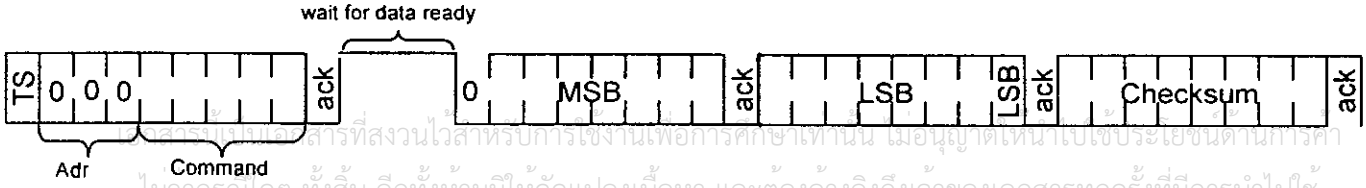


Figure 4 Connection reset sequence

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

Table 3 SHT1x list of commands



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 Measurement sequence (T and RH)

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210ms 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 SHT1x pulls down the data line (2) and the controller must restart SCK. 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).

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 SHT 11 automatically returns to sleep mode after the measurement and communication have finished.

Warning: To keep heat up of the SHT1x below 0.1°C it should not be active for more than 15% of the time (e.g. max. 3 measurements / second for 12bit accuracy).

2.2.6 CRC-8 Checksum Calculation

Please consult application note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

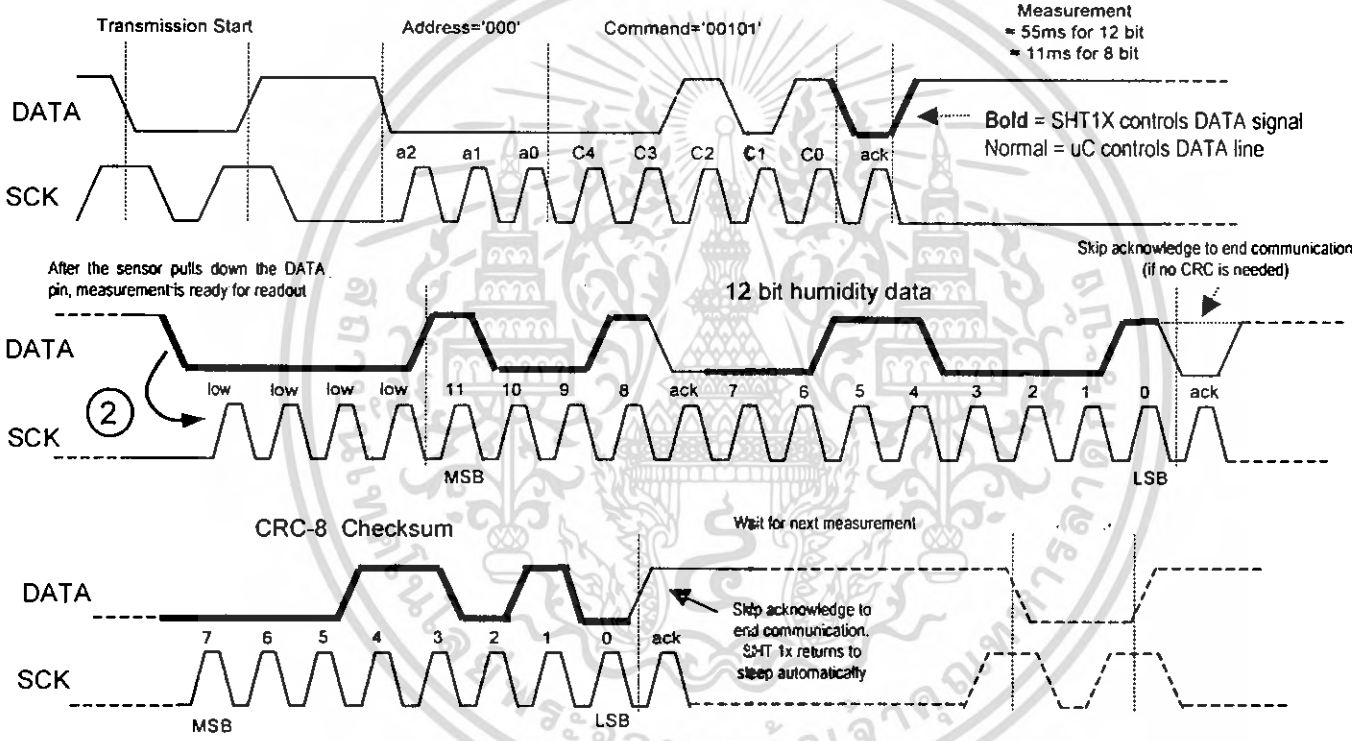


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001 ' 0011'0001"= 2353 = 75.79%RH

2.3 Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x are available through the status register. The following section gives a brief overview of these features. Please consult application note "Status Register" for more information.

2.3.1 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by approximately 5°C. Power consumption will increase by 8mA @ 5V.

Applications:

- By comparing temperature and humidity values before and after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.
- In high RH environments heating the sensor element will avoid condensation.

Warning: The built-in calibration is not correct while the SHT1x is heated!

2.3.2 End Of Life (EOL)

The SHT1x End of Life (EOL) function detects VDD voltages below 2.47V. Accuracy is ±0.05V

2.3.3 Measurement resolution

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

Please consult application note "Status Register" for more information on how to access and use these features.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Specifications SHT1x

3.1 Absolute Maximum Ratings

Ambient Storage Temperature: -40°C to 120°C

3.2 Operating Conditions

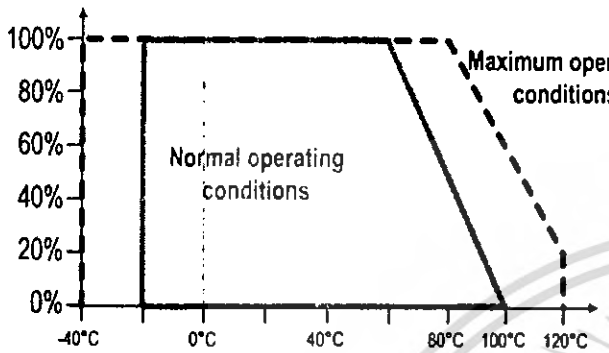


Figure 6 Recommended operating conditions

Temperatures outside the recommended range may temporarily offset the RH signal by up to +3%RH. The sensor will slowly return to calibration conditions but heating the device up to 90°C at <5%RH for 24h will reverse the effect of high RH, high temperature environments promptly. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing of the sensor.

3.3 Special Conditions

Extensive tests were performed in various environments. Please contact us for complete qualification results.

3.4 Electrical Specifications[1]

3.4.1 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)).

Latch-up immunity is provided at a force current of ±100 mA with T_{amb}=80°C according to JEDEC 17.

3.4.2 DC Characteristics

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 SHT1x DC Characteristics

3.4.3 I/O 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_{CLH}	SCK high time		100			ns
T_{CLL}	SCK low time		100			ns
T_V	DATA valid from			50		ns
T_{HO}	Output hold time		0	10		ns
T_R/T_F	SCK rise/fall time				200	ns

Table 5 SHT1x I/O Signals Characteristics

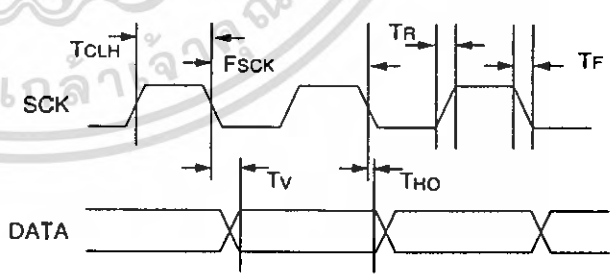


Figure 7 Timing Diagram

[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

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 Physical Dimensions and Mounting Information

4.1 Package type

The device is supplied in a surface-mountable LCC type package. The sensors housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate.
Device size is 7.62 x 5.08 x 2.5 mm. Weight 100mg
Other packaging options are available on request.

4.2 Mounting Recommendations

The relative humidity of a gas strongly depends on its temperature. It is therefore essential to keep the sensor at the same temperature as the air of which the humidity is to be measured.
If the SHT1x shares a PCB with heating electronic components it should be mounted 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.

Prolonged direct exposure of the SHT1x to strong light or UV radiation should be avoided.

4.3 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 crosstalk and loss of communication. This may be resolved by routing VDD and/or GND between the two signals.

4.4 Soldering Information

The SHT1x can be soldered using standard reflow ovens at maximum 225°C for 20 seconds. For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350°C
Please consult the application note "Soldering procedure" for detailed instructions.

4.5 Delivery Conditions

The SHT1x will be delivered in standard IC tubes by max. 80 pieces per tube. Other delivery options may be available on request.

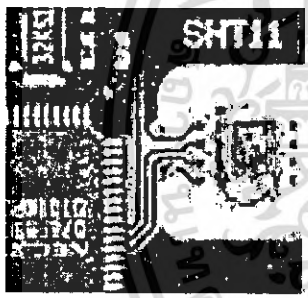
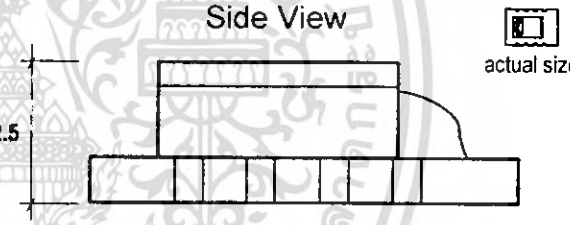
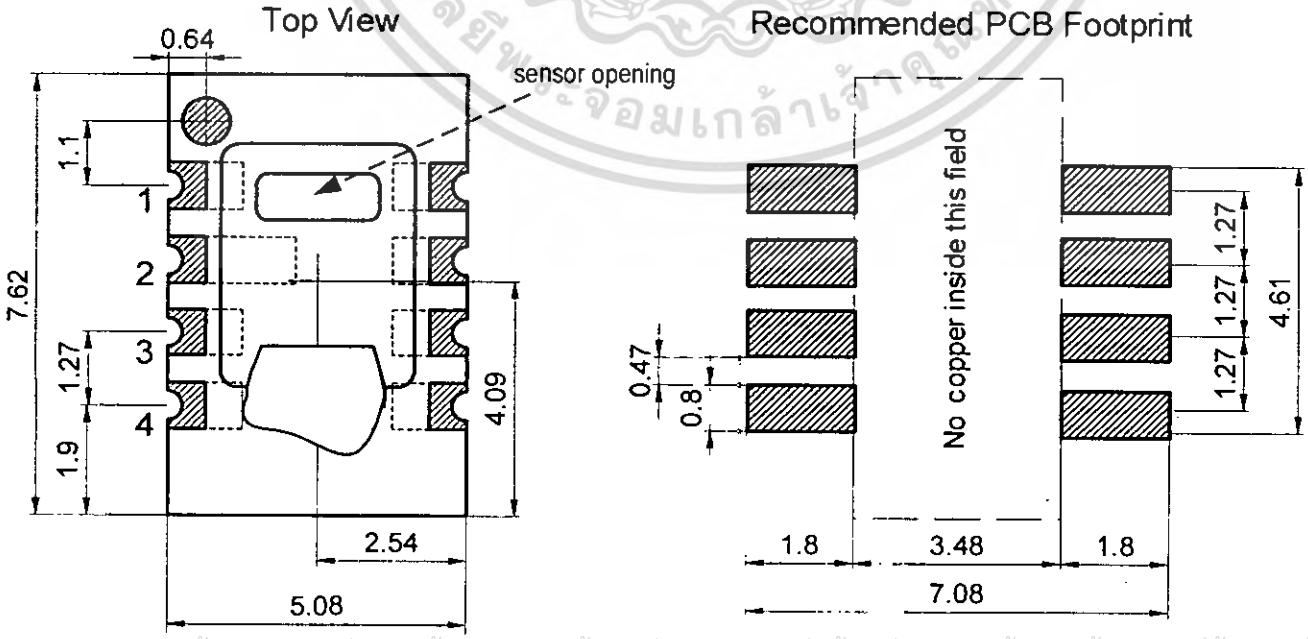


Figure 8 Mounting example





all measurements in mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

5 Revision history

Date	Page	Changes
February 2002	1-9	First public release
February (2) 2002	4	Corrected CRC information to match application note
March 2002	2	Extended SHT11 3.5 accuracy range to 20%-80%
	8	Added image of mounting example
	2	Changed coefficients of temperature conversion formula
		Various small modifications

The latest version of this document and all application notes can be found at:
www.sensirion.com/en/download/humiditysensor/SHT11.htm

6 Important Notices

The warranty for each SENSIRION AG product comes in the form of a written warranty which governs sale and use of such product. Such warranty is contained in the printed terms and conditions under which such product is sold, or in a separate written warranty supplied with the product. Please refer to such written warranty with respect to its applicability to certain applications of such product.

These products may be subject to restrictions on use. Please contact SENSIRION AG for a list of the current additional restrictions on these products. By purchasing these products, the purchaser of these products agrees to comply with such restrictions. Please contact SENSIRION AG for clarification of any restrictions described herein.
SENSIRION AG reserves the right, without further notice, to change the SENSIRION SHT1x Relative Humidity and Temperature Sensor product specifications and/or information in this document and to improve reliability, functions and design.

SENSIRION AG assumes no responsibility or liability for any use of SENSIRION SHT1x product. Application examples and alternative uses of the SENSIRION SHT1x are for illustration purposes only and SENSIRION AG makes no representation or warranty that such applications shall be suitable for the use specified.

Copyright© 2001-2002, SENSIRION AG.
All rights reserved.

7 Caution

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take normal ESD precautions when handling this product.

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG
Eggbühlstr. 14
P.O. Box
CH-8052 Zürich
Switzerland

Phone: + 41 (0)1 306 40 00
Fax: + 41 (0)1 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
http://www.sensirion.com/

เอกสารนี้ได้รับการสงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHTxx
Humidity & Temperature
Sensmitter

Application Note
Status Register

1 Introduction

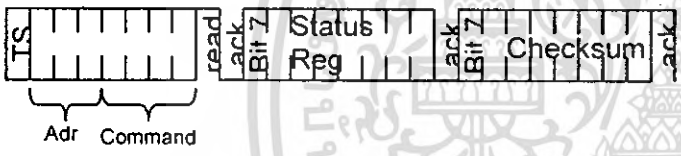
Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register.
This document describes the required communication and the features available through the status register.

2 Revision History

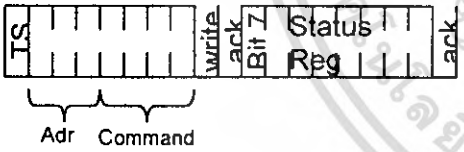
August 27, 2001	C2	URO	Revision 0.9 (Preliminary)
October 20, 2001	C2	URO	Revision 1.00 changed to new CI
November 12, 2001	C2	URO	Revision 1.10 added status register bit for resolution
November 22, 2001	C2	URO	Revision 1.11 corrected polarity of resolution bit
January 24,2002	C1	URO	Revision 1.2 default values bit 4-7, EOL paragraph, small typos

3 The Status Register

3.1.1 Status Register read



3.1.2 Status Register write



3.1.3 Status Register

Bit	Type	Description	Default	
7		reserved	0	
6	R	End of Life (low voltage detection)	X	
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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by approximately 5°C. Power consumption will increase by 8mA @ 5V.
Applications:

- By comparing temperature and humidity values before and after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.
- In high RH environments heating the sensor element will avoid condensation.

Warning: The built-in calibration is not correct while the SHT11 is heated!

3.1.5 End Of Life (EOL, low voltage detector)

The SHT11 End of Life (EOL) function detects VDD voltages below 2.45V. Accuracy is ±0.1V
Warning: This bit is only updated during a measurement.

3.1.6 Calibration reload before measurement

To save power and gain speed the OTP reload before every measurement may be bypassed. This saves ~8.2ms from each measurement time.
Explanation:
In rare ESD environments the SHT11 may temporarily lose the calibration data from the volatile memory. Default is therefore to reread it from the OTP memory before every measurement.

3.1.7 Measurement resolution

The measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications
"0" is 12/14bit "1" is 8/12bit.

3.2 Digital state machine

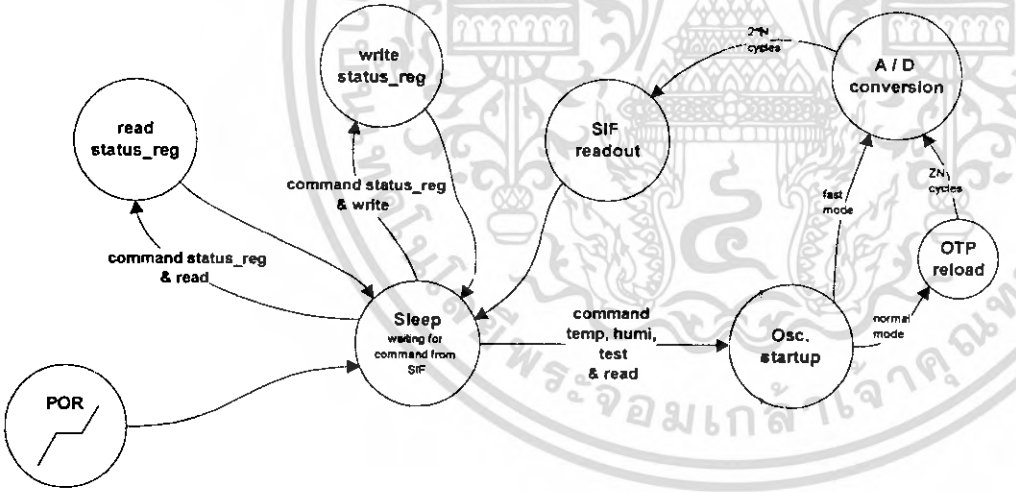


Figure 1 Digital Finite State Machine State Diagram

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG
Eggbühlstr. 14
P.O. Box
CH-8052 Zürich
Switzerland

Phone: + 41 (0)1 306 40 00
Fax: + 41 (0)1 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
http://www.sensirion.com/

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการใช้งานสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHTxx
Humidity & Temperature
Sensmitter

Application Note
CRC

1 Introduction

A CRC checksum is calculated over the whole transmission. If a CRC mismatch is detected, the SHTxx should be reset (command "00011110") and the measurement should be repeated.

2 Theory

CRC stands for Cyclic Redundancy Check. It is one of the most effective error detection schemes and requires a minimal amount of hardware.
For in-depth information on CRC we recommend the comprehensive: "A painless guide to CRC error detection algorithms" available at: http://www.repairfaq.org/filipg/LINK/F_crc_v3.html

The polynomial used in the SHTxx is: $x^8+ x^5+ x^4$. The types of errors that are detectable with this polynomial are:
1. Any odd number of errors anywhere within the transmission.
2. All double-bit errors anywhere within the transmission.
3. Any cluster of errors that can be contained within an 8-bit "window" (1-8 bits incorrect).
4. Most larger clusters of errors.

The CRC register initializes with the value of the lower nibble of the status register ("0000'$s_3s_2s_1s_0$", default "00000000"). It covers the whole transmission (command and response bytes) without the acknowledge bits. See the datasheet SHT11 on page 4 for an example of CRC readout.
The receiver can perform the CRC calculation upon the first part of the original message and then compare the result with the received CRC- 8. If a CRC mismatch is detected, the SHTxx should be reset (command "00011110") and the measurement should be repeated.

This application note will cover two methods for checking the CRC. The first "Bitwise" is more suited for hardware or lowlevel implementation while the later "Bytewise" is the preferred method for more powerful microcontroller solutions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Bitwise

With the bitwise method, the receiver copies the structure of the CRC generator in hard- or software.
An algorithm to calculate this could look like this:

1) Initialise CRC Register to low nibble of status register (reversed ($s_0s_1s_2s_3$'0000))
2) Compare each (transmitted and received) bit with bit 7
3) If the same: shift CRC register, bit0='0'
   else: shift CRC register and then invert bit4 and bit5, bit0='1' (see figure 1)
4) receive new bit and go to 2)
5) The CRC value retrieved from the SHTxx must be reversed (bit 0 = bit 7, bit 1=bit 6 ... bit 7 = bit 0) and can then be compared to the final CRC value.[2]

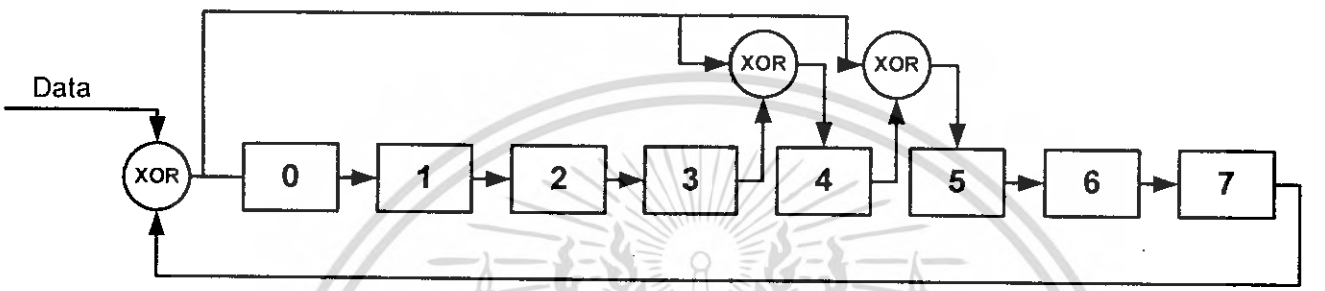


Figure 1 Internal structure of the SHTxx CRC-8 generator

2.1.1 Example for bitwise

Example 2: RH Measurement (as example in datasheet)

Input bit's	CRC Value 0011'0001	0x	dec	Comment
	0000'0000			Start with contents of status register[1]
0	0000'0000	00	0	1st bit of command
0	0000'0000	00	0	2nd bit of command
0	0000'0000	00	0	...
0	0000'0000	00	0	
0	0000'0000	00	0	
1	0011'0001			CRC EXOR polynom
0	0110'0010			
1	**1111'0101**	**F5**	**245**	**CRC after command**
0	1101'1011			1st byte (MSB) of measurement
0	1000'0111			
0	0011'1111			
0	0111'1110			
1	1100'1101			
0	1010'1011			
0	0110'0111			
1	**1111'1111**	**FF**	**255**	**CRC value**
0	1100'1111			2nd byte (LSB) of measurement
0	1010'1111			
1	0101'1110			
1	1000'1101			
0	0010'1011			
0	0101'0110			
0	1010'1100			
1	**0101'1000**	**58**	**88**	**Final CRC value**

Example 1: readout of status register containing 0x40

Input bit's	CRC Value 0011'0001	0x	dec	Comment
	0000'0000			Start with contents of status register[1]
0	0000'0000	00	0	1st bit of command
0	0000'0000	00	0	2nd bit of command
0	0000'0000	00	0	...
0	0000'0000	00	0	
0	0000'0000	00	0	
1	0011'0001			CRC EXOR polynom
1	0101'0011			
1	**1001'0111**	**97**	**151**	**CRC after command**
0	0001'1111			1st bit (MSB) of status register
1	0000'1111			
0	0001'1110			
0	0011'1100			
0	0111'1000			
0	1111'0000			
0	1101'0001			
0	**1001'0011**	**93**	**147**	**Final CRC value**

(1) Low nibble only, whole byte reversed ($s_0s_1s_2s_3$'0000)
(2) This is different to other CRC implementations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Bytewise

With this implementation the CRC data is stored in a 256 byte lookup table.
Perform the following operations:

1. Initialize the CRC register with the value of the lower nibble of the value of the status register (reversed ($s_0s_1s_2s_3$'0000)). (default '00000000' = 0)
2. XOR each (transmitted and received) byte with the previous CRC value.
   The result is the new byte that you need to calculate the CRC value from.
3. Use this value as the index to the table to obtain the new CRC value.
4. Repeat from 2.) until you have passed all bytes through the process.
5. The last byte retrieved from the table is the final CRC value.
6. The CRC value retrieved from the SHTxx must be reversed (bit 0 = bit 7, bit 1=bit 6 ... bit 7 = bit 0) and can then be compared to the final CRC value.[2]

2.2.1 256 byte CRC Lookup table

0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
0	49	98	83	196	245	166	151	185	136	219	234	125	76	31	46	67	114	33	16	135	182	229	212	250	203	152	169	62	15	92	109
32	**33**	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**	**41**	**42**	**43**	**44**	**45**	**46**	**47**	**48**	**49**	**50**	**51**	**52**	**53**	**54**	**55**	**56**	**57**	**58**	**59**	**60**	**61**	**62**	**63**
134	183	228	213	66	115	32	17	63	14	93	108	251	202	153	168	197	244	167	150	1	48	99	82	124	77	30	47	184	137	218	235
64	**65**	**66**	**67**	**68**	**69**	**70**	**71**	**72**	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**	**82**	**83**	**84**	**85**	**86**	**87**	**88**	**89**	**90**	**91**	**92**	**93**	**94**	**95**
61	12	95	110	249	200	155	170	132	181	230	215	64	113	34	19	126	79	28	45	186	139	216	233	199	246	165	148	3	50	97	80
96	**97**	**98**	**99**	**100**	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**	**109**	**110**	**111**	**112**	**113**	**114**	**115**	**116**	**117**	**118**	**119**	**120**	**121**	**122**	**123**	**124**	**125**	**126**	**127**
187	138	217	232	127	78	29	44	2	51	96	81	198	247	164	149	248	201	154	171	60	13	94	111	65	112	35	18	133	180	231	214
128	**129**	**130**	**131**	**132**	**133**	**134**	**135**	**136**	**137**	**138**	**139**	**140**	**141**	**142**	**143**	**144**	**145**	**146**	**147**	**148**	**149**	**150**	**151**	**152**	**153**	**154**	**155**	**156**	**157**	**158**	**159**
122	75	24	41	190	143	220	237	195	242	161	144	7	54	101	84	57	8	91	106	253	204	159	174	128	177	226	211	68	117	38	23
160	**161**	**162**	**163**	**164**	**165**	**166**	**167**	**168**	**169**	**170**	**171**	**172**	**173**	**174**	**175**	**176**	**177**	**178**	**179**	**180**	**181**	**182**	**183**	**184**	**185**	**186**	**187**	**188**	**189**	**190**	**191**
252	205	158	175	56	9	90	107	69	116	39	22	129	176	227	210	191	142	221	236	123	74	25	40	6	55	100	85	194	243	160	145
192	**193**	**194**	**195**	**196**	**197**	**198**	**199**	**200**	**201**	**202**	**203**	**204**	**205**	**206**	**207**	**208**	**209**	**210**	**211**	**212**	**213**	**214**	**215**	**216**	**217**	**218**	**219**	**220**	**221**	**222**	**223**
71	118	37	20	131	178	225	208	254	207	156	173	58	11	88	105	4	53	102	87	192	241	162	147	189	140	223	238	121	72	27	42
224	**225**	**226**	**227**	**228**	**229**	**230**	**231**	**232**	**233**	**234**	**235**	**236**	**237**	**238**	**239**	**240**	**241**	**242**	**243**	**244**	**245**	**246**	**247**	**248**	**249**	**250**	**251**	**252**	**253**	**254**	**255**
193	240	163	146	5	52	103	86	120	73	26	43	188	141	222	239	130	179	224	209	70	119	36	21	59	10	89	104	255	206	157	172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[2] This is different to other CRC implementations

2.2.2 Code example for lookup table

The following procedure calculates the CRC-8. The result accumulates in the variable CRC.

```
Var
CRC : Byte;
Procedure calc_CRC(X: Byte);

Const
CRC_Table : Array[0..255] of Byte = (
0,   49,  98,  83,  196, 245, 166, 151, 185, 136, 219, 234, 125, 76,  31,  46,  67,  114, 33,  16,
135, 182, 229, 212, 250, 203, 152, 169, 62,  15,  92,  109, 134, 183, 228, 213, 66,  115, 32,  17,
63,  14,  93,  108, 251, 202, 153, 168, 197, 244, 167, 150, 1,   48,  99,  82,  124, 77,  30,  47,
184, 137, 218, 235, 61,  12,  95,  110, 249, 200, 155, 170, 132, 181, 230, 215, 64,  113, 34,  19,
126, 79,  28,  45,  186, 139, 216, 233, 199, 246, 165, 148, 3,   50,  97,  80,  187, 138, 217, 232,
127, 78,  29,  44,  2,   51,  96,  81,  198, 247, 164, 149, 248, 201, 154, 171, 60,  13,  94,  111,
65,  112, 35,  18,  133, 180, 231, 214, 122, 75,  24,  41,  190, 143, 220, 237, 195, 242, 161, 144,
7,   54,  101, 84,  57,  8,   91,  106, 253, 204, 159, 174, 128, 177, 226, 211, 68,  117, 38,  23,
252, 205, 158, 175, 56,  9,   90,  107, 69,  116, 39,  22,  129, 176, 227, 210, 191, 142, 221, 236,
123, 74,  25,  40,  6,   55,  100, 85,  194, 243, 160, 145, 71,  118, 37,  20,  131, 178, 225, 208,
254, 207, 156, 173, 58,  11,  88,  105, 4,   53,  102, 87,  192, 241, 162, 147, 189, 140, 223, 238,
121, 72,  27,  42,  193, 240, 163, 146, 5,   52,  103, 86,  120, 73,  26,  43,  188, 141, 222, 239,
130, 179, 224, 209, 70,  119, 36,  21,  59,  10,  89,  104, 255, 206, 157, 172);

Begin
CRC := CRC_Table[X xor CRC];
End;
```

3 Revision history

Date	Revision	Changes
December 30, 2001	0.9 (Preliminary)	Initial revision
February 18, 2001	1.01	
February 27, 2001	1.02	corrected bug in CRC register init. (byte must be reversed)
May 16, 2002	1.03	emphasize that command to SHTxx is also in CRC

The latest version of this document and all application notes can be found at:
www.sensirion.com/en/download/humiditysensor/SHT11.htm

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG
Eggbühlstr. 14
P.O. Box
CH-8052 Zürich
Switzerland

Phone: + 41 (0)1 306 40 00
Fax: + 41 (0)1 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
http://www.sensirion.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHTxx
Humidity & Temperature
Sensmitter

Application Note
Compensation of RH non-Linearity

1 Introduction

The SHTxx devices show a small non-linearity of the humidity sensor.
This application note describes various ways to compensate it in the attached microcontroller.

2 Revision History

October 20, 2001	C2	URO	Revision 0.9 (Preliminary)
February 10, 2002	C2	URO	Revision 1.0 modified to final coefficients

3 Implementation

If the formula on page 2 of the SHT1x datasheet is to complex and therefore too computation intense, the follow calculations may provide simplified alternatives.

The examples are based on a 8 bit humidity readout. 12 bit readouts can be converted with similar formulas but with a slightly more complex calculation.

Type of calculation	Inaccuracy due to non-linearity (10-90%RH)	Complexity of calculation
linear	± 2.2% RH	Simple (8bit subtract, right shift)
2 * linear	± 0.8% RH	Quite simple (8bit multi, 16bit add/subtract)
Polynomial 2nd order	± 0.1% RH	Floating point multiplications

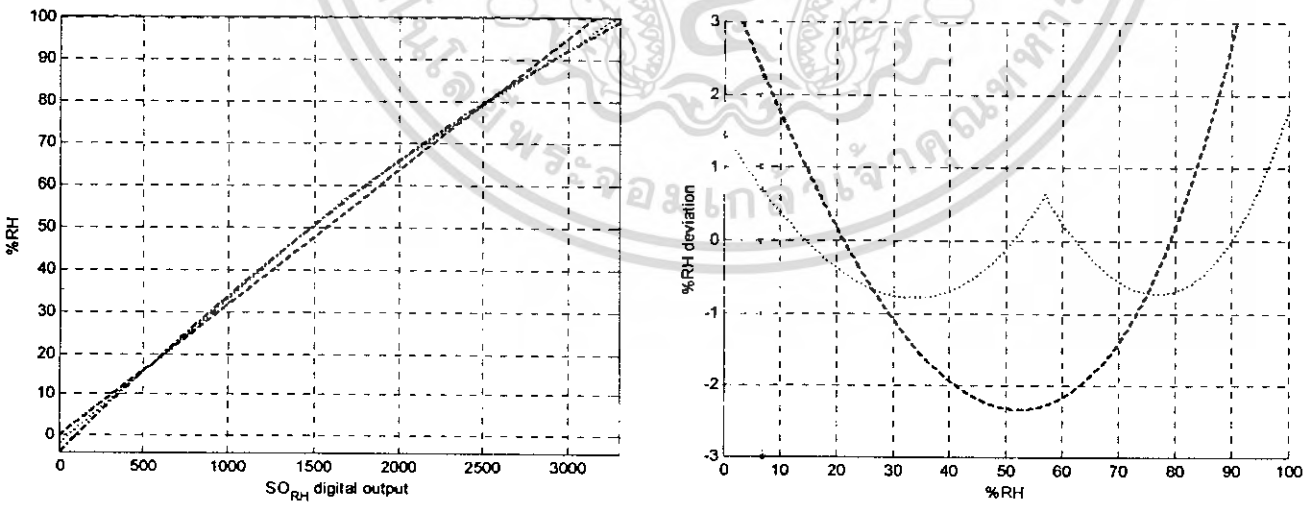


Figure 1 Inaccuracy due to non-linearity, original(from datasheet, black, dash-dotted), linear (blue, dashed) , 2* linear (red, dotted)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 Linear

The most basic conversion formula from sensor output to %RH is:

$RH_{simple} = c_1 + c_2 \bullet SO_{RH}$

with $c_1 = 0.5$; $c_2 = 0.5$

3.2 2* linear

For improved accuracy with minimal calculation complexity the following calculation is recommended:

$RH_{real} = (a*SO + b) / 256$

Where SO denotes the 8 bit humidity sensor output signal.

Validity	a	b
$0 \leq SO \leq 107$	143	-512
$108 \leq SO \leq 255$	111	2893

With the above values the calculation can be done with a single 8 bit multiplication followed by a 16bit addition / subtraction.

Sample Code:

```
u16 result;          // 16Bit unsigned for the result
u08 sensor_out;      // 8Bit unsigned for the sensoroutput

sensor_out = readSensor8(); // read 8 bit humidity value from SHTxx

If ( sensor_out <= 107 )
{
   result = mult8Bit( 143, sensor_out );      // result = a * sensor_out
   result < 512 ? result = 512;               // check for underflow
   result = result - 512                      // result = result + b
}
else
{
   result = mult8Bit( 111, sensor_out );      // result = a * sensor_out
   result = result + 2893                     // result = result + b
   result > 25600 ? result = 25600;           // check for overflow (optional)
}

//8 MSB's are 0-100%RH integers, 8 LSB's are remainder

result = result >> 8  // result = result / 256
```

3.3 Polynomial 2nd order

Please consult the Datasheet for formula and coefficients.

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG
Eggbühlstr. 14
P.O. Box
CH-8052 Zürich
Switzerland

Phone: + 41 (0)1 306 40 00
Fax: + 41 (0)1 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
http://www.sensirion.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้