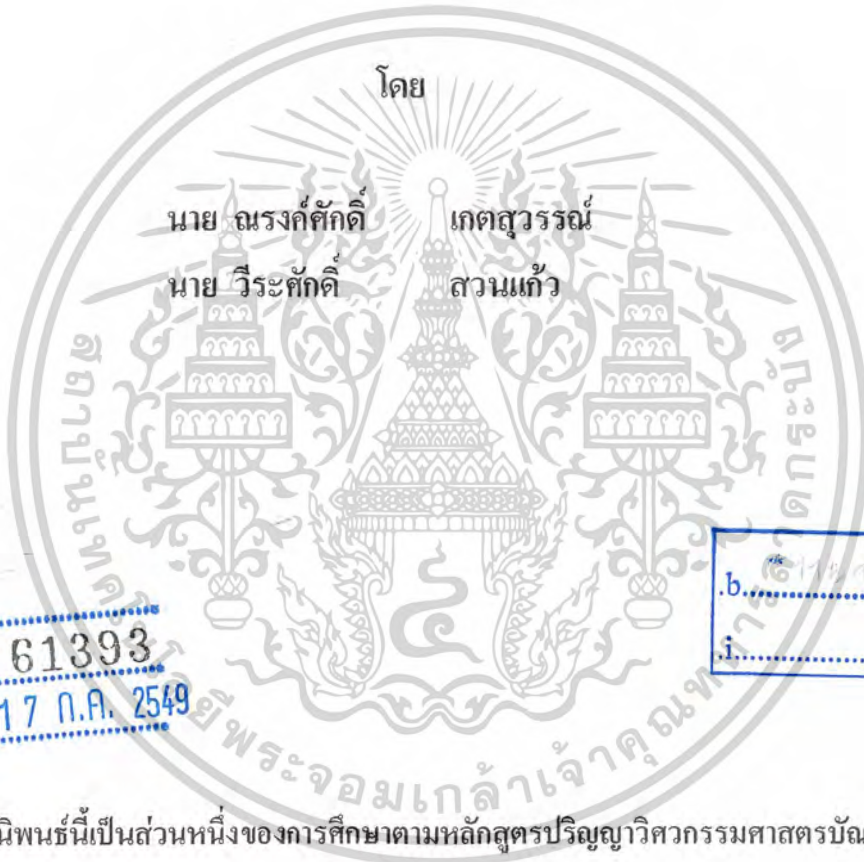


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์  
CARBON MONOXIDE DETECTOR



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 61393  
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

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

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์  
CARBON MONOXIDE DETECTOR

โดย

นาย ณรงค์ศักดิ์ เกตุสุวรรณ 45015192

นาย วีระศักดิ์ สวนแก้ว 45015295

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เทอดศักดิ์ ลิวหาทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง เครื่องตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

ผู้จัดทำ นาย ณรงค์ศักดิ์ เกตสุวรรณ

นาย วีระศักดิ์ สวนแก้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ เครื่องตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

CARBON MONOXIDE DETECTOR

นายณรงค์ศักดิ์ เกตสุวรรณ รหัส 45015192

นาย วีระศักดิ์ สวนแก้ว รหัส 45015295

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	เครื่องตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์
นักศึกษา	นาย ณรงค์ศักดิ์ เกตุสุวรรณ รหัส 45015192 นาย วีระศักดิ์ สวนแก้ว รหัส 45015295
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	อ. เทอดศักดิ์ ลีมหาทอง
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2547

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



.....  
(อาจารย์เทอดศักดิ์ ลีมหาทอง)  
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
นักศึกษา	นาย ณรงค์ศักดิ์ เกตสุวรรณ รหัส 45015192 นาย วีระศักดิ์ สวนแก้ว รหัส 45015295
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ. เทอดศักดิ์ ลีหาทอง
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2547

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เสนอวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยใช้หัววัดแก๊สเบอร์ TGS-203 ระบบประกอบด้วยหัววัดแก๊ส, แหล่งจ่ายไฟให้กับตัวทำความร้อน (Heater) ของหัววัด, วงจรตรวจจับปริมาณแก๊ส, วงจรควบคุมและแสดงผล จากผลการทดลองระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้ผลเป็นที่พอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>PROJECT</b>	CARBON MONOXIDE DETECTOR
<b>STUDENT</b>	Mr. NARONGSAK KETSUWAN No.45015192 Mr. WEERASUK SOUNKAW No.45015295
<b>ADVISOR</b>	Mr. THURDSAK LEWHARTONG
<b>COUREE</b>	Bachelor of Engineering in Electronics
<b>DEPARTMENT</b>	Electronics Engineering
<b>YEAR</b>	2004

### ABSTRACT

This project presents a system for measuring the quantity of carbon monoxide Gas (CO) by using TGS-203 sensor. The system consists of the sensor, two power supply for two heaters of the sensor, a detecting circuit, a controlling and a display. From our experiments, the system have measured the CO gas properly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการสร้างโครงการนี้ ทางผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการดำเนินงาน ตลอดจนได้รับความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในการดำเนินงานต่างๆจาก ผศ.ดร.ยุทธนา กิจใจเดียว ผศ.ประภากร สุวรรณะ และคุณ บุญญฤทธิ์ ลักษณะประณีต จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงเป็นโครงการได้ ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ให้ความกรุณา มา ณ.ที่นี้

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้ให้กำเนิดและสนับสนุนเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำโครงการตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ในการศึกษาระดับอุดมศึกษานั้นเป็นระดับที่ต้องสามารถคิดค้นประดิษฐ์อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมาเองได้โดยอาศัยความรู้ที่เรียนมาตลอดหลักสูตรและการเรียนวิศวกรรมศาสตร์ก็เป็นสาขาหนึ่งที่ต้องทำ ดังนั้นผู้จัดทำโครงการนี้จึงคิดค้นเครื่องวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้นมาเพื่อนำความรู้ที่เรียนมาทางอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้งานได้ ซึ่งในโครงการนี้นั้นจะต้องใช้ความรู้ทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นพื้นฐานของสาขานี้เข้ามาเกี่ยวข้อง รวมทั้งต้องใช้ความรู้ทางไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลและแสดงผล รวมทั้งเป็นการควบคุมเวลาในการจ่ายแรงจากภาคจ่ายไฟไปยังวงจรภายใน

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาแก่ผู้จัดทำโครงการนี้ ด้วยดีตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

คำนำ

สารบัญ

บทที่ 1 ความมุ่งหมายของปริญญาโท	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 รายละเอียดเกี่ยวกับเซ็นเซอร์	3
2.1 นิยามของแก๊สเซ็นเซอร์	3
2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์เซ็นเซอร์ (CARBON MONOXIDE SENSORS)	4
2.3 คุณสมบัติและลักษณะของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS-203	6
2.4 วิธีการใช้งานของตัวแก๊สเซ็นเซอร์ TGS-203	8
2.5 พื้นฐานในการวัดด้วยแก๊สเซ็นเซอร์	10
2.6 ข้อควรปฏิบัติในการใช้งานเซ็นเซอร์	10
บทที่ 3 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F87x	11
3.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F87x	11
3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87Xa	13
3.3 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม	14
3.4 สรุปลักษณะสำคัญของ PIC 16F87x และการเข้าถึงรีจิสเตอร์	14
3.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	23
บทที่ 4 รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง	34
4.1 แนวทางการออกแบบ	34
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	35
5.1 การทดลองภาคจ่ายไฟให้กับ ฮีตเตอร์ (HEATER)	35
5.2 วงจรการทดลอง จ่ายกระแสให้กับเซ็นเซอร์	36
5.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	37
5.4 ผลการทดลองวัดค่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (จุดรูป)	38
5.5 ผลการทดลองวัดค่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (หลังเอารูปออก)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 6 ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง	42
หนังสืออ้างอิง	43
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	แสดงกระบวนการทำงานของโครงการนี้	1
รูปที่ 2.1	แสดงการจัดกลุ่มของทรานสดิวเซอร์	3
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างของเซ็นเซอร์	4
รูปที่ 2.3	แสดงขนาดของ TGS-203	5
รูปที่ 2.4	แสดงลักษณะรูปร่างของ TGS-203	6
รูปที่ 2.5	แสดงค่าความความต้านทานที่แปรผันไปตามความเข้มข้นของแก๊ส	6
รูปที่ 2.6	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง	7
รูปที่ 2.7	แสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้ฮีตเตอร์	7
รูปที่ 2.8	แสดงวงจรทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์	8
รูปที่ 3.1	แสดงแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์ดแวร์	11
รูปที่ 3.2	แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F87x	12
รูปที่ 3.3	แสดงโครงสร้างขา RA0 – RA3 ของพอร์ต A ใน PIC16F87x	24
รูปที่ 3.4	แสดงโครงสร้างขา RA4 ของพอร์ต A ใน PIC16F87x	25
รูปที่ 3.5	การต่ออุปกรณ์เข้าที่ขาพอร์ต RA4 เมื่อใช้งานเป็นขาเอาต์พุต	26
รูปที่ 3.6	แสดงโครงสร้างขา RA5 ของพอร์ต A ใน PIC16F87x	26
รูปที่ 3.7	แสดงโครงสร้างขา ของพอร์ต B ใน PIC16F87x	28
รูปที่ 3.8	แสดงโครงสร้างขา RC0-RC2 ของพอร์ต C ใน PIC16F87x	30
รูปที่ 3.9	แสดงโครงสร้างขา RC3 และ RC4 ของพอร์ต C ใน PIC16F87x	31
รูปที่ 3.10	แสดงโครงสร้าง ของพอร์ต D ใน PIC16F87x	32
รูปที่ 4.1	แสดง Block Diagram การทำงานของโครงการนี้	34
รูปที่ 5.1	วงจรการทดลอง จ่ายไฟให้กับ ฮีตเตอร์ (HEATER)	35
รูปที่ 5.2	วงจรการทดลอง จ่ายกระแสให้กับเซ็นเซอร์	36
รูปที่ 5.3	วงจรการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์	37
รูปที่ 5.4	กราฟแสดงผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (จุดรูป)	39
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (เอาธูปออก)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	แสดง Specification ของ TGS-203	8
ตารางที่ 3.1	ตารางสรุปการแบ่งกลุ่มคำสั่งของ PIC16F87x ตามการกำหนดโดยไมโครชิพ	19
ตารางที่ 3.2	สรุปรายละเอียดของไคเร็กตีฟที่โปรแกรม MPASM สามารถเข้าใจได้และตีความได้	21
ตารางที่ 3.3	สรุปคำสั่งพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16Cxx ที่ MPASM รู้จักและตีความได้	22
ตารางที่ 5.1	แสดงค่ากระแสที่ไหลตามเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์	35
ตารางที่ 5.2	แสดงค่ากระแสที่ไหลตามเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์	36
ตารางที่ 5.3	ผลการทดลองวัดกระแสคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (จุดรูป)	39
ตารางที่ 5.4	ผลการทดลองวัดกระแสคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (เอารูปออก)	40



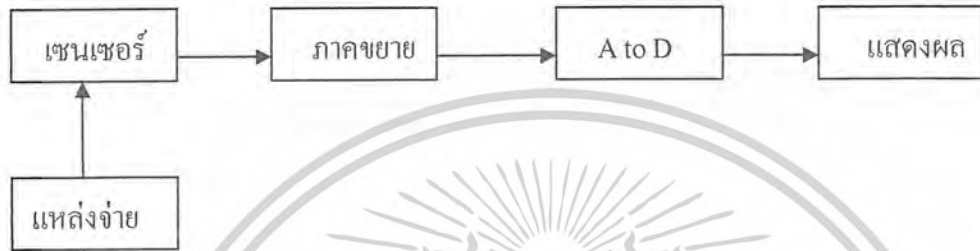
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## ความมุ่งหมายของปริญญาานิพนธ์

### 1.1 บทนำ

โครงการนี้จะเป็นการสร้างเครื่องตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยใช้หัววัดเบอร์ TGS-203 และมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน โดยมีกระบวนการทำงานของโครงการตามรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการทำงานของโครงการนี้

### 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาานิพนธ์

มลภาวะที่เป็นพิษ เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรม จากยานพาหนะ แม้แต่ในบ้านเรือนก็เป็นทั้งกำเนิดของมลพิษ ซึ่งแก๊สก็เป็นมลพิษตัวหนึ่งที่ก่อปัญหาอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นอันตรายจากแก๊สสามารถเกิดขึ้นได้เสมอกับมนุษย์ที่สัมผัส โดยไม่ได้ป้องกันและระมัดระวังที่เพียงพอ จึงต้องหาวิธีการป้องกันและลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากแก๊ส วิธีอันหนึ่งคือ การตรวจจับแก๊สซึ่งเรียกว่า “แก๊สเซ็นเซอร์” เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของแก๊ส โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยค่อนข้างสูงและมีผลกระทบเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์เช่นเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับระบบหายใจ หรือกล่าวได้ว่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นตัวบั่นทอนอายุให้สั้นลง

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1 ศึกษาการใช้งานของ Sensor TGS-203

1.3.2 ศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้งานกับวงจรเซ็นเซอร์

1.3.3 ศึกษาการวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในปัจจุบัน

1.3.4 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานกับส่วนอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้งานได้
- 1.4.2 ทำให้รู้จักการใช้โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ในการออกแบบและควบคุม
- 1.4.3 สามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านวงจรตรวจจับแก๊สชนิดอื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### รายละเอียดเกี่ยวกับเซ็นเซอร์

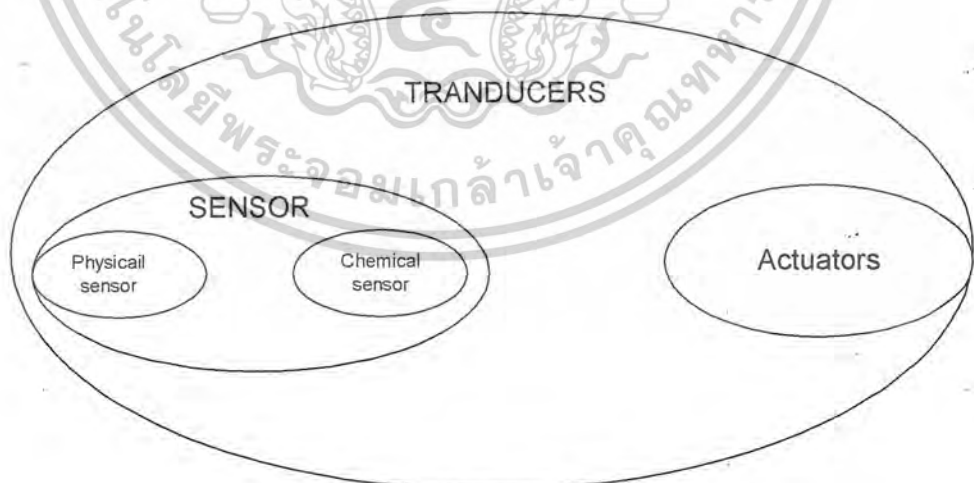
การตรวจวัดปริมาณของสารต่างๆที่เกิดขึ้น วัตถุประสงค์หลักคือเปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งอุปกรณ์ตัวนั้นเราเรียกว่า “ทรานสดิวเซอร์” ในที่นี้เราจะทำการวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จึงต้องใช้อุปกรณ์ในการวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์โดยเฉพาะและอุปกรณ์เหล่านี้ก็มีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ไม่ว่าจะเป็น NEMOTO NAP- 11AS , AF-30 , TGS-203

ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์เฉพาะไม่มีขายในประเทศโดยที่โครงการนี้ได้ใช้อุปกรณ์เบอร์ TGS-203ของ บริษัท FIGARO ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามที่เราต้องการ

#### 2.1 นิยามของแก๊สเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์จะเป็นส่วนสำคัญสำหรับระบบการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลออกมาแทนการตอบสนองของประสาทสัมผัสของมนุษย์ที่นอกจากเราจะได้ยิน สัมผัส ดมกลิ่น การลิ้มรสและการมองเห็น หากสิ่งที่เราได้รับรู้สัมผัสอันตราย เราอาจได้รับอันตรายจากสิ่งที่เราสัมผัสได้ เซ็นเซอร์จะสามารถช่วยได้ในการรับรู้และแสดงผลให้เราทราบผ่านกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตาม อาจกล่าวได้ว่าการพัฒนาอุปกรณ์เซ็นเซอร์ มีการพัฒนาไปในทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแยกชนิดของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ในการตรวจจับสามารถแบ่งออกเป็นหลักกว้างๆคือ ทรานสดิวเซอร์ ( Transducers) เซ็นเซอร์ (Sensor) และแอคทูเอเตอร์ (Actuators)



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดกลุ่ม ของทรานสดิวเซอร์

เซ็นเซอร์ (Sensor) เป็น ทรานสดิวเซอร์ ที่แปลงสัญญาณในรูปต่างๆเป็นค่าทางไฟฟ้า ใน ส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ นั้น จะมีส่วนประกอบของธาตุทางเคมี (ซึ่งจะกล่าวต่อไป) เปลี่ยนพลังงาน เป็นรูปทางไฟฟ้า

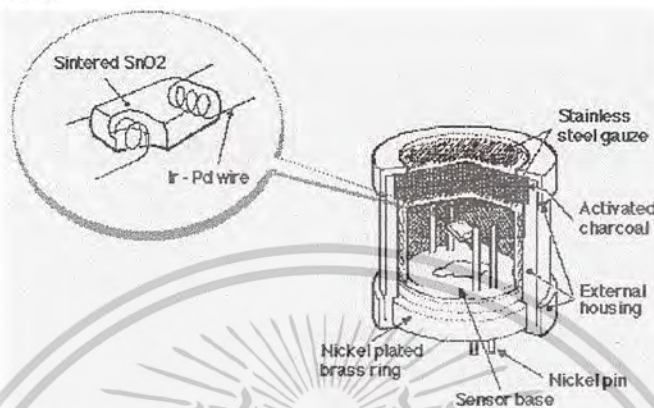
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์เซ็นเซอร์ (CARBON MONOXIDE SENSORS)

คาร์บอนมอนอกไซด์เซ็นเซอร์เป็นเซ็นเซอร์ที่มีส่วนประกอบของเคมีคือมี

Tin dioxide ( $\text{SnO}_2$ ) เป็นธาตุหลัก

2.2.1 รายละเอียดของแก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์เซ็นเซอร์และของโครงสร้างภายในแสดงดังรูป ที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของเซ็นเซอร์

2.2.2 คุณสมบัติของแก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์เซ็นเซอร์ ที่ดีมีดังนี้

2.2.2.1 มีความไวต่อแก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์สูง

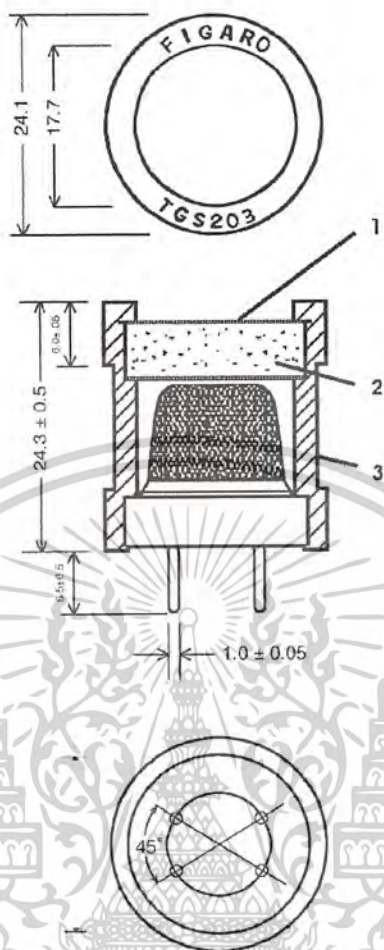
2.2.2.2 มีความไวต่อแก๊ส ชนิดอื่นต่ำมาก

2.2.2.3 มีอายุการใช้งานนาน

2.2.2.4 สามารถวัดได้ในย่านที่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ขนาดของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เซ็นเซอร์ TGS-203



รูปที่ 2.3 แสดงขนาดของ TGS-203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

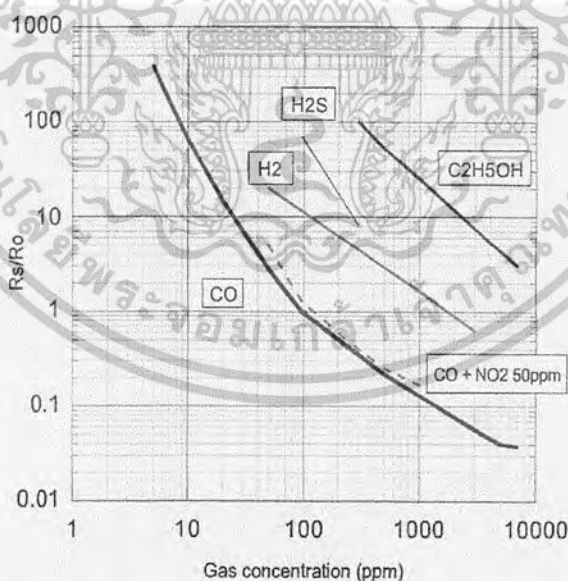
## 2.3 คุณสมบัติและลักษณะของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS-203



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะรูปร่างของ TGS-203

### 2.3.1 คุณสมบัติเกี่ยวกับความไว

ค่าความต้านทานภายในของเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์มาตกกระทบซึ่งตามโครงสร้างภายในแล้ว TGS-203สามารถที่จะรับค่าความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 50 ppm ถึง 1000 ppm และค่าที่เปลี่ยนแปลงจะแสดงผลออกมาเป็นแรงดันอยู่ระหว่าง 0-5 โวลต์ กราฟคุณสมบัติเกี่ยวกับความไวแสดงดังรูปที่ 2.5

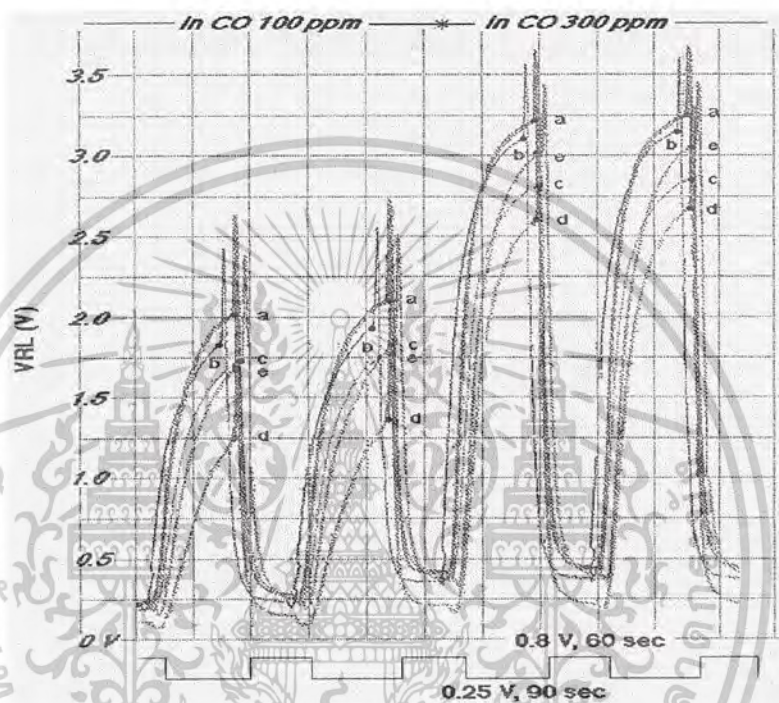


รูปที่ 2.5 แสดงค่าความต้านทานที่แปรผันไปตามค่าความเข้มข้นของแก๊ส โดยจะมีอัตราความเข้มข้นในหน่วยของหนึ่งในล้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 คุณสมบัติเกี่ยวกับเวลา

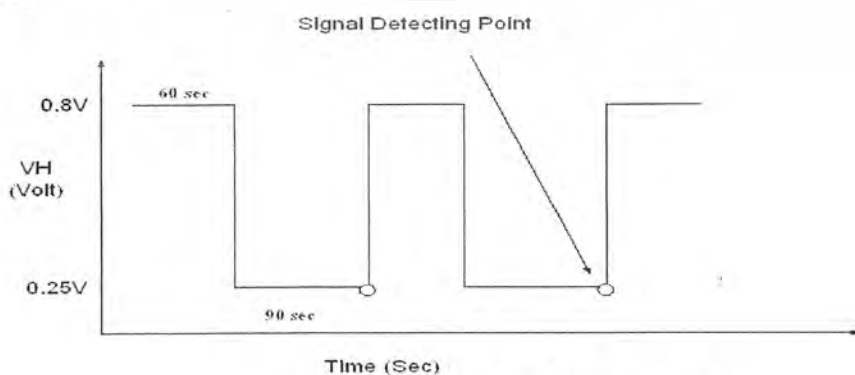
ในการวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นคุณสมบัติเกี่ยวกับเวลานั้นมีส่วนสำคัญอย่างมาก เพราะเวลาในการวัดจะเป็นตัวกำหนดการวัดดังรูปที่ 2.6 เมื่อระดับแรงดันอยู่ที่ 0.8 V แรงดันของส่วนนี้จะใช้ในการล้างหัวเซ็นเซอร์เป็นเวลา 60 วินาทีค่าแรงดันที่เอาท์พุทจะมีค่าน้อยหลังจากนั้นแรงดันจะเปลี่ยนเป็น 0.25 V เป็นเวลา 90 วินาที ค่าแรงดันในส่วนนี้จะใช้ทำการวัดปริมาณแก๊สผลของการกระทำดังกล่าวจะทำให้ด้านทานภายในของเซ็นเซอร์เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.6 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง

### 2.3.3 คุณสมบัติเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าของฮีเตอร์

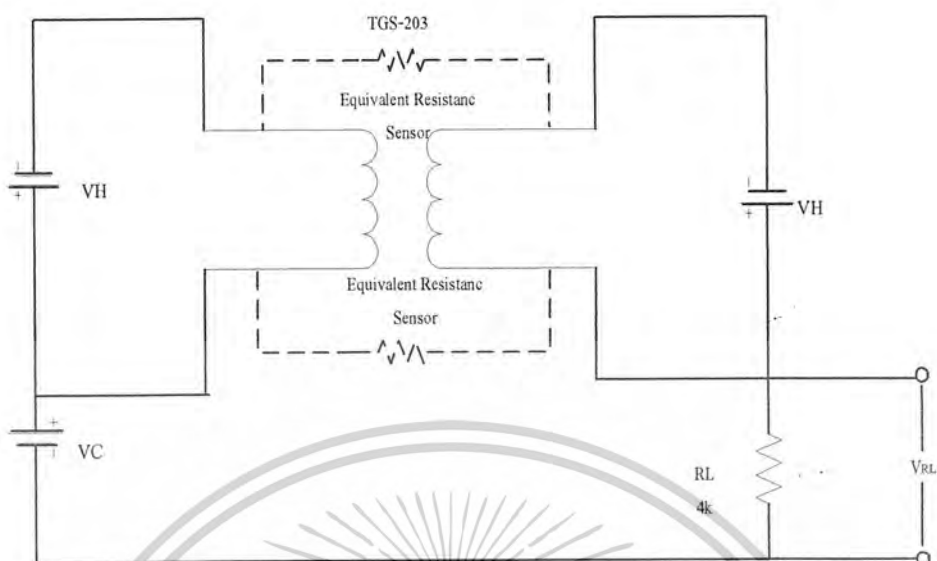
ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับฮีเตอร์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.7 แสดงค่าแรงดันที่จ่ายให้ฮีเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 วิธีการใช้งานของตัวแก๊สเซ็นเซอร์ TGS-203



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์

ในการที่จะนำเซ็นเซอร์ไปใช้งานจะต้องต่อวงจรและ ค่าต่างๆดังตารางด้านล่างนี้จึงจะทำให้เซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รายการ	ค่า
Circuit Voltage (Vc)	5.0V±1%DC
Heater Voltage (VH)	VHH = 0.8 V ±3 %for 60 sec. VHL = 0.25 V±3for 90 sec.
Heater Current IH	IHH = 369 mA IHL = 133 mA
Heater Resistance (room temp)	1.85 $\square$
Load Resistance (RL)	Variable
Power Dissipation (PS)	Less than 15mW
Signal detection timing	Within 0.5 sec. prior to application of VHH
Operating ±& storage temp	-40 °C~+70 °C
Optimal detection concentration	50ppm ~ 1000ppm

ตารางที่ 2.1 แสดง Specification ของ TGS-203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสามารถหาค่า  $V_R$ s ได้โดยที่

$$V_Rs = (V_c \times R_s) / (R_s + R_L) \quad (1)$$

และสามารถหาค่า  $R_s$  ได้ โดยที่

$$R_s = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \times R_L \quad (2)$$

และสามารถหาค่า  $P_s$  ได้ โดยที่

$$P_s = (V_c^2 \times R_s) / (R_s + R_L) \quad (3)$$

การใช้งานแก๊สเซ็นเซอร์จะใช้แรงดันสองส่วนด้วยกัน คือแรงดัน  $V_H$  และ  $V_c$  ที่แรงดัน  $V_H$  จะเป็นแรงดันที่ควบคุมด้วยเวลา เป็น  $V_{H1}$  ใช้เวลา 60 sec และ  $V_{H2}$  ใช้เวลา 90 sec ค่าแรงดันตามตารางด้านบน เนื่องจากตัวเซ็นเซอร์มีคุณสมบัติด้านความไวดังกล่าวมาแล้วข้างต้นดังนั้นในการจ่ายแรงดันให้กับเซ็นเซอร์ควรมีค่าคงที่

เงื่อนไขในการทดสอบตัวเซ็นเซอร์

- เป็นอากาศที่มีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพียงพอที่จะวัดได้ อุณหภูมิตามคุณสมบัติ คือ  $+25 \text{ } ^\circ\text{C} \sim +70 \text{ } ^\circ\text{C}$
- แรงดันของวงจรคงที่
- ความต้านทานของโหลด  $R_L$  ประมาณ  $1\text{k}\Omega \sim 5\text{k}\Omega$
- ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบควรมากกว่า 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 พื้นฐานในการวัดด้วยแก๊สเซ็นเซอร์

ในสภาพปกติแก๊สเซ็นเซอร์จะมีความต้านทานทางไฟฟ้าสูง ( High electric Impedance ) ถ้าตัวเซ็นเซอร์มีสถานะที่ทำงาน คือมีการจ่ายแรงดันถูกต้องและมี แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มาตกกระทบในปริมาณที่มากพอจะทำให้ ค่าความต้านทานภายในของตัวเซ็นเซอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในนี้ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานโหลด ( $R_L$ )เปลี่ยนแปลงไปด้วย นั่นคือเมื่อความต้านทานภายในของแก๊สเซ็นเซอร์ลดลงมาก จะทำให้ค่าความต้านทานของโหลดสูงขึ้น ซึ่งเราสามารถที่จะนำค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงของโหลดไปเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซที่เข้ามาได้

## 2.6 ข้อควรปฏิบัติในการใช้งานเซ็นเซอร์

ในการใช้งานแก๊สเซ็นเซอร์ TGS-203 นั้นสิ่งที่สำคัญที่จะขาดไม่ได้เลยคือก่อนที่จะทำการวัดจะต้องล้างหัวเซ็นเซอร์ชะก่อนโดยที่ป้อนแรงดัน  $V_H$  มีค่า 0.8 โวลต์ ประมาณ 60 วินาที และเปลี่ยนเป็น 0.25 โวลต์ ประมาณ 1.30 นาที จากนั้นก็ทำการวัดโดยใช้แรงดัน  $V_C$  ประมาณ 5 โวลต์ จ่ายให้กับวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F87x

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับการติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1

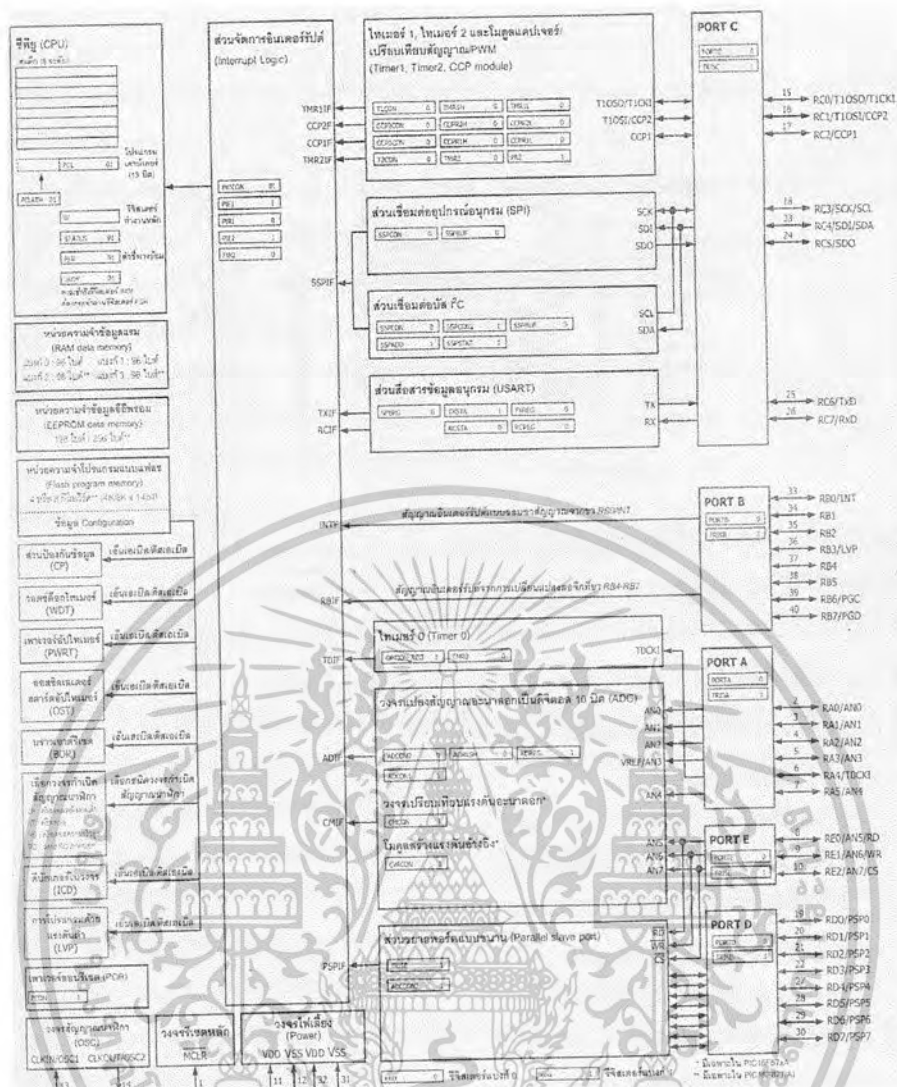


รูปที่ 3.1 แสดงแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์ดแวร์

#### 3.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F87x

ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F874 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาพอสมควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต ( brown-out-reset) ส่วนแก้ไขข้อมูลในวงจรหรือดีบั๊กเกอร์ (In-circuit debugger) วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (low-voltage-programming) ไทมเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต วงจรเชื่อมต่ออนุกรม (SPI: Serial Peripheral Interfacing) , วงจรเชื่อมต่อระบบบัส I2C, วงจรสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ-ตรวจจับสัญญาณ – วงจรอคูเลชันทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (CCP : compare Capture Pulse- width modulation) นอกจากนั้นในอนุกรม จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกและ โมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมเข้ามาอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F87x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA

#### คุณสมบัติหลัก

- 3.2.1. ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- 3.2.2. สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- 3.2.3. ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- 3.2.4. หน่วยความจำโปรแกรม
  - 2 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 4 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 8 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F876/876(A)/877/877(A)
- 3.2.5. หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 192 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 368 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- 3.2.6. ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม
  - 64 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 256 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- 3.2.7. ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่งชั้นกับเมอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3.2.8. มีสแต็ค 8 ระดับ
- 3.2.9. มีวงจรเพาเวอร์อนรีเซต (POR)
- 3.2.10. มีเพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- 3.2.11. เลือกรักษาข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- 3.2.12. มีโหมดประหยัดพลังงาน
- 3.2.13. สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- 3.2.14. แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD ( In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- 3.2.15. ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- 3.2.16. ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.17. กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
- 3.2.18. การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่จับโหลด  
น้อยกว่า 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz  
20  $\mu$ A ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz  
น้อยกว่า 1 $\mu$ A ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

### 3.3 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

3.3.1 ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์ และ , ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์, โพสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว

3.3.2 มีโมดูล CCP 2 ชุด โดยส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต

3.3.3 มีวงจรแปลงจับสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต ( 5 ช่องสำหรับ PIC16F873(A)/876(A) และช่องสำหรับ PIC16F874(A)/877(A)

3.3.4. วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I<sup>2</sup>C

3.3.5. วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต

3.3.6. มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเทกชัน : Brown-out detection) เพื่อการรีเซ็ตชิพ หรือ เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต ( Brown-out reset : BOR)

### 3.4 สรุปชุดคำสั่งของ PIC16F87x และการเข้าถึงรีจิสเตอร์

ไมโครชิป เทคโนโลยีผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ได้จัดแบ่งชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- . กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับไบต์กับรีจิสเตอร์ไฟล์ (Byte-oriented file register operations) เป็นกลุ่มคำสั่งที่กระทำรีจิสเตอร์ ไฟล์โดยตรงหรือโดยอ้อม โดยขนาดของข้อมูลอยู่ในระดับไบต์หรือ 8 บิต มีทั้งสิ้น 18 คำสั่ง
- . กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับบิตกับรีจิสเตอร์ไฟล์ (Bit-oriented file register operations) เป็นกลุ่มคำสั่งที่ต้องเกี่ยวข้องหรือ กระทำกับรีจิสเตอร์ไฟล์โดยตรงหรือโดยอ้อม โดยขนาดของข้อมูลที่ต้องประมวลผลอยู่ในระดับบิต มีทั้งสิ้น 4 คำสั่ง
- กลุ่มคำสั่งจัดการกับค่าคงที่และควบคุมการทำงาน (Literal and control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

operations) เป็นกลุ่มคำสั่งที่ผสมกันระหว่างการประมวลผลกับค่าคงที่, คำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดไปยังโปรแกรมย่อยและออกจากโปรแกรมย่อย และคำสั่งกำหนดโหมดการทำงาน มีทั้งสิ้น 13 คำสั่ง

รูปแบบของข้อมูลคำสั่งทั้ง 14 บิตของไมโครคอนโทรลเลอร์จะแบ่งเป็น บิตของออปโค้ด (opcode), บิตกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ และบิตเก็บค่าคงที่ ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มของคำสั่ง ดังแสดงในรูปที่

### ความหมายของตัวแปรที่ควรรทราบ

ในแต่ละคำสั่งของ PIC16F87x มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่หลายตัว โดยจะเขียนต่อจากคำสั่งเพื่อเป็นการกำหนดหรือระบุคำสั่งนั้น ๆ กระทำ หรือมีผลต่อรีจิสเตอร์หรือข้อมูลใดบ้าง สามารถสรุปรายละเอียดความหมายของตัวแปรทั้งหมดได้ดังนี้

### รูปที่ 1 แสดง โครงสร้างของรูปแบบข้อมูลคำสั่งขนาด 14 บิตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

f	เป็นค่าแอดเดรสของรีจิสเตอร์ไฟล์ มีค่า 0-127 หรือ 0x00-0x7F ในการติดต่อต้องเลือกแบงก์ให้ถูกต้องด้วย
d	ใช้ระบุปลายทางที่เก็บผลลัพธ์ของการกระทำคำสั่งนั้นๆ มีค่าได้ 2 ค่าคือ "0" และ "1" d="0" หลังจากกระทำคำสั่งแล้ว ผลลัพธ์เก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ W โดยที่ค่าในรีจิสเตอร์ต้นทางไม่เปลี่ยนแปลง
k	d="1" หลังจากกระทำคำสั่งแล้ว ผลลัพธ์ให้เก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ไฟล์ในคำสั่งนั้นๆ หมายถึง ค่าคงที่ใดๆ ในกรณีใช้กับคำสั่งประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก และยังหมายถึงแอสแอดเรสที่ต้องการให้กระโดดไปในกรณีใช้กับคำสั่งการกระโดดเช่น CALL หรือ GOTO
b	หมายถึง ข้อมูลระดับบิตหรือบิตภายในรีจิสเตอร์ไฟล์ขนาด 8 บิต
w	หมายถึง รีจิสเตอร์ w (แอกคิวมูลเตอร์)
x	หมายถึง ตำแหน่งที่ไม่สนใจ เมื่อใช้กับโปรแกรม MPASM จะกำหนดค่า x นี้เท่ากับ "0" โดยอัตโนมัติ เว้นแต่จะมีการกำหนดเพจหรือหน้าของหน่วยความจำเป็นอย่างอื่น
label	หมายถึง ตำแหน่งของแอดเดรสที่ต้องการให้กระโดดไปทำงาน
<b>	หมายถึง ค่าในระดับบิต
TOS	หมายถึง ตำแหน่งบนสุดของสแต็ก (top of stack)
PC	หมายถึง โปรแกรมเคาน์เตอร์
[]	หมายถึง ออปชัน หรือส่วนเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( ) หมายถึง ค่าของตัวแปรหรือข้อมูล

สำหรับค่าคงที่ของข้อมูลเลขฐานสิบหกที่เกี่ยวข้องในการเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะเขียนเป็น 0x00 ตัวเลข 2 หลักท้ายจะเป็นค่าของเลขฐานสิบหกส่วน x โดยปกติจะมีค่าเป็น “0” การเขียนในลักษณะนี้ได้รับการกำหนดมาจากโปรแกรมแอสเซมบลี MPASM ของไมโครชิป จะเห็นได้ว่าไม่ต้องมีอักษร H ต่อท้าย

สรุปคำสั่งทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ในตารางที่ 4-1 เป็นตารางสรุปชุดคำสั่งทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ทั้งนี้ยังไม่รวมคำสั่งเทียบที่ใช้ประกอบในการเขียนโปรแกรม ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้ซอฟต์แวร์แอสเซมบลี สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ควรใช้โปรแกรม MPASM ซึ่งมีมาพร้อมกับโปรแกรม MPASM สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ตที่

<http://www.microchip.com>

ไคเร็กตีฟ (Directive)

นอกเหนือไปจากคำสั่งปกติทั้ง 35 คำสั่งแล้ว ใน MPASM ยังสามารถรองรับกลุ่มคำสั่งที่เรียกว่า ไคเร็กตีฟ (Directive) ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของแอสเซมบลี และคำสั่งพิเศษเฉพาะ (special instruction) คำสั่งพิเศษเหล่านี้จะช่วยให้เพิ่มความสะดวกในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีอย่างมาก ใน ตารางที่ 4-2 เป็นการสรุปไคเร็กตีฟทั้งหมดของโปรแกรมคำสั่งพิเศษ

เช่นเดียวกับไคเร็กตีฟ คำสั่งพิเศษจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมสะดวกขึ้นในตารางที่ 4-1 เป็นการสรุปคำสั่งพิเศษสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16xxx ซึ่งโปรแกรม MPASM สามารถเข้าใจและตีความได้ จะเห็นได้ว่า แท้จริงแล้วคำสั่งพิเศษคือ คำสั่งปกติที่นำมาเขียนต่อกัน หรือในบางคำสั่งเป็นการใช้ชื่อคำสั่งที่เข้าใจได้ง่ายกว่ามาทดแทน ชื่อควรระวังของการใช้คำสั่งพิเศษคือ จะต้องใช้งานกับโปรแกรม MPASM ของ Microchip เท่านั้น

สำหรับการอธิบายถึงรายละเอียดการทำงานและตัวอย่างของแต่ละคำสั่งทั้งหมดของ PIC16F87x สามารถอ่านได้เพิ่มเติมในหนังสือเรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ซึ่งจัดพิมพ์โดยบริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับไบต์ของ รีจิสเตอร์ไฟล์					
นิโมนิก	โอเปอร์แรนด์	รายละเอียด	ไซเกิล	ออปโค้ด 14 บิต	บิตสถานะที่เกี่ยวข้อง
addwf	f,d	บวกค่าใน_ ด้วยค่าใน	1	00 0111 dfff ffff	C,DC,Z
addwf	f,d	แอนด์ค่าใน_ กับค่าใน	1	00 0101 dfff ffff	Z
clrf	f	เคลียร์ค่าของ	1	00 0001 1fff ffff	Z
clrw	-	เคลียร์ค่าของ	1	00 0001 0000 0011	Z
comf	f,d	คอมพลิเมนต์	1	00 1001 dfff ffff	Z
decf	f,d	ลดค่า_ ลงหนึ่งค่า	1	00 0011 dfff ffff	Z
decfsz	f,d	ลดค่า_ ซ้ำมหนึ่ง แอดเดรส ถ้าค่าเป็น 0	1(2)	00 1011 dfff ffff	ไม่มี
incf	f,d	เพิ่มค่า_ ขึ้นหนึ่งค่า	1	00 1010 dfff ffff	Z
Incfisz	f,d	เพิ่มค่า_ ซ้ำมหนึ่ง แอดเดรส ถ้าค่าเป็น 0	1(2)	00 1111 dfff ffff	ไม่มี
iorwf	f,d	ออร์คาระหว่าง_ กับ_	1	00 0100 dfff ffff	Z
movf	f,d	โอนย้ายข้อมูลของ_ ไปยัง_	1	00 1000 dfff ffff	Z
movwf	f	โอนย้ายข้อมูลจาก_ ไปยัง_	1	00 0000 1fff ffff	ไม่มี
nop	-	ไม่มีการทำงาน	1	00 0000 0xx0 0000	ไม่มี
rlf	f,d	เลื่อนข้อมูลไปทางซ้าย 1 บิตผ่านบิต_	1	00 1101 dfff ffff	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rrf	f,d	เลื่อนข้อมูลไปทางขวา 1 บิตผ่านบิต_	1	00 1100 dfff ffff	C
subwf	f,d	ลบค่าใน_ ด้วยค่าใน_	1	00 0010 dfff ffff	C,DC,Z
swapf	f,d	สลับค่า 4 บิตบนกับ 4 บิตล่างของ_	1	00 1110 dfff ffff	ไม่มี
xorwf	f,d	เอ็กซลิวซีฟ-ออร์ค่าใน_ กับค่าใน_	1	00 0110 dfff ffff	Z

กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับบิตของรีจิสเตอร์ไฟล์

นิมิก	โอเปอร์เรนด์	รายละเอียด	ไซเกิล	ออฟโค้ด 14 บิต	บิตสถานะที่เกี่ยวข้อง
bcf	f,d	เคลียร์บิตของ		01 00bb bfff ffff	ไม่มี
bsf	f,d	เซตบิตของ		01 01bb bfff ffff	ไม่มี
btsc	f,d	ตรวจสอบบิต ซ้ำหนึ่งแอดเดรสถ้าเป็น 0		01 10bb bfff ffff	ไม่มี
btfss	f,d	ตรวจสอบบิต ซ้ำหนึ่งแอดเดรสถ้าเป็น 1		01 11bb bfff ffff	ไม่มี

กลุ่มคำสั่งจัดการกับข้อมูลค่าคงที่และควบคุมการทำงาน

นิมิก	โอเปอร์เรนด์	รายละเอียด	ไซเกิล	ออฟโค้ด 14 บิต	บิตสถานะที่เกี่ยวข้อง
addlw	k	ค่าคงที่บวกกับ		11 111x	C,DC,Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				kkkk kkkk	
andlw	k	ทำการแอนด์ค่าคงที่กับ		11 111x kkkk kkkk	Z
call	k	เรียกโปรแกรมย่อย		11 111x kkkk kkkk	ไม่มี
clrwdt	-	เคลียร์ค่าของ			
goto	k	กระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด			
lorlw	k	ทำการออร์ค่าคงที่กับ			
movlw	k	นำค่าคงที่ไปเก็บไว้ใน			
retfie	-	ออกจากโปรแกรมย่อย บริการอินเตอร์รัปต์		00 0000 0000 1001	ไม่มี
retlw	k	ออกจากโปรแกรมย่อย พร้อมค่าคงที่ใน		11 01xx kkkk kkkk	ไม่มี
return	-	ออกจากโปรแกรมย่อย		00 0000 0000 1000	ไม่มี
sleep	-	เข้าสู่โหมดสลีป		00 0000 0000 0011	TO,PD
sublw	k	ค่าคงที่ลบด้วย		11 110x kkkk kkkk	00 0000 0110 0100
xorlw	k	เอ็กซลูซีฟ-ออร์ระหว่าง ค่าคงที่กับ		11 1010 kkkk kkkk	11 1kkk kkkk kkkk
					11 1000 kkkk kkkk

ตารางที่ 3.1 ตารางสรุปการแบ่งกลุ่มคำสั่งของ PIC16F87x ตามการกำหนดโดยไมโครชิป

ชื่อ ไคเร็กติฟ	คำอธิบาย
_BADRAM	กำหนดตำแหน่งหน่วยความจำแรมที่ไม่มีอยู่
BANKSEL	สร้างโปรแกรมย่อยสำหรับเลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูล แรมของการอ้างถึงแบบทางอ้อม
BANKSEL	สร้างโปรแกรมย่อยสำหรับเลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูล แรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CBLOCK	กำหนดกลุ่มของค่าคงที่
CODE	เริ่มต้นส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน
_CONFIG	กำหนดข้อมูลของ
CONSTANT	กำหนดค่าคงที่ให้กับสัญลักษณ์
DATA	สร้างข้อมูลตัวอักษรและตัวเลข
DB	ประกาศข้อมูลขนาด 1 ไบต์
DE	กำหนดข้อมูลของหน่วยความจำข้อมูลอีพิธอม
#DEFINE	กำหนดลาเบลที่ใช้แทนตัวอักษร
DT	กำหนดตาราง
DW	ประกาศข้อมูลขนาด 1 เวิร์ด
ELSE	เริ่มต้นตำแหน่งของการแอสเซมบลีต่อจากเงื่อนไขของคำสั่ง IF
END	สิ้นสุดโปรแกรม
ENDC	สิ้นสุดของเขตของค่าคงที่อัตโนมัติ
ENDIF	สิ้นสุดของเขตของเงื่อนไข
ENDM	สิ้นสุดการกำหนดมาโคร
ENDW	สิ้นสุดลูปของคำสั่ง WHILE
EQU	กำหนดค่าคงที่
ERROR	แจ้งความผิดพลาด
ERRORLEVEL	ตั้งระบบความผิดพลาด
EXITM	ออกจากมาโคร
EXPAND	ขยายมาโคร
EXTERN	ประกาศลาเบลภายนอก
FILL	ป้อนค่าลงในหน่วยความจำ
GLOBAL	ส่งลาเบลที่กำหนดออก
IDATA	เริ่มต้นส่วนของข้อมูลอินีเชียล
_IDLOCS	กำหนดตำแหน่งของ ID
IF	เริ่มต้นกำหนดเงื่อนไข
IFDEF	ทำงานที่ตำแหน่งซึ่งกำหนดโดยเงื่อนไขของคำสั่ง IF
IFNDEF	ทำงานที่ตำแหน่งซึ่งไม่มีการกำหนดโดยเงื่อนไขของคำสั่ง IF
#INCLUDE	ผนวกซอร์สไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIST	แสดงข้อมูล
LOCAL	ประกาศตัวแปรของมาโคร
MACRO	ประกาศการกำหนดมาโคร
_MAXRAM	กำหนดค่าแอดเดรสของหน่วยความจำแรมมากที่สุด
MESSG	สร้างข้อความตามที่ผู้ใช้งานกำหนด
NOEXPAND	ปิดการขยายมาโคร
NOLIST	ปิดการสร้างลิสต์ไฟล์
OPG	ตั้งตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรม
PAGE	แบ่งหน้าของลิสต์ไฟล์
PAGESEL	สร้างโปรแกรมสำหรับเลือกเพจของหน่วยความจำโปรแกรม
PROCESSOR	เลือกชนิดของมาโครคอนโทรลเลอร์
RACIX	กำหนดฐานของข้อมูลตัวเลขในโปรแกรม
RES	สำรองหน่วยความจำ
SET	กำหนดตัวแปรของแอสเซมบลี
SPACE	เพิ่มบรรทัดว่างลงในลิสต์ไฟล์
SUBTITLE	กำหนดตัวบรรยายย่อในโปรแกรม
TITLE	กำหนดชื่อของโปรแกรม
UDATA	เริ่มต้นตำแหน่งของข้อมูลที่ไม่มีการอินิเชียล
UDATA_OVR	เริ่มต้นตำแหน่งของข้อมูลโอเวอร์เลย์ที่ไม่มีการอินิเชียล
UDATA_SHR	เริ่มต้นตำแหน่งของข้อมูลโอเวอร์เลย์ที่ไม่มีการอินิเชียลที่ใช้ร่วมกัน
#UNDEFINE	ลบลาเบลที่ใช้แทนตัวอักษร
VARIABLE	ประกาศตัวแปร
WHILE	กำหนดให้ทำงานวนลูปในระยะเวลาที่กำหนดเมื่อเงื่อนไขเป็นจริง

ตารางที่ 3.2 สรุปรายละเอียดของไคเร็กตีฟที่โปรแกรม MPASM สามารถเข้าใจได้และตีความได้

กลุ่มคำสั่งพิเศษที่สามารถใช้กับ MPLAM และ MPASM ได้			
นิโมนิค	โอเปอเรเตอร์	คำอธิบาย	คำสั่งมาตรฐานที่ทำงานเหมือนกัน
	แรมต์		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDCF	f,d	บวกค่าของแฟลกทกับค่าในรีจิสเตอร์	BTFS INCF	3,0 f,d
ADDDC	f,d	บวกค่าของแฟลกทระหว่างหลัก (DC:digitcarry)กับค่าในรีจิสเตอร์	BTFS INCF	3,1 f,d
B	k	กระโดด(branch)	GOTO	k
BC	K	กระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด หลัง จากตรวจสอบพบว่าแฟลกท เป็น "1"	BTFS GOTO	3,0 k
BDC	K	กระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด หลังจากตรวจสอบพบว่า แฟลกท ระหว่างหลักเป็น "1"	BTFS GOTO	3,0 k
BNC	K	กระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด หลังจากตรวจสอบพบว่า แฟลกท เป็น "0"	BTFS GOTO	3,0 k
BNDC	K	กระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด หลังจากตรวจ สอบพบว่า แฟลกท ระหว่างหลักเป็น "0"	BTFS GOTO	3,1 k
BZ	K	กระโดด ไปยังแอดเดรสที่กำหนด หลังจากตรวจสอบพบว่า แฟลกศูนย์ (zero)เป็น "1"	BTFS GOTO	3,2 k
BNZ	K	กระโดด ไปยังแอดเดรสที่กำหนด หลังจากตรวจสอบพบว่า แฟลกศูนย์ (zero)เป็น "0"	BTFS GOTO	3,2 k
CLRC		เคลียร์แฟลกท	BCF	3,0
CLRDC		เคลียร์แฟลกทระหว่างหลัก	BCF	3,1
CLRZ		เคลียร์แฟลกศูนย์	BCF	3,2
LCALL	k	เรียก โปรแกรมย่อย		
LGOTO	k	กระโดดไปยังแอดเดรสที่กำหนด		
MOVFW	f	โอนย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ไปยัง w	MOVF	f,0
NEGF	f,d	กลับลอจิกข้อมูลในรีจิสเตอร์ด้วย กระบวนการ	COMF INCF	3,1 f,d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		2's complement		
SETC		เซตเฟลทท	BSF	3,0
SETDC		เซตเฟลททระหว่างหลัก	BSF	3,1
SETZ		เซตเฟลทศูนย์	BSF	3,2
SKPC		ข้ามแอดเรสถัดไปถ้าเฟลททเป็น "1"	BTfSS	3,0
SKPDC		ข้ามแอดเรสถัดไปถ้าเฟลททระหว่างหลักเป็น "1"	BTfSS	3,1
SKPNC		ข้ามแอดเรสถัดไปถ้าเฟลททเป็น "0"	BTfSC	3,0
SKPNDC		ข้ามแอดเรสถัดไปถ้าเฟลททระหว่างหลักเป็น "0"	BTfSC	3,1
SKPZ		ข้ามแอดเรสถัดไปถ้าเฟลทศูนย์เป็น "1"	BTfSS	3,2
SKPNZ		ข้ามแอดเรสถัดไปถ้าเฟลทศูนย์เป็น "0"	BTfSS	3,2
SUBCF	f,d	ลบค่าในรีจิสเตอร์ด้วยค่าของเฟลทท	BTfSC DEfC	3,0 f,d
SUBDCF	f,d	ลบค่าในรีจิสเตอร์ด้วยค่าของเฟลททระหว่างหลัก	BTfSC DEfC	3,1 f,d
TSTF		ทดสอบรีจิสเตอร์	MOVf	f,1

ตารางที่ 3.3 สรุปคำสั่งพิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16Cxx ที่ MPASM รู้จักและตีความได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

PIC16F87x มีพอร์ตให้ใช้งานตั้งแต่ 3 – 5 พอร์ต จำนวน 20 – 33 บิต ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และด้วยความสามารถของพอร์ตใน PIC16F87x ที่สามารถทำงานได้หลายอย่าง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งานต้องทำความเข้าใจถึง โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และการกำหนดหรือเลือกฟังก์ชันการทำงานให้แก่ขาพอร์ตแต่ละขาด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตทั้งหมดของ PIC16F87x ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะกล่าวถึงภาพรวมของพอร์ตทั้งหมด ตั้งแต่พอร์ต A ถึง E โดยจะเน้นไปที่โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และฟังก์ชันการทำงานในภาพรวม สำหรับหน้าที่หรือฟังก์ชันพิเศษที่ขาพอร์ตนั้นๆ สามารถทำได้จะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

ความสามารถในการจ่ายกระแสเอาต์พุตของขาพอร์ตที่ไฟเลี้ยง +5V คือ 25mA ต่อขาทั้งกระแสซิงค์และกระแสซอร์ซ ในขณะที่กระแสเอาต์พุตรวมของพอร์ต A,B และ E มีค่าสูงสุด 200mA ส่วนกระแสเอาต์พุตรวมของพอร์ต C และ D ที่ค่าสูงสุด 200mA ดังนั้นในการออกแบบเพื่อขับโหลดทางเอาต์พุตของขาพอร์ตต้องระวังเรื่องกระแสเอาต์พุตรวมที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขับได้ด้วย

#### 3.5.1 พอร์ต A

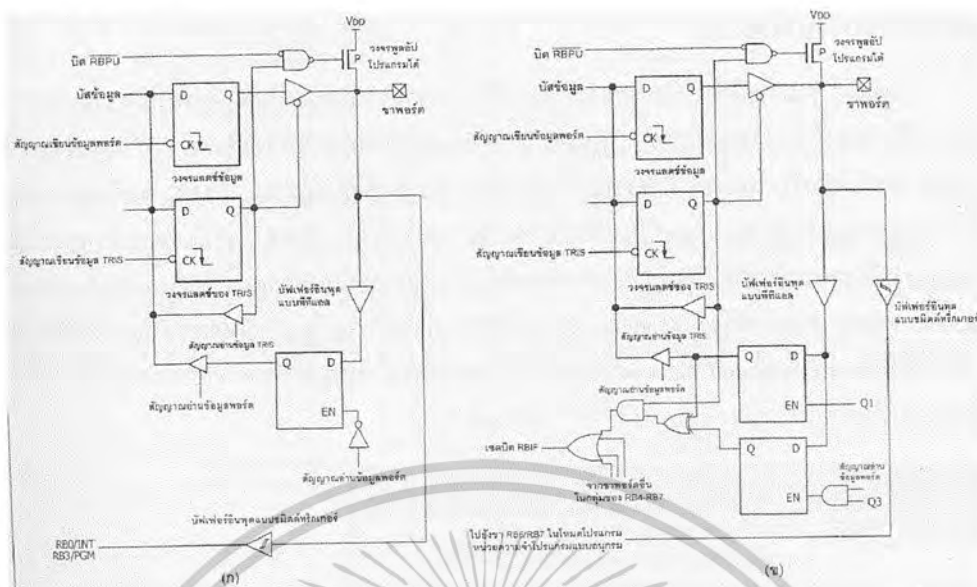
มีทั้งสิ้น 6 ช่องหรือ 6 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RA0-RA5 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTA มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x05 (แบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานจริงเพียง 6 บิต ที่เหลือ 2 บิตต้องกำหนดให้เป็น "0" ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISA ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x85 (แบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต และใช้เพียง 6 บิตเช่นกัน 2 บิตบนคือ 6 และบิต 7 ต้องกำหนดให้เป็น "0" บิต 0 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA0 ไปเรียงลำดับจนถึง บิต 5 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA5 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้น

#### โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต A สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติและเป็นขาอินพุตสัญญาณอะนาล็อกสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขา RA0-RA3 และ RA5 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน ส่วน RA4 จะแตกต่างตรงที่ขานี้นอกจากเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติแล้ว ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับไทเมอร์ 0 ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย และขา RA4 นี้ ไม่สามารถใช้งานเป็นขาอินพุตรับสัญญาณอะนาล็อกได้



ดังแสดงในรูปที่ 3-2(ข)



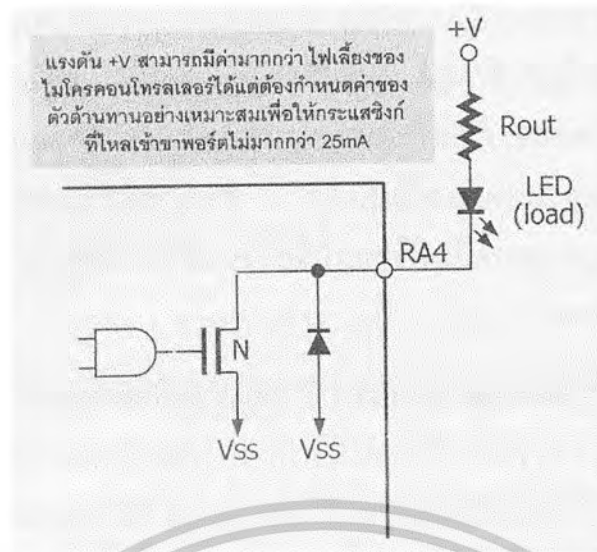
รูปที่ 3.4 แสดง โครงสร้างขา RA4 ของพอร์ต A ใน PIC16F87x

(ก) โครงสร้างขา RA4 ของพอร์ต A ใน PIC16F87x

(ข) โครงสร้างขา RA4 ของพอร์ต A ใน PIC16F87xA

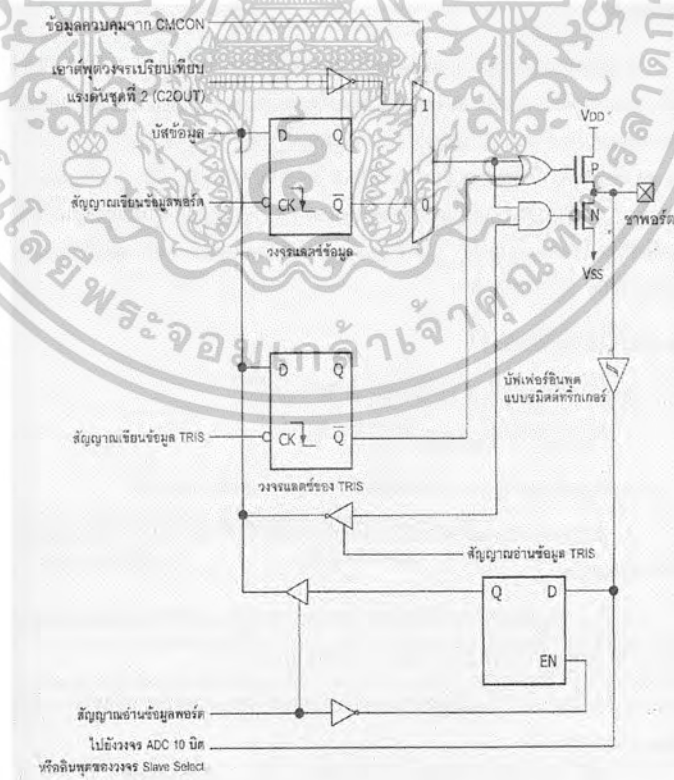
ในกรณีที่ใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต วงจรเอาต์พุตจะเป็นแบบเดรนเปิด (open collector) นั่นเอง ในการใช้งานจึงต้องตัวต้านทานอนุกรมกับ โหลดและ ไฟเลี้ยงของโหมด ดังวงจรในรูปที่..... โดยปกติ ถ้าหากไม่มีความจำเป็นอินพุตจะดีที่สุด โดยต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปเสมอ หรือถ้าหาก จำเป็นต้องใช้เป็นเอาต์พุตก็ต้องไม่ลืมว่า ขานี้เป็นเอาต์พุตแบบเดรนเปิด ต้องต่อขับ โหลด ในแบบ กระแสซิงก์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การต่ออุปกรณ์เข้าที่ขาพอร์ต RA4 เมื่อใช้งานเป็นขาเอาต์พุต

สำหรับในอนุกรม PIC16F87xA ขาพอร์ต RA4 ยังใช้เป็นขาเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกชุดที่ 1 ด้วย โดยโครงสร้างของเอาต์พุตนี้ก็ยังคงเป็นแบบเดรนเปิดเช่นเดียวกับการใช้ขา RA4 เป็นพอร์ตดิจิตอลเอาต์พุตปกติ



รูปที่ 3.6 แสดง โครงสร้างขา RA5 ของพอร์ต A ใน PIC16F87x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างของพอร์ต RA5 ขานี้ มีความพิเศษไม่น้อย โดยนอกจากเป็นพอร์ต อินพุตเอาต์พุตดิจิตอลแล้วยังสามารถเลือกให้ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตสัญญาณอะนาลอกสำหรับ วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลในช่อง 4 และเป็นขาเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ แรงดันอะนาลอกชุดที่ 2 ในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรม PIC16F87xA นอกจากนั้นยังใช้เป็นขา Slave Select (SS) ในกรณีที่เลือกใช้การสื่อสารข้อมูลอนุกรมเชิง ไครน์สในแบบ SPI

การติดต่อเพื่อกำหนดการทำงานและเขียนข้อมูลไปยังพอร์ต A

ในขั้นแรกต้องทำการเตรียมความพร้อมให้เกร็ดิสเตอร์ PORTA โดยการเลือกแบงก์ สำหรับติดต่อกับรีจิสเตอร์ PORTA จากนั้นส่งข้อมูล “0” เพื่อเคลียร์ข้อมูลทั้งหมด และเนื่องจาก พอร์ต A ทำงานกับสัญญาณอะนาลอกได้ และค่าเริ่มต้นของพอร์ต A ที่ทำงานกับสัญญาณอะนา ลอกจะถูกกำหนดให้เป็นอินพุตอะนาลอกทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการใช้งานเป็นพอร์ตดิจิตอลต้อง กำหนดข้อมูล 0x06 หรือ 0x07 แล้วเขียนลงในรีจิสเตอร์ ADCON1 เพื่อดิสเอเบิลการทำงานกับ สัญญาณ อะนาลอก

จากนั้นจึงเลือกแบงก์ใหม่เพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์ TRISA แล้วเขียนข้อมูลเพื่อกำหนด ทิศทางของขาพอร์ตตามที่ต้องการลงในรีจิสเตอร์ TRISA จากโปรแกรมที่ 5-1 เป็น โปรแกรม ตัวอย่างเพื่อกำหนดการทำงานของพอร์ต A ในโหมดของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิตอล

### 3.5.2 พอร์ต B

มี 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RB0-RB7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTB มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x06 (แบงก์ 0) และ 0x106 (แบงก์ 2) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนด ทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISB ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x86 (แบงก์ 1) และ 0x186 (แบงก์ 3) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A บิต 0 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB7 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น ในทาง ตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตนั้น

### โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

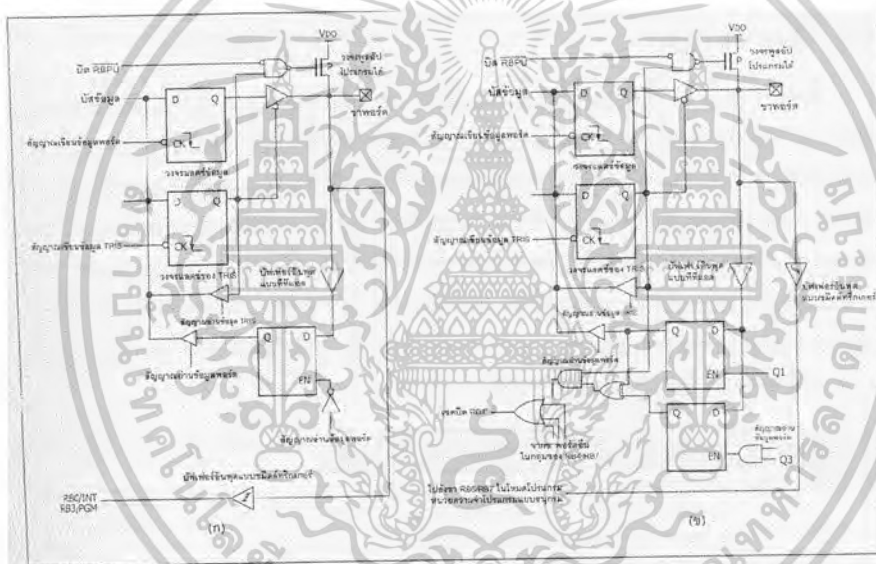
พอร์ต B สามารถใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้ 5 แบบคือ

1. เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ
2. เป็นขาอินพุตสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก โดยใช้ขา RB0/INT
3. เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับรับแรงดัน โปรแกรมระดับต่ำ (low voltage programming) โดยใช้ขา RB3/PGM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4. เป็นขาข้อมูลอนุกรมและสัญญาณนาฬิกาอนุกรมสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ 2 ขา คือ RB7/PGD และ RB6/PGC
- 5. ใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์แบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือระดับสัญญาณที่ขา RB4-RB7

ในรูปที่ 3.7. แสดงไคอะแกรมของพอร์ต B ในบิต RB0-RB3 จะเห็นได้ว่าที่ขาพอร์ตจะมีวงจรพูลอัปแบบโปรแกรมได้ค้อยู่ นั่นคือหากต้องการกำหนดให้เป็นขาอินพุต ต้องทำการเขียนข้อมูล “0” ไปยังบิต RBP0 ในรีจิสเตอร์ OPTION\_REG เพื่อเอ็นเอเบิลวงจรอัปภายในขาพอร์ต B. ในขณะที่หากกำหนดเป็นเอาต์พุต การพูลอัปที่ขาพอร์ต B นี้จะถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้การพูลอัปนี้จะได้รับการยกเลิกเมื่อเกิดเพาเวอร์อนรีเซตขึ้นในกรณีใช้ขา RB0/INT เพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก สัญญาณจะผ่านเข้าไปยังวงจรบัฟเฟอร์แบบซิมิต์ทริกเกอร์เพื่อให้สัญญาณที่ได้มีความแม่นยำและมีเสถียรภาพ



รูปที่ 3.7 แสดง โครงสร้างขา ของพอร์ต B ใน PIC16F87x

(ก) RB0-RB3

(ข) RB4-RB7

ในรูปที่ 3.7 (ข) เป็นไคอะแกรมของขาพอร์ตRB4-RB7โดยขาพอร์ตในกลุ่มนี้มี ความสามารถพิเศษพอสมควร โดยสามารถเลือกให้ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, ขา อินพุตรับแรงดันสำหรับการ โปรแกรม(RB3),ขาสัญญาณสำหรับการ โปรแกรม(RB6-RB7)และ ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ในแบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่ขาพอร์ต RB4-RB7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ที่ขาพอร์ตนี้ มีทั้งแบบทีทีแอลและชนิดทรานซิสเตอร์ทั้งนี้เพื่อจัดการให้ สัญญาณอินพุตที่เข้ามามีความเหมาะสมและสมบูรณ์มากที่สุดและยังคงสามารถรองรับการ พูล์อัพภายในแบบออต โนมัติได้

ในกรณีที่มีการเอ็นเอเบิลการตอบสนองอินเตอร์รัปต์แบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลอจิก ที่พอร์ต RB4-RB7 หากเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น บิต RBIF (บิต 0 ในรีจิสเตอร์ INTCON) จะเซต และหลังจากตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แล้ว ต้องเคลียร์บิต RBIF ด้วยกระบวนการทาง ซอฟต์แวร์เสมอ

### 3.5.3 พอร์ต C

มีทั้งสิ้น 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RC0-RC7 รีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลคือ PORTC มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x07 (แแบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้ กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISC มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x87 (แแบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A และ B บิต 0 ของ TRISC ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RC0 ไปเรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISC ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RC7 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตเป็นอินพุตต้อง เขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดเป็นขาเอาต์พุต ให้เขียน ข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้น

#### โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต C สามารถใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้หลายรูปแบบและเป็นขาพอร์ตที่มีความสามารถสูงมาก ไม่ว่าจะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, ขาอินพุตเอาต์พุตออสซิลเลเตอร์ของไมโครไทเมอร์ 1, ขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณนาฬิกาของไมโครไทเมอร์ 1, ขาเชื่อมต่อระบบบัส I<sup>2</sup>C, ขาเชื่อมต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface), ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมแบบ USART, ขาอินพุตวงจรถ่ายเก็บ (capture) หรือวงจรถ่ายจับสัญญาณ, ขาเอาต์พุตวงจรถ่าย PWM (Pulse Width Modulation) หรืออาจกล่าวได้ว่าพอร์ต C เป็นพอร์ตสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก (peripheral Function port) ที่มีความสมบูรณ์แบบมากที่สุด สามารถสรุปหน้าที่และการทำงานที่หลากหลายของขาพอร์ต C

ในรูปที่ 3.8 แสดงไดอะแกรมของพอร์ต C ในบิต RC0-RC2 และ RC5-RC7 จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณควบคุมการทำงานของขาพอร์ตมากมาย ทั้งนี้เนื่องจากขาพอร์ต C สามารถทำงานได้หลากหลายนั่นเอง สัญญาณควบคุมที่สำคัญคือ สัญญาณเลือกการำงานระหว่างเป็นพอร์ตปกติหรือเป็นขาเชื่อมต่ออุปกรณ์พิเศษ (PPRT/PERIPHERAL Select) และสัญญาณควบคุมการส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Peripheral Output Enable) สำหรับข้อมูลของวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ส่งออกและรับเข้ามาจะผ่านทางขาพอร์ตปกติ แต่เมื่อผ่านวงจรสำหรับเลือกสัญญาณข้อมูลแล้ว สายสัญญาณข้อมูลของพอร์ต (data bus) กับข้อมูลของวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ (peripheral output/peripheral input) จะแยกกัน

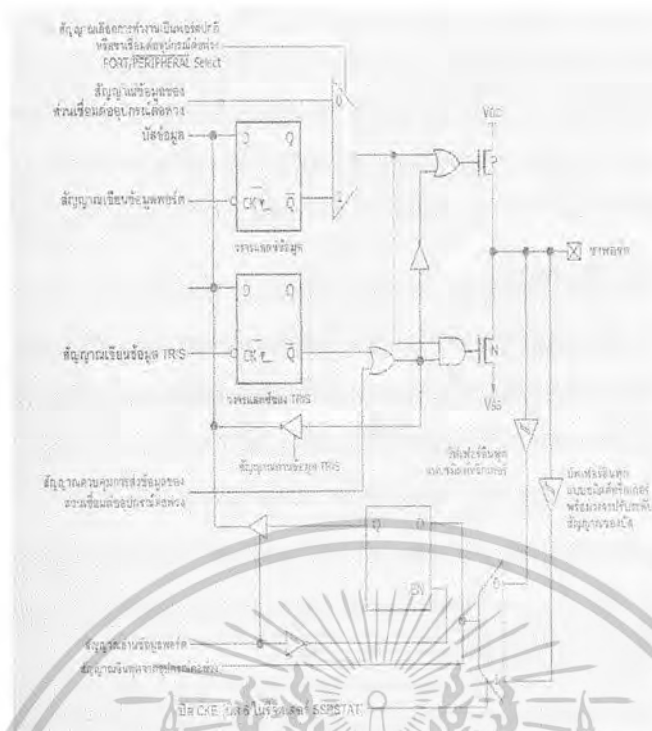
ในรูปที่ 3.9 เป็นไดอะแกรมของพอร์ต RC3-RC4 ทั้ง 2 ขานี้มีความพิเศษตรงที่สามารถใช้งานเป็นขาเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบซิงโครนัส ซึ่งแบ่งเป็นระบบ SPI และระบบบัส I<sup>2</sup>C จึงทำให้ต้องเพิ่มสายสัญญาณควบคุมอินพุตเพิ่มเข้ามาอีก 1 เส้น เพื่อเลือกสัญญาณอินพุตระหว่าง SPI และบัส

วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ของขาพอร์ต C นี้เป็นแบบซิมิตต์ทริกเกอร์ทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อจัดการให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามามีความเหมาะสมและสมบูรณ์มากที่สุด และยังคงสามารถรองรับการพูลอัปภายในแบบอัตโนมัติได้



รูปที่ 3.8 แสดง โครงสร้างขา RC5-RC7 ของพอร์ต C ใน PIC16F87x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างขา RC3 และ RC4 ของพอร์ต C ใน PIC16F87x

#### พอร์ต D

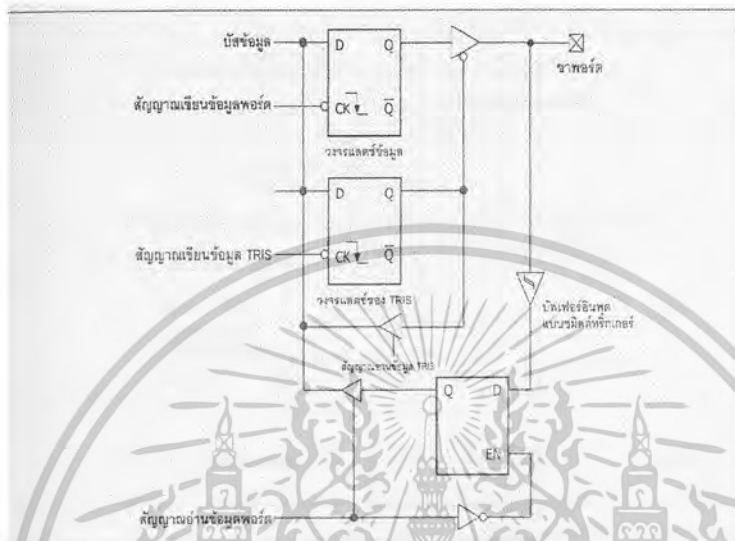
มี 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RD0-RD7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTD มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x08 (แแบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISD มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x88 (แแบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตได้เป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้น สำหรับพอร์ต D นี้จะมีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 40 ขาเท่านั้น สำหรับในอนุกรม PIC16F87x จะมีในเบอร์ PIC16F871, PIC16F874(A)

#### โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต D สามารถใช้งานได้ 2 โหมดคือ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติและเป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน (Parallel Slave Port : PSP) สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการจัดระบบบัสแบบไมโครโปรเซสเซอร์คือ มีสายข้อมูล 8 เส้น สายสัญญาณควบคุม 3 เส้น คือ สายสัญญาณควบคุมการอ่าน (RD : Read), เขียน (WR : Write) และเลือกอุปกรณ์ (CS : Chip Select)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.10 แสดงโคจรแกรมของพอร์ต D ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกันทุกบิต เมื่อทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ วงจรอินพุตจะเป็นแบบชลิตต์ทริกเกอร์ แต่เมื่ทำงานในโหมดขยายพอร์ตแบบขนานหรือ PSP วงจรอินพุตจะเปลี่ยนเป็นแบบทีทีแอล การเลือกโหมดทำงานของพอร์ต D นี้ขึ้นกับบิต PSPMODE (บิต 4 ในรีจิสเตอร์ TRISE) ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้พอร์ต D เป็นพอร์ตปกติ และถ้าเป็น “1” พอร์ต D จะทำงานในโหมด PSP



รูปที่ 3.10 แสดง โครงสร้าง ของพอร์ต D ใน PIC16F87x

พอร์ต E

มี 3 บิต กำหนดชื่อว่าเป็น RE0-RE2 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTE มีแอดเดรส อยู่ที่ 0x09 (แแบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานเพียง 3 บิตต่างคือ บิต 0 – บิต 2 เท่านั้น ที่เหลือกำหนดให้เป็น “0” ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISE ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x89 (แแบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต โดยใช้สามบิตล่างในการกำหนดทิศทางของพอร์ต E ส่วนที่เหลือใช้ควบคุมการทำงานในโหมด PSP ของพอร์ต D

พอร์ต E สามารถใช้งานเป็นพอินพุตเอาต์พุตปกติ ขาอินพุตอะนาลอกของโมดูล แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล และขาควบคุมการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบ PSP ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการกำหนดข้อมูลของรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตนี้ เช่นเดียวกับพอร์ต D พอร์ต E จะมีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC รุ่น 40 ขาเท่านั้น สำหรับในอนุกรม PIC16F87x จะมีในเบอร์ PIC16F871x, PIC16F874(A) และ PIC16F877(A)

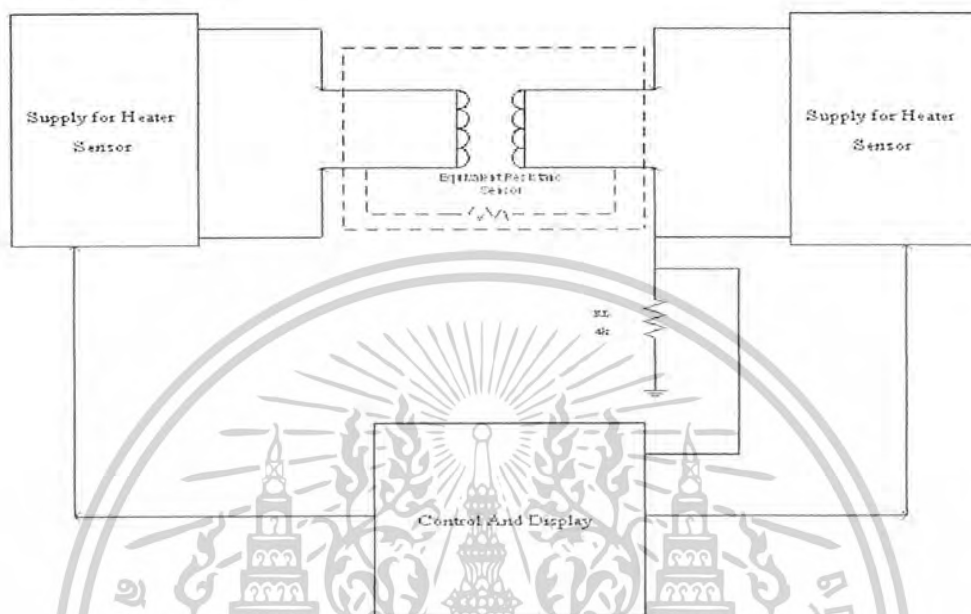
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง

#### 4.1 แนวทางการออกแบบ

##### 4.1.1 Block Diagram



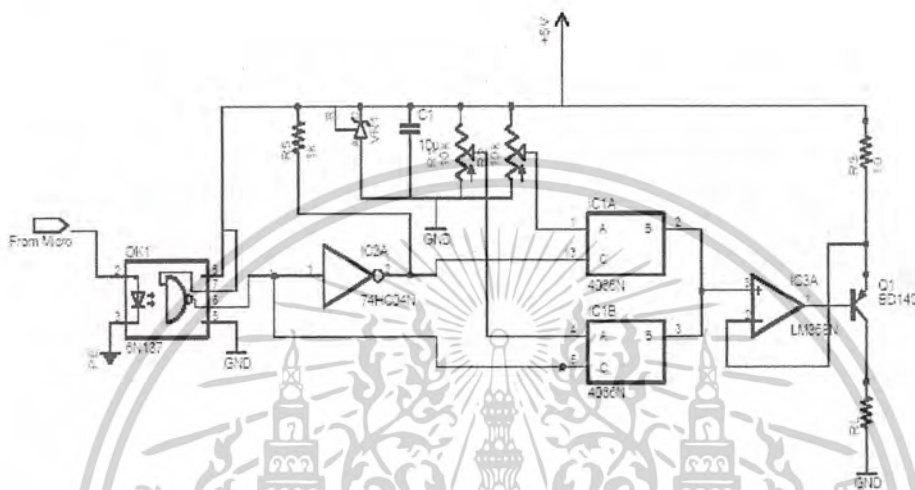
รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram การทำงานของโครงการนี้

ในรูปแสดงบล็อก ไดอะแกรมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยในภาพจะประกอบไปด้วยส่วนของเซ็นเซอร์ซึ่งจะต้องมีไฟเลี้ยงจ่ายให้กับหัวเซ็นเซอร์ทั้งสองข้างและสถานะการจ่ายไฟให้กับหัวเซ็นเซอร์นั้นจะควบคุม โดยภาคไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมด้วยภาคแสดงผลผ่านทาง LCD

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 การทดลองภาคจ่ายไฟให้กับ ฮีตเตอร์ (HEATER)



รูปที่ 5.1 วงจรการทดลอง จ่ายกระแสให้กับเซ็นเซอร์

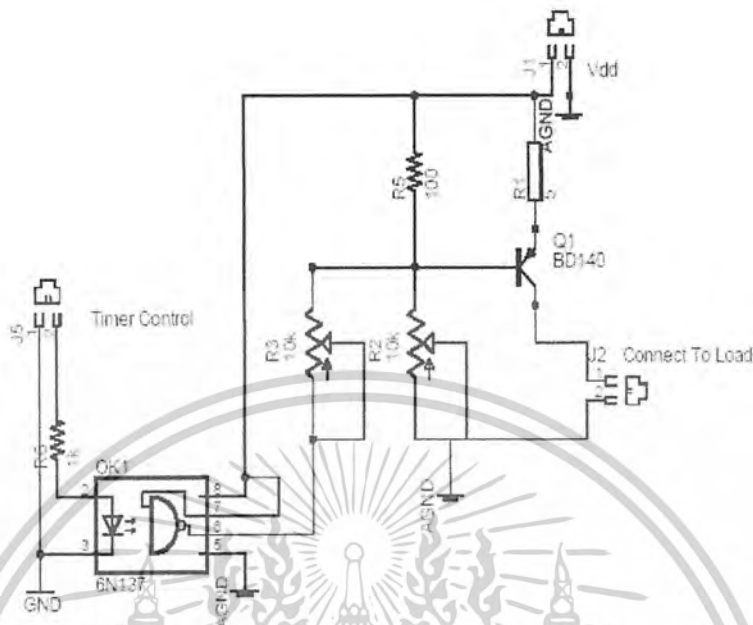
วงจรการทดลองในรูปที่ 5.1 เป็นการทดลองหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดเพื่อนำไปจ่ายให้กับหัวเซ็นเซอร์ โดยที่กระแสที่ได้จะไหลอยู่สองค่าคือ 350 mA และ 135 mA กระแสที่ได้จะมาจาก การควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (แต่ไม่ได้ใช้จริงในวงจรเพราะเป็นระบบที่มีอุปกรณ์เยอะ เป็นการออกแบบวงจรที่ไม่ดี)

Out Put Microcontroller	Load Current (IL)
High (1)	350 mA
Low (0)	135 mA

ตารางที่ 5.1 แสดงค่ากระแสที่ไหลตามเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วงจรการทดลอง จ่ายกระแสให้กับเซ็นเซอร์



รูปที่ 5.2 วงจรการทดลอง จ่ายกระแสให้กับเซ็นเซอร์

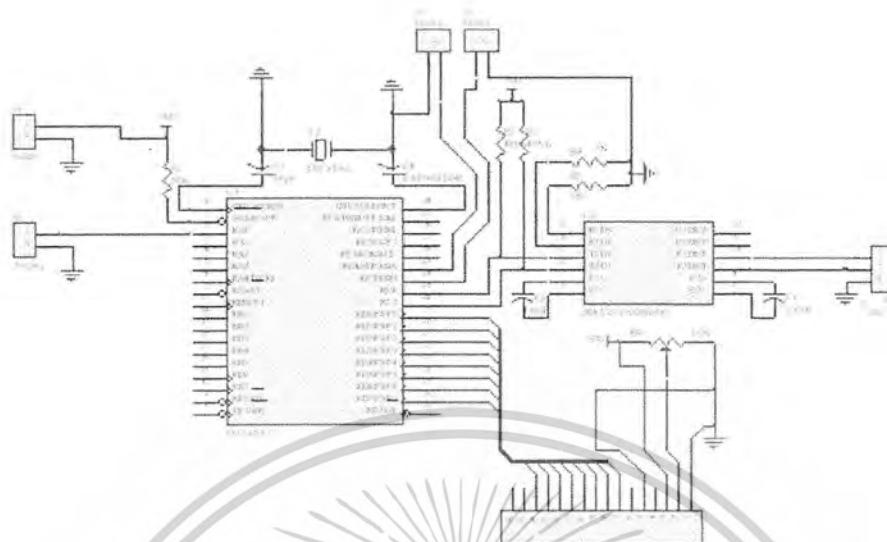
ในการทดลองจะให้ J5 เป็นการคอนโทรลเวลาโดยการที่นำไปต่อเข้ากับ Vcc และ GND เพื่อที่จะทำให้เกิดแรงดันและกระแส สองสถานะ คือเป็น High และ เป็น Low หาก J5 ต่อกับ GND จะทำให้ 6N137 ได้รับ Revert Bias เอาท์พุทเป็น High เปรียบเสมือน R3 ลอยอยู่ ดังนั้นจึงทำให้ R2 ขนาน กับ R5 เป็น R-Bias ให้กับวงจรมีค่าประมาณ 145 โอห์ม ทำให้กระแสที่ไหลผ่านโหลด มีค่า 135 mA หลังจากนั้น ให้ J5 ต่อกับ Vcc เอาท์พุทเป็น Low เปรียบเสมือน R3ต่อกับ GND ดังนั้นจึงทำให้ R2 ขนาน กับ R5 และทั้งหมดขนานกับ R3 จึงทำให้ ค่ากระแสที่ไหลผ่าน โหลดที่ค่าประมาณ 350 mA แต่ในการใช้งานจริง J5 จะต่อกับ Timer Control จากไมโครคอนโทรลเลอร์

Out Put Microcontroller	Load Current (IL)
High (1)	350 mA
Low (0)	135 mA

ตารางที่ 5.2 แสดงค่ากระแสที่ไหลคตามเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 5.3 วงจรการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรการทดลองภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 5.3 นั้นเป็นการทดลองโดยใช้ PIC เบอร์ 16F877 เป็นตัวใช้งานซึ่งจะใช้งานทั้งหมดอยู่สามพอร์ตคือ พอร์ตA, พอร์ตC, และพอร์ตD ซึ่ง พอร์ตA จะใช้ขา RA0 เป็นขารับแรงดันเอาท์พุทจากตัวเซ็นเซอร์เข้ามา พอร์ตC จะใช้ขา RC3 และ RC4 เป็นขาใช้งานในการควบคุมเวลาในการจ่ายกระแสให้กับหัวเซ็นเซอร์ส่วน พอร์ตD จะใช้งานเป็นขาเพื่อนำไปต่อกับ LCD

## 5.4 ผลการทดลองวัดค่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์(จุดรูป)

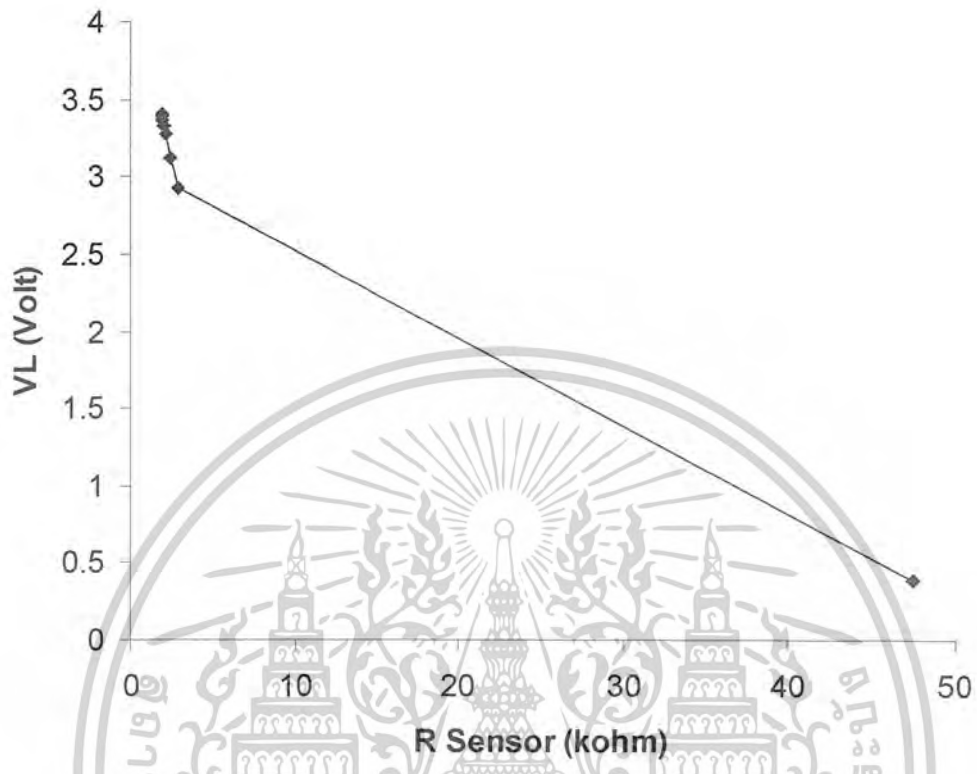
ผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (จุดรูป) ในการทดลองจะจุดรูปและนำไปไว้ในกล่องปิดมีปริมาตร 19740 ลบ.ซม.หลังจากนั้นก็นำหัวเซ็นเซอร์ไปทำการวัดค่าเอาท์ที่ได้จะแสดงดังตารางที่5.3

การ Detect ครั้งที่...	VL (Volt)	R Sensor (k $\Omega$ )
1	0.39	47.51
2	2.92	2.82
3	3.12	2.42
4	3.27	2.12
5	3.33	2.01
6	3.36	1.96
7	3.39	1.9
8	3.4	1.89
9	3.4	1.89
10	3.4	1.89

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (จุดรูป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ชม (จุดรูป)



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ชม (จุดรูป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 ผลการทดลองวัดค่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (หลังเอาธูปออก)

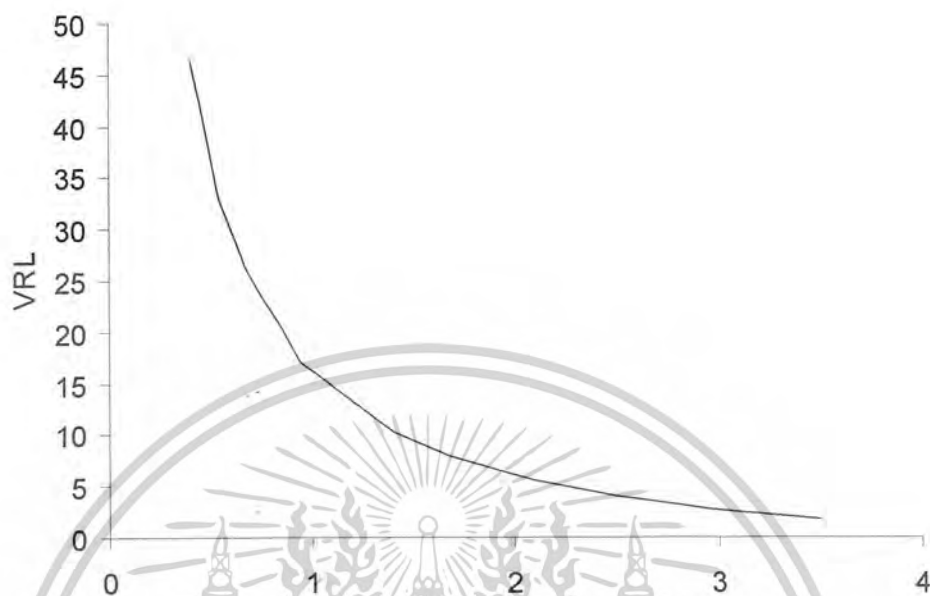
ผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม หลังจากเอาธูปออก

$V_0$	$k\Omega$
3.5	1.72
2.98	2.72
2.49	4.05
2.09	5.59
1.68	7.94
1.4	10.33
0.95	17.13
0.66	26.43
0.54	33.2
0.4	46.23

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (เอาธูปออก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด ปริมาตร 19740 ลบ.ซม  
(หลังจากเอารูปออก)



R Serson (kohm)

รูปที่ 5.5 กราฟแสดงผลการทดลองวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่ปิด  
ปริมาตร 19740 ลบ.ซม (เอารูปออก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

#### 6.1 ตัวอุปกรณ์เซ็นเซอร์

ในการเลือกใช้เซ็นเซอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการนั้นค่อนข้างมีความยุ่งยากเพราะอุปกรณ์เซ็นเซอร์ชนิดนี้นั้นไม่มีขายในประเทศจึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นกว่าที่จะได้ทดลองตัวเซ็นเซอร์ก็ทำให้เวลาล่วงเลยเข้ามาเยอะ อีกประการหนึ่งคือเซ็นเซอร์ของบริษัทอื่นผู้จัดทำไม่สามารถหา Data Sheet ของตัวอุปกรณ์ได้

#### 6.2 การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟให้กับเซ็นเซอร์

ภาคจ่ายไฟถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในการที่จะให้อุปกรณ์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการออกแบบภาคจ่ายไฟของเซ็นเซอร์จึงมีความยุ่งยากพอสมควร เพราะตาม Specification ของอุปกรณ์เซ็นเซอร์แล้ว จะต้องจ่ายแรงดันที่ต่ำแต่กระแสสูงและยังต้องมีคาบเวลาที่เกี่ยวข้องซึ่งก็มีความยุ่งยากพอสมควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อ้างอิง

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x”

มงคล ทองสงคราม, “อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น”

รถตรวจจับควัน โดย วัชร เกลาเหลม, ศรีพงษ์ โชติชัย สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544

<http://www.google.co.th>

<http://www.microcphip.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <16f877.h>
#define device ADC=10
#define HS_NOWDT,NORPROTECT,pwr,nolvp,nowrt
#include <lcd.c>
void main(void)
{
  int i;
  int32 value,R;
  char digit1,digit2,digit3,digit4;
  lcd_init();
  setup_port_a(ALL_ANALOG);
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
  set_adc_channel(0);
  lcd_putc("RV Load   Voltm");
  lcd_putc("R Sen.   Kohm");
  while(1)
  {
    output_c(0x0f);
    for(i=0;i<6;i++)
      delay_ms(1000);
    output_c(0);
    for(i=0;i<9;i++)
      delay_ms(1000);
    value=Read_ADC();
  }
}
value*=500;
value/=1024;

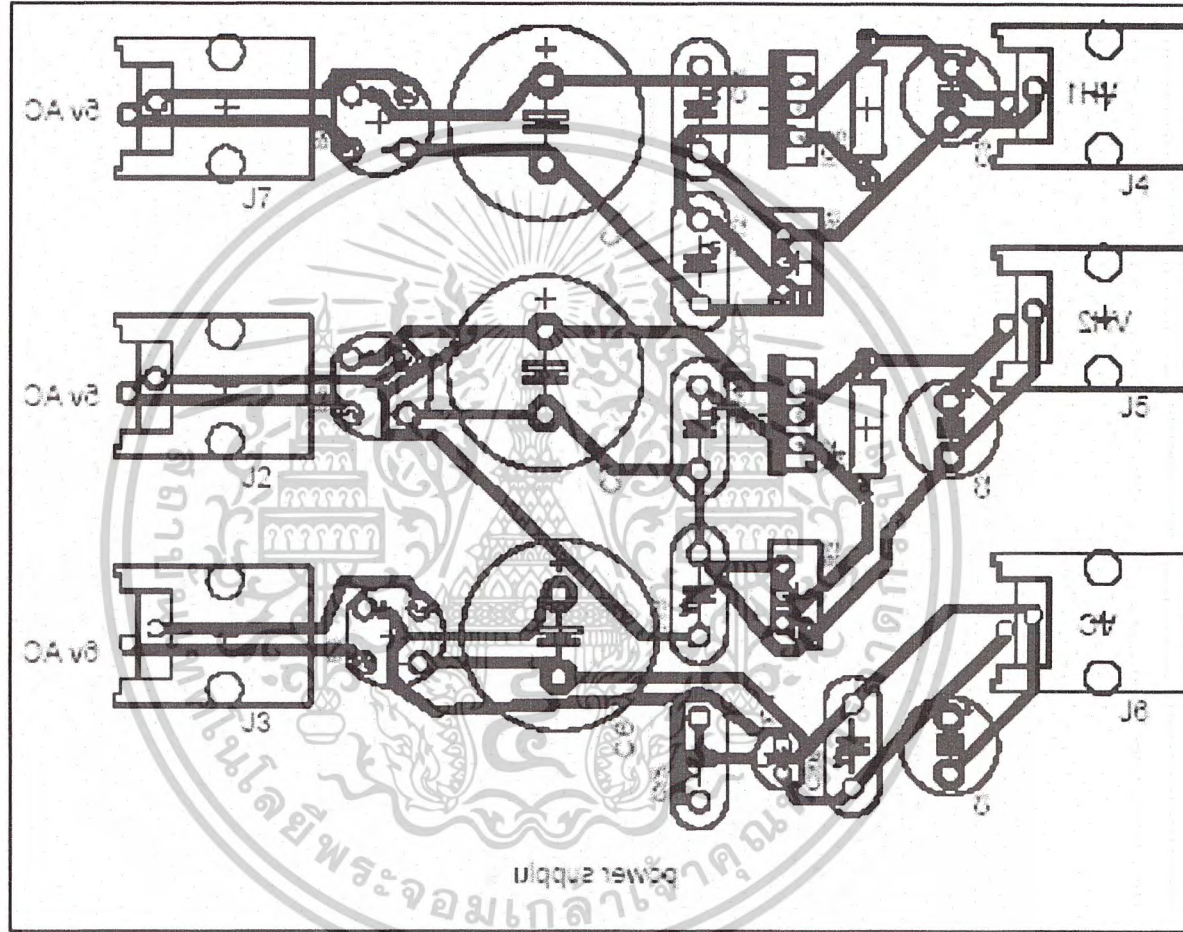
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

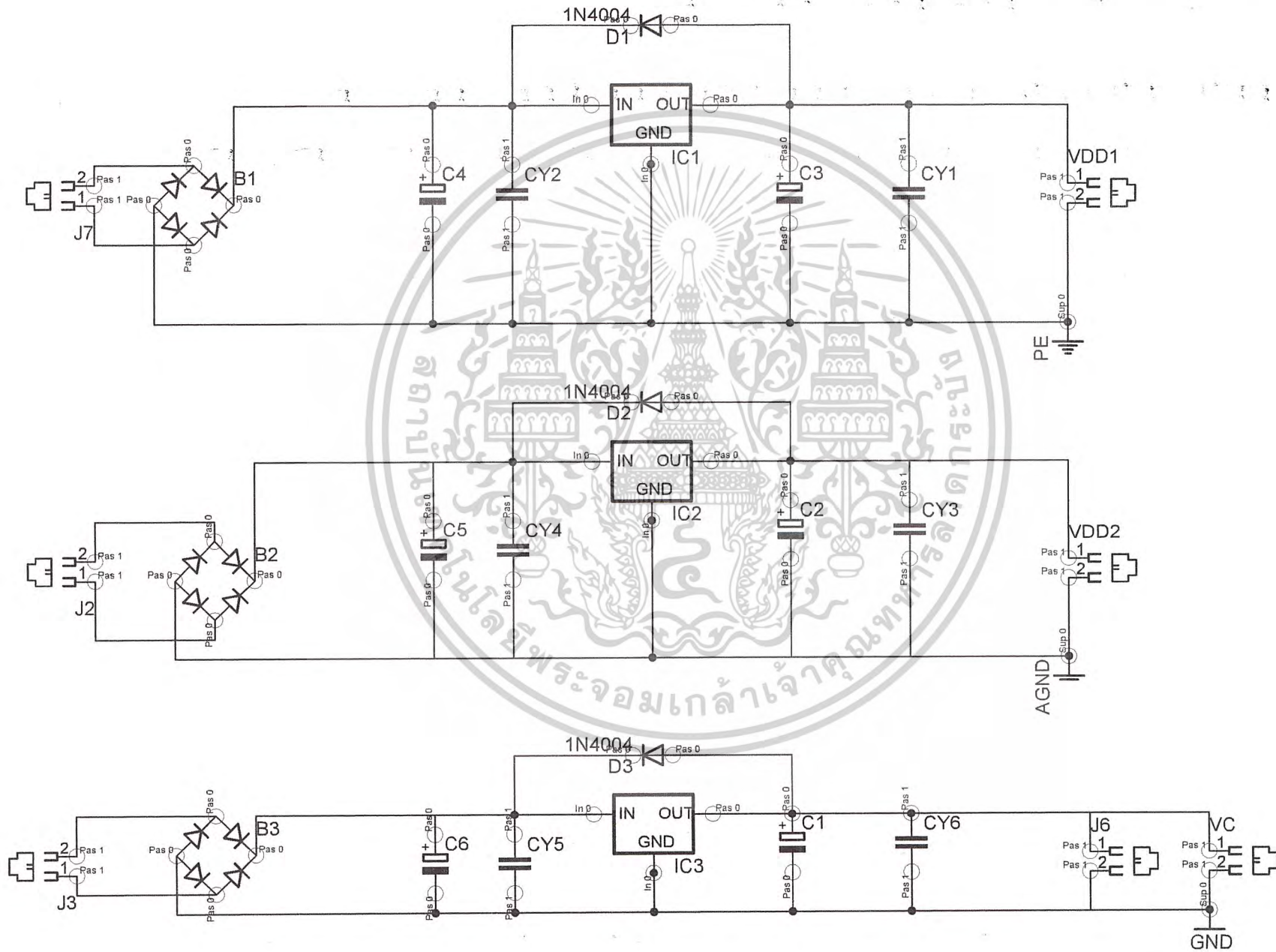


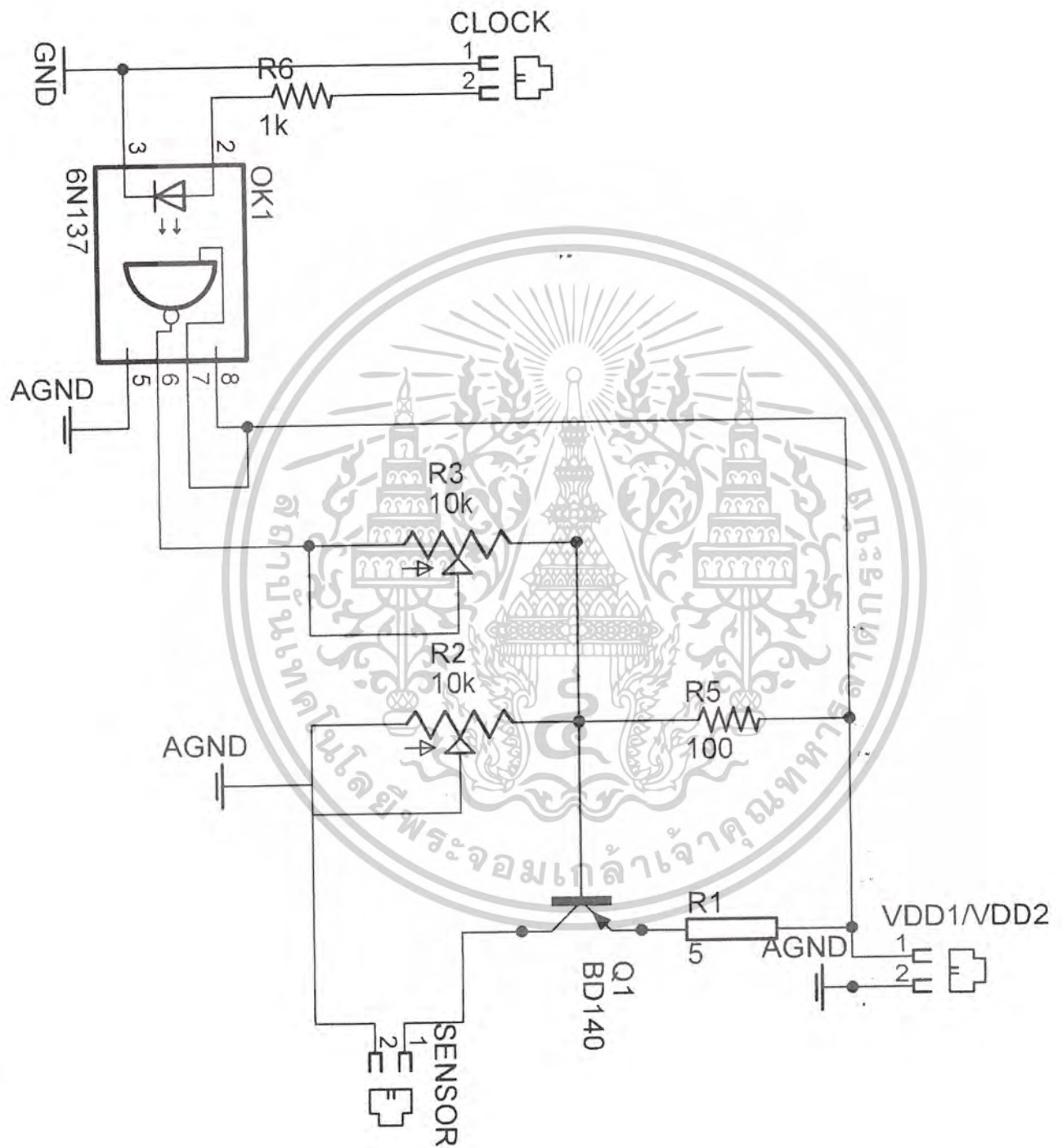
$R = ((500 * 402) / \text{value}) - 402;$   
 $\text{digit1} = \text{value} \% 10;$   
 $\text{digit2} = ((\text{value} \% 100) - \text{digit1}) / 10;$   
 $\text{digit3} = ((\text{value} \% 1000) - (\text{value} \% 100)) / 100;$   
 $\text{digit4} = ((\text{value} \% 10000) - (\text{value} \% 1000)) / 1000;$   
 $\text{lcd\_gotoxy}(8,1);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit4}+0);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit3}+0);$   
 $\text{lcd\_gotoxy}(1,1);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit2}+0);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit1}+0);$   
 $\text{digit1} = R \% 10;$   
 $\text{digit2} = ((R \% 100) - \text{digit1}) / 10;$   
 $\text{digit3} = ((R \% 1000) - (R \% 100)) / 100;$   
 $\text{digit4} = ((R \% 10000) - (R \% 1000)) / 1000;$   
 $\text{lcd\_gotoxy}(8,2);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit4}+0);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit3}+0);$   
 $\text{lcd\_gotoxy}(1,2);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit2}+0);$   
 $\text{lcd\_putc}(\text{digit1}+0);$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

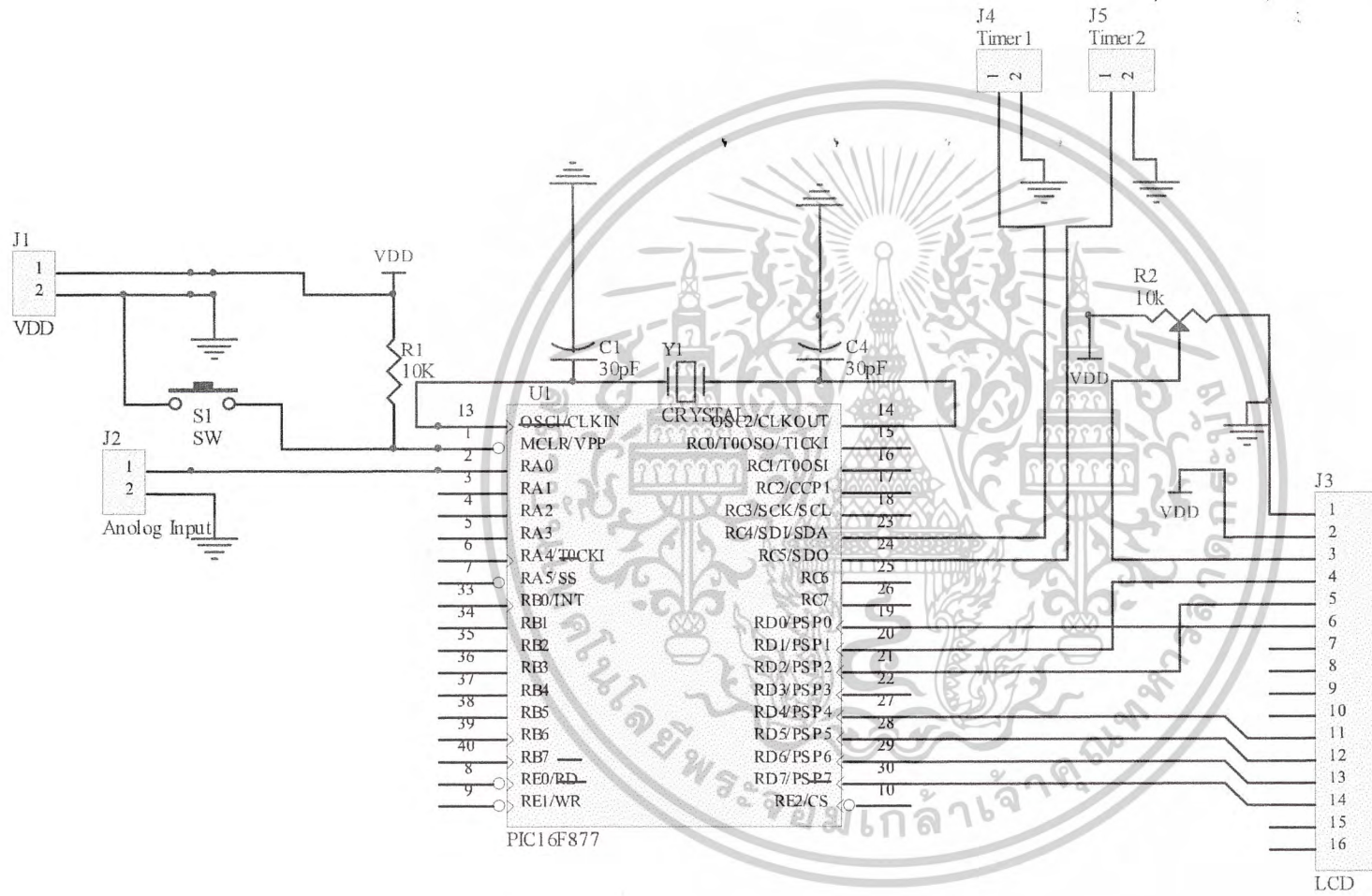


รูปแผ่นวงจร Power Supply ของระบบ (มองจากด้านบน)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6.0

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0



0

1.0

2.0

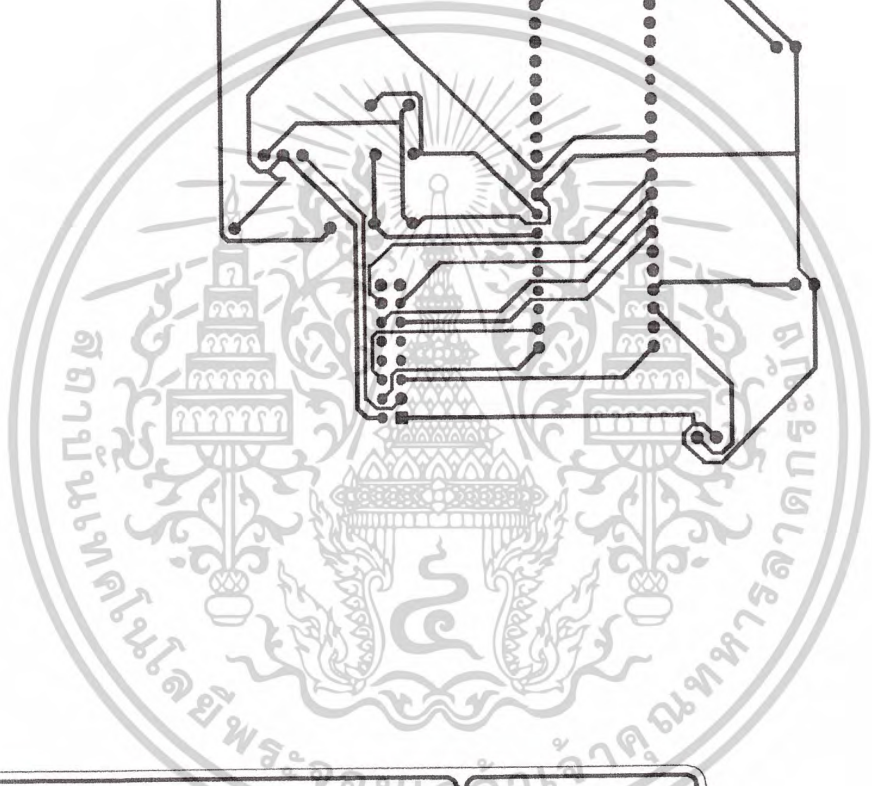
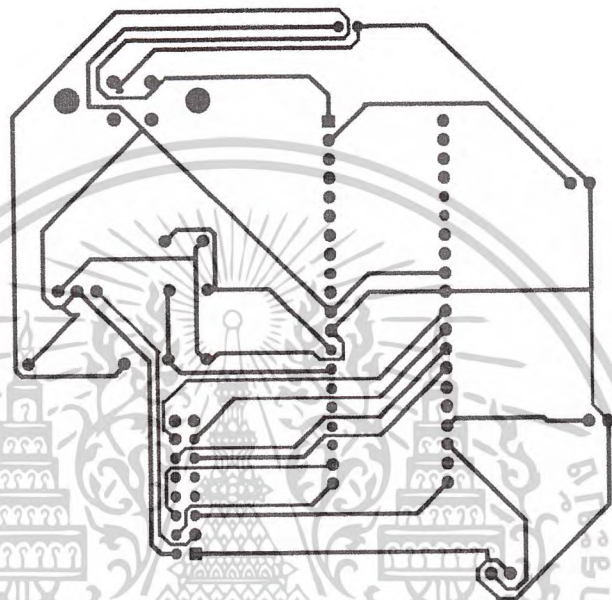
3.0

4.0

5.0

6.0

7.0



ENGINEER		TITLE		PLACE LOGO HERE	
PHONE		Eurocard VME bus format			
ENGINEER		PART NO.		REV 01	DATE 11-Mar-2005
PHONE					
FILE NAME: PCB1.PCB		LAYER Mechanical Layer 4		GERBER .GTL	





**Technical Information for Carbon Monoxide Sensors**

The marketing of TGS203 started in 1980 as a semiconductive type carbon monoxide sensor featuring high selectivity and stability. Since then, this sensor has been one of the best selling tin dioxide sensors produced by Figaro Engineering Inc.



<i>Specifications</i>	<i>Page</i>
Features.....	2
Applications.....	2
Structure.....	2
Basic Measuring Circuit.....	2
Circuit & Operating Conditions.....	3
Specifications.....	3
Mechanical Strength.....	3
<i>Operation Principle</i> .....	4
<i>Basic Sensitivity Characteristics</i>	
Sensitivity to Various Gases.....	5
Temperature and Humidity Dependency.....	5
Gas Response Speed.....	6
Heater Voltage Dependency.....	7
Initial Action.....	8
Influence of Unenergized Storage.....	8
Effects of Activated Charcoal Filter.....	9
<i>Reliability</i>	
Gas Exposure Test.....	10~11
Long-Term Stability.....	11
Activated Charcoal Filter.....	12
<i>Circuit Examples</i> .....	13

See also Technical Brochure "Technical Information on Usage of TGS Gas Sensors for Explosive/Toxic Gas Alarming".

**IMPORTANT NOTE:** OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

1. Specifications

1-1 Features

- \* High sensitivity and selectivity to carbon monoxide (CO)
- \* Low sensitivity to alcohol and hydrogen
- \* Minimal effect by nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) coexisting with CO
- \* Long life

1-2 Applications

- \* Residential and commercial CO detectors
- \* Air quality controllers
- \* Ventilation control for indoor parking garages

1-3 Structure

Figure 1 shows the structure of TGS203. Tin dioxide (SnO<sub>2</sub>) is used as the main material of the sensor element. A pair of wire electrodes are embedded in the sintered material. A 90-micron diameter iridium-palladium alloy wire with resistance of approximately 2Ω is spot welded to nickel pins. The sensor base is made of polyethylene terephthalate reinforced with glass fiber. The internal cover is a double layer of 100 mesh stainless steel gauze (SUS316) and the cover is fastened to the sensor base by a nickel-plated brass ring. The external housing material consists of reinforced polyamide resin (UL94V-0) and a layer of 60 mesh stainless steel gauze (SUS304) is used for the outside cover. The space layer between the internal cover and outer cover is filled with activated charcoal.

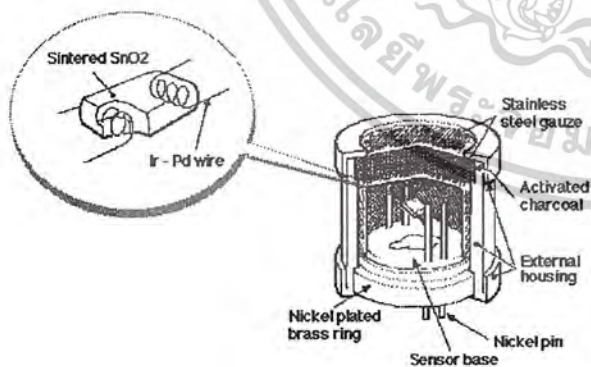


Figure 1 - Sensor structure

1-4 Basic measuring circuit

Figure 2 shows the basic measuring circuit of the TGS203. Circuit voltage (V<sub>c</sub>) is applied across the sensor element which has a resistance (R<sub>s</sub>) between the sensor's two electrodes and a load resistor (R<sub>L</sub>) connected in series. The temperature of the sensor element is controlled by heaters located at both sides of the sensor to which a high and low voltage cycle is applied according to the timetable shown in Figure 3. A 60 second high heater voltage period heat cleans the sensor, purging humidity (an interference gas) which may build up in the sensor's crystal structure during the low heater cycle. A 90 second low heater voltage cycle conditions the sensor element at the optimal temperature for sensing. Measurement for the presence of gas is performed only during a 0.5 second period at the conclusion of the low heater voltage period. The sensor signal (V<sub>RL</sub>) is measured as a change in voltage across the R<sub>L</sub>.

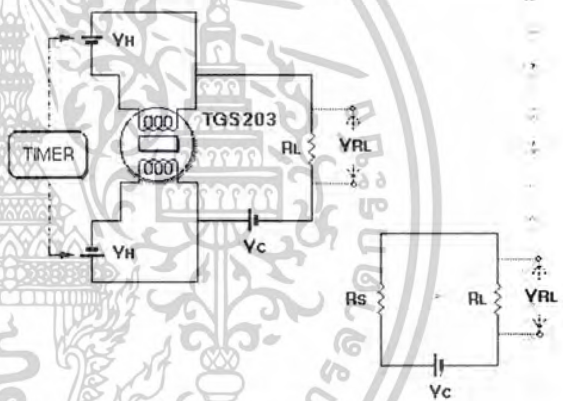


Figure 2 - Basic measuring circuit (including equivalent circuit)

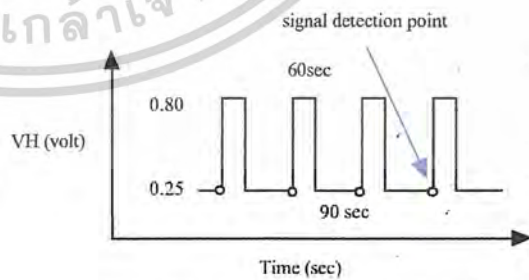


Figure 3 - High/Low cycle of heater voltage

1-5 Circuit & operating conditions

The following conditions should be maintained to ensure stable sensor performance:

Item	Rating
Circuit Voltage (Vc)	5.0V ± 1% DC
Heater voltage (VH)	V <sub>HH</sub> = 0.8V ± 3% for 60±1 sec. V <sub>HL</sub> = 0.25V ± 3% for 90±1 sec. (apply alternately for specified period)
Heater current (IH)	I <sub>HH</sub> = 369mA ± 3% for 60±1 sec. I <sub>HL</sub> = 133mA ± 3% for 90±1 sec. (apply alternately for specified period)
Heater resistance (room temp.)	1.85Ω
Load resistance (RL)	variable
Power dissipation (PS)	less than 15mW
Signal detection timing	within 0.5 sec. prior to application of V <sub>HH</sub>
Operating & storage temp.	-40°C ~ +70°C
Optimal detection concentration	50ppm ~ 1000ppm

1-6 Specifications NOTE 1

Item	Specification
Sensor resistance (Rs-100ppm of CO)	1kΩ ~ 15kΩ
Sensor resistance gradient (α)	-1.50 ~ -0.73
$\alpha = \frac{\log [Rs(100ppm \text{ of CO})/Rs(300ppm \text{ of CO})]}{\log (100ppm/300ppm)}$	
Relative sensitivity to H <sub>2</sub> (γ)	> 1.0
$\gamma = \frac{Rs(1000ppm \text{ of H}_2)}{Rs(100ppm \text{ of CO})}$	
Power consumption	approx. 0.59W at V <sub>HH</sub> approx. 0.07W at V <sub>HL</sub>

**NOTE 1:** Sensitivity characteristics are obtained under the following standard test conditions:

(Standard test conditions)

Temperature and humidity: 20 ± 2°C, 65 ± 5% RH

Circuit conditions: as specified in Section 5 and with RL = 4.0kΩ ± 1%

Preheating period: 7 days or more under standard circuit conditions

Formula for calculation of sensor resistance:

$$R_s = \frac{V_c \times R_L}{V_{RL}} - R_L$$

Formula for calculation of sensor power dissipation:

$$P_s = V_c^2 R_s / (R_s + R_L)^2$$

1-7 Mechanical Strength

The sensor shall have no abnormal findings in its structure and shall satisfy the above electrical specifications after the following performance tests:

**Withdrawal Force** - withstand force > 5kg in each direction

**Vibration** - frequency-1000c/min., total amplitude-4mm, duration-one hour, direction-vertical

**Shock** - acceleration-100G, repeated 5 times

1-8 Dimensions

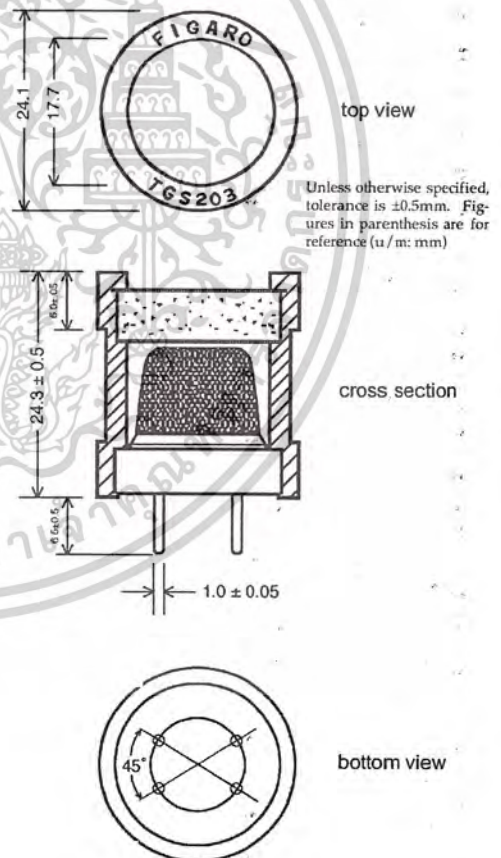


Figure 4 - Dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Operation Principle

Figure 5 shows the temperature of the sensor element surface (typical values) when the heater voltage (VH) varies. The temperature was measured through a thermocouple (CA,  $\phi 0.025\text{mm}$ ) which was placed on the center of the sensor element's surface. The test was carried out in clean air at room temperature.

Note: Measurements were taken after application of heater voltage in order to stabilize sensor element surface temperature.

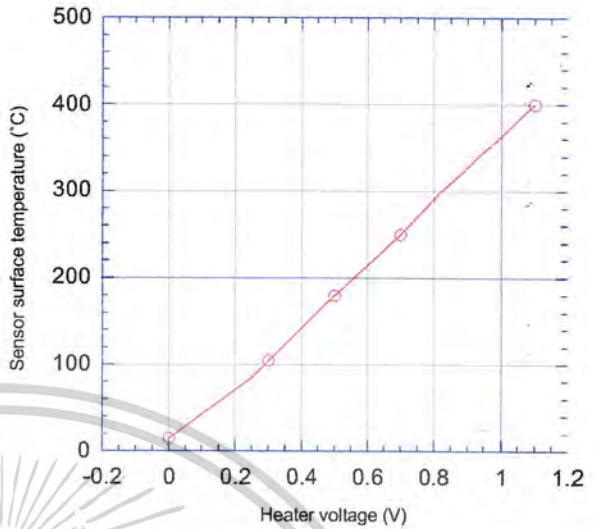


Figure 5 - Element surface temperature dependency on heater voltage

Figure 6 shows the manner in which sensitivity characteristics vary with changes to the sensor element temperature. Sensor resistance ( $R_s$ ) in 2,000ppm of various gases was obtained by changing heater voltage (VH) as shown in Figure 5.

Figure 6 illustrates that the sensitivity to CO increases as the sensor element temperature is decreased and that the best selectivity to CO can be obtained if sensor element temperature is maintained under 100°C. However, good reproducibility cannot be expected when the sensor is continuously used under 100°C since the sensor becomes susceptible to the influence of water vapor or interference gases when this temperature is maintained for a prolonged period. To eliminate this influence, a cyclic high/low voltage as specified in Section 1-5 is applied to the heater. High heater voltage heat-cleans the sensor by removing water vapor influence, while low heater voltage conditions the sensor for measuring CO gas.

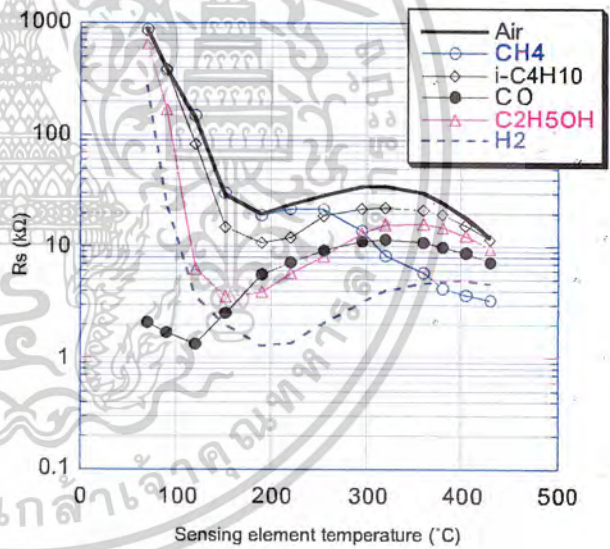


Figure 6 - Sensitivity dependency on element surface temperature

3. Basic Sensitivity Characteristics

3-1 Sensitivity to various gases

Figure 7 shows the sensor's relative sensitivity to various gases. The Y-axis shows the ratio of sensor resistance in various gases ( $R_s$ ) to the sensor resistance in 100ppm of CO ( $R_o$ ).

Sensor resistance in fresh air is several  $M\Omega$  or more. The sensitivity to methane ( $CH_4$ ) and propane ( $C_4H_{10}$ ) is negligible. The sensitivity to hydrogen, hydrogen sulfide ( $H_2S$ ), sulfur dioxide ( $SO_2$ ), and ethanol ( $C_2H_5OH$ ) is very low when compared to that of CO. While  $R_s$  decreases in CO gas, nitrogen dioxide ( $NO_2$ ) causes sensor resistance to increase. However, the effect of as much as 50ppm of  $NO_2$  is negligible—the dotted line in Figure 7 shows the sensitivity to CO when 50ppm of nitrogen dioxide coexists.

The slope of the sensitivity curve for CO flattens out when CO concentration reaches around 5,000ppm. This concentration would be the practical upper sensing limit of the sensor.

The amount of CO generated by cigarette smoke is roughly equivalent to 20ppm of CO when 10 cigarettes are smoked in a room of roughly 24 cubic meters in size. As a result, the influence of cigarette smoke itself would not be sufficient to cause the sensor to generate an alarm for residential detectors normally calibrated to alarm at 100ppm of CO.

3-2 Temperature and humidity dependency

Figure 8 shows the temperature and humidity dependency of TGS203. The Y-axis shows the ratio of sensor resistance in 100ppm of CO under various atmospheric conditions ( $R_s$ ) to the sensor resistance in 100ppm of CO at 20°C and 65%RH ( $R_o$ ).

An inexpensive way to compensate for temperature and humidity dependency to a certain extent would be to incorporate a thermistor in the detection circuit (please refer to Section 5-3).

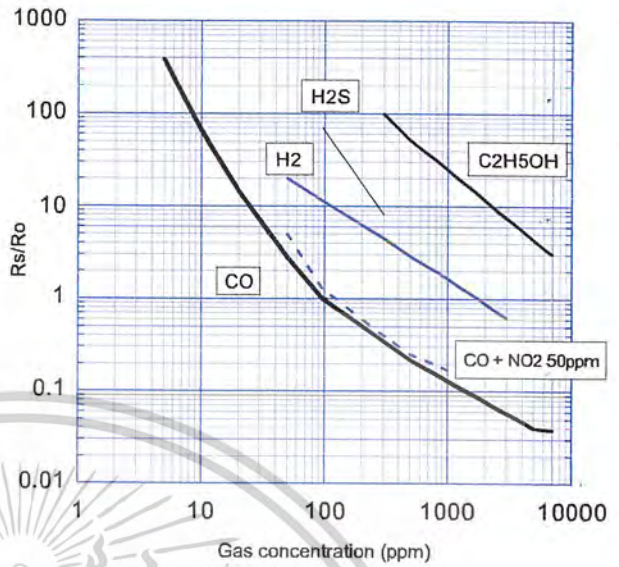


Figure 7 - Sensitivity to various gases

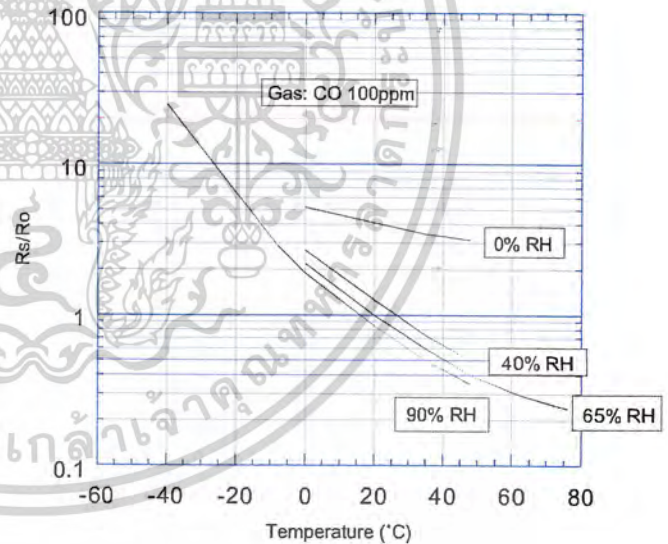


Figure 8 - Temperature and humidity dependency

3-3 Gas response pattern

Figure 9-1 shows the change pattern of the sensor's output (VRL) in 100ppm and 300ppm of CO respectively. Figure 9-2 shows the response of the sensor to 1000ppm of ethanol vapor.

These charts demonstrate the inverse relationship of VRL between CO<sub>L</sub> and alcohol. In CO<sub>L</sub> gas, the VRL starts increasing with the change in heater voltage to VHL. After 90 seconds, when the heater voltage changes to VHH, the VRL drastically increases for a short period of time and then decreases rapidly. Conversely, in ethanol vapor the VRL starts increasing with the change in heater voltage to VHH in a short time, and then the VRL starts decreasing. After 60 seconds, when the heater voltage changes to VHL, the VRL rapidly decreases again in a short time and the VRL then reaches a stabilized value.

Figure 10 below shows the change in sensor element temperature which occurs during the sensor heating schedule. This chart explains the behavior of VRL in Figures 9-1 and 9-2. Sensitivity to CO<sub>L</sub> is much greater at low temperatures and significantly reduced at high temperatures, while the inverse is true for ethanol sensitivity.

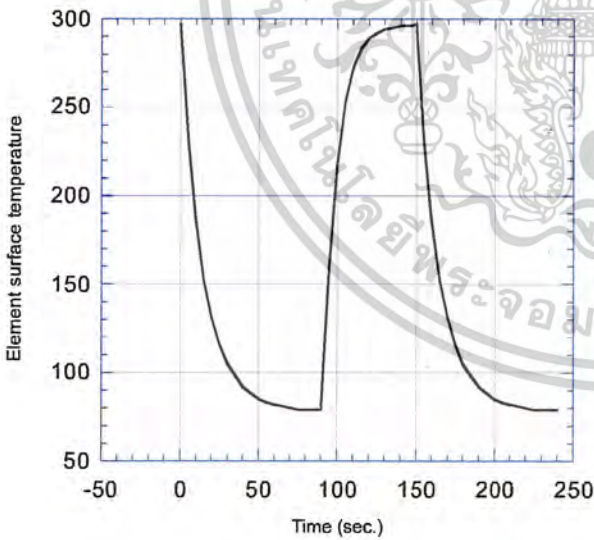


Figure 10 - Sensor element temperature change

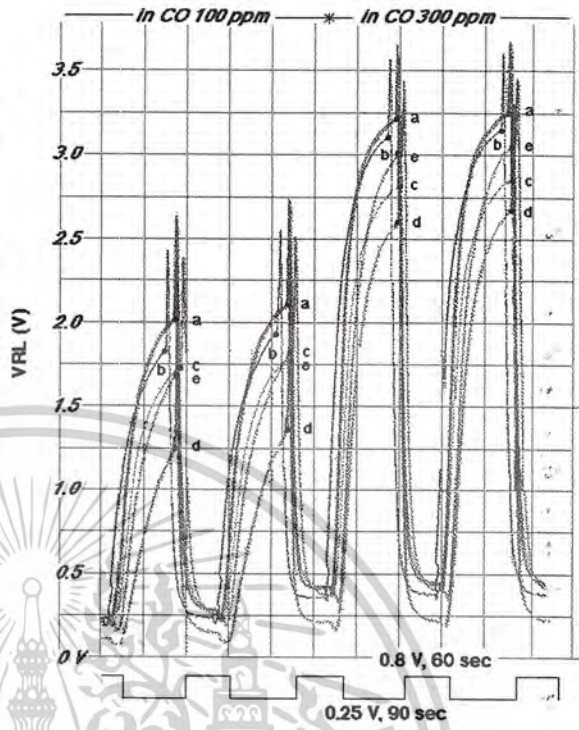


Figure 9-1 - CO response pattern

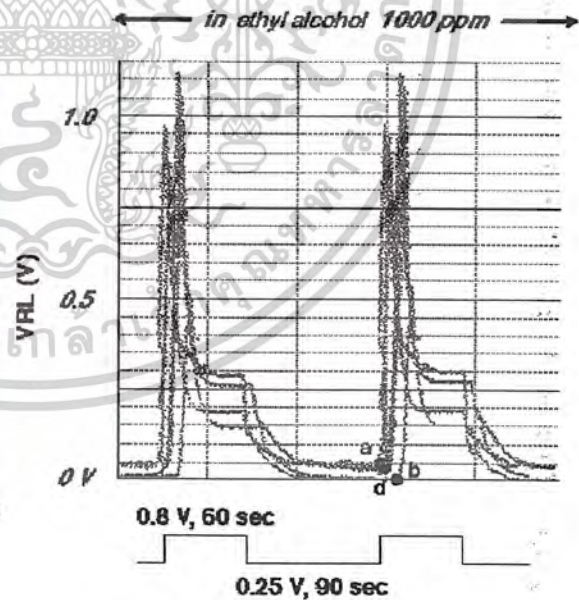


Figure 9-2 - Ethanol vapor response pattern

3-4 Heater voltage dependency

Figure 11-1 shows the change in the sensor resistance ratio according to variation in VHL. The Y-axis is the ratio of sensor resistance in various gases ( $R_s$ ) versus  $R_s$  in 100ppm of CO when  $V_{HL}=0.25V$  ( $R_o$ ). All measurements for purposes of this test were taken during the 0.5 second sensing period at the conclusion of the heating cycle (i.e. after VHL).

When VHL is higher than the rated value of 0.25V, the relative sensitivity of the sensor to hydrogen as compared to CO becomes higher. In contrast, when the VHL is lower than the rated value of 0.25V, the relative sensitivity to H2 compared to CO becomes smaller.

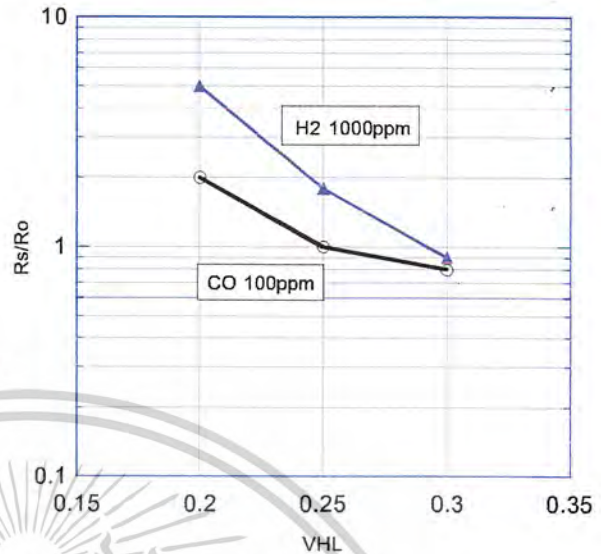


Figure 11-1 - Heater voltage dependency ( $V_{HH} = 0.8V$ )

Figure 11-2 shows the variation in sensor resistance ratio according to variation in VHH. The Y-axis is the ratio of sensor resistance in various gases ( $R_s$ ) versus  $R_s$  in 100ppm of CO when  $V_{HH}=0.8V$  ( $R_o$ ). Again all measurements for purposes of this test were taken during the 0.5 second sensing period at the conclusion of the heating cycle (i.e. after VHL).

When VHH is higher than the rated value of 0.8V, the relative sensitivity of the sensor to hydrogen as compared to CO becomes higher. In contrast, when the VHL is lower than the rated value of 0.25V, the relative sensitivity to H2 compared to CO becomes smaller. The sensitivity to ethanol is smallest at the rated value of VHH.

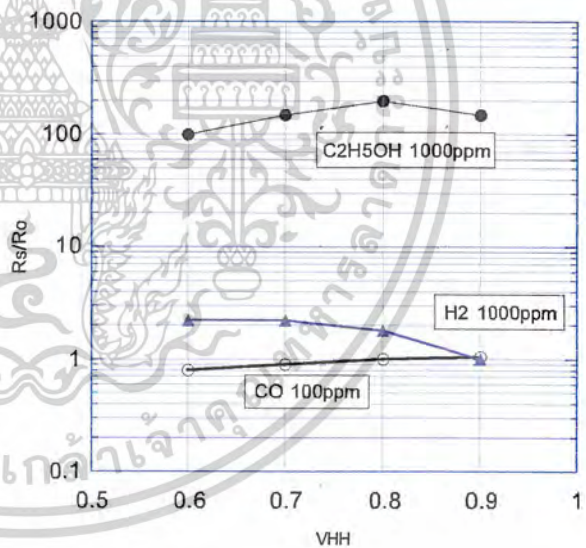


Figure 11-2 - Heater voltage dependency ( $V_{HL} = 0.25V$ )

It should be noted that when VHL or VHH is lower than the rated value, short-term reproducibility becomes inferior, and CO sensitivity generally tends to decrease in the long term. When VHL or VHH is higher than the rated value, CO sensitivity generally tends to increase in the long term.

3-5 Initial action

Figure 12 shows the initial action of the sensor's voltage output (VRL). For purposes of this test, the sensor was stored unenergized in normal air for 40 days after which it was energized in clean air.

After energizing, the VRL at VHH started off very high but gradually decreased to a stable level while the VRL at VHL was so low that an alarm delay circuit would not be required.

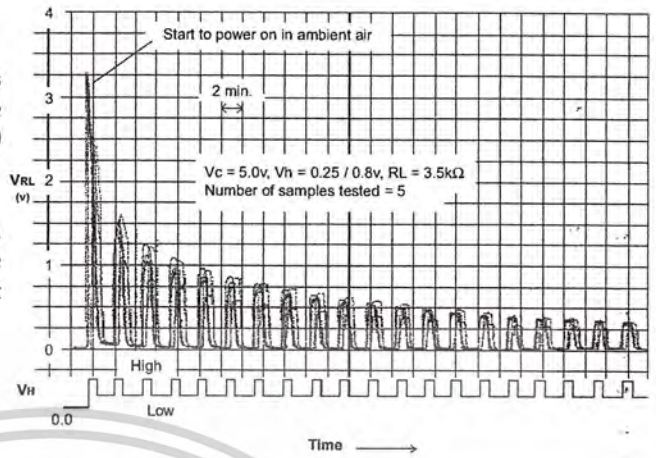


Figure 12 - Initial action

3-6 Influence of unenergized storage

Figure 13 shows the influence of unenergized storage on sensor resistance. Sensors were stored unenergized in normal air for 2 weeks, 4 weeks, and 3 months respectively after which they were energized. The Y-axis represents the ratio of sensor resistance in 100ppm of CO<sub>L</sub> after various unenergized periods (Rs) to the resistance in 100ppm of CO after energizing at the rated voltage for 10 days (Ro).

These charts demonstrate that after energizing, sensor resistance first increases slightly and then returns to a stable level.

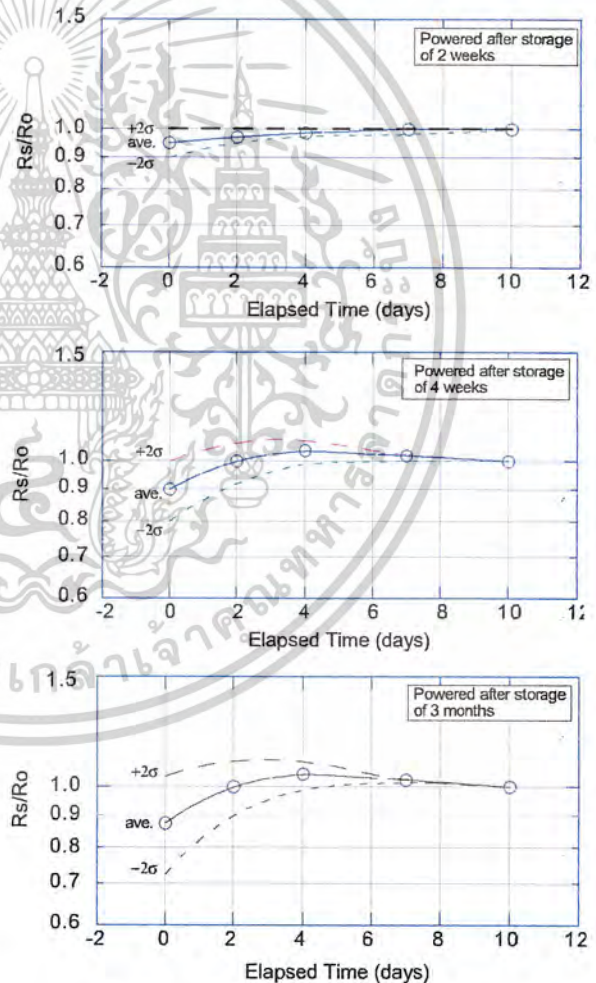


Figure 13 - Time dependency (Ro = 1.0) (20 samples tested)

3-7 Effect of the activated charcoal filter

CO is commonly generated by the incomplete combustion of fossil fuels. For accurate detection of CO, it is necessary to eliminate the influence not only of alcohol in the atmosphere but also of NO<sub>x</sub> generated by such heating devices. To do so, TGS203 utilizes a filter of activated charcoal.

Figures 14-1 and 14-2 show sensitivity characteristics of TGS203 with and without the charcoal filter respectively.

As shown in Figure 14-1, sensitivity to alcohol is reduced by the filter and the influence of 50ppm of NO<sub>2</sub> is virtually eliminated. The sensitivity to hydrogen is unaffected by the presence of the filter.

**Note:** Sensor resistance (R<sub>0</sub>) in 100ppm of CO, which is used as a reference value in Figures 14-1 and 14-2, increases by approximately 50%~100% when measured with the filter.

Temperature and humidity dependency remains largely unaffected by the presence of the filter.

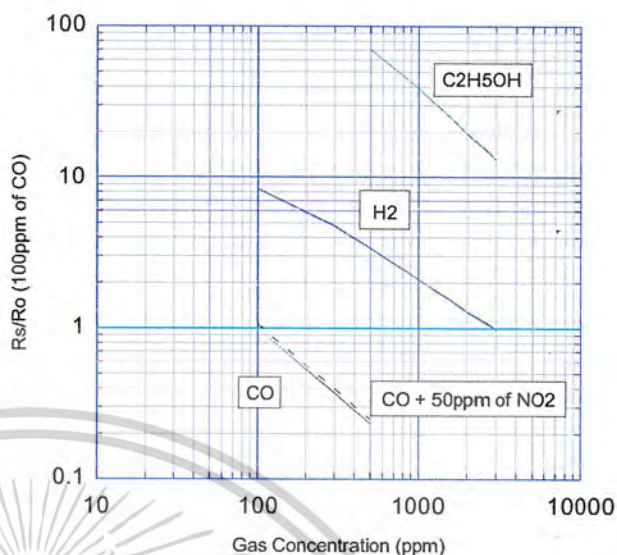


Figure 14-1 - Gas sensitivity of TGS203 (with activated charcoal filter)

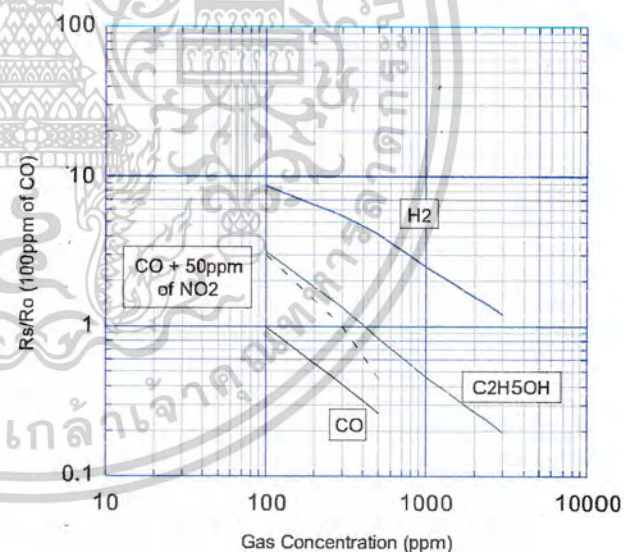


Figure 14-2 - Gas sensitivity of TGS203 (without activated charcoal filter)

4. Reliability

4-1 Gas exposure test

Figure 15 shows test conditions for short-term exposure of TGS203 to various gases. In this test, the sensor was kept energized under standard circuit conditions. Sensor resistance in 100ppm of CO<sub>L</sub> was measured prior to the test gas exposure. After the exposure in gases according to the times shown in Figure 15, the sensor was removed from the test gas and energized in normal air. After one hour elapsed, sensor resistance in 100ppm of CO was again measured.

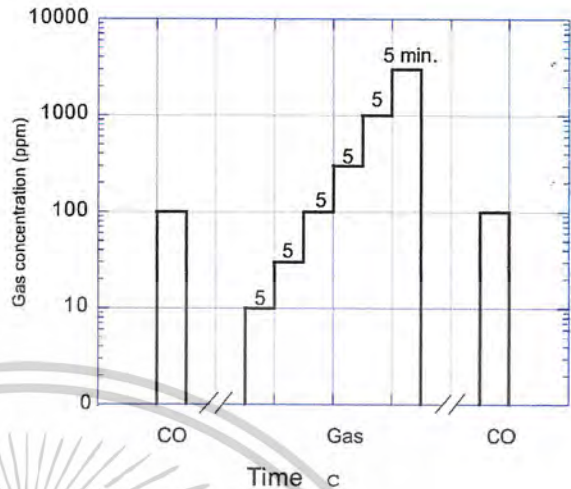


Figure 15 - Conditions of gas exposure test

Exposure to 1000ppm and 3000ppm of test gas (last step in Figure 15) was not conducted for the following highly corrosive gases: hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>).

Figure 16 shows the test results. The change ratio of sensor resistance in 100ppm of CO before and after exposure to the test gas is plotted. Most test gases caused some decrease in sensor resistance. Especially the influence of hydrogen sulfide and sulfur dioxide were remarkable. The sensor's ability to recover to original value from gas exposure is coded on Figure 16 as follows:

- 1 - quick recovery
- 2 - recovery within one day
- 3 - more than 7 days

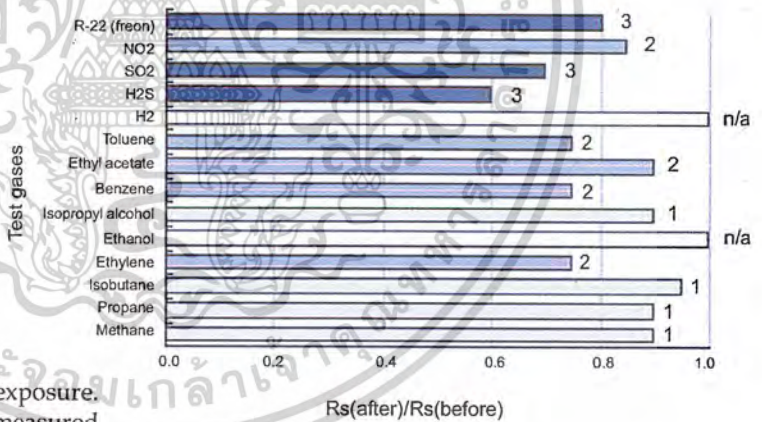


Figure 16 - Effects of exposure to various gases

Table 1 shows test results on long term gas exposure. Sensor resistance in 100ppm of CO was measured before long term gas exposure (R<sub>0</sub>) after which the sensors were placed in an enclosed capacity vessel with a test gas for a designated period. The sensors were then removed and kept under normal environmental conditions for one hour prior to measuring their resistance in 100ppm of CO after exposure to test gas (R<sub>s</sub>).

As these tests demonstrate, care should be taken to minimize exposure to gases which lower the sensor's sensitivity.

Table 1 - Long term exposure to various gases

Type of exposure (gas/conc./time)		Ambient condition	Sensor condition	Rs/Ro	# samples
SO <sub>2</sub>	0.4ppm 10 days	50°C/40%RH	energized	0.85	3
CH <sub>4</sub>	2.5% for 7 hrs. + 20% H <sub>2</sub> for 1 hr.	room temp.	energized	0.70	5
H <sub>2</sub> S	1000ppm 10 days	room temp.	energized	0.50	5
SO <sub>2</sub>	5000ppm + 1% CO <sub>2</sub> for 10 days	room temp.	unenergized	0.15	5
4 cigarettes/13 liters		room temp.	energized	0.85	3
0.3cc salad oil/13 liters		room temp.	energized	0.85	3
CO	300ppm for 30 sec., pause 1 min., repeat 1000 times	room temp.	energized	0.98	3
Styrene	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	1.00	10
Toluene	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	1.00	10
Hexane	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	0.78	10
Acetone	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	0.98	10
Ethanol <sup>1</sup>	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	0.51	10
MEK <sup>2</sup>	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	0.81	7
1-1-1TCE <sup>3</sup>	2000ppm 40 days	50°C	unenergized	0.87	10

<sup>1</sup> Sensor recovered Ro after energizing for 20 days in normal air  
<sup>2</sup> Methyl ethyl ketone  
<sup>3</sup> Trichloroethane

4-2 Long-term stability

Figure 17 shows long-term stability data for TGS203 for more than 8 years. Test samples were energized in normal air and under standard circuit conditions. Measurement for confirming sensor characteristics was conducted under standard test condition (20°C, 65%RH). The initial value was measured after two days of energizing in normal air at the rated voltage.

The Y-axis shows the alarm concentration calculated by the sensor's resistance when the alarm concentration is set at 100ppm of CO. At the very beginning of energizing, alarm concentration increases, and then gradually decreases. After 8 years, the alarm concentration decreased to roughly one half of its initial value.

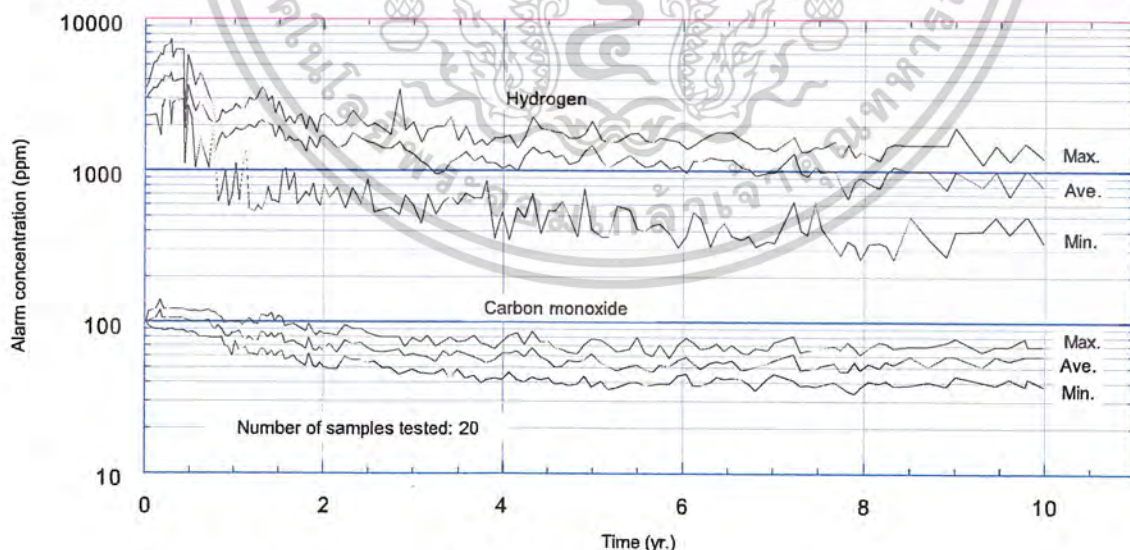


Figure 17 - Long term stability

4-3 Durability of the activated charcoal filter

(1) Effect of storage in normal air

In Figure 18, the effect of NO<sub>2</sub> on a sensor stored for 3.5 years in normal air and a new sensor with a new filter are plotted. Virtually no difference in the ability of the sensor to eliminate the effects of NO<sub>2</sub> can be seen between the two samples.



Figure 18 - Effect of being stored in normal air

(2) Effect of high temperature and high humidity

In Figure 19, the effect of NO<sub>2</sub> is plotted for a sensor stored for two months under conditions of 50°C and 90%RH and for a new sensor with a new filter. This figure demonstrates that high temperature and humidity have almost no effect on the activated charcoal filter's ability to eliminate the effects of NO<sub>2</sub>.

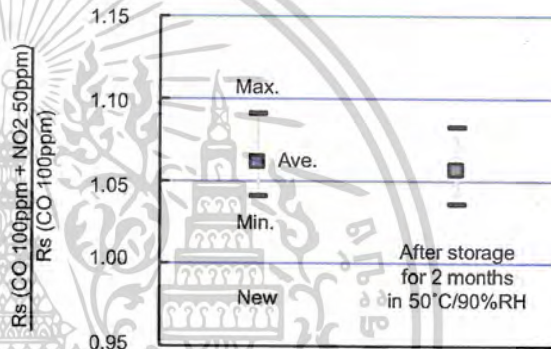


Figure 19 - Effect of high temperature/humidity

(3) Effect of long-term energizing

In Figure 20, the filter's performance in eliminating the effects of NO<sub>2</sub> and alcohol vapor is compared for three different types of samples:

- \* new filter
- \* filter used on sensor energized for one year
- \* filter used on a sensor energized for 7 years

These sample filters were placed on new sensor elements for conducting this test. The results show that as the energizing period becomes longer, performance in removing NO<sub>2</sub> and alcohol vapor tends to decrease. However, the level of degradation in this performance is minimal and does not reach a level which would be a problem in practical usage.

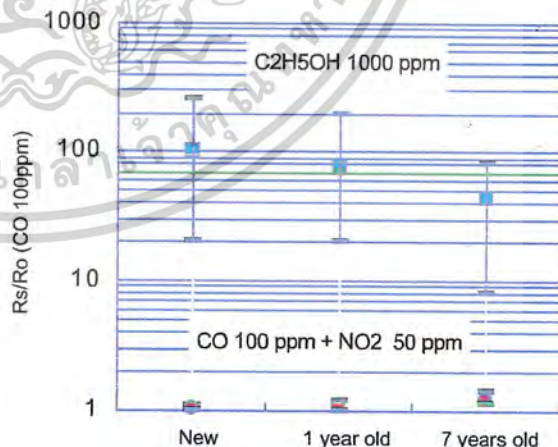


Figure 20 - Effect of long-term energizing

5 Circuit Examples

5-1 Sensor signal measuring method

Figures 21-1 and 21-2 show the sensor signal measuring method in circuits where a regulated current is applied to the heater in order to heat the sensor element. When heating the sensor element, Q1 and Q2 are closed as shown in Figure 21-1. When reading the sensor signal, Q1 and Q2 are opened as shown in Figure 21-2. The voltage applied to RL is used as a sensor signal. The operation of Q1 and Q2 is controlled according to the conditions specified in Section 1-5 by way of a time control IC such as a microcomputer.

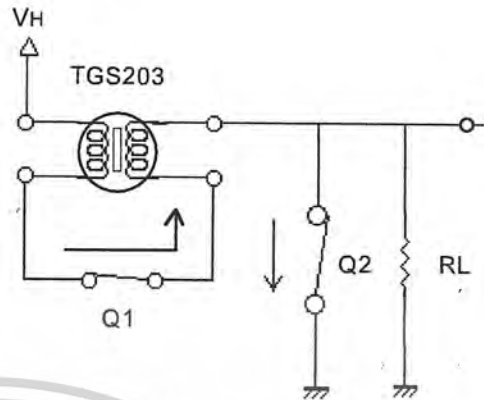


Figure 21-1 - Element heated period

5-2 Sensor heater breakage detection circuit

Sensor heater breakage can be detected by a resistor connected to Q2 in series. The voltage applied to the resistor is used as a monitor.

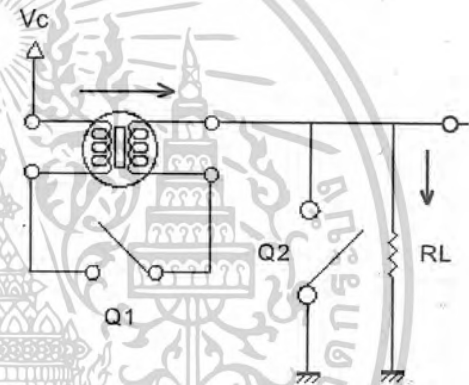


Figure 21-2 - Gas detection point

5-3 Temperature compensation circuit

The temperature and humidity dependency of TGS203 can be compensated to a certain degree in a circuit using a thermistor, as shown in Figure 22.

- Th = Thermistor
- RTH = 8kΩ, B constant = 4200
- R1 = 6.2kΩ
- R2 = 2.24kΩ

5-4 FIC-5401

FIC-5401 is a custom hybrid IC containing the necessary functions for driving the TGS203 and handling output signals for alarm systems. This IC is a useful and convenient item for evaluating the performance of TGS203. For more information about this item and its usage, please refer to the brochure *Product Information - FIC-5401*.

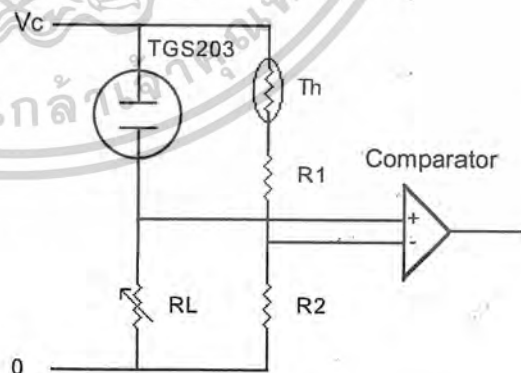


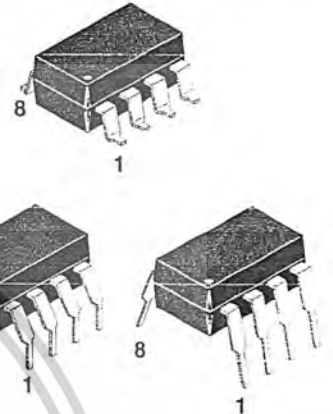
Figure 22 - Temperature compensation circuit

**SINGLE-CHANNEL**  
**6N137**  
**HCPL-2601**  
**HCPL-2611**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2630**  
**HCPL-2631**

**DESCRIPTION**

The 6N137, HCPL-2601/2611 single-channel and HCPL-2630/2631 dual-channel optocouplers consist of a 850 nm AlGaAs LED, optically coupled to a very high speed integrated photodetector logic gate with a strobable output. This output features an open collector, thereby permitting wired OR outputs. The coupled parameters are guaranteed over the temperature range of -40°C to +85°C. A maximum input signal of 5 mA will provide a minimum output sink current of 13 mA (fan out of 8). An internal noise shield provides superior common mode rejection of typically 10 kV/μs. The HCPL-2601 and HCPL-2631 has a minimum CMR of 5 kV/μs. The HCPL-2611 has a minimum CMR of 10 kV/μs.

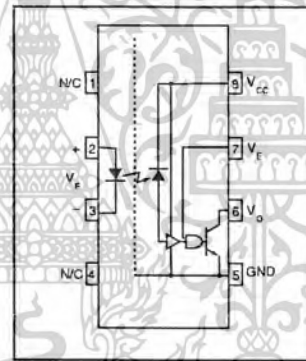


**FEATURES**

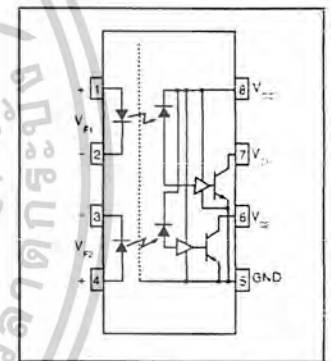
- Very high speed-10 MBit/s
- Superior CMR-10 kV/μs
- Double working voltage-480V
- Fan-out of 8 over -40°C to +85°C
- Logic gate output
- Storable output
- Wired OR-open collector
- U.L. recognized (File # E90700)

**APPLICATIONS**

- Ground loop elimination
- LSTTL to TTL, LSTTL or 5-volt CMOS
- Line receiver, data transmission
- Data multiplexing
- Switching power supplies
- Pulse transformer replacement
- Computer-peripheral interface



6N137  
HCPL-2601  
HCPL-2611



HCPL-2630  
HCPL-2631

**TRUTH TABLE**  
(Positive Logic)

Input	Enable	Output
H	H	L
L	H	H
H	L	H
L	L	H
H	NC	L
L	NC	H

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pins 8 and 5.  
(See note 1)

**SINGLE-CHANNEL**

6N137  
HCPL-2601  
HCPL-2611

**DUAL-CHANNEL**

HCPL-2630  
HCPL-2631

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** (No derating required up to 85°C)

Parameter	Symbol	Value	Units
Storage Temperature	$T_{STG}$	-55 to +125	°C
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	260 for 10 sec	°C
<b>EMITTER</b>			
DC/Average Forward Input Current	Single channel Dual channel (Each channel)	$I_F$	50 30
Enable Input Voltage Not to exceed $V_{CC}$ by more than 500 mV	Single channel	$V_E$	5.5
Reverse Input Voltage	Each channel	$V_R$	5.0
Power Dissipation	Single channel	$P_I$	100
	Dual channel (Each channel)		45
<b>DETECTOR</b>			
Supply Voltage	$V_{CC}$ (1 minute max)	7.0	V
Output Current	Single channel	$I_O$	50
	Dual channel (Each channel)		50
Output Voltage	Each channel	$V_O$	7.0
Collector Output Power Dissipation	Single channel Dual channel (Each channel)	$P_O$	85 60

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

Parameter	Symbol	Min	Max	Units
Input Current, Low Level	$I_{FL}$	0	250	µA
Input Current, High Level	$I_{FH}$	*6.3	15	mA
Supply Voltage, Output	$V_{CC}$	4.5	5.5	V
Enable Voltage, Low Level	$V_{EL}$	0	0.8	V
Enable Voltage, High Level	$V_{EH}$	2.0	$V_{CC}$	V
Low Level Supply Current	$T_A$	-40	+85	°C
Fan Out (TTL load)	N		8	

\* 6.3 mA is a guard banded value which allows for at least 20 % CTR degradation. Initial input current threshold value is 5.0 mA or less

**SINGLE-CHANNEL**  
6N137  
HCPL-2601  
HCPL-2611

**DUAL-CHANNEL**  
HCPL-2630  
HCPL-2631

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
<b>EMITTER</b>						
Input Forward Voltage	( $I_F = 10\text{ mA}$ ) $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_F$		1.4	1.8	V
Input Reverse Breakdown Voltage	( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$B_{VR}$	5.0			V
Input Capacitance	( $V_F = 0, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{IN}$		60		pF
Input Diode Temperature Coefficient	( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$\Delta V_F/\Delta T_A$		-1.4		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
<b>DETECTOR</b>						
High Level Supply Current	Single Channel ( $V_{CC} = 5.5\text{ V}, I_F = 0\text{ mA}$ ) Dual Channel ( $V_E = 0.5\text{ V}$ )	$I_{CCH}$		7	10	mA
Low Level Supply Current	Single Channel ( $V_{CC} = 5.5\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$ ) Dual Channel ( $V_E = 0.5\text{ V}$ )	$I_{CCL}$		9	13	mA
Low Level Enable Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}, V_E = 0.5\text{ V}$ )	$I_{EL}$		-0.8	-1.6	mA
High Level Enable Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}, V_E = 2.0\text{ V}$ )	$I_{EH}$		-0.6	-1.6	mA
High Level Enable Voltage	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_{EH}$	2.0			V
Low Level Enable Voltage	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$ ) (Note 3)	$V_{EL}$			0.8	V

**SWITCHING CHARACTERISTICS** ( $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $I_F = 7.5\text{ mA}$  Unless otherwise specified.)

AC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
Propagation Delay Time to Output High Level	(Note 4) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Fig. 12)	$T_{PLH}$	20	45	75	ns
Propagation Delay Time to Output Low Level	(Note 5) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Fig. 12)	$T_{PHL}$	25	45	75	ns
Pulse Width Distortion	( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Fig. 12)	$ T_{PHL} - T_{PLH} $		3	35	ns
Output Rise Time (10-90%)	( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 6) (Fig. 12)	$t_r$		50		ns
Output Fall Time (90-10%)	( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 7) (Fig. 12)	$t_f$		12		ns
Enable Propagation Delay Time to Output High Level	( $I_F = 7.5\text{ mA}, V_{EH} = 3.5\text{ V}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 8) (Fig. 13)	$t_{ELH}$		20		ns
Enable Propagation Delay Time to Output Low Level	( $I_F = 7.5\text{ mA}, V_{EH} = 3.5\text{ V}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega, C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 9) (Fig. 13)	$t_{EHL}$		20		ns
Common Mode Transient Immunity (at Output High Level)	( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) $ V_{CM}  = 50\text{ V}$ , (Peak) ( $I_F = 0\text{ mA}, V_{OH}(\text{Min.}) = 2.0\text{ V}$ ) 6N137, HCPL-2630 ( $R_L = 350\ \Omega$ ) (Note 10) HCPL-2601, HCPL-2631 (Fig. 14) HCPL-2611 ( $ V_{CM}  = 400\text{ V}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega$ ) ( $I_F = 7.5\text{ mA}, V_{OL}(\text{Max.}) = 0.8\text{ V}$ )	$CM_H$		10,000		V/ $\mu\text{s}$
Common Mode Transient Immunity (at Output Low Level)	6N137, HCPL-2630 ( $ V_{CM}  = 50\text{ V}$ (Peak)) HCPL-2601, HCPL-2631 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) (Note 11) (Fig. 14) HCPL-2611 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) ( $ V_{CM}  = 400\text{ V}$ )	$CM_L$		10,000		V/ $\mu\text{s}$



**MICROCHIP**

# PIC16F87XA Data Sheet

28/40/44-Pin Enhanced Flash  
Microcontrollers

**Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:**

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. 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.

**Trademarks**

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoq, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.


AmpLab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartShunt, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.



Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoq® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin  
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during Sleep via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™  
(Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital  
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference  
(VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device  
inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash  
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM  
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)  
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

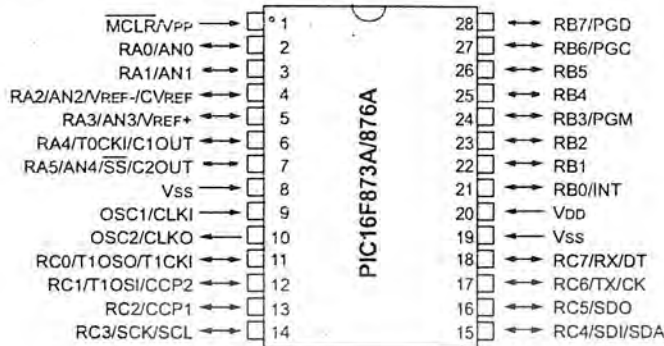
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM  
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

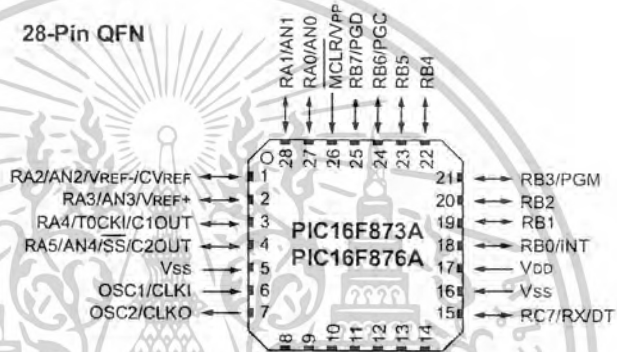
# PIC16F87XA

## Pin Diagrams

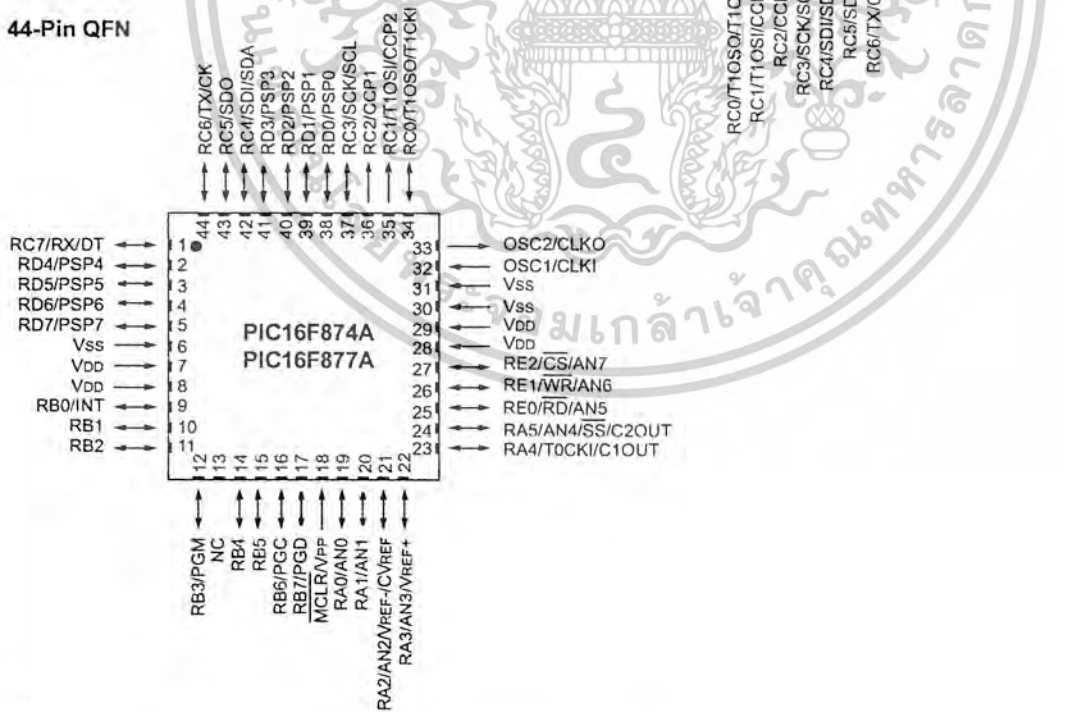
### 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



### 28-Pin QFN

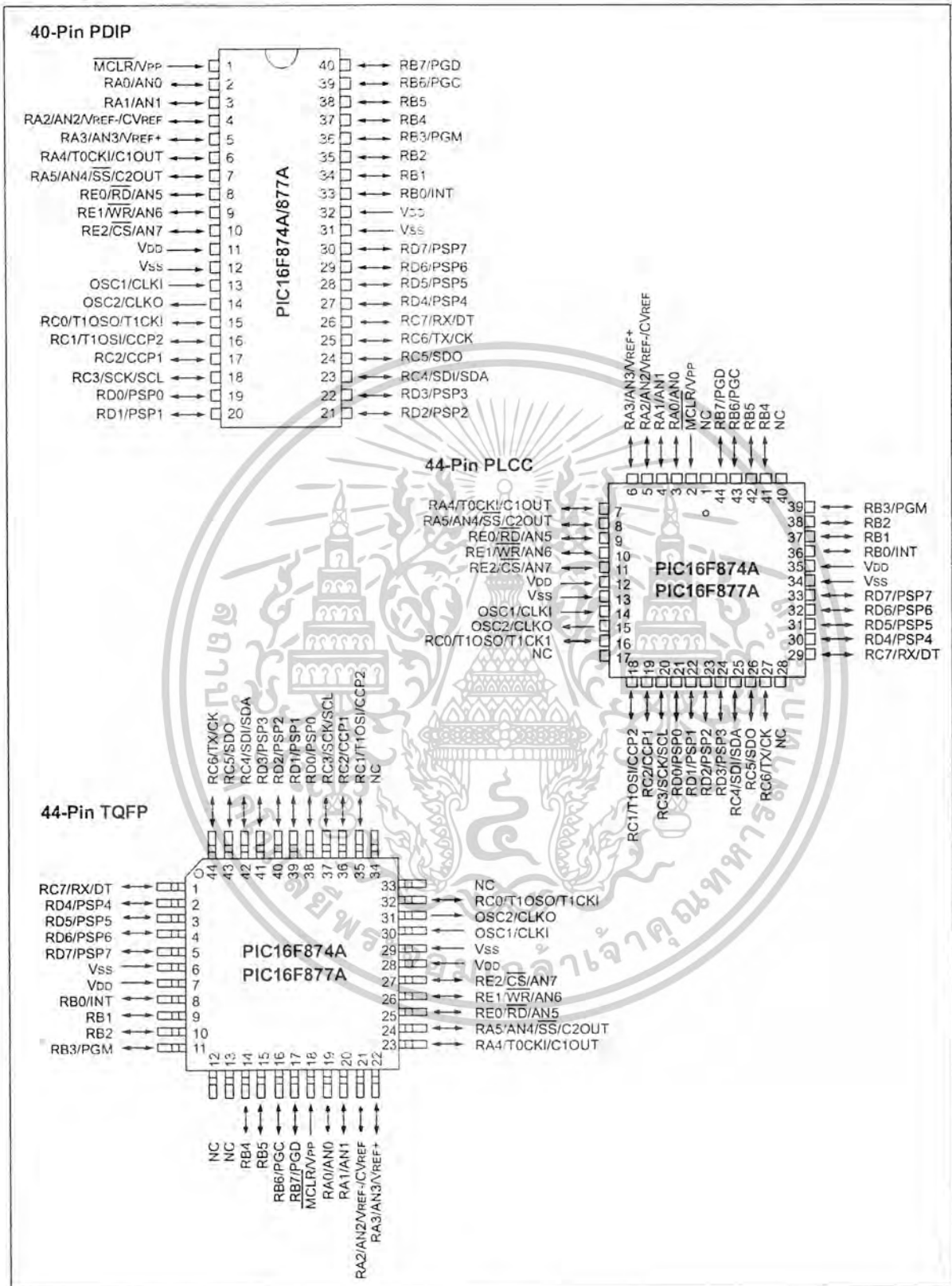


### 44-Pin QFN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin Diagrams (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้