สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15

TEMPERATURE AND HUMIDITY DETECTOR BOARD USING SHT15

โดย

นายกวิน แสบงบาล รหัสประจำตัว 46010022

นางสาวนาฏยา รัตนพงษ์ รหัสประจำตัว 46010358

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72865
วัน,เดือน,ปี 25 มิ.ย. 2550

b.11773242
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15

TEMPERATURE AND HUMIDITY DETECTOR BOARD USING SHT15

โดย

นายกวิน แสบงบาล รหัสประจำตัว 46010022

นางสาวนาฏยา รัตนพงษ์ รหัสประจำตัว 46010358

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง บอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15

(TEMPERATURE AND HUMIDITY DETECTOR BOARD USING SHT15)

ผู้จัดทำ

1. นายกวิน แสบงบาล รหัส 46010022
2. นางสาวนาฏยา รัตนพงษ์ รหัส 46010358

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15

นายกวิน แสบงบาล รหัส 46010022
นางสาวนาฏยา รัตนพงษ์ รหัส 46010358
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15 โดยการสร้างบอร์ดจำลองการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นพร้อมทั้งแสดงวันที่และเวลา ค่าที่วัดได้จะถูกแสดงผลบนบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ขนาด 8 ดิจิต (7-segment 8 Digit) สลับกันไปเรื่อยๆและวงจรจะสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม เพื่อที่จะนำมาใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน รวมถึงศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคู่กับเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น SHT15 ศึกษาการทำงานภายในตัวเซนเซอร์ พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature and Humidity Detector Board Using SHT15

Kawin Sabangban ID 46010022

Nattaya Rattanapong ID 46010358

Assoc.Prof.Dr. Worapong Tungseerut

Academic year 2006

Abstract

This project proposes a temperature and humidity detector board using SHT15. The measured values of temperature and humidity will be displayed on the 8 digit 7-segment board together with the time and date. The circuit communicates with a personal computer via serial port to evaluate the change of temperature and humidity in the different surroundings. Moreover, the sensor characteristic and associated electronic circuit will be studied. The microcontroller MCS-51 no. P89V51RD2 is used as the circuit processor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากอาจารย์และบุคคลหลายท่าน

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ อย่างทุ่มเท ตลอดจนสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานและความเอาใจใส่อย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิศวกรรมควบคุม อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และให้คำปรึกษาที่ดี

ขอขอบคุณภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่เอื้อเฟื้อเครื่องพิมพ์ในการพิมพ์รายงาน

ขอขอบคุณพี่ตีรชาติรุ่นพี่ที่คอยให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมภาษาซี

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยเป็นกำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงาน

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับประสบการณ์ชีวิต ความรู้ และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดระยะเวลา 4 ปี

ขอขอบพระคุณสำหรับบุญคุณอันยิ่งใหญ่ที่สุดคือ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของพวกเราทั้งสองที่คอยห่วงใยและให้กำลังใจ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในทุกๆเรื่องแก่พวกเราเสมอมาไม่เคยเปลี่ยนแปลง

กวิน แสบงบาล

นาฏยา รัตนพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 จุดประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 (P89V51RD2)	3
2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ	4
2.1.2 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ (P89V51RD2)	5
2.1.3 ลักษณะโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ (P89V51RD2)	9
2.2 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)	10
2.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ	11
2.2.2 ขาสัญญาณสำหรับสื่อสารข้อมูลของเซนเซอร์ SHT15	11
2.2.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของเซนเซอร์ SHT15	11
2.2.4 ขั้นตอนการคำนวณค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ SHT15	13
2.3 ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (DS1307)	16
2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ	16
2.3.2 รายละเอียดขาต่อใช้งานของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)	17
2.3.3 การจัดสรรหน่วยความจำในไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)	18
2.3.4 รีจิสเตอร์ควบคุม	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 โหมดการทำงานของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) 18
2.3.6 ข้อมูลสำหรับติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) 20
2.3.7 การจัดสรรหน่วยความจำแรมภายในรีลไทม์คล็อก (DS1307) 20
2.3.8 หน้าที่และการทำงานของฟังก์ชั่นต่างๆในโปรแกรม 21
2.4 บอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7- SEGMENT 8 DIGIT DISPLAY) 23
2.4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7- Segment 8 Digit Display) 23
2.4.2 การต่อใช้งานร่วมกับชิพ MAX7219 23
2.5 ติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C 24
2.5.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C 24
2.5.2 หลักการของบัส I^2C 24
2.5.3 การเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C 25
2.5.4 ขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C 26
2.5.5 ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของบัส I^2C 26
2.5.6 การทำงานบนบัส I^2C 27
2.6 การสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 29
2.6.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม 29
2.6.2 การเขียนโปรแกรมภาษาซีติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 32
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง 37
3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ของวงจรส่วนต่างๆของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วย SHT15 37
3.1.1 วงจรวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นด้วยSHT15 37
3.1.2 วงจรสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงด้วยไอซี DS1307 38
3.1.3 วงจรตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นพร้อมแสดงวันเวลา 39
3.1.4 วงจรแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น และวันเวลา 40
3.1.5 วงจรรวมของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น 43
3.1.6 การออกแบบลายวงจรรวมของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วย PCB 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ของระบบตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นด้วย SHT15 45
3.2.1 แผนผังการทำงานของระบบระบบตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นพร้อมแสดงวันเวลา 46
บทที่ 4 ผลการทดลอง 47
4.1 ผลการทดลอง 47
4.2 ผลการทดลองตรวจจับค่าอุณหภูมิและความชื้น 47
4.3 การแสดงผลการตรวจจับค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซนเซอร์ SHT15 50
4.3.1 การแสดงผลทางบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) 50
4.3.2 การแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) 51
4.3.3 การใช้งานโปรแกรมเพื่อแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเส้นกราฟ 53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ 54
5.1 สรุปผลการทดลอง 54
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 54
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน 55
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงงาน 55
ภาคผนวก 56
ก. คู่มือไอซี (Datasheet)
- เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT 15) 57
- ไอซีสร้างฐานนาฬิกาเวลาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (DS1307) 66
- MAXIM (MAX232) 78

ข. ลายวงจร
- การจัดวางอุปกรณ์ลงบนแผงวงจร 85
- ลายวงจรรวมบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15 86

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 เบอร์ P89V51RD2 3

รูปที่ 2.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ P89V51RD2 5

รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ P89V51RD2 10

รูปที่ 2.4 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) 10

รูปที่ 2.5 การจัดขาเพื่อต่อใช้งานของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) 11

รูปที่ 2.6 สัญญาณเวลาของการส่งคำสั่ง 12

รูปที่ 2.7 สัญญาณเวลาของการรีเซตการเชื่อมต่อ 13

รูปที่ 2.8 ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (DS1307) 16

รูปที่ 2.9 การจัดขาของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) 17

รูปที่ 2.10 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ในโหมดการเขียนข้อมูล 19

รูปที่ 2.11 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ในโหมดการอ่านข้อมูล 20

รูปที่ 2.12 รูปแบบของข้อมูลแอดเดรส 20

รูปที่ 2.13 บอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-SEGMENT 8 DIGIT DISPLAY) 23

รูปที่ 2.14 ค่าแอดเดรสในการติดต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูล 26

รูปที่ 2.15 รูปแบบข้อมูลในการอ้างแอดเดรส 28

รูปที่ 2.16 ค่าแอดเดรสของรีจิสเตอร์ควบคุมกาทำงานของพอร์ตอนุกรม 29

รูปที่ 3.1 การต่อเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2) 38

รูปที่ 3.2 การต่อไอซีสร้างฐานนาฬิกาเวลาจริง (DS1307) กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2) 39

รูปที่ 3.3 การต่อเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) กับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) เชื่อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2) 40

รูปที่ 3.4 การต่อบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นเพื่อแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การต่อบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นกับบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) 42
รูปที่ 3.6 วงจรรวมของบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแสดงผลทางพอร์ตอนุกรม และบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) 43
รูปที่ 3.7 ลายวงจรรวมของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น 44
รูปที่ 4.1 ผลค่าอุณหภูมิหน่วยองศาเซลเซียส 50
รูปที่ 4.2 ผลค่าความชื้นเป็น % RH 50
รูปที่ 4.3 ผลเวลาเป็น ชั่วโมง นาที และวินาที 51
รูปที่ 4.4 กราฟค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ และความชื้น (SHT15) 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดคำสั่งและข้อมูลคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงาน ของเซนเซอร์ SHT15 12

ตารางที่ 2.2 ค่าเวลาที่เซนเซอร์ SHT15 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล 13

ตารางที่ 2.3 (ก) การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 (d1) เพื่อคำนวณ ค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้ 14

ตารางที่ 2.4 (ข) การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 2 (d2) เพื่อคำนวณ ค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้ 15

ตารางที่ 2.5 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ จริงที่วัดได้ 16

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท เทอร์โมคัปเปิ้ล และเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) 47

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและ ความชื้น(SHT15) 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่ตลอดเวลา ไม่คงที่ ทำให้ไม่สามารถทราบได้เลยว่าที่ที่เรายืนอยู่ขณะนี้มีระดับอุณหภูมิและความชื้นในอากาศเป็นอย่างไร ถ้าจะซื้อเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นมาตรวจหาค่าที่มีจำหน่ายในท้องตลาดก็มีราคาค่อนข้างแพง

ดังนั้น ผู้จัดทำจึงได้คิดสร้างบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซนเซอร์เบอร์ SHT15 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นภายในตัวถังเดียวกัน เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น ณ พื้นที่และเวลาขณะนั้นในรูปแบบการแสดงผลบนบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) จึงได้เกิดเป็นโครงงานนี้ขึ้น

1.2 จุดประสงค์ของปริญญานิพนธ์

จุดประสงค์ในการจัดทำโครงงานบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น มีดังนี้

1. เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิและความชื้นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน
2. เพื่อฝึกทักษะการเขียนโปรแกรมภาษาซีควบคุมการทำงานของระบบ
3. เพื่อเพิ่มช่องทางการเลือกใช้เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นให้มากยิ่งขึ้น
4. เพื่อนำความรู้ที่ศึกษามาประยุกต์ในการทำงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาค้นคว้าหารายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นเบอร์ SHT15
2. ศึกษาค้นคว้าหารายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของรีลไทม์คล็อก (Real time clock) โดยไอซี DS1307
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15), ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) และ MAX232 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2) ด้วยภาษาซี
4. ศึกษาการแสดงผลทางเซเว่นเซกเมนต์ (7-Segment) และทางพอร์ตอนุกรมกับเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ออกแบบการทำงานของโครงงานเพื่อนำไปใช้ในการติดต่อกับระบบอุปกรณ์ต่างๆ
6. สร้างวงจรฮาร์ดแวร์ของโครงงานให้สามารถตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นพร้อมแสดงวันและเวลาได้
7. เขียนโปรแกรมสำหรับหน่วยประมวลผลกลางเพื่อใช้ในการควบคุมและลำดับการทำงานของฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำโครงงานบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) แสดงวันเวลาด้วยไอซีสร้างฐานนาฬิกาเวลาจริง (DS1307) ทำการแสดงผลทางเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) และแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ตรวจจับได้ในลักษณะกราฟเส้นบนจอคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยใช้โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) ในการติดต่อ มีทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาอธิบายให้เข้าใจในแต่ละส่วนของระบบ ดังนี้

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 (P89V51RD2)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชมาก ถึง 64 กิโลไบต์ มีขาพอร์ตสำหรับใช้งานมากถึง 4 พอร์ต (P0-P3) พร้อมทั้งไทเมอร์ 3 ตัว มีโมดูล PCA สำหรับสร้างสัญญาณวงจรมอดูลัลส์ (PWM) มากถึง 5 ช่อง รวมทั้งมีหน่วยความจำแรมพิเศษอีก 1 กิโลไบต์ และสามารถโปรแกรมหน่วยความจำผ่านพอร์ตอนุกรมในแบบ ISP (In-system programming) ได้ด้วย ทำให้การพัฒนาโปรแกรมสะดวกขึ้น

รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 เบอร์ P89V51RD2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ

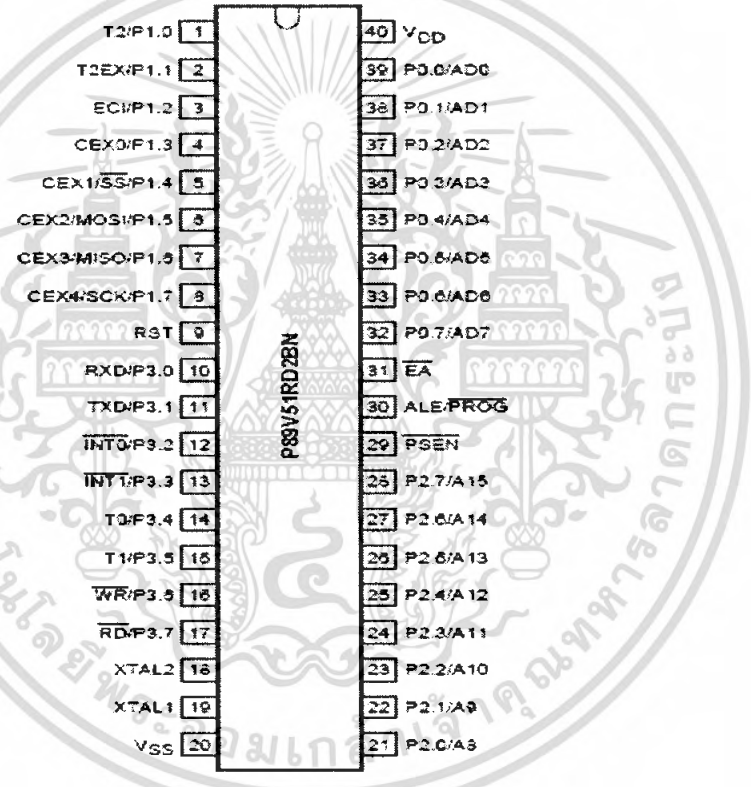
1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน
2. หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลชลบและเขียนใหม่ได้ถึงหมื่นครั้ง ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 64 กิโลไบต์
3. หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์ โปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมแบบ ในระบบ (ISP: In system programming)
4. ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 40 เมกะเฮิรตซ์ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมชีนไซเคิลและ 20 เมกะเฮิรตซ์ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมชีนไซเคิล ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89V51RD2 ได้รับการกำหนดให้ทำงานเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 12 ลูกต่อแมชีนไซเคิล สามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 6 สัญญาณนาฬิกาต่อแมชีนไซเคิลได้ด้วยการโปรแกรมแบบ ISP แต่เมื่อเปลี่ยนแล้ว หากต้องการเปลี่ยนกลับเป็น 12 สัญญาณต่อแมชีนไซเคิลต้องใช้การโปรแกรมแบบขนาน
5. ขาพอร์ต 8 บิต 4 พอร์ต แบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
6. อุปกรณ์เพอริเฟอรัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานด้วยความเร็ว 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมชีนไซเคิลได้ แม้ว่าซีพียูจะทำงานด้วยความเร็ว 6 สัญญาณนาฬิกาภายในต่อแมชีนไซเคิล
7. มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟลูดูเพล็กซ์
8. ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทเมอร์ 0, 1และ2)
9. สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 8 ประเภท
10. กำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ
11. สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
12. มีโมดูลวงจรนับโปรแกรมได้ (PCA: Programmable Counter Array): ซึ่งบรรจุวงจรตรวจจับสัญญาณ (capture), เปรียบเทียบสัญญาณ (compare),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างพัลส์ (PWM) และวอตช์ด็อกไทเมอร์ (watchdog timer)

2.1.2 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ P89V51RD2

ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 มีขาใช้งาน 40 ขา และพอร์ตสำหรับใช้งาน 3 พอร์ตเป็นได้ทั้งขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต ดังรูป



รูปที่ 2.2 การจัดขาของ P89V51RD2

หน้าที่และการใช้งานขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (P89V51RD2) มีดังนี้

Voltage Input (Vcc) ขา 40

เป็นขารับแรงดันไฟเลี้ยงอินพุตที่ต้องการแรงดันไฟเลี้ยง +5 โวลต์ และต้องเป็นแรงดันไฟเลี้ยงที่มีสัญญาณรบกวนต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ground Input (GND) ขา 20

เป็นขาที่ใช้ต่อกราวด์

Port Input/Output (P0.0-P0.7) ขา 39-32

เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วยทำให้มีสถานะลอย (float) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้การมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานให้เป็นไปได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

Port Input/Output (P1.0-P1.7) ขา 1-8

เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป เฉพาะขา P1.5 ถึง P1.7 สามารถขับกระแสได้สูง 16 มิลลิโอห์ม ต่อขา เป็นขาสัญญาณของไทเมอร์ 2 และขาสัญญาณของโมดูล PCA ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- T2 (P1.0: ขา 1) เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไมเมอร์ 2 และขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาโปรแกรมแบบได้
- T2EX (P1.1: ขา 2) เป็นขาอินพุตสำหรับควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2
- ECI (P1.2: ขา 3) เป็นขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสำหรับโมดูล PCA
- CEX0 (P1.3: ขา 4) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 0
- CEX 1 (P1.4: ขา 5) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 1
- CEX2 (P1.5: ขา 6) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 2
- CEX3 (P1.6: ขา 7) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- CEX4 (P1.7: ขา 8) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 4

Port Input/Output (P2.0-P2.7) ขา 21-28

เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก(A8-A15) เมื่อติดต่อด้วย

Port Input/Output (P3.0-P3.7) ขา 10-17

เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป เป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- $\overline{\text{RxD}}$ (P3.0: ขา 10) ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม
- $\overline{\text{TxD}}$ (P3.1: ขา 11) ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสาร แบบอนุกรม
- INT0 (P3.2: ขา 12) ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ จากภายนอกช่อง 0
- INT1 (P3.3: ขา 13) ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0
- T0 (P3.4:ขา14) ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0
- T1 (P3.5: ขา 15) ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1
- $\overline{\text{WR}}$ (P3.6:ขา16) ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- $\overline{\text{RD}}$ (P3.7: ขา 17) ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reset Input (RST) ขา 9

เป็นขาใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณลอจิก"1"อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมชีนไซเคิลโดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

Address Latch Enable (ALE) ขา 30

เป็นขาเอาต์พุตที่ออกมาทุกๆแมชีนไซเคิล อย่างไรก็ตาม สามารถดิสเอเบิลพัลส์นี้ได้ โดยการเซตบิต 0 ของรีจิสเตอร์ AUXR

Program Store Enable ($\overline{\text{PSEN}}$) ขา 29

เป็นขาใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง นอกจากนี้ยังใช้ประกอบในการอ่าน-เขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ISP

- สำหรับเบอร์ P89C51RD+ให้ต่อขานี้ลงกราวด์แล้วป้อนไฟ +12โวลต์ ($\pm 0.5V$) เข้าที่ขา EA/Vpp
- สำหรับเบอร์ P89C51RD2ให้ต่อขานี้ลงกราวด์ ป้อนลอจิก "1" เข้าที่ขา P2.7 และป้อนแรงดัน +5โวลต์ เข้าที่ขา EA/Vpp

External Access enable/Programming voltage input (EA/Vpp) ขา 31

เป็นขาใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

"0" เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอก

"1" เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายใน

นอกจากนี้นี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

- สำหรับเบอร์P89C51RD+ ต้องการแรงดัน +12โวลต์ ($\pm 0.5V$)
- สำหรับเบอร์P89C51RD2 ต้องการแรงดัน +5โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XTAL1 ขา 19

เป็นขาอินพุตรับสัญญาณจากวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ (ขา XTAL2) และจากภายนอก ในการใช้งานปกติ ขานี้และขา XTAL2 ต่อเข้ากับคริสตอลและตัวเก็บประจุชดเชยค่าน้อยๆ

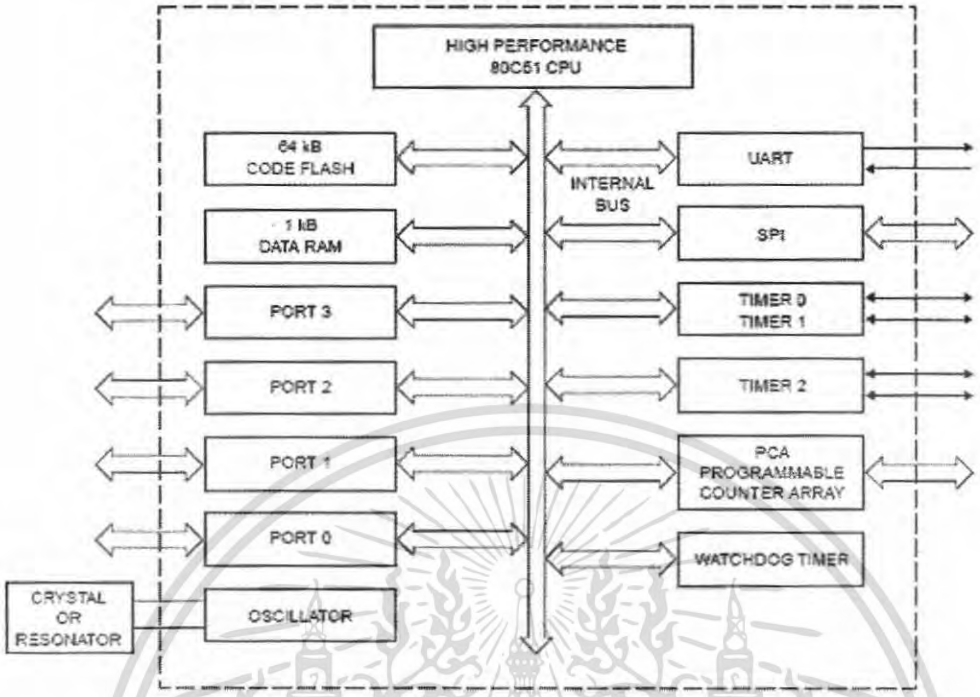
XTAL2 ขา18

เป็นขาเอาต์พุตของวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในการใช้งานปกติ ขานี้และขา XTAL1 ต่อเข้ากับคริสตอลและตัวเก็บประจุชดเชยค่าน้อยๆ

2.1.3 ลักษณะโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2)

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ หน่วยความจำแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์ หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สูงถึง 64 กิโลไบต์ ขาพอร์ตสำหรับใช้งาน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต แบบกึ่งสองทิศทางเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต พร้อมทั้งไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 3 ตัว (ไทเมอร์ 0, 1 และ 2) มีโมดูล PCA สำหรับสร้างสัญญาณวงจรมอดูลัลส์ (PMW) มากถึง 5 ช่อง มีวอตช์ไทเมอร์ มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟลูดูเพล็กซ์และสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

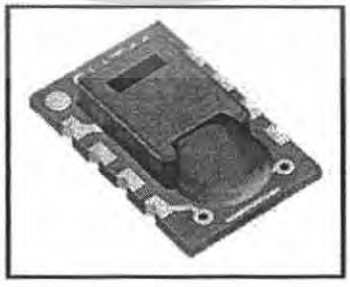
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายใน P89V51RD2

2.2 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

เป็นเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิจากเซนซิรอน (Sensirion) มีย่านการวัดอุณหภูมิในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส ความแม่นยำในการวัดคือ ±0.4 ที่ 5-40 องศาเซลเซียส และย่านการวัดความชื้นสัมพัทธ์ที่ 10-90 %RH ความแม่นยำในการวัดคือ ±2% RH มีขนาดเล็กและเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงได้ติดตั้งบนแผ่นวงจรพิมพ์และต่อคอนเนคเตอร์ 8 ขา เพื่อให้สามารถติดตั้งลงบนแผงต่อวงจรหรือเบรดบอร์ดเพื่อทำการทดลองได้ง่ายรวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงด้วย



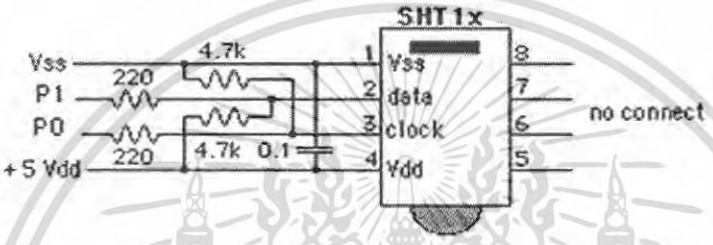
รูปที่ 2.4 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ

1. ทำหน้าที่เป็นทั้งตัววัดความชื้นและอุณหภูมิภายใต้ตัวถังเดียวกัน
2. สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้
3. มีขนาดเล็กและกินพลังงานต่ำ
4. ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 โวลต์ ถึง +5.5โวลต์
5. เสถียรภาพในการทำงานสูง

2.2.2 ขาสัญญาณสำหรับสื่อสารข้อมูลของเซนเซอร์ SHT15



รูปที่ 2.5 การจัดขาเพื่อต่อใช้งานของเซนเซอร์ SHT15

2.2.2.1 ขาสัญญาณนาฬิกา (SCK) ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะใน การสื่อสารข้อมูล

2.2.2.2 ขาสัญญาณรับ/ส่งข้อมูล (DATA) เป็นขาสัญญาณสำหรับรับและส่งข้อมูล ในการใช้งานควรต่อตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม พลูอัปที่ขานี้

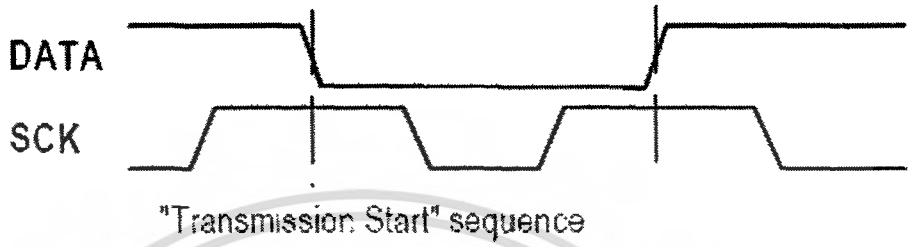
2.2.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ SHT15

2.2.3.1 การส่งคำสั่ง (Sending Command)

ในสภาวะเริ่มต้นก่อนการส่งข้อมูลคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) จำเป็นจะต้องสร้างรูปแบบสัญญาณกระตุ้นผ่านขาสัญญาณนาฬิกา (SCK) และขาสัญญาณรับ/ส่งข้อมูล (DATA) เพื่อให้ตรงกับเงื่อนไขที่เรียกว่า ภาวะเริ่มส่งสัญญาณ (Transmission start) นั่นคือขาขาสัญญาณรับ/ส่งข้อมูล (DATA) ต้องถูกทำให้เป็นขาลอจิก “0” นานอย่างน้อย 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา (SCK) หลังจากนี้เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) จะทราบได้ทันทีว่า ข้อมูลต่อจากนี้คือ คำสั่ง



รูปที่ 2.6 สัญญาณเวลาของการส่งคำสั่ง

หลังจากสร้างเงื่อนไขภาวะเริ่มส่งสัญญาณ (Transmission start) แล้ว สามารถส่งคำสั่งไปยังเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) เพื่อกำหนดการทำงานได้ทันทีแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดคำสั่งและข้อมูลคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ SHT15

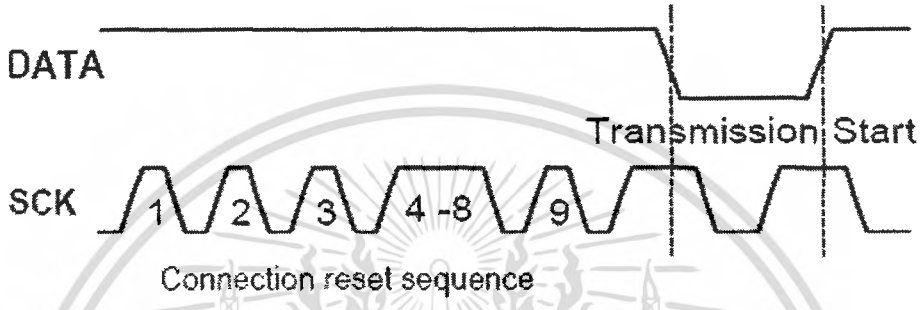
คำสั่ง	ข้อมูลคำสั่ง
สงวนไว้	0000x
อ่านค่าอุณหภูมิ (Measure Temperature)	00011
อ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Measure Humidity)	00101
อ่านค่ารีจิสเตอร์กำหนดสถานะ (Read Status Register)	00111
สงวนไว้	0101x ถึง 1110x
รีเซตการทำงาน (Soft reset) ทำให้รีจิสเตอร์กำหนดสถานะกลับไปสู่ค่า defaultและต้องใช้เวลาในการทำงานอย่างน้อย 11 มิลลิวินาทีจึงจะสามรถรับคำสั่งต่อไปได้	11110

2.2.3.2 รีเซตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence)

เมื่อต้องการเริ่มต้นการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ต้องสร้างสัญญาณรีเซตขึ้นก่อน โดยทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาสัญญาณรับ/ส่งข้อมูล (DATA) มีสถานะลอจิก “1” นานเท่ากับช่วงเวลาที่ป้อนสัญญาณนาฬิกา (SCK) 9 ลูกติดต่อกัน แล้วตามด้วยการสร้างภาวะเริ่มต้นการส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.7 สัญญาณเวลาของการรีเซตการเชื่อมต่อ

2.2.4 ขั้นตอนการอ่านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การอ่านข้อมูลดิบของอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์นั้น ทำได้จากภายหลังการสร้างสภาวะเริ่มต้น (Transmission start) แล้ว ตามด้วยการส่งข้อมูลคำสั่งอ่านอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์อย่างใดอย่างหนึ่งไปยังเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการซึ่งจะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเวลาที่เซนเซอร์ SHT15 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล

ความละเอียดของข้อมูลที่ประมวลผล	เวลาที่เซนเซอร์ SHT15 ใช้ประมวลผล (±15%)
14 บิต	210 มิลลิวินาที
12 บิต	55 มิลลิวินาที
8 บิต	11 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 การคำนวณค่าอุณหภูมิ

ในการอ่านค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ผู้พัฒนาสามารถเลือกความละเอียดในการอ่านได้ในแบบ 14 บิต หรือ 12 บิต โดยที่ความละเอียด 14 บิตเป็นค่าตั้งต้น โดยที่ผู้พัฒนาจำเป็นจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจากเซนซิรอน (Sensirion) ผู้ผลิตเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ดังนี้

$$\text{Temperature}=d1+(d2\times SO_T) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

โดยที่ Temperature คือค่าอุณหภูมิจริง

d1 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา V_{DD} ของ SHT15 ดูลายละเอียดในตารางที่ 2.4

d2 คือค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT15 ดูในตารางที่ 2.4

SO_T คือค่าอุณหภูมิดิบที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น SHT15

ตารางที่ 2.3 (ก) การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 (d1) เพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้

ไฟเลี้ยง	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 (d1)	
	ในหน่วยองศาเซลเซียส (^{o}C)	ในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์ (^{o}F)
+5 V	-40.00	-40.00
+4 V	-39.75	-39.50
+3.5 V	-39.66	-39.35
+3 V	-39.60	-39.28
+2.5 V	-39.55	-39.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ข) การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 2 (d2) เพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้

ความละเอียด	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 2 (d2)	
	ในหน่วย $^{\circ}C$	ในหน่วย $^{\circ}F$
14 บิต	0.01	0.018
12 บิต	0.04	0.072

2.2.4.2 คำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์

สำหรับการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์SHT15สามารถเลือกความละเอียดในการอ่านได้ในแบบ 12 บิต หรือ 8 บิต โดยที่ความละเอียด 12 บิตเป็นค่าตั้งต้นหลักโดยที่ผู้พัฒนาจำเป็นจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากเซนเซอร์ SHT15 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ออกมา โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจากเซนซิรอน (Sensirion) ผู้ผลิตเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ดังนี้

$$RH_{ture} = (T-25)\times[t1+(t2\times SO_{RH})]+RH_{linear} \quad \text{.....(2)}$$

$$RH_{linear} = c1+(c2\times SO_{RH}) +[c3\times(SO_{RH})^2] \quad \text{.....(3)}$$

โดยที่ RH_{ture} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ (1)

t1 และ t2 คือค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากเซนเซอร์ SHT15 ดูรายละเอียดการกำหนดค่าจากตารางที่ 2.5

c1, c2 และ c3 คือค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากเซนเซอร์SHT15 ดูรายละเอียดการกำหนดค่าจากตารางที่ 2.5

SO_{RH} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ดิบที่อ่านได้จากเซนเซอร์ SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้

ความละเอียด	ค่าคงที่	
	t1	t2
12 บิต	0.01	0.00008
8 บิต	0.01	0.0128

ความละเอียด	ค่าคงที่		
	c1	c2	c3
12 บิต	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 บิต	-4	0.648	-7.2×10^{-4}

2.3 ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (DS1307)

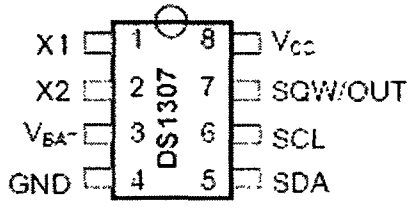
ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาเวลาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (DS1307) จัดการเชื่อมต่อในแบบบัส I^2C โดยทำงานเป็นอุปกรณ์สเลฟเสมอ ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาทั้งหมดตั้งแต่วินาทีจนถึงปี โดยจัดเก็บข้อมูลในแบบรหัสเลขฐานสิบสอง (BCD: Binary Code Decimal)

รูปที่ 2.8 ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (DS1307)

2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ

- เป็นไอซีรีลไทม์คล็อกให้ข้อมูลตั้งแต่วินาทีจนถึงปี รวมถึงการปรับวันในปีอธิกสุรทินด้วย สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปีคริสตศักราช 2100
- มีหน่วยความจำนอนโวลาไทม์แรม 56 ไบต์อยู่ภายใน สามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้
- มีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไปอย่างอัตโนมัติ และสามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การจัดขาของไอซี DS1307

2.3.2 รายละเอียดขาต่อใช้งานของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)

- Vcc, GND (ขา 8, 4) ต่อกับไฟเลี้ยง +5 โวลต์
- VBAT (ขา 3) ใช้ต่อกับแบตเตอรี่ 3 โวลต์
- SDA, SCL (ขา 5 และ 6) เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อระบบบัส I^2C
- SQW OUT (ขา 7) มีสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมส่งออกมาโดยสามรถเลือกความถี่ได้ 1Hz, 4.096 kHz, 8.192 kHz และ 32 kHz ในการใช้งานต้องต่อ ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม พลูอัปที่ขานี้ด้วย
- X1, X2 (ขา 1 และ 2) ต่อกับคริสตอลความถี่ 32.768 kHz

ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) จัดการเชื่อมต่อในแบบบัส I^2C โดยทำงานเป็นอุปกรณ์สเลฟเสมอ ส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ วงจรออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างข้อมูลเวลาจริง มีการเก็บค่าของเวลาไว้ในหน่วยความจำนอนโวลาไทม์แรม 64 ไบต์ ซึ่งจัดสรรให้ใช้เก็บข้อมูลเวลา 8 ไบต์ และเก็บข้อมูลทั่วไป 56 ไบต์ วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะคอยตรวจสอบสภาวะของไฟเลี้ยงไอซี หากต่ำกว่า 1.25 x VBAT ก็จะควบคุมให้ DS1307 หยุดทำงาน ทำให้ไม่สามารถติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ได้ ดังนั้นในการใช้งานต้องระมัดระวังอย่าให้ไฟเลี้ยงต่ำกว่า 1.25 x VBAT หรือประมาณ 3.75 โวลต์ ถ้าหากไฟเลี้ยงมีค่าต่ำกว่า VBAT ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) จะเข้าสู่โหมดสำรองข้อมูลกระแสต่ำทันที แต่วงจรสร้างฐานเวลายังคงทำงานเพื่อให้ค่าฐานเวลาเดินไปอย่างไม่ผิดพลาด เมื่อมีไฟเลี้ยงปรากฏขึ้นอีกครั้ง DS1307 ก็จะให้ค่าของเวลาที่เป็นจริงแก่ผู้ใช้งานได้ต่อไป

72865
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การจัดสรรหน่วยความจำในไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)

การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำภายในไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ประกอบด้วย พื้นที่ 7 ไบต์แรกตั้งแต่แอดเดรส $00-$06 เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ค่าเวลาใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลา ที่แอดเดรส $07 เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)

2.3.4 รีจิสเตอร์ควบคุม

มีแอดเดรสอยู่ที่ $07 มีรายละเอียดของแต่ละบิตดังนี้

OUT (Out control): ใช้ควบคุมระดับลอจิกที่ขา SQW OUT ในกรณีที่ดิสเอเบิลการกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยถ้าบิตนี้เป็น "1" ที่ขา SQW OUT ก็จะเป็น "1" ถ้าบิตนี้เป็น "0" ที่ขา SQW OUT ก็จะเป็น "0"

SQWE (Square Wave Enable): ใช้เอ็นเอเบิลวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ขา SQW OUT ถ้าต้องการให้มีสัญญาณสี่เหลี่ยมออกให้กำหนดบิตนี้เป็น "1"

RS1, RS0 (Rate Select): ใช้เลือกความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ออกจากขา SQW/OUT

RS1	**RS0**	**ค่าความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยม**	
0	0	1	Hz
0	1	4.096	kHz
1	0	8.192	kHz
1	1	32.768	kHz

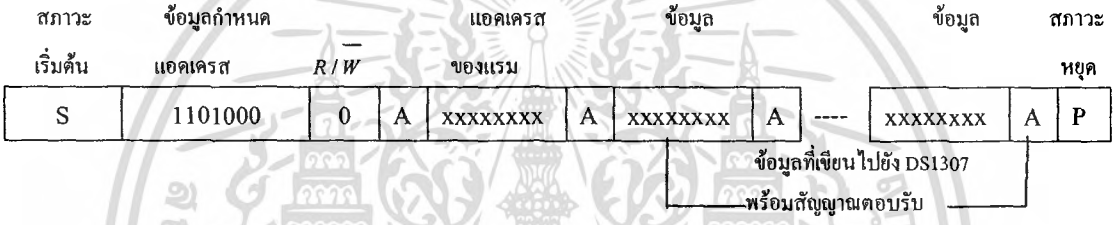
2.3.5 โหมดการทำงานของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)

มี 2 โหมดคือ โหมดเขียนข้อมูล และ โหมดอ่านข้อมูล ในการใช้งานปรกติจะใช้เฉพาะโหมดอ่านข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) เพื่ออ่านข้อมูลของเวลาไปใช้งาน โหมดการเขียนข้อมูลจะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อต้องการตั้งค่าเวลาใหม่และต้องการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำใช้งานทั่วไป อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มต้นติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อนเพื่อกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านข้อมูล จากนั้นจึงเปลี่ยนโหมดการทำงานมาเป็นโหมดการอ่านข้อมูลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.1 โหมดการเขียนข้อมูล

เริ่มต้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการกำหนดสภาวะเริ่มต้น (START :S) จากนั้นส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส 1101000 ตามด้วยข้อมูลเลือกดารเขียน นั่นคือค่า 0 จากนั้นจะรอการตอบรับจากไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ขั้นตอนต่อมาคือ ส่งข้อมูลเพื่อเลือกแอดเดรสที่ต้องการเขียน จากนั้นรอการตอบรับจาก DS1307 เมื่อมีการตอบรับมาเรียบร้อย ก็เริ่มทยอยเขียนข้อมูลลงไปครั้งละแอดเดรส หลังจากเขียนข้อมูลในแต่ละแอดเดรส จะต้องหยุดรอการตอบรับจากไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ทุกครั้ง จึงจะสามารถเขียนข้อมูลต่อไปได้ เมื่อเขียนเรียบร้อยแล้วให้ส่งสภาวะหยุด (STOP: P) เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการเขียนข้อมูล

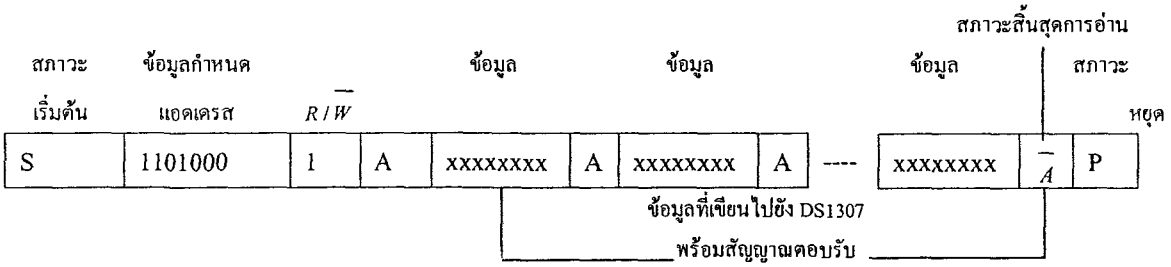


รูปที่ 2.10 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ในโหมดการเขียนข้อมูล

2.3.5.2 โหมดการอ่านข้อมูล

เริ่มต้นการทำงานเหมือนกับโหมดการเขียนข้อมูลคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการกำหนดสภาวะเริ่มต้นแล้วส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสตามด้วยข้อมูลเลือกการอ่าน ซึ่งเท่ากับ 1 จากนั้นรอการตอบรับจากไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) เมื่อมีการตอบรับมาเรียบร้อยไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ก็เริ่มทยอยเขียนข้อมูลลงไปคราวละ 1 แอดเดรสหรือ 1 ไบต์ โดยแอดเดรสที่เลือกอ่านข้อมูลจะต้องมีการกำหนดมาก่อนล่วงหน้าด้วยโหมดการเขียนข้อมูล วิธีการคือ เข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อนเมื่อถึงจังหวะที่ต้องเขียนข้อมูลให้ทำการสร้างสภาวะเริ่มต้นและส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสใหม่อีกครั้ง ตามด้วยเลือกโหมดการอ่านข้อมูล ข้อมูลที่ออกมาจาก DS1307ก็จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ในโหมดการเขียนข้อมูลโครงสร้างของโปรแกรม

2.3.6 ข้อมูลสำหรับติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)

ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) มีรูปแบบของข้อมูลแอดเดรสดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
1	1	0	1	0	0	0	R/W

รูปที่ 2.12 รูปแบบของข้อมูลแอดเดรส

สามารถกำหนดข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ

0xD0 สำหรับเขียนข้อมูลไปยัง DS1307

0xD1 สำหรับอ่านข้อมูลจาก DS1307

2.3.7 การจัดสรรหน่วยความจำแรมภายในไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)

แอดเดรส	**ข้อมูลที่เก็บ**
0x00	วินาที
0x01	นาที
0x02	ชั่วโมง
0x03	วัน
0x04	วันที่
0x05	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0x06	ปี
0x07	รีจิสเตอร์ควบคุม
0x08-0x3F	หน่วยความจำแรม 56 ไบต์

2.3.8 หน้าที่และการทำงานของฟังก์ชั่นต่างๆในโปรแกรม

2.3.8.1 ฟังก์ชั่นติดต่อกับ DS1307 เพื่อเขียนค่าเวลาและข้อมูล

สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. เริ่มต้นสร้างสภาวะการติดต่อด้วยคำสั่ง i2c_start();
2. เขียนค่าแอดเดรสของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)
3. เข้าถึงหน่วยความจำแรมด้วยการเขียนค่าแอดเดรสของหน่วยความจำแรมที่ต้องการเข้าถึง
4. เขียนข้อมูลที่ต้องการลงในหน่วยความจำแรม
5. หากยังมีการเขียนข้อมูลต่อไปไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) จะนำข้อมูลไปเก็บที่แอดเดรสในตำแหน่งถัดไป
6. เมื่อเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำแรมเรียบร้อยแล้ว ให้หยุดการติดต่อด้วยคำสั่ง i2c_stop();

2.3.8.2 ฟังก์ชั่นติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) เพื่ออ่านค่าเวลาและข้อมูล

สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. เริ่มต้นสร้างสภาวะการติดต่อด้วยคำสั่ง i2c_start ();
2 เขียนค่าแอดเดรสของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307)
3. เข้าถึงหน่วยความจำแรมด้วยการเขียนค่าแอดเดรสของหน่วยความจำแรมที่ต้องการเข้าถึง
4. สร้างสภาวะเริ่มต้นด้วยคำสั่ง i2c_start (); อีกครั้ง
5. เขียนข้อมูลของไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) และเปลี่ยนเป็นโหมดอ่านข้อมูล
6. อ่านข้อมูลมาเก็บไว้ในตัวแปรใดๆตามที่ต้องการ
7. หยุดการติดต่อด้วยคำสั่ง i2c_stop ();

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสะดวกในการอ่านข้อมูลจาก ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) จึงสร้างฟังก์ชั่นอ่านข้อมูล 1 ไบต์จากไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) ผ่านระบบบัส I^2C ใช้ชื่อว่า DS1307_rd ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่มีการส่งผ่านค่าแอดเดรสเป็นพารามิเตอร์ให้กับฟังก์ชั่น และให้ค่าผลลัพธ์คืนกลับเป็นข้อมูลของแอดเดรสที่ส่งไป มีรายละเอียดของฟังก์ชั่นและการทำงานดังนี้

```
Unsigned char DS1307_rd (Unsigned char addr)
{
Unsigned char ret;              //ใช้ตัวแปร ret เก็บข้อมูลจากแอดเดรสที่มีการส่งผ่าน
                                  พารามิเตอร์มาให้
I2c_start ();                  // สร้างสภาวะเริ่มติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟบนบัส I²C
i2c_write (DS1307_ID);     // ส่งค่าแอดเดรสของ DS1307
i2c_write (addr);              // เขียนข้อมูลควบคุมเท่ากับค่าของตัวแปร addr
                               // เพื่อเข้าถึงหน่วยความจำแรมในแอดเดรสที่กำหนด โดย
                               ตัวแปร addr
                              //  ถ้า addr มีค่าเท่าใดก็คือการเข้าถึงหน่วยความจำแรมใน
                               แอดเดรสนั้น
i2c_start ();                        // เริ่มติดต่ออุปกรณ์สเลฟอีกครั้ง
i2c_write (DS1307_ID+1);          // ส่งค่าแอดเดรสของ DS1307 และเรียกใช้งาน
                                    ในโหมดอ่านข้อมูล
ret = i2c_read ();                  // ข้อมูลจากแอดเดรสที่เข้าถึงแล้วเก็บไว้ที่ตัวแปร
                                    ret
i2c_stop ();                         //  หยุดการติดต่อ
return (ret);                       //  คือค่าผลลัพธ์ที่ตัวแปร ret เก็บไว้
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 บอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-SEGMENT 8 DIGIT DISPLAY)

บอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) เป็นอุปกรณ์แสดงผลแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการใช้งาน โดยเฉพาะเมื่อนำมาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับโครงงานฉบับนี้จะนำเสนอการติดต่อระหว่างบอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ด้วยโปรแกรมภาษาซีโดยบอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) ที่ใช้ เป็นมาตรฐานที่ใช้ชิพเบอร์ MAX7219 เป็นตัวควบคุมการทำงาน

รูปที่ 2.13 บอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-SEGMENT 8 DIGIT DISPLAY)

2.4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit)

1. 7-Segment 8 digit ตัวเลขสูง 0.56 นิ้ว กว้าง 0.25 นิ้ว สีแดง
2. เลือกใช้งานได้ 2 แบบ คือ ผ่านพอร์ต DISPLAY 8*8 16 PIN HEADER มาตรฐานศิลา หรือเลือกใช้งานร่วมกับ MAX7219โดยผ่าน 3B PORTโดยการต่อผ่าน 3B PORT สามารถต่อพ่วงกันไดมากกว่า 1 บอร์ด
3. ลักษณะบอร์ดออกแบบให้ติดตั้งได้ง่าย การต่อสายสัญญาณจะพ่วงไปด้วย CONNECTOR ทางด้านหลังและสามารถแยกส่วนของแต่ละบอร์ดได้อย่างอิสระ
4. เหมาะสำหรับงานประยุกต์ต่างๆที่ต้องการแสดงผลเป็นแบบตัวเลข เช่น เวลา ราคา จำนวนนับ เป็นต้น
5. สามารถมองเห็นได้ชัดเจนในระยะประมาณ 2 เมตร

2.4.2 การต่อใช้งานร่วมกับ MAX7219

MAX7219 ปกติจะเป็น OPTION เพราะฉะนั้นจะต้องซื้อ MAX7219 เพิ่มเติมและนำไปใส่ตรงตำแหน่งSOCKET 24 PIN ของ MAX7219 และใช้สาย 5 PIN ต่อเข้ากับบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุม (ส่วนของสาย 5 PINเป็น OPTION) ที่ตำแหน่ง 3B PORT จากนั้นสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้ทันที

2.5 ติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C

ย่อมาจาก Inter-IC Communition หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัสจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Data line) อีกเส้นหนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock line)ที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2C ทำได้โดยต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวจะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

2.5.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพลูอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุต ของอุปกรณ์ที่อยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (open-drain) หรือคอนเลคเตอร์เปิด (open-collector)

อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปรกติและสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูงอุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่าคือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

2.5.2 หลักการของบัส I^2C

บัส I^2C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นคือคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะอธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (transmitter)
- อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (receiver) อุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส*ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (master)
- อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

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

2.5.3 การเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C

2.5.3.1 ฟังก์ชั่นโปรแกรมภาษาซีของการติดต่อบนระบบบัส I^2C

1. i2c_start เป็นฟังก์ชั่นสร้างสภาวะเริ่มต้นของระบบบัส I^2C
2. i2c_stop เป็นฟังก์ชั่นสร้างสภาวะหยุดการติดต่อในระบบบัส I^2C
3. i2c_delay เป็นฟังก์ชั่นหน่วงเวลาตามเงื่อนไขของระบบบัส I^2C
4. i2c_clk เป็นฟังก์ชั่นส่งข้อมูล 1 บิตลงในระบบบัส I^2C
5. i2c_wrdata เป็นฟังก์ชั่นส่งข้อมูล 1 ไบต์ลงในระบบบัส I^2C และมีการตรวจสอบสัญญาณตอบรับจากอุปกรณ์สเลฟด้วยการคืนค่าผลลัพธ์ดังนี้

ถ้าคืนค่าผลลัพธ์เป็น “0” แสดงว่ามีการตอบรับจากอุปกรณ์สเลฟ

ถ้าคืนค่าผลลัพธ์เป็น “1” แสดงว่าไม่มีการตอบรับจากอุปกรณ์สเลฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ขั้นตอนโดยทั่วไปในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C

1. ในการติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C นั้น ข้อมูลไบต์แรกสุดที่จะส่งคือแอดเดรสอุปกรณ์สเลฟ ซึ่งต้องทราบก่อนว่า แอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วยนั้นมีค่าเท่าใด โดยค่าแอดเดรส 4 บิต บน (บิต 4-7) ถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ส่วน 3 บิตถัดมา (บิต 1-3) ผู้เขียนโปรแกรมสามารถกำหนดได้เองทางฮาร์ดแวร์ผ่านทางขา A0-A2 ถ้าหากมีอุปกรณ์เพียงตัวเดียวมักจะต่อขาทั้งหมดนั้นลงกราวด์ เกิดเป็นข้อมูล 000 ส่วนบิตล่างสุดคือบิต 0 ใช้กำหนดว่าต้องการติดต่อเพื่ออ่านข้อมูลหรือเขียนข้อมูล สามารถเขียนแจกแจงได้ดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
1	1	0	1	0	0	0	R/W

รูปที่ 2.14 ค่าแอดเดรสในการติดต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูล

2. ส่งข้อมูลควบคุม (control byte หรือ control word) ซึ่งอาจจะมีหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์สเลฟ
3. เมื่อผ่านในขั้นตอนที่ 1 และที่ 2 แล้ว ก็เท่ากับว่า สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สเลฟได้อย่างสมบูรณ์ จากนี้จะส่งข้อมูลต่อไปเท่าใดก็ได้ตราบที่ผู้ใช้งานต้องการ และเมื่อต้องการเลิกติดต่อ ก็จะใช้คำสั่ง i2c_stop (); เพื่อหยุดการติดต่อ

2.5.5 ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของบัส I^2C

สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส มีด้วยกัน 5 สภาวะดังนี้

1.บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2.เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น "0" หรือ "1" ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงหากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

4.รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

5.หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

2.5.6 การทำงานบนบัส I^2C

เริ่มต้นด้วยการเริ่มต้นเข้าถึงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การเข้าถึงแบบ7 หรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การเข้าถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ในบางอุปกรณ์ต้องใช้การเข้าถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก้จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

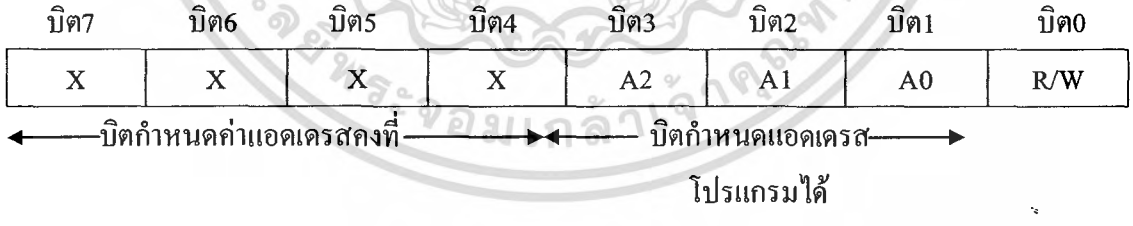
2.5.6.1 การเข้าถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 2.14 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิต เป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึง ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้นๆ ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต บิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data)

หลังจากถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง



รูปที่ 2.15 แสดงแบบข้อมูลในการอ้างแอดเดรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6.2 การเข้าถึงแบบ 10 บิต (10-bit addressing)

จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในไบต์แรกหลังจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ
เช่นเดียวกับการเข้าถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้

2.6 การสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ การเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกัน หรือที่เรียกว่าเป็นแบบฟลูดูเพล็กซ์ (full duplex) โดยใช้ขา P3.0 ทำหน้าที่รับข้อมูล (RxD) และขา P3.1 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล (TxD) รูปแบบการสื่อสารข้อมูลจะต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งคู่ ประกอบด้วยอัตราในการถ่ายทอดข้อมูลหรืออัตราบอด (baud rate), บิตเริ่มต้น (start bit), บิตข้อมูล (data bit), บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) และบิตหยุด (stop bit)

2.6.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register)

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
SMO/FE	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

รูปที่ 2.16 ค่าแอดเดรสของรีจิสเตอร์ควบคุมกาทำงานของพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMO/FE (Serial port mode bit 0/Framing error bit): ปกติจะใช้ร่วมกับบิต SM1 เพื่อกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม การเข้าถึงบิตนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งก็คือ บิต 6 ของรีจิสเตอร์ PCONในกรณีที่ใช้ความสามารถตรวจจับความผิดพลาดของเฟรมข้อมูล บิตนี้จะใช้แจ้งความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยจะเซตเป็น "1" ทันทีเมื่อพบว่า ไม่สามารถตรวจจับบิตหยุดหรือบิตปิดท้ายของข้อมูลของพอร์ตอนุกรมได้ การเอ็นเอเบิลความสามารถนี้ทำได้ด้วยการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์PCON การเคลียร์บิตนี้ต้องกระทำทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

SM1 (Serial port mode bit 1): ใช้ร่วมกับบิต SM0ในการกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

SM0	SM1	โหมด	รายละเอียด	อัตราบอด
0	0	0	ชิฟต์รีจิสเตอร์	ความถี่สัญญาณนาฬิกา/6 (ในโหมด 6 ไซเกิลสัญญาณนาฬิกา)
0	1	1	UART 8 บิต	ปรับค่าได้
1	0	2	UART 9 บิต	ความถี่สัญญาณนาฬิกา/32 (ในโหมด 6 ไซเกิลสัญญาณนาฬิกา)
1	1	3	UART 9 บิต	ปรับค่าได้

SM2 (Serial port mode bit 2): ใช้ในการเอ็นเอเบิลความสามารถการรับรู้แอดเดรสในการติดต่ออัตโนมัติ เมื่อมีการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวเข้าด้วยกัน โดยความสามารถนี้จะใช้ได้ดีก็ต่อเมื่อวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมด 2 หรือ 3 ถ้าบิต SM2 เป็น "1" บิต RI จะไม่เซต เว้นแต่ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น "1" เป็นการแจ้งว่า สามารถติดต่อได้และข้อมูลที่รับเข้ามาคือ ค่าแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่พอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 ถ้าบิต SM2 เซต บิต RI จะไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าจะได้รับข้อมูลบิตหยุดหรือบิตปิดท้ายและข้อมูลที่รับได้จะเป็นข้อมูลแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่วงจรพอร์ตอนุกรมทำงาในโหมด 0 บิต SM2 นี้เป็น "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REN (Received enable bit): ใช้เอ็นเอเบิลความสามารถในการรับข้อมูลของวงจรพอร์ตอนุกรม

"1" เอ็นเอเบิลการรับข้อมูล

"0" ดิสเอเบิลการรับข้อมูล

การเซตหรือเคลียร์บิตนี้ต้องกระทำด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TB8 (Transmit data bit 8): ใช้เก็บข้อมูลบิต 8 หรือบิต 9 ที่ต้องการส่งออกทางพอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 2 และ 3

RB8 (Receive data bit 8): ใช้เก็บข้อมูลบิต 8 ของข้อมูลที่รับเข้ามาของพอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 2 และ 3 ในโหมด 1 ถ้าบิต SM2= 0 ข้อมูลของบิตหยุดจะเก็บไว้ที่บิตนี้ไม่ใช้งานบิตนี้ในโหมด 0

TI (Transmit interrupt flag): บิตแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์จากการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมเมื่อทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะเซตเมื่อมีการส่งข้อมูลบิต 7 หรือบิต 8 ออกไป แต่ถ้าทำงานในโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย การเคลียร์บิตนี้ต้อง

RI (Receive interrupt flag): บิตแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการับข้อมูลเข้ามาของพอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 0 บิตนี้จะเซตเมื่อรับข้อมูลบิต 7 หรือบิตที่ 8 เสร็จสมบูรณ์ แต่ถ้าทำงานในโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อการรับบิตปิดท้ายดำเนินไปได้ครึ่งทาง นอกจากนี้การเซตบิตนี้ยังมีเงื่อนไขที่กำหนดโดยบิต SM2 ร่วมด้วย การเคลียร์บิตนี้ต้องกระทำด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะตั้งค่าของ SCON ดังนี้

SCON = 0x40; → พอร์ตอนุกรมทำงานในโหมด 1 สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียว

SCON = 0x50; → พอร์ตอนุกรมทำงานในโหมด 1 สามารถรับและส่งข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การเขียนโปรแกรมภาษาซีติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.6.2.1 เขียนโปรแกรมแบบตรวจสอบบิตแฟลก

เป็นวิธีที่ให้โปรแกรมวนตรวจสอบบิตแฟลกที่เกี่ยวข้องกับการรับส่งข้อมูล ซึ่งได้แก่

(ก) บิต RI เป็นบิตตรวจสอบการรับข้อมูลเข้าของพอร์ตอนุกรม ถ้า RI = "1" หมายความว่ามีข้อมูลเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมแล้วและข้อมูลถูกเก็บอยู่ที่รีจิสเตอร์ SBUF ถ้าต้องการนำข้อมูลไปใช้งานต้องเคลียร์บิตแฟลก RI โดยเขียนคำสั่ง RI = 0; แล้วอ่านข้อมูลจาก*มาเก็บไว้ที่ตัวแปรที่ต้องการ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
Unsigned char dat;          //ใช้ตัวแปร dat เป็นตัวรับข้อมูลที่เข้ามาทางพอร์ตอนุกรม
.....
While (~RI);                // รอรับข้อมูลโดยตรวจสอบว่า RI = 1 หรือไม่ซึ่งทำให้
                            เงื่อนไข whileเป็นเท็จ
RI = 0;                     // หลังจากมีการรับข้อมูลเรียบร้อยแล้วเคลียร์บิตแฟลก
dat = SBUF; TI = 0;         //  นำข้อมูลไปเก็บไว้ที่
```

(ข) บิต TI เป็นบิตตรวจสอบการส่งข้อมูลเข้าของพอร์ตอนุกรมถ้า TI = "1" หมายความว่าส่งข้อมูล 1 ไบต์ออกทางพอร์ตอนุกรมเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นทำการเคลียร์บิตแฟลก TI ด้วยคำสั่ง TI = 0; เพื่อเตรียมความพร้อมในการส่งข้อมูลไบต์ต่อไป โดยในการส่งข้อมูลออกนั้นจะต้องเขียนข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ SBUF ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
Unsigned char dat;      // ใช้ตัวแปร dat เก็บข้อมูลที่ต้องการส่งออกทางพอร์ตอนุกรม
.....
dat = SBUF;             //นำข้อมูลที่อยู่ใน dat ส่งออกไปทางพอร์ตอนุกรม
While  (~TI);           // รอส่งข้อมูลเสร็จด้วยการตรวจสอบบิต TI = 1 ทำให้
                        เงื่อนไข while เป็นเท็จ
TI = 0;                 // เคลียร์บิตแฟลก TI เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการส่งข้อมูล
                        ไบต์ต่อไป
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 เขียนโปรแกรมโดยใช้อินเตอร์รัปต์

พอร์ตอนุกรมสามารถสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ โดยมีตำแหน่งอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ในลำดับ 4 (interrupt 4) แต่มีข้อยุ่งยากเล็กน้อยตรงที่ การเกิดอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตอนุกรมอาจเกิดจากเซตบิตแฟลก RI เมื่อมีการรับข้อมูล หรือ จากบิต TI เมื่อส่งข้อมูล 1 ไบต์เสร็จสิ้นก็ได้ ซึ่งบิตแฟลกทั้ง 2 ตัวนี้จะทำหน้าที่เป็นแฟลกของการอินเตอร์รัปต์ด้วย เมื่อมีการเซตก็จะทำให้ซีพียูกระโดดเข้าไปทำงานในฟังก์ชั่นบริการอินเตอร์รัปต์ในลำดับ 4 ทันที ในส่วนของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์นั้นจะต้องมีการตรวจสอบบิตแฟลกทั้ง 2 ตัวว่า อินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นจากการเซตของบิตแฟลกตัวใด จากนั้นทำการเคลียร์บิตแฟลกตัวนั้น เพื่อให้เตรียมพร้อมรับหรือส่งข้อมูลในครั้งต่อไป

2.6.2.3 เขียนโปรแกรมโดยใช้ฟังก์ชั่นพิเศษที่มีอยู่ในไลบรารี stdio.h

ความสะดวกของ C คอมไพเลอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51เกือบทุกตัวไม่ว่าจะเป็น Resonance, Keil หรือ Read51 มักจะมีให้คือ ฟังก์ชั่นสำหรับการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมที่ใช้งานได้สะดวกมาให้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะอยู่ในไลบรารีที่ชื่อ stdio.h เมื่อต้องการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมโดยใช้ฟังก์ชั่นพิเศษดังกล่าวจะต้องมีการประกาศเพิ่มเติมด้วยไดเร็กตีฟ includeดังนี้

```
#include< stdio.h>
```

เมื่อเรียกใช้จะมีการตั้งค่าสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมและเปิดใช้งานให้เรียบร้อยเพียงเซตบิต TIด้วยคำสั่ง TI = 1; เพื่อให้ทำงานกับฟังก์ชั่นรับส่งข้อมูลตลอดเวลา นอกจากนั้นยังมีฟังก์ชั่นอื่นที่สามารถเรียกใช้งานร่วมด้วยได้อีกหลายตัว ได้แก่

(ก) ฟังก์ชั่น printf

ใช้ส่งข้อมูลในรูปแบบข้อความและค่าคงที่ออกไปยังพอร์ตอนุกรม โดยข้อมูลที่ส่งนั้นจะได้รับการแปลงเป็นรหัสแอสกี้ ถ้าหากเปิดโปรแกรมประเภทเทอร์มินอล ที่สามารถตรวจจับการรับส่งข้อมูลได้ อาทิ Hyper Terminal ก็จะทำให้มีข้อความที่ส่งไปปรากฏที่โปรแกรมเทอร์มินอลนั้นๆ อาทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
printf ("1");                    // แปลงตัวเลข 1 เป็นรหัสแอสกี้ คือ 0x31 แล้ว
                                 ส่งไปที่พอร์ตอนุกรม
printf ("hello world"            // แปลงข้อความ hello world เป็นรหัสแอสกี้แล้ว
                                 ส่งไปที่พอร์ตอนุกรม
```

นอกจากนี้ยังมีรหัสบังคับที่มีการร่วมใช้งานบ่อยๆ ดังนี้

รหัสบังคับ	การทำงาน
\n	ขึ้นบรรทัดใหม่
%c	อ่านตัวอักษร
%d	อ่านเลขจำนวนเต็มฐานสิบ
%f	อ่านเลขจำนวนจริง
%0	อ่านเลขจำนวนเต็มฐานแปด
%x	อ่านเลขจำนวนเต็มฐานสิบหก

(ข) ฟังก์ชั่น _getkey

เป็นฟังก์ชั่นรอรับค่าอินพุตจากการกดคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลนั้นเป็นรหัสแอสกี้ค่าของคีย์ที่กดเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม โดยฟังก์ชั่นนี้คืนค่าผลลัพธ์เป็นรหัสแอสกี้ตรงกับค่าคีย์ที่กด

เช่น

```
unsigned char key;      //ใช้ตัวแปล key เป็นตัวรับข้อมูลที่เข้ามาทางพอร์ต
                        อนุกรม
.....
.....
dat = _getkey ();       // รอการกดคีย์ใดๆ แล้วนำค่ารหัสแอสกี้ของคีย์นั้น
                        ไปเก็บในตัวแปร dat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ฟังก์ชั่น getchar

เป็นฟังก์ชั่นรอรับค่าอินพุตจากการกดคีย์บอร์ด โดยข้อมูลนั้นเป็นรหัสแอสกี้ค่าของคีย์ที่กดเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม และมีการส่งค่ารหัสแอสกี้นี้กลับคืนมาอีกครั้งหนึ่ง ฟังก์ชั่นนี้คืนค่าผลลัพธ์เป็นรหัสแอสกี้ซึ่งตรงกับค่าคีย์ที่กด นั่นหมายความว่าหากมีการเรียกใช้คำสั่งนี้ในโปรแกรมแล้วขณะที่โปรแกรมทำงานร่วมกับโปรแกรมเทอร์มินอล ทุกครั้งที่มีการกดคีย์ หมายเลขคีย์ที่กดนั้นจะถูกนำมาแสดงที่หน้าต่างของโปรแกรมเทอร์มินอลนั้นๆด้วย ซึ่งต่างจากคำสั่ง _getkey จะไม่มีการแสดงผลในส่วนนี้ การเรียกใช้เป็นดังนี้

```
unsigned char key;              // ใช้ตัวแปล key เป็นตัวรับข้อมูลที่เข้ามาทางพอร์ต
                                   อนุกรม
.....
.....
dat = getchar ();               // รอการกดคีย์ใดๆ แล้วนำค่ารหัสแอสกี้ของคีย์นั้น
                                   ไปเก็บ
                                // ในตัวแปร  dat  พร้อมกับส่งค่าแอสกี้ของคีย์กลับ
                                   ออกมาทางพอร์ต
                                // อนุกรมอีกครั้งหนึ่ง
```

ดังนั้น รูปแบบการใช้งานสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมจริงๆ สามารถเขียนโปรแกรมได้ตามตัวอย่างต่อไปนี้

```
#include<REGLV51RD2.h>
#include<stdio.h>       ← ส่วนเพิ่มเติมเพื่อเรียกใช้ฟังก์ชั่นพิเศษสำหรับรับส่งข้อมูล
                             กับพอร์ต  อนุกรม
void main (void)
{
unsigned char key;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TCON = 0x21;          // ตั้งโหมดของไทเมอร์ 1 เป็น โหมด 2 สำหรับใช้กับพอร์ตอนุกรม
SCON = 0x50;          // ตั้งโหมดพอร์ตอนุกรมให้สามารถทั้งรับและส่งข้อมูลได้
TH1 = 0xFA;           // กำหนดค่าให้แก่ TH1 และ TL1 เพื่อเลือกอัตราเป็น 9600 บิตต่อวินาที
TL1 = 0xFA;
TI  =  1;             // เอ็นเอเบิลการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบทำงานตลอดเวลา
TRI = 1;              // เริ่มการสื่อสารข้อมูล
.....
printf ("..........");        // กำหนดข้อความที่ต้องการส่ง
.....
key = _getkey ();             // รับค่าการกดคีย์
.....
key = _getchar ();            // รับค่าการกดคีย์แบบการส่งค่ากลับ
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

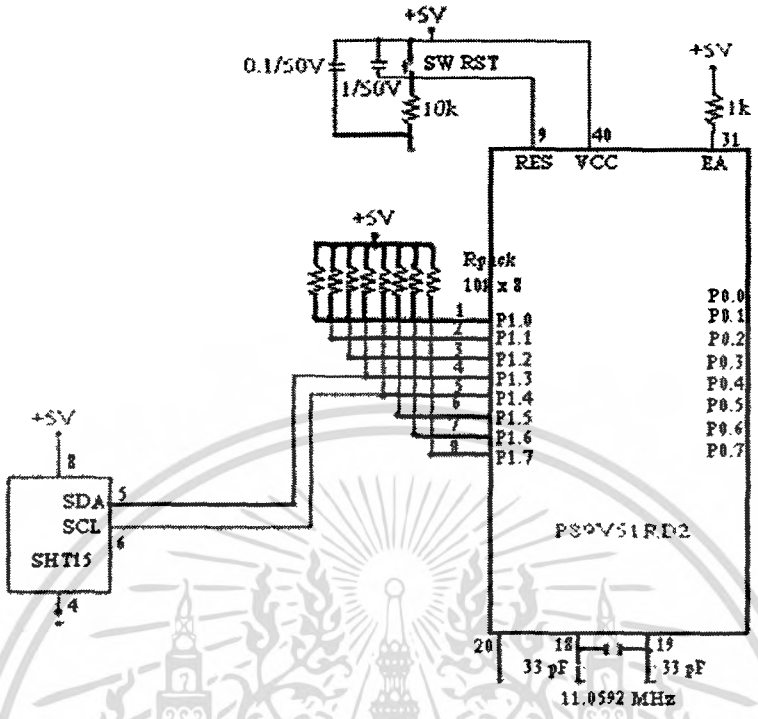
บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ของวงจรส่วนต่างๆของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.1.1 ส่วนวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น SHT15

การสร้างวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้นได้เลือกใช้เซนเซอร์เบอร์ SHT15 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นภายในตัวถังเดียวกันให้ปริมาณเอาต์พุตที่ทำการตรวจวัดเป็นสัญญาณดิจิตอล มีขนาดเล็กและกินพลังงานต่ำ ในวงจรทำการอินเตอร์เฟสขาข้อมูล (SDA) ของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) เข้าที่ CEX1 (P1.4: ขา 5) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ซึ่งเป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 1 เพื่อเป็นขารับข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ส่งสัญญาณการตรวจจับค่าอุณหภูมิและความชื้นและขาสัญญาณนาฬิกา (SCL) ของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) เข้าที่ CEX1 (P1.5 : ขา6) ซึ่งเป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 2 ใช้สำหรับรับสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะ ในการสื่อสารข้อมูล เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ได้รับสัญญาณทางขาข้อมูล (DATA) ของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ก็จะทำการประมวลผลและแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นออกมาในส่วนของภาคแสดงผลซึ่งในการทำโครงงานนี้ได้ทำการแสดงผลสองแบบ คือ ทางบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ (7-Segment) และทางพอร์ตอนุกรมโดยใช้โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) ในการแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ในลักษณะกราฟต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

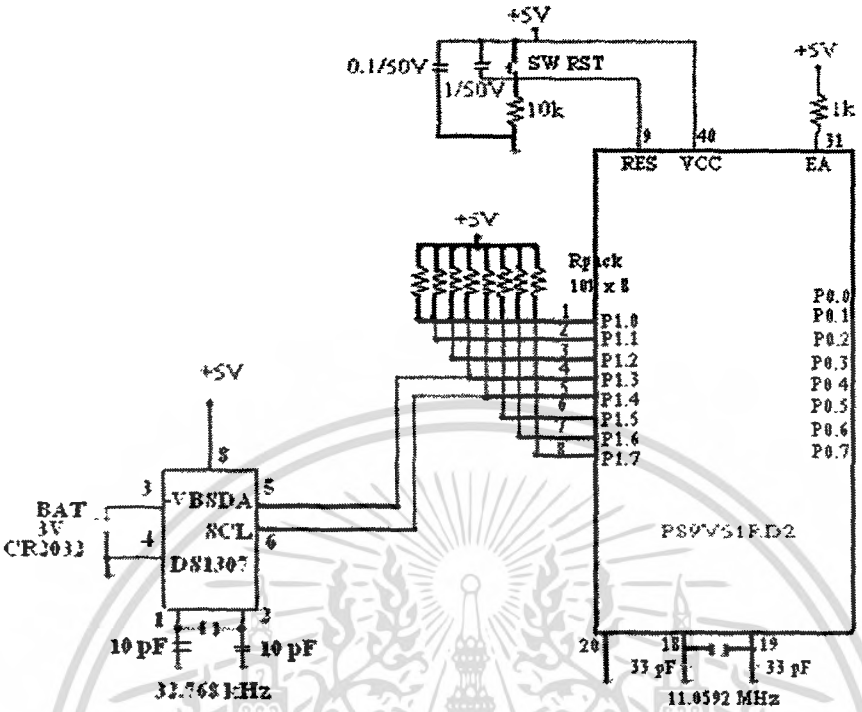


รูปที่ 3.1 การต่อเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) กับไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.2 วงจรสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงด้วยไอซี DS1307

ในการสร้างฐานนาฬิกาเวลาจริงหรือที่เรียกว่า รีลไทม์คล็อก (RTC) เลือกใช้ไอซี DS1307 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ผ่านระบบ I^2C ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยว กับเวลาทั้งหมดโดยจัดเก็บข้อมูลในแบบรหัสเลขฐานสิบหรือสิบสอง(BCD: Bi nary Code D ecimal) เมื่อเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 กับไอซีสร้างฐานนาฬิกาเวลาจริง (DS1307) แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลและแสดงข้อมูลที่เกี่ยวกับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรมในภาคแสดงต่อไปในโครงงานนี้กำหนดให้แสดงในส่วนของ วัน: เดือน: ปี และเวลา (ชั่วโมง: นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

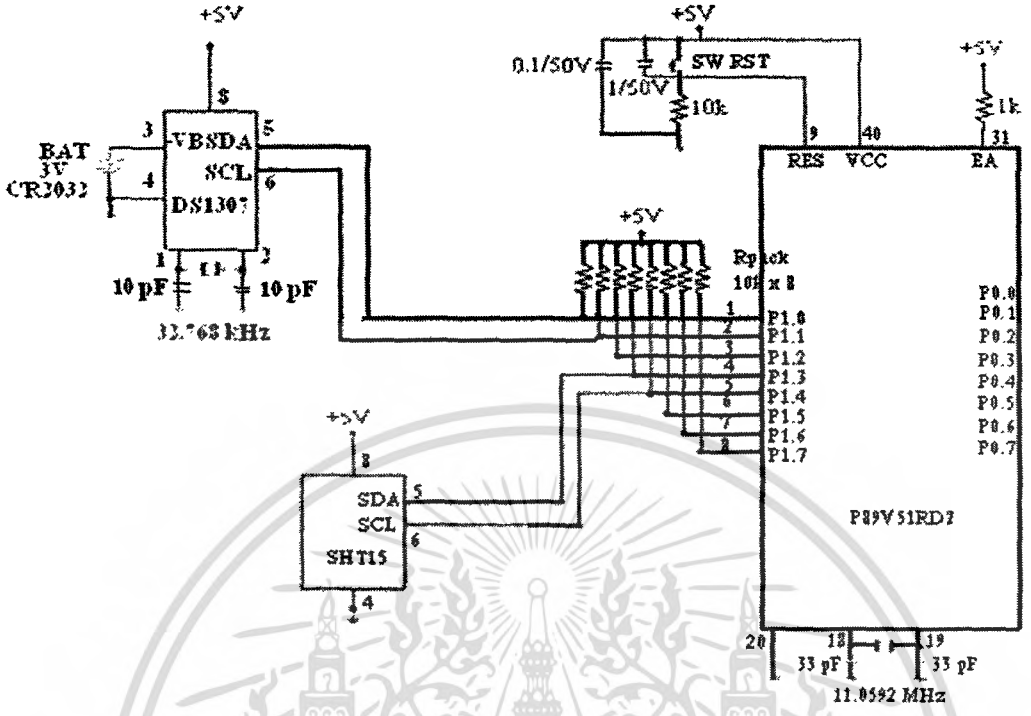


รูปที่ 3.2 การต่อไอซีสร้างฐานนาฬิกาเวลาจริง (DS1307)กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2)

3.1.3 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นพร้อมแสดงวันเวลา

ใช้เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) และไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) มาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณข้อมูลจากเซนเซอร์ (SHT15) ขณะนั้นก็ทำการส่งสัญญาณนาฬิกากำหนดจังหวะในการสื่อสารให้กับตัวเซนเซอร์ (SHT15) และมีการเขียนโปรแกรมติดต่อกับไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกา (DS1307) หลังจากนั้นทำการประมวลผลและแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นพร้อมวันเวลาออกมาในส่วนภาคแสดงผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



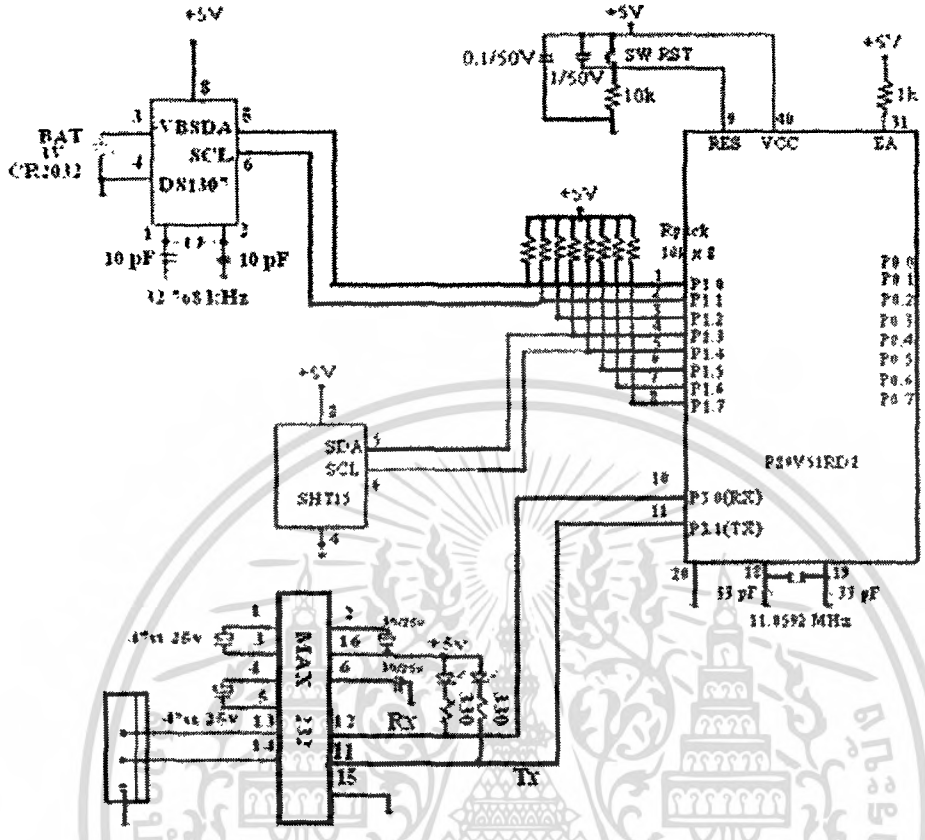
รูปที่ 3.3 การต่อเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) กับ ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (DS1307) เชื่อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2)

3.1.4 วงจรแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น และวันเวลา มี 2 รูปแบบ คือ

3.1.4.1 วงจรแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมกับเครื่องคอมพิวเตอร์

ใช้ไอซี MAX232 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 กับคอมพิวเตอร์เป็นการส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตอนุกรมแสดงผลที่หน้าต่างของโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) การเชื่อมต่อโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) เลือกรูปแบบ Direct to Com1 พร้อมทั้งกำหนดค่ามาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลเป็น 9600-8-N-1 ตั้งค่าแล้วจะปรากฏหน้าต่างทำงานหลักของโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) พร้อมสำหรับการสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

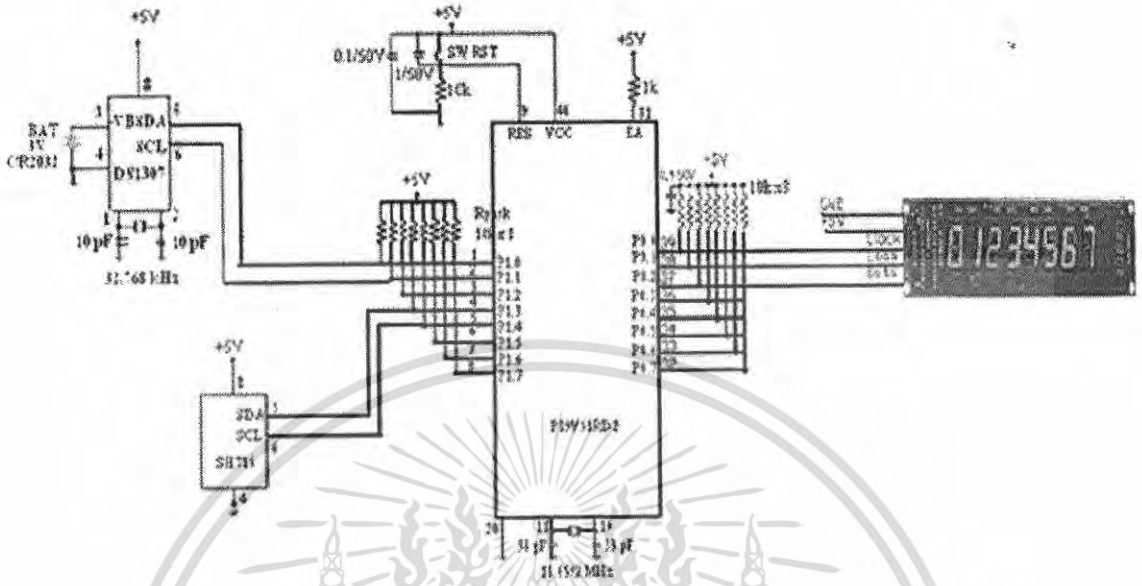


รูปที่ 3.4 การต่อบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นเพื่อแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์

3.1.4.2 วงจรแสดงผลบนบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit)

เลือกใช้ DP-708 คือชุดแสดงผลแบบเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7- Segment 8 Digit) ขนาดความสูง 0.56 นิ้ว กว้าง 0.25 นิ้ว สีแดง แสดงผลเป็นแบบตัวเลข สามารถมองเห็นได้ชัดเจนในระยะประมาณ 2 เมตร ออกแบบติดตั้งได้ง่าย ต่อใช้งานร่วมกับ MAX7219 ซึ่งเป็นชิพเพื่อการ SCAN DISPLAY โดยต่อผ่าน 3 ได้โดยตรง

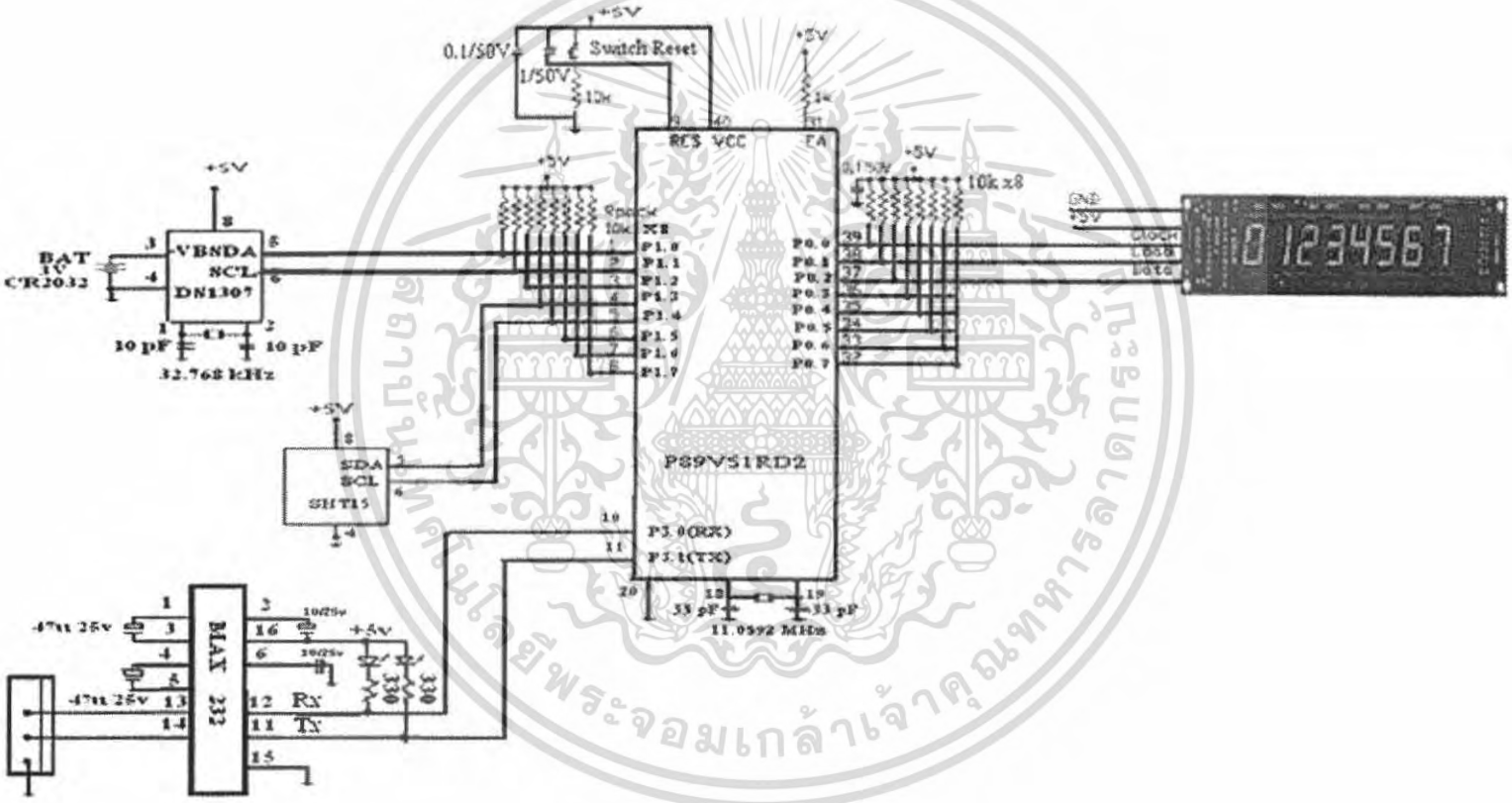
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การต่อบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นกับเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ส่วนของวงจรรวมของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น

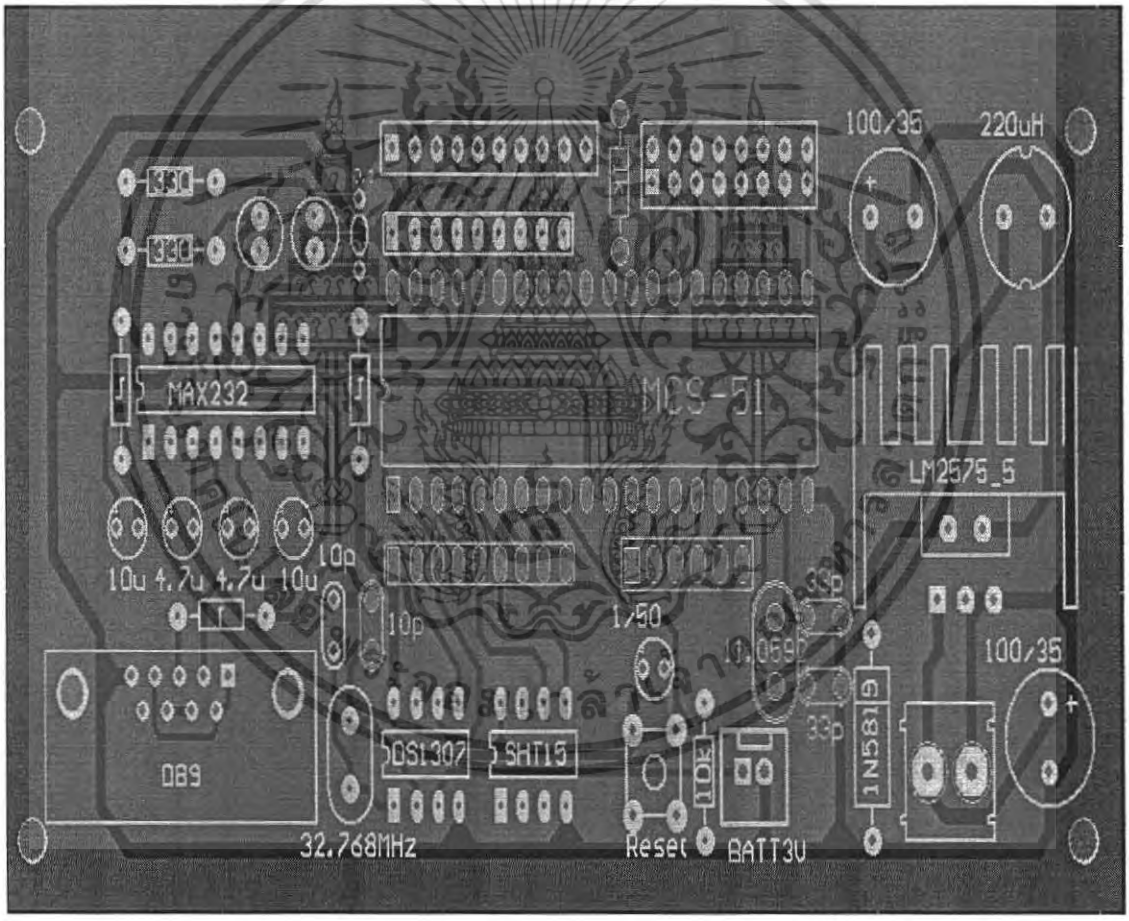


รูปที่ 3.6 วงจรรวมของบอร์ดตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมและบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit)

3.1.6 การออกแบบลายวงจรรวมของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วย PCB

การออกแบบลายวงจรด้วย PCB เป็นวิธีการที่ได้นำมาใช้งานในเชิงอิเล็กทรอนิกส์หลายๆด้าน เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ทำให้วงจรมีเสถียรภาพคงที่ อุปกรณ์แต่ละชิ้นไม่หลุดออกจากแผงวงจร อีกทั้งยังทำให้ดูสวยงามกว่าการเชื่อมไฟทางด้านหลังของแผงวงจร

ขั้นตอนการออกแบบเริ่มจากการออกแบบลายวงจรที่จะนำไปทำ PCB ในโปรแกรม Protel ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับพื้นที่การจัดวางตัวของอุปกรณ์แต่ละชิ้น หลังจากนั้นก็ทำตามขั้นตอนที่มีแนะนำใน PCB-Lab เมื่อได้แผ่น PCB ที่ต้องการแล้วนำมาเจาะเพื่อนำอุปกรณ์มาต่อเข้าต่อไป ลายของวงจรในโครงงานนี้แสดงได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.7 ลายวงจรรวมของบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้น

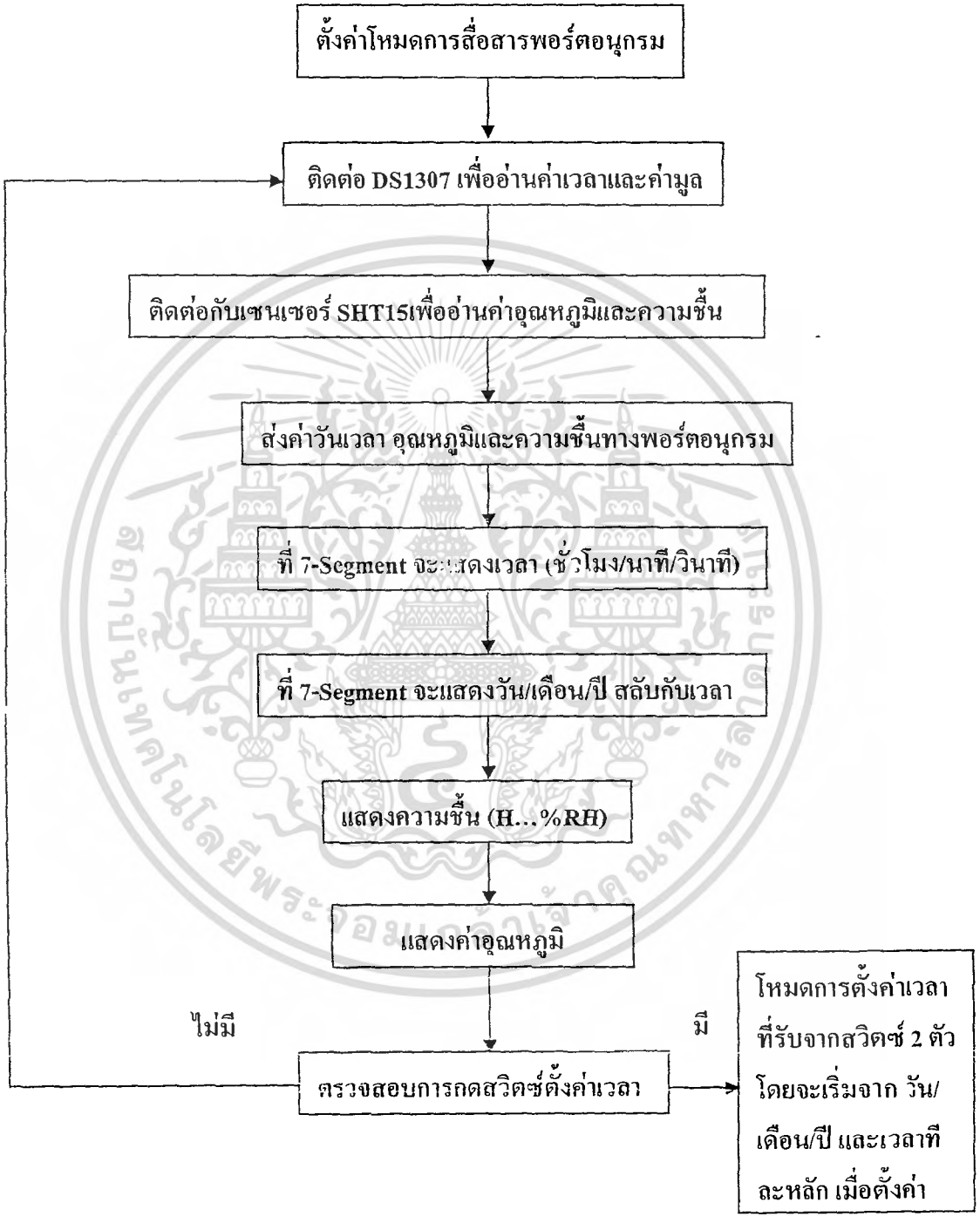
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ของระบบการตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น

หลังจากที่ได้สร้างฮาร์ดแวร์ของโครงงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ยังไม่สามารถนำโครงงานไปใช้งานได้ทันที จำเป็นจะต้องเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ซึ่งในที่นี้ใช้การเขียนด้วยภาษาซีในหน่วยประมวลผลกลาง เพื่อใช้ในการติดต่อควบคุมกับอุปกรณ์ภายนอก คือ เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นเบอร์ SHT15 และรีลไทม์คล็อก (DS1307) พร้อมทั้งกำหนดหน้าที่และลำดับการทำงานของระบบ ซึ่งลำดับการทำงานของโปรแกรมจะแสดงเป็นแผนผังในหัวข้อต่อไป ส่วนในภาคการแสดงผลออกทางเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) ก็เขียนโปรแกรมการสั่งงานไปที่ MAX7219 ซึ่งเป็นชิพเพื่อการ SCAN DISPLAY 8*8 โดยต่อผ่าน 3B PORT ได้โดยตรง การเขียนโปรแกรมควบคุมสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมตัวอย่าง XDP708B.ASM หรือ XDP708B.C จากเวปไซต์ www.silaresearch.com และในส่วนการแสดงผลอีกแบบคือทางพอร์ตอนุกรมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่แล้วส่วนกรใช้งานได้อธิบายขั้นตอนการใช้งานอย่างละเอียดในบทที่ 4 แล้ว ในการแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นจะมีทั้งในลักษณะข้อมูลทางบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) และแสดงในลักษณะเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและความชื้นในช่วงเวลาเดียวกันให้เห็นถึงความแตกต่างโดยใช้การเขียน Visual Basic ทำการแคชเชอร์ข้อมูลที่แสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เปลี่ยนเป็นข้อมูลในลักษณะกราฟเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นพร้อมแสดงวันเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ทดลองวัดค่าอุณหภูมิจากตัววัดทั้งสาม ส่วนตอนที่ 2 ทดลองวัดค่าความชื้นจากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT 15) ในการทดลองได้สร้างกล่องทดลองโดยมีการต่อท่อออกมาเพื่อให้เป็นทางไหลเข้าของน้ำร้อน ที่ด้านล่างของกล่องเจาะรูเพื่อเป็นทางไหลออกของน้ำซึ่งจะเป็นผลทำให้อุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นและส่วนด้านบนของกล่องเจาะรูเพื่อให้เทอร์โมมิเตอร์วัดค่าอุณหภูมิ ส่วนเทอร์โมคัปเปิ้ลใช้โพรบหนีบที่ปากท่อ ในส่วนของเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นยึดไว้ที่ตำแหน่งเดียวกันกับโพรบเทอร์โมคัปเปิ้ล หลังจากเทน้ำปริมาณสูง 2 เซนติเมตรจากพื้นกล่องเข้าที่ท่อแล้วนำกระดาษทิชชูอุดที่ปากท่อ ขณะนั้นน้ำก็จะไหลออกที่รูอีกด้านของกล่อง ทำการสังเกตและบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้งสาม โดยค่าความชื้นจะวัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นเพียงอย่างเดียว เนื่องจากผู้จัดทำไม่สามารถหาเครื่องมือวัดอ้างอิงค่าความชื้นได้ ทำการสังเกตและบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นโดยแบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลาดังตาราง

4.2 ผลการทดลองตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น

ตอนที่ 1 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท เทอร์โมคัปเปิ้ล และเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

ระยะเวลาที่ทำการบันทึก (ครั้ง/วินาที)	ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส		
	เทอร์โมมิเตอร์(ปรอท)	เทอร์โมคัปเปิ้ล	เซนเซอร์ (SHT15)
30 วินาที	58.5	61.4	62.0
	57.0	59.7	60.6
	56.0	58.9	59.4
	54.0	56.4	57.1
	53.1	55.8	56.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท เทอร์โมคัปเปิ้ล และเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

ระยะเวลาที่ทำการบันทึก (ครั้ง/วินาที)	ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส		
	เทอร์โมมิเตอร์(ปรอท)	เทอร์โมคัปเปิ้ล	เซนเซอร์ (SHT15)
	52.0	54.5	55.6
	51.0	53.2	54.0
	48.5	50.9	51.7
	46.0	47.7	48.5
	43.5	45.6	46.9
60 วินาที	41.0	42.7	43.5
	39.5	41.6	42.2
	38.5	40.3	41.2
	37.5	39.2	40.3
90 วินาที	36.5	38.1	39.0
	35.0	37.0	38.6
	34.0	35.7	36.8
120 วินาที	33.0	35.0	36.0
	32.0	34.2	35.5
	31.5	33.3	34.4
180 วินาที	31.0	32.6	33.6
	30.0	32.2	33.1
	29.0	30.9	31.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ตารางบันทึกค่าความชื้น

เป็นการทดลองเพื่อวัดความเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นที่อยู่ใต้สภาวะที่เปลี่ยนไปจากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT 15)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

ระยะเวลาที่ทำการบันทึก (ครั้ง/วินาที)	ค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ SHT15
30 วินาที	91.9
	92.4
	93.4
	93.6
	94.5
	95.5
60 วินาที	94.2
	93.2
	87.3
	82.5
	79.2
90 วินาที	78.5
	75.6
	73.9
	70.9
	68.4
120 วินาที	65.3
	64.2
	62.3
	60.8
	59.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

ระยะเวลาที่ทำการบันทึก (ครั้ง/วินาที)	ค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ SHT15
180 วินาที	58.3
	56.6
	54.0
	53.8
	51.8

4.3 การแสดงผลการตรวจจับค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

4.3.1 การแสดงผลทางบอร์ดเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit)

รูปที่ 4.1 ผลค่าอุณหภูมิหน่วยองศาเซลเซียส

รูปที่ 4.2 ผลค่าความชื้นเป็น % RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ผลเวลาเป็น ชั่วโมง นาที และวินาที

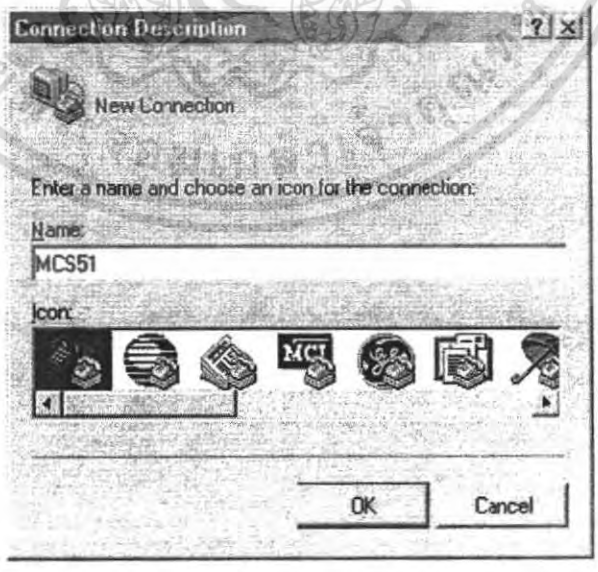
4.3.2 การแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal)

การใช้งานโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal)

ขั้นตอนที่ 1 เปิดโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) โดยคลิก Start

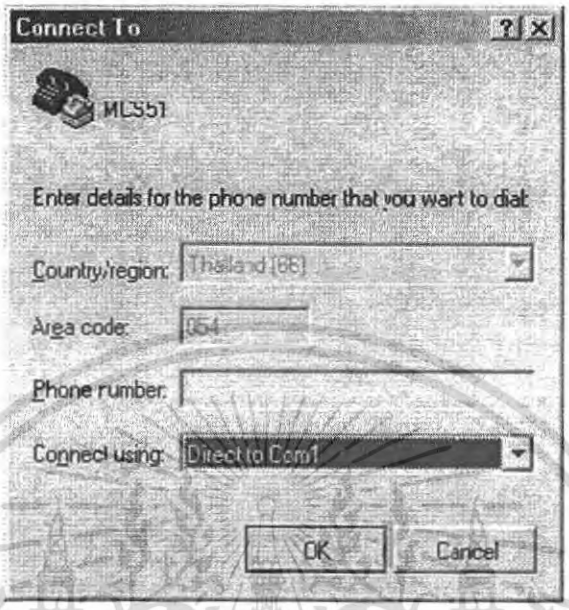
ขั้นตอนที่ 2 เลือก Programs >> Accessories >> Communications >> Hyper Terminal

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งชื่อเพื่อใช้ในการติดต่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 เลือกพอร์ตที่ใช้ในการติดต่อ



ขั้นตอนที่ 5 เลือกอัตราการรับส่งข้อมูลจำนวนบิตต่อวินาที (Baud rat) ให้เลือก 9600 บิตต่อวินาทีดังรูป

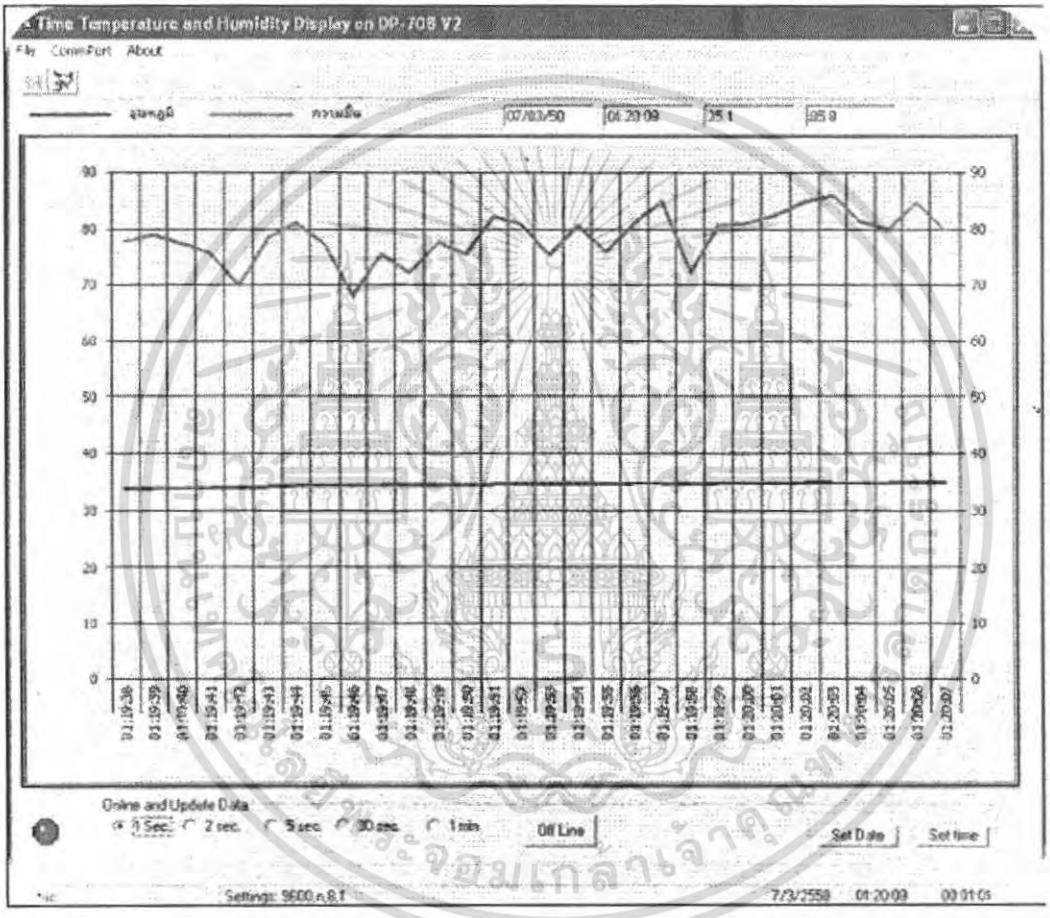
ขั้นตอนที่ 6 แสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

Date 05/02/07 Time 16:59:55 Temp. 34.4 C Humidity 38.8%RH
Date 05/02/07 Time 16:59:56 Temp. 34.2 C Humidity 38.8%RH
Date 05/02/07 Time 16:59:57 Temp. 34.2 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 16:59:58 Temp. 34.2 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 16:59:59 Temp. 34.2 C Humidity 38.6%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:00 Temp. 34.2 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:01 Temp. 34.2 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:02 Temp. 34.3 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:03 Temp. 34.2 C Humidity 38.6%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:04 Temp. 34.2 C Humidity 38.6%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:05 Temp. 34.2 C Humidity 38.5%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:06 Temp. 34.2 C Humidity 38.5%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:07 Temp. 34.3 C Humidity 38.6%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:08 Temp. 34.2 C Humidity 38.5%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:09 Temp. 34.3 C Humidity 38.5%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:10 Temp. 34.3 C Humidity 38.5%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:11 Temp. 34.3 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:12 Temp. 34.3 C Humidity 38.7%RH
Date 05/02/07 Time 17:00:13 Temp. 34.3 C Humidity 38.7%RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การใช้งานโปรแกรมเพื่อแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นเป็นเส้นกราฟ

ในการเขียนโปรแกรมแสดงผลนี้ใช้ Visual Basic ในการแคลชเชอร์ข้อมูลที่แสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลขเปลี่ยนมาเป็นการแสดงผลในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นในลักษณะเส้นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิและความชื้นในช่วงเวลาเดียวกันแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน แสดงดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.4 กราฟค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องทดลอง พบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องในช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะค่อยๆลดลง ส่วนค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซ้อร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ในช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับหนึ่งและค่าความชื้นจะคงที่จากนั้นจึงจะค่อยๆลดลง โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท เทอร์โมคัปเปิ้ล และจากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันและค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ±3% เมื่อเทียบกับตัววัดอ้างอิงทั้งสองซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า โดยรวมเครื่องวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสามารถทำงานได้ตามความต้องการที่ออกแบบไว้ แต่ในบางส่วนของการทำงานยังมีข้อที่ควรปรับปรุง คือ ในส่วนของจอแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) มีการแสดงข้อมูลทีละส่วนซึ่งมีข้อมูลทั้งหมดถึง 4 ส่วน โดยจะต้องรอให้แสดงผลจนครบหนึ่งรอบจึงจะมีการแสดงข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งถ้าต้องการแสดงข้อมูลพร้อมกันจะต้องเพิ่มจำนวนบิตของเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) ให้เพียงพอกับข้อมูลที่ต้องการแสดงผล

ในส่วนของการทดลองการวัดค่าความชื้นไม่สามารถหาเครื่องวัดอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าความชื้นกับเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ที่สร้างขึ้นได้จึงทำให้ไม่สามารถรู้ค่าความผิดพลาดของค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน

ได้นำความรู้ที่เรียนมาใช้ประโยชน์ในทางทฤษฎีและปฏิบัติ ได้ความรู้ใหม่ๆเพิ่มมากขึ้น เช่น การใช้งานเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) บอร์ดแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ 8 ดิจิต (7-Segment 8 Digit) การต่อวงจรในภาคต่างๆ การแสดงผลทางพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ และได้ฝึกการแก้ปัญหาที่เกิดจากการทำงานและปัญหาที่เกิดจากปัจจัยภายนอกทำให้ได้ฝึกการวางแผนอย่างเป็นระบบ วิธีแก้ปัญหาที่ดีขึ้น

5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงงาน

ในการเขียนโปรแกรมภาษาซีควบคุมการทำงานของระบบผู้จัดทำยังมีความรู้ไม่มากพอจึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดหลายอย่างและใช้เวลานานในการแก้ไขทำให้โครงงานเกิดความล่าช้า และในด้านการทดลองไม่สามารถหาเครื่องวัดความชื้นมาใช้อ้างอิงกับเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ได้จึงทำให้มีผลการทดลองที่ไม่สมบูรณ์คือไม่สามารถคำนวณความผิดพลาดจากเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) ที่สร้างขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. อุดม จีนประดับ, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 256 หน้า, 2541

2. นคร ภักดีชาติ และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "ทดลองและการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยโปรแกรมภาษาซี ฉบับ P89V51RD2", กรุงเทพฯ 284 หน้า, 2521: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

3. www.silareseach.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
คู่มือไอซี (Datasheet)

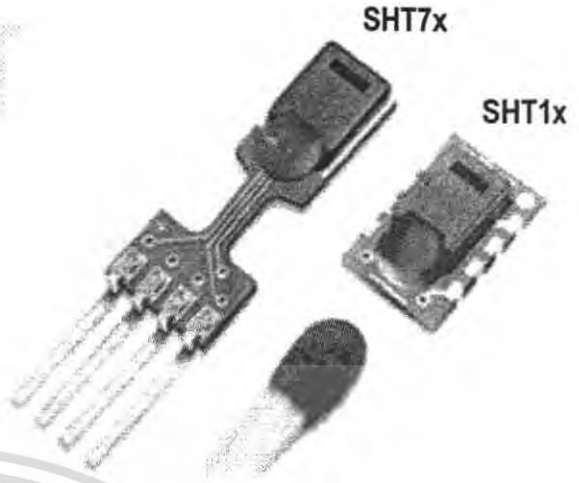
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

SHT1x / SHT7x

Humidity & Temperature Sensor

Evaluation Kit Available



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

SHT1x / SHT7x Product Summary

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price. Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors.

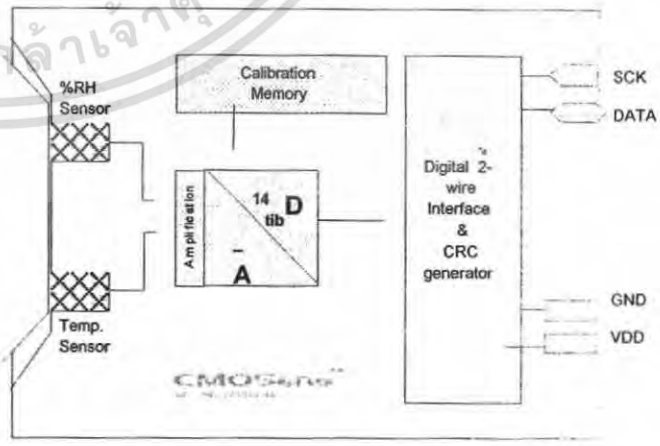
The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.

The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

Applications

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

Block Diagram



Ordering Information

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Sensor Performance Specifications

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

Table 1 Sensor Performance Specifications

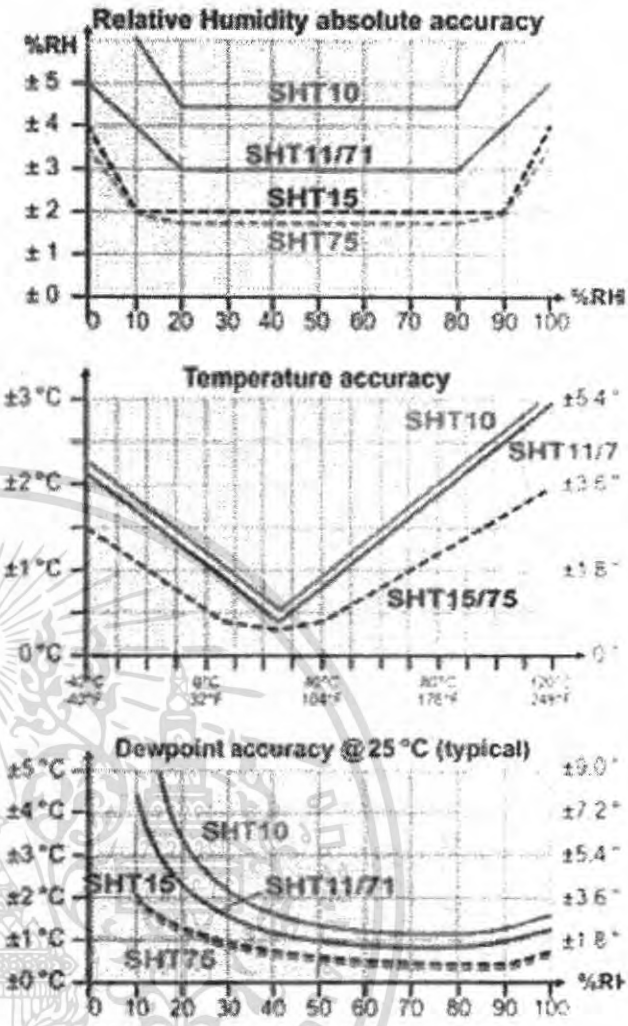


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2 Interface Specifications

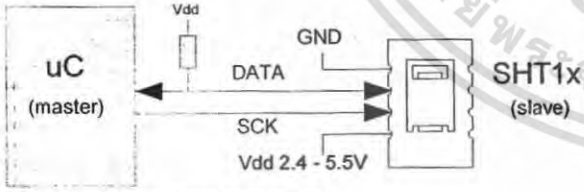


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

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

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with I^2C interfaces, see FAQ for details.

2.2.1 *Serial clock input (SCK)*

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

2.2.2 *Serial data (DATA)*

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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

2.2.3 Sending a command

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

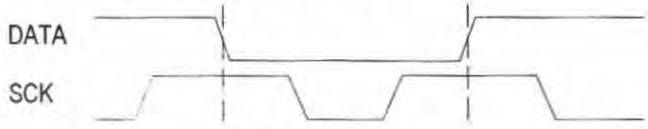


Figure 3 "Transmission Start" sequence

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

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

Table 2 SHTxx list of commands

2.2.4 Measurement sequence (RH and T)

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210 ms for a 8/12/14bit measurement. The exact time varies by up to ±15% with the speed of the internal oscillator. To signal the completion of a measurement, the SHTxx pulls down the data line and enters idle mode. The controller **must** wait for this "data ready" signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout as convenient.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum will then be transmitted. The uC must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified. (e.g. the 5_{th} SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used). Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ack high.
The device automatically returns to sleep mode after the measurement and communication have ended.

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

2.2.5 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset its serial interface:
While leaving DATA high, toggle SCK 9 or more times. This must be followed by a "Transmission Start" sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

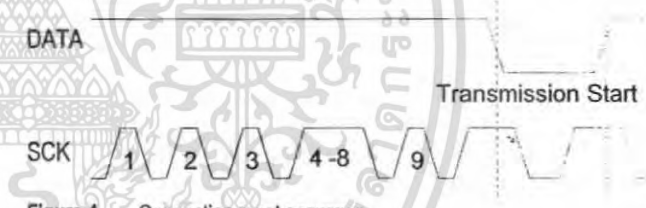


Figure 4 Connection reset sequence

2.2.6 CRC-8 Checksum calculation

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

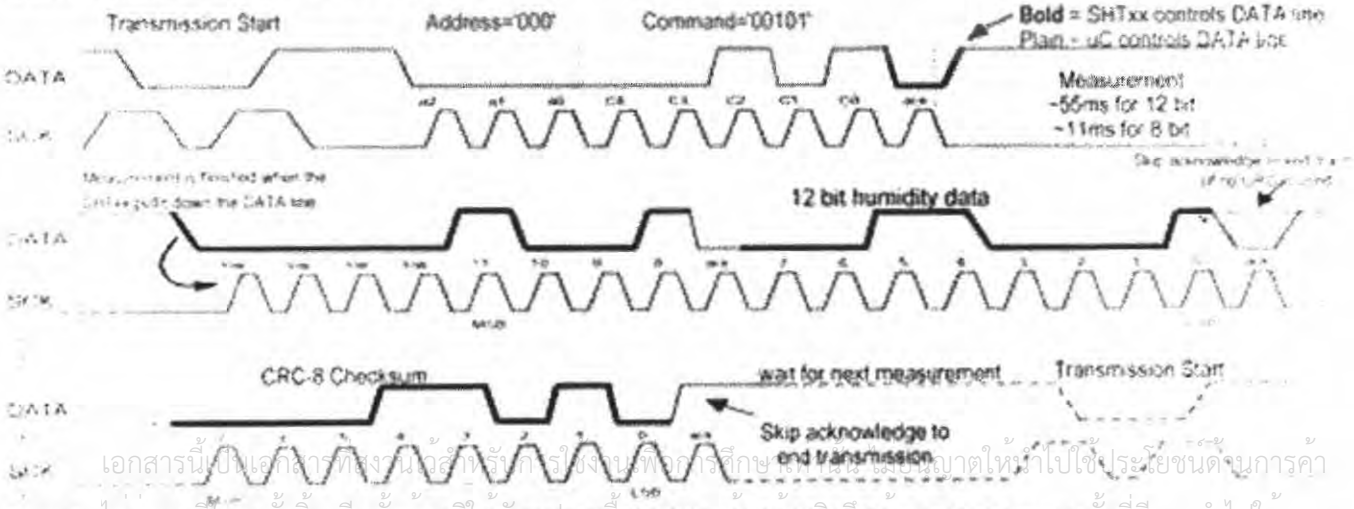


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001 ' 0011'0001"= 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารฉบับนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

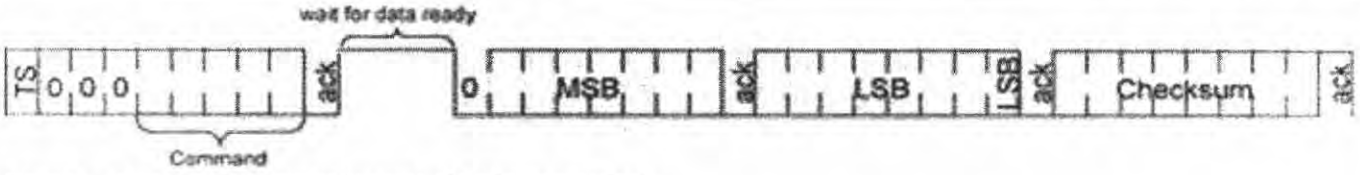


Figure 6 Overview of Measurement Sequence (TS = Transmission Start)

2.3 Status Register

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

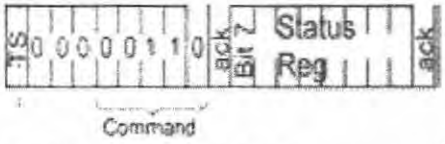


Figure 7 Status Register Write

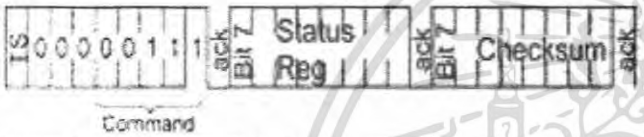


Figure 8 Status Register Read

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

Table 3 Status Register Bits

2.3.1 Measurement resolution

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

2.3.2 End of Battery

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

2.3.3 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by 5-15 °C (9-27 °F). Power consumption will increase by ~8 mA @ 5 V.

Applications:

By comparing temperature and humidity values before and after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.

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

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

2.4 Electrical Characteristics (1)

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

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		µA
	average	2(2)	28(3)		µA
	sleep		0.3	1	µA
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		100%	Vdd
Low level input voltage	Negative going	0		20%	Vdd
High level input voltage	Positive going	80%		100%	Vdd
Input current on pads				1	µA
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		µA

Table 4 SHTxx DC Characteristics

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

Table 5 SHTxx I/O Signals Characteristics

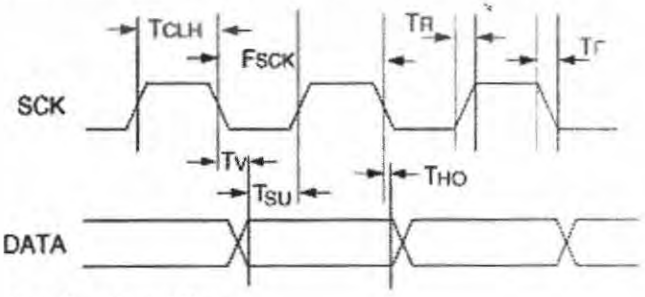


Figure 9 Timing Diagram

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Converting Output to Physical Values

3.1 Relative Humidity

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

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

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

Table 6 Humidity conversion coefficients

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

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

The humidity sensor has no significant voltage dependency.

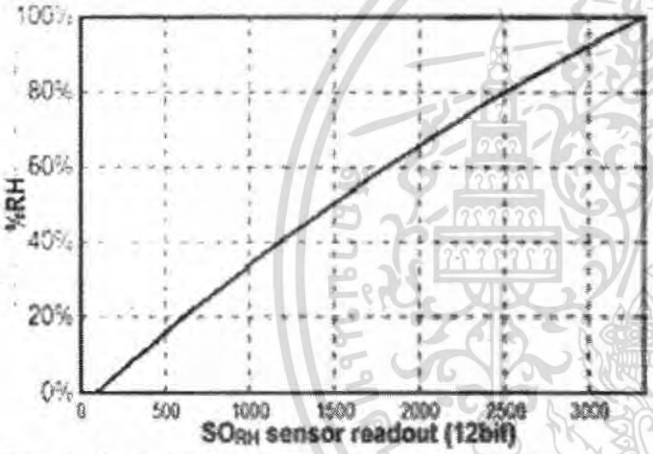


Figure 10 Conversion from SO_{RH} to relative humidity

3.1.1 Humidity Sensor RH/Temperature compensation

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

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

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

Table 7 Temperature compensation coefficients

This equals ~0.12 %RH / °C @ 50 %RH

3.2 Temperature

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

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

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

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

Table 8 Temperature conversion coefficients

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

3.3 Dewpoint

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

4 Applications Information

4.1 Operating and Storage Conditions

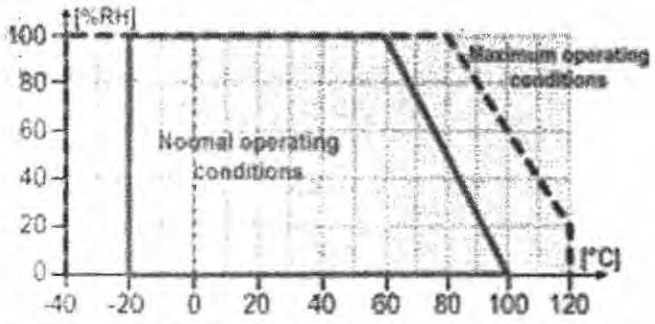


Figure 11 Recommended operating conditions

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

4.2 Exposure to Chemicals

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

4.3 Reconditioning Procedure

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

4.4 Temperature Effects

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

4.5 Membranes

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

4.6 Light

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

4.7 Materials Used for Sealing / Mounting

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

4.8 Wiring Considerations and Signal Integrity

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

4.9 Qualifications

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

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

Table 9 Qualification tests (excerpt)

4.10 ESD (Electrostatic Discharge)

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

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

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Package Information

5.1 SHT1x (surface mountable)

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

Table 10 SHT1x Pin Description

5.1.1 Package type

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

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

5.1.2 Delivery Conditions

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

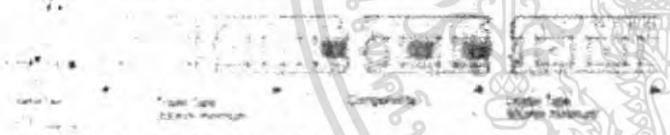


Figure 12 Tape configuration and unit orientation

5.1.3 Soldering Information

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

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

5.1.4 Mounting Examples

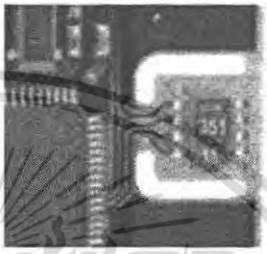


Figure 13 SHT1x PCB Mounting example

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

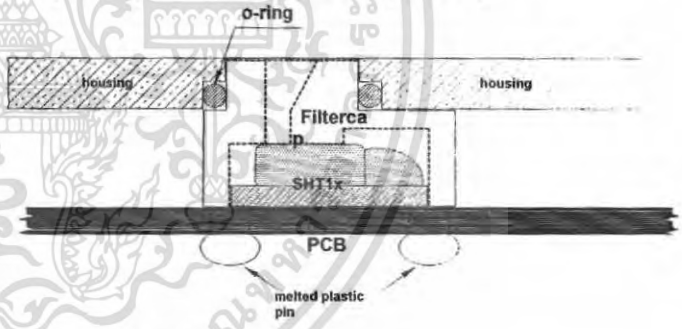


Figure 14 SF1 IP67 filter cap mounting example

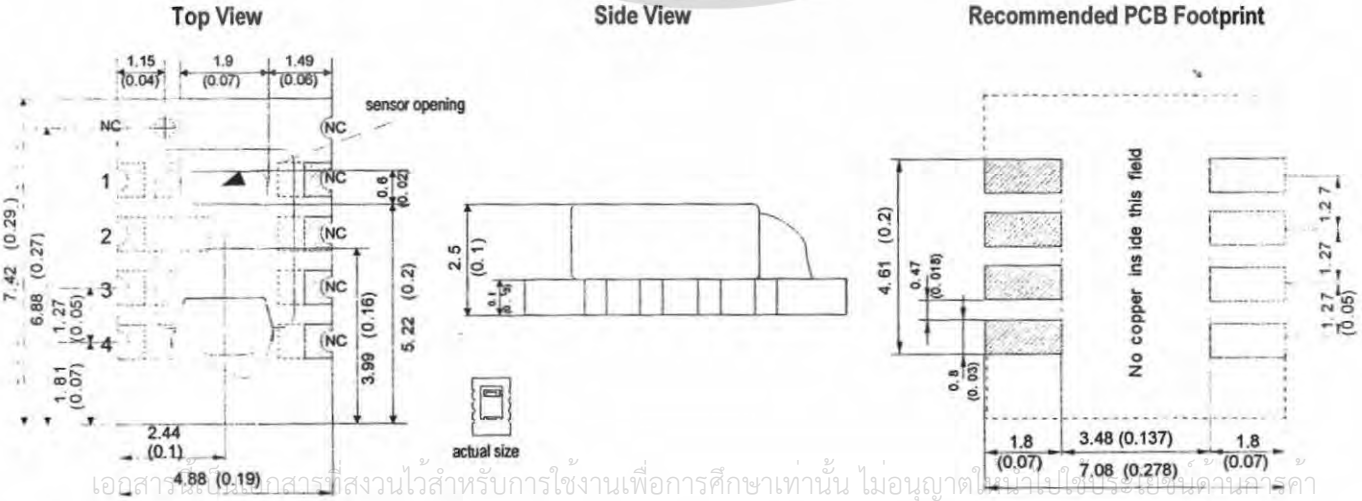


Figure 15 SHT1x drawing and footprint dimensions in mm (inch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Table 11 SHT7x Pin Description

5.2.1 Package type[1]

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

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

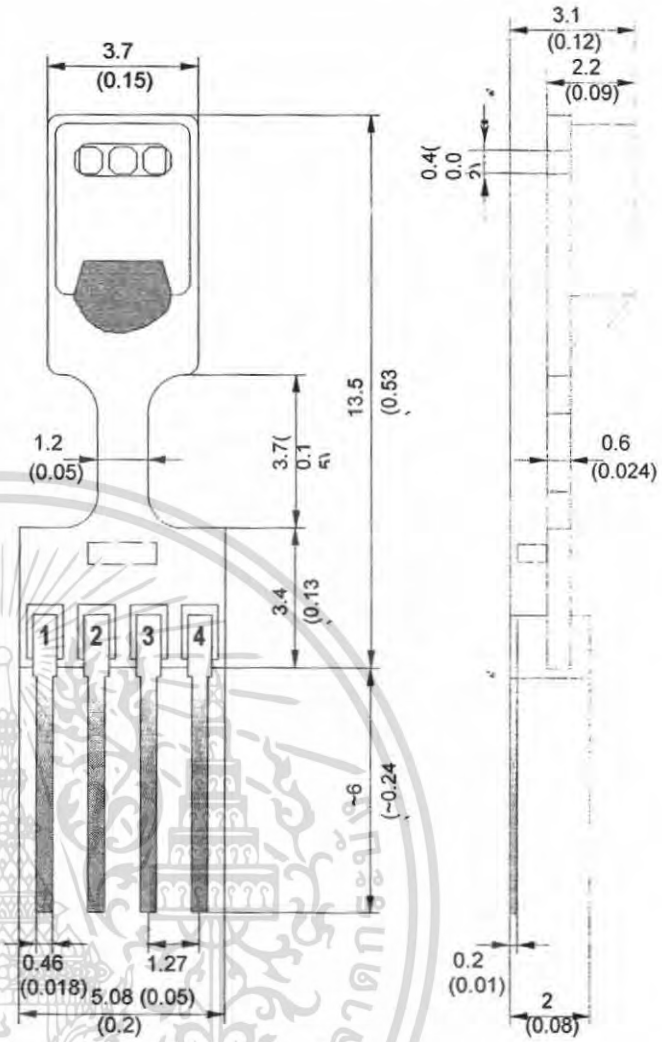


Figure 17 SHT7x dimensions in mm (inch)

5.2.2 Delivery Conditions

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

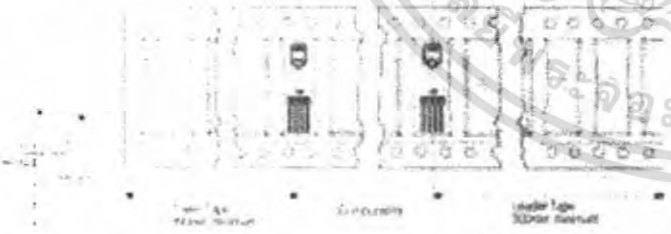


Figure 16 Tape configuration and unit orientation

5.2.3 Soldering Information[2]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

6 Revision history

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

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

7 Important Notices

7.1 Warning, personal injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

Should buyer purchase or use SENSIRION AG products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SENSIRION AG and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors harmless against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SENSIRION AG was negligent regarding the design or manufacture of the part.

7.2 ESD Precautions

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

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

7.3 Warranty

SENSIRION AG makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does SENSIRION AG assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typical" must be validated for each customer applications by customer's technical experts.

SENSIRION AG reserves the right, without further notice, to change the product specifications and/or information in this document and to improve reliability, functions and design.

Copyright© 2001-2005, SENSIRION AG.
All rights reserved.

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG
Laubisrütistr. 50
CH-8712 Stäfa ZH
Switzerland

Phone: + 41 (0)44 306 40 00
Fax: + 41 (0)44 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
http://www.sensirion.com/

Sensirion humidity sensors are available from:

find your local representative at:
www.sensirion.com/reps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DALLAS SEMICONDUCTOR

DS1307
64 x 8 Serial Real-Time Clock

www.maxim-ic.com

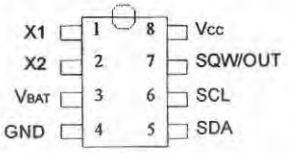
FEATURES

- Real-time clock (RTC) counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap-year compensation valid up to 2100
- 56-byte, battery-backed, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

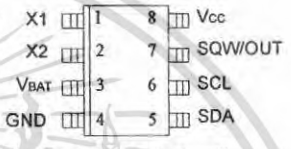
ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300-mil)



DS1307 8-Pin SOIC (150-mil)

PIN DESCRIPTION

Vcc	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768kHz Crystal Connection
V_{BAT}	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square Wave/Output Driver

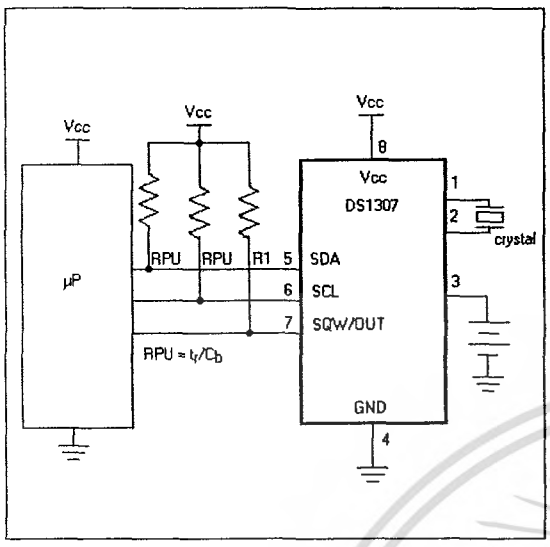
DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit that detects power failures and automatically switches to the battery supply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL OPERATING CIRCUIT

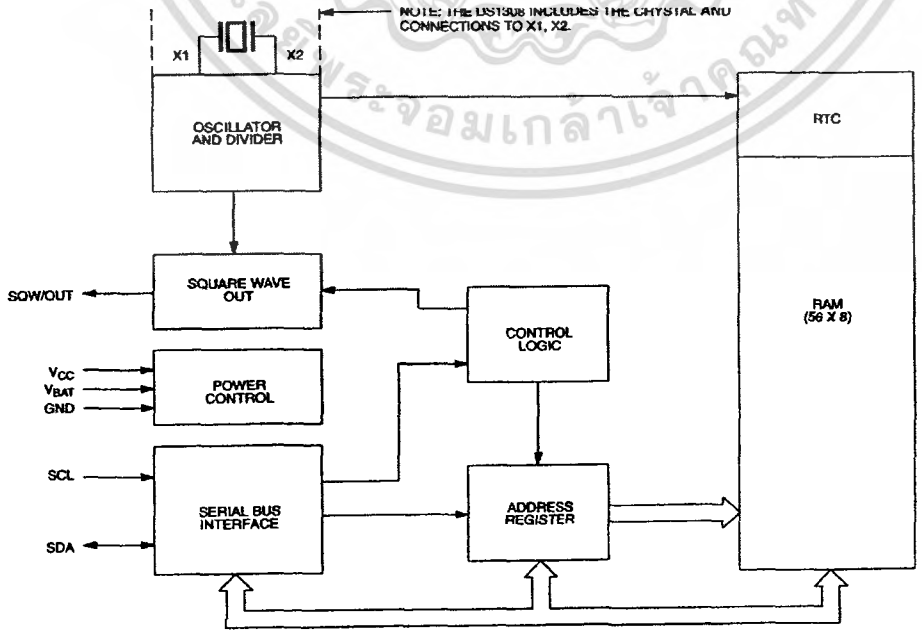
Typical Operating Circuit



OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V_{CC} falls below 1.25 x V_{BAT} the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When V_{CC} falls below V_{BAT} the device switches into a low-current battery backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V_{CC} when V_{CC} is greater than V_{BAT} + 0.2V and recognizes inputs when V_{CC} is greater than 1.25 x V_{BAT}. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIGNAL DESCRIPTIONS

V_{CC}, GND - DC power is provided to the device on these pins. V_{CC} is the +5V input. When 5V is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a 3V battery is connected to the device and V_{CC} is below 1.25 x V_{BAT}, reads and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As V_{CC} falls below V_{BAT} the RAM and timekeeper are switched over to the external power supply (nominal 3.0V DC) at V_{BAT}.

V_{BAT} - Battery input for any standard 3V lithium cell or other energy source. Battery voltage must be held between 2.0V and 3.5V for proper operation. The nominal write protect trip point voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V_{BAT} nominal. A lithium battery with 48mAhr or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at 25°C. UL recognized to ensure against reverse charging current when used in conjunction with a lithium battery.

See "Conditions of Acceptability" at http://www.maxim-ic.com/TechSupport/QA/ntrl.htm.

SCL (Serial Clock Input) - SCL is used to synchronize data movement on the serial interface.

SDA (Serial Data Input/Output) - SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pullup resistor.

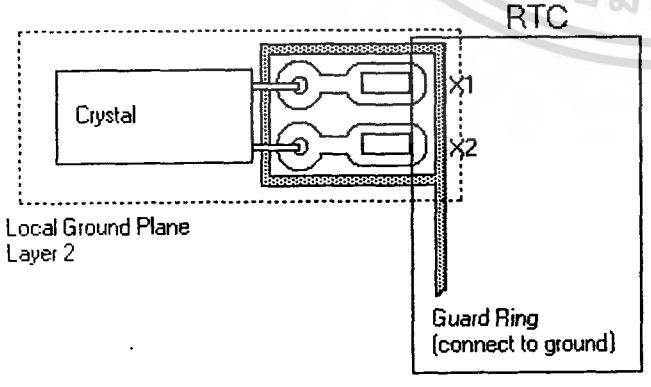
SQW/OUT (Square Wave/Output Driver) - When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pull-up resistor. SQW/OUT will operate with either Vcc or Vbat applied.

X1, X2 - Connections for a standard 32.768kHz quartz crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (CL) of 12.5pF.

For more information on crystal selection and crystal layout considerations, please consult Application Note 58, "Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks." The DS1307 can also be driven by an external 32.768kHz oscillator. In this configuration, the X1 pin is connected to the external oscillator signal and the X2 pin is floated.

RECOMMENDED LAYOUT FOR CRYSTAL

Recommended Layout for Crystal



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLOCK ACCURACY

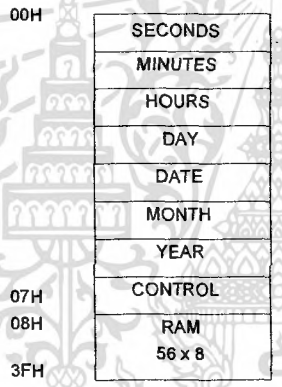
The accuracy of the clock is dependent upon the accuracy of the crystal and the accuracy of the match between the capacitive load of the oscillator circuit and the capacitive load for which the crystal was trimmed. Additional error will be added by crystal frequency drift caused by temperature shifts. External circuit noise coupled into the oscillator circuit may result in the clock running fast. See Application Note 58, "Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks" for detailed information.

Please review Application Note 95, "Interfacing the DS1307 with a 8051-Compatible Microcontroller" for additional information.

RTC AND RAM ADDRESS MAP

The address map for the RTC and RAM registers of the DS1307 is shown in Figure 2. The RTC registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multi-byte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

DS1307 ADDRESS MAP Figure 2



CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The RTC registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. Bit 7 of register 0 is the clock halt (CH) bit. When this bit is set to a 1, the oscillator is disabled. When cleared to a 0, the oscillator is enabled.

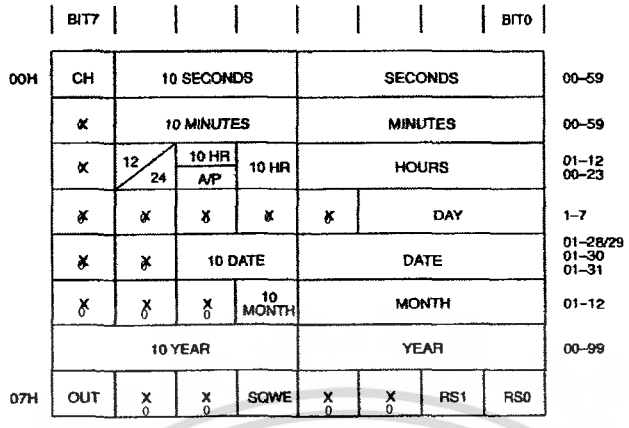
Please note that the initial power-on state of all registers is not defined. Therefore, it is important to enable the oscillator (CH bit = 0) during initial configuration.

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10 hour bit (20-23 hours).

On a 2-wire START, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to re-read the registers in case of an update of the main registers during a read.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS1307 TIMEKEEPER REGISTERS Figure 3



CONTROL REGISTER

The DS1307 control register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

OUT (Output control): This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square wave output is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if OUT = 0.

SQWE (Square Wave Enable): This bit, when set to a logic 1, will enable the oscillator output. The frequency of the square wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits. With the square wave output set to 1Hz, the clock registers update on the falling edge of the square wave.

RS (Rate Select): These bits control the frequency of the square wave output when the square wave output has been enabled. Table 1 lists the square wave frequencies that can be selected with the RS bits.

SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

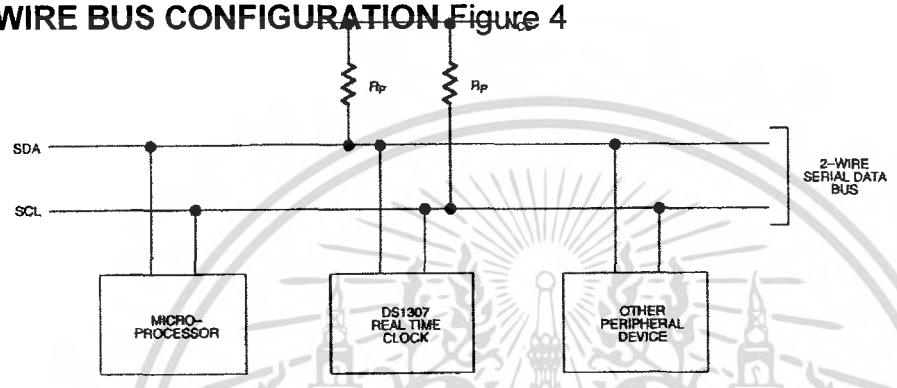
RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1Hz
0	1	4.096kHz
1	0	8.192kHz
1	1	32.768kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-WIRE SERIAL DATA BUS

The DS1307 supports a bi-directional, 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are referred to as slaves. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS1307 operates as a slave on the 2-wire bus. A typical bus configuration using this 2-wire protocol is show in Figure 4.

TYPICAL 2-WIRE BUS CONFIGURATION Figure 4



Figures 5, 6, and 7 detail how data is transferred on the 2-wire bus.

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is high will be interpreted as control signals.

Accordingly, the following bus conditions have been defined:

Bus not busy: Both data and clock lines remain HIGH.

Start data transfer: A change in the state of the data line, from HIGH to LOW, while the clock is HIGH, defines a START condition.

Stop data transfer: A change in the state of the data line, from LOW to HIGH, while the clock line is HIGH, defines the STOP condition.

Data valid: The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal. The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

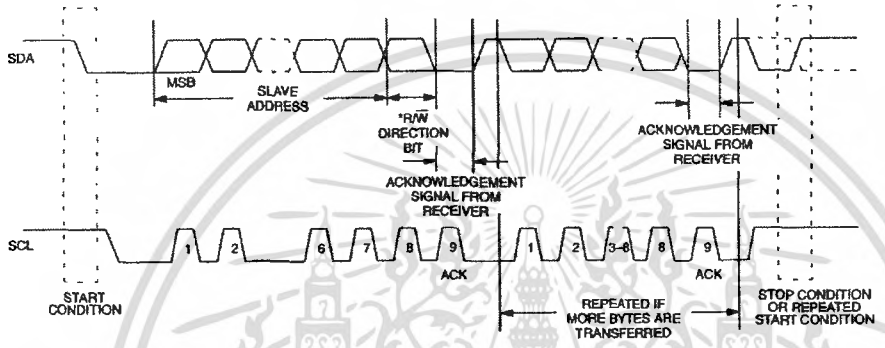
Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between START and STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit. Within the 2-wire bus specifications a regular mode (100kHz clock rate) and a fast mode (400kHz clock rate) are defined. The DS1307 operates in the regular mode (100kHz) only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acknowledge: Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave must leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

DATA TRANSFER ON 2-WIRE SERIAL BUS Figure 5



Depending upon the state of the R/$\overline{W}$ bit, two types of data transfer are possible:

1. **Data transfer from a master transmitter to a slave receiver.** The first byte transmitted by the master is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

2. **Data transfer from a slave transmitter to a master receiver.** The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. This is followed by the slave transmitting a number of data bytes. The master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the last byte. At the end of the last received byte, a "not acknowledge" is returned.

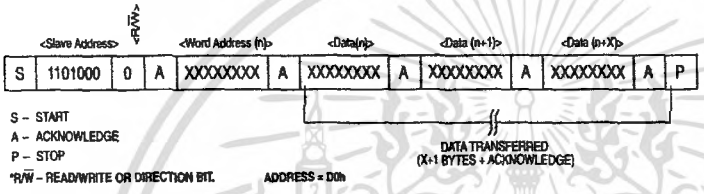
The master device generates all of the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A transfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START condition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The DS1307 may operate in the following two modes:

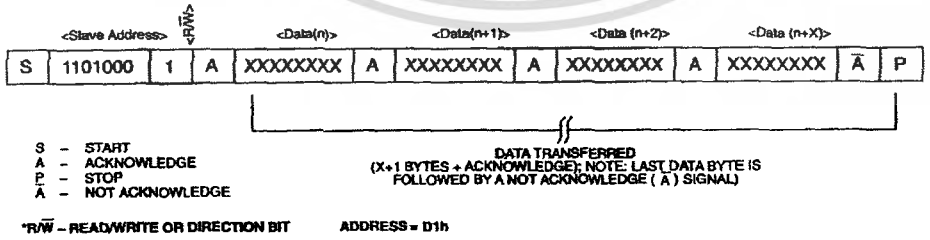
1. **Slave receiver mode (DS1307 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and *direction bit (See Figure 6). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7 bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the *direction bit (R/ $\overline{W}$) which, for a write, is a 0. After receiving and decoding the address byte the device outputs an acknowledge on the SDA line. After the DS1307 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a register address to the DS1307 This will set the register pointer on the DS1307. The master will then begin transmitting each byte of data with the DS1307 acknowledging each byte received. The master will generate a stop condition to terminate the data write.

DATA WRITE - SLAVE RECEIVER MODE Figure 6



2. **Slave transmitter mode (DS1307 read mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the *direction bit will indicate that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS1307 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer (See Figure 7). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the *direction bit (R/ $\overline{W}$) which, for a read, is a 1. After receiving and decoding the address byte the device inputs an acknowledge on the SDA line. The DS1307 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS1307 must receive a "not acknowledge" to end a read.

DATA READ - SLAVE TRANSMITTER MODE Figure 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds DIP See JPC/JEDEC Standard J-STD-020A for Surface Mount Devices

* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

Range	Temperature	V_{CC}
Commercial	0°C to +70°C	4.5V to 5.5V V_{CC1}
Industrial	-40°C to +85°C	4.5V to 5.5V V_{CC1}

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{CC}	4.5	5.0	5.5	V	
Logic 1	V_{IH}	2.2		V_{CC} + 0.3	V	
Logic 0	V_{IL}	-0.5		+0.8	V	
V_{BAT} Battery Voltage	V_{BAT}	2.0		3.5	V	

*Unless otherwise specified.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage (SCL)	I_{LI}			1	mA	
I/O Leakage (SDA & SQW/OUT)	I_{LO}			1	mA	
Logic 0 Output (I_{OL} = 5mA)	V_{OL}			0.4	V	
Active Supply Current	I_{CCA}			1.5	mA	7
Standby Current	I_{CCS}			200	mA	1
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I_{BAT1}		300	500	nA	2
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I_{BAT2}		480	800	nA	
Power-Fail Voltage	V_{PF}	1.216 x V_{BAT}	1.25 x V_{BAT}	1.284 x V_{BAT}	V	8

*Unless otherwise specified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
SCL Clock Frequency	f_{SCL}	0		100	kHz	
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	t_{BUF}	4.7			ms	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD:STA}$	4.0			ms	3
LOW Period of SCL Clock	t_{LOW}	4.7			ms	
HIGH Period of SCL Clock	t_{HIGH}	4.0			ms	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU:STA}$	4.7			ms	
Data Hold Time	$t_{HD:DAT}$	0			ms	4,5
Data Set-up Time	$t_{SU:DAT}$	250			ns	
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	t_R			1000	ns	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	t_F			300	ns	
Set-up Time for STOP Condition	$t_{SU:STO}$	4.7			ms	
Capacitive Load for each Bus Line	C_B			400	pF	6
I/O Capacitance (T_A = 25°C)	$C_{I/O}$		10		pF	
Crystal Specified Load Capacitance (T_A = 25°C)			12.5		pF	

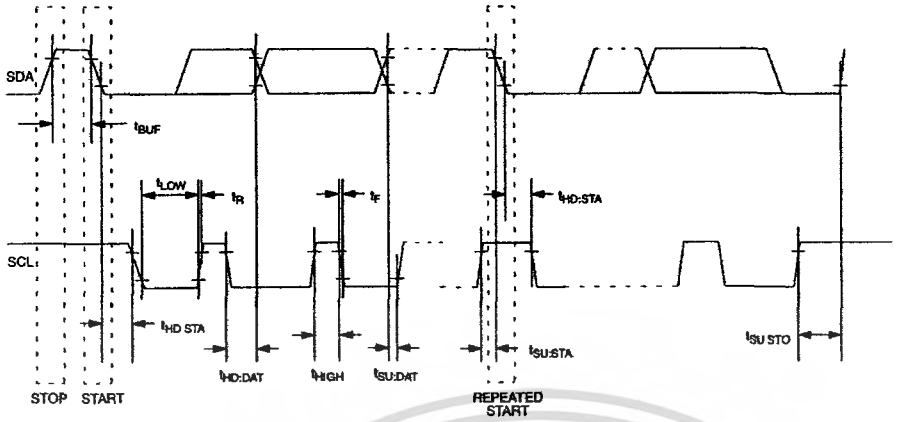
*Unless otherwise specified.

NOTES:

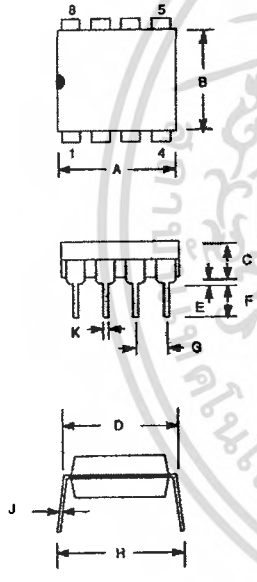
1. I_{CCS} specified with V_{CC} = 5.0V and SDA, SCL = 5.0V.
2. V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 3V.
3. After this period, the first clock pulse is generated.
4. A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V_{IHMIN} of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
5. The maximum $t_{HD:DAT}$ has only to be met if the device does not stretch the LOW period (t_{LOW}) of the SCL signal.
6. C_B - Total capacitance of one bus line in pF.
7. I_{CCA} - SCL clocking at max frequency = 100kHz.
8. V_{PF} measured at V_{BAT} = 3.0V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMING DIAGRAM Figure 8



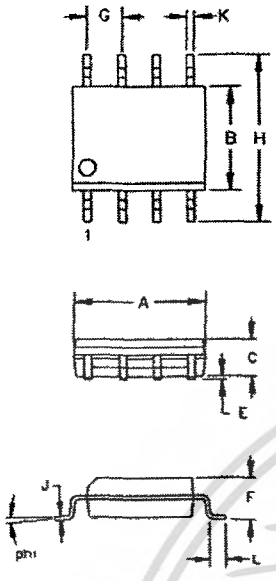
DS1307 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK
8-PIN DIP MECHANICAL DIMENSIONS



PKG	8-PIN	
DIM	MIN	MAX
A IN.	0.360	0.400
MM	9.14	10.16
B IN.	0.240	0.260
MM	6.10	6.60
C IN.	0.120	0.140
MM	3.05	3.56
D IN.	0.300	0.325
MM	7.62	8.26
E IN.	0.015	0.040
MM	0.38	1.02
F IN.	0.120	0.140
MM	3.04	3.56
G IN.	0.090	0.110
MM	2.29	2.79
H IN.	0.320	0.370
MM	8.13	9.40
J IN.	0.008	0.012
MM	0.20	0.30
K IN.	0.015	0.021
MM	0.38	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS1307Z 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK
8-PIN SOIC (150-MIL) MECHANICAL DIMENSIONS



PKG	8-PIN (150 MIL)	
DIM	MIN	MAX
A IN.	0.188	0.196
MM	4.78	4.98
B IN.	0.150	0.158
MM	3.81	4.01
C IN.	0.048	0.062
MM	1.22	1.57
E IN.	0.004	0.010
MM	0.10	0.25
F IN.	0.053	0.069
MM	1.35	1 75
G IN.	0.050 BSC	
MM	1.27 BSC	
H IN.	0.230	0.244
MM	5.84	6.20
J IN.	0.007	0.011
MM	0.18	0.28
K IN.	0.012	0.020
MM	0.30	0.51
L IN.	0.016	0 050
MM	0 41	1.27
phi	0°	8°

56-G2008-001

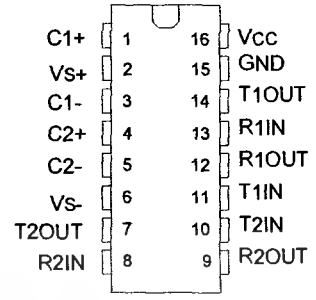
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047I - FEBRUARY 1989 - REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ±30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22
  - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
  - TIA/EIA-232-F
  - Battery-Powered Systems
  - Terminals
  - Modems
  - Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ±30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

T_A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube	MAX232D	MAX232
		Tape and reel	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232DW	MAX232
		Tape and reel	MAX232DWR	
	SOP (NS)	Tape and reel	MAX232NSR	MAX232
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube	MAX232ID	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232IDW	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

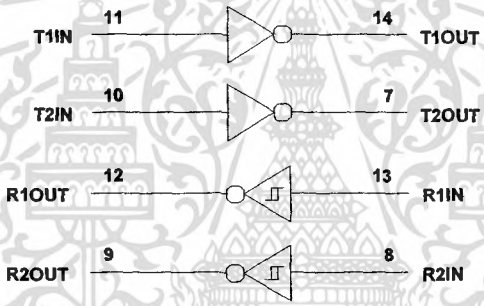
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1) . . . . . -0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+} . . . . . V_{CC} - 0.3 V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-} . . . . . -0.3 V to -15 V
Input voltage range, V_I: Driver . . . . . -0.3 V to VCC + 0.3 V
Receiver . . . . . ±30 V
Output voltage range, V_O: T1OUT, T2OUT . . . . . V_{S-} - 0.3 V to V_{S+} + 0.3 V
R1OUT, R2OUT . . . . . -0.3 V to V_{CC} + 0.3 V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT . . . . . Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package . . . . . 73°C/W
DW package . . . . . 57°C/W
N package . . . . . 67°C/W
NS package . . . . . 64°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds . . . . . 260°C
Storage temperature range, T_{stg} . . . . . -65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

			MIN	NOM	MAX	UNIT
VCC	Supply voltage		4.5	5	5.5	V
VIH	High-level input voltage (T1IN,T2IN)		2			V
VIL	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)				0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage				±30	V
TA	Operating free-air temperature	MAX232	0		70	°C
		MAX232I	-40		85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
ICC	Supply current	VCC = 5.5 V, All outputs open, TA = 25°C		8	10	mA

‡ All typical values are at VCC = 5 V and T A = 25°C.
NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1 ∝F at VCC = 5 V ± 0.5 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER			TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
VOH	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	RL = 3 kΩ to GND		5	7		V
VOL	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT	RL = 3 kΩ to GND			-7	-5	V
ro	Output resistance	T1OUT, T2OUT	VS+ = VS- = 0,	VO = ±2 V	300			Ω
IOS §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	VCC = 5.5 V,	VO = 0		±10		mA
IIS	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	VI = 0				200	∝A

† All typical values are at VCC = 5 V, T A = 25°C.
‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels *only*
§ Not more than one output should be shorted at a time.
NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1 ∝F at VCC = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, VCC = 5 V, T A = 25°C (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	RL = 3 kΩ to 7 kΩ, See Figure 2			30	V/∝s
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/∝s
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1 ∝F at VCC = 5 V ± 0.5 V.

RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER			TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
VOH	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT	IOH = -1 mA		3.5			V
VOL	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT	IOL = 3.2 mA				0.4	V
V_{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	VCC = 5 V,	TA = 25°C		1.7	2.4	V
V_{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	VCC = 5 V,	TA = 25°C	0.8	1.2		V
	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	VCC = 5 V		0.2	0.5	1	V
Vhys	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	VCC = 5,	TA = 25°C	3	5	7	kΩ

† All typical values are at VCC = 5 V, T A = 25°C.
‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated *minimum*, is used in this data sheet for logic voltage levels only.
NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1 ∝F at VCC = 5 V ± 0.5 V.

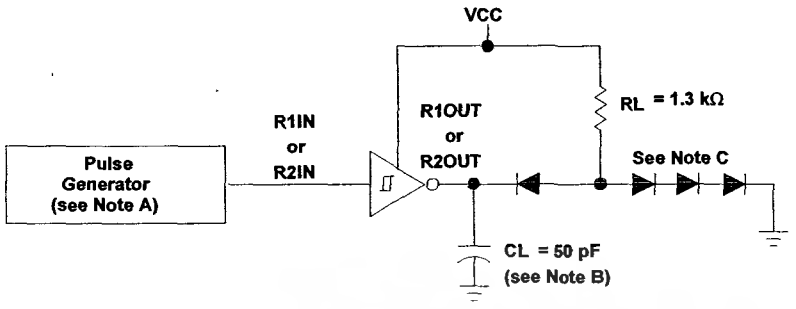
switching characteristics, VCC = 5 V, T A = 25°C (see Note 3 and Figure 1)

PARAMETER		TYP	UNIT
tPLH(R)	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
tPHL(R)	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

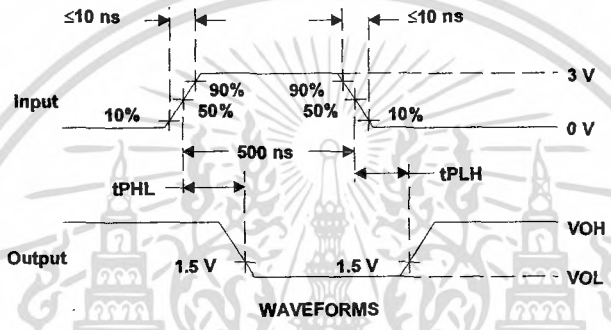
NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1 ∝F at VCC = 5 V ± 0.5 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



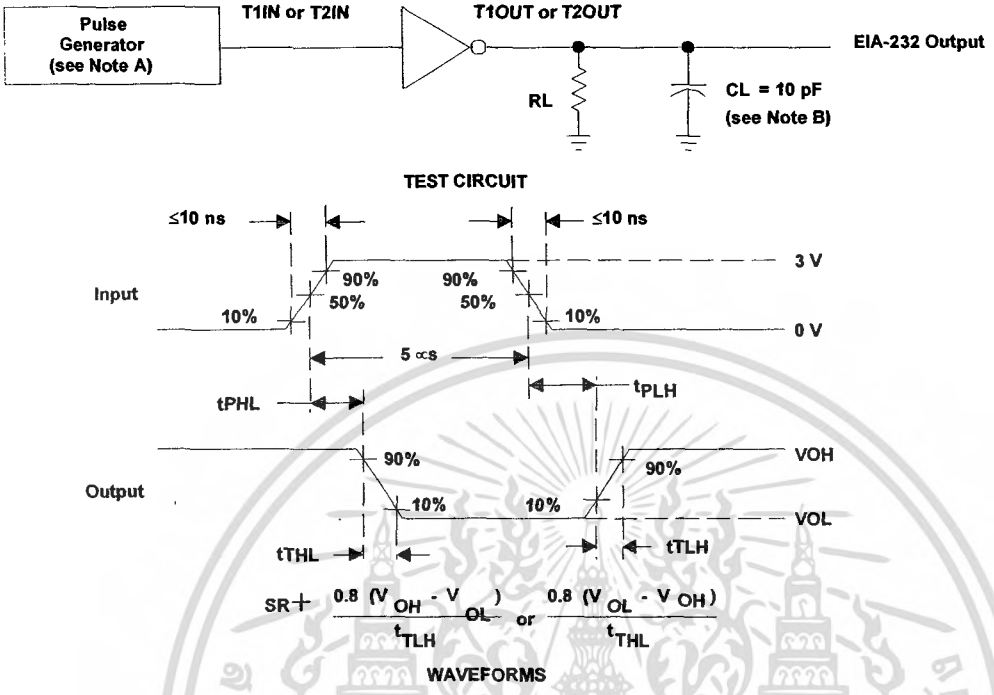
WAVEFORMS

NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: Z O = 50 Ω, duty cycle ≤ 50%.
B. C L includes probe and jig capacitance.
C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements

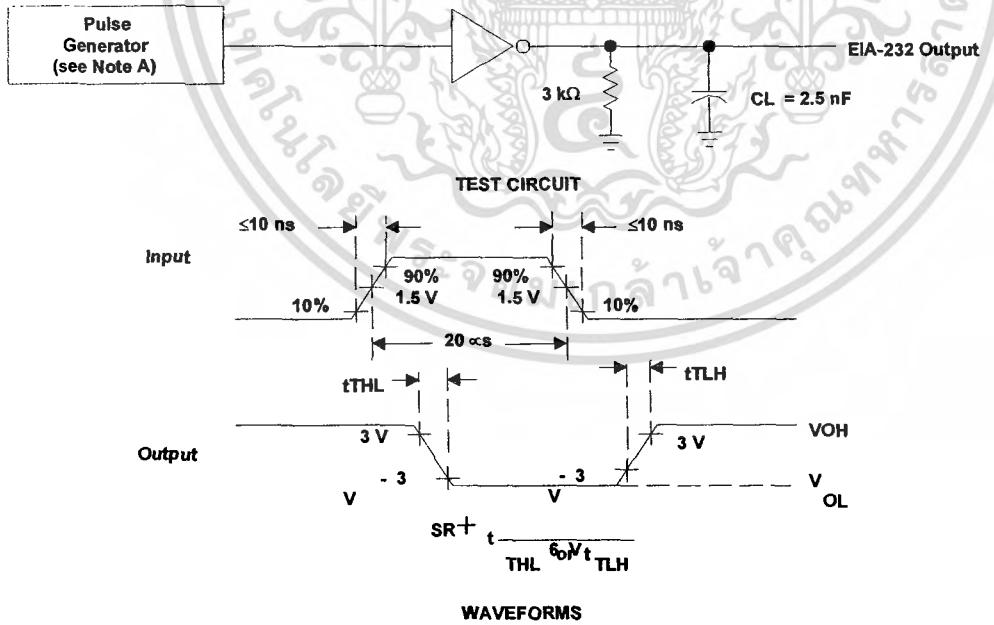
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES A. The pulse generator has the following characteristics: Z O = 50 Ω, duty cycle ≤ 50%.
B. C L includes probe and jig capacitance.

Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5-∝s Input)

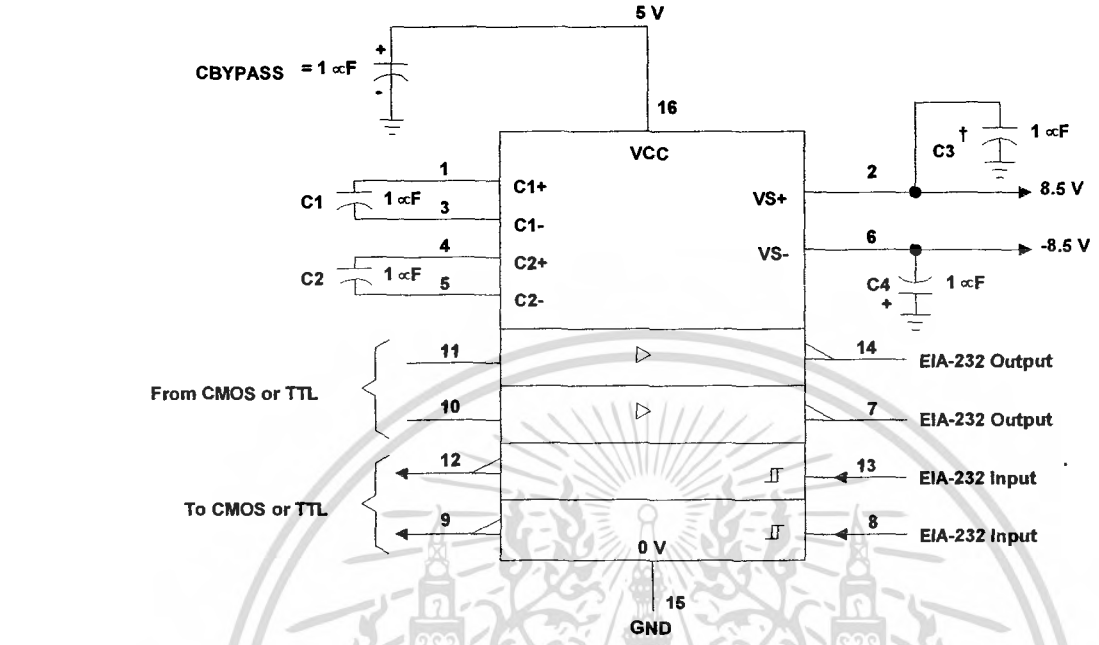


NOTE A: The pulse generator has the following characteristics: Z O = 50 Ω, duty cycle ≤ 50%.

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20-∝s Input)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION



† C3 can be connected to VCC or GND.

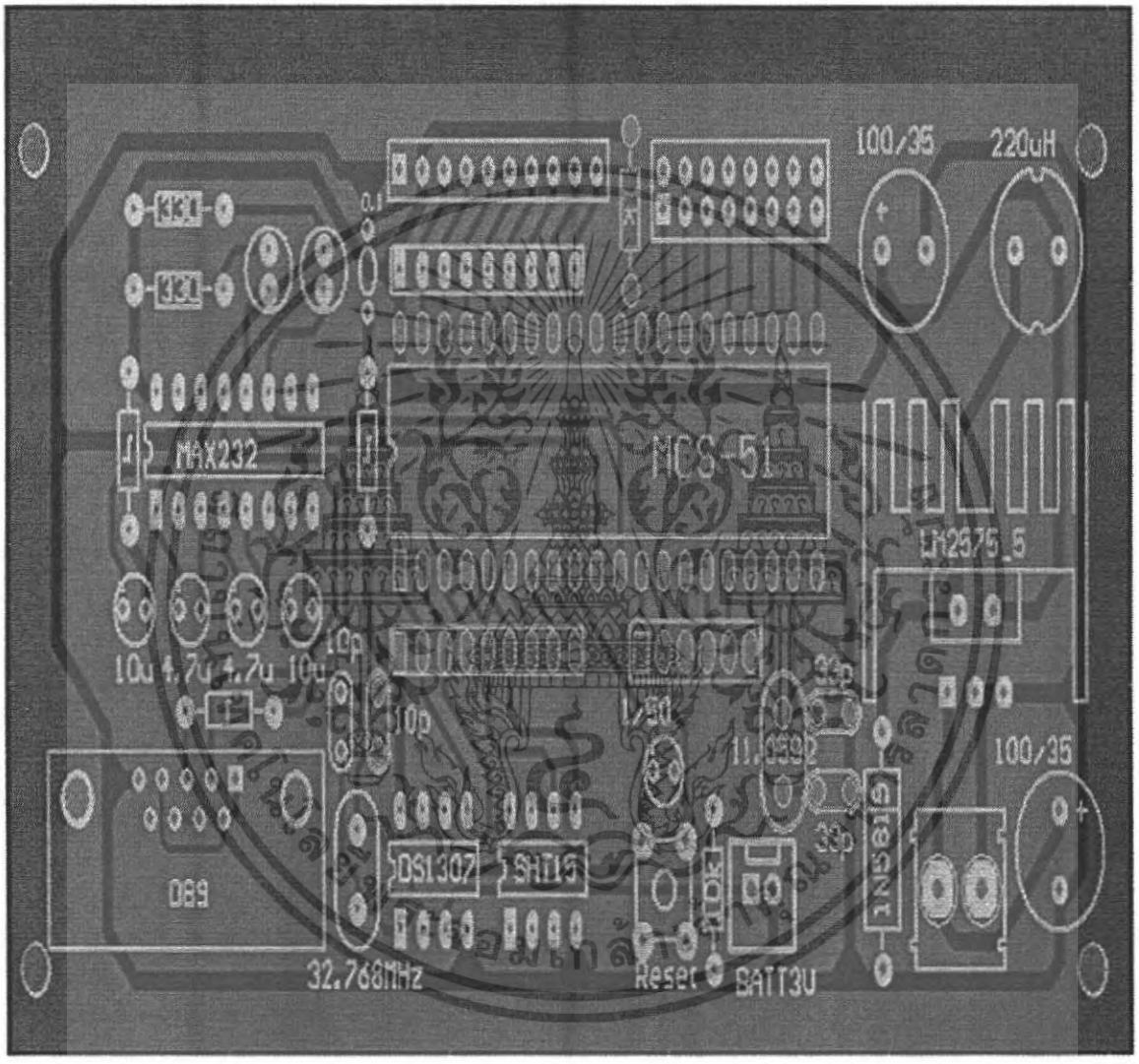
Figure 4. Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

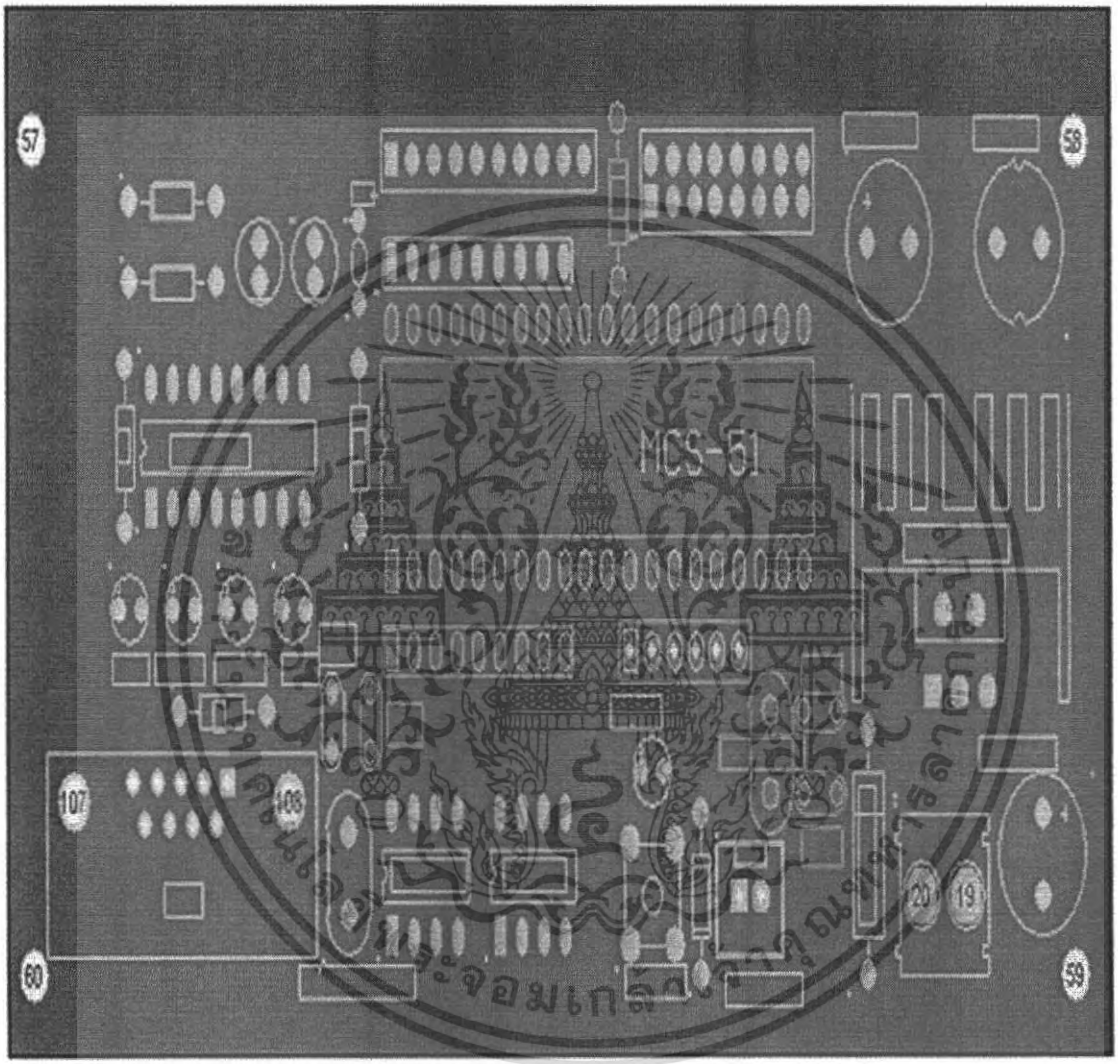
ลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การจัดวางอุปกรณ์ลงบนแผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายวงจรรวมบอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซนเซอร์ SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้