ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว

DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER

นายพูนศักดิ์ สินธุชนธิชาติ
นายยุทธพงษ์ สนิทวงศ์ณอยุธยา
นายเกรวี วรรณอนุธรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว

DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER

T050222

นายพูนศักดิ์ สินธุสนธิชาติ
นายยุทธพงษ์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
นายเอกรวี วรรณอนุสรณ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วศ.
W855n
2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50222
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

.b 00166384
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER

POANSAK SINTUSONTICHAT
YOOTHAPHONG SANITWONG NA AYUTTAYA
EAKRAWEE WUNNAANUSORN

A THESIS SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING INTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว

DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพูนศักดิ์ สินธุสนธิชาติ รหัสประจำตัว 43015576

นายยุทธพงษ์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา รหัสประจำตัว 43015530

นายเอกรวี วรรณอนุสรณ์ รหัสประจำตัว 43015551

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	
อ.อาจินต์ น่วมสำราญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 22 เมษายน พ.ศ.2546

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว
	DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพูนศักดิ์ สินธุสนธิชาติ
	นายยุทธพงษ์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา
	นายเอกรวี วรรณอนุสรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ กองรัตน์
	อ.อาจินต์ น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2545

บทคัดย่อ

อุณหภูมิและความชื้นในอากาศมีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพราะว่าอุณหภูมิและความชื้นมีความสัมพันธ์กัน เมื่ออากาศมีอุณหภูมิที่พอเหมาะมีไอน้ำอิ่มตัวพอดี และมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 %จะทำให้อากาศเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์หรือสิ่งของในกระบวนการเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอากาศไม่ให้เกิดอุณหภูมิจุดกลั่นตัวได้

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว เพื่อส่งสัญญาณมาตรฐานให้คอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมอุปกรณ์เพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในกระบวนการให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Dewpoint Temperature Transmitter	
Authors	Mr.Poansak	Sintusontichart
	Mr.Yoothaphong	Sanitwong na ayuttaya
	Mr.Eakrawee	Wunnaanusorn
Thesis Advisor	Asst.Prof.Viriya	Kongratana
	Mr.Arjin	Numsomran
Year	2002	

ABSTRACT

Temperature and Humidity in the air is the most important in industry and agriculture process. Because temperature and humidity is connection. In a suitable temperature and saturated vapour, relative humidity 100 % can be dewpoint condensation dewpoint temperature.

This degree composition arrange to made dewpoint temperature transmitter to create standard signal for control controller instrument to save temperature and humidity in the air suitable for this process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ..... IV

สารบัญรูป..... VI

สารบัญตาราง..... VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์..... 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์..... 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา..... 2

บทที่ 2 ความรู้เบื้องของต้นเกี่ยวกับ DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER....3

2.1 อุณหภูมิและมาตราวัดอุณหภูมิ..... 3

2.2 ความชื้น..... 4

2.3 อุณหภูมิจุดกลั่นตัวหรืออุณหภูมิหยดน้ำค้าง..... 5

2.4 เครื่องมือวัดความชื้นในอากาศ.....5

2.4.1 ไฮกรอมิเตอร์แบบเส้นผม.....5

2.4.2 ไฮกรอมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง..... 5

2.5 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก..... 7

2.6 วง Digital to Analog Converter แบบต่าง.....9

2.7 สัญญาณมาตรฐานในระบบควบคุมอัตโนมัติ.....13

บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และอุปกรณ์ต่อร่วม..... 16

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....16

3.2 ไอซี EEPROM 24LC08.....32

3.3 ไอซี DAC แบบอนุกรม (LCT1661).....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญากระแสไฟฟ้า..... 39

3.5 โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Module)..... 40

3.6 ชิพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เบอร์ SHT11..... 46

บทที่ 4 หลักการออกแบบและการสร้างเครื่อง **Dewpoint Temperature Transmitter**..... 48

4.1 Dewpoint Temperature Transmitter คือ..... 48

4.2 ส่วนประกอบของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter..... 48

4.3 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์..... 49

4.4 การออกแบบทางด้านซอฟแวร์..... 50

4.5 การใช้งานเครื่อง Dewpoint Temperature Tansmitter..... 52

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง..... 53

5.1 การทดลองที่ 1..... 53

5.2 การทดลองที่ 2..... 56

5.3 การทดลองที่ 3..... 58

5.4 การทดลองที่ 4..... 61

บทที่ 6 ปัญหาและอุปสรรค..... 63

บรรณานุกรม..... 64

ภาคผนวก..... 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 มาตรา..... 4

2.2 แสดงระบบการแปลงสัญญาดิจิตอลเป็นอะนาล็อก 7

2.3 กราฟแสดง Transfer Curve ในอุดมคติของ DAC 3 บิต..... 8

2.4 คลื่นไซน์ที่สร้างจาก DAC..... 8

2.5 วงจร Summed Source DAC..... 9

2.6 วงจร Swiched Voltage R-2R DAC..... 10

2.7 วงจร Swiched Current R-2R DAC..... 11

2.8 วงจร Swiched Pole DAC..... 11

2.9 ระบบการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก..... 12

2.10 การควบคุมแบบป้อนกลับแบบง่าย..... 13

2.11 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)..... 13

3.1 แสดงการจัดขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์..... 18

3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51..... 20

3.3 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล..... 22

3.4 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51..... 23

3.5 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51..... 24

3.6 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้ง 3 ส่วน..... 25

3.7 แสดงการเลือกใช้กลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป โดยควบคุมจากบิต RS0,RS1..... 26

3.8 แสดงโครงสร้างขาใช้งานของ EEPROM 24LC08..... 32

3.9 แสดงโครงสร้างภายใน EEPROM 24LC08..... 33

3.10 แสดงลักษณะการ Device Address..... 33

3.11 แสดง Timing Diagram ของการเขียนข้อมูลแบบ Byte..... 34

3.12 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบ Page..... 35

3.13 การอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบัน..... 35

3.14 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบสุ่ม..... 36

3.15 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบลำดับ..... 36

3.16 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี DAC LTC1661..... 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.17 แสดงการจัดขาต่าง ๆ ของไอซี DAC LCT1661.....37
3.18 แสดง Timeing Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ CS,SCK และ DIN.....38
3.19 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-5 V. เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 - 20 mA.....39
3.20 แสดงขนาดชิพเซนเซอร์ SHT11 46
3.21 แสดงโครงสร้างภายในชิพเซนเซอร์ SHT11.....46
3.22 แสดงตำแหน่งของขาชิพเซนเซอร์ SHT11.....47
4.1 เครื่อง Dewpoint Themperature Transmitter.....48
4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่อง Dewpoint Themperature Transmitter.....49
4.3 แสดงวงจรของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter.....50
4.4 Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก.....51
4.5 แสดงด้านหน้าของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter.....52
5.1 แสดงกราฟที่อุณหภูมิคงที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 - 100%.....53
5.2 แสดงกราฟที่ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 60% อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ –30 °C ถึง 120 °C...54
5.3 แสดงการสอบเทียบเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter กับ
เครื่อง Genneral Eastern (Sensor HYGRO M4) Model c-1 RH Generator.....56
5.4 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ.....58
5.5 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิหน้าเครื่องปรับอากาศ..... 58
5.6 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศในที่ร่ม.....59
5.7 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางแจ้ง..... 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางเปรียบเทียบการหาค่าความชื้นจากไฮโกรมิเตอร์กระเปาะแห้ง..... 6
2.1(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการหาค่าความชื้นจากไฮโกรมิเตอร์กระเปาะแห้ง..... 7
3.1 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7..... 28
3.2 แสดงการทำงานของขาต่าง ๆ ของ EEPROM 24LC08..... 32
3.3 แสดงชื่อตำแหน่งและหน้าที่ของขาไอซี DAC LTC1661.....38
3.4 แสดงการทำงานขาต่าง ๆ ของชิพเซนเซอร์ SHT11.....47
5.1 แสดงค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเมื่อเปลี่ยนค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้มีเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน..... 53
5.2 แสดงค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิให้มีอุณหภูมิต่าง ๆกัน..... 54
5.3 แสดงค่าผลการทดลองที่ 2 เมื่อทำการสอบเทียบกับเครื่อง RH Generator.....57
5.4 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ..... 58
5.5 แสดงผลกการทดลองวัดอุณหภูมิหน้าเครื่องปรับอากาศ..... 59
5.6 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศในที่ร่ม..... 59
5.7 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางแจ้ง..... 60
5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ใช้จากการวัดของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter กับค่าที่ได้จากการคำนวณ..... 61
5.9 แสดงค่า ERROR ในการวัดอุณหภูมิ ,ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดกลั่นตัว.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

กระบวนการผลิตในระบบอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมของประเทศในปัจจุบัน จำเป็นต้องมีการรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ (Temperture) ,ความชื้น (Humidity), แรงดัน (Pressure), อัตราการไหล (Flow rate) และอื่น ๆ ให้มีค่าที่เหมาะสมต่อกระบวนการนั้น ๆ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศก็มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมให้มีปริมาณที่เหมาะสม เพราะอุณหภูมิและความชื้นในอากาศมีความสัมพันธ์กัน เมื่ออุณหภูมิในอากาศมีอุณหภูมิถึงจุดที่มีไอน้ำอิ่มตัว และมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % อากาศจะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะเรียกอุณหภูมิในขณะนั้นว่า "อุณหภูมิจุดกลั่นตัวหรืออุณหภูมิจุดน้ำค้าง" (Dewpoint Temperature) ซึ่งหยดน้ำที่เกิดการกลั่นตัวนี้อาจมีผลทำให้กระบวนการผลิตนั้นเกิดความเสียหายได้

ในอดีตการวัดความชื้นสัมพัทธ์และจุดน้ำค้างหรือจุดกลั่นตัวในอากาศนั้น จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า "ไฮกรอมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง หรือ ไซโครมิเตอร์ (Psychrometer)" ซึ่งจะประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน คือ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง นำมาเปรียบเทียบและนำไปหาค่าในตาราง ทำให้เกิดความยุ่งยากในการวัดและนำไปควบคุมกระบวนการ ดังนั้น จึงได้นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเป็นเซนเซอร์ (Sensor) มาใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น เพื่อให้ง่ายต่อการวัดและนำค่าที่ได้จากการวัดไปสร้างทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) เพื่อส่งสัญญาณมาตรฐาน(Standard Signal) ให้กับคอนโทรลเลอร์ (Controller) ไปควบคุมอุปกรณ์ เพื่อทำให้กระบวนการมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการโครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051
2. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C
3. เพื่อศึกษาการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ SHT11
4. เพื่อศึกษาการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก
5. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า
6. เพื่อศึกษาการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว
7. นำความรู้ที่ได้ศึกษาสร้างทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C
3. ศึกษาหลักการทำงานของชิพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ SHT11
4. ศึกษาการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก
5. สร้างทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ส่งสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA และ 1-5 V.

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. กำหนดขอบเขตของโครงงาน
2. ศึกษาเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C
4. ศึกษาหลักการทำงานของชิพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ SHT11
5. ศึกษาการทำงานของไอซี DAC เบอร์ LCT1661 ขนาด 10 บิต (1024 ระดับ)
6. ศึกษาการทำงานของวงจรการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวกับ
DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER

2.1 อุณหภูมิและมาตราวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (Temperature) คือ ระดับความร้อนและเป็นสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญยิ่งอีกอย่างหนึ่ง อุณหภูมิมีความสำคัญเกี่ยวกับการหมุนเวียนของอากาศด้วย เพราะอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถรับจำนวนไอน้ำในอากาศไว้ได้มากกว่าอากาศเย็น

อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานที่สำคัญและใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในอุตสาหกรรม หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยด้วยกันที่สำคัญ คือ เซลเซียส (Celcius) เคลวิน (Kelvin) ฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit)

เซลเซียส ($^{\circ}C$) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน Anders Celcius (ค.ศ.1701-1744) โดยเซลเซียสพบว่า ณ ความดันบรรยากาศ น้ำบริสุทธิ์จะมีจุดคงที่ทางอุณหภูมิอยู่ 2 จุด คือ จุดเยือกแข็งของน้ำและจุดที่น้ำเดือด เขาจึงได้กำหนดจุด 0 องศาที่จุดเยือกแข็งของน้ำ และ 100 องศาที่จุดเดือดของน้ำ

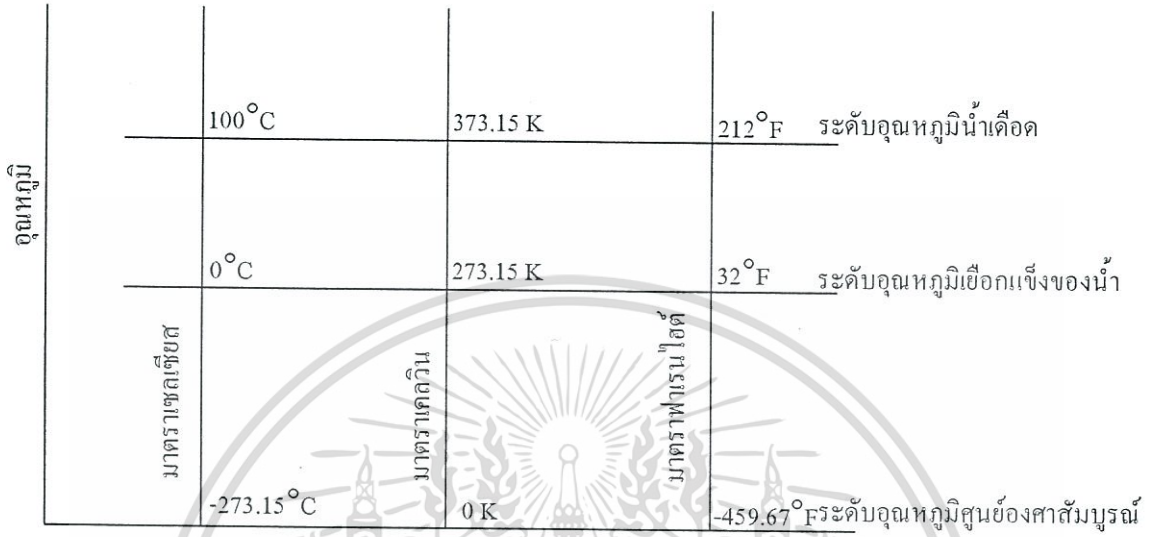
ฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}F$) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวดัตช์ Daniel Gabriel Fahrenheit (ค.ศ.1686-1736) โดยฟาเรนไฮต์ได้พยายามหาจุดต่ำสุดของอุณหภูมิโดยการทดลองกับสารต่าง ๆ หลาย ๆ อย่าง และพบว่าจุดเยือกแข็งของแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นจุดต่ำสุดของอุณหภูมิเท่าที่เขาทดลองได้ จึงกำหนดจุดนี้เป็นจุด 0 องศา ส่วนจุดบนของสเกลนั้น เขาพบว่าอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ เป็นจุดที่อุณหภูมิคงที่ จึงกำหนดจุดนี้เป็น 96 องศา สาเหตุที่ไม่กำหนดจุดบนของสเกลเป็น 100 องศา เพราะต้องการให้มีค่าเป็นสัดส่วนทวีคูณของ 12 ตามหน่วยอื่น ๆ ที่นิยมในสมัยนั้น

ทั้งหน่วยเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ก็เป็นมาตราวัดอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองหาสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิของสาร ณ จุดต่าง ๆ ที่อยู่ในย่านบรรยากาศของพื้นโลกและแบ่งสเกลให้เป็นไปตามความสะดวกเหมาะสมมิได้มีหลักเกณฑ์ตายตัวอะไร ต่อมา นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ลอร์ด เคลวิน เป็นผู้ค้นคิดหน่วยของอุณหภูมิทางวิทยาศาสตร์ขึ้นในปี ค.ศ. 1851 เรียกว่า มาตราเคลวิน โดยกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (Zero Absolute Temperature) ขึ้น ณ จุดที่เป็นอุดมคตินี้อิเล็กตรอนในอะตอมของสารต่าง ๆ จะหยุดโคจรรอบนิวเคลียสโดยไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลืออยู่ในสารนั้น ๆ อีกต่อไป ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เย็นจัดถึงจุดนี้ได้ (กำหนดได้จากการคำนวณ) และแบ่งช่วงของมาตราตามมาตราเซลเซียสระบบหน่วยสากล ซึ่งเรียกว่า ได้กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยสากลของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกเป็นมาตราเคลวิน และหน่วยของอุณหภูมิทั่ว ๆ ไปเป็นเซลเซียส ($^{\circ}C$)

อากาศที่เหมาะสม คือ 25$^{\circ}C$ หรือ 77$^{\circ}F$



รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 มาตรา

2.2 ความชื้น (Humidity)

ความชื้น (Humidity) หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อน้ำได้รับความร้อน น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่า การระเหย ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอนี้ เรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent Heat) เมื่ออากาศเย็นลงไอน้ำจะเริ่มกลั่นตัวเป็นละออง และคายความร้อนแฝงออกมาด้วยอากาศจะได้รับไอน้ำได้มากหรือน้อยขอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นตัวกำหนดปริมาณไอน้ำในอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะรับไอน้ำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำถ้าอากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้เรียกว่า ไอน้ำอิ่มตัว (Saturate)

ความชื้นในอากาศมี 2 แบบ คือ

2.2.1 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาตรของอากาศนั้น

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์} = \frac{\text{มวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ}}{\text{ปริมาตรของอากาศ}} \quad \text{กรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน นิยมคิดค่าเป็นร้อยละหรือ %

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลของไอนำที่มีอยู่จริง}}{\text{มวลของไอนำอิ่มตัว}} \times 100$$

ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม คือ 60%

2.3 อุณหภูมิจุดกลั่นตัวหรืออุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dewpoint Temperature)

คือ อุณหภูมิที่น้ำในอากาศอิ่มตัวและเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% อุณหภูมิของอากาศขณะนั้นจะเท่ากับอุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dewpoint Temperature) ยิ่งอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมากเท่าใด อุณหภูมิจุดกลั่นตัวจะยิ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้น

หรืออุณหภูมิซึ่งอากาศถูกทำให้เย็นลง (ความกดอากาศคงที่) ถึงอุณหภูมิหนึ่งที่ไอน้ำจุดอิ่มตัวพอดีอุณหภูมิของจุดน้ำค้าง จะเป็นเท่าใดก็ได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ถ้าอากาศมีไอน้ำมาก อุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะสูง แต่ถ้าไอน้ำมีน้อยอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะต่ำ ถ้าอุณหภูมิของอากาศลดต่ำกว่าจุดน้ำค้าง จะมีการกลั่นตัวในรูปของหยาดน้ำฟ้า ตัวอย่างเช่น แก้วน้ำที่ใส่น้ำแข็งตั้งทิ้งไว้ความชื้นของอากาศจะรวมกันเป็นหยดน้ำเกาะอยู่รอบนอกแก้วอุณหภูมิของแก้วน้ำที่ใส่น้ำแข็งจะต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อยู่โดยรอบ อุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะบอกถึงความไม่สะดวกสบายของมนุษย์ในช่วงที่มีอากาศอุ่นและชื้นได้ดีกว่าความชื้นสัมพัทธ์

2.4 เครื่องมือวัดความชื้นในอากาศ

เครื่องมือวัดความชื้นในอากาศ เรียกว่า ไฮกรอมิเตอร์ โดยมีที่นิยมใช้อยู่ 2 ชนิด คือ

2.4.1 ไฮกรอมิเตอร์แบบเส้นผม

เป็นเครื่องมือวัดความชื้นในอากาศโดยใช้เส้นผมที่สะอาด ของมนุษย์ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เส้นผมจะหดตัวหรือยืดตัว เมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูง เส้นผมจะยืด แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เส้นผมจะหด โดยเส้นผมจะถูกต่อไว้กับเข็มชี้ และอ่านค่าจากหน้าปัด แต่ถ้าเครื่องมือชนิดนี้มีการแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์บนกระดาษกราฟจะเรียกว่า ไฮกรอกราฟ โดยจะมีการบันทึกต่อเนื่องตลอดเวลา

2.4.2ไฮกรอมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งหรือ ไซโครมิเตอร์(Psychrometer)

เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์และจุดน้ำค้างของอากาศ ประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดเดียวกัน 2 อันติดตั้งไว้เคียงกัน อันหนึ่งสำหรับวัดอุณหภูมิ ของอากาศธรรมดา เทอร์โมมิเตอร์อันนี้เรียกว่า *"เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง"* (Dry Bulb Thermometer) อีกอันหนึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ้ามัสลิน (ผ้าเนื้อฝ้ายละเอียดและบาง) หุ้มตุ้มปรอท และมีด้ายดิบยาวประมาณ ๖ นิ้ว ผูกผ้ามัสลินติดกับก้านเทอร์โมมิเตอร์ตอนใกล้ตุ้มปรอทห้อย ปลายด้ายลงไปจุ่มในถ้วยแก้วที่บรรจุน้ำจืดสะอาด จะใช้น้ำกลั่นหรือน้ำฝนก็ได้ น้ำที่เติมควรมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำในแก้ว น้ำ จะซึมตามด้ายดิบขึ้นมา ทำให้ผ้ามัสลินเปียกชุ่มอยู่เสมอ เทอร์โมมิเตอร์นี้เรียกว่า *"เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก"* (Wet Bulb Themometer) น้ำที่ผ้ามัสลินจะระเหยขึ้นไปในอากาศที่อยู่รอบๆ ตลอดเวลา การระเหย ได้จากความร้อนแฝงจากปรอทในตุ้มปรอท ทำให้ปรอทหดตัว เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกจึงมี อุณหภูมิต่ำกว่าเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง การระเหยของน้ำจากผ้ามัสลินจะมีส่วนสัมพันธ์กับความชื้นอากาศที่มีอยู่รอบ ๆ ถ้าอากาศอิ่มตัวน้ำจะไม่ระเหย อุณหภูมิกระเปาะแห้งกระเปาะเปียกเท่ากัน ถ้าอากาศแห้งจะเกิดการระเหยของน้ำ จากผ้ามัสลินมาก อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งมาก อุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าใกล้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่าใด ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะมีค่ามากขึ้น การหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ และจุดน้ำค้างจากอุณหภูมิ กระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก ได้ค่าผลต่างแล้วนำไปหาค่าโดย เปิดตาราง

วิธีการหาความชื้นจากไฮกรอมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง

1. อ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ทั้งกระเปาะเปียกและแห้ง
2. นำอุณหภูมิของกระเปาะแห้งมาลบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก จะได้ผลต่าง
3. นำเอาผลต่างและอุณหภูมิของกระเปาะแห้งไปเทียบในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบการหาค่าความชื้นจากไฮโกรมิเตอร์กระเปาะแห้ง

อุณหภูมิโทเมอร์มิเตอร์แห้ง / ผลต่างของอุณหภูมิ	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44
0.5	94	95	96	97	97	97	97
1.0	89	90	92	93	93	94	94
1.5	83	86	88	89	90	91	91
2.0	77	81	83	85	86	88	89
2.5	72	76	80	82	82	85	86
3.0	67	72	70	78	80	82	83
3.5	61	67	72	75	77	79	81
4.0	56	63	68	71	74	76	78
4.5	51	58	64	68	71	73	76
5.0	46	54	60	62	60	71	73
6	36	46	53	57	62	65	68
7	26	38	46	51	57	60	63
8	15	29	39	46	51	55	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) ตารางเปรียบเทียบการหาค่าความชื้นจากไฮโกรมิเตอร์กระเปาะแห้ง

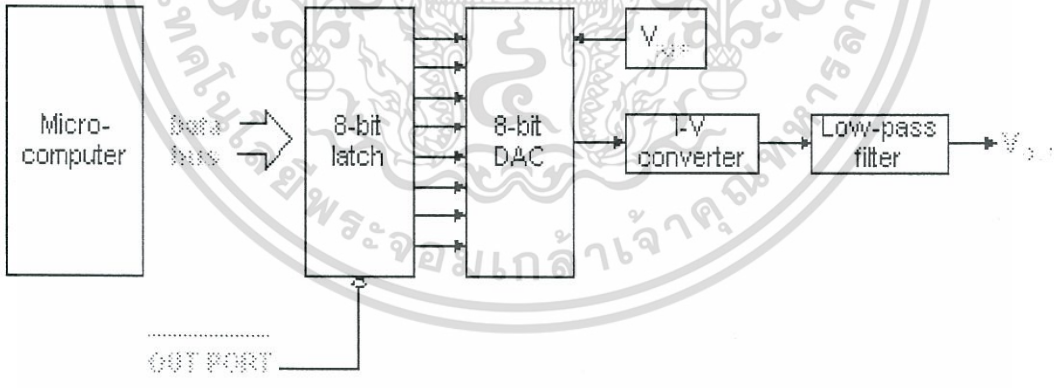
อุณหภูมิโทเมอร์มิเตอร์แห้ง / ผลต่างของอุณหภูมิ	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44
9	5	21	32	41	46	51	54
10		13	25	36	41	46	50
11		5	19	31	36	42	46
12			13	28	31	37	43
13				25	28	33	36
14				19	25	29	34

2.5 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก

(Digital to Analog Converter : DAC)

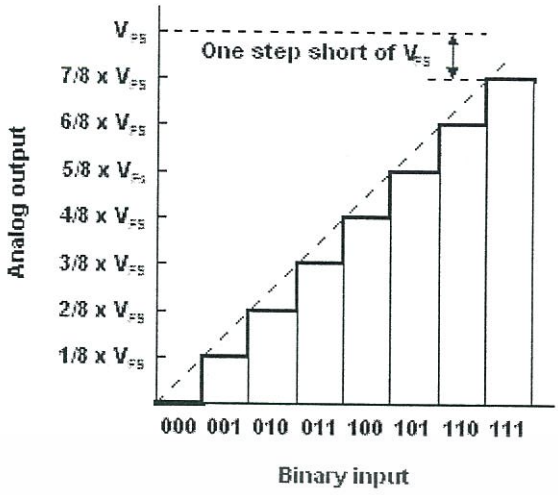
หลักการทำงาน

เมื่อนำระบบดิจิตอล หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้ควบคุม อุปกรณ์ทางอะนาล็อกเหล่านี้ จึงต้องมีวงจรซึ่ง สามารถแปลงสัญญาณทางดิจิตอลเป็นระดับแรงดันต่อเนื่องแบบอะนาล็อก ตั้งแต่ศูนย์โวลต์จนถึงระดับสูงสุดที่ กำหนดไว้ เรียกว่าวงจร Digital to Analog Converter (DAC)



รูปที่ 2.2 แสดงระบบการแปลงสัญญาดิจิตอลเป็นอะนาล็อก (DAC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟแสดง Transfer Curve ในอุดมคติของ DAC 3 บิต

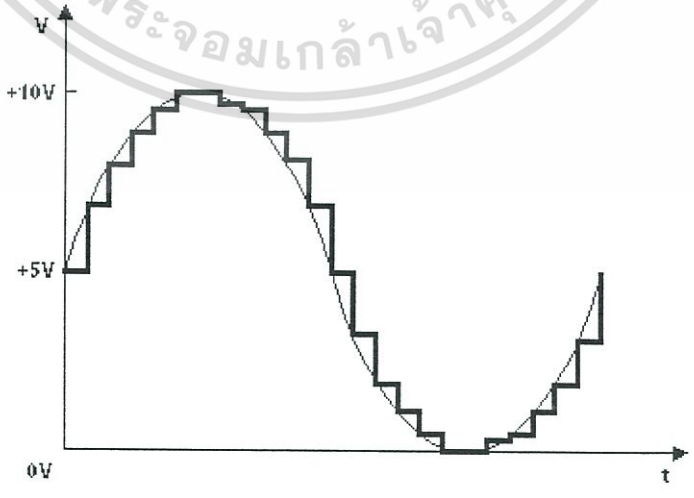
รูปที่ 2.3 เป็นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง เอาต์พุตที่เป็นอะนาล็อกกับอินพุตที่เป็นดิจิตอลขนาด 3 บิตเรียกว่า transfer curve สังเกตว่าเมื่ออินพุตไบนารีเพิ่มขึ้น เอาต์พุตอะนาล็อกจะเพิ่ม ในลักษณะขั้นบันได ขนาดของแต่ละขั้นจะ หาได้จาก

$$stepsize = \frac{V_{FS}}{2^n} n$$

เมื่อ V_{FS} คือ ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงสุด

n คือ จำนวนบิตของอินพุต

เนื่องจากเอาต์พุตของ DAC จะเพิ่มเป็นขั้นๆ รูปคลื่นสัญญาณ ที่ได้จาก DAC จึงมีลักษณะไม่เรียบ ดังตัวอย่าง ในรูปที่ ซึ่งแสดงถึงสัญญาณไซน์ ที่สร้างจาก DAC



รูปที่ 2.4 คลื่นไซน์ที่สร้างจาก DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเพิ่มจำนวนบิตความละเอียดของ DAC จะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อใช้ DAC 12 บิต และ V_{FS} = 5.0 V ความละเอียดคือ 5.0 V / 4096 = 1.22 mV ซึ่งจะ ละเอียดกว่า DAC 8 บิตถึง 16 เท่า

ความถูกต้องของ DAC ขึ้นอยู่กับหลายส่วน เช่น

1. **Quantization error** DAC บิต V_{FS} = 5.0 V เอาต์พุตจะมีความละเอียด 19.53 mV ถ้าต้องการเอาต์พุต 4.00 V DAC จะให้เอาต์พุตได้ใกล้เคียง ที่สุดคือ 4.04 V (19.53 mV x 205) ผิดพลาด 4 mV โดยทั่วไปค่าผิด พลาดจะเท่ากับ +/- 0.5 LSB (least significant bit) ตัวอย่างเช่น DAC 8 บิต ความผิดพลาดจะเป็น 1 ใน 512 หรือ +/- 0.195 %

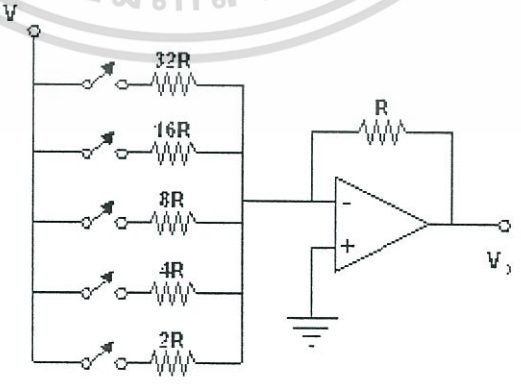
2. **Offset and gain errors** เมื่ออินพุตไบนารีเท่ากับ 0 แต่เอาต์พุตของ DAC ไม่เป็น 0 เรียก ว่า offset error และอาจเกิดร่วมกับ gain error ความผิดพลาดเหล่า นี้จะทำให้ tranfer curve ในรูปที่ 6 โค้งขึ้น หรือลง ขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลย์ภายใน DAC อย่างไรก็ ตาม offset error และ gain error จะแก้ได้โดยใช้ความต้าน ทานปรับค่าได้ต่อไว้ภายนอก

3. **Nonlinearity** คือค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของ transfer curve เทียบกับเส้นตรงจากจุดศูนย์และจุดสูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดของส่วนประกอบภาย ใน DAC ใน data sheet ของ DAC จะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสูงสุด หรือ ระบุเป็นเศษส่วนของ LSB (โดยทั่วไปคือ $\pm$ 0.5 LSB)

4. **Settling time** คือช่วงเวลานับแต่ให้อินพุตจนกระทั่ง DAC ให้ เอาต์พุต วัดเมื่อเอาต์พุตที่ได้ผิดพลาดจากค่าจริง น้อยกว่า 0.5 LSB ค่าเวลานี้อาจน้อยกว่า 100 ns สำหรับ DAC ความ เร็วสูง และอาจมากกว่า 100 us สำหรับ DAC ราคาถูก

2.7 วงจร Digital to Analog Converter แบบต่าง ๆ

2.7.1 วงจร Summed Source DAC



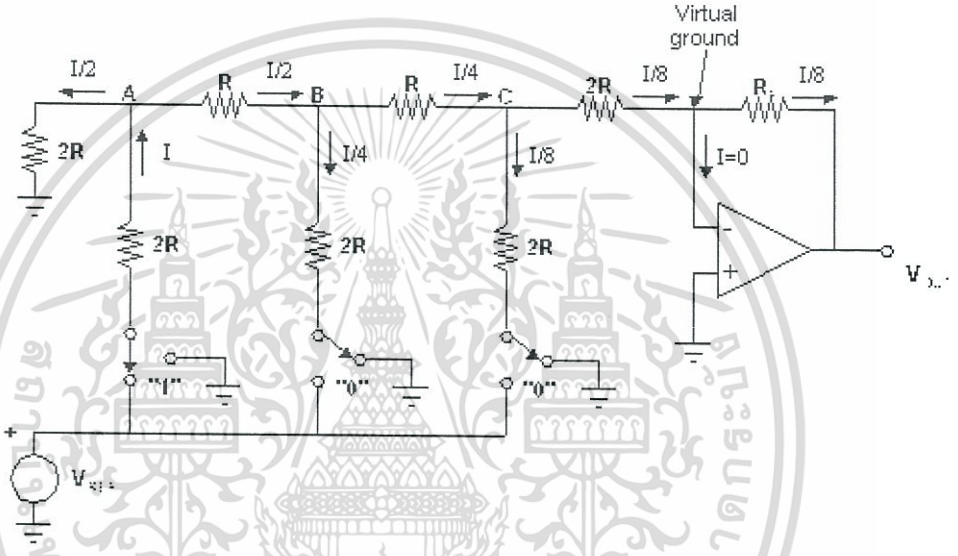
รูปที่ 2.5 วงจร Summed Source DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรอย่างง่ายในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก จาก รูปที่ 2.5 จะเห็นว่าเป็น วง จร Summing Amp มีความต้านทานค่า 2R, 4R และ 8R เพื่อทำให้ กระแสที่ผ่านความต้านทาน แต่ละตัวมีค่า ลดลงเป็น 2 เท่า ความต้านทานตัวล่างสุด (2R) จะ เป็น MSB ส่วนตัวบนสุดจะเป็น LSB

ข้อเสียของการใช้วงจรลักษณะนี้ ในทางปฏิบัติ ค่าความต้านทานที่ต่างกันเป็น 2 เท่า คือ 2R, 4R, 8R, … จะ ไม่สามารถหาได้ง่าย จึงมีการปรับปรุงเป็น วงจร R-2R

2.7.2 วงจร Switched Voltage R-2R DAC



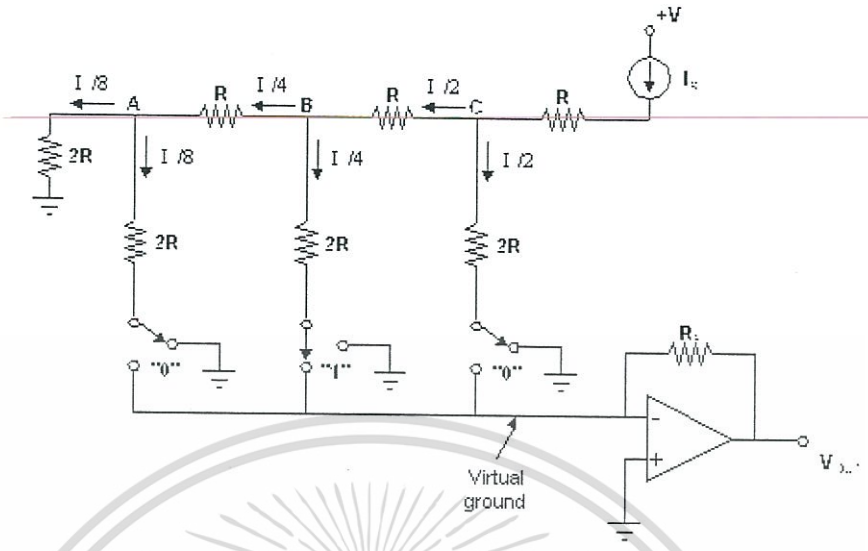
รูปที่ 2.6 วงจร Swiched Voltage R-2R DAC

รูปที่ 2.6 เป็น DAC 3 บิต ใช้ออปแอมป์และความต้านทาน เพียง 2 ค่าคือ R และ 2R สังเกตว่าอินพุตดิจิตอลจะมาจากสวิตช์ทั้ง 3 ซึ่ง อาจต่อกับกราวด์ (ลอจิก 0) หรือต่อกับ V_{REF} (ลอจิก 1) ตัวอย่าง นี้อินพุตเป็น 001

พิจารณากระแส I เมื่อผ่านจุด A จะถูกแบ่งเป็นสองส่วน เท่าๆ กัน เหลือ I/2 เมื่อผ่านจุด B และ C จะถูกแบ่งอีกครั้ง เหลือ I/4 และ I/8 ตามลำดับ ดังนั้นกระแสที่ป้อนให้กับออปแอมป์จะเหลือ I/8 เมื่อพิจารณาที่สวิตช์ตัวอื่นๆ ก็จะมีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นกระแสที่ผ่านออปแอมป์เมื่อปิดสวิตช์อื่นนับจากซ้าย มาขวา จะมีขนาด I/8, I/4 และ I/2 ตามลำดับ สวิตช์ซ้ายสุด จะเป็น LSB ส่วนขวาสุดจะเป็น MSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

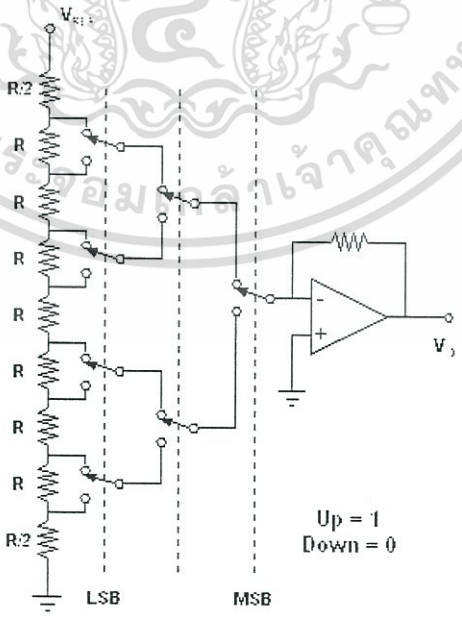
2.7.3 วงจร Switched Current R-2R DAC



รูปที่ 2.7 วงจร Swiched Current R-2R DAC

วงจรนี้เปลี่ยนจากการใช้แรงดันอ้างอิง (V_{REF}) มาเป็นกระแสอ้างอิง (I_R) กระแสที่ผ่านสวิตช์แต่ละตัวจากขวามาซ้ายจะเป็น $I_R/2$, $I_R/4$ และ $I_R/8$ ตามลำดับ วงจร ลักษณะนี้จะมีความเร็วสูงกว่าวงจร Switched Voltage เนื่องจาก คาปาซิแตนซ์ที่รอยต่อ (junction capacitance) ของความต้านทานแต่ละตัวจะไม่ถูกชาร์จและดิสชาร์จเหมือนวง จร Switched Voltage

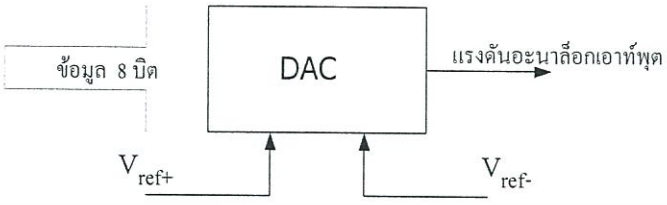
2.7.4 วงจร Switched Pole DAC



รูปที่ 2.8 วงจร Swiched Pole DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจะมีการใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกันหลายตัว เนื่องจากวงจรนี้ต้องการความต้านทานค่าเท่า ๆ กัน ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมสำหรับ ผู้ผลิต Integrated Circuit สังเกตว่าจะมีความต้านทานที่ปลายทั้งสองของอนุกรมเพื่อปรับ offset ของเอาต์พุต



รูปที่ 2.9 ระบบการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก

จากรูปถ้าหากสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามาเป็นลอจิก "1" ทุกบิต จะทำให้แรงดันอะนาล็อกทางเอาท์พุตมีค่าเท่ากับ V_{ref+} แต่ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีค่าเป็น "0" ทุกบิต จะทำให้แรงดันอะนาล็อกทางเอาท์พุตมีค่าเท่ากับ V_{ref-} ตัวอย่างเช่น ถ้ามีอุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อกแบบ 8 บิต และให้ขา V_{ref-} ต่อกับแรงดัน 0 โวลท์ ถ้ามีสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามาเป็น 00000000 จะทำให้ได้แรงดันเอาท์พุตเท่ากับ 0 โวลท์ แต่ถ้าหากมีสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามาเป็น 11111111 จะได้แรงดันเท่ากับ255/256 ของแรงดันอ้างอิงบวก หรือ V_{ref+} แต่ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาเป็น 00001111 แรงดันเอาท์พุตจะเป็น 15/256 ของแรงดันอ้างอิงบวก

การเลือกใช้ไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก ควรพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

RESOLUTION ซึ่งเป็นความสามารถในการแบ่งแยกระดับสัญญาณซึ่งคือ จำนวนบิตของสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามานั่นเอง ถ้าหากเป็นแบบ 8 บิต หมายความว่าสามารถแยกสัญญาณอะนาล็อกได้ 256 (28) ระดับ

FULL SCALE PUTPUT VOLTAGE ซึ่งเป็นค่าแรงดันอะนาล็อกสูงสุด ตัวอย่างเช่น ถ้าเป็น D/A แบบ 8 บิต จะเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้.

$$V_o = V_{ref}\left(\frac{A1}{2}+\frac{A2}{4}+\frac{A3}{8}+\frac{A4}{16}+\frac{A5}{32}+\frac{A6}{64}+\frac{A7}{128}+\frac{A8}{256}\right)$$

ถ้าหากแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 10 โวลท์ และค่าดิจิตอลที่เข้ามาเป็นลอจิก "1" ทุกบิต จะแทนค่า A1-A8 เป็น 1 ทุกตัว จะทำให้แรงดันเอาท์พุตอะนาล็อกมีค่าเท่ากับ 9.9609 โวลท์

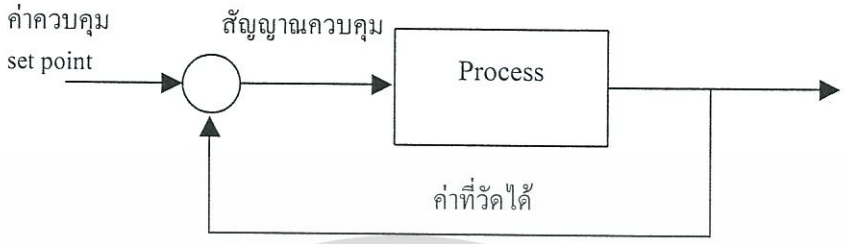
ACCURACY เป็นความผิดพลาดของการแปลงสัญญาณโดยมากแล้วจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

SETTLING TIME เป็นเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

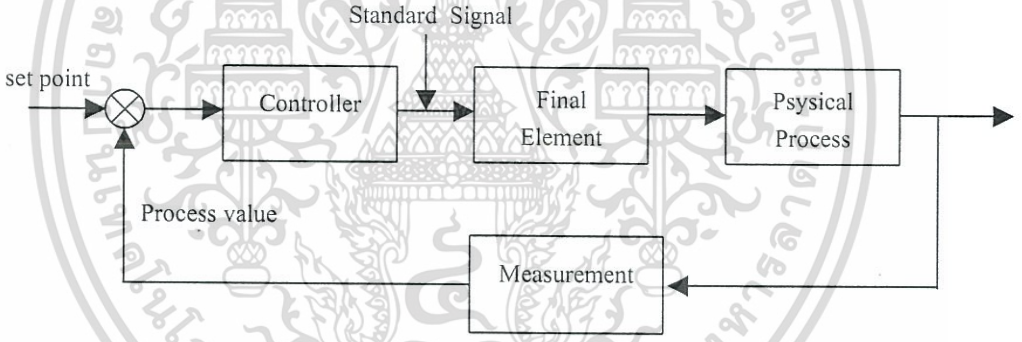
2.5 สัญญาณมาตราฐาน (Standard Signal) ในระบบควบคุมอัตโนมัติ

ในระบบควบคุมอัตโนมัติ จะมีการวัดและการนำสัญญาณที่วัดได้ไปเทียบค่าที่ต้องการควบคุม โดยทั่วไป ลักษณะแบบนี้คือ การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) แสดงดังรูปง่าย ๆ ได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 การควบคุมแบบป้อนกลับแบบง่าย

ในรูปที่ 2.10 เป็นการแสดงการควบคุมแบบป้อนกลับแบบง่าย สามารถเขียนให้ใกล้เคียงรูปที่ใช้งานจริงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

จากบล็อคไดอะแกรม เราสามารถแยกแยะองค์ประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติ ตามระบบเครื่องมือวัดคุมทางอุตสาหกรรม ที่ได้พัฒนาขึ้นมาไม่ว่าจะเป็นระบบลม ไฟฟ้า หรือดิจิตอลก็ตาม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามี 5 องค์ประกอบใหญ่ ๆ ด้วยกัน ดังนี้

1. ตัวควบคุม (Controller) หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณที่ต้องการควบคุม ให้ได้ผลตอบสนองตามต้องการ เช่นตัวควบคุมอาจเป็นแบบ ON/OFF หรือ PID เป็นต้น

2. อุปกรณ์วัด (Measuring instruments) หมายถึง อุปกรณ์ได้แก่ Sensor, Transducer หรืออุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Converter) หรือวัดสัญญาณอื่น ๆ ที่มีเอาท์พุทตามสัญญาณมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์ปรับกระบวนการ (Final Control Element) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงตามค่าสัญญาณควบคุม (Manipulated Variable) ของกฎการควบคุม อุปกรณ์พวกนี้ ได้แก่ วาล์วควบคุม (Control Value), inverter, Actuator ต่าง ๆ เป็นต้น

4. กระบวนการ (Process) หมายถึง กระบวนการทางฟิสิกส์ ที่เราต้องการควบคุมให้มีสภาวะตามต้องการ ขณะที่สภาวะการทำงาน หรือสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา กระบวนการได้แก่ อุณหภูมิ, ความดัน, อัตราการไหล, ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) และ กระบวนการในถังทำปฏิกิริยา เป็นต้น

5. สัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) ในการที่ต้องการเชื่อมอุปกรณ์ในระบบควบคุมอัตโนมัติ ให้ทำงานได้ตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องมีมาตรฐานรองรับ ซึ่งวิวัฒนาการตั้งแต่เริ่มมีระบบควบคุมอัตโนมัติมานั้น ก็มีการเปลี่ยนแปลงระบบตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดมาตั้งแต่ยุคลม (Pneumatic), ไฟฟ้า (Electrical) และปัจจุบันเริ่มมีการใช้สัญญาณดิจิตอลกันแล้ว แต่ยังตกลง Protocol กันไม่ได้

สัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) ที่ใช้ในระบบควบคุมมี 2 แบบ คือ

1. ระบบไฟฟ้า (Electrical)
2. ระบบนิวแมติก (Pneumatic)

1. สัญญาณมาตรฐานในระบบไฟฟ้า (Electrical Standard Signal) แบ่งเป็น 2 จำพวก
   - 1.1 สัญญาณกระแสมีขนาด 4-20 mA
   - 1.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีขนาด 1-5 V
2. สัญญาณมาตรฐานในระบบนิวแมติก (Pneumatic Standard Signal)
   - 2.1 สัญญาณลมมีขนาด 3-15 psi.

ทำไมต้องมีสัญญาณมาตรฐานไฟฟ้า 2 จำพวก

พิจารณาการต่อวงจรอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันในระบบสัญญาณกระแส จะต้องต่ออุปกรณ์แบบวงจรอนุกรม เนื่องจากการต่อขนานจะทำให้มีการแบ่งกระแสทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าไม่ถูกต้อง

ส่วนในระบบสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จะต้องต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นวงจรขนาน เพื่อมิให้เกิดการแบ่งแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าไม่ถูกต้อง

ข้อดีของระบบกระแสเมื่อเทียบกับระบบแรงดันไฟฟ้า

1.ส่งสัญญาณได้ไกลกว่า เนื่องจากไม่มีการสูญเสียในสาย

2.ตัวรับสัญญาณมักมี Input impedance ต่ำ ซึ่งจะเกิดสัญญาณรบกวน (noise) น้อยกว่าระบบแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมักมี Input impedance ของตัวรับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของระบบแรงดันไฟฟ้าเมื่อเทียบกับระบบกระแส

จุดเด่นที่สำคัญของระบบแรงดันไฟฟ้า คือ ถ้าอุปกรณ์รับตัวในตัวหนึ่งเสีย อุปกรณ์ที่เหลือจะยังสามารถทำงานได้ ในขณะที่การต่อแบบอนุกรมแบบระบบกระแส วงจรควบคุมจะหยุดการทำงาน หรือทำงานผิดพลาดหมด

ในทางปฏิบัติการส่งสัญญาณระยะไกลเข้ามามักใช้ระบบกระแส ส่วนในแผงควบคุมมักเปลี่ยนจากกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้กับตัวรับหลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และอุปกรณ์ต่อร่วม

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คุณสมบัติ

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม สูงสุด 64 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บความจำภายใน 4 กิโลไบต์

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิพ มีขนาดสูงสุด 64 กิโลไบต์ และใช้ PORT 0 เป็นแอสเดรสและดาต้าบัส และใช้ PORT 2 เพียง 3 เส้น เพื่อติดต่อกับหน่วยความจำที่ต้องการ
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพ แบ่งเป็น 3 หน่วยย่อย
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป บริเวณ 128 ไบต์ล่าง
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป บริเวณ 128 ไบต์บน
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของรีจีสเตอร์เฉพาะ (SFR)

รีจีสเตอร์ใช้งานเฉพาะ การออกแบบสำหรับควบคุมระบบโดยเฉพาะ เช่น TCON, TMOD หรือรีจีสเตอร์ IE หรือ IP เป็นต้น

รีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป เช่น รีจีสเตอร์ A,B หรือ R0-R7 อยู่ใน 128 ไบต์แรก มีด้วยกัน 4 กลุ่ม จึงมีด้วยกัน 32 ตัว

โครงสร้างพอร์ต มีพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต เพราะฉะนั้นจึงใช้เป็นพอร์ต 1 บิต ได้ 32 พอร์ต

- P0 ใช้งานใช้งานเป็นดาต้าบัสและแอสเดรสบัสไบต์ต่ำ
- P1 ใช้งานอินพุต - เอาท์พุต พอร์ตทั่วไปได้
- P2 ใช้งานอินพุต - เอาท์พุต พอร์ตทั่วไปได้ และเป็นแอสเดรสบัสไบต์สูง
- P3 ใช้งานสำหรับการเขียนและการอ่านข้อมูลจากภายนอก

ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ มีขนาด 16 บิต ใช้สำหรับนับจำนวนสัญญานาฬิกาหรือแมชชินไซเคิลของวงจรออสซิสเลเตอร์ภายใน หรือจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสัญญาณจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดคร่าวๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เข้าใจและมองเห็นภาพกว้างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษารายละเอียดต่อไป หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลในตัว สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA (Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์ใช้สำหรับเป็นไทม์เมอร์หรือเคาท์เตอร์เพิ่มขึ้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นับได้ว่าเป็นพื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่เบอร์ 8051,8031,8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น ROM ขนาด 4 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเตอร์รัพจากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีวงจรเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมการทำงานในตัวเอง

การจัดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกันดังรูปที่ มีรายละเอียดดังนี้

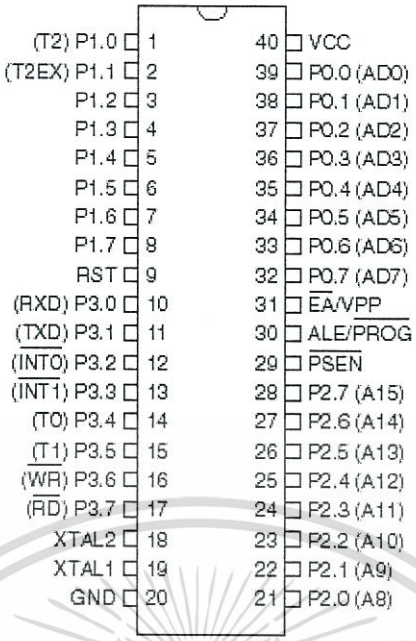
ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไปเลี้ยง +5V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50222



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ขาพอร์ต (P1.-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นจะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตดิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตดิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ มีรายละเอียดดังนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งของมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือ INT0

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือ INT1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขาT1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WRในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขารีเซต RST ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเบอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

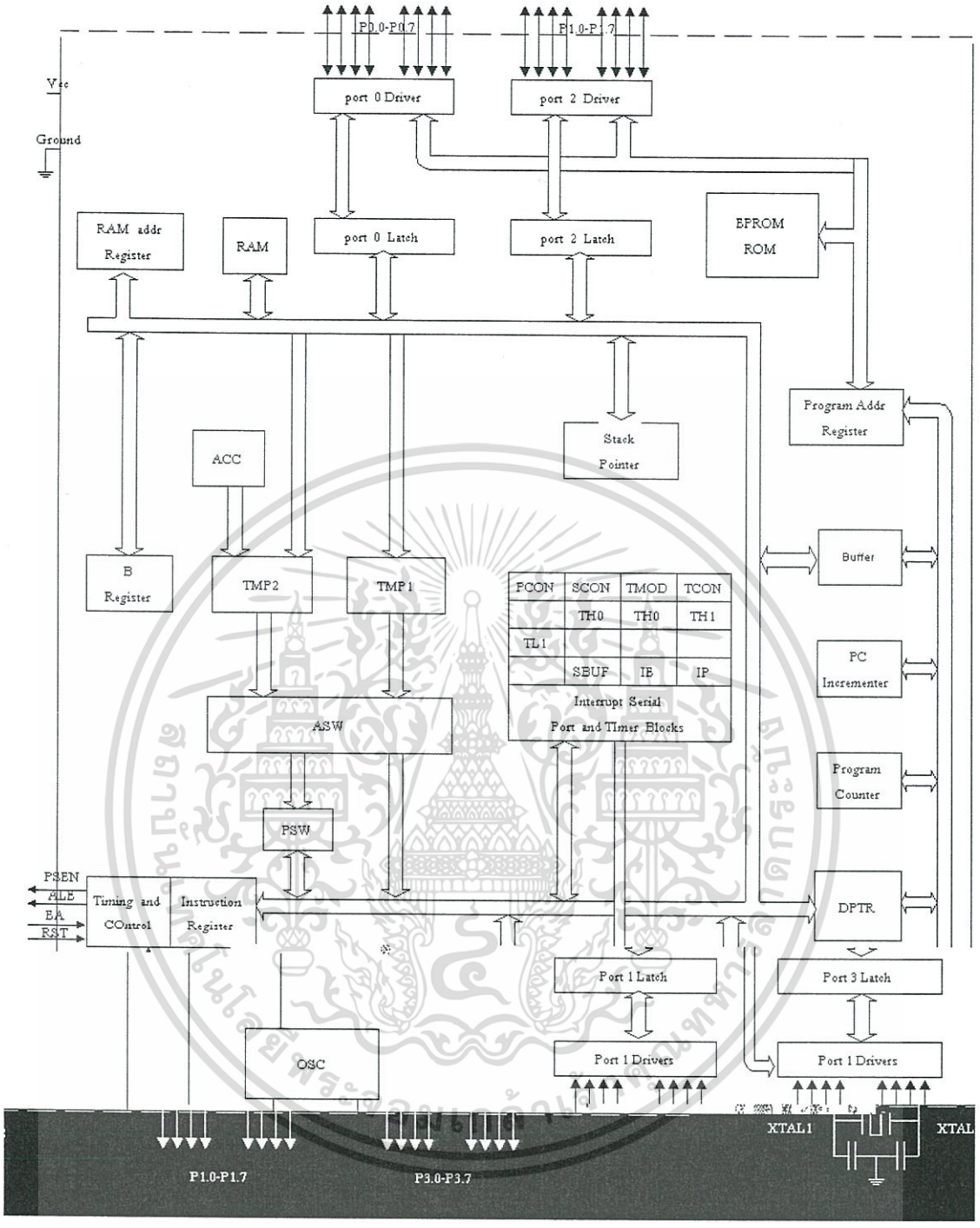
ขา ALE/PROG (Addess Lacth Enable/Program pulse input)เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตซ์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ EEPROM

ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง ในแต่ละแมชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้องมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใด ๆ ออกมา

ขา EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input)ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ขานี้ยังเป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก แบบแฟลชต้องการแรงดันไฟสำหรับการโปรแกรม +12V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อกับคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS–51 มีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 ถึง พอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCS-51 จะมีวงจรแลตช์และวงจรขับ ตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรม รูปที่ 13

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขานอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบใด

การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของโมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอกิจ “0” จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0”)

การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้วขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้วดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมากล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟต ทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรแลตช์ วงจรขับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมา เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีการอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอต์พุต

เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

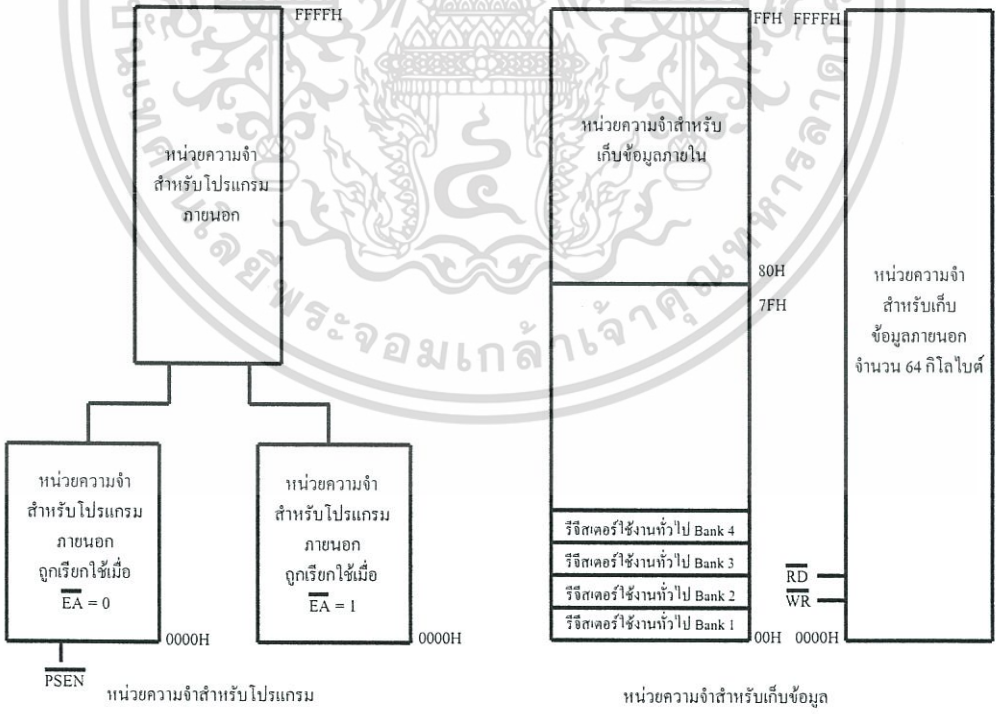
current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

การแบ่งหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรล-เลอร์ ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่ภายในตัว โดยอาจจะมีขนาดไม่เท่ากัน

หน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกตัวจะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากหรือน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์ สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำและหน่วยความจำข้อมูลได้แสดงไว้ดังรูป

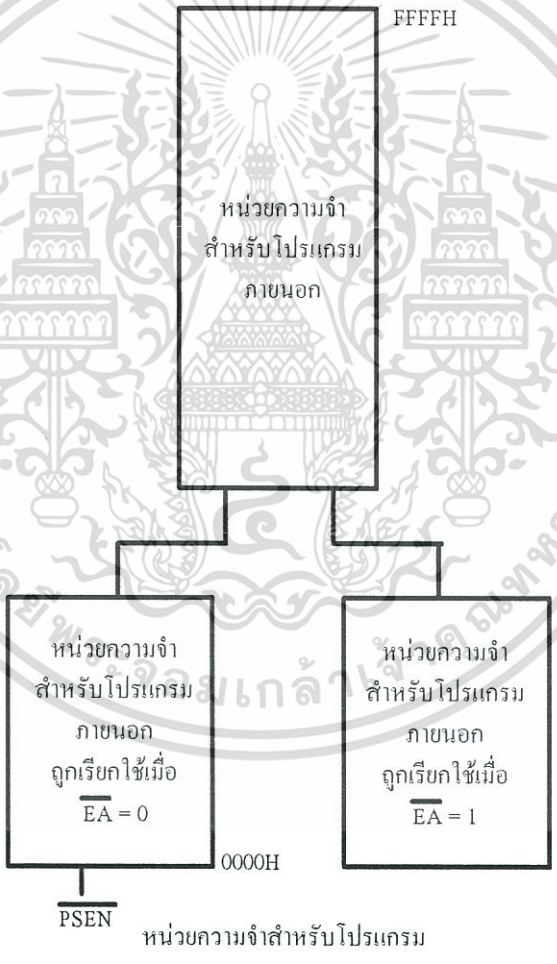


รูปที่ 3.3 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน่วยความจำโปรแกรม

เป็นบริเวณหน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่างๆ หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในนี้จะถูกเลือกใช้งานถ้าขาสัญญาณของ EA มีค่าเป็น 1 โดยถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0 – 0FFFH (หรือช่วง 0 – 0FFFF ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดแดรสไปจะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดแดรส 0 – 0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0000H – 1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่า ถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส



รูปที่ 3.4 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยความจำข้อมูล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 สามารถทำการอ่านและเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลที่มีขนาดสูงสุดได้ 64 กิโลไบต์ และหน่วยความจำในที่นี้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลใช้งานจำนวนมากเป็นส่วนใหญ่ หน่วยความจำข้อมูลกำหนดให้มีตำแหน่งใช้งานตั้งแต่ 00000H ถึง 08000H ซึ่งตามที่กล่าวมาแล้วหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกถูกกำหนดให้เริ่มที่ตำแหน่ง 04000H เป็นต้นไป นั่นคือโปรแกรมใช้งานจะต้องเริ่มประมวลผลที่ตำแหน่ง 04000H ขึ้นไปเสมอ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในข้อมูลยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนที่เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่ใช้เป็นรีจีสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจีสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจีสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

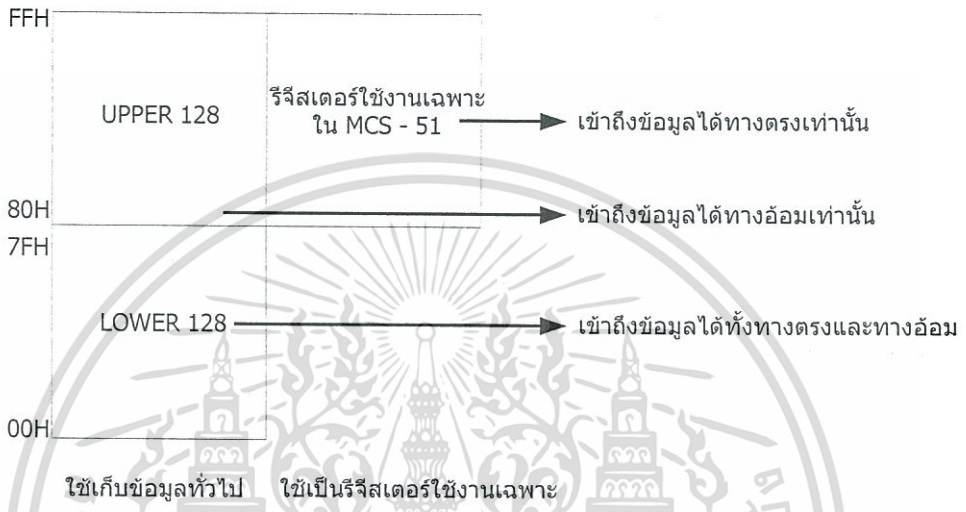
รูปที่ 3.5 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับไมโครลคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 หน่วยความจำข้อมูลภายใน

หน่วยความจำข้อมูลในส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยดังนี้

- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป บริเวณ 128 ไบต์ล่าง (lower 128)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป บริเวณ 128 ไบต์บน (upper 128)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของรีจีสเตอร์เฉพาะ (SFR)



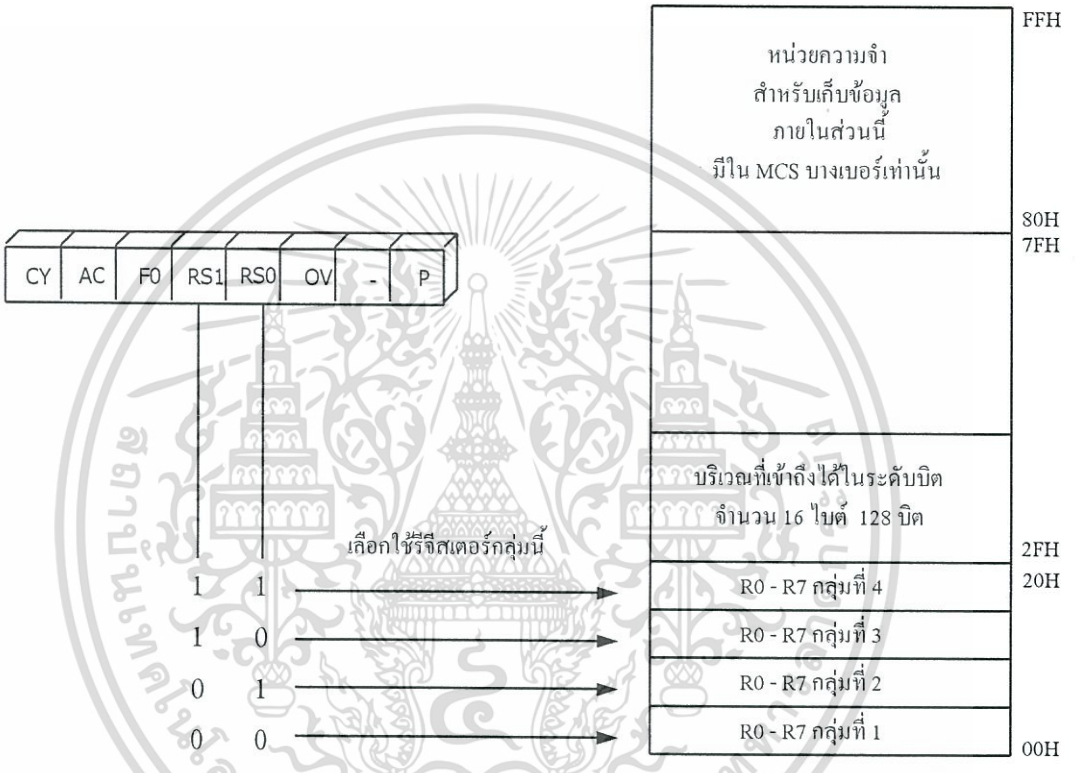
รูปที่ 3.6 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้ง 3 ส่วน

บริเวณ 128 ไบต์บน (ตำแหน่ง 7FH-0FFH) จะใช้วิธีเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น แต่สำหรับหน่วยความจำเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจีสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 7FH-0FFHเช่นเดียวกัน) จะใช้วิธีเข้าถึงข้อมูลได้โดยทางตรงเท่านั้น ดังนั้นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้งสองบริเวณนี้จึงสามารถมีตำแหน่งซ้ำกันได้ โดยในระหว่างการทำงาน MCS-51 จะตรวจสอบจากรหัสคำสั่งเองว่าคำสั่งที่ต้องการทำงานมีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำตำแหน่งใด และโดยวิธีไหน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน บริเวณ 128 ไบต์ล่าง ตำแหน่ง 00H-1FH รวม 32 ไบต์ จะกำหนดให้เป็นกลุ่มของรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป 4 กลุ่ม ๆละ 8 ตัว (R0-R7) กลุ่มรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปจะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวในขณะใดขณะหนึ่ง เมื่อมีคำสั่งระบุให้ใช้ข้อมูลในรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซีพียูใน MCS-51 จะตรวจสอบเองว่าในขณะนั้นรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปกลุ่มใดถูกเลือกใช้งาน โดยดูจากบิต RS0,RS1 ในรีจีสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน ที่อยู่ถัดจากกลุ่มรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง 4 กลุ่ม ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H-2FH รวม 16 ไบต์ ได้ถูกออกแบบให้มีลักษณะโครงสร้างพิเศษกว่าหน่วย-ความจำสำหรับเก็บข้อมูลบริเวณอื่น โดยแต่ละบิตของหน่วยความจำบริเวณนี้มีหมายเลขตำแหน่งกำหนดไว้แน่นอน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลขนาด 1 บิตในการทำงานของกลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีนได้ แต่ละบิตของหน่วยความจำบริเวณนี้มีหมายเลขตำแหน่งตั้งแต่ 00H-7FH รวม 128 ตำแหน่ง หรือ I28 บิต



รูปที่ 3.7 แสดงการเลือกใช้กลุ่มรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป โดยควบคุมจากบิต RS0,RS1

2.2 หน่วยความจำข้อมูลภายนอก

มีขนาดสูงสุด 64 กิโลไบต์ การใช้หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก พอร์ต 0 จะถูกใช้เป็นแอดเดรสบัสและดาต้า ส่วนพอร์ต 2 จะถูกใช้เพียง 3 เส้นเพื่อเป็นตัวเลือกช่วงหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อเนื่องจากแอดเดรสที่ต้องการสำหรับหน่วยความจำขนาด 2 กิโลไบต์ คือ 11 เส้น (8 เส้นจากพอร์ต 0 รวมกับ 3 เส้นจากพอร์ต 2)

ดังนั้นพอร์ต 2 ที่เหลือจากการต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลสามารถนำไปใช้เป็นพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาท์พุตทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกจำเป็นต้องมีสัญญาณควบคุมการอ่าน และเขียนข้อมูล สัญญาณควบคุมการอ่านและการเขียนข้อมูลจะถูกส่งจาก MCS-51 ผ่านทางขา P3.7 และ P3.6 ตามลำดับ

รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register : SFR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนสามารถเข้าถึงได้โดยตรง (direct addressing) สำหรับรายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ FR มีดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

CY : แฟลกทด (Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วค่าของแอกคิวมูลเลเตอร์เกิน 255 (ฐานสิบ) หรือ FFH

AC : แฟลกทดเสริม (Auxiliary Carry)เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4 มักใช้ในการ แปลงค่าเป็นเลขฐานสิบ (BCD operation)

F0 : แฟลกใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใด ๆ ที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select1) ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select0) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

OV : บิตเกิน (Overflow) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งของคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 6 มายังบิต 7 ของแอกคิวมูเลเตอร์ หรือแอกคิวมูเลเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย

- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ

P : บิตพาราตี้ (Parity)ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า "1" ภายในแอกคิวมูเลเตอร์ ถ้าหากในแอกคิวมูเลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น "1" รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น "0" ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบงก์ 0	00H-07H
0	1	แบงก์ 1	08H-0FH
1	0	แบงก์ 2	10H-17H
1	1	แบงก์ 3	18H-1FH

รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต นั่นหมายความว่า สามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่ DOH เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บสถานะของการทำงานของโปรแกรมในขณะนั้น จะเรียกสถานะต่าง ๆ ของโปรแกรมว่า แฟลก (flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมาปรากฏที่บิตต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ PSW

จะเห็นได้ว่า นอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้ในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้ว ที่บิต RSO และ RSI ยังใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 ด้วย ดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ โดยปกติแล้วในการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 มักนิยมเลือกใช้แบงก์ 0 เป็นลำดับแรก หากไม่เพียงพอจึงเลือกในแบงก์อื่น ๆ มาใช้ แต่ต้องระมัดระวังในการกำหนดค่าและลำดับการติดต่อให้ดี มิเช่นนั้น อาจทำให้การเขียนโปรแกรมเกิดความสับสน ดังนั้นสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ 0 เพียงแบงก์เดียวให้ชำนาญเสียก่อน

การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PSW เพื่อเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 ควรกำหนดไว้ที่ตอนต้นของโปรแกรมเสมอ เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมติดต่อกับรีจิสเตอร์ R0-R7 ได้อย่างสะดวกและไม่เกิดความผิดพลาด

แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator : ACC)

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก ก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้นั้นให้แก่ซีพียูเพื่อทำการประมวลผลต่อไป อาจเรียกรีจิสเตอร์แอกคิวมูลเตอร์อย่างสั้น ๆ ว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC

รีจิสเตอร์ A นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ นั่นหมายความว่า สามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ A นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ นั่นหมายความว่า สามารถกระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ

รีจิสเตอร์ B

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ F0H มีหน้าที่พิเศษคือ หากมีความต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ จะต้องนำข้อมูลที่ต้องการหารหรือคูณนั้น มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B นี้ แล้วจึงกระทำคำสั่งการคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป

ในกรณีที่ไม่ได้มีความต้องการคูณหรือหารข้อมูล สามารถใช้รีจิสเตอร์ B นี้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้ เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ และสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC)

มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน รีจิสเตอร์ PC เป็นรีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรไว้รวมกับรีจิสเตอร์ SFR ตัวอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC จะขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งแต่ละคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด

รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่า ดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนตามที่กำหนดไว้หรือไม่

สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP)

หรือรีจิสเตอร์ตัวชี้สแต็ก มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 81 H ใช้ในการเก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย หรือกระโดดโปรแกรมย่อยกลับมายังโปรแกรมหลัก เมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้น (รีเซต : การกระทำที่ส่งผลให้ซีพียูต้องเริ่มต้นการทำงานใหม่ตั้งแต่ต้น) ค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07H นั่นหมายความว่าตัวชี้สแต็กมีค่า 07H แอดเดรสแรกของพื้นที่ที่สำรองไว้ทำหน้าที่เป็นสแต็กจะเท่ากับ 08H

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมของสแต็กและสแต็กพอยน์จะกล่าวถึงในบทที่ว่าด้วยเครื่องของสแต็กและการหน่วงเวลา

รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือดาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer : DPTR)

มีขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 82H สำหรับ DPL และ 83H สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DRTR นี้ใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

เอกสารนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์พอร์ต (Port register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ตัว คือ รีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90H รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H และรีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง

รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ทำการส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารอนุกรมที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล(receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์และรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไปนั้นสำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ไทเมอร์ (Timer register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต แต่จะจัดแบ่งเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ DRTR รีจิสเตอร์ไทเมอร์ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ (counter) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลา จับเวลา หรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายในบางที่เรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่า รีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ตัวแบ่งเป็น T0 หรือ Timer 0 และ T1 หรือ Timer 1 ในรีจิสเตอร์ยังแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์ต่ำ (TL) และรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์สูง (TH) เหมือนกันโดยรีจิสเตอร์ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8AH รีจิสเตอร์ TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8BH ในขณะที่ TL1 และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8CH และ 8DH ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ควบคุม (Control register)

รีจิสเตอร์ SFR ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ยังมีอีกหลายตัวประกอบด้วย

รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรม และกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะได้กล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ว่าด้วยการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดย T2CON ใช้สำหรับไทเมอร์เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

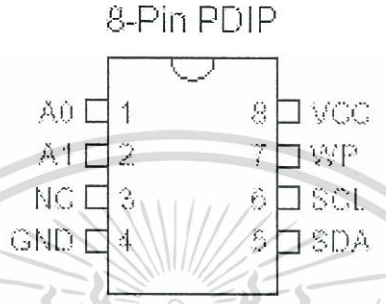
รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยที่ T2MOD ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ (interrupt : การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับอีนาเบิลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอรสำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า จะให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใด ก่อนหรือหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ไอซี EEPROM 2408

IC 24LC08 เป็น EEPROM ที่มีขนาด 8 Kbyte ที่มีการสื่อสารแบบ I^2C สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์แบบ I^2C ตัวอื่น ๆ ได้ในสายสัญญาณคู่เดียวกัน แต่ไม่สามารถต่อ 24LC08 ในสายสัญญาณคู่เดียวกัน เพราะ 24LC08 ตำแหน่งที่คงที่เพียงตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่ง 00H โครงสร้างภายนอกและขาสัญญาณแสดงดังรูปด้านล่าง

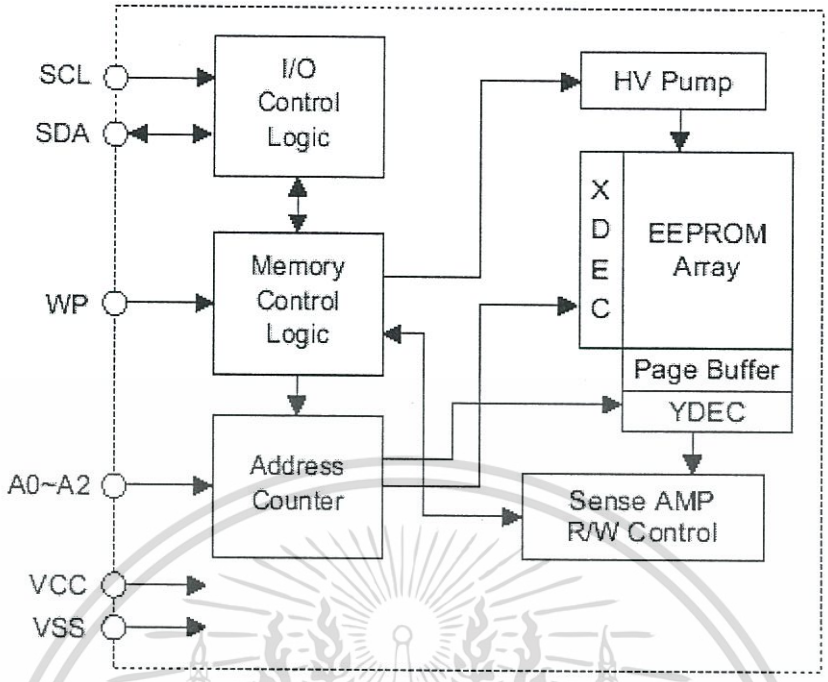


รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างขาใช้งานของ EEPROM 24LC08

ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของขาต่าง ๆ ของ EEPROM 24LC08

ตำแหน่ง	สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	A0	ขากำหนดตำแหน่ง A0
2	A1	ขากำหนดตำแหน่งA1
3	A2	ขากำหนดตำแหน่ง A2
4	Vss	กราวด์
5	SDA	สัญญาณข้อมูล I^2C
6	SCL	สัญญาณนาฬิกา
7	WP	ขาป้องกันการเขียน
8	Vcc	แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์

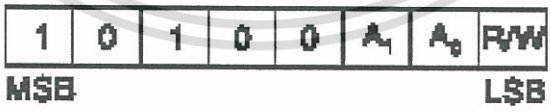
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างภายใน EEPROM 24LC08

Device Addressing

Control Byte จะเป็น Byte แรกต่อจากบิต Start Control Byte จะประกอบด้วย Control Code 4 bit จะอยู่ในบิตที่ 7-4 24LC08 มีค่าเป็น1010 และต่อมาอีก 3 Bit จะเป็น (B2,B1,B0) เป็นบิตที่ใช้เลือก Bank ของหน่วยความจำ บิตที่ 0 เป็นบิต RW มีหน้าที่ กำหนดเงื่อนไขว่า จะเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก 24LC08



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการ Device Address

การเขียนข้อมูล

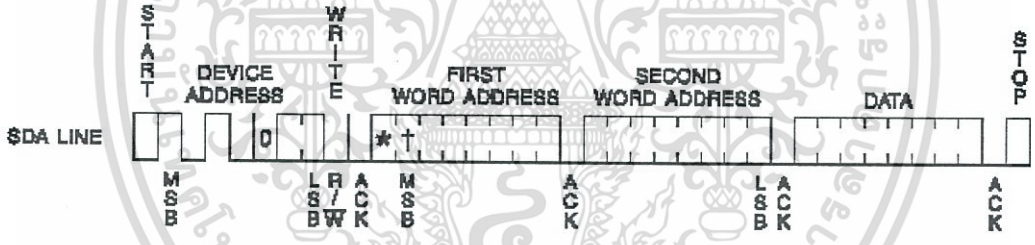
การเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำของ 24LC08 สามารถทำได้โดยเริ่มจากส่งเงื่อนไข Start และตามด้วย Control Byte บิต R/W ใน Control Byte จะต้องกำหนดค่าให้เป็น 0 ซึ่งการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำของ 24LC08 สามารถแบ่งออกได้เป็นการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ และการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 Page

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนข้อมูลแบบ Byte

การเขียนข้อมูลแบบไบต์ หรือการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ ลงในหน่วยความจำของ 24LC08 สามารถทำได้โดยเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งเงื่อนไข Start ให้กับ 24LC08 และตามด้วย Control Byte โดยกำหนดค่า B2,B1,B0 ใน Control Byte ตามค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการเขียนข้อมูล ส่วนบิต R/W จะถูกกำหนดให้เป็น 0 หลังจากส่ง Control Byte จะต้องรอรับค่าบิต ACK จาก 24LC08 ตามกลับออกมา ซึ่งบิต ACK ที่ตอบกลับออกมาจะมีค่าเป็น 0 หลังจากได้รับบิต ACK ที่ตอบกลับออกมาแล้ว ให้ส่งไบต์ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการเขียนข้อมูลออกไปอีก 1 ไบต์ หลังจากนั้นให้รอรับบิต ACK ที่จะตอบกลับออกมาเป็นลอจิก 0 จาก 24LC08 เมื่อได้รับบิต ACK ตอบกลับออกมาแล้ว ให้ส่งค่าข้อมูลที่ต้องการเขียนลงในตำแหน่งหน่วยความจำออกไป และรอรับค่าบิต ACK จาก 24LC08 หลังจากได้รับบิต ACK ตอบกลับออกมาแล้วให้ส่งเงื่อนไขการ Stop เพื่อยกเลิกการติดต่อ

ถ้าขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไม่มีบิต ACK ตอบกลับออกมาให้เริ่มส่งเงื่อนไข Start ใหม่ อีกครั้งและเริ่มขบวนตั้งแต่ต้นใหม่



รูปที่ 3.11 แสดง Timing Diagram ของการเขียนข้อมูลแบบ Byte

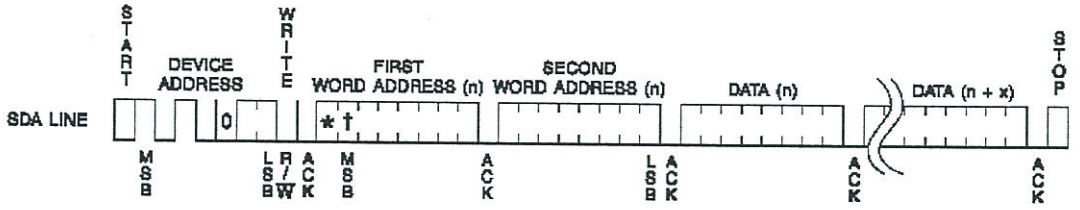
การเขียนข้อมูลแบบ Page

การเขียนข้อมูลแบบ Page หรือการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 Page ภายใน 24LC02 แบ่งการเก็บข้อมูลไว้เป็น Page โดยแต่ละ Page สามารถเก็บข้อมูลได้ 16 ไบต์ ดังนั้นการเขียนข้อมูลครั้งละ Page ก็คือการเขียนข้อมูลครั้งละ 16 ไบต์นั่นเอง

การเขียนข้อมูลครั้งละ Page จะเหมือนกับการเขียนข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ จะต้องส่งเงื่อนไข Start ออกไปก่อน แล้วตามด้วย Control Byte หลังจากนั้นรอรับ ACK จาก 24LC08 หลังจากได้ค่า ACK แล้วให้ส่งตำแหน่งหน่วยความจำออกไป และรอรับบิต ACK จาก 24LC08 จึงจะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปจนครอบ 16 ไบต์ โดยข้อมูลทั้ง 16 ไบต์ จะถูกเก็บเรียงกันในหน่วยความจำเริ่มต้นตั้งแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตำแหน่งที่ถูกส่งออกไปใน Byte Word Address หลังจากที่ได้รับบิต ACK หลังจากส่งข้อมูลออกไปครบทั้ง 16 ไบต์ ให้ส่งบิต Stop เพื่อยกเลิกการเขียนข้อมูล



รูปที่ 3.12 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบ Page

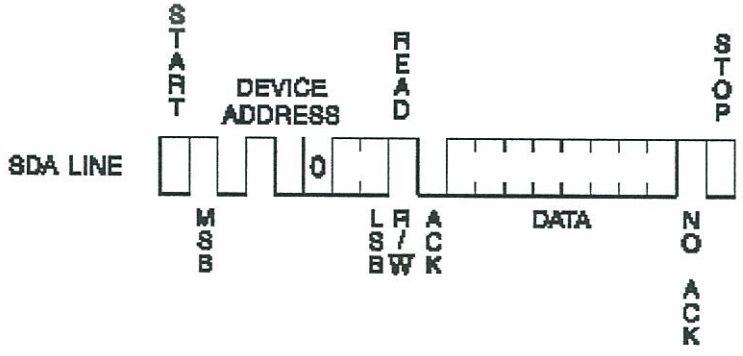
การอ่านข้อมูล

ขั้นตอนการอ่านข้อมูลจะเหมือนกับขั้นตอนการเขียนข้อมูลจะแตกต่างกันที่บิต R/W จะต้องถูกเซ็ต เป็น 1 ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการอ่านข้อมูลได้ 3 แบบ

การอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบัน (Current Address Read)

ภายใน 24LC08 จะมีตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำ ทุกครั้งที่เราส่งตำแหน่งให้กับ 24LC08 นั้นค่าของตัวชี้จะถูกเปลี่ยนตามค่าของตำแหน่งที่ถูกส่งเข้าไป และทุกครั้งที่มีการเขียนเข้าใน 24LC08 หรืออ่านข้อมูลออกจาก 24LC08 ในแต่ละไบต์ค่าของตัวชี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 1 ค่า โดยอัตโนมัติ

ดังนั้นการอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบันคือการอ่านข้อมูลจาก 24LC08 ณ ตำแหน่งที่ตัวชี้อยู่ ซึ่งสามารถทำได้โดยการส่งเงื่อนไข Start และตามด้วย Control Byte โดยกำหนดให้บิต R/W มีค่าเป็น 1 หลังจากนั้นให้รอรับบิต ACK หลังจากที่ได้รับบิต ACK แล้วให้อ่านข้อมูลกลับออกมาจาก 24LC08 จำนวน 1 ไบต์ หลังจากนั้นให้ส่งบิต NO ACK ซึ่งก็คือส่งลอจิก 1 และส่งเงื่อนไข Stop ให้กับ 24LC08



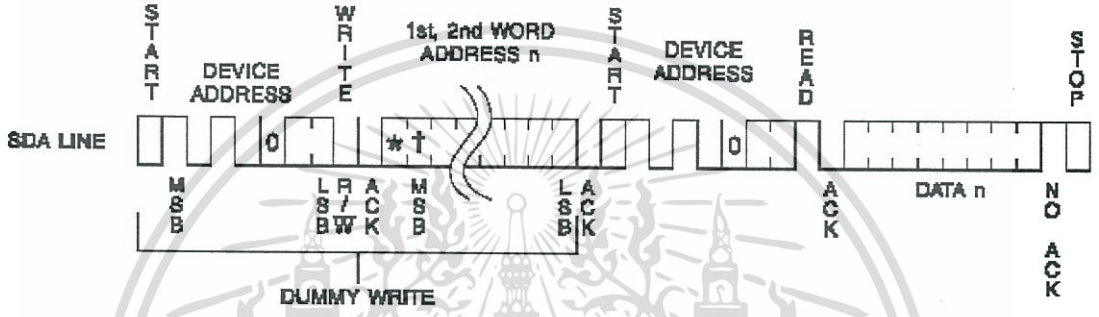
รูปที่ 3.13 การอ่านข้อมูลในตำแหน่งปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ่านข้อมูลแบบสุ่ม (Random Read)

การอ่านข้อมูลแบบสุ่มจะเป็นการอ่านค่าตาม Address ที่ระบุที่ตำแหน่งที่ต้องการอ่าน โดยมีขั้นตอนการอ่านค่าข้อมูลในหน่วยความจำดังนี้

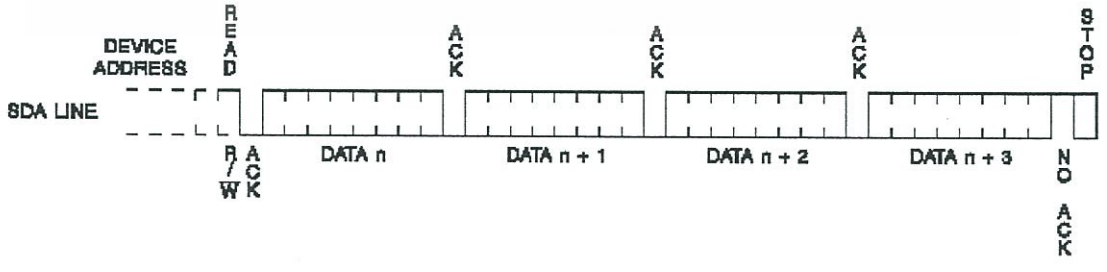
ส่งเงื่อนไข Start และตามด้วย Control Byte โดยให้บิต R/W เป็น 0 และ Work Address ซึ่งเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการอ่านข้อมูล หลังจากนั้นให้รอรับบิต ACK เมื่อได้รับบิต ACK แล้วจึงอ่านข้อมูลออกมา 1 ไบต์ ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งเดียวกับตัวชี้ ชี้อยู่ หลังจากได้ข้อมูลครบทั้ง 8 บิตแล้วให้ส่งบิต NO ACK และบิต Stop ให้กับ 24LC08



รูปที่ 3.14 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบสุ่ม

การอ่านข้อมูลเป็นลำดับ (Sequential Read)

การอ่านข้อมูลในหน่วยความจำแบบลำดับ มีขั้นตอนการอ่านข้อมูลในลำดับเดียวกันกับการอ่านข้อมูลแบบสุ่ม จะแตกต่างที่การอ่านข้อมูลแบบสุ่มจะอ่านข้อมูลออกมาเพียงไบต์เดียว แต่การอ่านข้อมูลแบบลำดับจะอ่านข้อมูลออกมา X จนกระทั่งส่งบิต NO ACK และบิต Stop ออกไป ซึ่งทุกครั้งที่มีการอ่านข้อมูลออกจาก 24LC08 นั้น ค่าของตัวชี้ที่อยู่ใน 24LC08 จะเพิ่มค่าขึ้น 1 ค่า เพราะฉะนั้นข้อมูลที่อ่านออกมาได้จึงเป็นข้อมูลที่อยู่ต่อเป็นลำดับต่อ ๆ กันออกไป

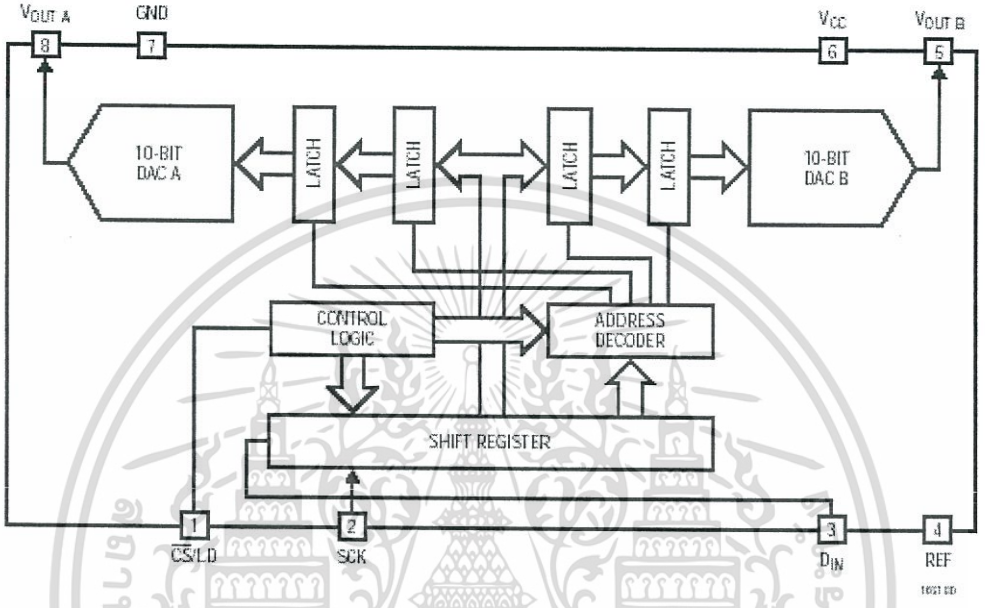


รูปที่ 3.15 แสดง Timing Diagram ของการอ่านข้อมูลแบบลำดับ

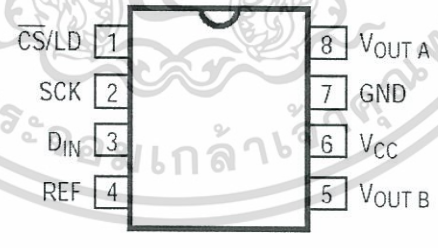
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ไอซี DAC แบบอนุกรม (LTC1661)

ไอซี DAC เบอร์ LTC1661 จัดเป็นไอซีจำพวก Chip Support ของบริษัท "Liner Technology" สามารถใช้สร้างสัญญาณ Analog ซึ่งมีความละเอียดสูงถึง 10บิต (1024 ระดับ) ได้พร้อมกัน 2 ช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี DAC LTC1661



รูปที่ 3.17 แสดงการจัดขาต่าง ๆ ของไอซี DAC LCT1661

สำหรับ "Control Word" ของ DAC นั้นจะมีขนาด 16 บิต ประกอบด้วยค่า "Control Code" (A3..A0) จำนวน 4 บิต ตามด้วยค่าข้อมูล(D9..D0) จำนวน 10 บิต ส่วนที่เหลือ 2 บิต สุดท้ายนั้นไม่มีความหมายต่อการทำงานของ DAC อาจมีค่าเป็น "1" หรือ "0" ก็ได้ แต่จำเป็นต้องมี 2 บิต นี้ไว้ เพื่อให้จำนวนบิตข้อมูลครบ บิต พอดี โดยโครงสร้างของ Control Word มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงชื่อตำแหน่งและหน้าที่ของขา LTC1661

ตำแหน่ง	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ชื่อบิต	A3	A2	**A1**	A0	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X1	X0
หน้าที่	Control Code				Input Code (Data)										ไม่สนใจ	

Control Code มีขนาด 4 บิต (A3..A0) ใช้สำหรับกำหนดหน้าที่การทำงานของ DAC

Input Code มีขนาด 10 บิต (D9..D0) ใช้สำหรับกำหนดระดับของสัญญาณ Analog Output ของ DAC มีค่าระหว่าง 000H-3FFH (0-1023 ระดับ) โดยที่ระดับของสัญญาณ Analog Outputนั้นจะมีค่าสัมพันธ์กับ Input Code นี้คือ

X1 และ **X0** เป็นบิตข้อมูล จำนวน 2 บิต ซึ่งไม่มีความหมายใดๆต่อการทำงานของ DAC แต่ต้องกำหนดไว้เพื่อให้จำนวนบิตข้อมูลของ Control Word ครบสมบูรณ์

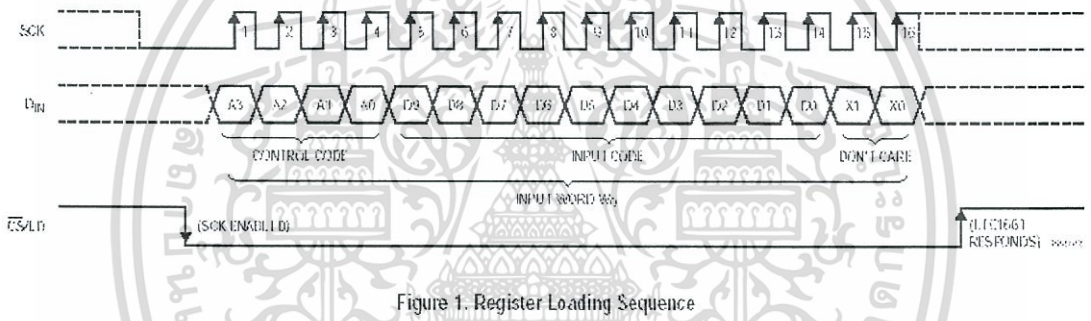


Figure 1. Register Loading Sequence

รูปที่ 3.18 แสดง Timeing Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ CS,SCK และ DIN

โดยในการส่ง "Control Word" ให้กับ DAC นั้นจะต้องเริ่มต้นด้วยการจัดเรียงสัญญาณ CS ให้มีค่าเป็น "1" ส่วน SCK ให้มีค่าเป็น "0" รอไว้ก่อน จากนั้นจึงกำหนดให้ CS มีค่าเป็น "0" เพื่อเริ่มต้นการส่งข้อมูลให้กับ DAC แล้วจึงกำหนดค่าสถานะของ DIN ด้วยค่า Control Word บิตนัยสำคัญสูงสุด (A3) ก่อนเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนสถานะของ SCK จาก "0" เป็น "1" เพื่อเลื่อนบิตข้อมูลจาก DIN (A3) ให้กับ DAC แล้วจึงทำการเปลี่ยนสถานะของ SCK จาก "1" เป็น "0" เพื่อทำการจัดเตรียมข้อมูลบิตถัดไป (A2) ให้กับขา DIN โดยจะวนทำอย่างนี้ไปเลยๆจนครบ 16 บิต แล้วจึงทำให้ CS กลับมามีค่าเป็น "1" เพื่อเป็นการสิ้นสุดการส่ง Control Word ให้กับ DAC ซึ่งจะเห็นได้ว่าเราต้องเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตข้อมูลให้กับ DIN ในช่วงที่สัญญาณ SCK มีค่าเป็น "0" และทำการเลื่อนบิตข้อมูลให้กับ DAC ในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณ SCK ("0" เป็น "1")

จะเห็นได้ว่า DAC นั้นจะมีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมด ด้วยกันคือ Wake Mode และ Sleep Mode ซึ่งตามปกติส่วนมากแล้วเราจะใช้งาน DAC กันใน Wake Mode

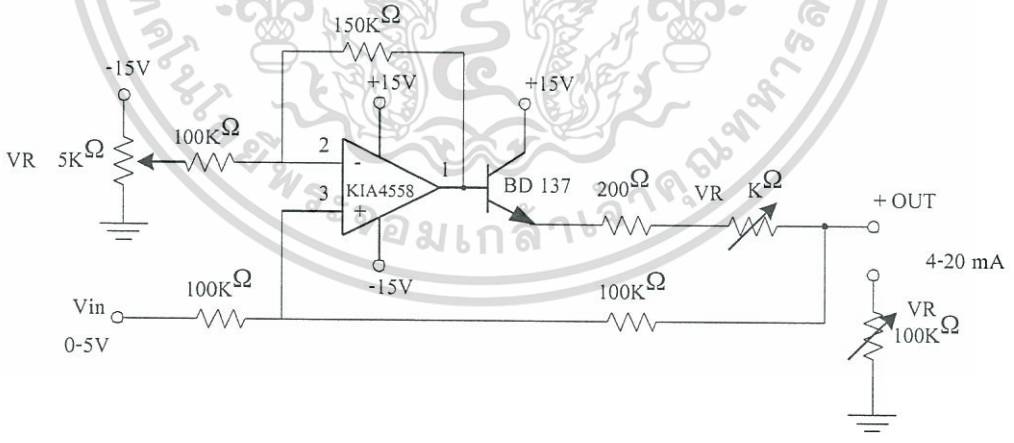
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wake Mode เป็นการทำงานตามปกติ ส่วนของสัญญาณ Analog Output ยังคงมีค่าตาที่กำหนดไว้

Sleep Mode เป็นโหมดประหยัดพลังงาน ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ DAC ต้องการพลังงานน้อยมาก คือประมาณ 1μA ในการเก็บรักษาค่าของข้อมูลใน DAC Register ไว้ ส่วนสัญญาณ Analog Output ทั้ง 2 ช่อง จะมีสภาวะเป็น "Hight Impedance" ซึ่งเราสามารถสั่งให้ DAC เข้าสู่การทำงานในโหมดนี้ได้ โดยการส่ง Control Word ที่มีรหัส Control Code เป็น "1-1-1-0" แต่เมื่อต้องการให้ DAC กลับมาทำงานตามปกติใหม่อีกครั้งหนึ่ง ก็สามารถทำได้โดยการส่ง Control Word ที่มีรหัส Control Code เป็น "1-0-0-0" ซึ่งสัญญาณ Annlog Output ทั้ง 2 ช่องของ DAC จะกลับมามีค่าเหมือนกับก่อนเข้าทำงานใน Sleep Mode ทุกประการ

3.4 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

นำแรงดันเอาท์พุทของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่มีการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ มาใช้งานในวงจรส่วนแรกซึ่งประกอบด้วย ไอซี KIA4558 (ออปแอมป์) ,ความต้านทานค่าต่างๆ ทั้งแบบธรรมดาและปรับค่าได้ , ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) ทั้งแบบมีขั้วและแบบไม่มีขั้ว โดยในวงจรจะรับอินพุตมาจากไอซี DAC เบอร์ LTC1661 เป็นสัญญาณแรงดันไฟตรง 0-5 โวลต์สามารถทำการปรับแต่งได้โดยการปรับ ซีโร่ ที่ 5K (zero) และแปนที่ 50K (zero-span) โดยใช้แหล่งจ่ายสัญญาณแรงดันที่สามารถปรับค่าได้ อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.19 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-5 V. เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 - 20 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Module)

รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ดังนี้

ตัวแสดงผล (display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม (controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักขระส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟฟิก

ตัวขับ (driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

โครงสร้างภายในตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน ในที่นี้จะยกตัวอย่างโมดูล LCD เบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ในโมดูล LCD แบบอักขระ ประกอบด้วย

บัฟเฟอร์อินพุต-เอาท์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับ-ส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้า-ออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล(Data Register : DR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลใสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM :DDRAM) เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลทีมาจากรีจิสเตอร์ ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look-up-lable) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รอมเก็บตัวอักษร(Charater Generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำรอมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7,200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

แรมเก็บตัวอักษร (Charater Generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเตมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต การเขียนและการอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟลก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ต้องควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลก BUSY นี้เสียก่อน

หน้าที่ของขาโมดูล LCD

มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีรายละเอียดการทำงานของแต่ละขา ดังนี้

V_{SS} (ขา 1) : ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง +5 V.

V_O (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6) : เป็นขาอีนาเบิล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา 7-14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่นอนว่าต้องกำหนดให้ขา RS และ R/W เป็น “0” แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิพควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 10 คำสั่ง ดังนี้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล clear display

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น “1”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำสั่ง return home

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น "1" เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งของคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล Entry mode Set

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิตเป็น"1" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กบที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น "0" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น "1" แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น "0" แอดเดรสจะลดลง

ดังนั้น ข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ ได้แก่ 04H-07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) และที่ใช้บ่อย คือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทาวขวามือและแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่ง ดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็นการเปิดจอแสดงผลถ้าเป็น "0" จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น "1" ถ้ากำหนดให้เป็น "0" จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกะพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น "1" เคอร์เซอร์จะกะพริบ

ดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์และสั่งให้เคอร์เซอร์กะพริบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1CH-1FH

6.คำสั่งกำหนดฟังก์ชั่นกำหนด

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการติดต่อแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่แสดงผลสามารถได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็กำหนดบิต นี้ให้เป็น “1”

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5×7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็นแบบ 5×10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5×7 จุด

จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากค่าแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่อง คือ 00H และ 40H

7.คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิต ที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น "1" และข้อมูลอีก 7 บิต ที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-0FFH ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสยังขึ้นกับการกำหนดสถานะที่บิต N ด้วย หากบิต N เป็น "0" แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H-0CFH และถ้าบิต N เป็น "1" แอดเดรสของ DDRAM จะมี 2 ช่วง คือ 8CH-87H และ 0C0H-0C7H

9.คำสั่งอ่านแฟลก BUSY และแอดเดรส

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
BF	A	A	A	A	A	A	A

แอดเดรสไบต์สูง แอดเดรสไบต์ต่ำ

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟลก BUSY (BF) โดยแฟลกนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น "0" แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น "1" แสดงว่า ขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง

เมื่อต้องการอ่านแฟลกต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น "1" ด้วย แต่สัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น "0" อยู่ เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง

นอกจากนี้ ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0-6 เป็นค่าข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โมดูล LCD แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่งแล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งของข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอจิก "0" หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่ LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในทางตรงข้ามหากขา RS ได้รับลอจิก "1" ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น "1" เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อานออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอจิก “1” ให้ขา RS แล้วต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมุลที่อยู่บนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอดลงใน DDRAM ต่อไป

จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

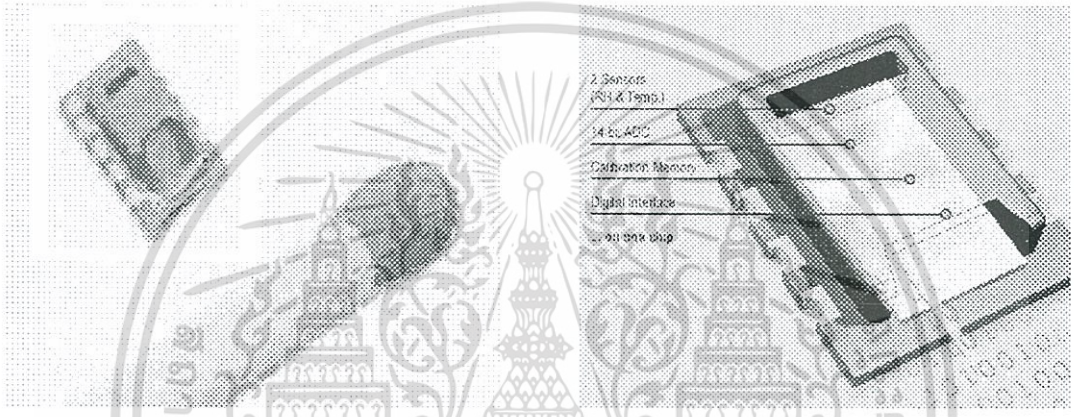
ในการติดต่อกับโมดูล lcd จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำส่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งานโมดูล LCD ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล (intial) หลังจากนั้นจะกำหนดลอจิกให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาที เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ใน LCDโมดูลแปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่า ข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมรอที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่ออีนาเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

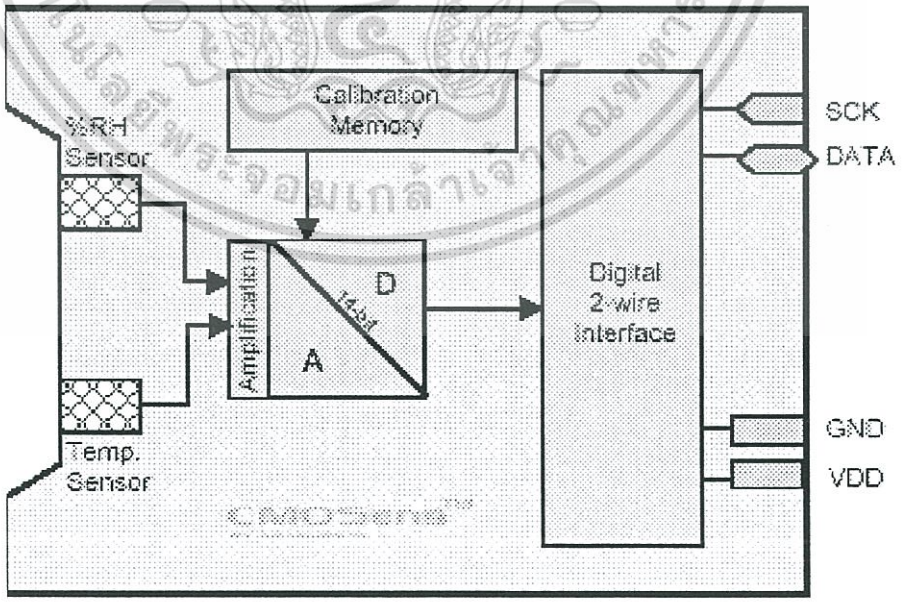
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ SHT 11

เป็นชิพเซนเซอร์ที่ขนาดเล็กมาก (ประมาณหัวไม้ขีด) สามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิ (Temperature)และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) แล้วนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dewpoint Temperature) ซึ่งชิพเซนเซอร์จะให้สัญญาณเอาท์พุตเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital Output) ขนาด 14 บิต ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการแปลงจากสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล สะดวกต่อการนำไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C สามารถวัดอุณหภูมิได้ในย่าน -40 °C ถึง 120 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 0- 100 %

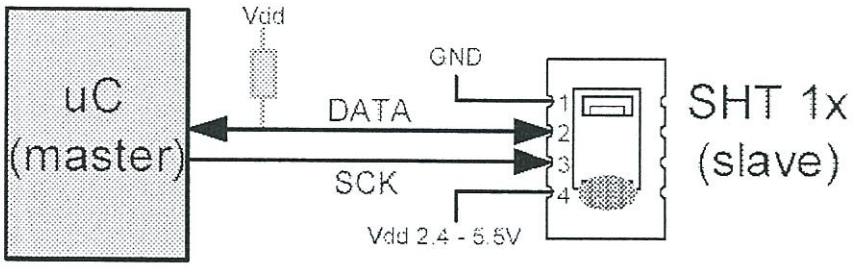


รูปที่ 3.20 แสดงขนาดชิพเซนเซอร์ SHT11



รูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้างภายในชิพเซนเซอร์ SHT11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงตำแหน่งการต่อของชิพเซนเซอร์ SHT11

ตารางที่ 3.4 แสดงการทำงานขาต่าง ๆ ของชิพเซนเซอร์ SHT11

ตำแหน่ง	สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	GND	กราวด์
2	DATA	สัญญาณข้อมูล
3	SCK	สัญญาณนาฬิกา
4	VDD	แหล่งจ่ายไฟ 2.4-5.5 โวลท์

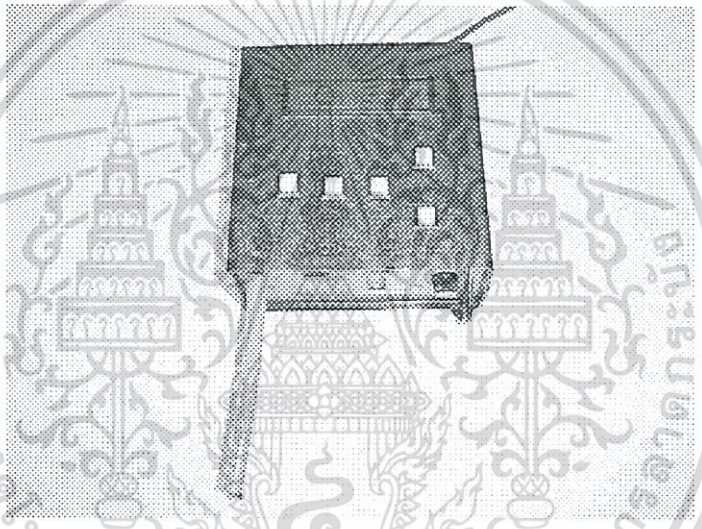
ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ ของชิพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ SHT11 นี้สามารถศึกษาได้จาก DATASHEET ในผนวกด้านท้ายของปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและการสร้างเครื่อง
DEWPOINT TEMPERATURE TRANSMITTER

4.1 Dewpoint Themperature Transmitter

คือ เครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ให้สัญญาณเอาท์พุตเป็นสัญญาณมาตรฐาน คือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาด 1-5 V และสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA. เพื่อส่งให้คอนโทรลเลอร์ไปทำการควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ต่อไป



รูปที่ 4.1 เครื่อง Dewpoint Themperature Transmitter

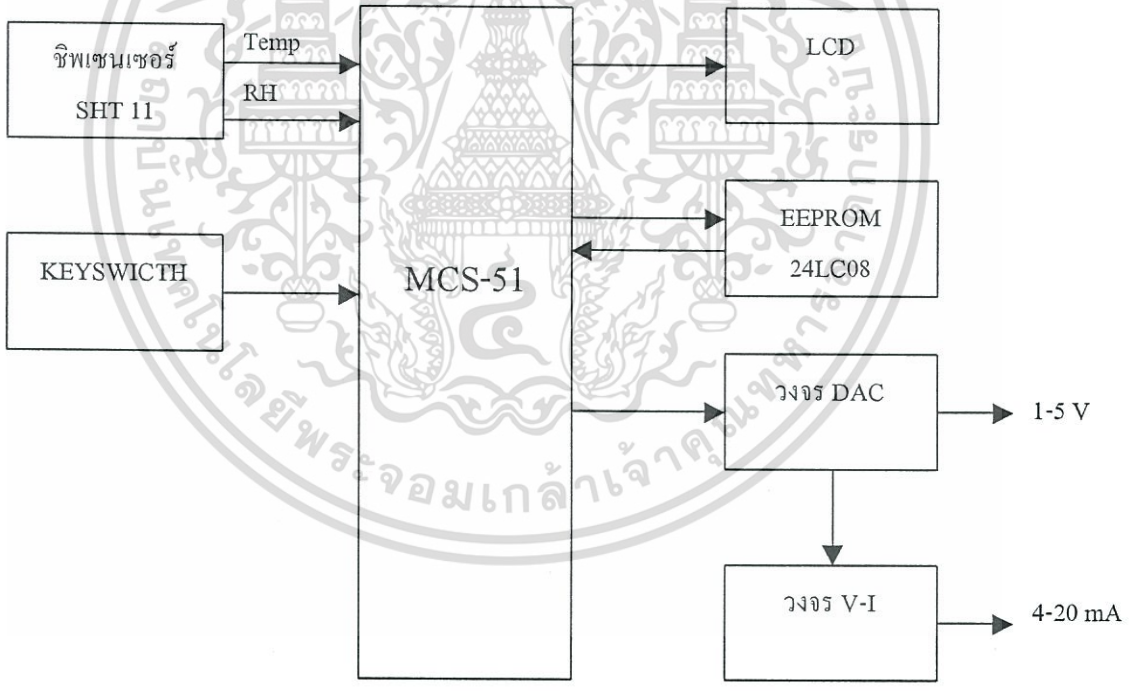
4.2 ส่วนประกอบขอเครื่อง Dewpoint Themperature Transmitter

- ชิพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เบอร์ SHT11
- ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89C51RD+
- ไอซี DAC เบอร์ LCT1661 ขนาด 10 บิต (1024 ระดับ)
- วงจรสร้างสัญญาณมาตราฐาน 4-20 mA (วงจร V-I)
- โมดูล LCD แสดงผลการทำงาน
- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า +5 V และ $\pm$15 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

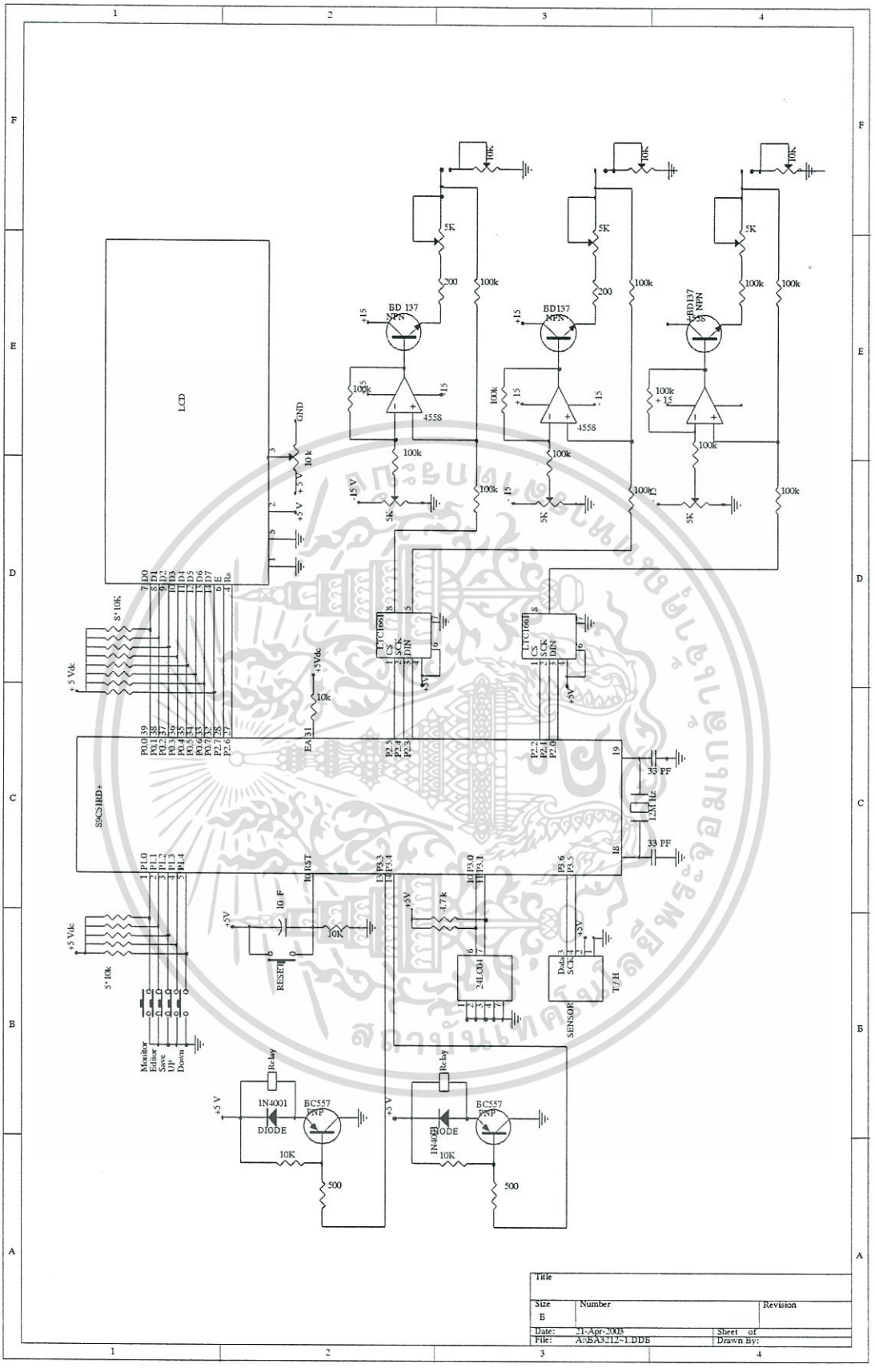
4.3 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวประมวลผลโปรแกรมการทำงานทั้งหมดของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter และมีชิพเซนเซอร์เบอร์ SHT11 เป็นตัววัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มาคำนวณหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ซึ่งชิพเซนเซอร์นี้จะให้สัญญาณเอาท์พุตเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 14 บิต สามารถส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อนำไปประมวลผลได้ทันที เมื่อโปรแกรมคำนวณได้ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดกลั่นตัวแล้ว จะต้องทำแปลงสัญญาณเอาท์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอะนาล็อก ซึ่งการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อกนั้นจะใช้ไอซีเป็นตัวแปลงสัญญาณในโครงงานนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ LCT1661 ซึ่งเป็นไอซี DAC ขนาด 10 บิต (1024 ระดับ) และเมื่อได้สัญญาณอะนาล็อกแล้วจะต้องทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาด 1-5 V ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA เพื่อให้เป็นสัญญาณมาตรฐานเพื่อส่งให้คอนโทรลเลอร์ทำงานต่อไป

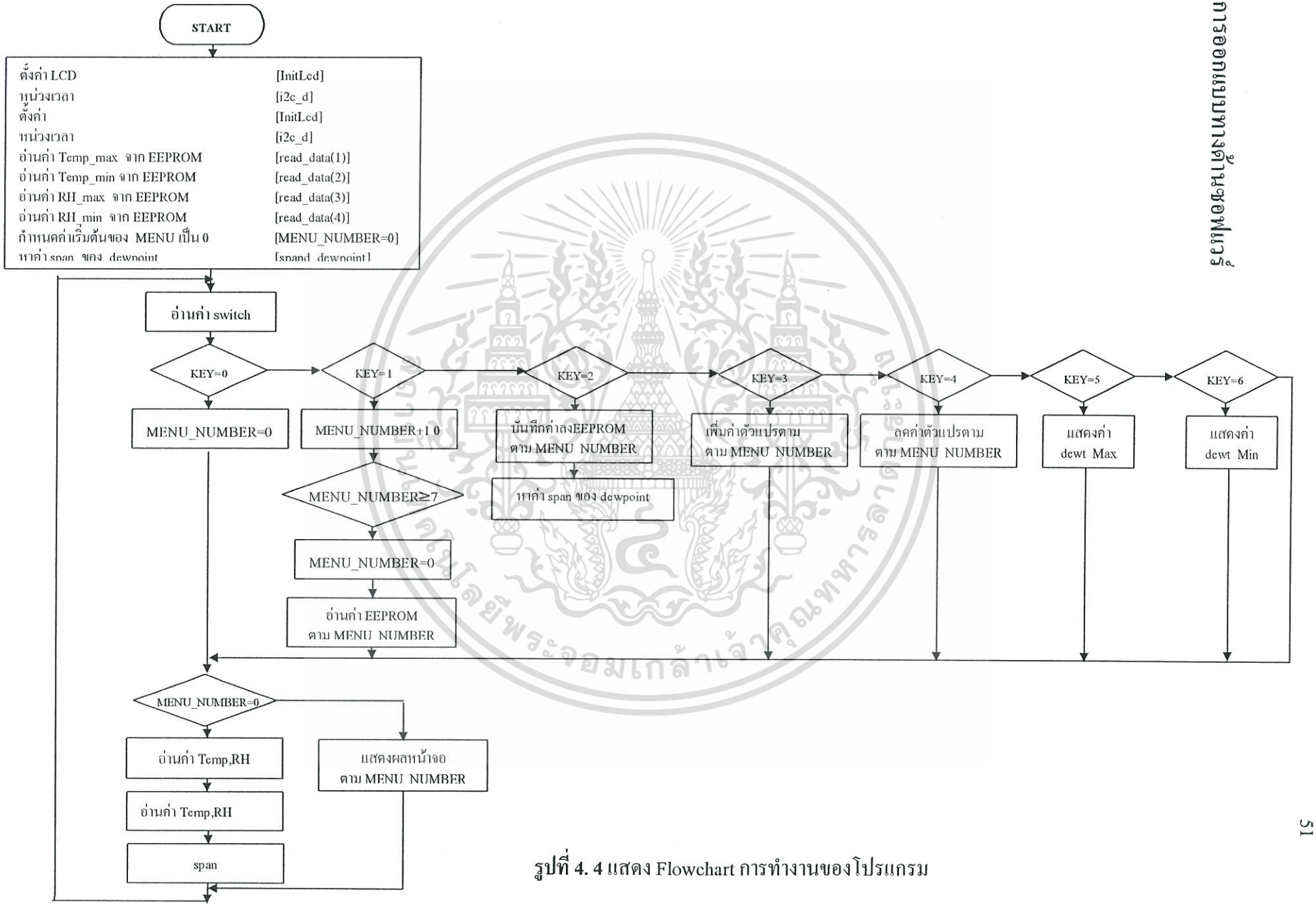


รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่อง Dewpoint Themperature Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter



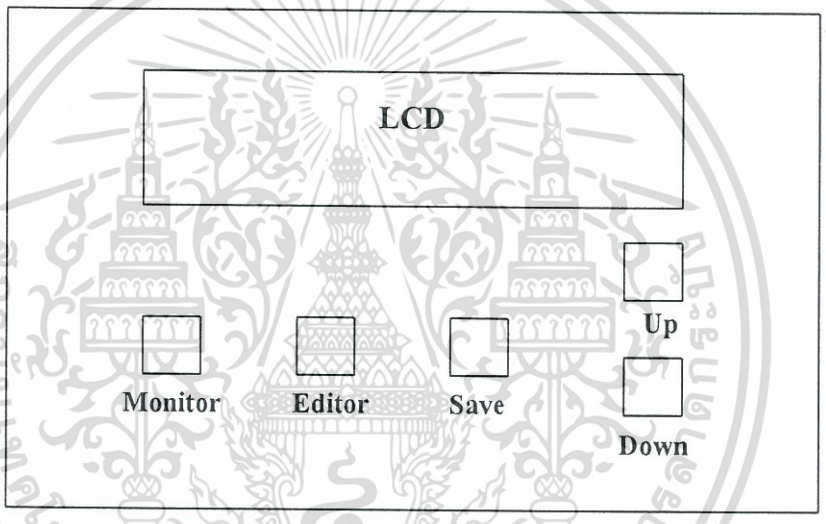
รูปที่ 4. 4 แสดง Flowchart การทำงานของโปรแกรม

4.5 การใช้งานเครื่อง Dewpoint Temperature Tansmitter

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อเปิดเครื่อง Dewpoint Temperature Tansmitter จะแสดงอุณหภูมิ , ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ณ ปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 2 ทำการตั้งค่า Zero-Span ของอุณหภูมิ ,ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ให้กดปุ่ม Editor เลือกเมนูเพื่อตั้งค่า Temp_Max ,Temp_Min ,RH_Max,RH_Min ทำการตั้งค่าโดยใช้ปุ่ม Up-Down เมื่อได้ค่าที่ต้องการของเมนูนั้น ๆ แล้ว ให้กดปุ่ม Save เพื่อการ Save ค่าไว้ ส่วนค่า Zero-Span ของอุณหภูมิจุดกลั่นตัวจะใช้ค่า Temp_Max ,Temp_Min ,RH_Max,RH_Min ที่ได้ทำการตั้งไว้มาคำนวณหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเพื่อใช้เป็นค่าZero-Spanของอุณหภูมิจุดกลั่นตัว

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อทำการตั้งค่าต่าง ๆ แล้ว กดปุ่ม Monitor เพื่อให้ทำงานตามค่าที่ได้ตั้งไว้



รูปที่ 4.5 แสดงด้านหน้าของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter

การใช้งานปุ่มต่าง ๆ

Monitor - ใช้สำหรับแสดงผลของอุณหภูมิ , ความชื้นสัมพัทธ์ และDewpoint Temperature ขณะที่ทำการวัด

Editor - ใช้สำหรับเลือกค่า Temp_min ,Temp_max ,RH_min ,RH_max เพื่อทำตั้งค่า Zero-Span ที่ต้องการใช้วัด

Save - ใช้สำหรับการ Save ค่า Temp_min ,Temp_max ,RH_min ,RH_max ที่ได้ทำการตั้งค่าแล้ว

Up-Down - ใช้สำหรับเพิ่มหรือลดค่า Temp_min ,Temp_max ,RH_min ,RH_max ที่จะทำการตั้ง Zero-Span

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

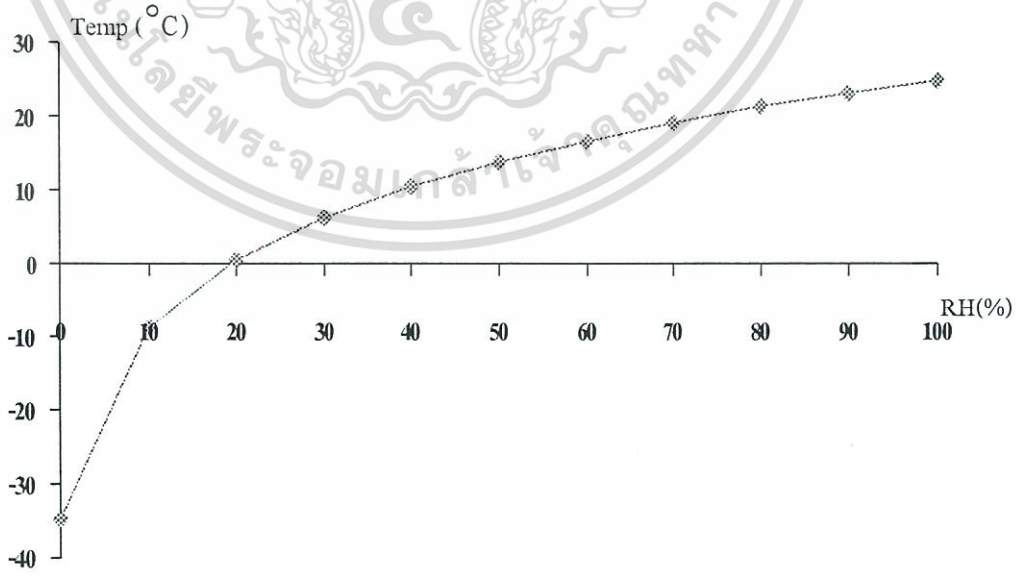
การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1

กำหนดให้อุณหภูมิคงที่ 25 °C และหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเมื่อเปลี่ยนค่าความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเมื่อเปลี่ยนค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้มีเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ กัน

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (°C)
0	-34.8
10	-8.7
20	0.5
30	6.2
40	10.4
50	13.8
60	16.6
70	19.1
80	21.3
90	23.2
100	24.9



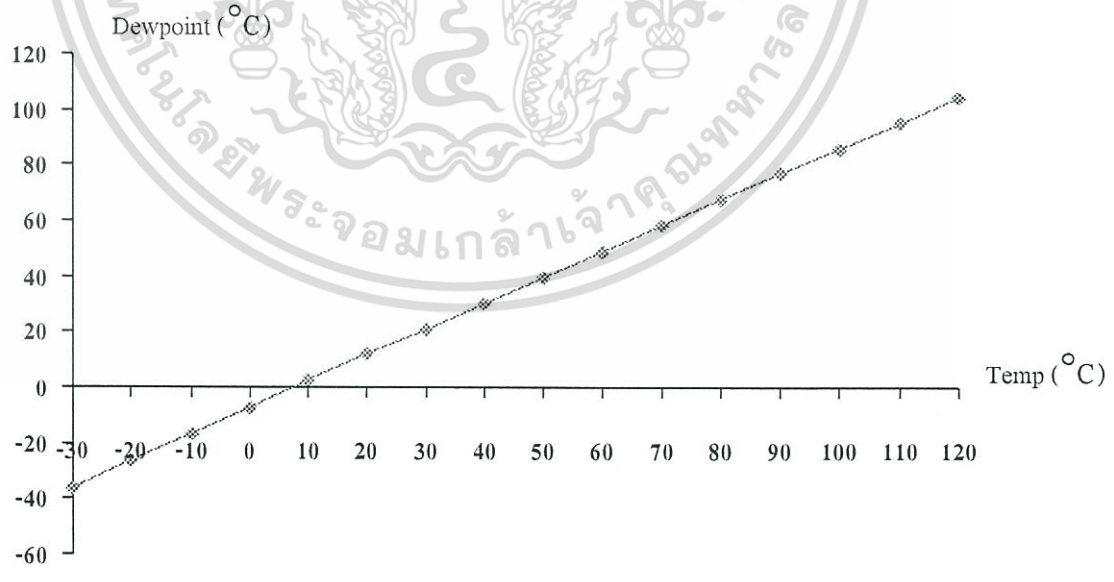
รูปที่ 5.1 แสดงกราฟที่อุณหภูมิคงที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 - 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 60 % และหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเมื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิให้มีอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	อุณหภูมิจุดกลั่นตัว ($^{\circ}$C)
-30	-35.3
-20	-25.8
-10	-16.3
0	-6.9
10	2.6
20	12.0
30	21.3
40	30.7
50	40.0
60	49.3
70	58.6
80	67.9
90	77.1
100	86.3
110	95.5
120	104.7



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟที่ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 60% อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ –30 $^{\circ}$C ถึง 120 $^{\circ}$C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์ของการทดลองที่ 1

ในการทดลองนี้เพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ได้จากการคำนวณของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter ว่าค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ กันนั้น เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นหรือไม่

สรุปผลการทดลองที่ 1

เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิคงที่ 25 °C และเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 0 - 100% เพื่อหาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0% อุณหภูมิจุดกลั่นตัวจะมีค่าต่ำมาก และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น จนเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิจุดกลั่นตัวจะมีใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่าเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % อุณหภูมิจุดกลั่นตัวจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของอากาศขณะนั้น

เมื่อกำหนดให้ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 60% และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่ –30 °C ถึง 120 °C หาค่าอุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์คงที่ เมื่ออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดกลั่นตัวจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

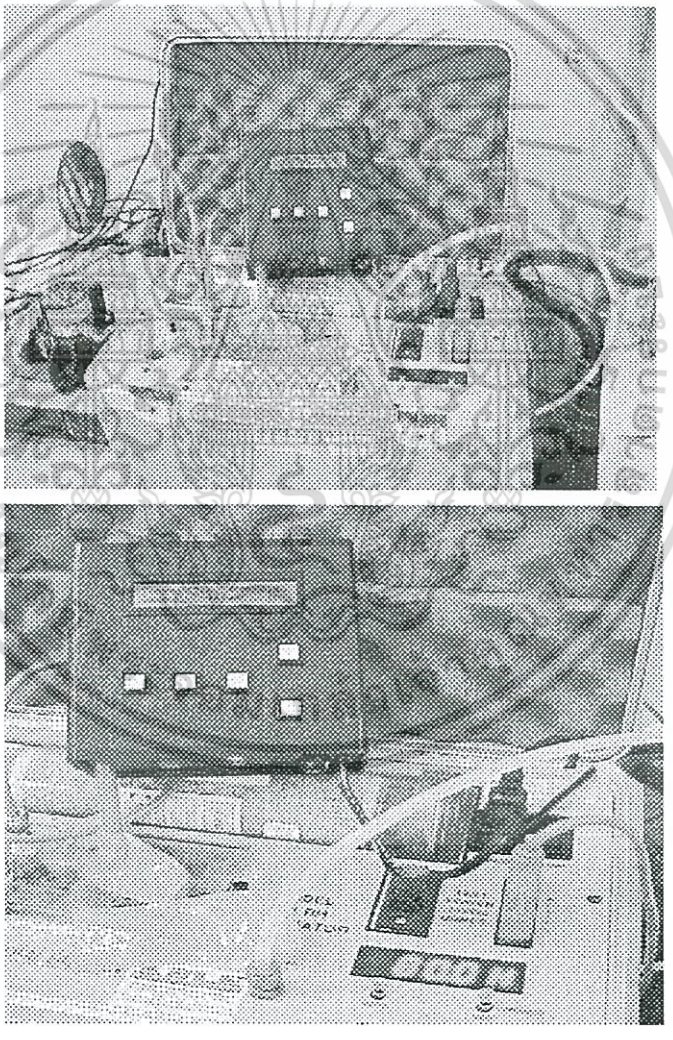
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองที่ 2

ทำการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยสอบเทียบกับเครื่อง General Eastern (Sensor HYGRO M4) Model c-1 RH Generator โดยใช้ไนโตรเจนเป็นอากาศ

จุดประสงค์ของการทดลองที่ 2

สอบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่อง Genneral Eastern (Sensor HYGRO M4) Model c-1 RH Generator กับเครื่อง Dewpoint Temperature Transmitter เปรียบเทียบความถูกต้องในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter และทำการวัดค่าสัญญาณเอาต์พุต (สัญญาณมาตรฐาน) โดยตั้งค่า Zero-Span ของอุณหภูมิเท่ากับ 0-100 °C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 0-100% และอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเท่ากับ -67.8 –100 °C



รูปที่ 5.3 แสดงการสอบเทียบเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter กับเครื่อง Genneral Eastern (Sensor HYGRO M4) Model c-1 RH Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 2

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าผลการทดลองที่ 2 เมื่อทำการสอบเทียบกับเครื่อง RH Generator

Setpoint RH(%)		ค่าที่วัดได้จาก RH Generator	ค่าที่วัดได้จาก Dewpoint Temperature Transmiitter	Output	
				V	mA
40	RH	44.8	44.0	2.766	11.054
	Temp	30.2	31.6	2.26	9.05
	Dewpoint	-	18.6	3.01	12.24
50	RH	54.0	52.2	3.057	12.01
	Temp	30.1	31.3	2.217	8.985
	Dewpoint	-	20.4	3.12	12.41
60	RH	63.3	60.3	3.38	13.43
	Temp	29.8	31.2	2.22	8.92
	Dewpoint	-	22.6	3.164	12.61
70	RH	73.1	68.7	3.696	14.88
	Temp	29.8	31.1	2.217	8.93
	Dewpoint	-	24.6	3.213	12.80
80	RH	82.2	76.5	4.015	14.60
	Temp	29.5	30.8	2.218	8.82
	Dewpoint	-	26.2	3.245	12.96

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 2 เมื่อทำการสอบเทียบการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter กับเครื่อง Genneral Eastern (Sensor HYGRO M4) Model c-1 RH Generator นั้น ผลปรากฏว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter สามารถวัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เครื่อง RH Generator ทำการผลิตให้ เกิดค่าความผิดพลาดในการวัดประมาณ 2 - 4% ส่วนค่าอุณหภูมิที่วัดได้นั้นสูงกว่าประมาณ 1-2 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

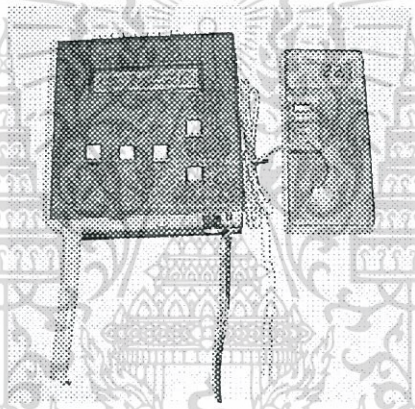
5.3 การทดลองที่ 3

ทดลองทำการวัดอุณหภูมิในสถานที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ หน้าเครื่องปรับอากาศ กลางแจ้ง เป็นต้น

จุดประสงค์ของการทดลองที่ 3

สอบเทียบความถูกต้องในการวัดค่าอุณหภูมิของเครื่องDewpointTemperature Transmiitter กับ Thermometer แบบ J/K Thermocouple ยี่ห้อ FLUKE และทำการวัดค่าสัญญาณเอาต์พุต (สัญญาณมาตรฐาน) โดยตั้งค่า Zero-Span ของอุณหภูมิเท่ากับ 0 - 100 °C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 0 - 100% และอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเท่ากับ -67.8 – 100 °C

ผลการทดลองที่ 3

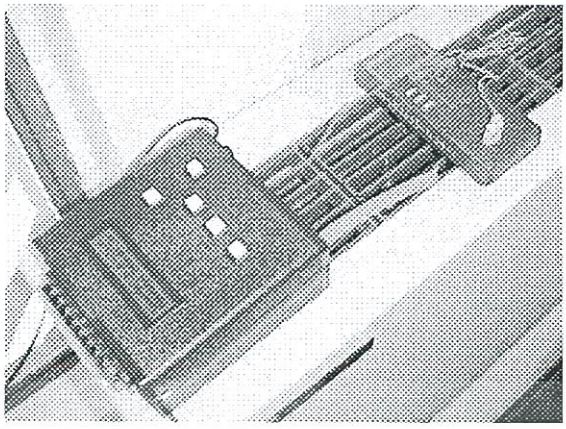


รูปที่ 5.4 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ

	Temp(°C)		RH(%)		Dewpoint(°C)	
Thermometer	27.1		-		-	
Dewpoint Temperature Transmiitter	28.2		42.1		14.2	
Output	2.1 V	8.44 mA	2.62 V	10.38 mA	2.94 V	11.82mA

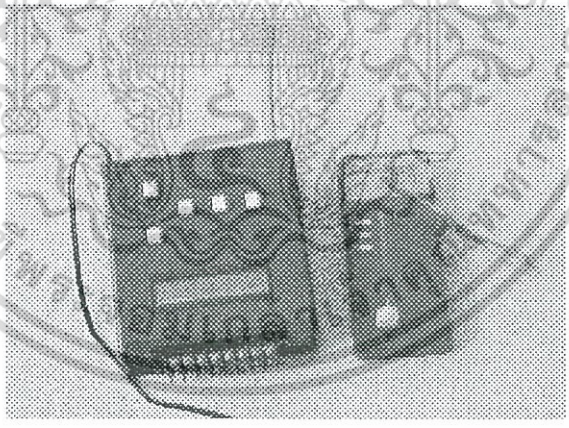
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิหน้าเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิหน้าเครื่องปรับอากาศ

	Temp(°C)		RH(%)		Dewpoint(°C)	
Thermometer	12		-		-	
Dewpoint Temperature Transmiitter	13.5		82.2		10.4	
Output	1.519 V	6.07 mA	4.25 V	16.88 mA	2.81 V	11.18 mA

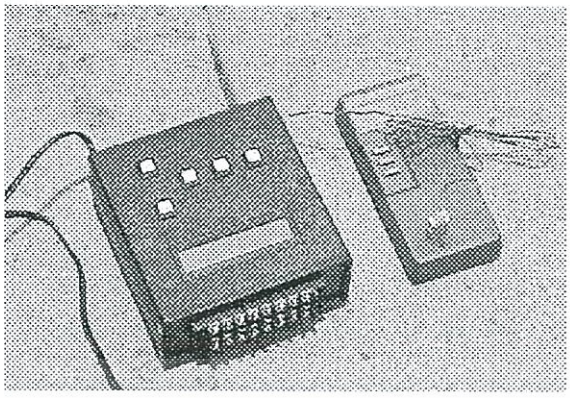


รูปที่ 5.6 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศในที่ร่ม

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศในที่ร่ม

	Temp(°C)		RH(%)		Dewpoint(°C)	
Thermometer	33.0		-		-	
Dewpoint Temperature Transmiitter	34.0		56.2		24.1	
Output	2.34 V	9.45 mA	3.22 V	12.82 mA	3.19 V	12.76 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางแจ้ง

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางแจ้ง

	Temp(°C)		RH(%)		Dewpoint(°C)	
Thermometer	39.5		-		-	
Dewpoint Temperature Transmiitter	41.0		43.1		24.2	
Output	2.54 V	10.63 mA	2.74 V	10.73 mA	3.19 V	12.77 mA

สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองที่ 3 เมื่อทำการวัดอุณหภูมิในสถานที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันนั้น เพื่อหาค่าความถูกต้องในการวัดค่าอุณหภูมิของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter โดยสอบเทียบกับ Thermometer แบบ J/K Thermocouple ยี่ห้อ FLUKE ผลการทดลองปรากฏว่าค่าอุณหภูมิที่เครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter สามารถวัดได้นั้น มีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิที่เครื่อง Thermometer แบบ J/K Thermocouple วัดได้ประมาณ 1-2 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองที่ 4

วัดค่าสัญญาณเอาท์พุต(สัญญาณมาตรฐาน)ของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter ที่อุณหภูมิปกติ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาการคำนวณ

จุดประสงค์ของการทดลองที่ 4

เปรียบเทียบสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากการวัดของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter กับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาค่าความผิดพลาดของสัญญาณเอาท์พุต โดยตั้งค่า Zero-Span ของอุณหภูมิเท่ากับ 0-100 °C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 0-100% และอุณหภูมิจุดกลั่นตัวเท่ากับ -67.8 –100 °C

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ใช้จากการวัดของเครื่อง DewpointTemperature Transmiitter กับค่าที่ได้จากการคำนวณ

	ค่าที่ได้จากการวัด		ค่าที่ได้จากการคำนวณ		ERROR	
	V	mA	V	mA	V	mA
Temp (29.4 °C)	2.15	8.64	2.176	8.704	0.026	0.044
RH (56.7%)	3.21	12.89	3.272	13.07	0.062	0.18
Dewpoint (20.1 °C)	3.52	12.19	3.6	12.375	0.008	0.086

ตารางที่ 5.9 แสดงค่า ERROR ในการวัดอุณหภูมิ ,ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดกลั่นตัว

	ERROR	
	V	mA
Temp	1.194 %	0.505 %
RH	1.894 %	1.377 %
Dewpoint	0.222 %	0.644 %

สรุปผลการทดลองที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณเอาท์พุตระหว่างค่าที่ได้จากการวัดกับค่าจากการคำนวณแล้ว ปรากฏว่าค่าที่ได้จากวัดมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยคาดว่าค่าความผิดพลาดอาจมีสาเหตุมาจากการคำนวณในโปรแกรม หรือระหว่างการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก แต่ค่าความผิดพลาด (error) มีค่าไม่สูงมากนักสามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 สรุปผลการทดลอง

จากทดลองทั้ง 4 ลักษณะนั้น ในการสอบเทียบหาค่าความถูกต้องในการวัดค่าอุณหภูมิกับ Thermometer แบบ J/K Thermocouple และการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์กับ RH Generator ของเครื่อง Dewpoint Temperature Transmiitter นั้นได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เพราะค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้นั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ โดยมีค่าความผิดพลาด(error)ประมาณ $\pm$ 2 % สามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรค

1. ในการทดลองสอบเทียบการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์กับเครื่อง Genneral Eastern (Sensor HYGRO M4) Model c-1 RH Generator นั้น ปัญหาที่พบ คือ ก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณไม่เพียงพอ สามารถทำการทดลองได้เพียงย่านการวัดเพียงย่านเดียว คือ 0.1-99.9 %

2. ในการทดลองสอบเทียบการวัดค่าอุณหภูมินั้น ผู้จัดทำไม่สามารถหาเครื่องมือที่สามารถสร้างอุณหภูมิในอากาศให้มีค่าที่ต้องการเพื่อนำมาทำการสอบเทียบกับ Dewpoint Temperature Transmiitter ได้ ผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้ Thermometer แบบ J/K Thermocouple ยี่ห้อ FLUKE ในการสอบเทียบการวัดค่าอุณหภูมิ

3. ค่าเอาท์พุตที่วัดได้จาก Dewpoint Temperature Transmiitter กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบนั้นไม่ตรงกันมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น แต่มีค่าไม่มากนักสามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วรพจน์ กรแก้ววัฒนากุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ", อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์

ธีระวัตน์ ประกอบผล , "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย,ญี่ปุ่น), 2541

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์ , "หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย,ญี่ปุ่น), 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

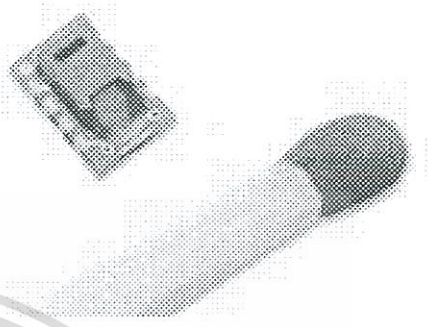
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

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

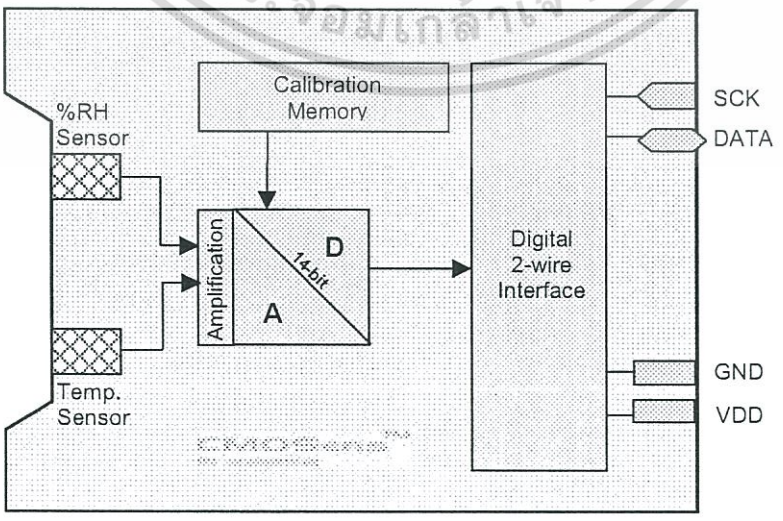
The SHT1x is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with customized post processing (CMOSens™ technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes two 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

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

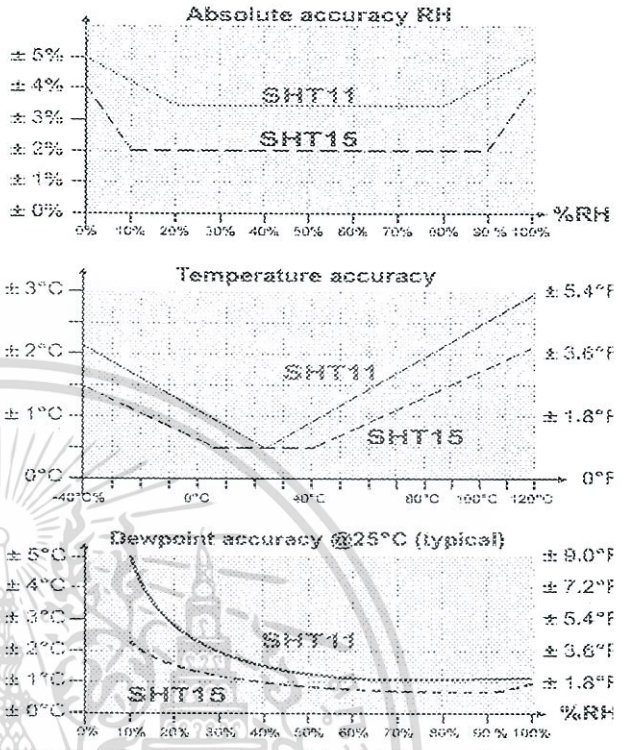


Figure 1 RH, Temperature and dewpoint accuracies

1.1 Converting the digital output to physical values

1.1.1 Humidity

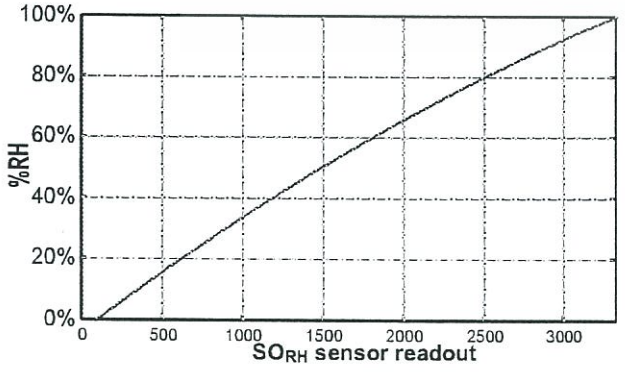
To compensate for the non-linearity of the humidity sensor and to obtain the full accuracy it is recommended to convert the readout with the following formula:

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

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.

สงวนลิขสิทธิ์ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำการใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2 Serial Interface

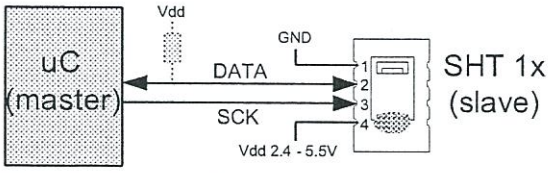


Figure 2 Typical application circuit

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.

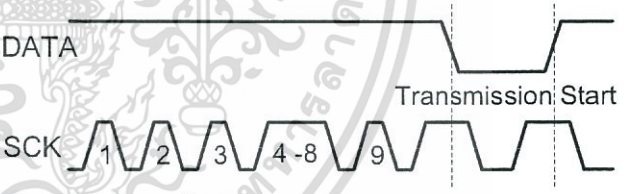
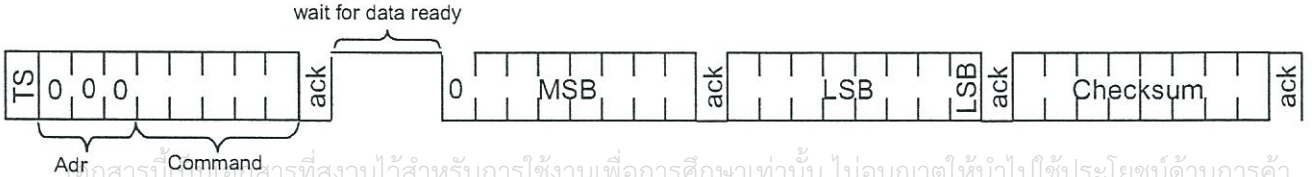


Figure 4 Connection reset sequence

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 อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำออกเผยแพร่ต่อสาธารณชน ก่อนได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

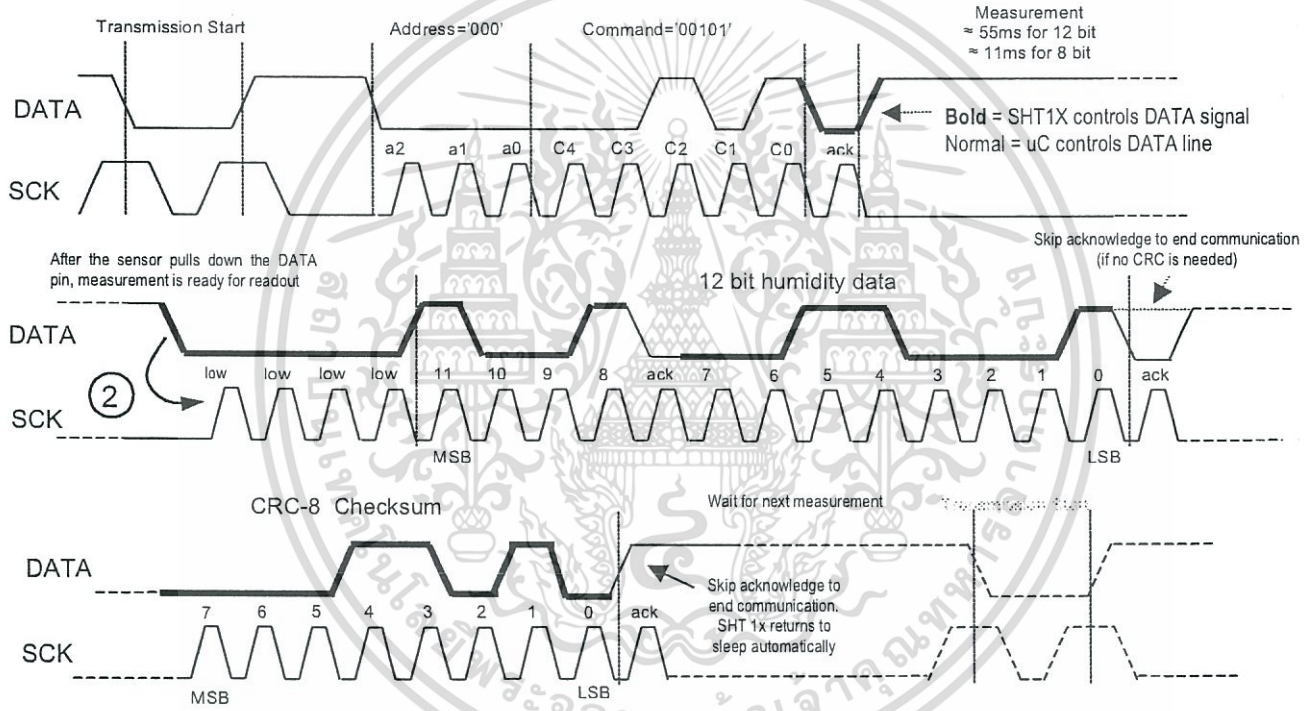


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001 ' 0011'0001"= 2353 = 75.79%RH

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.

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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

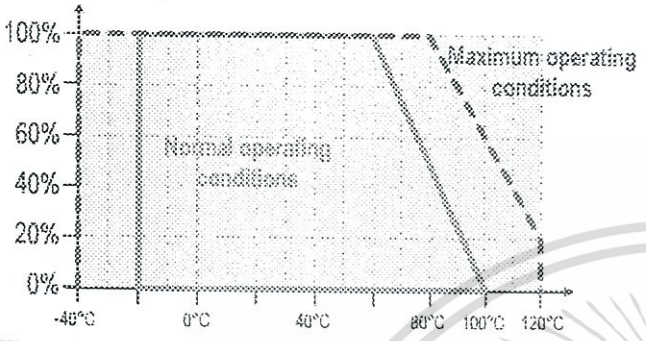


Figure 6 Recommended operating conditions

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		µ
	average	2[2]	28[3]		µA
	sleep		0.3	1	µ
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		µ

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

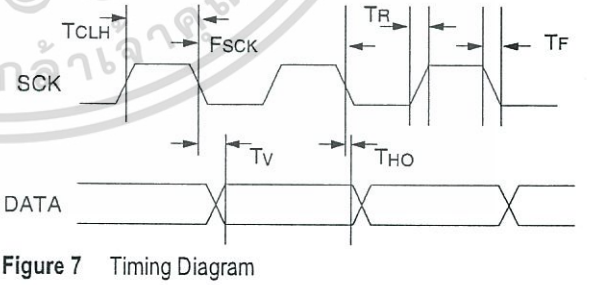


Figure 7 Timing Diagram

(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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

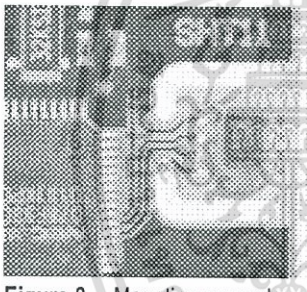
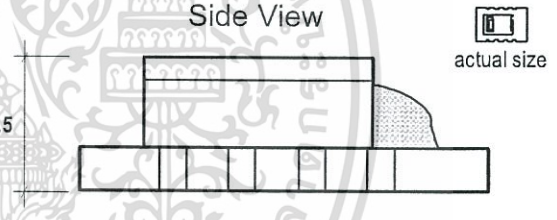
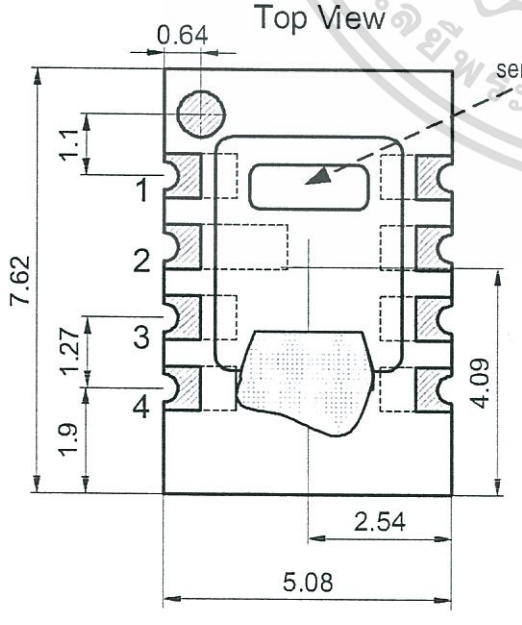
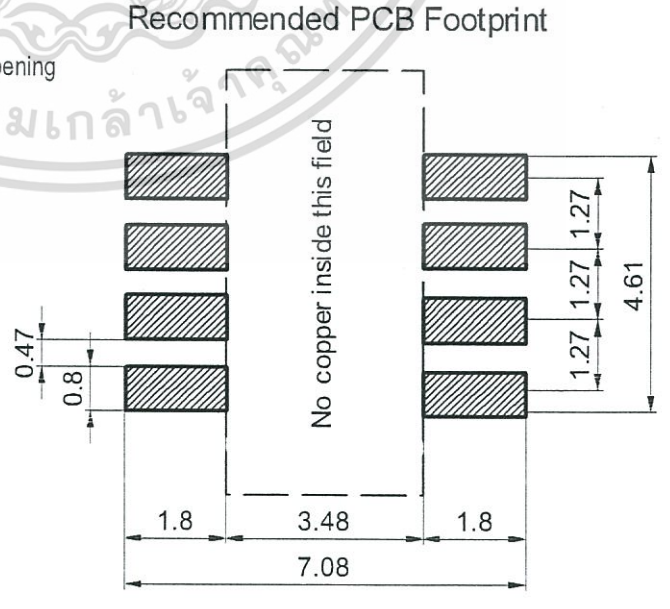


Figure 8 Mounting example







all measurements in mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
มีการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHTxx
Humidity & Temperature
Sensmitter

Application Note
Status Register

1 Introduction

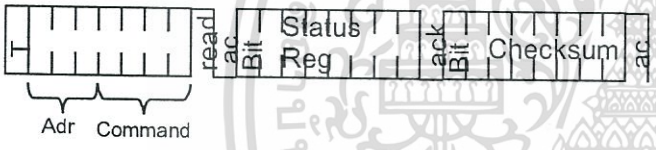
Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register.
This document describes the required communication and the features available through the status register.

2 Revision History

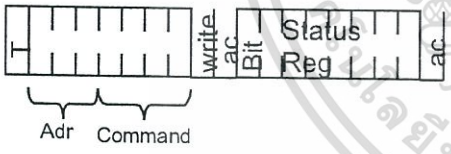
August 27, 2001	C2	URO	Revision 0.9 (Preliminary)
October 20, 2001	C2	URO	Revision 1.00 changed to new CI
November 12, 2001	C2	URO	Revision 1.10 added status register bit for resolution
November 22, 2001	C2	URO	Revision 1.11 corrected polarity of resolution bit
January 24,2002	C1	URO	Revision 1.2 default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

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

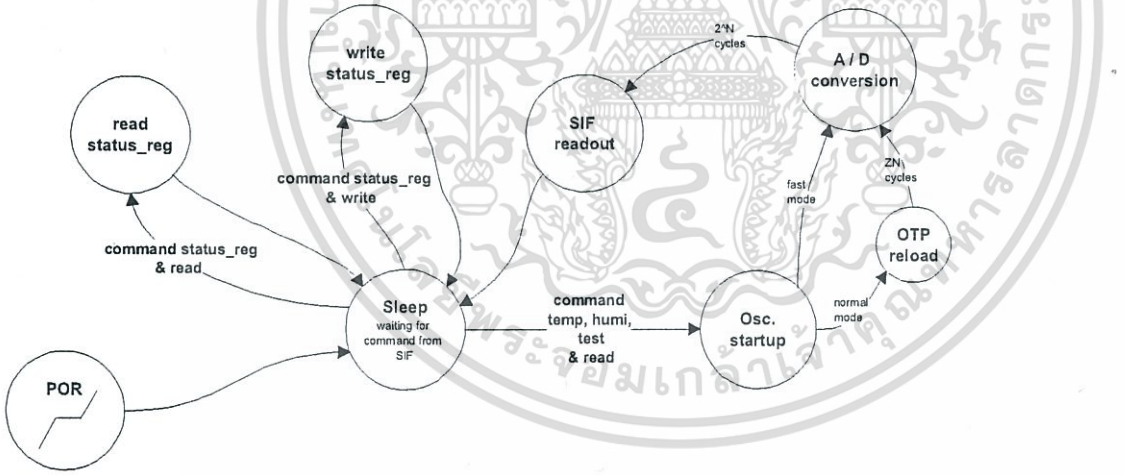


Figure 1 Digital Finite State Machine State Diagram

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/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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 ยึดถือข้อมูลนี้ก่อนเป็นเอกสารและข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ทั้งที่สืบค้นไปใช้

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]

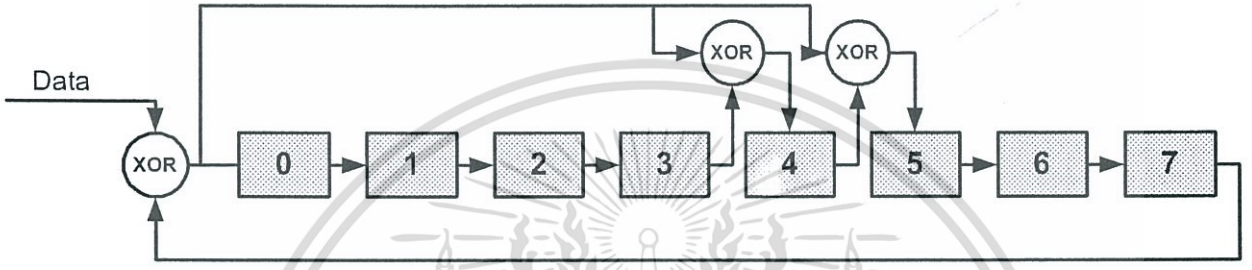


Figure 1 Internal structure of the SHTxx CRC-8 generator

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

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ | ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

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

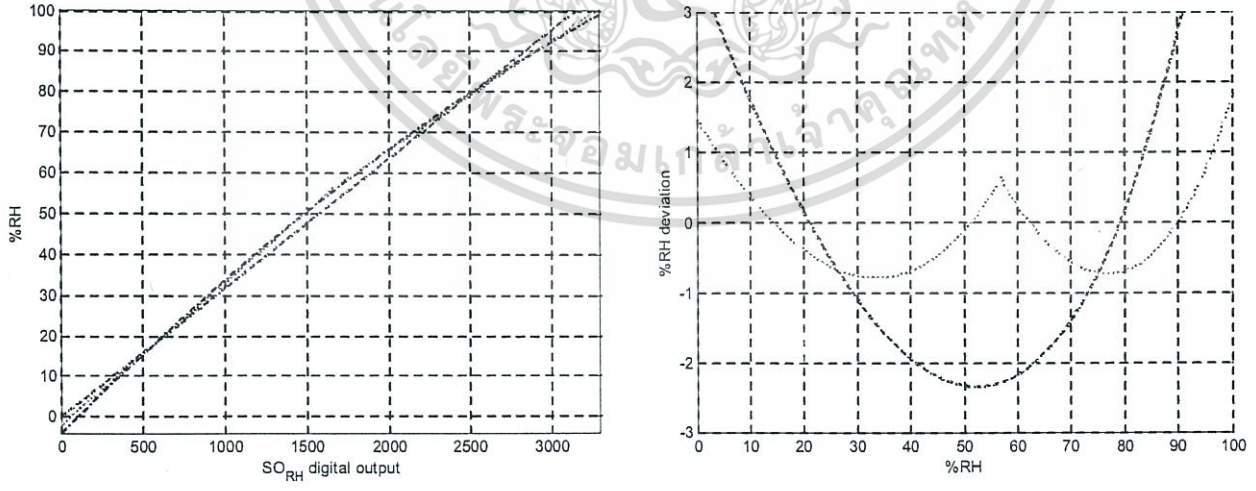


Figure 1 Inaccuracy due to non-linearity, original(from datasheet, black, dash-dotted), linear (blue, dashed) , 2* linear (red, dotted)

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 ≤ SO ≤ 107	143	-512
108 ≤ SO ≤ 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 sensor output

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

SHTxx
Humidity & Temperature
Sensmitter

Application Note
Dewpoint calculation

1 Introduction

From the relative humidity and temperature the dewpoint temperature can easily be calculated.

2 Revision History

November 18, 2001	C2	URO	Revision 0.9 (Preliminary)

3 Theory

Definition of dewpoint:
The temperature that the air must reach for the air to hold the maximum amount of moisture it can. When the temperature cools to the dewpoint, the air becomes saturated and fog, or dew or frost can occur.

The following formula [Berry 45] calculates the dewpoint from relative humidity and temperature. All temperatures are in Celsius.

```
EW     = 10^ ( 0.66077+7.5*T/ (237.3+T) )      % this is the saturation vapor pressure over water.
EW_RH  = EW * RH / 100                         % multiply with relative humidity
Dp     = ((0.66077-log10(EW_RH))*237.3)        %
         / (log10(EW_RH)-8.16077)              % this is the dewpoint

Simplified:
LogEW  = ( 0.66077+7.5*T/ (237.3+T)+(log10(RH)-2)   %
Dp     = ((0.66077-logEW)*237.3) / (logEW-8.16077)  % this is the dewpoint
```

Example: RH=10% T=25C -> EW= 23.7465 -> Dewpoint = -8.69°C
RH=90% T=50C -> EW= 92.4753 -> Dewpoint= 47.89°C

This formula is a commonly used approximation. See Figure 1 for the deviation to the actual value between –40°C and 100°C. A more far more complex calculation is described in [Hardy 98].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

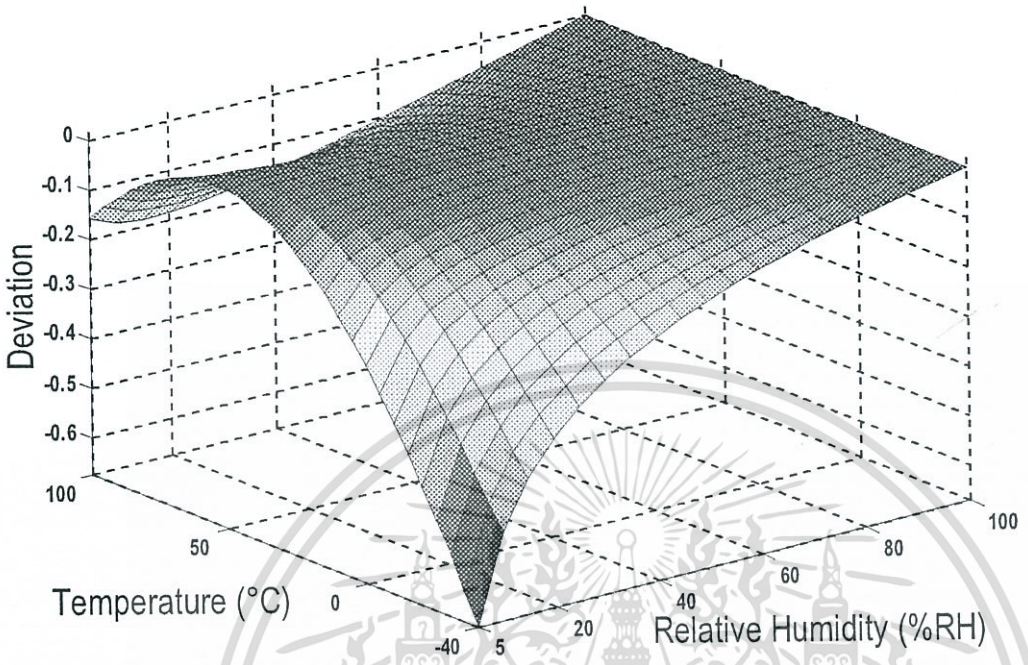


Figure 1: Deviation of simplified formula

4 References

[Berry 45] F.A.Berry,Jr. Handbook of Meteorology, McGraw-Hill Book Company, 1945, page 343

[Hardy 98] Bob Hardy, Thunder Scientific Corporation, Albuquerque, NM, USA
The proceedings of the Third international Symposium on Humidity & Moisture, Teddington, London, England, April 1998

Headquarters and Sales Office

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

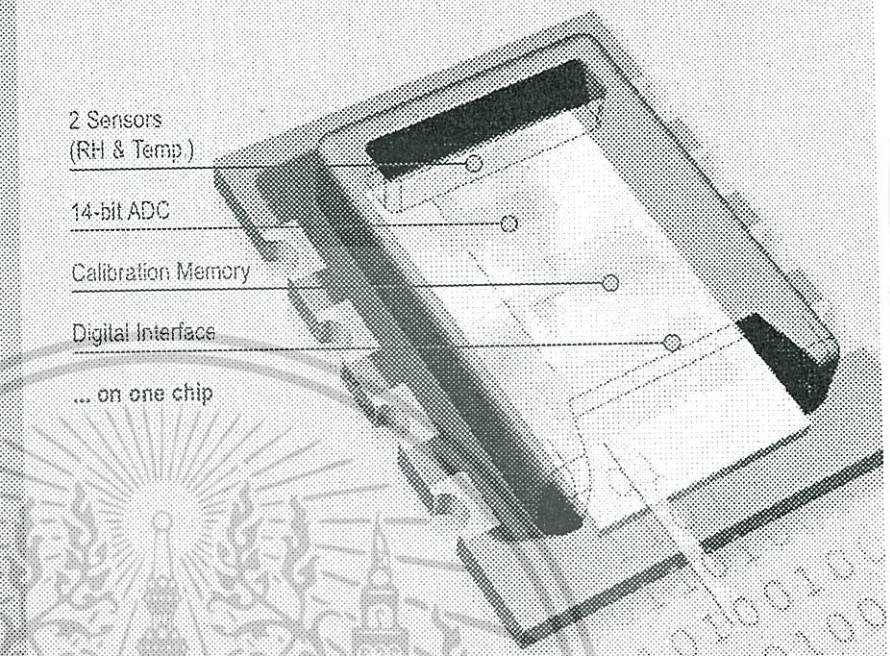
Phone: + 41 (0)1 306 40 00
Fax: + 41 (0)1 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
http://www.sensirion.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Humidity & Temperature Sensor SHT11

Sensirion introduces the new generation of integrated relative humidity and temperature sensor systems with outstanding performance. Based on intelligent CMOSens® technology, the SHT1x offers you processed, fast-digital and absolut long-term stability.

- Relative humidity & temperature
- Dew point
- Fully calibrated
- Digital 2-wire interface
- Excellent long-term stability
- Designed for high volume applications
- Cost-effective

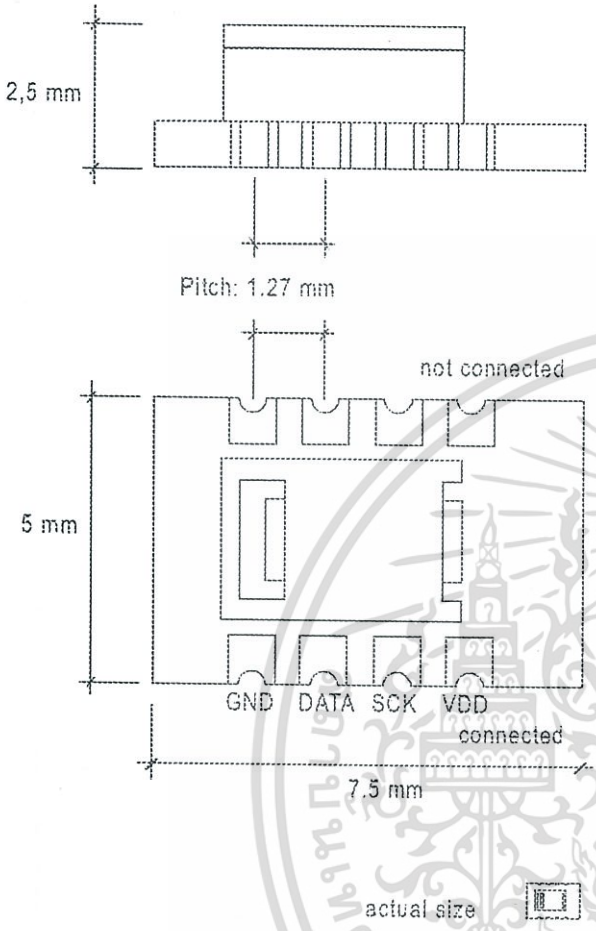


Your partner for innovative sensor solutions.

real photo
actual size

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Humidity & Temperature Sensor SHT11



Features

- _Combined relative humidity and temperature measurement
- _Precise dew point measurement
- _Fully calibrated, interchangeable without recalibration
- _Ultra fast response time
- _Digital 2-wire interface (no external components required)
- _Ultra small size (7.5 x 5 x 2.5 mm)
- _High reliability
- _Optimized for long-term stability
- _Fully immersible
- _Low power due to measurement on demand
- _Self test capability of sensor elements
- _Heatable sensor elements for excellent precision and stability

Specifications

_Relative Humidity (RH)

Range:	0 to 100 % RH
Accuracy:	± 3.5 % RH (20 to 80 % RH)
Response time:	≤ 4 sec.
Reproducibility:	± 0.1 % RH
Resolution:	0.03 % RH
Operating temperature:	–40°C to 120°C

_Temperature (T)

Range:	–40°C to 120°C
Accuracy:	± 0.5°C @ 25°C, ± 0.9°C (0°C – 40°C)
Response time:	≤ 20 sec.
Reproducibility:	± 0.1°C
Resolution:	0.01°C

Electrical Data

_Power consumption:	typ. 30 µW (@ 5 V, 12-bit, measure every 2 sec.) typ. 1 µW (@ 2.4 V, 8-bit, measure every 2 min.)
_Supply voltage range:	2.4 to 5.5 V
_Input current during measurement:	0.5 mA
_Input current standby:	0.3 µA

Packaging Information

_The sensor system is packaged as a surface mountable device and mountable in standard SMD assembly lines
_The whole system, including packaging, is qualified

powered by

CMOSens®

Your partner for innovative sensor solutions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENSIRION