สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการ Sensor และการจัดเก็บข้อมูล อุณหภูมิ และ ความชื้น

Data Logger system for temmperature and humidity

โดย

นาย มนตรี ไชยชาญยุทธ์

นาย สิทธิพงศ์ เมืองจันทบุรี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50363
วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

ระบบการ Sensor และการจัดเก็บข้อมูล อุณหภูมิ และ ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Logger system for temmperature and humidity

โดย

นาย มนตรี ไชยชาญยุทธ์ รหัส 43515924

นาย สิทธิพงค์ เมืองจันทบุรี รหัส 43515937

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

รายงานสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการSensor และการจัดเก็บข้อมูล อุณหภูมิ และ ความชื้น

จัดทำโดย

นาย มนตรี ไชยชาญยุทธ์

นาย สิทธิพงศ์ เมืองจันทบุรี

โครงงานนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

.....

(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟอร์มรับรองความพร้อมในการสอบ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ระบบการ Sensor และการจัดเก็บข้อมูล อุณหภูมิ และ ความชื้น

Data Logger system for temperature and humidity

จัดทำโดย

นาย มนตรี ไชยชาญยุทธ์

นาย สิทธิพงศ์ เมืองจันทบุรี

โครงงานนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

.....

(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการ Sensor และการจัดเก็บข้อมูล อุณหภูมิ และ ความชื้น

นาย มนตรี ไชยชาญยุทธ์
นาย สิทธิพงค์ เมืองจันทบุรี
อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการบันทึกหรือการจดจำข้อมูลต่างๆ ที่มีจำนวนมากเป็นเวลานานๆ มนุษย์เราไม่สามารถจะจดจำข้อมูลได้ทั้งหมด ดังนั้นการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทเป็นอย่างมาก ซึ่งทำให้สามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างมาก เป็นเวลานาน และมีประสิทธิภาพดีกว่าการจดจำ แต่หากเราจะนำคอมพิวเตอร์พกพาติดตัวเพื่อวัดข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่ง และเก็บบันทึกก็อาจทำให้ไม่สะดวกและราคาแพงดังนั้นจึงเป็นที่มาของการคิดสิ่งประดิษฐ์ที่จะใช้บันทึกแทนคอมพิวเตอร์ นั่นก็คือ Data logger สามารถเก็บได้มาก เป็นเวลานาน ประสิทธิภาพดี ราคาประหยัดกว่า และมีขนาดเล็กลงเหมาะที่จะ วัด และเก็บค่าบันทึกข้อมูล ซึ่งในรายงานนี้จะเป็นการสร้าง Data logger ในการเก็บบันทึกข้อมูล ความชื้น และอุณหภูมิเท่านั้น โดยจะบอกการสร้างอย่างละเอียดเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Logger of Temperature and Humidity system

Mr. Montree Chaichanyut
Mr. Sittipong Muangchuntaburi
Lec.Polsart Lertprasert Adviser
Education Year 2001

ABSTACT

Nowadays, Memorizing and recorded for a large data, long term and reliable, for human memory are not sufficient therefore, computer have become more and more important for life. However computer cost money and its not as convenience. Hence there is a new invent calls data logger which can be used instead of computer and can save a large data file as well as a long term and reliable, moreover it is a very good quality, cheap price, small size and suitable for record data. In this report will only describe about structure and details of data logger for humidity and temperature record which will be used and adapting for new application in future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VI
สารบัญกราฟ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การใช้งาน MCS –51	5
2.1 จัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051	5
2.2 โครงสร้างหน่วยความจำของ 8051	7
2.3 TIMER	12
2.3.1 Timer Mode Register (TMOD)	14
2.3.2 Timer Control Register (TCON)	16
2.3.3 Timer Mode And Overflow Flag	18
- Clocking Source	19
- การใช้เป็นตัวจับเวลา (Timer)	19
- การใช้เป็นตัวนับ (Counter)	20
2.3.5 การเริ่ม , หยุด และการควบคุม Timer	20
2.3.6 Intializing And Accessing Timer Register	22
2.3.7 Short Intervals And Long Intervals	23
2.4 การอินเตอร์รัพท์	25
บทที่ 3 การออกแบบ และการสร้างระบบ DATA LOGGER	29
3.1 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น	29
3.2 การออกแบบวงจรการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล	34
3.3 การออกแบบภาคแสดงผลค่าอุณหภูมิ และความชื้น	35
3.4 การออกแบบ Memory	35
บทที่ 4 การทดลองการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้น	37
4.1 การตรวจวัดอุณหภูมิ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

4.2 การตรวจวัดความชื้น 40
4.3 ผลการทดลองการ Load ข้อมูลเข้าสู่ Computer 42
บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง 46
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 หน้าที่พิเศษของขาต่าง ๆ ของ PORT 3	14
ตารางที่ 2.2 รีจีสเตอร์ที่ใช้เป็น Timer	15
ตารางที่ 2.3 รีจีสเตอร์ TMOD (Timer Mode)	15
ตารางที่ 2.5 แสดงความหมายแต่ละบิตของรีจีสเตอร์ TCON (Timer Control)	16
ตารางที่ 2.6 ค่าสูงสุดของการใช้ Timer โหมดต่าง ๆ	23
ตารางที่ 2.7 บิตต่าง ๆ ของรีจีสเตอร์ IE	25
ตารางที่ 2.8 บิตและหน้าที่ต่าง ๆ ของรีจีสเตอร์ IP	27
ตารางที่ 2.9 แฟลกที่จะทำงานเมื่อถูกอินเตอร์รัพท์	28
ตารางที่ 2.10 อินเตอร์รัพท์เวกเตอร์ของอินเตอร์รัพท์ต่าง ๆ	29
ตารางที่ 3.1 แสดงการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุ เทียบความชื้นสัมพัทธ์	33
ตารางที่4.1 แสดงผลการทดลอง การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดเทียบกับแรงดัน	37
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดความชื้นเทียบกับ เครื่องวัดรุ่น605-H1 (% RH)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การจัดขาของ 8051	7
รูปที่ 2.2 แสดงหน่วยความจำโปรแกรมของ 8051	8
รูปที่ 2.3 แสดงหน่วยความจำข้อมูลของ 8051	8
รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยความจำข้อมูลภายใน	9
รูปที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของ Special Function Register	10
รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งการอ้างอิงระดับบิตของรีจิสเตอร์ SFR	12
รูปที่ 2.7 รีจีสเตอร์ที่ใช้เป็น Timer	13
รูปที่ 2.8 การทำงานของ Timer ในโหมดต่าง	17
รูปที่ 2.9 ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่เข้าขา Timer	19
รูปที่ 2.10 การใช้บิตควบคุม TR	20
รูปที่ 2.11 ระบบทั้งหมดของ Timer 1	21
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเมื่อถูกอินเตอร์รัพท์	24
รูปที่ 2.13 รีจิสเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัพท์	26
รูปที่ 2.14 การจัดตำแหน่งโปรแกรมในหน่วยความจำ	30
รูปที่ 3.1 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และระบบการทำงาน	29
รูปที่ 3.2 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ	30
รูปที่ 3.3 การใช้งาน LM 35	30
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ตรวจจับความชื้น Philips	31
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรที่ใช้ในการ Sensor ความชื้น	31
รูปที่ 3.6 กราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับความชื้น Philips	32
รูปที่ 3.7 บล็อกแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	34
รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบวงจรรวม	36
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของหน้าจอ	42
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของตารางเก็บข้อมูล	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุณหภูมิ และความชื้น ค่อนข้างจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในโลกยุคปัจจุบันและอนาคต อุณหภูมิ และความชื้นจะมีผลต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก รวมถึงในด้านการเกษตร การดำรงชีวิต และด้านอื่น ๆ ซึ่งหากว่าเราสามารถที่จะคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นได้ เราก็จะสามารถที่ควบคุมการใช้ทรัพยากร และป้องกันภัยจากธรรมชาติที่อาจจะเกิดขึ้นไว้ล่วงหน้าได้

เหตุผลที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ ประเทศไทยเป็นประเทศ แห่งเกษตรกรรม ฉะนั้นดังที่กล่าวมาแล้วว่าหากว่าเราสามารถที่จะคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นได้ เราก็จะสามารถรู้ว่าเกษตรกรรมแบบใดที่เหมาะกับสภาวะแวดล้อมในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้เราได้รับประโยชน์สูงสุดจากการเกษตร นอกจากนี้แล้วอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีในประเทศไทยในขณะนี้จะได้จากการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นหากว่าเราสามารถที่จะสร้างขึ้นมาเองจากอุปกรณ์ที่มีภายในประเทศก็จะเป็นการลดดุลการค้าภายในประเทศด้วย

ดังนั้นในโครงการนี้จะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการ Sensor อุณหภูมิ และ Sensor ความชื้น และนำข้อมูลที่ได้มาเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์วงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์มาใช้ในการทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

10.1 เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้น อันจะเกี่ยวข้องกับส่งแวดล้อมในปัจจุบัน

10.2 เพื่อพัฒนาระบบการ sensor อุณหภูมิ และ sensor ความชื้น โดยใช้อุปกรณ์ที่มีภายในประเทศ

10.3 เพื่อออกแบบสร้างวงจรควบคุม และเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

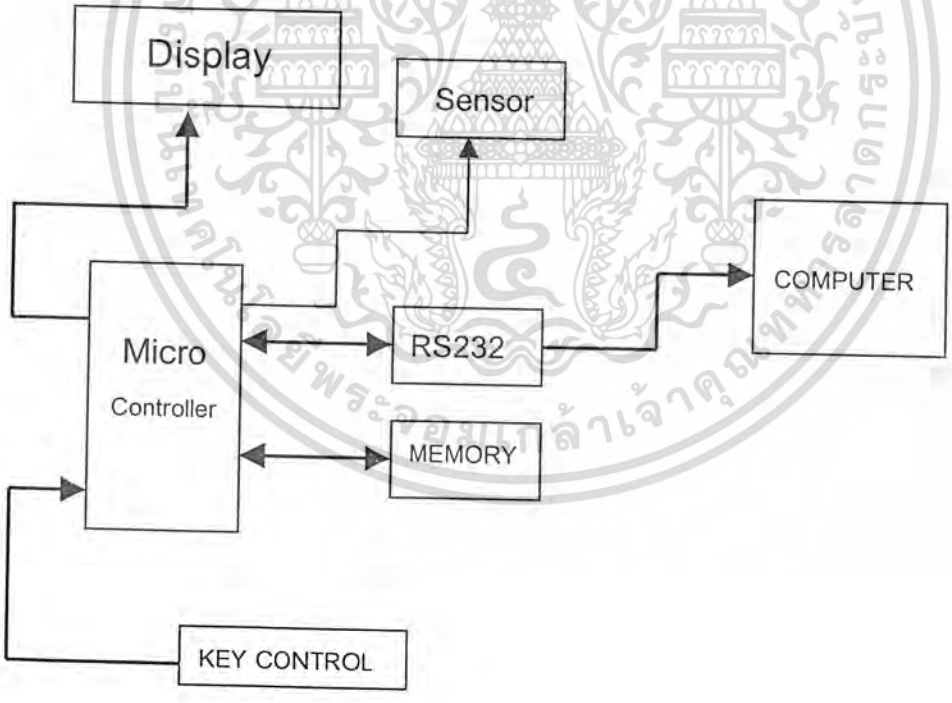
1.3 ระยะเวลาในการทำโครงงาน

โครงงานชิ้นนี้จะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน หรือ 1 ปีการศึกษา โดยในส่วนที่ 1 จะทำงานในส่วนของ Hardware อันหมายถึง ส่วนของการ Sensor ความชื้น และSensor อุณหภูมิ โดยจะแสดงผลออกสู่ Seven Segment

ในส่วนที่ 2 จะ เป็นการเก็บข้อมูลที่ ได้เข้าสู่หน่วยความจำ และส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยผ่าน RS 232 ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารแบบมาตรฐาน

1.4 แนวความคิด และ ขอบเขตของโครงงาน

ภายในปีการศึกษา 2545 จะดำเนินการทดลอง และออกแบบเพื่อให้ได้ข้อมูลทางเทคนิคของระบบ และขีดจำกัดของการใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ต้องการทราบข้อมูล เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมต่อไป



แสดง Block diagram และ ขอบเขตการออกแบบโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานพื้นฐาน

จาก Block diagram , Key control จะเป็นตัวป้อนข้อมูลเพื่อให้Micro controller รับรู้ในการตรวจจับ ความชื้น และ อุณหภูมิ ซึ่งจะส่งข้อมูลมาไว้ใน Memory และจะทำการแสดงผลออก Display และจะทำการตรวจจับเช็คข้อมูลความชื้น และ อุณหภูมิ ตามเวลาที่เรากำหนดซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะนำเข้าไปเก็บใน Memory เมื่อเราต้องการที่นำค่าข้อมูลออกมาจาก Memory ก็จะสามารถทำได้โดยการส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ผ่าน RS232 ให้ Micro controller และนำค่าใน Memory ส่งผ่านกลับมายังคอมพิวเตอร์ ในขณะเดียวกัน Display จะมีการแสดงผลอยู่ตลอดเวลาว่าในขณะนี้ความชื้น และ อุณหภูมิ ปัจจุบัน มีค่าเท่าไร

1.5 คุณสมบัติโดยทั่วไปของโครงงาน

- ทำการ Sensor อุณหภูมิ และความชื้น
- ใช้ MCS –51 เป็นตัว CPU ควบคุมการทำงาน
- แสดงผลทาง Segment
- มีการเก็บข้อมูลที่ Sensor ได้ไว้ใน EPROM
- สามารถที่เรียกข้อมูลเข้าสู่ Computer และแสดงผลในลักษณะ กราฟ

1.6 หน่วยงานที่นำโครงงานไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานที่คาดว่าจะสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ คือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร และกรมอุตุนิยมวิทยา รวมถึงหน่วยงานที่พัฒนาสิ่งแวดล้อมภายในประเทศ ตลอดจนบริษัทเอกชน และประชาชนทั่วไปที่มีความสนใจ

1.7 สถานที่ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.8 การนำเสนอโคนงงาน

จะมีการนำเสนอรายละเอียดของโครงงานโดยสมบูรณ์ ตามหัวเรื่องดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 บทนำ และจะกล่าวถึงตัวโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน คุณสมบัติโดยทั่วไปของโครงงาน รวมไปถึง ระยะเวลา สถานที่ ในการทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้
- บทที่ 3 จะกล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบโครงงาน
- บทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดลอง และ ผลการทดลองที่ได้จากวงจรจริง
- บทที่ 5 สรุป และ วิจารณ์ผลการทดลอง

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้น อันจะเกี่ยวข้องกับส่งแวดล้อมในปัจจุบัน
2. สามารถพัฒนาระบบการ Sensor อุณหภูมิ และ Sensor ความชื้น โดยใช้อุปกรณ์ที่มีภายในประเทศ
3. สามารถออกแบบสร้างวงจรควบคุม และเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์
4. เป็นข้อมูลสนับสนุนให้หน่วยงานอื่นๆ และผู้สนใจได้นำไปใช้ประโยชน์เพื่อการพัฒนาประเทศ
5. สามารถสร้างต้นแบบและเป็นแนวทางการวิจัยพัฒนาระบบการ Sensor อุณหภูมิ และ Sensor ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การใช้งาน MCS –51

2.1 จัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

V_{cc} : สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้า (+5v.)

V_{ss} : สำหรับต่อกราวด์

P0 : เป็นขาพอร์ต 0 ของ 8051 ที่มีขนาด 8 บิตชนิดสองทิศทาง ซึ่งแต่ละบิตสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปหากต้องการให้เป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น โดยแต่ละบิตเมื่อเป็นเอาต์พุตจะสามารถต่อพ่วงกับอุปกรณ์ TTL แบบ LS ได้ 8 ตัว และยังเป็นขาให้สัญญาณ Multiplex ระหว่างสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณ Address 8 บิตแรก ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายนอก

P1 : เป็นขาพอร์ต 1 ของ 8051 ขนาด 8 บิต ชนิดสองทิศทางแบบ Quasi bi-directional ซึ่งแต่ละบิตสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปหากต้องการให้เป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และสามารถต่อพ่วงกับอุปกรณ์ LS TTL ได้ 4 ตัว

P2 : เป็นขาพอร์ต 2 ของ 8051 ขนาด 8 บิต ชนิดสองทิศทางแบบ Quasi bi-directional เช่นเดียวกับพอร์ต 1 นอกจากนี้พอร์ต2นี้ยังทำหน้าที่ให้สัญญาณ Address 8 บิตบน ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายนอก ในกรณีอ้าง Address หน่วยความจำขนาด 16 บิต ดังนั้นขณะที่ใช้หน่วยความจำภายนอก จะต้องไม่มีการเขียนข้อมูลใด ๆ ไปที่พอร์ต 2 จะทำให้เกิดความผิดพลาดการทำงานได้

P3 : เป็นขาพอร์ต 3 ของ 8051 ขนาด 8 บิต ชนิดสองทิศทางแบบ Quasi bi-directional เช่นเดียวกับขาพอร์ต 1 และพอร์ต 2 แต่พอร์ต 3 นี้จะมีหน้าที่พิเศษดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาพอร์ต	หน้าที่พิเศษ
P3.0	R x D (สำหรับรับข้อมูลแบบอนุกรม)
P3.1	T x D (สำหรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม)
P3.2	INT0 (ขาอินเตอร์รัพท์ภายนอก 0)
P3.3	INT1 (ขาอินเตอร์รัพท์ภายนอก 1)
P3.4	T0 (ขาอินพุตของ Timer 0)
P3.5	T1 (ขาอินพุตของ Timer 1)
P3.6	WR (สำหรับสัญญาณเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก)
P3.7	RD (สำหรับสัญญาณอ่านหน่วยความจำข้อมูลภายนอก)

ตารางที่ 2.1 หน้าที่พิเศษของขาต่าง ๆ ของ PORT 3

ดังนั้น เมื่อมีการใช้สัญญาณดังกล่าว จึงไม่ควรเขียนข้อมูลไปที่พอร์ต 3 จะทำให้การทำงานของ 8051 ผิดพลาดได้

RST : เป็นขาสำหรับรีเซตการทำงานของ 8051 โดยการให้ลอจิกหนึ่งเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ช่วง Machine Cycle

ALE : เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตซ์ของขา พอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก

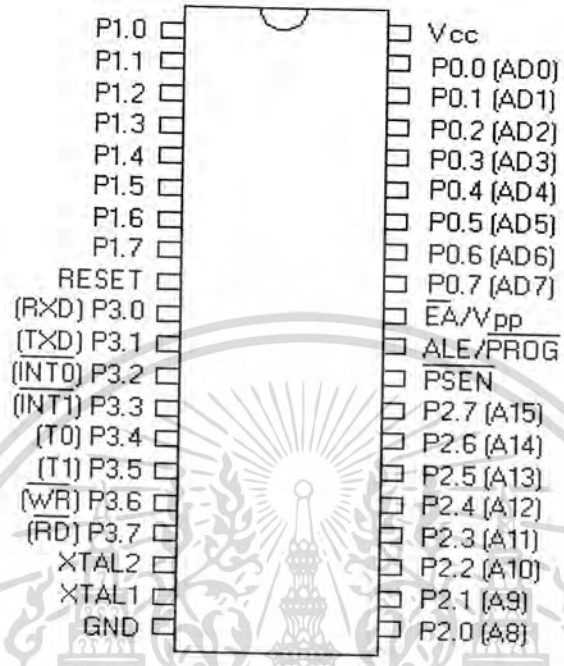
PSEN : เป็นขาสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

EA : เป็นขาใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ให้ลอจิก 0 จะอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และลอจิก 1 จะอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

XTAL1 : ขาเข้าของวงจรกำเนิดความถี่อ้างอิงภายในของ 8051

XTAL2 : ขาออกของวงจรกำเนิดความถี่อ้างอิงภายในของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

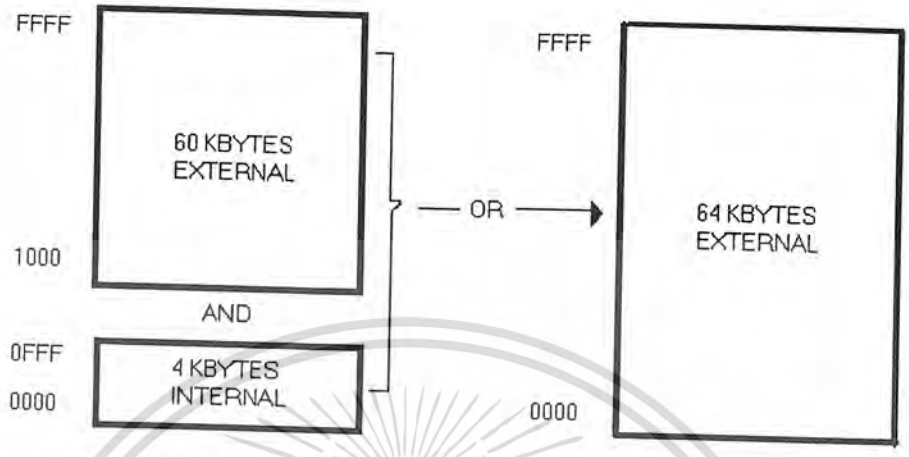


รูปที่ 2.1 การจัดขาของ 8051

2.2 โครงสร้างหน่วยความจำของ 8051

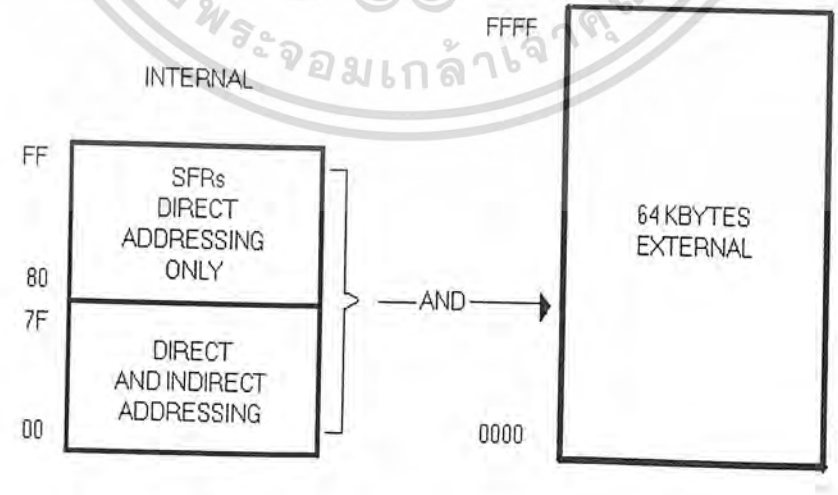
ดังที่กล่าวมาแล้ว 8051 จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน ได้แก่ หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล โดยมีขนาดของแต่ละส่วนเท่ากับ 64 กิโลไบต์ ในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมจะเป็นส่วนหน่วยความจำสำหรับอ่านอย่างเดียว โดยที่ 8051 จะใช้สัญญาณ PSEN ในการอ่านเท่านั้น แต่หน่วยความจำข้อมูลของ 8051 จะสามารถอ่านและเขียนได้โดยใช้สัญญาณ RD และ WR ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถรวมหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลเข้าด้วยกันได้ โดยนำสัญญาณ RD และ PSEN มาต่อเข้าวงจรแอนเกท สำหรับสร้างสัญญาณในการอ่านหน่วยความจำ นอกจากนี้หน่วยความจำโปรแกรมยังแบ่งออกเป็นภายนอกและภายในของ 8051 ดังแสดงใน รูปที่ 2.2 รูปที่ 2.3 โดยรูปที่ 2.2 แสดงหน่วยความจำโปรแกรมในกรณีที่เลือกใช้หน่วยความจำภายนอกและภายใน ในด้านซ้ายมือเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่มีขนาด 4 กิโลไบต์ของ 8051 ส่วนที่เหลือจะเป็นหน่วยความจำภายนอก ส่วนด้านขวามือแสดงหน่วยความจำโปรแกรมเมื่อเลือกให้ติดต่อหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงหน่วยความจำโปรแกรมของ 8051

สำหรับหน่วยความจำข้อมูลของ 8051 สามารถแบ่งออกเป็นภายนอกและภายใน โดยหน่วยความจำภายนอกแสดงไว้ด้านขวามือของรูปที่ 2.3 ซึ่งมีขนาด 64 กิโลไบต์ ส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายในแสดงไว้ด้านซ้ายของรูปที่ 2.3 โดยหน่วยความจำภายในของ 8051 แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนของหน่วยความจำข้อมูลที่สามารถอ้างอิงแบบ Direct และ Indirect ซึ่งมีขนาด 128 ไบต์ กับหน่วยความจำที่อ้างอิงได้เฉพาะแบบ Direct หรือในส่วนนี้จะเรียกอีกแบบหนึ่งว่า SFR (Special Function Register) โดยจะแบ่งกล่าวได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงหน่วยความจำข้อมูลของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของหน่วยความจำข้อมูลภายในที่อ้างอิงแบบ direct และ Indirect นั้นจะสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 เรียกว่า Register Banks 0-3 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งความจำข้อมูลภายใน ตั้งแต่ 00H ถึง 1FH จำนวน 32 ไบต์ โดยจะแบ่งออกเป็นชุด ชุดละ 8 ไบต์จำนวน 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีชื่อเรียกเป็น R0 ถึง R7 จะเป็น Register ที่ใช้งาน โดยเมื่อ 8051 ถูกรีเซต Register Bank 0 จะถูกเลือกใช้

ส่วนที่ 2 เรียกว่า Bit Addressable Area ซึ่งมีขนาด 16 ไบต์ที่ตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูล 20H ถึง 2FH ในส่วนนี้สามารถที่จะอ้างอิงข้อมูลได้เป็นระดับบิตถึง 128 บิต โดยการอ้างอิงตำแหน่งโดยตรงในลักษณะบิต ตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH

รูปที่ 2.4 แสดงหน่วยความจำข้อมูลภายใน

ส่วนที่ 3 เรียกว่า Scratch Pad Area จะอยู่ที่ตำแหน่งตั้งแต่ 30H ถึง 7FH ซึ่งเป็นบริเวณหน่วยความจำข้อมูลภายในเอนกประสงค์ที่ผู้ใช้สามารถใช้ได้โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถใช้หน่วยความจำข้อมูลบริเวณนี้สำหรับการเก็บข้อมูลแบบ Stack ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของหน่วยความจำข้อมูลภายในที่ใช้อ้างอิงแบบ Direct เพียงอย่างเดียวหรือที่เรียกว่า SFR ซึ่งเป็นส่วนสำหรับเก็บหรือกำหนดการทำงานภายในของ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ในส่วนของบริเวณนี้จะมีขนาด 128 ไบต์แต่ในการใช้งานนั้นใช้ได้เฉพาะตำแหน่งซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.5เท่านั้น หากผู้ใช้อ้างตำแหน่งนอกเหนือจากนี้นั้นจะได้ข้อมูลที่คาดเดาไม่ได้ โดยแต่ละตำแหน่งจะมีหน้าที่ดังนี้

ACC : เป็น Accumulator ซึ่งเป็นรีจีสเตอร์สำหรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก โดยผู้ใช้สามารถอ้างอิงได้ในรูปแบบของไบต์หรือระดับบิตได้

B : เป็นรีจีสเตอร์พิเศษสำหรับใช้กับคำสั่งในการคูณหรือหาร นอกจากนี้ยังใช้เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บพักข้อมูลได้

PSW : เป็นรีจีสเตอร์ Program Status Word หรือแฟลกจะแสดงสถานะการทำงานของ 8051 สำหรับการตรวจสอบซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในภายหลัง

	8 Bytes							
F8								FF
F0	B							F7
E8								EF
E0	ACC							E7
D8								DF
D0	PSW[1]							D7
C8	T2CON[1][2]	T2MOD[2]	RCAP2L[2]	RCAP2H[2]	TL2[2]	TH2[2]		CF
C0								C7
B8	IP[1]							BF
B0	P3							B7
A8	IE[1]							AF
A0	P2							A7
98	SCON[1]	SBUF						9F
90	P1							97
88	TCON[1]	TMOD[1]	TL0	TL1	TH1			8F
80	P0	SP	DPL	DPH				PCON[1] 87

↑ Bit Addressable

Notes: 1. SFRs converting mode or control bits
2. AT89C52 only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของ Special Function Register

SP : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับชี้หน่วยความจำข้อมูลภายในสำหรับการเก็บแบบ Stack

DPTR : เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็น 8 บิตบนและ 8 บิตล่าง ให้สำหรับชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกหรือสำหรับการอ่านตารางข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรม

P0 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับพอร์ต 0 ของ 8051

P1 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับพอร์ต 1 ของ 8051

P2 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับพอร์ต 2 ของ 8051

P3 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับพอร์ต 3 ของ 8051

IP : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์ของ 8051

IE : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับกำหนดการรับหรือไม่รับการอินเตอร์รัพท์ของ 8051

TMOD : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับควบคุมหน้าที่ของ Timer/Counter ของ 8051

TCON : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของ Timer/Counter ของ 8051

T2CON : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของ Timer/Counter 2 ของ 8052

TH0 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ Timer/Counter 0 8บิตบน

TL0 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ Timer/Counter 0 8บิตล่าง

TH1 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ Timer/Counter 1 8บิตบน

TL1 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ Timer/Counter 1 8บิตล่าง

TH2 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ Timer/Counter 2 8บิตบนของ 8052

TL2 : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ Timer/Counter 2 8บิตล่างของ 8052

RCAP2H : เป็น Capture Register ของ Timer/Counter 2 8บิตบนของ 8052

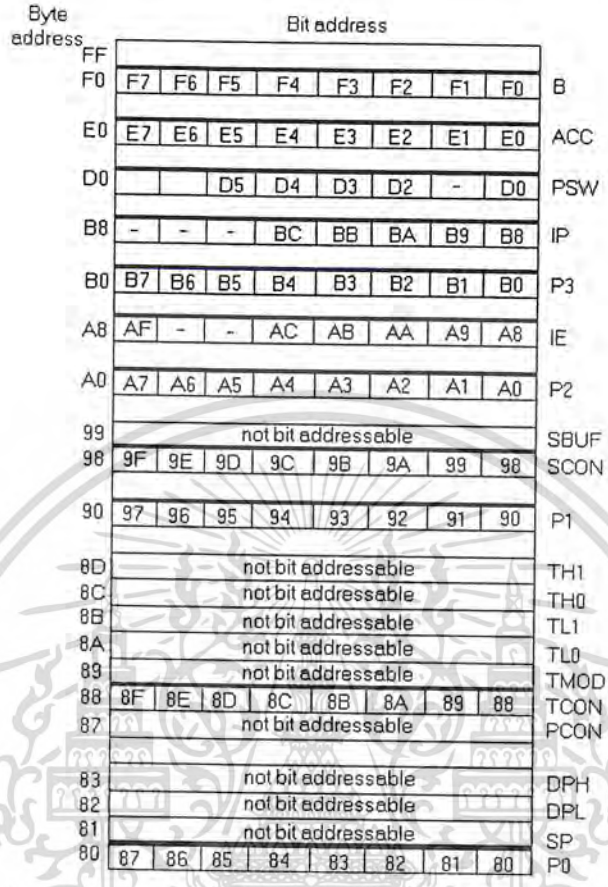
SCON : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับควบคุมการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมของ 8051

SBUF : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับเก็บพักข้อมูลที่ได้จากการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมของ MCS - 8051

PCON : เป็นรีจีสเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของ MCS-8051 ด้านเกี่ยวกับการใช้กำลังไฟฟ้า

ในส่วนของรีจีสเตอร์ SFR นี้สามารถที่จะอ้างอิงในระดับบิตได้โดยตำแหน่งการอ้างอิงระดับบิตซึ่งได้แสดงไว้ในตาราง รูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งการอ้างอิงระดับบิตของรีจิสเตอร์ SFR

2.3 TIMER

ตัว Timer อาจพิจารณาได้ง่าย ๆ ว่าเป็นตัวฟลิปฟลอปมาต่อเรียงกันโดยมี Clock เป็นอินพุด สำหรับเอาต์พุทที่ออกมาจากฟลิปฟลอปแต่ละตัวจะถูกหารด้วย 2 พิจารณาการต่อฟลิปฟลอปตามรูปที่ 2.7 ถ้าใส่ Clock เข้าไปในฟลิปฟลอปตัวแรก ความถี่ของ Clock ที่ออกจากเอาต์พุทตัวแรกจะถูกหารด้วย 2 และเอาต์พุทนี้จะต่อกับฟลิปฟลอปตัวที่สอง และสัญญาณที่ออกมาจะถูกหารด้วย 2 อีก ดังนั้น ถ้ามีฟลิปฟลอปต่ออยู่ n Stages จะหารสัญญาณนาฬิกาได้ 2^n ถ้าให้เอาต์พุท Stage สุดท้ายของ Timer เป็น Overflow Flip-Flop หรือ Flag และจะให้เอาต์พุทออกมาเมื่อการนับเป็น Overflow เช่น ถ้าเป็นตัวนับแบบ 16 บิต (มีฟลิปฟลอปต่ออยู่ 16 ตัว) วงจรจะนับตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH เมื่อฟลิปฟลอปเปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H จะให้บิต Overflow ออกมา

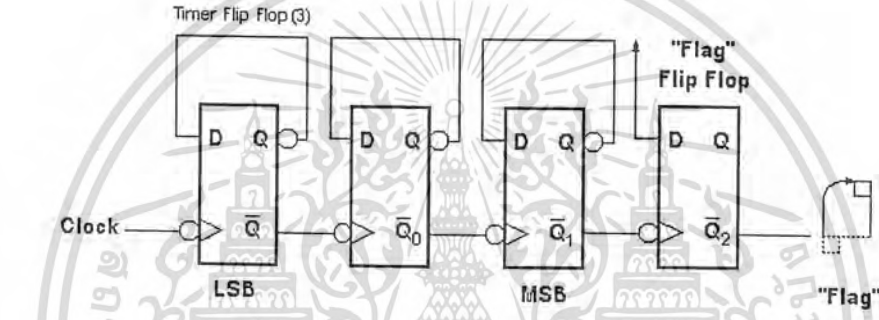
พิจารณารูป 2.7 (ก) เป็น 3-bit Timer โดยฟลิปฟลอปแต่ละตัวจะนำขา Q มาต่อกับ D ซึ่งอาจเรียกว่าเป็นการใช้ฟลิปฟลอปแบบ Divide-by-two Mode โดยความถี่ของสัญญาณที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

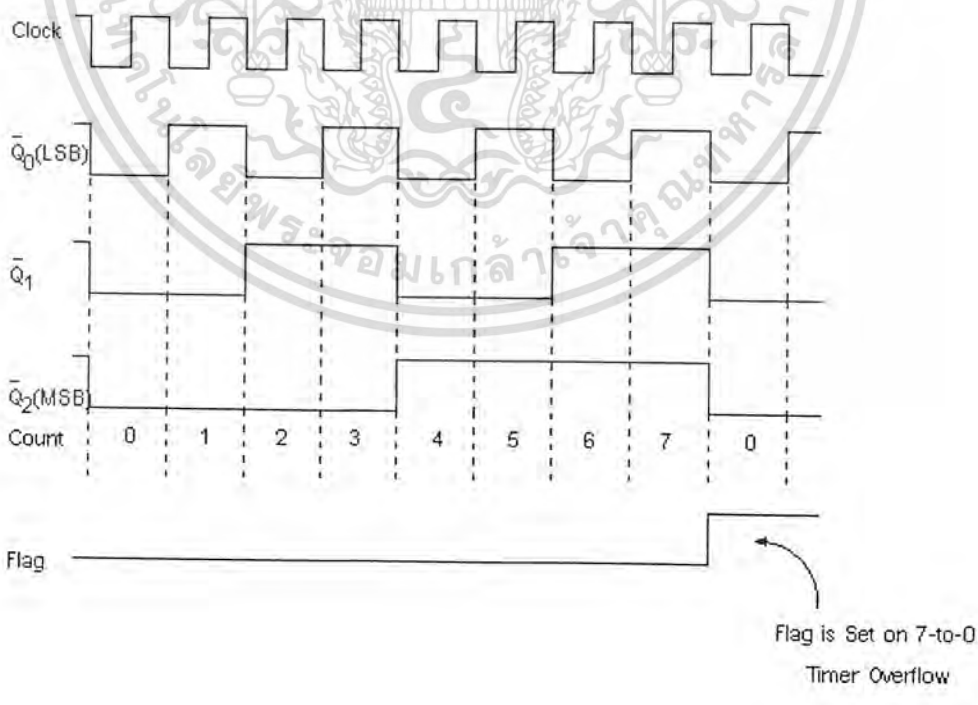
ฟลิปฟลอปแต่ละตัวจะมีค่าหารสองจากสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามา เมื่อนับไปถึงค่า 111 (หรือ $Q_2 = 1, Q_1 = 1, Q_0 = 1$) และเปลี่ยนกลับมาเป็น 000 จะให้บิต Flag ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ข)

ใน MCS – 51 จะมีตัวจับเวลาอยู่ภายในชิพ ถ้าเป็นเบอร์ 8051 หรือ 8031 จะมี 2 ตัว คือ Timer 0 และ Timer 1 แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 จะมีเพิ่มอีกหนึ่งตัวคือ Timer 2 รีจีสเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ Timer แสดงได้ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่ามีรีจีสเตอร์บางตัวสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย นอกจากนี้ตัว Timer สามารถใช้เป็นตัวนับ (Counter) ได้อีกด้วย โดยการโปรแกรมในรีจีสเตอร์ TMOD

(ก)



(ข)



รูปที่ 2.7 รีจีสเตอร์ที่ใช้เป็น Timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจีสเตอร์	หน้าที่	ตำแหน่ง	สามารถอ้างอิงตำแหน่งบิต
TCON	Control	88H	Yes
TMOD	Mode	89H	No
TL_0	Timer 0 Low-byte	8AH	No
TL_1	Timer 1 Low-byte	8BH	No
TH_0	Timer 0 High-byte	8CH	No
TH_1	Timer 1 High-byte	8DH	No
T_2CON*	Timer 2 Control	C8H	Yes
$RCAP_2L$*	Timer 2 Low-byte Capture	CAH	No
$RCAP_2H$*	Timer 2 High-byte Capture	CBH	No
TL_2*	Timer 2 Low-byte	CCH	No
TH_2*	Timer 2 High-byte	CDH	No

* มีในเบอร์ 8032 / 8052

ตารางที่ 2.2 รีจีสเตอร์ที่ใช้เป็น Timer

2.3.1 Timer Mode Register (TMOD)

ตัวรีจีสเตอร์ TMOD เป็นรีจีสเตอร์ควบคุม Timer จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 4 บิต โดย 4 บิตบนจะเป็นการควบคุม Timer 1 ส่วน 4 บิตล่างจะเป็นการควบคุม Timer 0 ความหมายของแต่ละบิตดูในตารางที่ 2.3 ซึ่งตัวรีจีสเตอร์นี้เป็นตัวเลือกการทำงานว่าจะให้ตัว Time/Counter ทำงานในโหมดใด และเป็น Timer หรือ Counter รีจีสเตอร์ TCON ไม่สามารถจะโปรแกรมเข้าไปในระดับบิตได้ (Not Bit-Addressable) ซึ่งการใช้งานมักจะโปรแกรมเข้าไปครั้งเดียวในตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต	ชื่อ	Timer	ความหมาย
7	GATE	1	Gate bit ถ้าบิตนี้เซตวงจรจะทำงาน เมื่อ INT1 เป็น High
A	C/T	1	เป็นบิตเลือก Counter / Timer 1 = ใช้เป็น Counter 0 = ใช้เป็น Timer
5	M_1	1	Mode bit 1 (ดูตาราง 5-3)
4	M_0	1	Mode bit 0 (ดูตาราง 5-3)
3	GATE	0	บิต Gate ของ Timer 0
2	C/T	0	บิตเลือก Counter / Timer ของ Timer 0
1	M_1	0	Timer 0 M_1 bit
0	M_0	0	Timer 0 M_0 bit

ตารางที่ 2.3 รีจีสเตอร์ TMOD (Timer Mode)

M_1	M_0	Mode	ความหมาย
0	0	0	ใช้เป็น Timer แบบ 13-bit (8048 Mode)
0	1	1	ใช้เป็น Timer แบบ 16-bit
1	0	2	ใช้เป็น Timer แบบ 8-bit Auto-reload Mode
1	1	3	Split Timer Mode : แยก Timer 0 ออกเป็น Timer 8 บิตสองตัวคือ TL_0 และ TH_0 โดยไม่ใช้ Timer 1

ตารางที่ 2.4 การใช้ Timer โหมดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Timer Control Register (TCON)

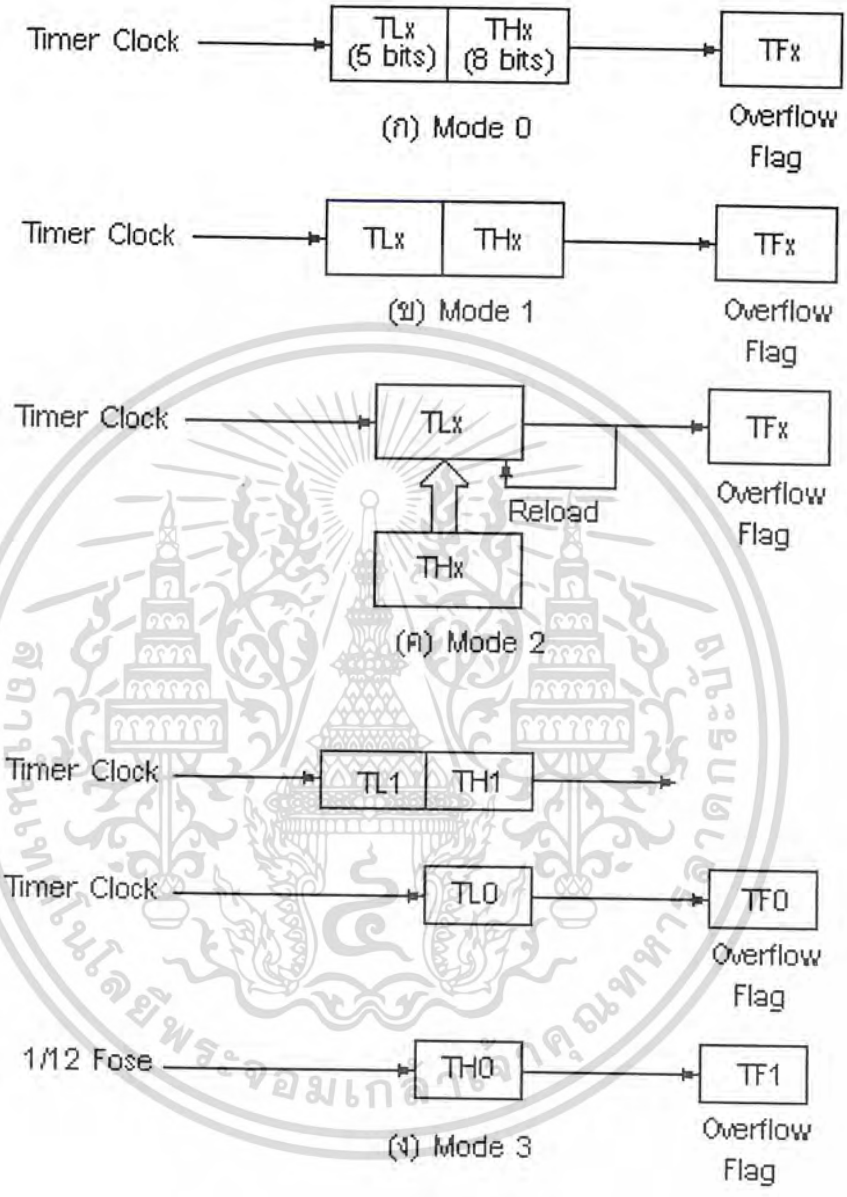
รีจีสเตอร์ TCON เป็นรีจีสเตอร์ที่บอกสถานะและควบคุมบิต Timer 0 และ Timer 1 ซึ่งดูได้จากตารางที่ 2.5 รีจีสเตอร์นี้สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้

บิต	ชื่อ	ตำแหน่งบิต	ความหมาย
TCON.7	TF_1	8FH	บิตแฟลกแสดงการโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 จะ Set โดย Hardware และ Clear โดย Software
TCON.6	TR_1	8EH	บิตควบคุมการปิด-เปิด Timer 1 Set และ Clear โดย Software
TCON.5	TF_0	8DH	แฟลกแสดงการโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 0
TCON.4	TR_0	8CH	บิตควบคุมการปิด-เปิด Timer 0
TCON.3	IE_1	8BH	บิตแฟลกแสดงการอินเทอร์รัพท์จาก INT_1 จะ Set โดย Hardware และสามารถ Clear ได้ด้วย Software
TCON.2	IT_1	8AH	บิตเลือกชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัพท์จากอินเทอร์รัพท์ภายนอก INT_1 สามารถ Set และ Clear ได้ด้วย Software
TCON.1	IE_0	89H	บิตแฟลกแสดงการอินเทอร์รัพท์จาก INT_0
TCON.0	IT_0	88H	บิตเลือกชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัพท์จากอินเทอร์รัพท์ภายนอก INT_0

ตารางที่ 2.5 แสดงความหมายแต่ละบิตของรีจีสเตอร์ TCON (Timer Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.8 การทำงานของ Timer ในโหมดต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50363

2.3.3 Timer Mode And Overflow Flag

เมื่อใช้ Timer 0 และ Timer 1 จะต้องใช้รีจีสเตอร์คู่ TLx และ THx โดยค่า x จะเป็นตัวบอกว่าเป็น Timer 0 หรือ Timer 1 การใช้ Timer สามารถใช้งานได้หลายโหมด ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งเราสามารถเซตค่าโหมดการทำงานได้ โดยการโปรแกรมในรีจีสเตอร์ TMOD

13-Bit Timer Mode (Mode 0)

การทำงานในโหมด 0 นี้จะเป็นการใช้ Timer แบบ 13 บิต ดังแสดงในรูป 2.8(ก) ซึ่งจะใช้ 5 บิตล่างของ TLx โดยไม่สนใจ 3 บิตที่เหลือ และ 8 บิต ของ THx การทำงานในโหมดนี้ เมื่อบิตของ TLx นับไปจนเป็น "1" ทุกบิตจะส่ง Clock 1 ลูกให้ หนึ่งลูกให้ THx นับต่อและเมื่อนับเป็น "1" ทุกบิต และเปลี่ยนกลับเป็น "0" จะเกิด Overflow Flag เกิดขึ้น

16-Bit Timer Mode (Mode 1)

การทำงานในโหมดนี้จะเหมือนกับการทำงานในโหมด 0 แต่เป็น Timer แบบ 16 บิต ซึ่งการนับจะเริ่มตั้งแต่ 0000H,0001H,0002H ไปเรื่อย ๆ และจะเกิด Overlflow ขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H ดังรูปที่ 2.8(ข) ซึ่งเป็นการเซต Overflow Flag และค่านี้จะเกิดขึ้นในบิต TFx ของรีจีสเตอร์ TCON ซึ่งสามารถอ่านและเขียนด้วยโปรแกรม

การใช้ตัว Timer นี้ค่าของบิตสูงสุด (MSB) คือค่าบิต 7 ของ THx ส่วนบิตต่ำสุด (LSB) คือ บิต 0 ของ TLx บิต LSB จะเป็น Toggles เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา ถูกหารด้วย 2 ดังนั้นจะพบว่าบิต MSB จะ Toggles ด้วยค่าความถี่ของสัญญาณอินพุทหารด้วย 65,536 (2^{16}) และค่า Timer รีจีสเตอร์นี้ (TLx/THx) สามารถอ่านและเขียนได้ด้วยการโปรแกรม ดังนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ตามต้องการ

8-Bit Auto – Reload Mode (Mode 2)

การทำงานในโหมด 2 เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า 8-bit Auto – reload Mode โดยใช้ Timer ไบต์ต่ำ (TLx) เป็น Timer แบบ 8 บิต เมื่อไบต์ต่ำเกิด Overflows หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก FFH เป็น 00H จะมีการโหลดค่าที่เก็บไว้ในไบต์สูง (THx) ไปเก็บไว้ในไบต์ต่ำ (TLx) ซึ่งจะเป็นค่าเริ่มต้นของการนับครั้งต่อไป นิยมใช้สร้างเป็นฐานเวลาที่สามารถโปรแกรมได้ การทำงานในโหมดนี้แสดงดังรูปที่ 2.8(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Split Timer Mode (Mode 3)

การทำงานในโหมด 3 นี้ ตัว Timer 1 จะไม่ทำงาน ตัว Timer 0 จะแยกเป็น 2 ตัว ตัวละ 8 บิต คือ TL0 และ TH0 เมื่อ Timer เกิด Overflows จะมีการเซตบิต TF0 และ TF1 ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ง)

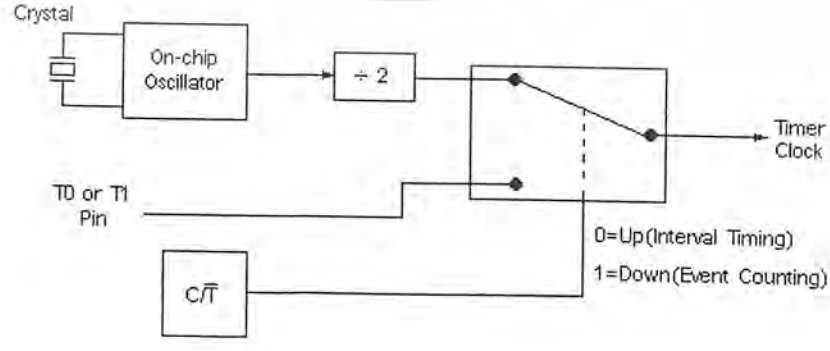
การทำงานในโหมด 3 นี้ Timer 1 จะไม่ถูกใช้งานแต่เราสามารถสวิตช์ให้ Timer 1 ไปทำงานในโหมดอื่นได้ แต่การทำงานของ Timer 1 จะไม่มีการอินเทอร์รัพท์เกิดขึ้น เพราะบิต TF1 ถูกใช้ในการนับของ TH0 ในการทำงานของโหมด 3 ไปแล้ว เราอาจมองว่าถ้าให้ Timer ทำงานในโหมด 3 ทำให้เรามี Timer เพิ่มขึ้น คือ TH0 และ TL0 ใน Timer 0 โหมด 3 และโปรแกรมให้ Timer 1 ไปทำงานในโหมดอื่น ๆ

Clocking Source

ในรูปที่ 2.8 ไม่ได้แสดงว่า Timer Clock นำมาจากที่ใดซึ่งการใช้ Timer นี้สามารถใช้ได้ 2 หน้าที่ คือ เป็นตัวจับเวลา (Timer) และเป็นตัวนับ (Counter) ซึ่งสามารถโปรแกรมได้โดยการเซตหรือรีเซตบิต C / T ในรีจีสเตอร์ TMOD

การใช้เป็นตัวจับเวลา (Timer)

ถ้าบิต C / T ใน TMOD เป็นลอจิก "0" จะเป็นการเลือกให้ Timer นำ Clock มาจากวงจร Oscillator ในชิพ ซึ่งสัญญาณนาฬิกาจะเข้ามาทุก ๆ Machine Cycle หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าใน THx และ TLx จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการนับแต่ละครั้งใช้เวลาเท่ากับ 1/12 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้บนชิพ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถ้า MCS – 51 ใช้สัญญาณนาฬิกา 12 MHz การนับจะมีความถี่เท่ากับ 1 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่เข้าขา Timer

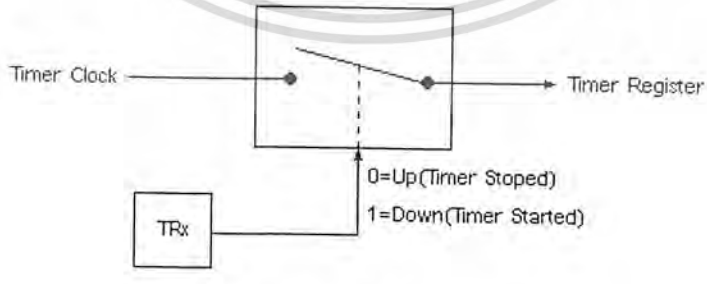
การใช้เป็นตัวนับ (Counter)

ถ้าบิต C / T เป็น "1" ตัว Timer จะนำ Clock มาจากภายนอกโดยใช้ขา $P_{3.4}$ หรือ T_0 เป็นขา Input Clock ให้กับ Timer 0 และใช้ขา $P_{3.5}$ หรือ T_1 เป็น Input Clock ให้กับ Timer 1 ดังรูปที่ 2.9 หรืออาจมองว่า ถ้าจะให้นับอะไรสัญญาณที่จะนับให้ต่อกับขา T_0 และ T_1 ในการใช้เป็น Counter สัญญาณที่เข้ามามีการเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" จะทำให้วงจรนับ TLx มีค่าเพิ่มขึ้น 1 ภายใน MCS – 51 นี้จะตรวจสอบขาอินพุต T_0 และ T_1 ในช่วงเวลาเฟส 2 ของ State 5 (S_5P_2) ถ้าพบว่ามีค่าเป็น "1" ต่อมาในอีกหนึ่ง Machine Cycle ที่เฟส 2 ของ State 5 (S_5P_2) ลอจิกอินพุตเปลี่ยนเป็น "0" จะทำให้ค่าใน Timer เพิ่มขึ้น 1 ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการนับ 1 ครั้งจะต้องใช้เวลา 2 Machine Cycles ดังนั้นความถี่สูงสุดที่จะให้ Timer ทำงานเป็น Counter นับได้ จะมีค่ามากที่สุด 500 kHz ถ้า MCS – 51 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz

2.3.5 การเริ่ม , หยุด และการควบคุม Timer

ในรูปที่ 2.8 จะแสดงลักษณะของ Timer Registers ซึ่งจะเห็นว่าประกอบด้วย TLx และ THx และเมื่อเกิด Overflow จะเกิดเอาต์พุทที่บิต TFx สำหรับสัญญาณนาฬิกาที่จะเข้าไปใน Time จะมาจาก 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.9 ต่อไปจะกล่าวถึงว่าเราจะควบคุมให้เริ่ม , หยุดตัว Timer ได้อย่างไร

วิธีเริ่มและหยุดตัว Timers สามารถควบคุมได้ที่บิต TRx ในรีจีสเตอร์ TCON โดยปกติแล้ว TRx จะเคลียหลังจากที่ระบบถูกรีเซต ซึ่งจะเป็นการให้ Timer ไม่นับและ TRx นี้จะเซตได้จากชุดคำสั่ง หรือการโปรแกรม พิจารณารูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การใช้บิตควบคุม TR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวบิต TRx จะเป็นส่วนที่สามารถเข้าถึงข้อมูลในระดับบิตได้ (Bit Addressable)ใน รีจีสเตอร์ TCON ถ้าจะให้ TIMER 0 เริ่มทำงานจะเขียนคำสั่งได้ดังนี้

SETB TR0

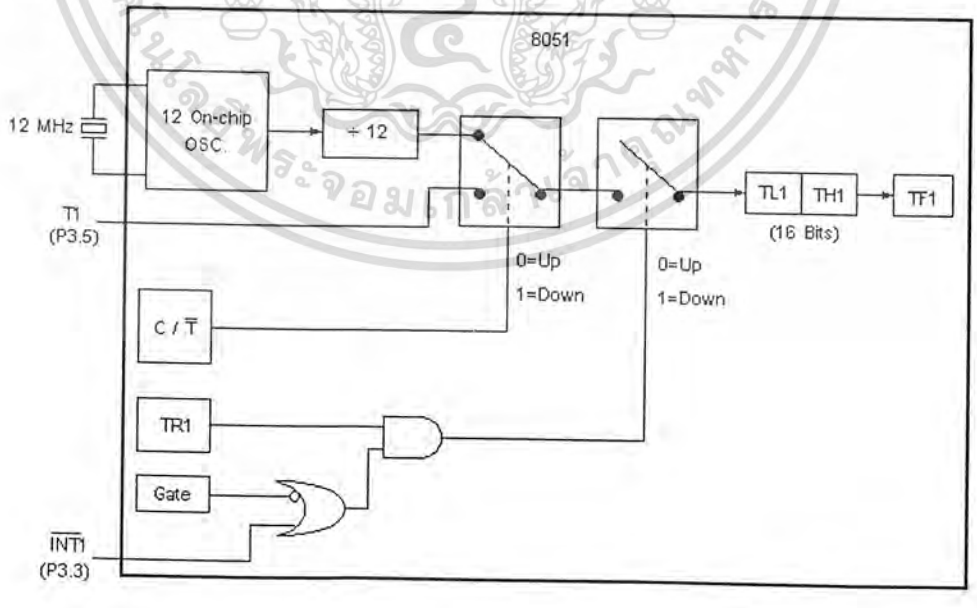
ถ้าจะหยุดทำงานเขียนคำสั่งได้ดังนี้

CLR TR0

ในการเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี สามารถใช้สัญลักษณ์ TR0 ในคำสั่ง SETB TR0 เลยได้ เพราะตัวแอสแซมบลีจะตีความ TR0 เป็น Bit Address ตำแหน่ง 8CH

วิธีควบคุม Timer สามารถควบคุมได้ที่บิต GATE ใน TMOD และขาอินเตอร์รัพท์จากภายนอก INTx ถ้า INT0 เป็นลอจิก "0" และโปรแกรมให้ Timer 0 ทำงานในโหมด 2 เมื่อ TL0/TH0 = 0000H, GATE = 1 และ TR0 = 1 เมื่อ INT0 ขึ้นเป็นลอจิก "1" ตัว Timer จะ "Gate On" และจะให้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz เมื่อ INT0 ลงเป็น "0" ตัว Timer " Gate Off " สัญญาณที่ได้จะมีความกว้างของสัญญาณนาฬิกา 1 μS ส่งเข้าไปใน TL0/TH0

รูปที่ 2.11 จะเป็นระบบที่สมบูรณ์ของ Timer 1 เมื่อทำงานในโหมด 1 ซึ่งเป็น 16-bit Timer โดยใช้รีจีสเตอร์ TL1 / TH1 และ Overflow Flag TF1 ในรูปจะเห็นถึงการควบคุมแหล่งกำเนิด Clock การเริ่มทำงาน และการหยุดทำงาน



รูปที่ 2.11 ระบบทั้งหมดของ Timer 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 Intializing And Accessing Timer Register

การใช้งาน Timer เริ่มแรกจะต้องโปรแกรมเพื่อเลือกโหมดการทำงานของ Timer ก่อนเมื่อเริ่มใช้งานก็โปรแกรมให้ เริ่มทำงาน, หยุดทำงาน, อ่าน และ เคลียร์ค่า Flag Bits อ่านค่า Timer Registers ตามลำดับ เพื่อนำไปประยุกต์การใช้งานต่อไป

TMOD คือ รีจีสเตอร์ที่ต้องโปรแกรม โดยเซตโหมดการทำงานก่อน ตัวอย่างเช่น ถ้าให้ Timer 1 เป็น 16-bits Timer (โหมด 1) นับสัญญาณนาฬิกาบนชิพ สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

MOV TMOD, #00010000B

ผลที่ได้จากคำสั่งข้างบนคือ เซตบิต $M_1 = 0$ และ $M_0 = 1$ ซึ่งเป็นการเลือกโหมด 1 และให้ C / T= 0 และ GATE = 0 ซึ่งเป็นการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายในหรือใช้เป็น Timer และตัว Timer นี้จะยังไม่ทำงาน ถ้าบิตควบคุม TR_1 ยังไม่ได้เซต

ถ้าให้ Timer นี้นับขึ้นโดยใช้รีจีสเตอร์ TL_1 / TH_1 และจะเซตบิต Overflow Flag เมื่อรีจีสเตอร์เปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H โดยให้นับเวลาไป 100 µS หรือให้ TL_1 / TH_1 นับสัญญาณนาฬิกาได้ 100 ลูก ดังนั้นค่าเริ่มต้นของ TL_1 / TH_1 จะไม่เริ่มที่ 0000H จะต้องเริ่มที่ FFFFH ลบด้วย 100 ลูก หรือ FF9CH เพื่อให้นับไปถึง FFFFH และเปลี่ยนเป็น 0000H ได้สัญญาณนาฬิกา 100 ลูกพอดี สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

```
MOV TL1 , # 9CH
MOV TH1 , # 0FFH
```

ถ้าให้ Timer เริ่มทำงานก็ให้บิตควบคุมดังนี้

```
SETB TR1
```

จากนั้นบิต Overflow Flag จะส่งออกมาหลังเวลาผ่านไป 100 µS ซึ่งเราสามารถเขียนโปรแกรมเป็นโปรแกรมวนลูป 100 µS ได้ โดยตรวจสอบบิต TF_1 ว่าถูกเซตหรือไม่ ถ้าไม่เซตก็ให้วนลูปต่อไปดังนี้

```
CLR TR1
CLR TF1
```

การใช้แบบ Readind a Timer "On the Fly"

การใช้งานแบบประยุกต์บางงานจะต้องอ่านค่าจาก Timer Register เนื่องจากตัว Timer Register มีขนาด 2 ไบต์ ถ้าหากไบต์ต่ำเกิด Overflow จะทดเข้าไบต์สูง ถ้าหากเขียนโปรแกรมให้อ่านค่าจากไบต์ต่ำก่อน แล้วจึงอ่านไบต์สูงข้อมูลที่ได้อาจเกิดข้อผิดพลาดได้เนื่องจากไบต์ต่ำมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าไบต์สูง การอ่านข้อมูลควรอ่านจากไบต์สูงก่อน แล้วจึงกลับมาอ่านไบต์ต่ำ จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเพื่อการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในรูปแบบอื่นใดทั้งสิ้น

นั้นอ่านข้อมูลไบต์สูงอีกครั้ง ถ้าค่าไบต์สูงที่อ่านได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้ใช้ค่านั้นได้เลย แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงให้อ่านอีกครั้ง ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจาก TL_1 / TH_1 เข้าในรีจีสเตอร์ R_6 / R_7 อาจเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
AGAIN :  MOV A, TH1
         MOV R6, TL1
         CJNE A, TH1, AGAIN
         MOV R7, A
```

2.3.7 Short Intervals And Long Intervals

ถ้า MCS – 51 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ถ้าให้ Timers ใช้วงจร Oscillator บนชิพ สัญญาณนาฬิกาจะถูกหารด้วย 12 และ Timer จะทำงานด้วยความถี่ 1 MHz ถ้าต้องการใช้โปรแกรมสร้างสัญญาณนาฬิกาออกมาอาจทำได้โดยง่าย ซึ่งพิจารณาจากการทำงานชุดคำสั่งต่าง ๆ ของ MCS – 51 ใน 1 Machine Cycle จะใช้เวลา 1μS ในตารางที่ 2.6 จะแสดงความกว้างของสัญญาณที่สร้างขึ้นจาก MCS – 51 ที่ทำงานด้วย Crystal ความถี่ 12 MHz

Maximum Interval in Microseconps	**Technique**
≈10	Software Tuing
256	8 – bit Timer with Auto-reload
65536	8 – bit Timer
No Limit	16 – bit Timer Plus Software Loops

ตารางที่ 2.6 ค่าสูงสุดของการใช้ Timer โหมดต่าง ๆ

2.4 การอินเตอร์รัพท์

การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปมักมีอุปกรณ์ภายนอกต่อร่วมอยู่ ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการทำงานกับอุปกรณ์ภายนอกจะต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์เหล่านั้นเสมอ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากให้คอมพิวเตอร์พอร์ทหนึ่งต่ออยู่กับหลอด LED 7 ส่วน อีกพอร์ทหนึ่งต่อกับสวิตช์ ถ้าระบบของเราทำงานเป็นนาฬิกาเดินไปให้คอยตรวจสอบสวิตช์ด้วยว่ามีการกดหรือยัง การทำงานแบบนี้เรียกว่า Polling Method คือตัวไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์อินพุตตลอดเวลาว่ามีข้อมูลเข้ามาหรือยัง การทำงานแบบนี้ ถ้ามีอุปกรณ์ภายนอกหลายตัวระบบต้องตรวจ

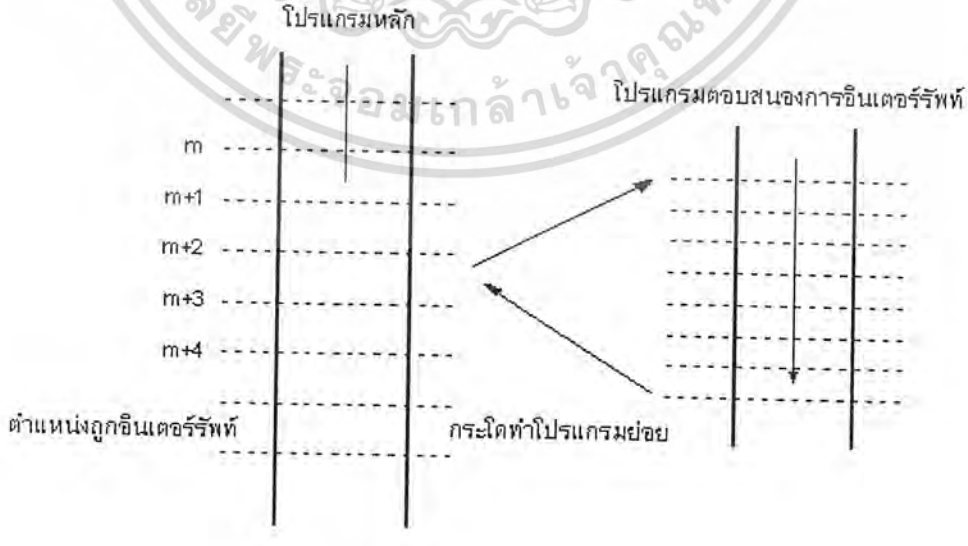
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบอุปกรณ์ภายนอกหลายตัว ทำให้เสียเวลาในการทำงานหลักไป การทำงานอีกแบบหนึ่งจะให้ CPU ทำงานหลัก ถ้ามีการกดสวิตช์เมื่อไรให้นาฬิกาหยุดเดินทันที การทำงานในลักษณะนี้ CPU ไม่ต้องเสียเวลาในการตรวจอุปกรณ์ภายนอก ถ้าอุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับ CPU อุปกรณ์ภายนอกจะส่งสัญญาณมาบอก CPUเอง ระบบนี้เรียกว่า การอินเทอร์รัพท์ (Interrupt)

2.4.1 ขบวนการเกิดอินเตอร์รัพท์

ถ้าหากคอมพิวเตอร์กำลังทำงานโปรแกรมหลักอยู่เมื่อมีการอินเทอร์รัพท์เข้ามาคอมพิวเตอร์จะละทิ้งโปรแกรมหลัก แต่ไปทำงานโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine) เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัพท์เสร็จ คอมพิวเตอร์จะกลับมาทำโปรแกรมเดิม พิจารณารูปที่ 2.12

ถ้า CPU กำลังทำงานโปรแกรมหลักอยู่ เช่นกำลังทำคำสั่งในตำแหน่งของหน่วยความจำที่ m, m+1, m+2 ไปเรื่อย ๆ โดย PC จะชี้ที่ตำแหน่งที่จะอ่านค่าคำสั่งถัดมา เมื่อโปรแกรมทำงานมาถึงตำแหน่งที่ m+3 แล้วเกิดการอินเตอร์รัพท์ขึ้น (ขณะนั้น PC อยู่ที่ m+4) โปรแกรมจะต้องทำงานโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ โดยย้าย PC ไปที่ตำแหน่งที่เก็บโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ จากนั้นจะเก็บค่า PC เดิมลงในหน่วยความจำสแตค เมื่อคอมพิวเตอร์ทำงานโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์เสร็จสิ้นลง จะคืนค่าใน สแตค (m+4) ให้กับ PC ทำโปรแกรมหลักต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเมื่อถูกอินเตอร์รัพท์

2.4.2 สัญญาณอินเตอร์รัพท์

แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่ใช้กับ MCS – 51 มีสองชนิดคือ อินเตอร์รัพท์ภายในและภายนอก โดยอินเทอร์รัพท์ภายในจะเกิดขึ้นจากภายในตัว MCS – 51 เอง ได้แก่สัญญาณจากไทเมอร์แฟลก 0 (TF0) ไทเมอร์แฟลก 1 (TF1) และพอร์ทอนุกรม สำหรับอินเตอร์รัพท์ภายนอกเกิดจากสัญญาณที่กระตุ้นเข้ามาทางขา INT0 และ INT1 เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากแหล่งต่าง ๆ เข้ามา เราสามารถโปรแกรมได้ว่าจะให้ MCS – 51 ยอมให้มีการอินเตอร์รัพท์ได้หรือไม่ โดยการโปรแกรมไปที่ รีจีสเตอร์ IE (Interrupt Enable) และถ้ามีสัญญาณอินเตอร์รัพท์มากจากแหล่งต่าง ๆ หลายแหล่งพร้อมกันเราสามารถจัดลำดับได้ว่า จะให้อินเตอร์รัพท์ใดเกิดก่อน โดยการโปรแกรมไปที่ อินเตอร์รัพท์ไพออริตี้ IP (Interrupt Priority) รีจีสเตอร์ทั้งสองตัวมีรายละเอียดดังนี้

Interrupt Enables

เป็นรีจีสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ใช้สำหรับกำหนดค่าว่าถ้าเกิดการอินเตอร์-รัพท์จากแหล่งต่าง ๆ จะทำอินเตอร์รัพท์เหล่านั้นหรือไม่ โดยรายละเอียดของบิตต่าง ๆ มีดังตารางที่ 2.7

บิต 7 ↓ บิต 0 ↓

EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่งบิต	รายละเอียด
IE.7	EA	AFH	ถ้าเซตยอมให้มีการอินเตอร์รัพท์
IE.6	-	AEH	ไม่ใช้งาน
IE.5	ET2	ADH	Enable อินเตอร์รัพท์จาก Timer 2 (ใช้กับ 8052)
IE.4	ES	ACH	Enable อินเตอร์รัพท์จากพอร์ทอนุกรม
IE.3	ET1	ABH	Enable อินเตอร์รัพท์จาก Timer 1
IE.2	EX1	AAH	Enable อินเตอร์รัพท์จาก INT1
IE.1	ET0	A9H	Enable อินเตอร์รัพท์จาก Timer 0
IE.0	EX0	A8H	Enable อินเตอร์รัพท์จาก INT0

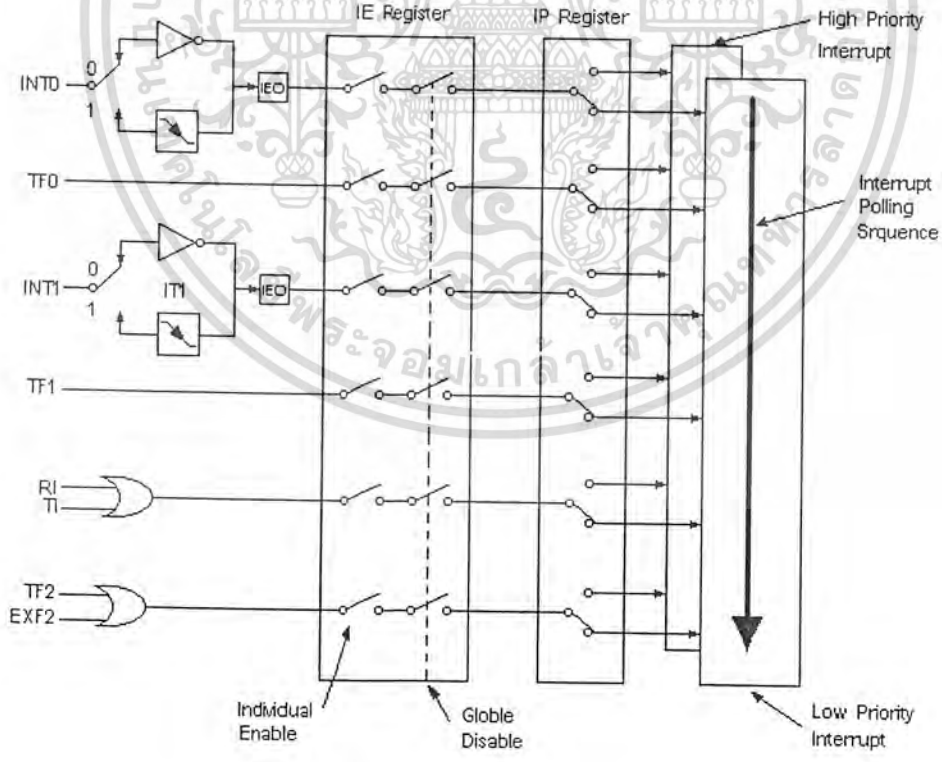
ตารางที่ 2.7 บิตต่าง ๆ ของรีจีสเตอร์ IE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interrupt Priority

เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพท์ซึ่งสามารถจัดได้สองลำดับ ถ้าเป็น "1" หมายความว่ามีความสำคัญสูงสุด ถ้าเป็น "0" หมายความว่ามีลำดับความสำคัญต่ำสุด ความหมายของบิตต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.8 ถ้าหากกำหนดให้มีความสำคัญเป็น "1" เหมือนกันหมด MCS – 51 จะจัดลำดับความสำคัญใหม่ดังนี้

ลำดับ	อินเตอร์รัพท์
1 (สูงสุด)	IE0
2	TF0
3	IE1
4	TF1
5 (ต่ำสุด)	Serial Port



รูปที่ 2.13 รีจิสเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่งบิต	รายละเอียด
IP.7	-	-	ไม่ใช้งาน
IP.6	-	-	ไม่ใช้งาน
IP.5	PT2	0BDH	ใช้กับ Timer 2 (8052)
IP.4	PS	0BCH	ใช้กับพอร์ทอนุกรม
IP.3	PT1	0BBH	ใช้กับ Timer 1
IP.2	PX1	0BAH	ใช้กับอินเทอร์รัพท์จาก INT1
IP.1	PT0	0B9H	ใช้กับ Timer 0
IP.0	PX0	0B8H	ใช้กับอินเทอร์รัพท์จาก INT0

ตารางที่ 2.8 บิตและหน้าที่ต่าง ๆ ของรีจีสเตอร์ IP

จากรูปที่ 2.13 แสดงการอินเตอร์รัพท์จากแหล่งต่าง ๆ ที่มีผลกับ MCS – 51 ถ้าเป็นเบอร์ 8051 8031 จะถูกอินเตอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง ถ้าเป็นเบอร์ 8052,8032 จะถูกอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง โดยเพิ่มอินเตอร์รัพท์จาก Timer 2 ในรูปที่ 2.13 จะแสดงให้เห็นว่า ถ้า MCS – 51 จะถูกอินเตอร์รัพท์ได้จะต้องเซตค่า Global Enable ในรีจีสเตอร์ IE นอกจากนี้ยังกำหนดได้ว่าจะให้อินเตอร์รัพท์ใดเกิดได้ โดยการเซตค่า Interrupt Enable ของอินเตอร์รัพท์จากแหล่งต่าง ๆ ในรีจีสเตอร์ IE จากรูปยังแสดงให้เห็นอีกว่าเมื่อมีการอินเทอร์รัพท์เข้ามาจะมีผลต่อแฟลกใด เช่นถ้า INT0 เป็น "1" บิต IE0 จะเป็น "1" หมายความว่าถูกอินเตอร์รัพท์ โดยแฟลกต่าง ๆ ที่มีผลจากการถูกอินเตอร์รัพท์แสดงได้ดังตารางที่ 2.9

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเตอร์รัพท์	แฟลก	ประกอบอยู่ในรีจีสเตอร์
External 0	IE0	TCON.1
External 1	IE1	TCON.3
Timer 1	TF1	TCON.7
Timer 0	TF0	TCON.5
Serial port	T1	SCON.1
Serial port	RI	SCON.0
Timer 2	TF2	T2CON.7 (8052)
Timer 2	EXF2	T2CON.6 (8052)

ตารางที่ 2.9 แฟลกที่จะทำงานเมื่อถูกอินเตอร์รัพท์

จากตารางจะเห็นว่า ถ้ามีการอินเตอร์รัพท์จากภายนอกเข้ามา ตัวที่จะอินเตอร์รัพท์ MCS – 51 คือ บิตแฟลก IE0 ซึ่งอยู่ในรีจีสเตอร์ TCON ถ้ามีการสื่อสารแบบอนุกรม เมื่อข้อมูลถูกส่งไปหมดแล้วจะอินเตอร์รัพท์ MCS – 51 ทางบิตแฟลก TI ถ้ารับข้อมูลหมดแล้วจะอินเตอร์รัพท์ MCS – 51 ทางบิตแฟลก RI ซึ่งอยู่ในรีจีสเตอร์ SCON และถ้าใช้ Timer 0 ในการนับเมื่อเกิด Overflow สามารถอินเตอร์รัพท์ MCS – 51 ได้ทางบิต TF0

2.4.3 การทำงานของระบบหลังถูกอินเตอร์รัพท์

เมื่อ MCS – 51 ถูกอินเทอร์รัพท์จะต้องกระโดดไปทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์โดยตำแหน่งที่จะกระโดดไปเรียกว่า อินเตอร์รัพท์เวกเตอร์ (Interrupt Vectors) เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์เรียบร้อยแล้ว MCS – 51 จะกระโดดมาทำงานยังตำแหน่งเดิม โดยก่อนที่จะกระโดดไปทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์จะต้องเก็บค่าตำแหน่งเดิมไว้ โดยเก็บค่า PC ลงหน่วยความจำสแตคซึ่งอยู่ที่หน่วยความจำที่ถูกชี้โดยรีจีสเตอร์ SP เมื่อทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์เสร็จแล้วจะคืนค่าในหน่วยความจำสแตคให้ PC ตามเดิม ค่าอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ของ MCS – 51 แสดงได้ดังตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเทอร์รัพท์	อินเทอร์รัพท์เวกเตอร์
System Reset	0000H
External 0	0003H
Timer 0	000BH
External 1	0013H
Timer 1	001BH
Serial Port	0023H
Timer 2	002BH

ตารางที่ 2.10 อินเตอร์รัพท์เวกเตอร์ของอินเตอร์รัพท์ต่าง ๆ

จากตารางจะเห็นว่าถ้าระบบถูกอินเตอร์รัพท์จากภายนอกทาง INT0 ตัว MCS – 51 จะกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่ง 0003H ถ้าระบบถูกอินเตอร์รัพท์จาก Timer 0 จะกระโดดไปทำงานตำแหน่ง 000BH

2.4.4 การออกแบบโปรแกรมอินเตอร์รัพท์

ในการเขียนโปรแกรมหลัก (Main Program) จะต้องกำหนดค่าว่าจะให้ MCS – 51 ถูกอินเตอร์รัพท์ด้วยอะไร และจะให้ MCS – 51 ถูกอินเตอร์รัพท์ได้หรอไม่ โดยการโปรแกรมค่าต่าง ๆ ใน IE รีจีสเตอร์ ถ้ามีการอินเทอร์รัพท์จากสองแหล่งขึ้นไปควรมีการจัดลำดับความสำคัญในรีจีสเตอร์ IP ดังนั้นในโปรแกรมหลักจะต้องมีการโปรแกรมต่อไปนี้

1. โปรแกรมค่าในรีจีสเตอร์ IE

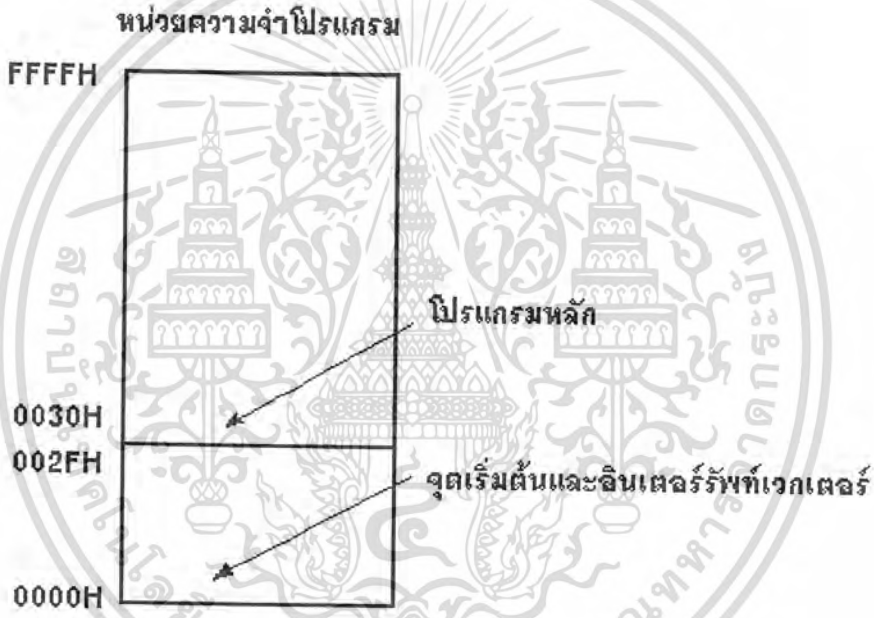
โปรแกรมค่าในรีจีสเตอร์ IP

สำหรับโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ถือว่าเป็นโปรแกรมย่อยโปรแกรมหนึ่ง แต่จะต้องจบโปรแกรมย่อยด้วยค่า RETI (Return From Interrupt)

จากตารางอินเตอร์รัพท์เวกเตอร์ จะเห็นว่าถ้ากด Reset หรือให้ระบบเริ่มทำงาน โปรแกรมจะเริ่มทำงานที่ตำแหน่ง 0000H และจะเห็นว่า ตำแหน่งที่เก็บโปรแกรมหลักมีโอกาส อย่างมากที่จะทับกับหน่วยความจำโปรแกรมที่เก็บค่าอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ที่ตำแหน่ง 0003H ถ้าโปรแกรมยาวมากอาจจะไปทับตำแหน่ง 000BH ได้ซึ่งเป็นตำแหน่งของอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ของ Timer 0 ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมหลัก ภายใน 3 ตำแหน่งแรก คือ 0000H,0001H,0002H จะต้องกระโดดไปที่อื่นก่อน เพื่อให้ข้ามอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ไป ซึ่งอาจเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้ได้รับการสงวนลิขสิทธิ์ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ORG    0000H          ; เริ่มต้นโปรแกรม
        LJMP   MAIN           ; กระโดดไปโปรแกรมหลัก
        .......               ; เพื่อหนีอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์
        .......
        ORG    0030H          ; ตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรม
MAIN :  .......               ; เริ่มต้นโปรแกรมหลัก
        .......
```



รูปที่ 2.14 การจัดตำแหน่งโปรแกรมในหน่วยความจำ

จากตัวอย่างโปรแกรมจะเห็นว่า เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมหรือระบบถูกรีเซต ระบบจะทำงานตำแหน่งแรก คือคำสั่งกระโดดไปโปรแกรมหลัก ซึ่งอยู่ต่อจากโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์-รัพท์ที่อยู่ที่ตำแหน่ง 0030H

โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์แบบสั้น

จากตารางอินเตอร์รัพท์เวกเตอร์ จะเห็นว่าที่เก็บโปรแกรมอินเตอร์รัพท์แต่ละแหล่งจะห่างกัน 8 ไบต์ ดังนั้นถ้ามีการอินเตอร์รัพท์จากแหล่งต่าง ๆ หลาย ๆ แหล่งและโปรแกรมตอบสนองการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเตอร์รัพท์บางโปรแกรมมีขนาดยาวเกิน 8 ไบต์ จะทำให้โปรแกรมไปทับกับตำแหน่งของโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ของอินเทอร์รัพท์ถัดไป แต่ถ้าโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ไม่ยาวมากเกินไปเราสามารถเขียนไปในตำแหน่งนั้นได้เลยดังโปรแกรมต่อไปนี้

```
ORG       0000H
LJMP      MAIN  ; กระโดดไปโปรแกรมหลัก
ORG       000BH ; ตำแหน่งเริ่มต้นของอินเตอร์รัพท์ Timer 0
TOISR:.....
      .....
RETI            ; กลับโปรแกรมหลัก
MAIN:.....      ; โปรแกรมหลัก
      .....
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะใช้อินเตอร์รัพท์จาก Timer 0 เมื่อระบบเริ่มทำงานจะทำตำแหน่ง 0000H โดยกระโดดไปโปรแกรมหลักซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งต่อจากโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์เมื่อมีการอินเทอร์รัพท์ Timer 0 ระบบจะทำโปรแกรมตำแหน่งที่ 000BH ซึ่งเป็นอินเตอร์รัพท์-เวกเตอร์ของ Timer 0 โดยโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์จะจบด้วยคำสั่ง RETI เพื่อกลับสู่โปรแกรมหลักต่อไป

โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ขนาดใหญ่

ในกรณีที่มีการอินเตอร์รัพท์จากหลายแหล่ง และโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์แต่ละโปรแกรมยาวเกิน 8 ไบต์ เราไม่สามารถเขียนโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ไว้ที่ตำแหน่งของอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ได้ ซึ่งจะแก้ปัญหานี้ได้โดยกำหนดให้ตำแหน่งของอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ให้ทำโปรแกรมกระโดด โดยกระโดดไปที่ตำแหน่งเก็บโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ที่เขียนไว้ที่ตำแหน่งอื่นดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

```
ORG   0000H ; เริ่มโปรแกรมของระบบ
LJMP  MAIN  ; กระโดดไปโปรแกรมหลัก
ORG   000BH ; ตำแหน่งของอินเตอร์รัพท์ Timer 0
LJMP  LED1  ; กระโดดไปโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ชื่อ LED1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ORG    0030H  ; ตำแหน่งหลังอินเตอร์รัพท์เวกเตอร์
        MAIN : ……..          ; โปรแกรมหลัก
        ……
LED1 :  ……..          ; โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ Timer 1
        ……
        RETI           ; กลับสู่โปรแกรมหลัก
```

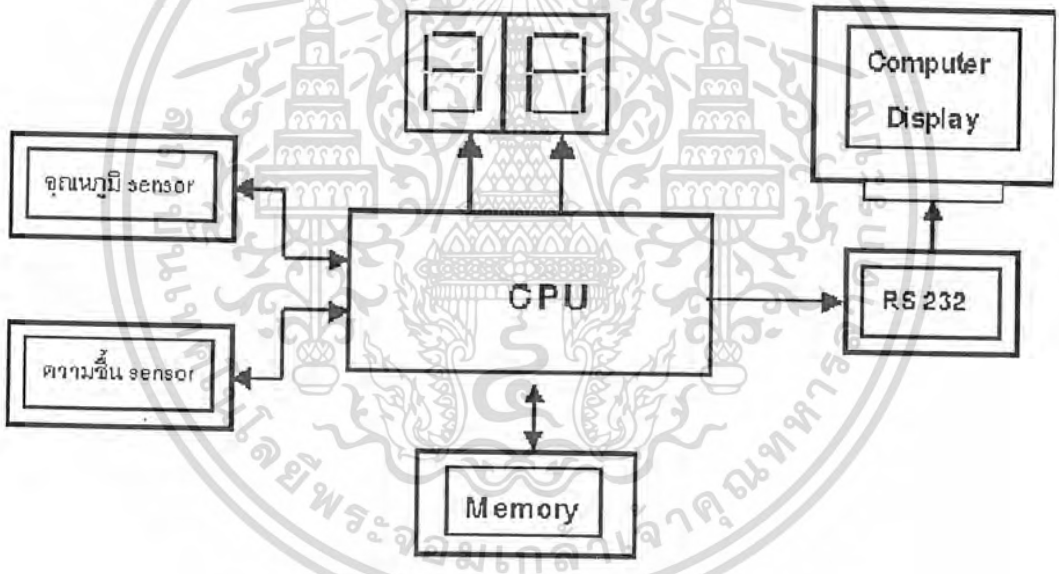
จากโปรแกรมจะเห็นว่า เมื่อระบบทำงาน จะต้องทำที่ตำแหน่ง 0000H โดยกระโดดไปทำโปรแกรมหลักที่ตำแหน่งต่อจาก 0030H เพราะตำแหน่งดังกล่าวข้ามอินเตอร์รัพท์เวกเตอร์จากแหล่งต่าง ๆ ไปแล้ว เมื่อมีการอินเตอร์รัพท์จาก Timer 0 โปรแกรมจะต้องทำงานที่ตำแหน่ง 000BH แต่โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ยาวมาก ที่ตำแหน่ง 000BH จึงให้ทำโปรแกรมกระโดด โดยกระโดดไปที่โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ชื่อ LED1 ซึ่งอยู่ท้ายโปรแกรม เมื่อจบโปรแกรมจะจบด้วยคำสั่ง RETI เพื่อกลับไปโปรแกรมหลักต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ และการสร้างระบบ DATA LOGGER

3.1 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้น

ในการออกแบบในภาคนี้ใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิเบอร์ LM 35 ตัวตรวจจับความชื้นแบบเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าตามค่าความชื้นสัมพัทธ์และในระบบจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 และมีลักษณะการส่งข้อมูล ใน แบบมาตรฐาน RS 232 โดยการทำงานของระบบแสดงดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และระบบการทำงาน

3.1.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ และความชื้น

ในการออกแบบทางด้านอุณหภูมิจะใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิ เบอร์ LM35ดังแสดงในรูปที่ที่ 3.2 ซึ่งไอซีที่ใช้จะใช้ของบริษัท National โดยมีข้อมูลหลัก ๆ ที่ใช้ในการออกแบบได้จากDatasheet ของตัวไอซี LM35 (มีในภาคผนวก) ลักษณะของวงจรจะแสดงดังในรูปที่ 3.3 การทำงานของ ไอซีเบอร์นี้มีหลักการทำงาน คือ ตรวจจับอุณหภูมิแล้วทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ได้มาเป็นค่าของแรงดันในระดับหน่วยของมิลลิโวลท์ และส่งระดับแรงดันนี้ไปยังไอซีแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลของบริษัทเดียวกันนี้ ซึ่งจะใช้เบอร์ ADC 0804

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลของบริษัทเดียวกันนี้ และมีข้อมูลที่น่าสนใจดังนี้

- ตอบสนองต่ออุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส
- มีความเป็นเชิงเส้น โดยมีค่า+10 มิลลิโวลท์/องศาเซลเซียส
- สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิในช่วง –55 องศาเซลเซียส ถึง + 150 องศาเซลเซียส
- ทำงานในช่วง 4 ถึง 30 โวลท์
- การใช้งานมีอุปกรณ์ต่อร่วมน้อยมาก

Typical Applications

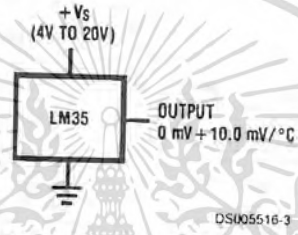
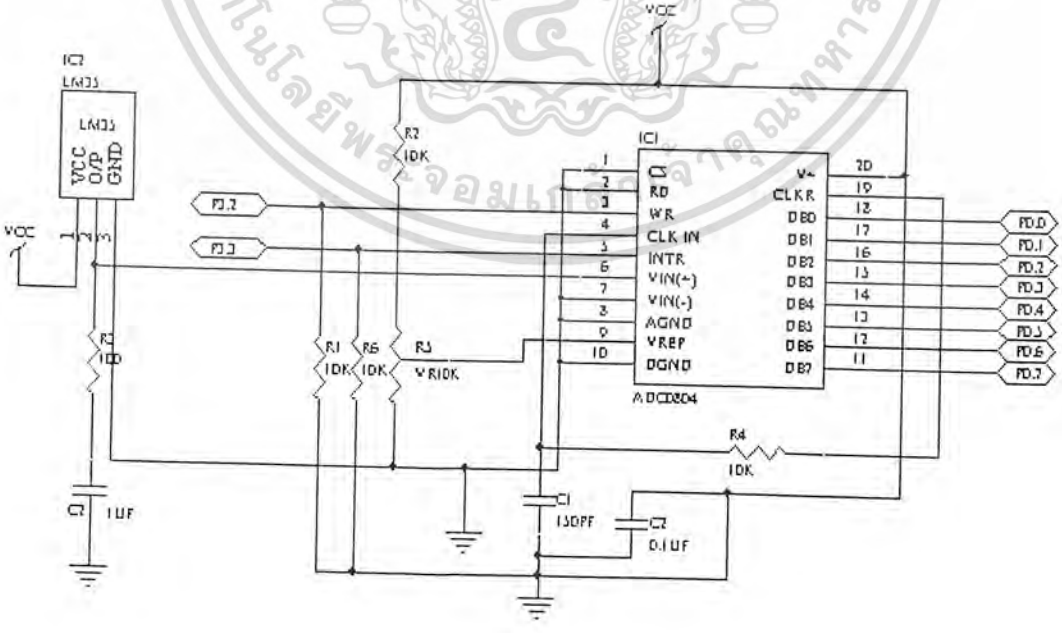


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)

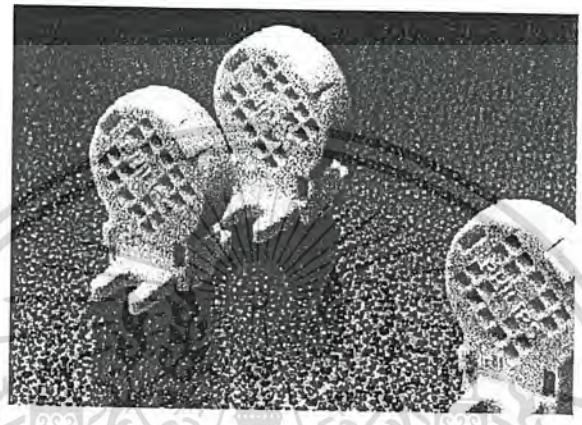
รูปที่ 3.2 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ



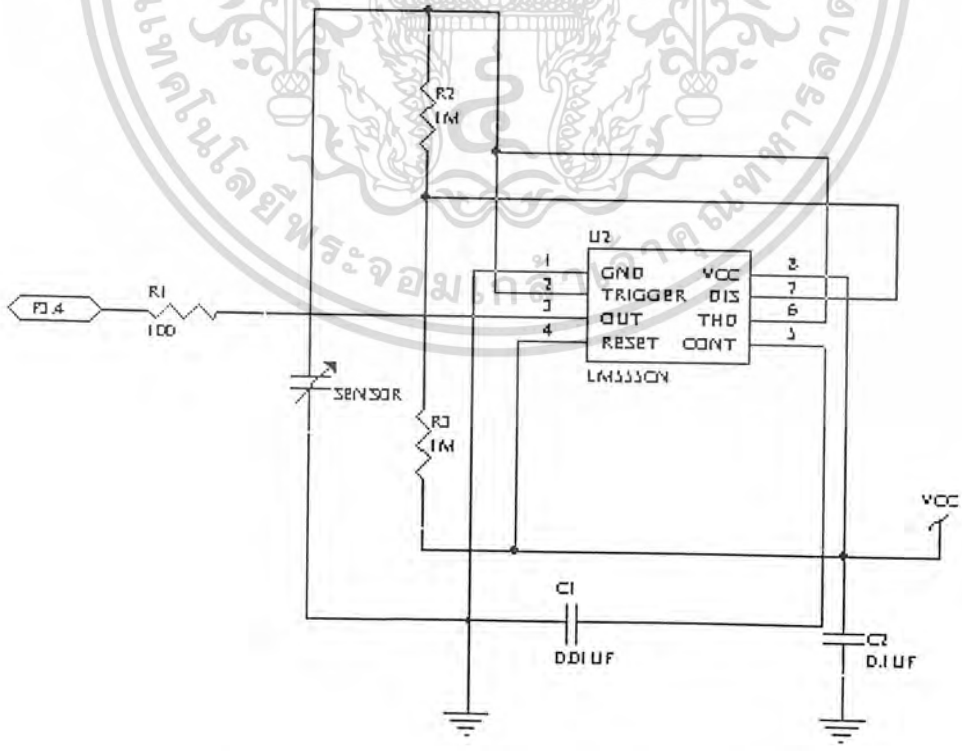
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การใช้งาน LM 35

การออกแบบภาคตรวจจับความชื้น เลือกตัวตรวจจับความชื้นของบริษัท Philips ลักษณะของตัว Sensor แสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งค่าความชื้นในอากาศที่วัดได้จะได้ค่าอยู่ในรูปของความจุไฟฟ้า ซึ่งค่าของตัวเก็บประจุที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 110pF – 150pF ที่ความถี่ 100KHzและสามารถวัดความชื้นในช่วง 10 %RH – 90%RH



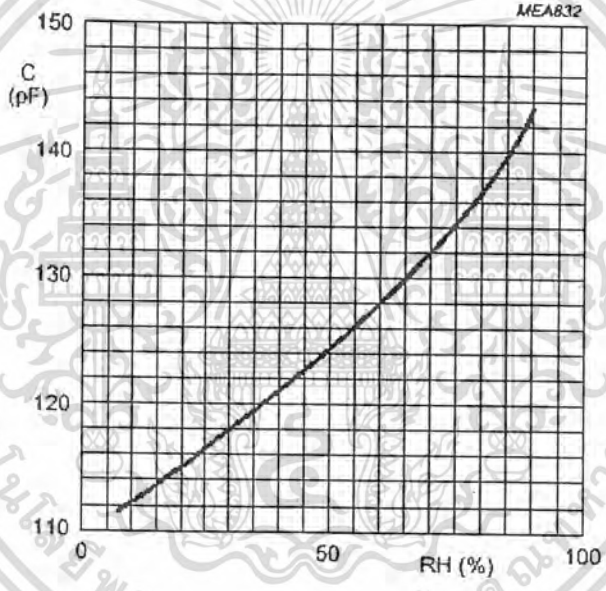
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ตรวจจับความชื้น Philips



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 แสดงวงจรที่ใช้ในการ Sensor ความชื้น

ในการออกแบบวงจรการทำงานโดยใช้เงื่อนไขของความชื้นในอากาศเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวเก็บประจุ เราจึงนำคุณสมบัตินี้มาใช้โดยออกแบบให้อุปกรณ์ตรวจจับความชื้นเป็นค่าตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนแปลงค่า โดยต่อร่วมกับวงจรอะสเตเบิลโดยมีไอซีเบอร์ 555 และตัวตรวจจับเป็นหัวใจหลักในการทำงาน ซึ่งการทำงานได้ถูกออกแบบใน รูปที่ 3.5 เนื่องจากในการออกแบบได้ประสบปัญหา โดยค่าความจุที่ได้จากตัวตรวจจับนั้นมีค่าที่น้อยมากในหน่วยของ pF จึงต้องมีการออกแบบให้สามารถนำวงจรนี้มาใช้งานผลิตความถี่ได้ โดยต่อ RA=RB=1 เมกะโอห์มเพื่อผลิตความถี่ในช่วงของ KHz และต่อเข้ากับขา T0 ของไอซี 89C51 ซึ่งจะทำการนับพัลส์ใน 1 วินาทีเพื่อหาความชื้นในอากาศที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.6 กราฟคุณสมบัติของตัวตรวจจับความชื้น Philips

ในการออกแบบวงจรจากกราฟคุณสมบัตินี้ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ ของข้อมูลของตัวตรวจจับความชื้นเป็นสำคัญ โดยกราฟคุณสมบัติที่ให้มาดังรูปที่ 3.6 นั้นเป็นการวัดหาคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้ากับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ความถี่100 kHz แต่ในวงจรที่เราออกแบบนั้นไม่ได้มีการตอบสนองที่ 100 kHz จึงต้องมีการพิจารณาคุณสมบัติบางประการ คือ ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ที่ 100kHzจะมีค่าผิดพลาดประมาณ 15 % เราจึงสามารถนำค่าที่ได้จากกราฟบวกกับเปอร์เซ็นต์ ผิดพลาด ณ ความถี่ต่างๆ ขึ้นอีก 15 % และสามารถใช้ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้คำนวณความถี่ที่เกิดขึ้นจากวงจรอะสเตเบิลได้

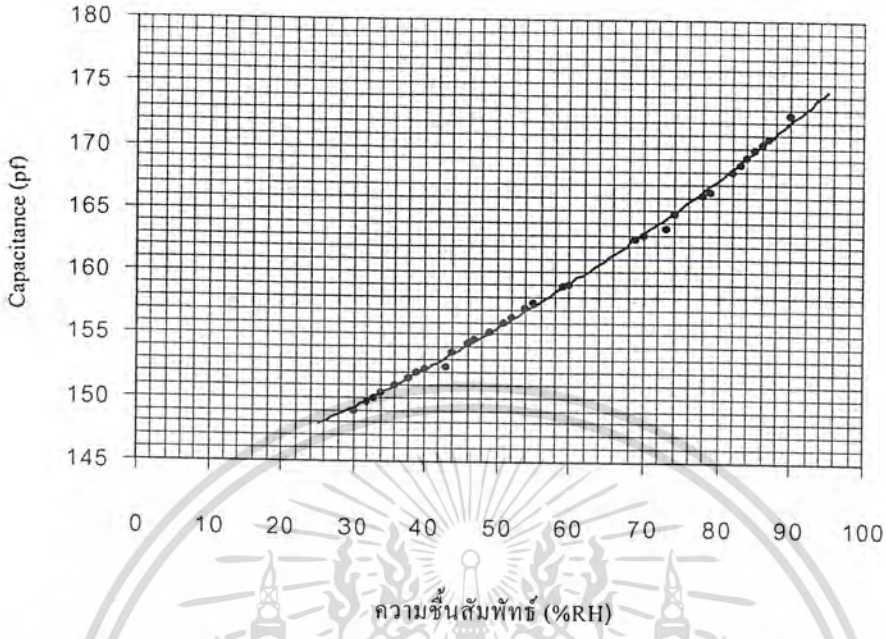
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุเทียบความชื้นสัมพัทธ์โดยทำการวัดค่าของตัวเก็บประจุผ่านทางการวัดค่าของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปกับค่าของความชื้นสัมพัทธ์ ในการทดลองวัดหาค่าความถี่นี้หาได้ จากการออกแบบวงจรในรูปที่ 3.5 แล้วทำการวัดความถี่ที่เกิดขึ้นจากวงจรอะสเตเบิล ซึ่งจะเขียนโปรแกรมลงสู่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 8051 โดยเขียนโปรแกรมให้ MCS - 8051 ทำหน้าที่เป็นเคาน์เตอร์ ซึ่งจะทำการนับพัลส์ที่เกิดขึ้นในหนึ่งวินาที แล้วแสดงผลออกสู่ 7-Segment ค่าที่ได้จะเป็นเลขฐาน 16 ทำการแปลงเป็นเลขฐาน 10 จะได้เป็นความถี่ แล้วนำคำนวณเป็นค่าตัวเก็บประจุ ณ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ใด ในการทดลองนั้นจะทดลองเปลี่ยนค่าของความชื้นสัมพัทธ์โดยการใช้ละอองไอน้ำฉีดพ่นเพื่อเพิ่มความชื้น ใช้สำลีชุบน้ำ เพื่อเปลี่ยนแปลงความชื้น รวมถึงการให้ความร้อน เข้าไปภายในกล่องทดลองโดยผลการทดลองได้บันทึกไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 3.1 แสดงการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุ เทียบความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	Capacitance(pf)	ความถี่ (Hz)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	Capacitance(pf)	ความถี่ (Hz)
30	149	3220	55	157.48	3048
32	149.62	3208	59	158.88	3021
33	150	3200	60	159.04	3018
34	150.37	3129	69	162.60	2952
36	150.94	3180	70	162.98	2945
38	151.61	3166	73	163.59	2934
39	152.04	3157	74	164.66	2915
40	152.23	3153	78	166.20	2888
43	152.47	3129	79	166.49	2883
44	153.6	3125	82	168.01	2857
46	154.39	3109	83	168.65	2846
47	154.68	3103	84	169.25	2836
49	155.23	3092	85	169.79	2827
51	156	3076	86	170.27	2819
52	156.35	3070	87	170.63	2813
54	157.11	3055	90	172.53	2782

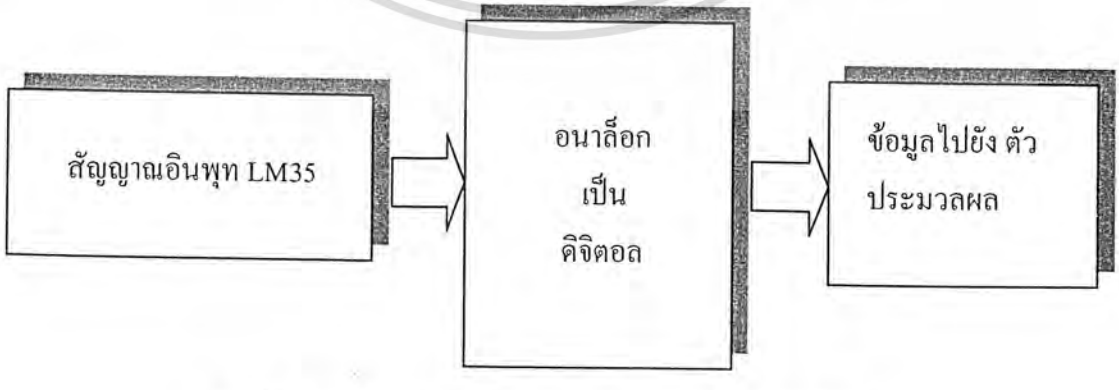
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 3.1 แสดงการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุ เทียบความชื้นสัมพัทธ์

3.2 การออกแบบวงจรการเปลี่ยนสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในการออกแบบวงจรส่วนนี้เข้าทำการออกแบบด้วยการรับ อินพุท เป็นแรงดันจากตัวตรวจจับอุณหภูมิ โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC 0804 ซึ่งเป็น การแปลงสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าเป็นเลขฐาน 16 และส่งข้อมูลออกให้ภาคประมวลผลแบบขนานซึ่งการทำงานสามารถที่จะส่งข้อมูลไปยังตัวประมวลผลได้ถูกต้องแม่นยำ และตัวประมวลผลสามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้องและเกิดความง่ายในการเขียนโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 3.7 บล็อกแสดงการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการให้ข้อมูลแบบขนานนี้ ทำให้ง่ายต่อการออกแบบในการรับข้อมูลและการเขียนโปรแกรมบนตัวไมโครคอนโทรเลอร์ ในการออกแบบวงจร การเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เราต้องพิจารณาข้อมูลทางด้าน อินพุท และแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) และอัตราการแปลงสัญญาณ ในการออกแบบมี สัญญาณไฟตรงมีช่วงอยู่ระหว่าง 0 – 1.25 โวลท์ ซึ่งเพิ่มขึ้น 10 มิลลิโวลท์/องศาเซลเซียส เราจึงต้องออกแบบขา V_{ref} ของ ADC0804 มีค่า 1.25โวลท์ เพื่อที่สามารถแปลงค่าอุณหภูมิได้ในช่วง 0 – 125 องศาเซลเซียส และสิ่งที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง คือ คล็อกออปชั่น โดยเราสามารถกำหนดค่า คล็อก ที่เข้าสู่วงจร โดยใช้ ตัวประมวลผล หรือการตั้งค่า อุปกรณ์ RC ภายนอกตามสูตร

$$f(CLK) = 1 / (1.1*RC) \quad .....(4.1)$$

โดยการกำหนด ค่า ของ R = 10K

$$f(CLK) = 1 / (1.1 * 10K * 150pf)$$

$$= 444.44KHz$$

โดยที่การออกแบบการใช้ค่า C > 50 PF ส่วนขา CS และ RD จะให้ต่อลงกราวด์ เพื่อให้มีการรับ อินพุท ตลอดเวลา โดยเราใช้ขา WR เป็นขาในการสั่งงานให้เกิดเอาท์พุทในการตรวจสอบว่าข้อมูลถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วหรือไม่

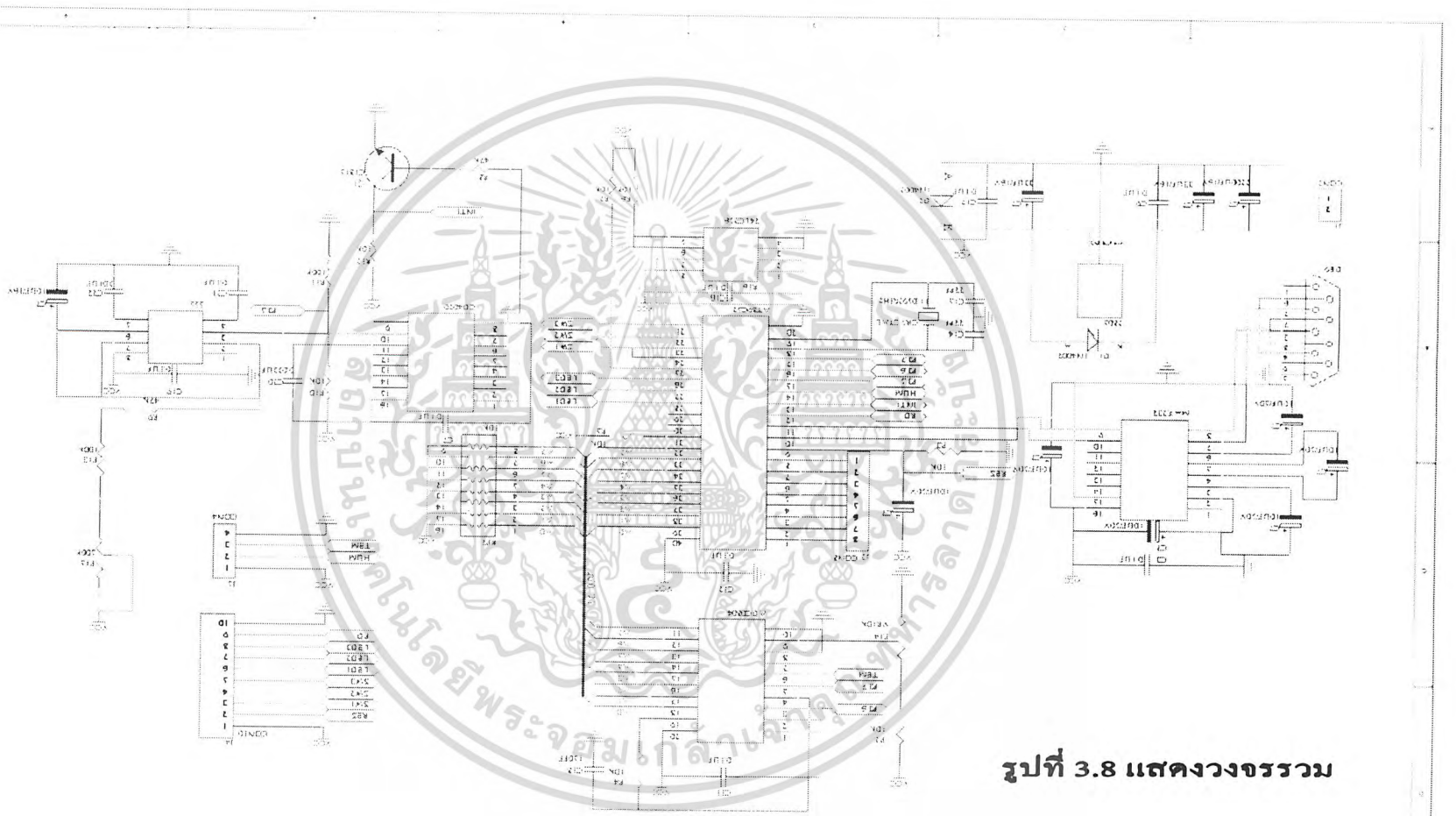
3.3 การออกแบบภาคแสดงผลค่าอุณหภูมิ และความชื้น

ในการออกแบบภาคแสดงผลจะผ่านค่าข้อมูลจากไมโครคอนโทรเลอร์ผ่านไอซีเบอร์ 74LS248 เพื่อทำการแสดงผลทาง 7 เซ็กเมนท์ การใช้ไอซีเบอร์ 74LS248 เพื่อให้ง่ายต่อการแสดงผลและการเขียนโปรแกรมสั่งงานโดยที่ข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับทั้งอุณหภูมิ ความชื้น จะผ่านเข้าสู่ตัวประมวลผล และตัวประมวลผลจะเป็นตัวสั่งงานในการแสดงผล โดยสั่งข้อมูลออกออกสู่พอร์ทเอ และพอร์ทบี ซึ่งพอร์ททั้งสองนั้นจะทำให้เกิดการแสดงผลออกทาง 7 เซ็กเมนท์ ทั้งอุณหภูมิและความชื้น โดยสามารถดูวงจรการออกแบบในรูปที่ 3.8

3.4 การออกแบบMemory

จะเลือกใช้ EEPROM เบอร์ 24LC 256 ซึ่งจะสามารถเก็บข้อมูลได้ 32 Kb อายุการใช้งานนานกว่า 200ปี ในการเก็บข้อมูลจะมีการบันทึกแบบ Series 8 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรรวม

บทที่ 4
การทดลองการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้น

4.1 การตรวจวัดอุณหภูมิ

ในการทดลองจะเป็นการทดลองวัดแรงดันของ ไอซีเบอร์ LM 35 เทียบกับอุณหภูมิ ช่วง 20 – 50 องศาเซลเซียส

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองโดย การนำไอซีเบอร์ LM 35 ทำการทดลองโดยเพิ่มค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 20 – 50 องศาเซลเซียส และทำการวัดค่าแรงดันที่ขาเอาท์พุทของไอซีเบอร์ LM 35 โดยใช้มิเตอร์ แบบเข็ม ตั้งย่าน 2.5 โวลท์ ทำการลด และ เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้ Heater ปรับความร้อน และลดความร้อนโดยใส่น้ำแข็ง ในกล่องทดลองที่มีตัวตรวจจับอุณหภูมิ LM 35 อยู่ภายใน ในขณะเดียวกันจะใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ และเครื่องมือวัดTesto 605- H1ใส่ในกล่องทดลองเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิด้วย โดยสามารถวัดแรงดัน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ตารางที่ 1

ตารางที่4.1 แสดงผลการทดลอง การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดเทียบกับแรงดัน

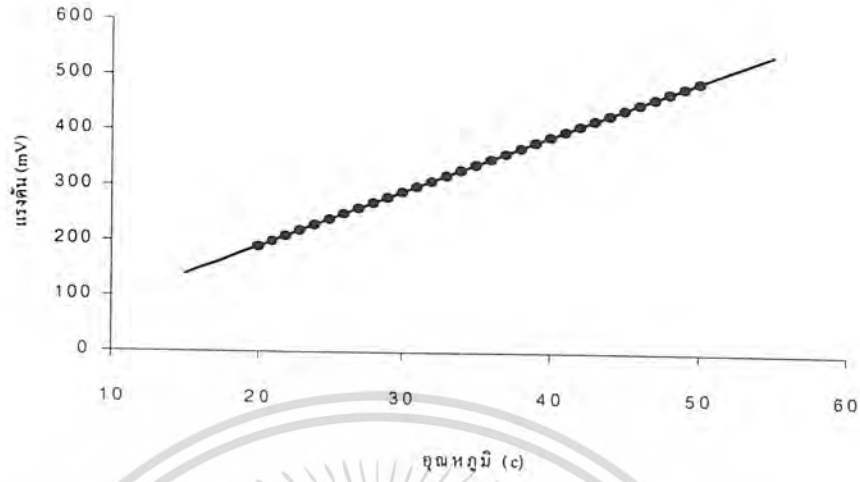
อุณหภูมิ (C°) จาก Sensor	แรงดัน(mV)	เทอร์โมมิ-เตอร์ (C°)	เครื่องวัดรุ่น 605-H1 (C°)
20	190	19	19
21	200	20.5	20.4
22	210	21.7	21.1
23	220	22.9	22.7
24	230	23.5	23.5
25	240	25	23.9
26	250	26	25
27	260	27	26
28	270	28	27.5
29	280	29	28.3
30	290	30	297
31	300	31	30.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

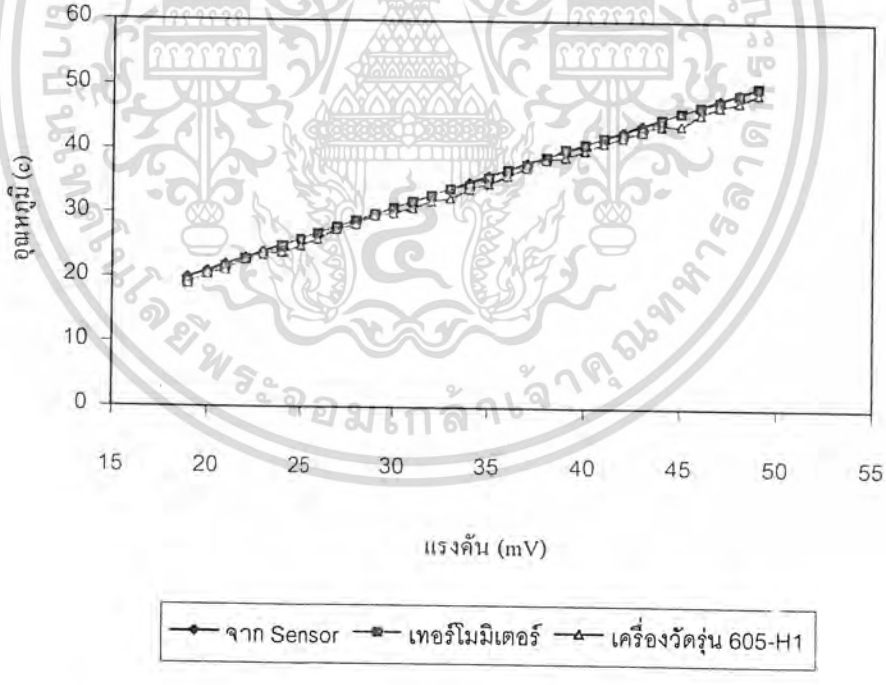
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดเทียบกับแรงดัน

อุณหภูมิ C° จาก Sensor	แรงดัน(mV)	เทอร์โมมิ-เตอร์ C°	เครื่องวัดรุ่น 605-H1 (C°)
32	310	32	31
33	320	33	32
34	330	34	32.5
35	340	34.5	33.9
36	350	35.8	34.8
37	360	37	36
38	370	37.8	37.3
39	380	39	38.6
40	390	40.2	39
41	400	41	40
42	410	42	41.1
43	420	42.6	42
44	430	43	43
45	440	45	43.9
46	450	46	44
47	460	47	45.8
48	470	47.8	47
49	480	48.9	47.7
50	490	50	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับแรงดันตามตารางการทดลองที่ 1



กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่วัดด้วยเครื่องมือต่าง ๆ กับแรงดันตามตารางการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการผลทดลองในตารางที่ 1 เราสามารถนำมาเขียนกราฟ และสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่วัดได้เทียบกับ แรงดันที่เกิดจากไอซีเบอร์ LM 35 มีค่าเป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลของทางบริษัทใน Data Sheet โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อค่าของอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลง คือ 10 มิลลิโวลท์ ต่อ 1 องศาเซลเซียส จากการทดลองวัดค่าที่ได้มีความผิดพลาดของแรงดันที่วัดได้จากข้อมูลของทางบริษัทใน Data Sheet ประมาณ 10 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เราสามารถออกแบบชดเชยได้ทั้งทางโปรแกรม และการออกแบบวงจร

จากกราฟที่ได้เมื่อนำค่าอุณหภูมิที่วัดด้วยเครื่องวัดแต่ละแบบจะเห็นได้ว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าที่ผิดพลาดไปนั้นอาจจะเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของบรรยากาศภายกล่องทดลอง

4.2 การตรวจวัดความชื้น

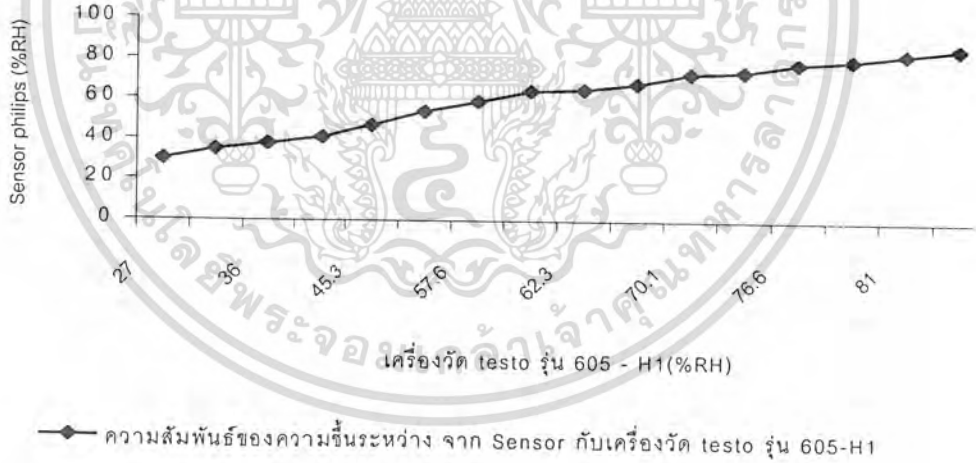
ในการตรวจวัดความชื้นเราจะทำการตรวจวัดโดยการเทียบเครื่องมือวัดความชื้น Testo 605- H1 (% RH) ในการทดลองจะทดลองวัดความชื้นในช่วง 30%RH - 83%RH การทดลองความชื้นจะเป็นการใช้ละอองไอน้ำฉีดพ่นเพื่อเพิ่มความชื้น ใช้ลมเป่าเพื่อเปลี่ยนแปลงความชื้น รวมถึงการให้ความร้อน ซึ่งผลการทดลองได้ บันทึกผล และ หาค่าของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดความชื้นเทียบกับ เครื่องวัดรุ่น605-H1 (% RH)

ความชื้นสัมพัทธ์		
เครื่องวัดรุ่น 605-H1 (% RH)	ตัวตรวจจับความชื้น (% RH)	ค่าผิดพลาด (% RH)
83	86	3.5
81	83	2.7
79	80	2
76.6	78	1.8
76	74	2.7
70.1	73	4
65	68	3.5
62.3	65	4.2
60	64	6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ความชื้นสัมพัทธ์	
เครื่องวัดรุ่น 605-H1 (% RH)	ตัวตรวจจับความชื้น (% RH)	ค่าผิดพลาด (% RH)
57.6	59	2.4
51.7	54	4.3
45.3	47	3.7
40.2	41	2
36	38	2.7
33.7	35	4.3
27	30	1

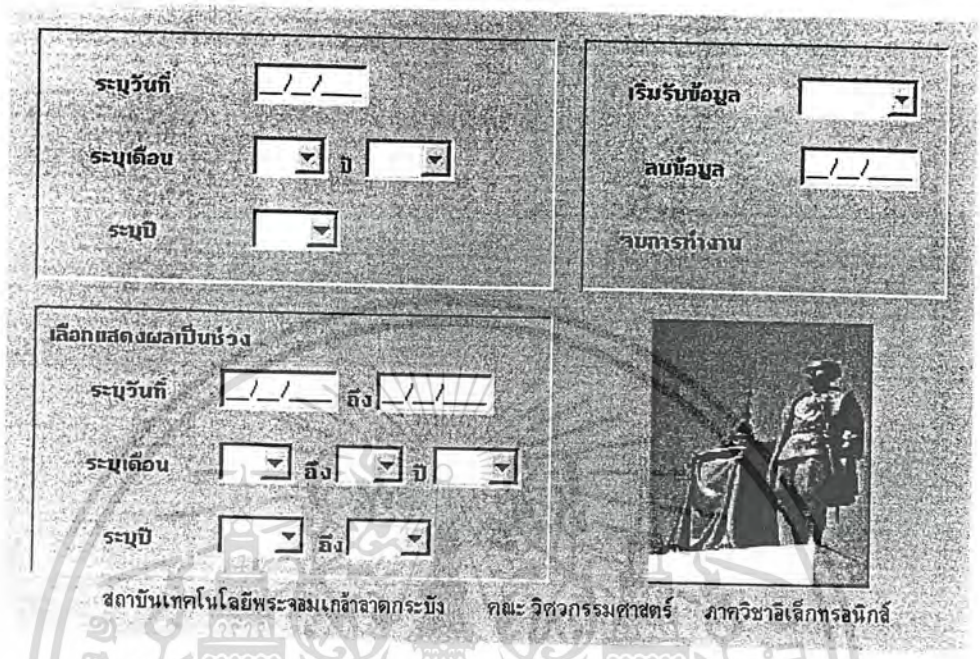


กราฟที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดความชื้นเทียบกับ เครื่องวัดรุ่น605-H1 (% RH)

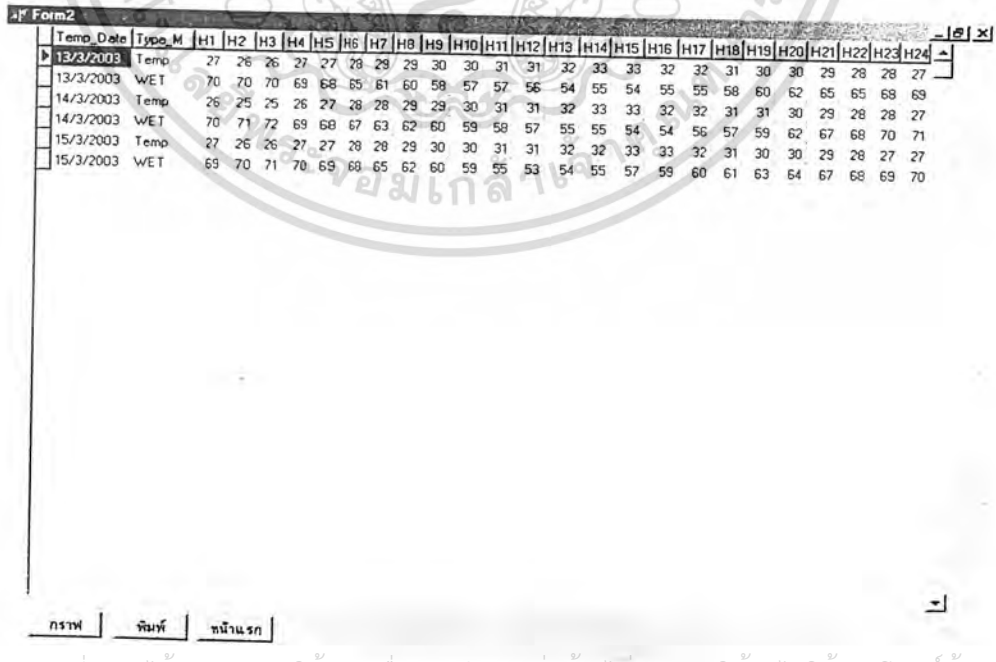
ค่าผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดมาจากความไม่สม่ำเสมอของบรรยากาศภายในกล่องที่ใช้ในการทดลอง และอาจจะเกิดจากการออกแบบที่ไม่เสถียรในการปรับ หรือ setup ค่าต่าง ๆซึ่งข้อมูลที่มีความผิดพลาดไปนั้นเป็นข้อมูลที่สามารถยอมรับได้ในการใช้งาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เราสามารถนำข้อมูลหรือผลความชื้นที่ได้มาใช้ในการทำงานต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการ Load ข้อมูลเข้าสู่ Computer



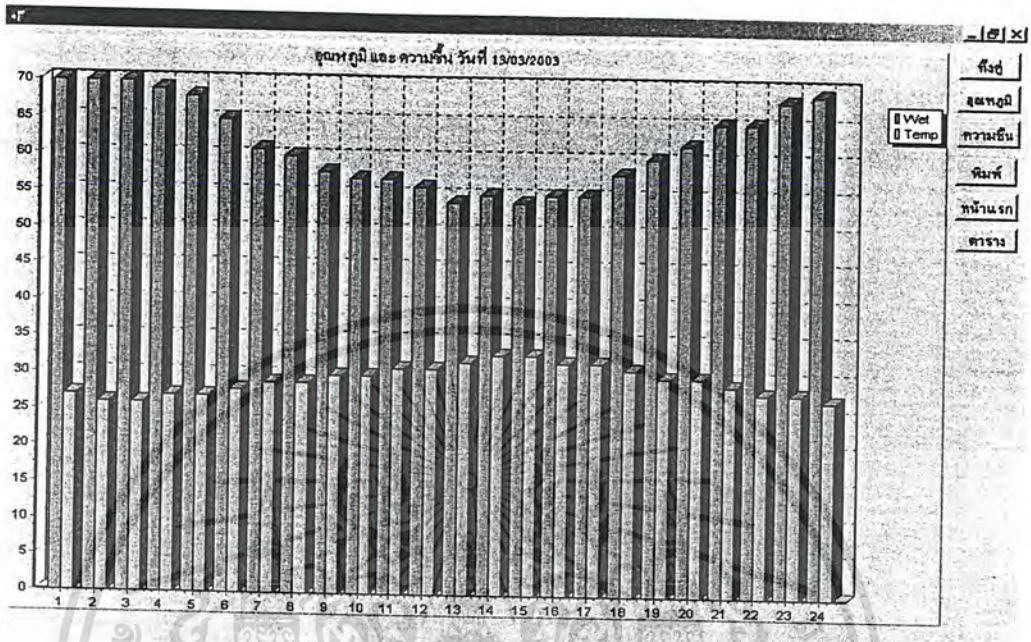
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของหน้าจอ



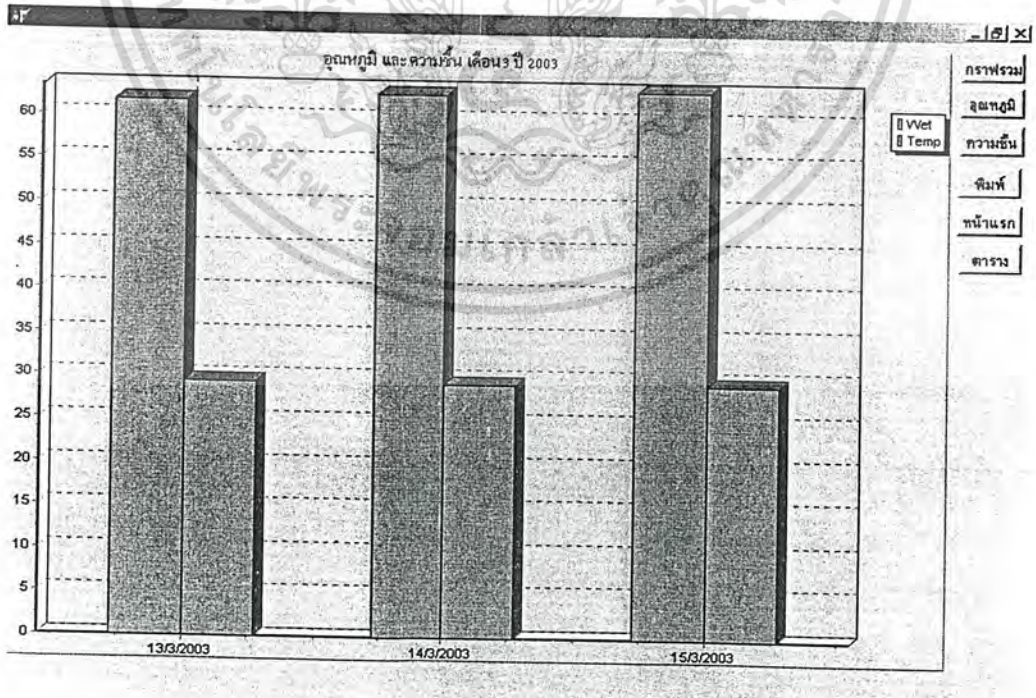
Temp_Date	Type_M	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
13/3/2003	Temp	27	26	26	27	27	28	29	29	30	30	31	31	32	33	33	32	32	31	30	30	29	28	28	27
13/3/2003	WET	70	70	70	69	68	65	61	60	58	57	57	56	54	55	54	55	55	58	60	62	65	65	68	69
14/3/2003	Temp	26	25	25	26	27	28	28	29	29	30	31	31	32	33	33	32	32	31	31	30	29	28	28	27
14/3/2003	WET	70	71	72	69	68	67	63	62	60	59	58	57	55	55	54	54	56	57	59	62	67	68	70	71
15/3/2003	Temp	27	26	26	27	27	28	28	29	30	30	31	31	32	32	33	33	32	31	30	30	29	28	27	27
15/3/2003	WET	69	70	71	70	69	68	65	62	60	59	55	53	54	55	57	59	60	61	63	64	67	68	69	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของตารางเก็บข้อมูล

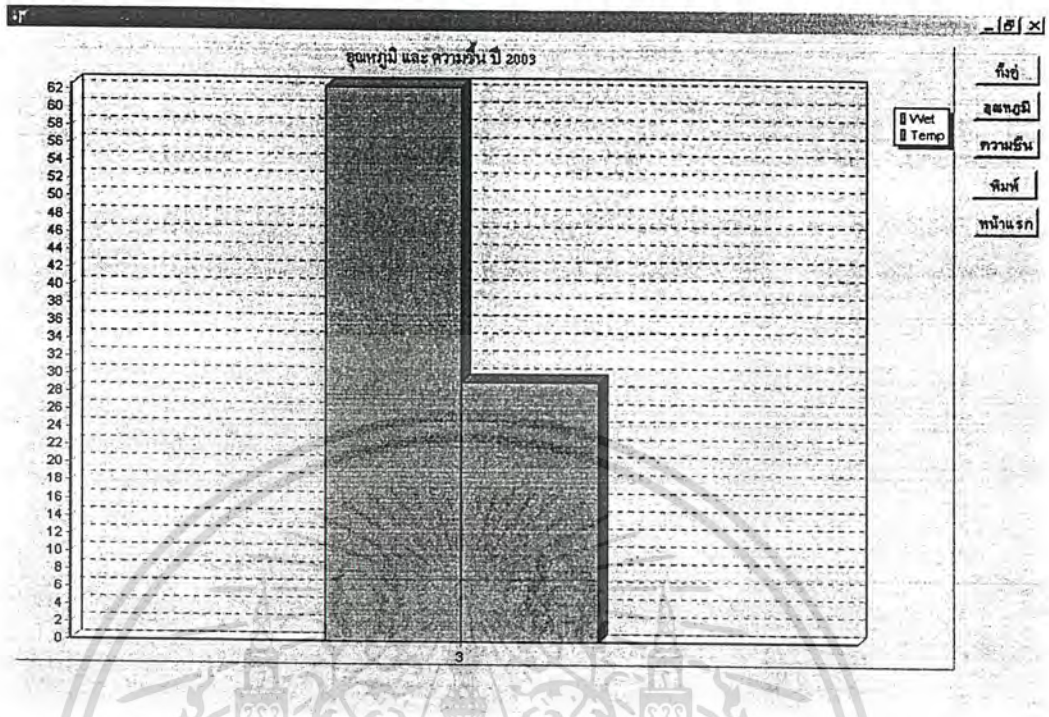


กราฟที่ 4.4 ลักษณะของกราฟข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น แบบระบุวัน

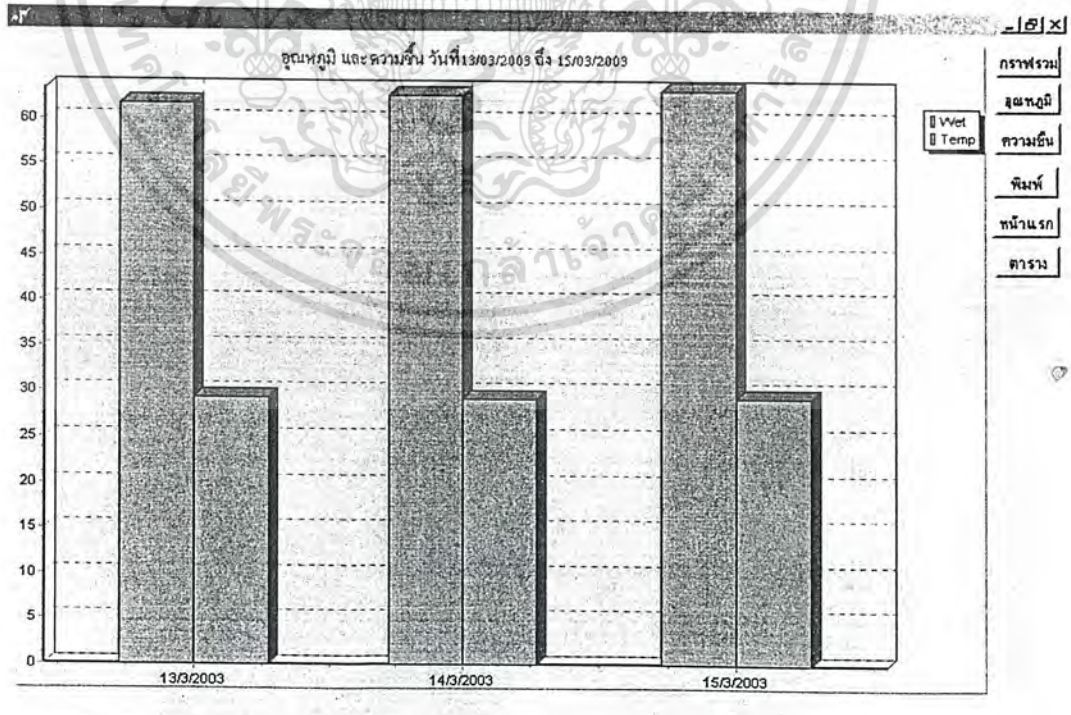


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.5 ลักษณะของกราฟข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น แบบระบุเดือน



กราฟที่ 4.6 ลักษณะของกราฟข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น แบบระบุปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.7 ลักษณะของกราฟข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น แบบระบุเป็นช่วงวัน

ผลการทดลองทั้งหมดที่ได้นี้เป็นการทดลองเปิดเครื่อง Data Logger ให้มีการ Sensor เป็นระยะเวลา 3 วัน โดยให้มีการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่งโมง เมื่อทำการLoad ข้อมูลซึ่งจะทำการ Load ข้อมูลเข้าสู่ Computer ด้วย Program Delphi และ Data Base ผลที่ได้จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้ ก็มีความถูกต้อง และสมบูรณ์ ซึ่งได้ทำการตรวจสอบโดยการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแล้วแสดงผลด้วย Segment ทาง port 1 ของ MCS-51 นั่นหมายความว่า ข้อมูลที่ เก็บไว้ใน Data Base นั้นมีความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการออกแบบภาค Sensor ทั้งวงจรการ Sensor อุณหภูมิ และการ Sensor ความชื้น ผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งได้บันทึกผลไว้แล้วดังกล่าวในบทที่ 4

การทดลองตรวจวัดอุณหภูมิทำการทดลองโดยเพิ่มค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 20 – 55 องศาเซลเซียส และทำการวัดค่าแรงดันที่ขาเอาท์พุทของไอซีเบอร์ LM 35โดยใช้มิเตอร์ แบบ ดิจิตอลตั้งย่าน 2.5 โวลท์ ทำการลด และ เพิ่มอุณหภูมิโดยใช้หัวแร้ง และน้ำแข็ง ใส่ในกล่องพลาสติกที่มีตัวตรวจจับอุณหภูมิ LM 35 อยู่ภายใน ในขณะเดียวกันจะใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิไปด้วย ซึ่งค่าที่ได้ระหว่างการตรวจวัดด้วย LM 35 กับ เทอร์โมมิเตอร์ จะเกิดค่าผิดพลาดหรือต่างกันเล็กน้อย ในด้านของค่าผิดพลาดนั้นยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

การทดลองตรวจวัดความชื้นเราจะทำการตรวจวัดโดยการเทียบกับเครื่องมือวัด testo รุ่น 605-H1 และทำการหาค่าความผิดพลาด ในการทดลองจะทดลองวัดความชื้นในช่วง 60%RH - 80%RH การทดลองความชื้นจะเป็นการใช้ละอองไอน้ำฉีดพ่นเพื่อเพิ่มความชื้น หรือสำลีชุบน้ำ แล้วทำการวัดระหว่างการใช้เครื่องมือวัด testo รุ่น 605-H1กับตัวตรวจจับความชื้นของบริษัท Philipตัวตรวจจับความชื้นของบริษัท Philips ซึ่งค่าความชื้นในอากาศที่วัดได้จะได้ค่าอยู่ในรูปของความจุไฟฟ้า ซึ่งค่าของตัวเก็บประจุที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 110pF – 150pF ที่ความถี่ 100KHzและสามารถวัดความชื้นในช่วง 10 %RH – 90%RH

หลังจากการทดลองตรวจวัดความชื้น และอุณหภูมิแล้ว ต่อมาได้ทำการออกแบบวงจรการเก็บข้อมูล (Memory Data) ซึ่งการทดลองได้ทำการทดลองโดยทำการเปิดเครื่องเพื่อเก็บข้อมูล เป็นระยะเวลาประมาณ 3วัน การทำงานของเครื่องนี้ จะตั้งเวลาให้มีการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ซึ่งจะเก็บข้อมูล อุณหภูมิ กับ ความชื้น ไว้ในหน่วยความจำ เมื่อต้องการ Load ข้อมูล ข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำจะถูกส่งผ่าน Port อนุกรม RS 232 เข้าสู่คอมพิวเตอร์ซึ่งใช้โปรแกรม Delphi และ ใช้ Data Base ในการจัดเก็บข้อมูล ข้อมูลที่ได้ก็ถูกต้องสมบูรณ์

ความสามารถ และการใช้งาน Data Logger (Hardware)

1. แหล่งจ่ายไฟขนาด 12 VDC – 30VDC
2. เมื่อทำการเปิดเครื่อง เมื่อเครื่องพร้อมที่จะใช้งานจะมี 00 กระพริบ ให้ทำการเซ็ตค่าต่าง ๆ อันได้แก่ วันที่ติดตั้ง เดือน ปี เวลาโดยเวลาจะเซ็ต 2 ค่าคือ ชั่วโมง และนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อเซ็ตเสร็จแล้วกด Enter เครื่องจะแสดงข้อมูลที่เซ็ตไปทั้งหมด หากผิดพลาดให้กด Reset แล้วทำการติดตั้งใหม่
4. หลังจากเครื่องแสดงข้อมูลที่เซ็ตไปทั้งหมดแล้ว ให้กด Enter เพื่อให้เริ่มการทำงานหลังจากนั้นเครื่องจะทำการ Sensor อุณหภูมิ และ ความชื้น ซึ่งจะแสดงผลสลับกัน
5. ในการเก็บข้อมูลนี้เครื่องจะเก็บข้อมูลเมื่อครบ ทุก ๆ 1ชั่วโมง
6. เมื่อต้องการLoad ข้อมูล ให้กด Reset แล้วต่อสาย Link เปิด โปรแกรม Delphi เพื่อรอรับข้อมูล แล้วกด สวิทซ์ Load เมื่อทำการ Load ข้อมูลเสร็จจะมี LED 3 ดวงติดพร้อมกัน

ความสามารถ และการใช้งาน Data Logger (Software)

ในที่นี้หมายถึง กระบานของการ Load ข้อมูลซึ่งมีความสามารถ และการใช้งานดังนี้

1. เมื่อ RUN โปรแกรม แล้วให้เลือก Comport ที่ต่อสาย Link แล้วกดปุ่ม เริ่มรับข้อมูล เมื่อรับข้อมูลและเสร็จกระบวนการ แล้วจะมี Label บอกว่า รับข้อมูลเสร็จแล้ว
2. การนำข้อมูลที่รับมาได้ไปใช้ประโยชน์
   - สามารถดูข้อมูลในรูปแบบตารางได้
   - สามารถดูข้อมูลในรูปแบบกราฟแท่งได้
3. การดูข้อมูลสามารถดูได้โดย
   - ระบุวันที่ จะเป็นการดูข้อมูลในวันใดวันหนึ่งเท่านั้น
   - ระบุเดือน จะเป็นการดูข้อมูลในเดือนใดเดือนหนึ่งเท่านั้น
   - ระบุวันปี จะเป็นการดูข้อมูลในปีใดปีหนึ่งเท่านั้น
   - ระบุเป็นช่วง โดยแบ่งเป็น วัน เดือน ปี แต่สามารถดูข้อมูลโดยการระบุ ช่วงเริ่มต้นและ สิ้นสุด
4. เมื่อต้องการจบการทำงานให้กดปุ่มจบการทำงาน

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

จากการทดลอง และออกแบบสิ่งที่เห็นได้ชัดว่าเป็นปัญหา หรือจุดด้อยของตัว Sensor ซึ่งจะแยกเป็น 2 ประเด็น คือ ในด้านของ Sensor อุณหภูมิ และในด้าน Sensor ความชื้น

สำหรับการ Sensor อุณหภูมิ ตัว Sensorตัวนี้ จะยากในด้านของการออกแบบ ให้สามารถ Sensorในระดับทศนิยมได้ ในขณะนี้ได้ออกแบบให้สามารถ Sensorในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงครั้งละ 1 องศาเซลเซียส อันหมายถึง เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันที่วัดได้ที่ขาเอาท์พุทจะมีการเปลี่ยนแปลงไป 10 mV จากจุด Reference แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียง 0.5 องศาเซลเซียส Sensor ตัวนี้จะไม่สามารถที่ ตรวจวัดได้

สำหรับการ Sensor ความชื้น ในด้านของการทดลองนั้นจะเกิดปัญหาในด้านของการตรวจวัดข้อมูลว่าข้อมูลที่ Sensor ได้นั้นถูกต้องหรือไม่ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ที่จะนำมาทำการตรวจวัดความชื้นหายาก แต่ในการทดลองได้นำข้อมูลความชื้นที่ตรวจวัดได้เครื่องมือวัด testo รุ่น 605-H1

แนวทางในการแก้ปัญหา

ในการ Sensor อุณหภูมิ อาจจะทำการออกแบบวงจรใหม่ หรือหาข้อมูลด้าน Sensor ที่เป็นตัว IC สำเร็จรูปมาใช้ แต่ในการ Sensor ความชื้นนั้น Sensor ตัวนี้ก็มีเสถียรภาพพอสมควร ซึ่งในการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องนั้น ควรรจะหาตัวตรวจวัดความชื้นที่มีเสถียรภาพมากกว่านี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ZDATA     EQU   10H
SDA       BIT   P2.3
SCL       BIT   P2.4
ADDR_LO   EQU   08H
ADDR_HI   EQU   09H
ADDR_LR   EQU   0AH
ADDR_HR   EQU   0BH
ADDR_BL   EQU   0CH
ADDR_BH   EQU   0DH
DATA_T    EQU   0EH
DATA_H    EQU   0FH

      ORG   0000H        ; power-on reset
vector
      LCALL DELAY2
      MOV   SP,#2FH
      MOV   P0,#0FFH
      MOV   P1,#00H
      MOV   P2,#01FH
      MOV   P3,#0FFH
      MOV   R2,#0FFH
      MOV   R6,#0DH
      MOV   R7,#3CH
      MOV   DATA_T,#00H
      MOV   DATA_H,#00H
      MOV   A,#00H
      MOV   ADDR_LO,#00H
      MOV   ADDR_HI,#00H
      MOV   A,#0BBH
      LCALL MMMM
      MOV   A,#0BBH
      LCALL MMMM
      MOV   A,#00H

MAIN: JNB   P3.2,READY12
      JNB   P2.1,ST_INS
      SJMP  MAIN
READY12:LJMP  READY1

ST_INS: MOV   R0,#00H
READY: MOV    A,#0BAH
      MOV   P1,A
      LCALL DELAY
      LCALL DELAY
      LCALL DELAY
      LJMP  SET_D

SET_D: CJNE   R0,#00H,SET_M
      MOV   R1,#0FH
      LJMP  DATE

SET_M: CJNE   R0,#01H,SET_Y
      MOV   R1,#06H
      LJMP  MOUTH

SET_Y: CJNE   R0,#02H,SET_TH
      MOV   R1,#03H
      LJMP  YEAR

SET_TH: CJNE  R0,#03H,SET_TM
      MOV   R1,#0CH
      LJMP  HOUR

SET_TM: CJNE  R0,#04H,ST_INS
      MOV   R1,#1EH
      LJMP  MINUTE

DATE: MOV     A,R1
      LCALL SO_INS
      LJMP  SET_SW

MOUTH: MOV    A,R1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   SO_INS
        LJMP    SET_SW

YEAR:   MOV     A,R1
        LCALL   SO_INS
        LJMP    SET_SW

HOUR:   MOV     A,R1
        LCALL   SO_INS
        LJMP    SET_SW

MINUTE: MOV     A,R1
        LCALL   SO_INS
        LJMP    SET_SW

SET_SW: JNB     P2.2,UP_D
        JNB     P2.1,O_K_D
        JNB     P2.0,DOWN_D
        SJMP    SET_SW

UP_D:   INC     R1
        CJNE    R0,#00H,UP_M
        CJNE    R1,#20H,DATE
        MOV     R1,#01H
        LJMP    DATE

UP_M:   CJNE    R0,#01H,UP_Y
        CJNE    R1,#0DH,MOUTH
        MOV     R1,#01H
        LJMP    MOUTH

UP_Y:   CJNE    R0,#02H,UP_H
        CJNE    R1,#64H,YEAR
        MOV     R1,#00H
        LJMP    YEAR

UP_H:   CJNE    R0,#03H,UP_TM
        CJNE    R1,#18H,HOUR
        MOV     R1,#00H
        LJMP    HOUR

UP_TM:  CJNE    R0,#04H,ST_INS2
        CJNE    R1,#3CH,MINUTE
        MOV     R1,#00H
        LJMP    MINUTE
ST_INS2:LJMP    ST_INS

DOWN_D: DEC     R1
        CJNE    R0,#00H,DOWN_M
        CJNE    R1,#00H,DATE
        MOV     R1,#1FH
        LJMP    DATE

DOWN_M: CJNE    R0,#01H,DOWN_Y
        CJNE    R1,#00H,MOUTH
        MOV     R1,#0CH
        LJMP    MOUTH

DOWN_Y: CJNE    R0,#02H,DOWN_H
        CJNE    R1,#0FFH,YEAR
        MOV     R1,#00H
        LJMP    YEAR

DOWN_H: CJNE    R0,#03H,DOWN_TM
        CJNE    R1,#0FFH,HOUR
        MOV     R1,#17H
        LJMP    HOUR

DOWN_TM:CJNE    R0,#04H,ST_INS1
        CJNE    R1,#0FFH,MINUTE
        MOV     R1,#3BH
        LJMP    MINUTE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
O_K_D: CJNE   R0,#00H,O_K_M
       INC    R0
       MOV    11H,A
       LCALL  MMMM
       LJMP   READY

O_K_M: CJNE   R0,#01H,O_K_Y
       INC    R0
       MOV    12H,A
       LCALL  MMMM
       LJMP   READY

O_K_Y: CJNE   R0,#02H,O_K_H
       INC    R0
       MOV    13H,A
       LCALL  MMMM
       LJMP   READY

O_K_H: CJNE   R0,#03H,O_K_TM
       INC    R0
       MOV    14H,A
       LCALL  MMMM
       LJMP   READY

O_K_TM: CJNE  R0,#04H,ST_INS1
       INC    R0
       MOV    15H,A
       LCALL  MMMM
       MOV    A,#0BAH
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY

RELAY: JNB    P2.1,SO_AGIN
       MOV    P1,#00H
       SJMP   RELAY
ST_INS1:LJMP  ST_INS

SO_INS: MOV   DPTR,#1000H
       MOVC   A,@A+DPTR
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       RET

SO_AGIN:MOV   A,11H
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       MOV    A,12H
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       MOV    A,13H
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       MOV    A,14H
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       MOV    A,15H
       MOV    P1,A
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY
       LCALL  DELAY

OK_INS: MOV   P1,#00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    JNB   P2.1,READY_1
    SJMP  OK_INS

READY_1:
    MOV   ADDR_LO,#07H
    MOV   ADDR_HI,#00H
    LCALL ERASE
    LJMP  READY_2

READY1:
    MOV   ADDR_LO,#00H
    MOV   ADDR_HI,#00H
READY_4:LCALL DELAY16

STOP_0: MOV   A,#00H
    MOV   P1,A
    SETB  P2.7
    SETB  P2.6
    SETB  P2.5
    SJMP  S

SSSS: LCALL SEND
    CJNE  A,#0AAH,CHECK_0
    MOV   A,#0AAH
    LCALL SEND
    SJMP  STOP_0
CHECK_0:
    LCALL CHECKFF
    LCALL CHECKHH
    INC   ADDR_LO
    SJMP  READY_4
READY_2:MOV   ADDR_LO,#07H
    MOV   ADDR_HI,#00H

;.....MAIN.....
READY_3:
    LCALL TEMP
    LCALL STTSIM
    SJMP  READY_3

MMMM: SETB  P2.7
    LCALL DELAY16
    LCALL DELAY16
    LCALL WRITE_BYTE
    INC   ADDR_LO
    CLR   P2.7
    RET

;.....TEMPERATURE.....
TEMP:
    MOV   P0,#0FFH
    CLR   P2.6
    CLR   P3.6
    SETB  P3.6
SST1: JB    P3.7,SST1
    MOV   A,#00H
    MOV   A,P0
    MOV   DPTR,#1000H
    MOVC  A,@A+DPTR
    SETB  P2.5
    MOV   P1,A
    LCALL DELAY
    LCALL DELAY
    LCALL DELAY
    MOV   DATA_T,A
    SETB  P3.6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV    A,#00H
        RET

;..... HUMIDITY.....

STTSIM:   MOV    89H,#25H
          SETB   TR0
          LCALL  DELAY1S
          CLR    TR0
          MOV    A,#00H
          MOV    TL0,A
          MOV    TH0,A
          CLR    P2.5
          SETB   P2.6
          MOV    P1,A
          LCALL  DELAY
          LCALL  DELAY
          LCALL  DELAY
          LCALL  DELAY
          LCALL  DELAY
          MOV    DATA_H,A
          MOV    A,#00H
          DJNZ   R6,CONTIN
          ;MOV   R6,#0DH
          ;DJNZ  R7,CONTIN
          MOV    A,DATA_T
          LCALL  MMMM
          MOV    A,DATA_H
          LCALL  MMMM
          MOV    R6,#0DH
          ;MOV   R7,#3CH
CONTIN:   RET

;.....WRITE BYTE.....

WRITE_BYTE:
          mov    A,#ADDR24
          jc     X49
          clr    ACC.0
          call   SHOUT
          jc     X48
          mov    A, ADDR_HI
          call   SHOUT
          jc     X48
          mov    A, ADDR_LO
          call   SHOUT
          jc     X48
          mov    A, ZDATA
          call   SHOUT
          jc     X48
          clr    C
X48:
          call   STOP
X49:
          ret

READ_CURRENT:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        jc      X45

        setb    ACC.0
        call    SHOUT
        jc      X44

        call    SHIN
        call    NAK
        clr     C
X44:
        call    STOP
X45:
        ret

READ_RANDOM:
        mov     A,#ADDR24
        call    START
        jc      X47

        clr     ACC.0
        call    SHOUT
        jc      X46

        mov     A,ADDR_HI
        call    SHOUT
        jc      X46

        mov     A, ADDR_LO
        call    SHOUT
        jc      X46

        mov     A,#ADDR24
        call
READ_CURRENT
        jmp     x47
X46:
        call    STOP
X47:
        ret

START:
        setb    SDA
        setb    SCL

        jnb     SDA, x40

        jnb     SCL, x40

        nop
        clr     SDA
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        clr     SCL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clr     C
        jmp     X41
X40:
        setb    C
X41:
        ret

STOP:
        clr     SDA
        nop
        nop
        setb    SCL
        nop
        nop

        nop

        nop

        nop
        setb    SDA
        ret

SHOUT:
        push    B
        mov     B,#8
X42:
        rlc     A

        mov     SDA,C
        nop
        setb    SCL
        nop
        nop

        nop

SHIN:
        setb    SDA

        push    B
        mov     B, #8
X43:
        nop
        nop
        nop
        setb    SCL
        nop
        nop
        mov     C, SDA
        rlc     A
        clr     SCL
        djnz    B, x43

        clr     SCL
        djnz    B,X42

        setb    SDA
        nop
        nop
        setb    SCL
        nop
        nop
        nop
        mov     C, SDA
        clr     SCL
        pop     B
        ret
```

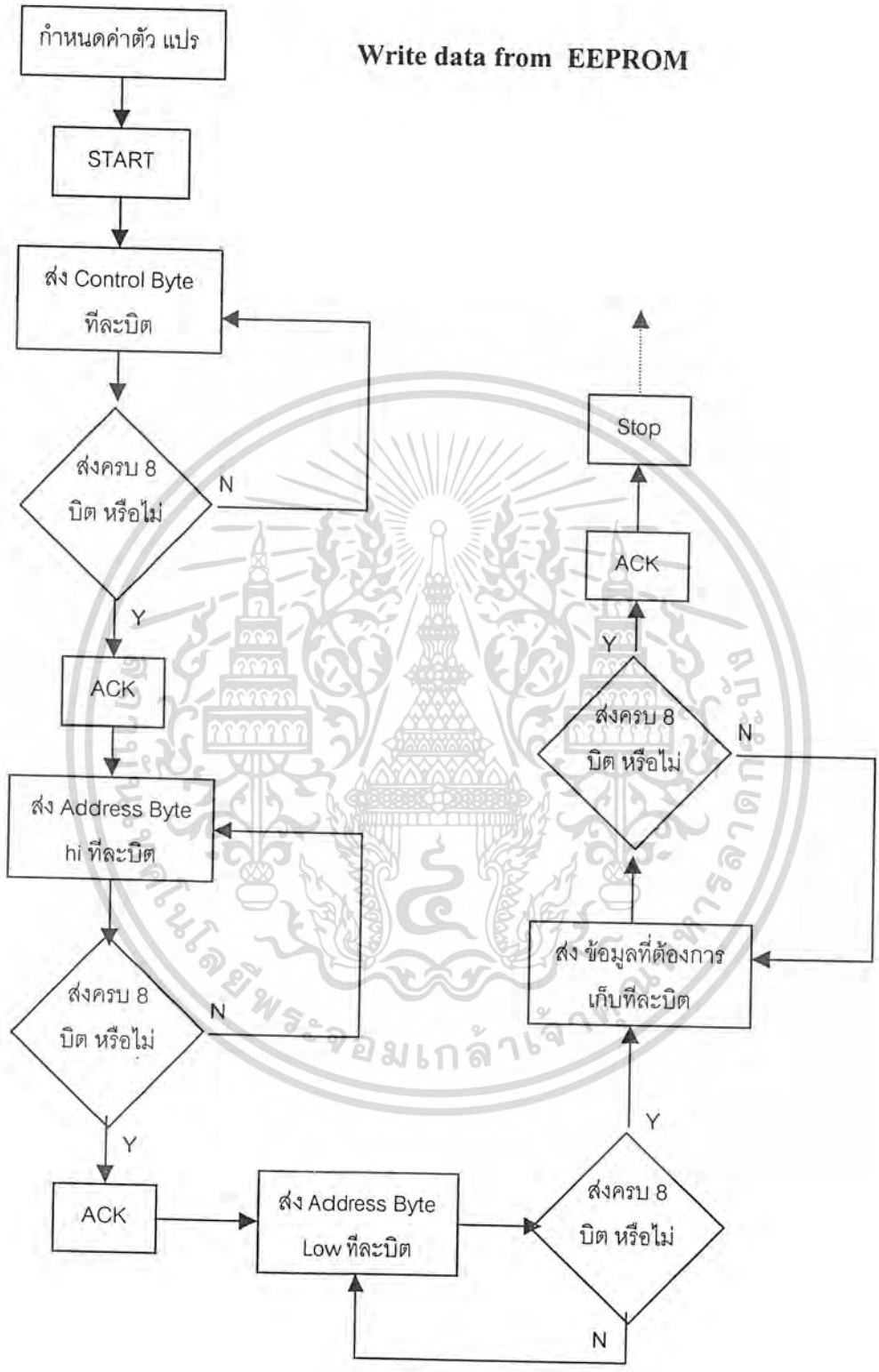
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                pop     B
                ret

ACK:
                clr     SDA
                nop
                nop
                setb    SCL
                nop
                nop
                nop
                nop
                clr     SCL
                ret

NAK:
                setb    SDA
                nop
                nop
                setb    SCL
                nop
                nop
                nop
                nop
                clr     SCL
                ret

;.....SEND.....

 SEND: ACALL  INTIIAL
       ACALL  SP_OUT
       RET
INTIIAL: MOV   IE,#00H
       MOV   TH1,#0FDH
       MOV   PCON,#00H
       MOV   TMOD,#00100000B
       MOV   SCON,#01000000B
       SETB  TR1
       RET
SP_OUT: MOV   SBUF,A
       JNB   TI,$
       CLR   TI
       RET

DELAY1S: MOV R5,#1000
LOOP1:  MOV R3,#100
LOOP2:  MOV R4,#0E6H
LOOP3:  NOP
        NOP
        DJNZ R4,LOOP3
        DJNZ R3,LOOP2
        DJNZ R5,LOOP1
        RET

DELAY: PUSH   DPH
       PUSH   DPL
       PUSH   ACC
       MOV    DPTR,#1000H
DELAY1: INC    DPTR
       MOV    A,DPL
       ORL    A,DPH
       JNZ    DELAY1
       POP    ACC
       POP    DPL
       POP    DPH
       RET

DELAY16:    NOP
       NOP
       NOP
       NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

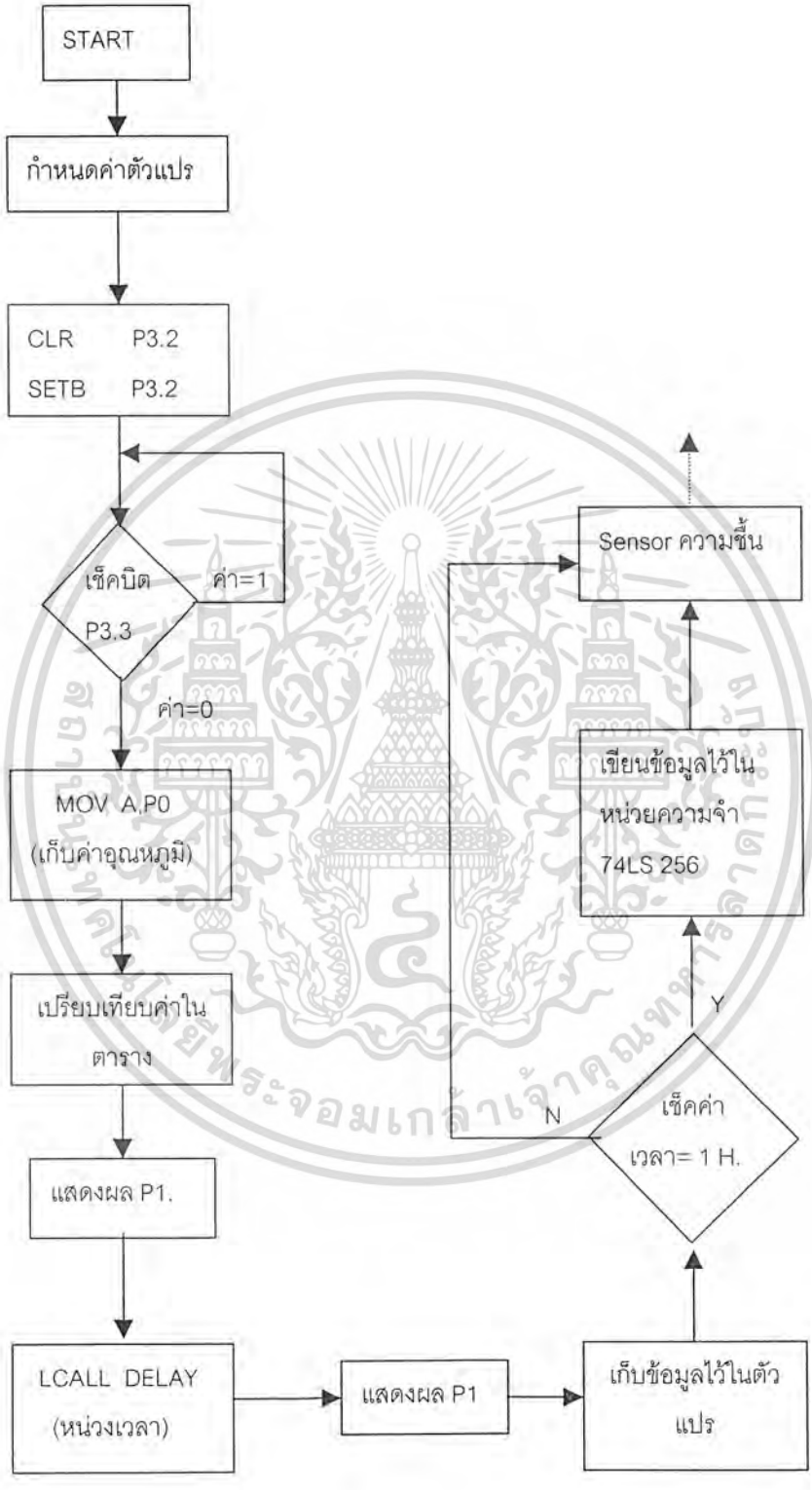
```
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP

      DJNZ R2,DELAY16
    MOV   R2,#0FFH

        RET

DELAY2: PUSH   DPH
    PUSH   DPL
    PUSH   ACC
    MOV   DPTR,#8000H
DELAY3: INC   DPTR
        MOV   A,DPL
        ORL   A,DPH
        JNZ   DELAY3
        POP   ACC
        POP   DPL
        POP   DPH
        RET

ORG   1000H
DB
00H,01H,02H,03H,04H,05H,06H,07H,08H,
09H
DB
10H,11H,12H,13H,14H,15H,16H,17H,18H,
19H
DB
20H,21H,22H,23H,24H,25H,26H,27H,28H,
29H
DB
30H,31H,32H,33H,34H,35H,36H,37H,38H,
39H
DB
40H,41H,42H,43H,44H,45H,46H,47H,48H,
49H
DB
50H,51H,52H,53H,54H,55H,56H,57H,58H,
59H
DB
60H,61H,62H,63H,64H,65H,66H,67H,68H,
69H
DB
70H,71H,72H,73H,74H,75H,76H,77H,78H,
79H
DB
80H,81H,82H,83H,84H,85H,86H,87H,89H,
89H
DB
90H,91H,92H,93H,94H,95H,96H,97H,98H,
99H

;.....THE_END.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



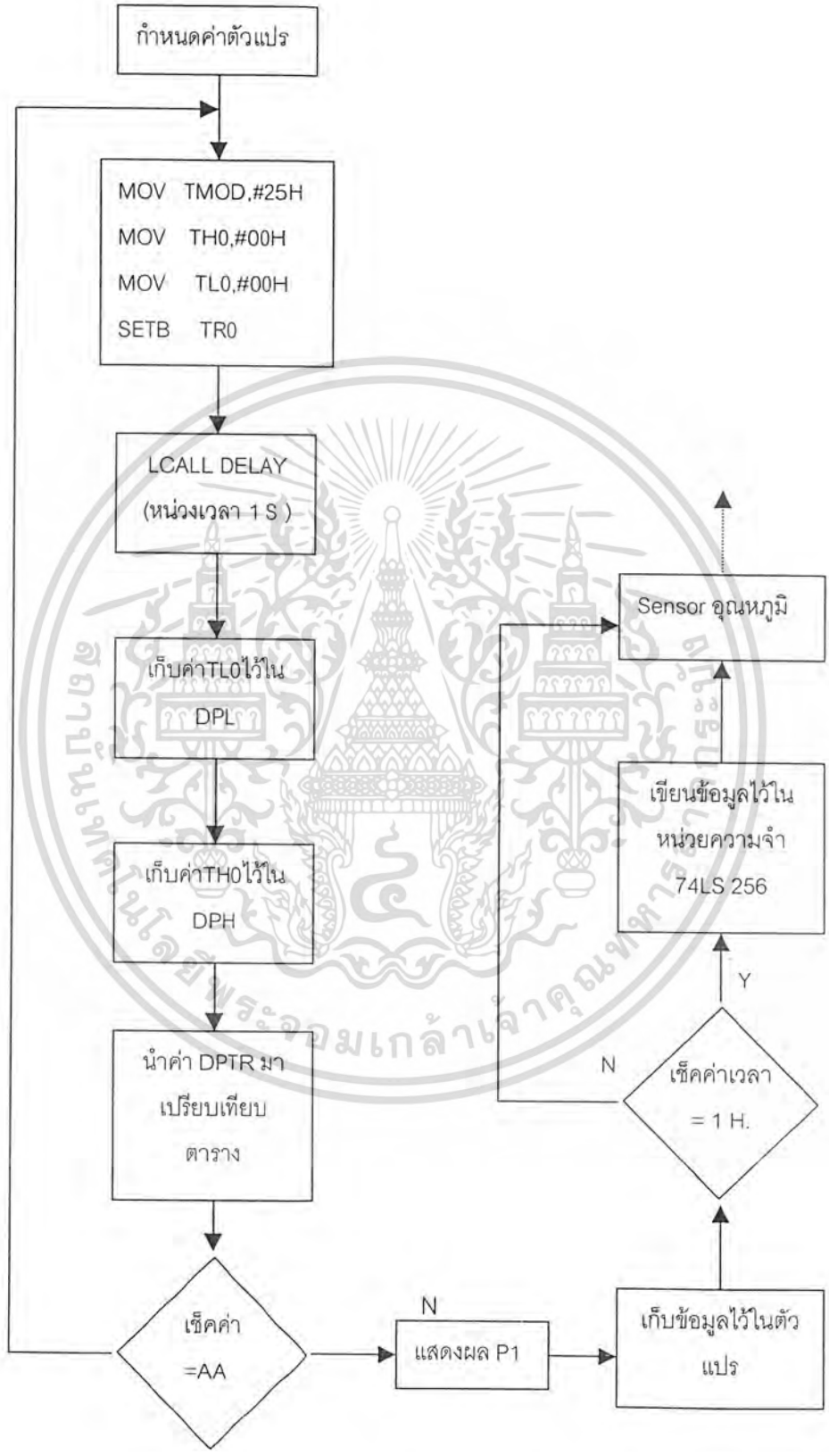
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart of temperature.

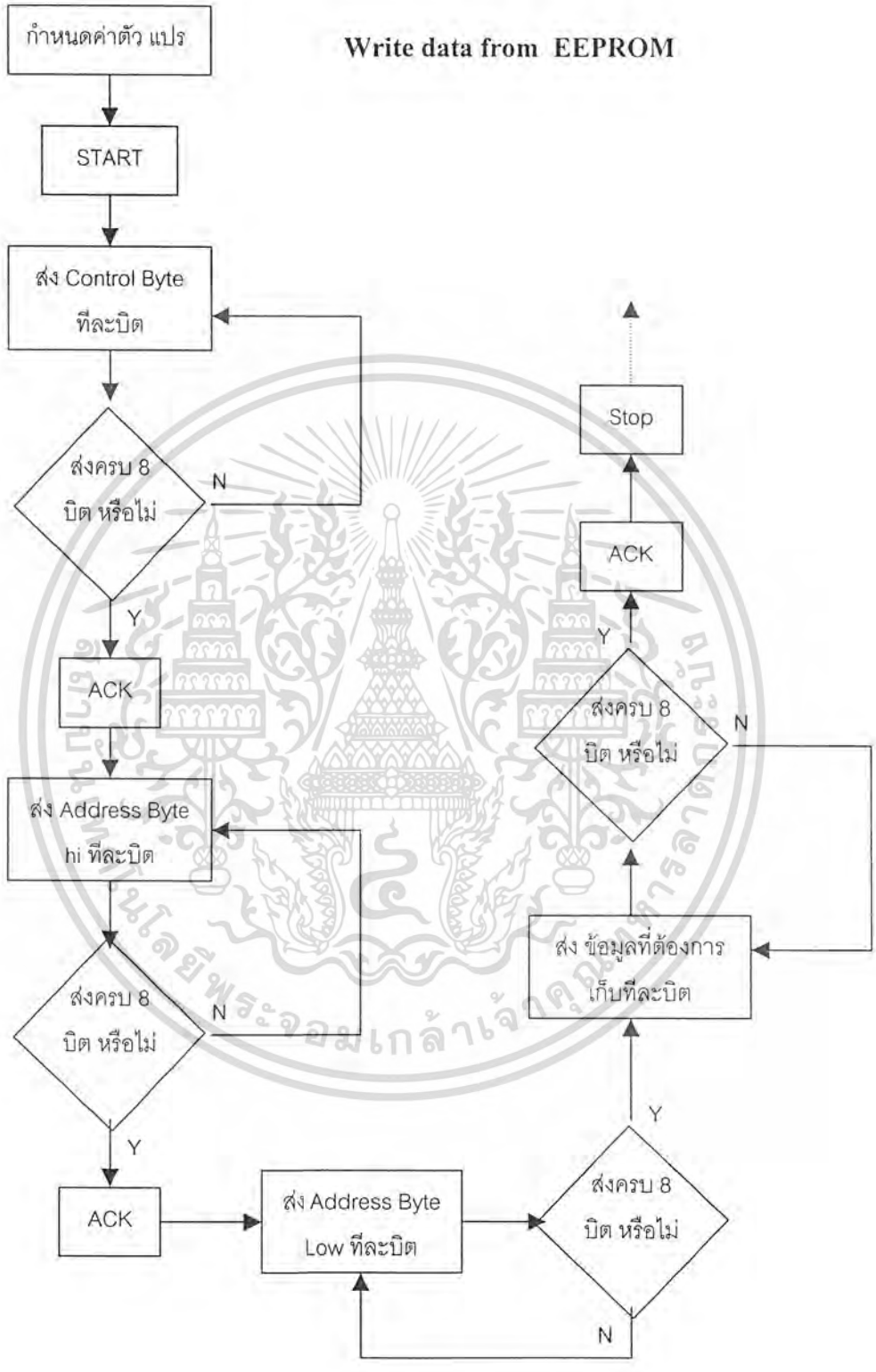


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart of humidity

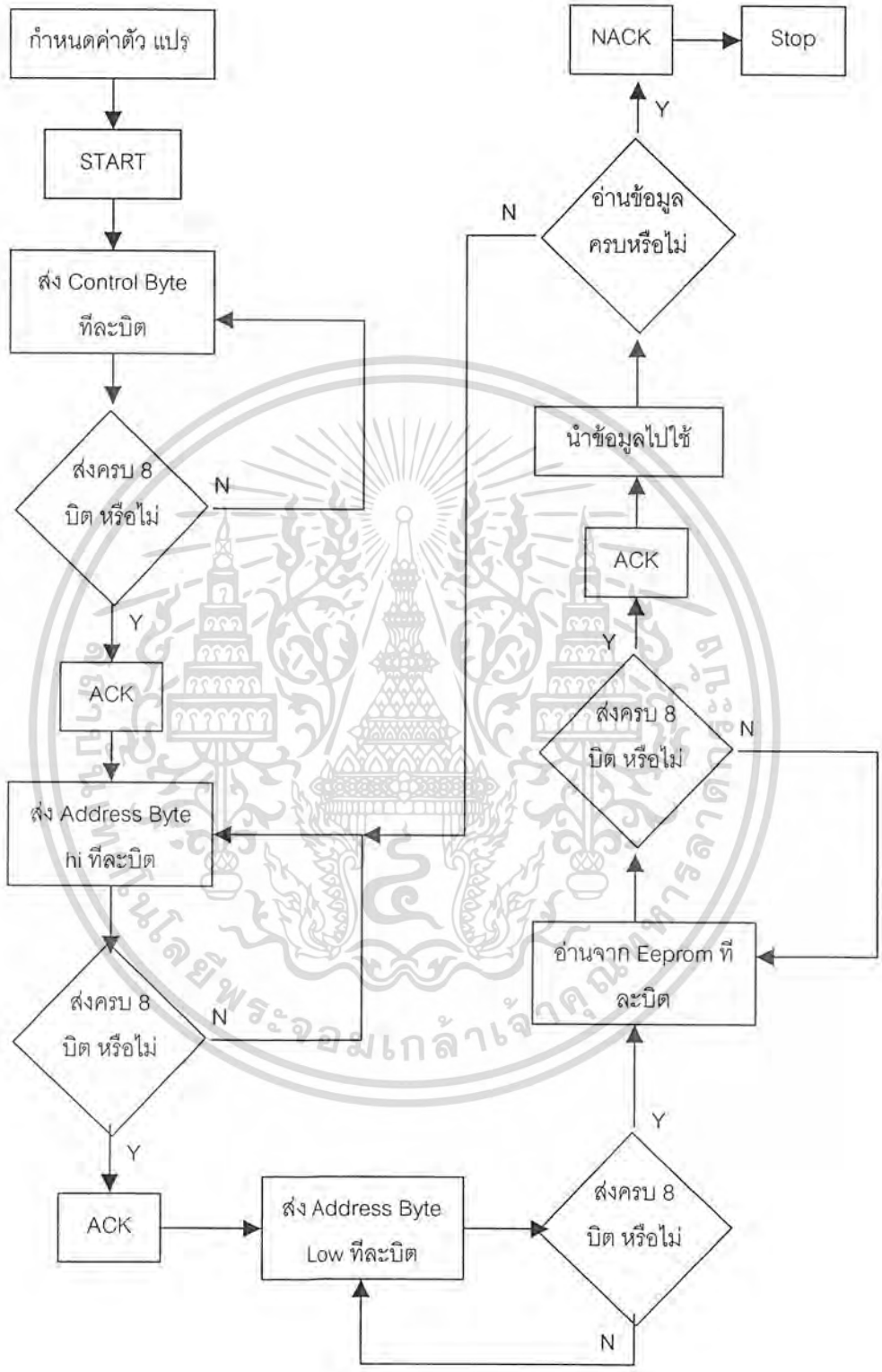


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

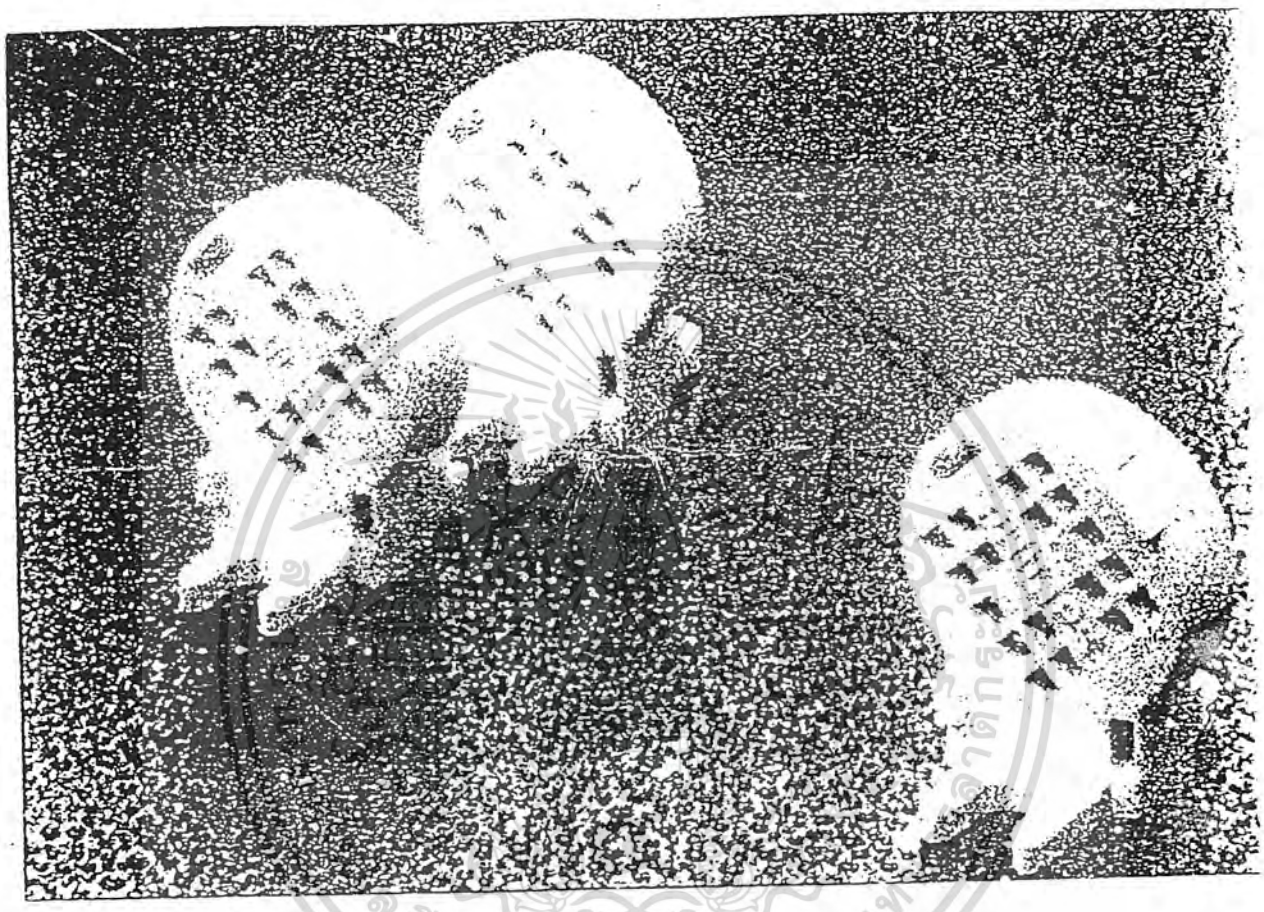


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Read data from EEPROM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Moisture control with Philips' humidity sensor

Let's make things better

PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Humidity sensor

2322 691 90001

APPLICATIONS

- Humidity measurements in electronic hygrometers for domestic use.
- Self-regulating air humidifiers, etc.

DESCRIPTION

This capacitive atmospheric humidity sensor consists of a non-conductive foil, which is covered on both sides with a layer of gold. The dielectric constant of the foil changes as a function of the relative humidity of the ambient atmosphere and, accordingly, the capacitance value of the sensor is a measure for relative humidity. The foil is clamped between contact springs and assembled in a plastic housing. It is provided with two connecting pins which fit printed-circuit boards with a grid pitch of 2.54 mm, provision is also made for fastening with 3 mm bolts. The characteristics are not affected by incidental water condensation on the sensor foil. It should not be exposed to either acetone or chlorine vapours.

QUICK REFERENCE DATA

PARAMETER	VALUE	UNIT
Humidity range (RH)	10 to 90	%
Capacitance at +25 °C; 43% RH; 100 kHz	122 ±15%	pF
Sensitivity between 12 and 75% RH	0.4 ±0.05	pF/%RH
Frequency	1 to 1000	kHz
Maximum AC or DC voltage	15	V
Storage humidity range (RH)	0 to 100	%
Ambient temperature range:		
operating	0 to +85	°C
storage	−25 to +85	°C
Drop test:		
height of free fall	1	m
Mass	~1.3	g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Humidity sensor

2322 691 90001

MECHANICAL DATA

Marking

PHILIPS H1.

Mounting

The device can be soldered directly on to a printed-circuit board or fastened with 3 mm bolts.

Soldering

Solderability: ≤240 °C; ≤4 s.

Resistance to heat: ≤240 °C; ≤4 s.

Robustness of terminations

Tensile strength: 10 N.

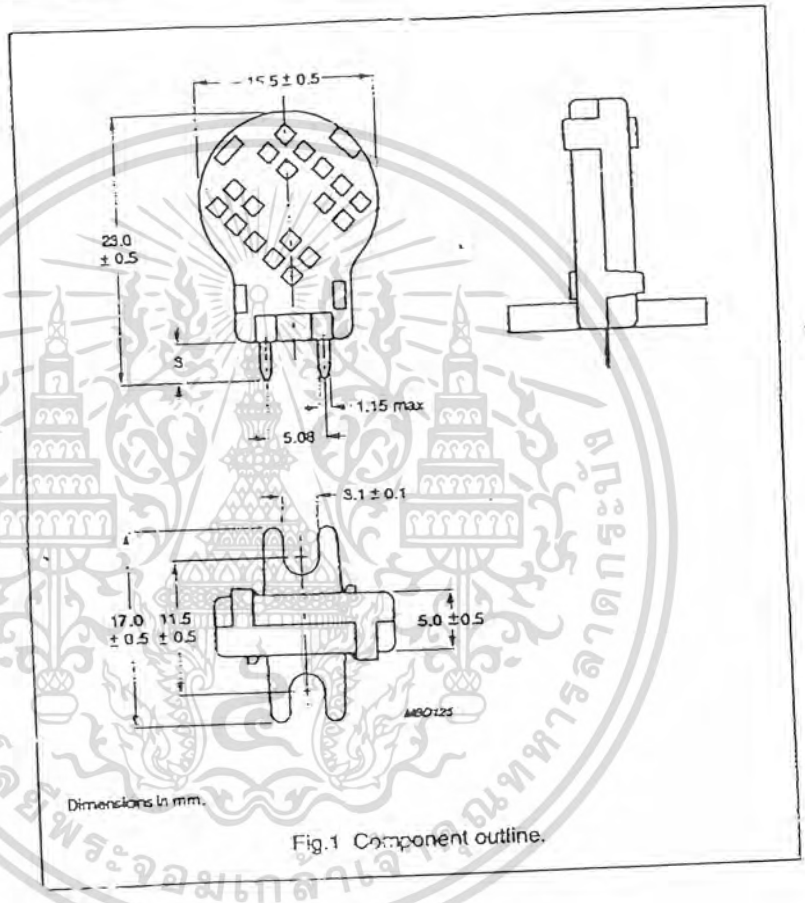


Fig.1 Component outline.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Moisture control with Philips' capacitive humidity sensor

Philips' capacitive humidity sensor has already proven itself over many years as one of the most effective and economical means of measuring and controlling humidity.

The sensor operates by sensing changes in capacitance of a thin-film polymer membrane as it absorbs moisture from its surroundings. Compared with many alternatives, it's simple to operate, highly reliable and fast. What's more, its long-term characteristics are unaffected by condensation of water on the membrane surface and other aggressive pollutants in the air.

Used in, for example, home hygrometers, weather stations, air-conditioners, climate controllers and tumble dryers, it's capable of providing long, trouble-free service with minimum maintenance.

Designed for a measuring range between 10% and 90% relative humidity the sensor's relatively linear characteristic allows it to be easily incorporated into simple, inexpensive measuring circuitry.

Features and benefits

- long-term reliability
- high sensitivity
- fast response
- high immunity against contaminants
- operates with simple measuring circuitry

Proven in a host of applications

Important application areas where Philips' sensor has already proven itself include:

- Heating, ventilating and air-conditioning systems
- Industrial control installations
- Climate-control systems in, for example, industrial clean rooms, operating theatres, computer rooms and greenhouses
- Climatic chambers
- Drying processes
- Printing industry

Humidity control the Philips way

Accurate measurement and control of humidity is an important requirement of today's world. The humidity of the air, i.e. the amount of water vapour it contains, influences not only our comfort but also the effectiveness of many professional and industrial processes. Though several types of electronic humidity sensor exist, Philips' capacitive sensor has long proven to be one of the most reliable, durable and easiest to use.

The sensor is made up of a polymer film coated on both sides with a very thin air-permeable gold layer to form a capacitive element. The film is clamped between spring contacts inside a perforated plastic housing. Changes in relative humidity (RH) of the surrounding air cause a change in dielectric constant of the polymer film leading to a change of sensor capacitance. The relationship between sensor capacitance and relative humidity is a rather simple one which means that the sensor can easily be incorporated into an electrical measuring circuit.

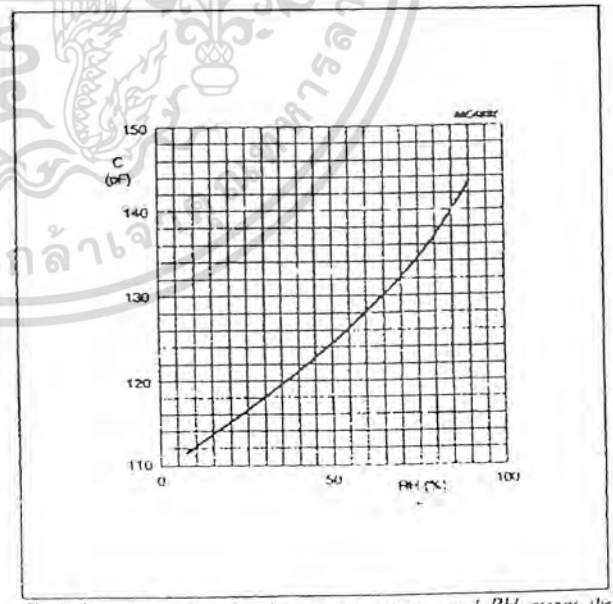


Fig.1 A simple relationship between capacitance and RH means the sensor can easily be incorporated into an electrical measuring circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensor specifications

Electrical	
Humidity range:	10 to 90%rh
Capacitance @ +25 °C, 43%rh, 100 kHz:	122 ± 15% pF
Dissipation factor @ +25 °C, 43%rh, 100 kHz:	≤ 0.035
Sensitivity between 12 and 75%rh:	0.4 ± 0.05 pF/%rh
Frequency range:	1 to 1000 kHz
Temperature dependence:	0.1%rh/K
Response time*:	
between 10 and 43%rh:	< 3 min
between 43 and 90%rh:	< 5 min
Hysteresis**:	~ 3%
Maximum voltage:	15 Vp-p
Operating and storage temperature range:	−25 to + 85 °C
Mechanical	
Height:	20.0 mm
Width:	15.5 mm
Thickness:	5.0 mm
Lead distance:	5.08 mm

* to 90% of indicated %rh change at + 25 °C, in circulating air
** for excursion from 10%rh to 90%rh and back to 10%rh

Working with Philips' humidity sensor

Measuring circuitry

Measuring relative humidity using Philips' sensor involves the detection of relatively small capacitance changes. Depending on the level of precision required, several measuring circuits are possible. The circuit of Fig.2, using a metastable flip-flop IC offers simple measurement without linearization.

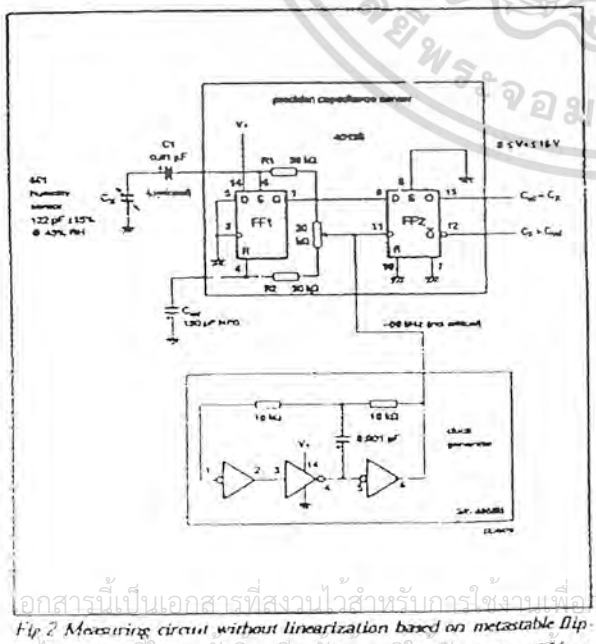


Fig.2 Measuring circuit without linearization based on metastable flip-flop. (Circuit courtesy of W. Stephen Woodward of University of North Carolina)

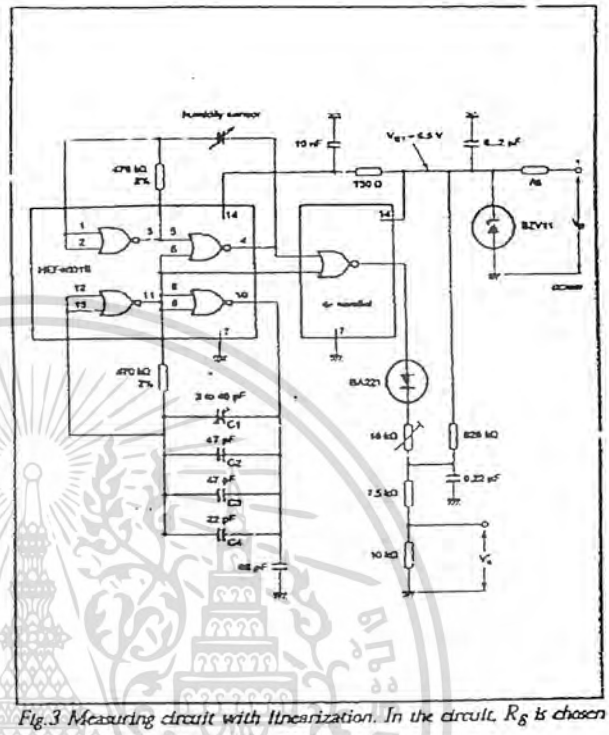


Fig.3 Measuring circuit with linearization. In the circuit, R_B is chosen so that $R_B = (V_B - V_{ST})/(2\ mA)\ \Omega$

For higher precision, the measuring circuit of Fig.3 incorporating a linearizing network can be used. This circuit is suitable for connecting to an external power supply.

Measuring-circuit calibration

The measuring circuit may be calibrated using a saturated salt solution in a small airtight container to create a *standard relative humidity environment* (ASTM Designation: E 104). The saturated salt solution should be prepared from reagent grade chemicals and reagent water produced by distillation or by ion exchange.

Recommended salts (ASTM E 104)

	RH @ 25 °C
Lithium chloride LiCl	11.3%
Potassium acetate $KC_2H_3O_2$	22.5%
Magnesium chloride $MgCl_2$	32.8%
Potassium carbonate K_2CO_3	43.2%
Magnesium nitrate $Mg(NO_3)_7$	52.9%
Sodium chloride NaCl	75.3%
Potassium chloride KCl	84.3%
Potassium nitrate KNO_3	93.6%
Potassium sulphate K_2SO_4	97.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

July 1999

LM35
Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full −55 to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60 µA from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a −55° to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a −40° to +110°C range (−10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full −55° to +150°C range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 µA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only ±¼°C typical
- Low impedance output, 0.1 Ω for 1 mA load

Typical Applications

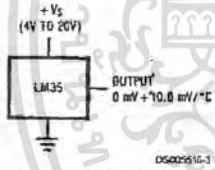
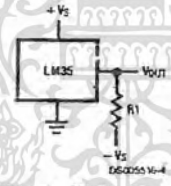


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu A$
V_{OUT} = +1,500 mV at +150°C
= +250 mV at +25°C
= −550 mV at −55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

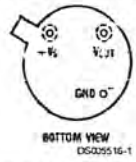
TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

© 1999 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

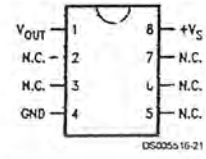
TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



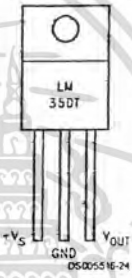
N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-92
Plastic Package

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND)
Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to −0.2V
Output Voltage	+6V to −1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.;	
TO-46 Package,	−60˚C to +180˚C
TO-92 Package,	−60˚C to +150˚C
SO-8 Package,	−65˚C to +150˚C
TO-220 Package,	−65˚C to +150˚C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300˚C
TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260˚C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215˚C
Infrared (15 seconds)	220˚C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	−55˚C to +150˚C
LM35C, LM35CA	−40˚C to +110˚C
LM35D	0˚C to +100˚C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	T_A=+25˚C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		˚C
	T_A=−10˚C	±0.3			±0.3		±1.0	˚C
	T_A=T_{MAX}	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		˚C
	T_A=T_{MIN}	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	˚C
Nonlinearity (Note 8)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	˚C
Sensor Gain (Average Slope)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/˚C
Load Regulation (Note 3) 0≤I_L≤1 mA	T_A=+25˚C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T_A=+25˚C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	4V≤V_S≤30V	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V_S=+5V, +25˚C	56	67		56	67		µA
	V_S=+5V	105		131	91		114	µA
	V_S=+30V, +25˚C	56.2	68		56.2	68		µA
	V_S=+30V	105.5		133	91.5		116	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V≤V_S≤30V, +25˚C	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	4V≤V_S≤30V	0.5		2.0	0.5		2.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	µA/˚C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of *Figure 1*, I_L=0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	˚C
Long Term Stability	T_J=T_{MAX}, for 1000 hours	±0.08			±0.08			˚C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	T_A=+25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T_A=−10°C	±0.5			±0.5		±1.5	°C
	T_A=T_{MAX}	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	°C
	T_A=T_{MIN}	±0.8		±1.5	±0.8		±2.0	°C
Accuracy, LM35D (Note 7)	T_A=+25°C				±0.6	±1.5		°C
	T_A=T_{MAX}				±0.9		±2.0	°C
	T_A=T_{MIN}				±0.9		±2.0	°C
Nonlinearity (Note 8)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	±0.3		±0.5	±0.2		±0.5	°C
Sensor Gain (Average Slope)	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/°C
Load Regulation (Note 3) 0≤I_L≤1 mA	T_A=+25°C	±0.4	±2.0		±0.4	±2.0		mV/mA
	T_{MIN}≤T_A≤T_{MAX}	±0.5		±5.0	±0.5		±5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T_A=+25°C	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
	4V≤V_S≤30V	±0.02		±0.2	±0.02		±0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V_S=+5V, +25°C	56	80		56	80		µA
	V_S=+5V	105		158	91		138	µA
	V_S=+30V, +25°C	56.2	82		56.2	82		µA
	V_S=+30V	105.5		161	91.5		141	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V≤V_S≤30V, +25°C	0.2	2.0		0.2	2.0		µA
	4V≤V_S≤30V	0.5		3.0	0.5		3.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	µA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of *Figure 1*, I_L=0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	T_J=T_{MAX}, for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: −55°C≤T_J≤+150°C for the LM35 and LM35A; −40°C≤T_J≤+110°C for the LM35C and LM35CA; and 0°C≤T_J≤+100°C for the LM35D. V_S=+5Vdc and I_{LOAD}=50 µA, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from +2°C to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10mv/°C times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

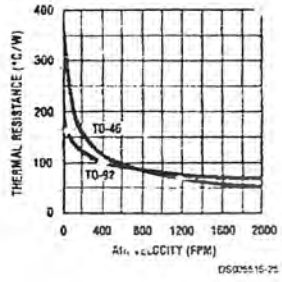
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

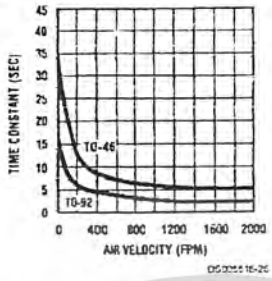
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

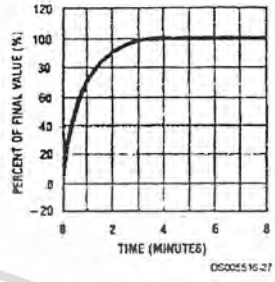
Thermal Resistance Junction to Air



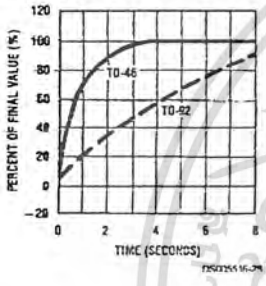
Thermal Time Constant



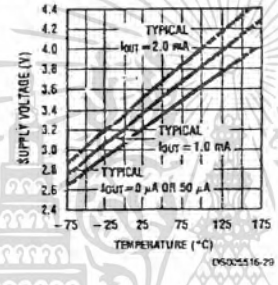
Thermal Response in Still Air



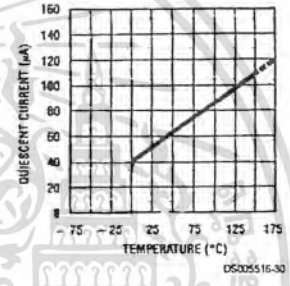
Thermal Response in Stirred Oil Bath



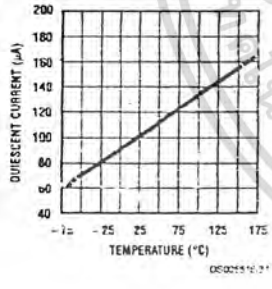
Minimum Supply Voltage vs. Temperature



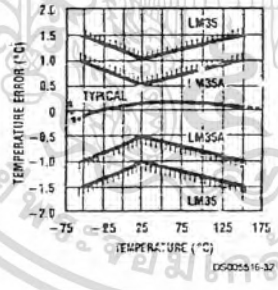
Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of *Figure 1.*)



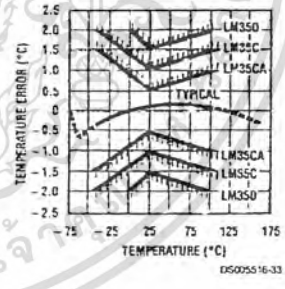
Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of *Figure 2.*)



Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



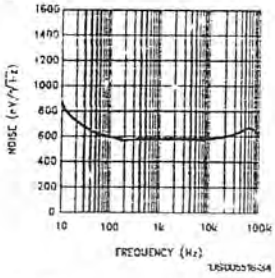
Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



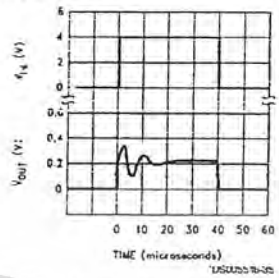
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is expecially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V− terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8** small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, infinite heat sink)	(24°C/W)		(45°C/W)				

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

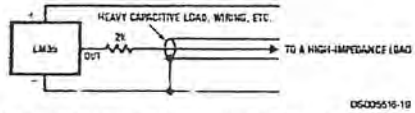


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

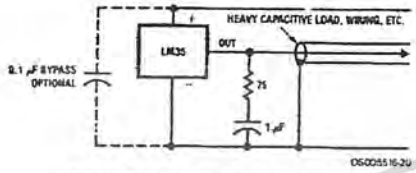


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see *Figure 3*. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see *Figure 4*.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in *Figure 5*, *Figure 6* or *Figure 8* it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in *Figure 13*, *Figure 14*, and *Figure 16*.

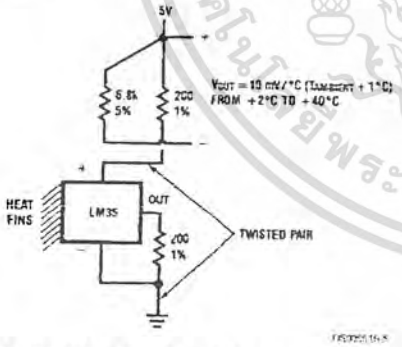


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

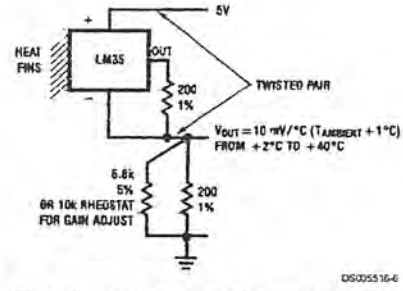


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

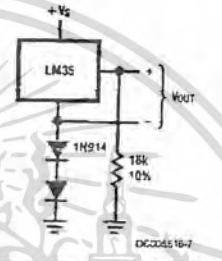


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, −55° to +150°C

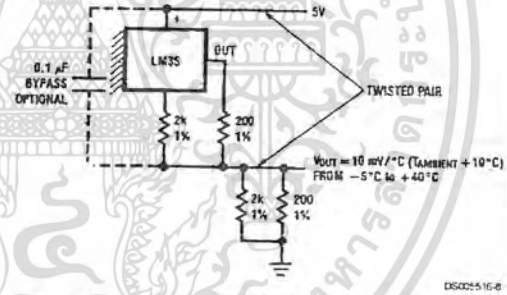


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

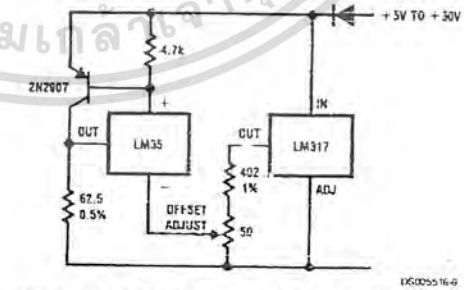


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

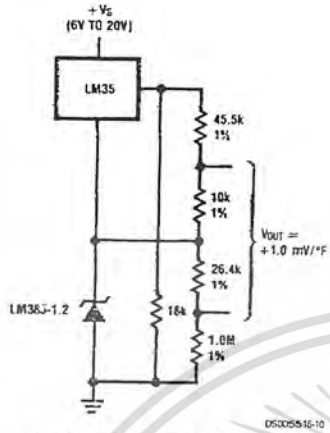


FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

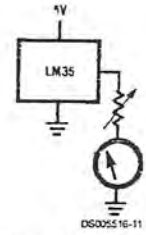


FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)

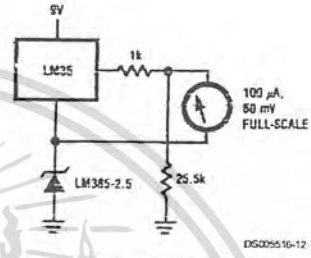


FIGURE 12. Fahrenheit ThermometerExpanded Scale Thermometer
(50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)

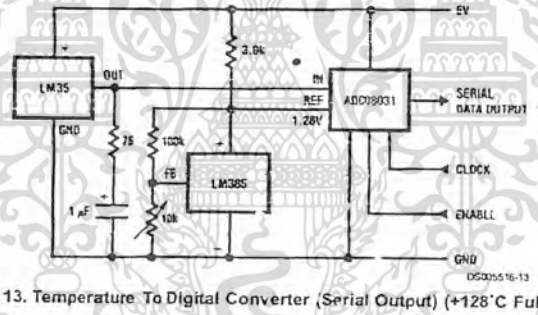


FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128°C Full Scale)

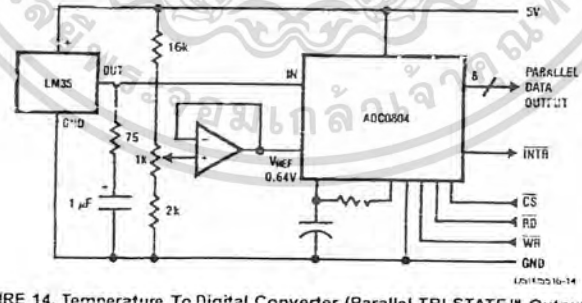
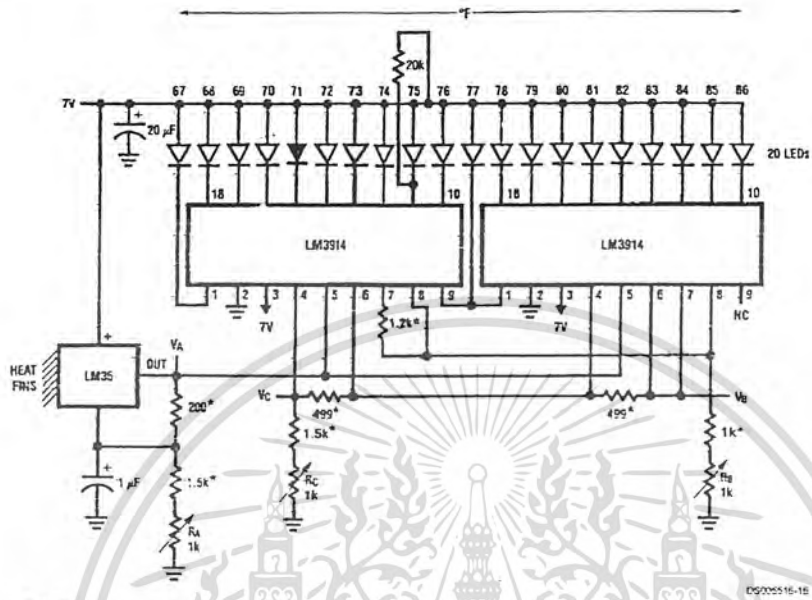


FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE™ Outputs for Standard Data Bus to µP Interface) (128°C Full Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



*=1% or 2% film resistor
Trim R_B for V_B=3.075V
Trim R_C for V_C=1.955V
Trim R_A for V_A=0.075V + 100mV/°C x $T_{ambient}$
Example, V_A=2.275V at 22°C

FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)

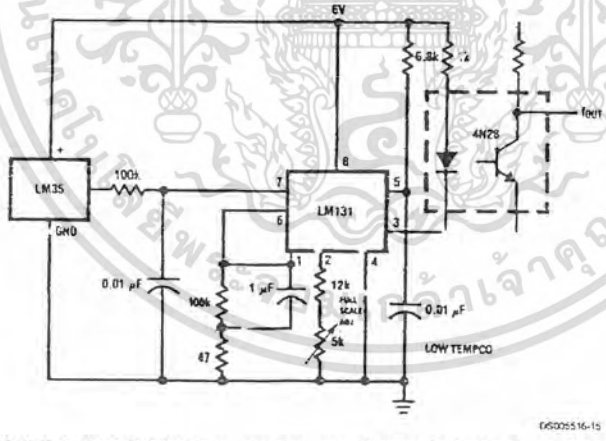
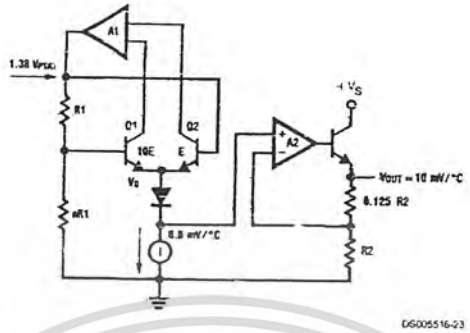


FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output (2°C to +150°C; 20 Hz to 1500 Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

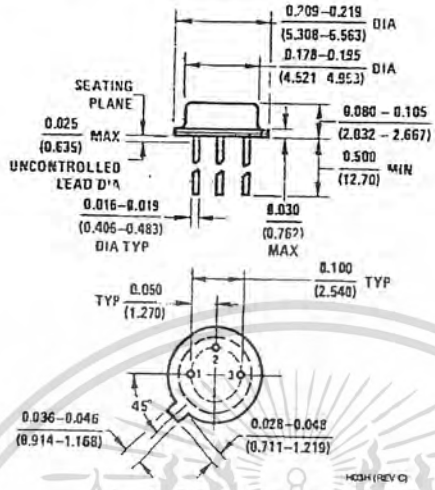
Block Diagram



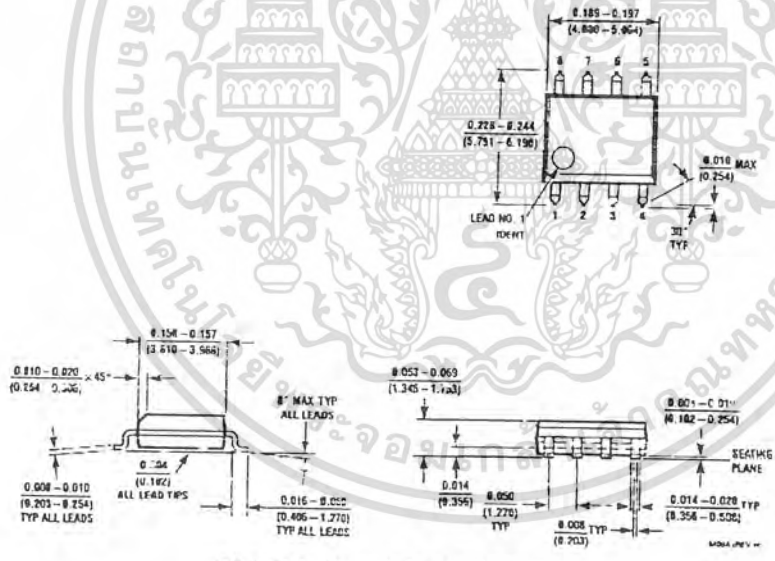
DS005516-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



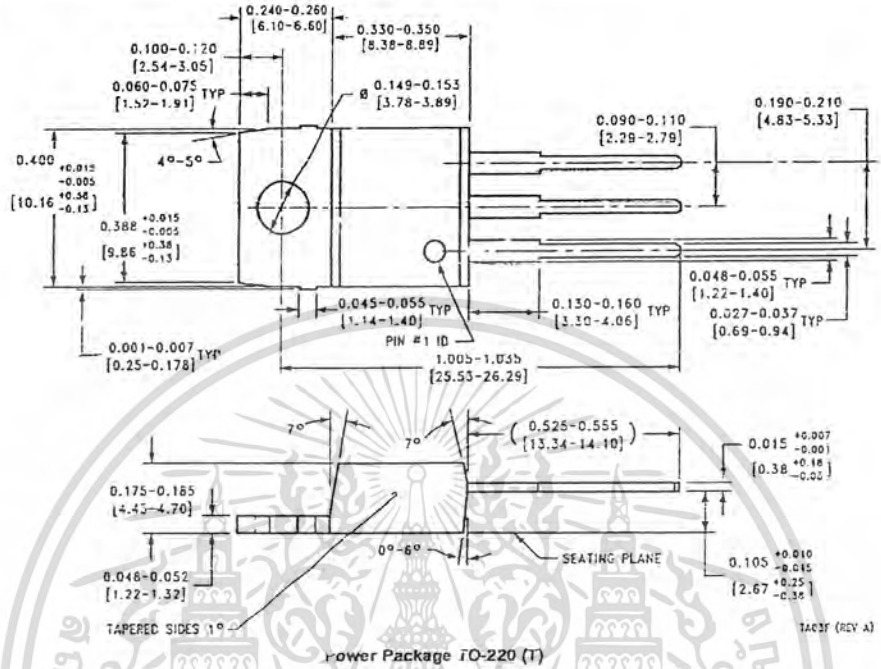
TO-46 Metal Can Package (H)
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH, or LM35DH
NS Package Number H03H



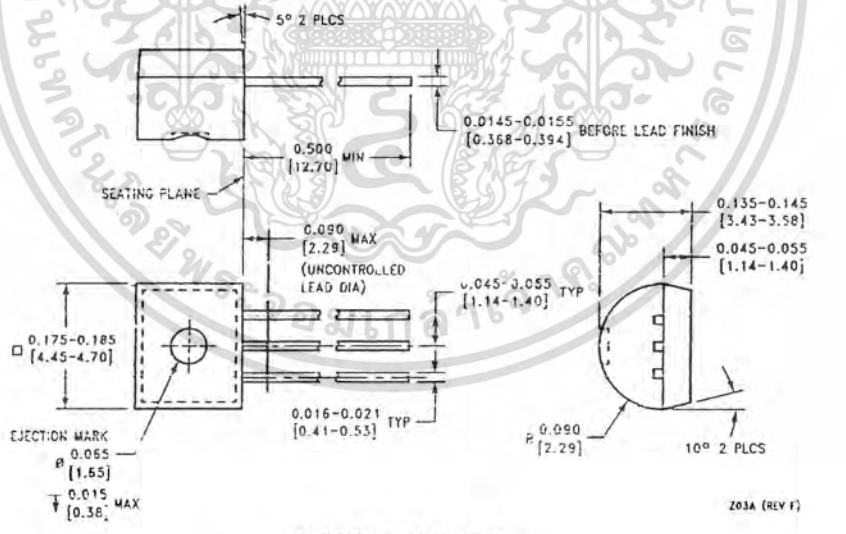
SO-8 Molded Small Outline Package (M)
Order Number LM35DM
NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Power Package TO-220 (T)
Order Number LM35DT
NS Package Number TA03F



TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP 24AA256/24LC256/24FC256

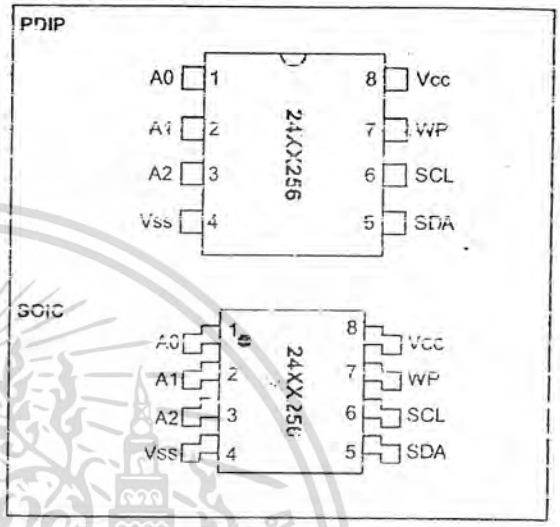
256K Bit I²C™ CMOS Serial EEPROM

DEVICE SELECTION TABLE

Part Number	Vcc Range	Max Clock Frequency	Temp Ranges
24AA256	1.8-5.5V	400 kHz†	I
24LC256	2.5-5.5V	400 kHz‡	I, E
24FC256	2.5-5.5V	1 MHz	I

†100 kHz for Vcc < 2.5V.
‡100 kHz for E temperature range.

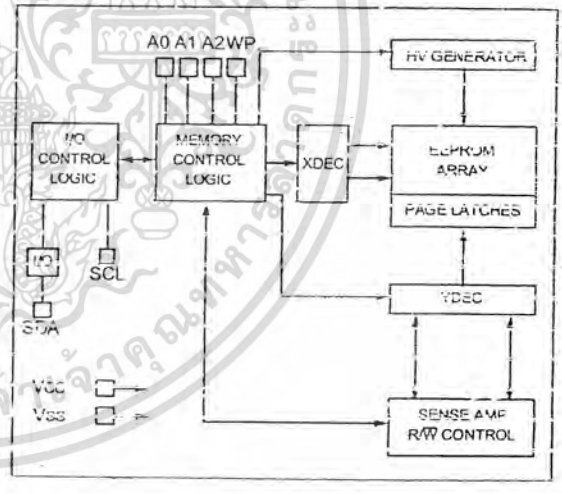
PACKAGE TYPE



FEATURES

- Low power CMOS technology
  - Maximum write current 3 mA at 5.5V
  - Maximum read current 400 µA at 5.5V
  - Standby current 100 nA typical at 5.5V
- 2-wire serial interface bus, I²C compatible
- Cascadable for up to eight devices
- Self-timed ERASE/WRITE cycle
- 64-byte page-write mode available
- 5 ms max write-cycle time
- Hardware write protect for entire array
- Output slope control to eliminate ground bounce
- Schmitt trigger inputs for noise suppression
- 100,000 erase/write cycles guaranteed
- Electrostatic discharge protection > 4000V
- Data retention > 200 years
- 8-pin PDIP and SOIC (208 mil) packages
- Temperature ranges:
  - Industrial (I): -40°C to +85°C
  - Automotive (E): -40°C to +125°C

BLOCK DIAGRAM



DESCRIPTION

The Microchip Technology Inc. 24AA256/24LC256/24FC256 (24XX256*) is a 32K x 8 (256K bit) Serial Electrically Erasable PROM, capable of operation across a broad voltage range (1.8V to 5.5V). It has been developed for advanced, low power applications such as personal communications or data acquisition. This device also has a page-write capability of up to 64 bytes of data. This device is capable of both random and sequential reads up to the 256K boundary. Functional address lines allow up to eight devices on the same bus, for up to 2M bit address space. This device is available in the standard 8-pin plastic DIP and 8-pin SOIC (208 mil) packages.

I²C is a trademark of Philips Corporation.
*24XX256 is used in this document as a generic part number for the 24AA256/24LC256/24FC256 devices.

© 1998 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1.1 Maximum Ratings*

Vcc.....7.0V
All inputs and outputs w.r.t. Vss ..... -0.6V to Vcc +1.0V
Storage temperature .....-65°C to +150°C
Ambient temp. with power applied.....-65°C to +125°C
Soldering temperature of leads (10 seconds) .....+300°C
ESD protection on all pins.....≥ 4 kV

*Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

TABLE 1-1 PIN FUNCTION TABLE

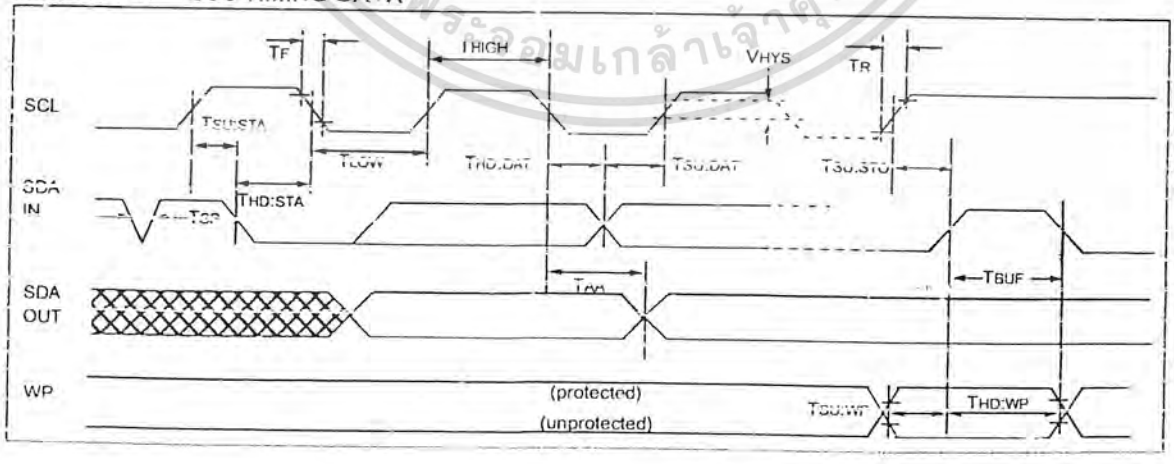
Name	Function
A0, A1, A2	User Configurable Chip Selects
Vss	Ground
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
WP	Write Protect Input
Vcc	+1.8 to 5.5V (24AA256) +2.5 to 5.5V (24LC256,24FC256)

TABLE 1-2 DC CHARACTERISTICS

All parameters apply across the specified operating ranges, unless otherwise noted.	Industrial (I): Vcc = +1.8V to 5.5V Tamb = -40°C to +85°C Automotive (E): Vcc = +4.5V to 5.5V Tamb = -40°C to 125°C				
Parameter	**Symbol**	**Min**	**Max**	**Units**	**Conditions**
A0, A1, A2, SCL, SDA, and WP pins:					
High level input voltage	VIH	0.7 Vcc	—	V	
Low level input voltage	VIL	—	0.3 Vcc	V	Vcc 2.5V
			0.2 Vcc	V	Vcc < 2.5V
Hysteresis of Schmitt Trigger inputs (SDA, SCL pins)	VHYS	0.05 Vcc	—	V	Vcc 2.5V (Note)
Low level output voltage	VOL	—	0.40	V	IOL = 3.0 mA @ Vcc = 4.5V
					IOL = 2.1 mA @ Vcc = 2.5V
Input leakage current	ILI	-10	10	µA	VIN = Vss or Vcc, WP = Vss
					VIN = Vss or Vcc, WP = Vcc
Output leakage current	ILO	-10	10	µA	VOUT = Vss or Vcc
Pin capacitance (all inputs/outputs)	CIN, COUT	—	10	pF	Vcc = 5.0V (Note)
					Tamb = 25°C, fc = 1 MHz
Operating current	ICC Read	—	400	µA	Vcc = 5.5V, SCL = 400 kHz
	ICC Write		3	mA	Vcc = 5.5V
Standby current	ICCS	—	1	µA	SCL = SDA = Vcc = 5.5V
					A0, A1, A2, WP = Vss

Note: This parameter is periodically sampled and not 100% tested.

FIGURE 1-1: BUS TIMING DATA



 © 1998 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-3 AC CHARACTERISTICS

All parameters apply across the specified operating ranges unless otherwise noted.	Industrial (I): Vcc = +1.8V to 5.5V Tamb = -40°C to +85°C Automotive (E): Vcc = +4.5V to 5.5V Tamb = -40°C to 125°C				
Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Clock frequency	FCLK	—	100	kHz	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		—	100		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		—	400		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		—	1000		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Clock high time	THIGH	4000	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4000	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		600	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		500	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Clock low time	TLOW	4700	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4700	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		1300	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		500	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
SDA and SCL rise time (Note 1)	TR	—	1000	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		—	1000		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		—	300		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		—	300		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
SDA and SCL fall time (Note 1)	TF	—	300	ns	All except 24FC256
		—	100		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
START condition hold time	THD:STA	4000	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4000	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		600	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		250	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
START condition setup time	TSU:STA	4700	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4700	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		600	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		250	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Data input hold time	THD:DAT	0	—	ns	(Note 2)
Data input setup time	TSU:DAT	250	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		250	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		100	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		100	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
STOP condition setup time	TSU:STO	4000	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4000	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		600	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		250	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
WP setup time	TSU:WP	4000	—	ns	4.5V < Vcc < 5.5V (E Temp range)
		4000	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		600	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		600	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
WP hold time	THD:WP	4700	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4700	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		1300	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		1300	—		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Output valid from clock (Note 2)	TAA	—	3500	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		—	3500		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		—	900		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		—	400		24FC256 (2.5 V ≤ Vcc ≤ 5.5 V)
Bus free time: Time the bus must be free before a new transmission can start	TBUF	4700	—	ns	4.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E Temp range)
		4700	—		1.8V ≤ Vcc ≤ 2.5V
		1300	—		2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V
		500	—		24FC256 (2.5 V < Vcc < 5.5 V)
Output fall time from VIH minimum to VIL maximum $C_B \leq 100$ pF	TOF	$10 + 0.1C_B$	250	ns	All except 24FC256 (Note 1)
			250		24FC256 (Note 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-3 AC CHARACTERISTICS

All parameters apply across the specified operating ranges unless otherwise noted.	Industrial (I): VCC = +1.8V to 5.5V Tamb = -40°C to +85°C Automotive (E): VCC = +4.5V to 5.5V Tamb = -40°C to 125°C				
Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Input filter spike suppression (SDA and SCL pins)	TSP	—	50	ns	All except 24FC256 (Notes 1 and 3)
Write cycle time (byte or page)	TWC	—	5	ms	
Endurance		100K	—	cycles	25°C, VCC = 5.0V, Block Mode (Note 4)

Note 1: Not 100% tested. C_B = total capacitance of one bus line in pF.

2: As a transmitter, the device must provide an internal minimum delay time to bridge the undefined region (minimum 300 ns) of the falling edge of SCL to avoid unintended generation of START or STOP conditions.

3: The combined TSP and VHYS specifications are due to new Schmitt trigger inputs which provide improved noise spike suppression. This eliminates the need for a TI specification for standard operation.

4: This parameter is not tested but guaranteed by characterization. For endurance estimates in a specific application, please consult the Total Endurance Model which can be obtained on Microchip's website @www.microchip.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 © 1998 Microchip Technology Inc.

2.0 PIN DESCRIPTIONS

2.1 A0, A1, A2 Chip Address Inputs

The A0, A1, A2 inputs are used by the 24XX256 for multiple device operations. The levels on these inputs are compared with the corresponding bits in the slave address. The chip is selected if the compare is true.

Up to eight devices may be connected to the same bus by using different chip select bit combinations. If left unconnected, these inputs will be pulled down internally to Vss.

2.2 SDA Serial Data

This is a bi-directional pin used to transfer addresses and data into and data out of the device. It is an open-drain terminal, therefore, the SDA bus requires a pullup resistor to VCC (typical 10 kΩ for 100 kHz, 2 kΩ for 400 kHz and 1 MHz).

For normal data transfer SDA is allowed to change only during SCL low. Changes during SCL high are reserved for indicating the START and STOP conditions.

2.3 SCL Serial Clock

This input is used to synchronize the data transfer from and to the device.

2.4 WP

This pin can be connected to either Vss, VCC or left floating. An internal pull-down resistor on this pin will keep the device in the unprotected state if left floating. If tied to Vss or left floating, normal memory operation is enabled (read/write the entire memory 0000-7FFF).

If tied to VCC, WRITE operations are inhibited. Read operations are not affected.

3.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The 24XX256 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 bus must be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions while the 24XX256 works as a slave. Both master and slave can operate as a transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated.

4.0 BUS CHARACTERISTICS

The following **bus protocol** has been defined:

- 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 a START or STOP condition.

Accordingly, the following bus conditions have been defined (Figure 4-1).

4.1 Bus not Busy (A)

Both data and clock lines remain HIGH.

4.2 Start Data Transfer (B)

A HIGH to LOW transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a START condition. All commands must be preceded by a START condition.

4.3 Stop Data Transfer (C)

A LOW to HIGH transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a STOP condition. All operations must end with a STOP condition.

4.4 Data Valid (D)

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 bit of data per clock pulse.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of the data bytes transferred between the START and STOP conditions is determined by the master device.

4.5 Acknowledge

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

Note:	The 24XX256 does not generate any acknowledge bits if an internal programming cycle is in progress.

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. During reads, 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 (24XX256) will leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4-1: DATA TRANSFER SEQUENCE ON THE SERIAL BUS

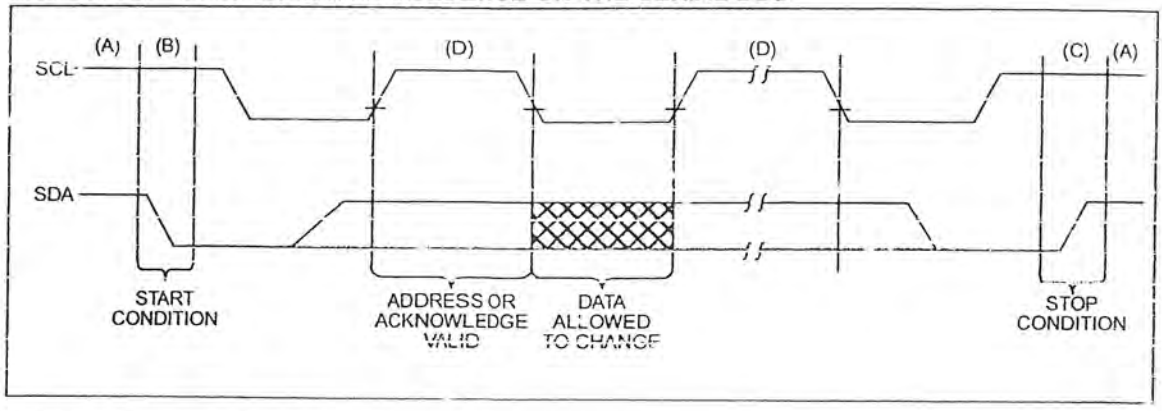
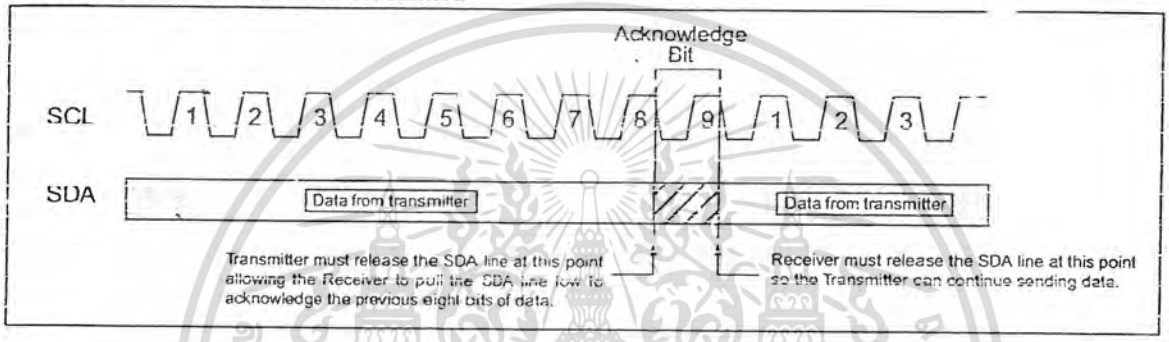


FIGURE 4-2: ACKNOWLEDGE TIMING



 © 1998 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

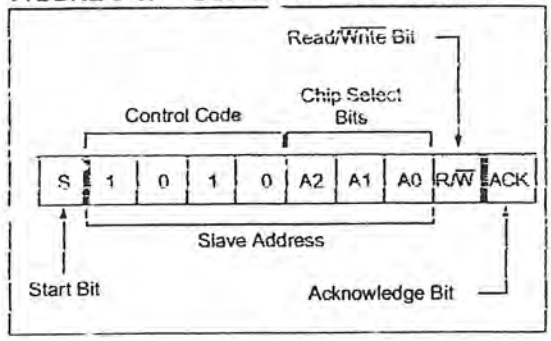
5.0 DEVICE ADDRESSING

A control byte is the first byte received following the start condition from the master device (Figure 5-1). The control byte consists of a 4-bit control code; for the 24XX256 this is set as 1010 binary for read and write operations. The next three bits of the control byte are the chip select bits (A2, A1, A0). The chip select bits allow the use of up to eight 24XX256 devices on the same bus and are used to select which device is accessed. The chip select bits in the control byte must correspond to the logic levels on the corresponding A2, A1, and A0 pins for the device to respond. These bits are in effect the three most significant bits of the word address.

The last bit of the control byte defines the operation to be performed. When set to a one a read operation is selected, and when set to a zero a write operation is selected. The next two bytes received define the address of the first data byte (Figure 5-2). Because only A14...A0 are used, the upper address bits is a don't care. The upper address bits are transferred first, followed by the less significant bits.

Following the start condition, the 24XX256 monitors the SDA bus checking the device type identifier being transmitted. Upon receiving a 1010 code and appropriate device select bits, the slave device outputs an acknowledge signal on the SDA line. Depending on the state of the R/$\overline{W}$ bit, the 24XX256 will select a read or write operation.

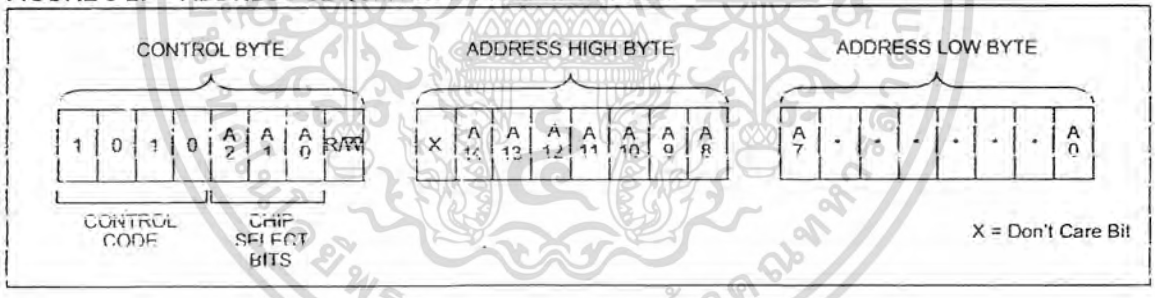
FIGURE 5-1: CONTROL BYTE FORMAT



5.1 Contiguous Addressing Across Multiple Devices

The chip select bits A2, A1, A0 can be used to expand the contiguous address space for up to 2 Mbit by adding up to eight 24XX256's on the same bus. In this case, software can use A0 of the control byte as address bit A15; A1, as address bit A16; and A2, as address bit A17. It is not possible to sequentially read across device boundaries.

FIGURE 5-2: ADDRESS SEQUENCE BIT ASSIGNMENTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.0 WRITE OPERATIONS

6.1 Byte Write

Following the start condition from the master, the control code (four bits), the chip select (three bits), and the R/$\overline{W}$ bit (which is a logic low) are clocked onto the bus by the master transmitter. This indicates to the addressed slave receiver that the address high byte will follow after it has generated an acknowledge bit during the ninth clock cycle. Therefore, the next byte transmitted by the master is the high-order byte of the word address and will be written into the address pointer of the 24XX256. The next byte is the least significant address byte. After receiving another acknowledge signal from the 24XX256, the master device will transmit the data word to be written into the addressed memory location. The 24XX256 acknowledges again and the master generates a stop condition. This initiates the internal write cycle, and, during this time, the 24XX256 will not generate acknowledge signals (Figure 6-1). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written, and the device will immediately accept a new command. After a byte write command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just written.

6.2 Page Write

The write control byte, word address, and the first data byte are transmitted to the 24XX256 in the same way as in a byte write. But instead of generating a stop condition, the master transmits up to 63 additional bytes, which are temporarily stored in the on-chip page buffer and will be written into memory after the master has transmitted a stop condition. After receipt of each word, the six lower address pointer bits are internally incremented by one. If the master should transmit more than 64 bytes prior to generating the stop condition, the address counter will roll over and the previously received data will be overwritten. As with the byte write operation, once the stop condition is received, an internal write cycle will begin (Figure 6-2). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written, and the device will immediately accept a new command.

6.3 Write Protection

The WP pin allows the user to write-protect the entire array (0000-7FFF) when the pin is tied to Vcc. If tied to Vss or left floating, the write protection is disabled. The WP pin is sampled at the STOP bit for every write command (Figure 1-1) Toggling the WP pin after the STOP bit will have no effect on the execution of the write cycle.

FIGURE 6-1: BYTE WRITE

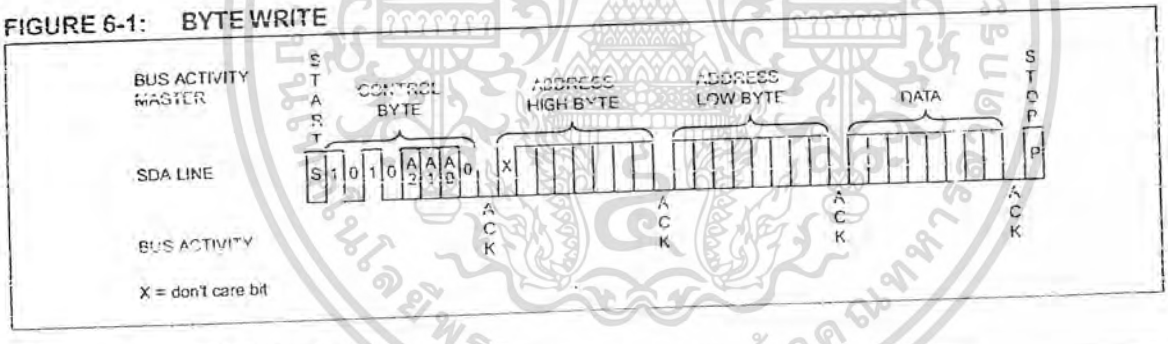
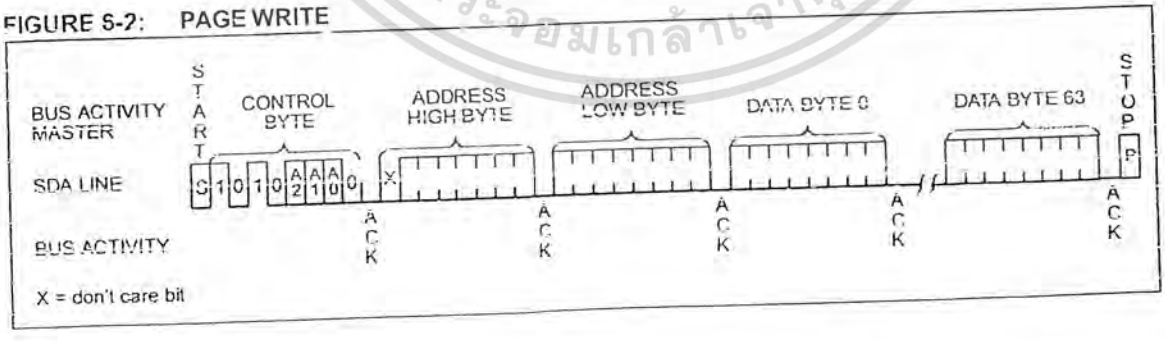


FIGURE 6-2: PAGE WRITE

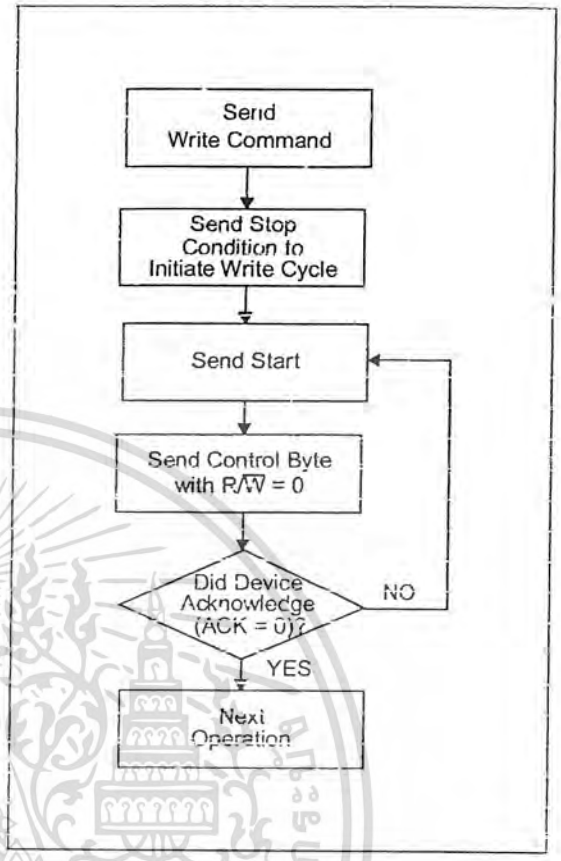


© 1998 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.0 ACKNOWLEDGE POLLING

Since the device will not acknowledge during a write cycle, this can be used to determine when the cycle is complete (This feature can be used to maximize bus throughput.) Once the stop condition for a write command has been issued from the master, the device initiates the internally timed write cycle. ACK polling can be initiated immediately. This involves the master sending a start condition, followed by the control byte for a write command (R/$\overline{W}$ = 0). If the device is still busy with the write cycle, then no ACK will be returned. If no ACK is returned, then the start bit and control byte must be resent. If the cycle is complete, then the device will return the ACK, and the master can then proceed with the next read or write command. See Figure 7-1 for flow diagram.

FIGURE 7-1: ACKNOWLEDGE POLLING FLOW



© 1998 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

8.0 READ OPERATION

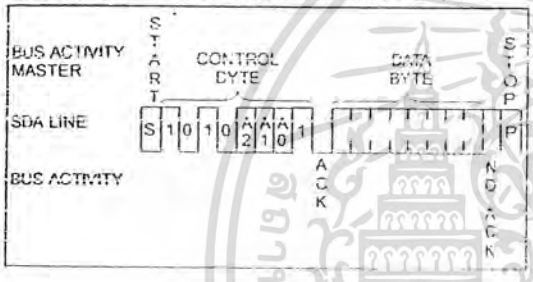
Read operations are initiated in the same way as write operations with the exception that the R/$\overline{W}$ bit of the control byte is set to one. There are three basic types of read operations: current address read, random read, and sequential read.

8.1 Current Address Read

The 24XX256 contains an address counter that maintains the address of the last word accessed, internally incremented by one. Therefore, if the previous read access was to address n (n is any legal address), the next current address read operation would access data from address n + 1.

Upon receipt of the control byte with R/$\overline{W}$ bit set to one, the 24XX256 issues an acknowledge and transmits the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a stop condition and the 24XX256 discontinues transmission (Figure 8-1).

FIGURE 8-1: CURRENT ADDRESS READ



8.2 Random Read

Random read operations allow the master to access any memory location in a random manner. To perform this type of read operation, first the word address must be set. This is done by sending the word address to the 24XX256 as part of a write operation (R/$\overline{W}$ bit set to 0). After the word address is sent, the master generates a start condition following the acknowledge. This terminates the write operation, but not before the internal address pointer is set. Then, the master issues the control byte again but with the R/$\overline{W}$ bit set to a one. The 24XX256 will then issue an acknowledge and transmit the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a stop condition which causes the 24XX256 to discontinue transmission (Figure 8-2). After a random read command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just read.

8.3 Sequential Read

Sequential reads are initiated in the same way as a random read except that after the 24XX256 transmits the first data byte, the master issues an acknowledge as opposed to the stop condition used in a random read. This acknowledge directs the 24XX256 to transmit the next sequentially addressed 8-bit word (Figure 8-3). Following the final byte transmitted to the master, the master will NOT generate an acknowledge but will generate a stop condition. To provide sequential reads, the 24XX256 contains an internal address pointer which is incremented by one at the completion of each operation. This address pointer allows the entire memory contents to be serially read during one operation. The internal address pointer will automatically roll over from address 7FFF to address 0000 if the master acknowledges the byte received from the array address 7FFF.

FIGURE 8-2: RANDOM READ

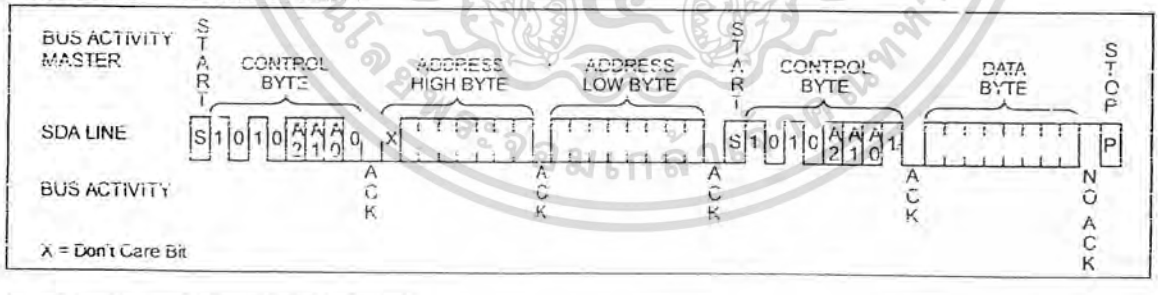
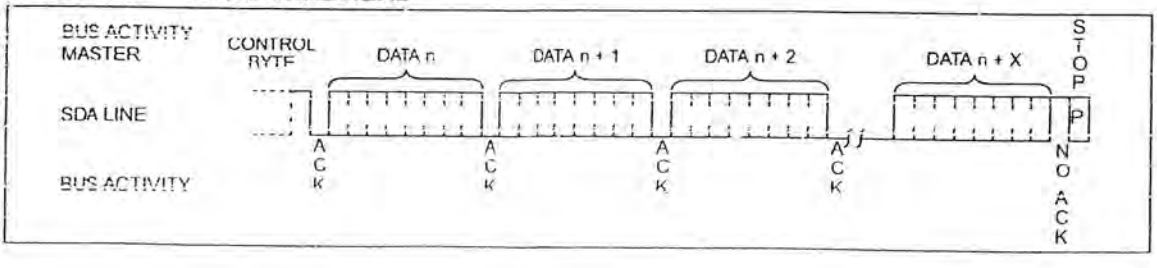


FIGURE 8-3: SEQUENTIAL READ



 © 1998 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24XX256 PRODUCT IDENTIFICATION SYSTEM

To order or obtain information, e.g., on pricing or delivery, refer to the factory or the listed sales office.

24XX256	—		/P
		Package:	P = Plastic DIP (300 mil Body), 8-lead SM = Plastic SOIC (208 mil Body, EIAJ standard), 8-lead
		Temperature Range:	I = -40°C to +85°C E = -40°C to +125°C
		Device:	24AA256 — 256K bit 1.8V I^2C Serial EEPROM 24AA256T — 256K bit 1.8V I^2C Serial EEPROM (Tape and Reel) 24LC256 — 256K bit 2.5V I^2C Serial EEPROM 24LC256T — 256K bit 2.5V I^2C Serial EEPROM (Tape and Reel) 24FC256 — 256K bit 1MHz I^2C Serial EEPROM 24FC256T — 256K bit 1MHz I^2C Serial EEPROM (Tape and Reel)

Sales and Support

Data Sheets

Products supported by a preliminary Data Sheet may have an errata sheet describing minor operational differences and recommended workarounds. To determine if an errata sheet exists for a particular device, please contact one of the following

1. Your local Microchip sales office
2. The Microchip Corporate Literature Center U.S. FAX: (602) 786-7277
3. The Microchip Worldwide Web Site at www.microchip.com

Please specify which device, revision of silicon and Data Sheet (include Literature #) you are using

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

WORLDWIDE SALES AND SERVICE

AMERICAS

Corporate Office
Microchip Technology Inc.
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 602-786-7200 Fax: 602-786-7277
Technical Support: 602 786-7627
Web: http://www.microchip.com

Atlanta
Microchip Technology Inc.
500 Sugar Mill Road, Suite 200B
Atlanta, GA 30350
Tel: 770-640-0034 Fax: 770-640-0307

Boston
Microchip Technology Inc.
5 Mount Royal Avenue
Marlborough, MA 01752
Tel: 508-480-9990 Fax: 508-480-8575

Chicago
Microchip Technology Inc.
333 Pierce Road, Suite 180
Itasca, IL 60143
Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075

Dallas
Microchip Technology Inc.
14651 Dallas Parkway, Suite 816
Dallas, TX 75240-8809
Tel: 972-991-7177 Fax: 972-991-8588

Dayton
Microchip Technology Inc.
Two Prestige Place, Suite 150
Miamisburg, OH 45342
Tel: 937-291-1654 Fax: 937-291-9175

Detroit
Microchip Technology Inc.
42705 Grand River, Suite 201
Novi, MI 48375-1727
Tel: 248-374-1888 Fax: 248-374-2874

Los Angeles
Microchip Technology Inc.
18201 Von Karman, Suite 1090
Irvine, CA 92612
Tel: 714-263-1888 Fax: 714-263-1338

New York
Microchip Technology Inc.
150 Motor Parkway, Suite 202
Hauppauge, NY 11788
Tel: 516-273-5305 Fax: 516-273-5335

San Jose
Microchip Technology Inc.
2107 North First Street, Suite 590
San Jose, CA 95131
Tel: 408-436-7950 Fax: 408-436-7955

AMERICAS (continued)

Toronto
Microchip Technology Inc.
5925 Airport Road, Suite 200
Mississauga, Ontario L4V 1W1, Canada
Tel: 905-405-6279 Fax: 905-405-6253

ASIA/PACIFIC

Hong Kong
Microchip Asia Pacific
RM 3801B, Tower Two
Metroplaza
223 Hing Fong Road
Kwai Fong, N.T., Hong Kong
Tel: 852-2-401-1200 Fax: 852-2-401-3431

India
Microchip Technology Inc.
India Liaison Office
No. 6, Legacy, Convent Road
Bangalore 560 025, India
Tel: 91-80-229-0061 Fax: 91-80-229-0062

Japan
Microchip Technology Intl. Inc.
Benex S-1 6F
3-18-20, Shinyokohama
Kohoku-Ku, Yokohama-shi
Kanagawa 222-0033 Japan
Tel: 81-45-471- 6166 Fax: 81-45-471-6122

Korea
Microchip Technology Korea
168-1, Youngbo Bldg. 3 Floor
Samsung-Dong, Kangnam-Ku
Seoul, Korea
Tel: 82-2-554-7200 Fax: 82-2-558-5934

Shanghai
Microchip Technology
RM 406 Shanghai Golden Bridge Bldg.
2077 Yan'an Road West, Hong Qiao District
Shanghai, PRC 200335
Tel: 86-21-6275-5700 Fax: 86-21-6275-5060

ASIA/PACIFIC (continued)

Singapore
Microchip Technology Singapore Pte Ltd.
200 Middle Road
#07-02 Prime Centre
Singapore 188980
Tel: 65-334-8870 Fax: 65-334-8850

Taiwan, R.O.C
Microchip Technology Taiwan
10F-1C 207
Tung Hua North Road
Taipei, Taiwan, ROC
Tel: 886-2-2717-7175 Fax: 886-2-2545-0139

EUROPE

United Kingdom
Arizona Microchip Technology Ltd.
505 Eskdale Road
Winnersh Triangle
Wokingham
Berkshire, England RG41 5TU
Tel: 44-1189-21-5858 Fax: 44-1189-21-5835

France
Arizona Microchip Technology SARL
Zone Industrielle de la Bonde
2 Rue du Buisson aux Fraises
91300 Massy, France
Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany
Arizona Microchip Technology GmbH
Gustav-Heinemann-Ring 125
D-81739 München, Germany
Tel: 49-89-627-144 0 Fax: 49-89-627-144-44

Italy
Arizona Microchip Technology SRL
Centro Direzionale Colleoni
Palazzo Taurus 1 V. Le Colleoni 1
20041 Agrate Brianza
Milan, Italy
Tel: 39-39-6899939 Fax: 39-39-6899883

7/7/98

DNV Certification, Inc. USA — ACCREDITED REGISTRAR ANSI-RAB — DNV MSC The Netherlands Accredited by the RvA — ISO 9001 REGISTERED FIRM

Microchip received ISO 9001 Quality System certification for its worldwide headquarters, design, and wafer fabrication facilities in January, 1997. Our field-programmable PICmicro™ 8-bit MCUs, Serial EEPROMs, related specialty memory products and development systems conform to the stringent quality standards of the International Standard Organization (ISO).

All rights reserved. © 1998, Microchip Technology Incorporated, USA. 10/98 Printed on recycled paper.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended for suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All rights reserved. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies.

© 1998 Microchip Technology Inc.

บรรณานุกรม

1. ปรเมษฐ์ ประนยานันทน์ "คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51" ,สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัดมหาชน
2. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51" , สำนักพิมพ์ บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์
3. "คู่มือเทียบเบอร์ไอซี TTL" ,สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัดมหาชน
4. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,"คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพ 2538
5. ธีรวัฒน์ ประกอบผล,"การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์",สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น),บริษัทแซทโฟร์ พริ้นติ้ง จำกัด,กรุงเทพ 2541
6. สมยศ จุณณะปิยะ,"การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51",ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
7. Sencer Yeralan "Programming and Interfacing the 8051 ", Addison-Wesley Publishing Company
8. EDA ALTIUM "P-CAD DESIGN PCB", TOTAL EDA FROM ALTIUM, ANIBM COMPANY
9. Robert F. Coughlin "Operational Amplifiers and Linear Intergrated Circuit",Prentice-Hall
10. ATMEL Corporation " 89C51 Data Sheet "
11. National Semiconductor Corporation " LM35 LM75176 and 0804 Data Sheet "
12. TEXAS INSTRUMENT "ULN2003A Data Sheet"
13. Philips Component "Humidity sensor Data Sheet"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ขึ้นมานั้น กระผมขอขอบพระคุณ อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ ให้คำชี้แนะแนวทางในการทำโครงงาน ช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น และขอขอบคุณพี่ ๆ ทุกคนที่ให้คำชี้แนะรวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจน เพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจด้วยดีมาตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรมสั่งสอนและให้ความสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

นาย มนตรี ไชยชาญยุทธ์

นาย สิทธิพงศ์ เมืองจันทบุรี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้