

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

ALCOHOL METER



โดย

นาย มณฑล

โพธิ์เสรี

นาย ยุทธศาสตร์

เวียงทอง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 62682

วัน,เดือน,ปี..... 21 ส.ค. 2549

b. 11628376  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

ALCOHOL METER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ (รายงาน ) ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดปริมาณแก๊สแอลกอฮอล์

ผู้จัดทำ นาย มณฑล โพร้เสร์

นาย ยุทธศาสตร์ เวียงทอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์
นักศึกษา	นาย มณฑล โปธิ์เสาร์ รหัส 46015274 นาย ยุทธศาสตร์ เวียงทอง รหัส 46015276
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

  
.....  
(.....)  
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์
นักศึกษา	นาย มณฑล โพธิ์เสร์ รหัส 46015274 นาย ยุทธศาสตร์ เวียงทอง รหัส 46015276
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สุทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชา	อิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2548

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Meter) ซึ่งรายละเอียดโดยรวมของโครงการนี้ จะเป็นการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Sensor) เบอร์ TGS 822 กับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877A ซึ่งเป็นตัวทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนที่จะส่งต่อไปยังภาคแสดงผล ซึ่งเป็นจอแอลซีดี และเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์นี้ สามารถใช้วัดความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ได้ตั้งแต่ 50 – 5000 ppm นอกจากนี้ยังได้มีการสร้างระบบทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นมาอีกด้วย

**PROJECT** ALCOHOL METER  
**STUDENT** Mr. MONTON POSAE No. 46015274  
Mr. YUTTASART VIANGTONG No. 46015276  
**ADVISOR** Dr. SUTICHAJ CHAISITSAK  
**COUREE** Bachelor of Engineering in Electronics  
**DEPARTMENT** Electronics Engineering  
**YEAR** 2005

### ABSTRACT

This project is the design and fabrication of the alcohol meter. As to application alcohol sensor number TGS 822 with microcontroller number PIC 16F877A has function is analog to digital converter before send to LCD display section. This alcohol meter can be measures concentration of alcohol gas between 50 - 5000 ppm. Moreover in this project has fabrication of alcohol sensor test system.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ ทางผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและ  
แนะแนวทางในการดำเนินงาน ตลอดจนได้รับความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในการดำเนินงาน  
ต่างๆ จาก ดร. สุทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ อ. เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง ผศ. ดร. ยุทธนา กิจใจเดียว และ  
ผศ. ประภากร สุวรรณะ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงเป็นโครงการได้ ผู้จัดทำโครงการขอกราบ  
ขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ให้ความกรุณามา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้ให้กำเนิดและสนับสนุน  
เป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำโครงการตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

<b>บทที่ 1 ความมุ่งหมายของปริญญาโท</b>	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ตัวตรวจจับก๊าซ (Gas Sensor)</b>	3
2.1 นิยามของตัวตรวจจับก๊าซ	3
2.2 ตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Sensor)	4
2.3 คุณสมบัติและรูปร่างของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์เบอร์ TGS 822	5
2.4 วิธีการใช้งานตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS 822	9
2.5 พื้นฐานในการวัดด้วยตัวตรวจจับก๊าซ	11
<b>บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์</b>	12
3.1 PIC คืออะไร	12
3.2 PIC ชนิดต่างๆ	12
3.3 PIC เบอร์ต่างๆ	13
3.4 ชนิดของ Oscillator	19
3.5 รูปแบบการพัฒนาภาษาโปรแกรมบน Microcontroller	20
3.6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	22
3.7 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA	24
3.8 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม	25
3.9 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์	25
<b>บทที่ 4 การออกแบบและการทดลอง</b>	35
4.1 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์	35
4.2 แนวทางในการออกแบบ	45
4.3 หลักการทำงานของวงจรในโครงการ	48
4.4 การออกแบบชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	49
4.5 การออกแบบวงจรแรงดันอ้างอิง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	52
4.8 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์	53
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	60
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	64
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	65
<b>ภาคผนวก</b>	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 Block Diagram ของโครงการ	1
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของทรานซิสเตอร์	3
รูปที่ 2.2 แสดงขนาดของ TGS 822	5
รูปที่ 2.3 รูปร่างของ TGS 822	5
รูปที่ 2.4 กราฟความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ	6
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่โหลด ( $V_{RL}$ ) กับความเข้มข้นของก๊าซ	7
รูปที่ 2.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในที่ความเข้มข้น Ethanol 300 ppm กับอากาศ	7
รูปที่ 2.7 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในเมื่อทดลองหลายครั้ง	8
รูปที่ 2.8 กราฟแรงดันฮิตเตอร์ ( $V_H$ ) ที่มีผลต่อค่าความต้านทานภายใน	8
รูปที่ 2.9 กราฟแรงดันวงจร ( $V_C$ ) ที่มีผลต่อค่าความต้านทานภายใน	9
รูปที่ 2.10 วงจรทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซ	9
รูปที่ 2.11 วงจรทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซ	9
รูปที่ 3.1 ลักษณะของ PIC ตระกูล 8 ขา	14
รูปที่ 3.2 ลักษณะของ PIC ตระกูล 18 ขา	15
รูปที่ 3.3 ลักษณะของ PIC ตระกูล 20 ขา	15
รูปที่ 3.4 ลักษณะของ PIC ตระกูล 28 ขา	17
รูปที่ 3.5 ลักษณะของ PIC ตระกูล 40 ขา	18
รูปที่ 3.6 ลักษณะของ Ceramic Resonator	19
รูปที่ 3.7 ลักษณะของ Crystal Oscillator	20
รูปที่ 3.8 ลักษณะของ TTL Crystal Square Wave Oscillator	20
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	22
รูปที่ 3.10 โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x รุ่น 40 ขา เบอร์ PIC16F874(A)/877(A)	23
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของ Port A ใน PIC16F87x	27
รูปที่ 3.12 โครงสร้างของ Port B ใน PIC16F87x	28
รูปที่ 3.13 โครงสร้างของ Port C ใน PIC16F87x	30
รูปที่ 3.14 โครงสร้างของ Port D ใน PIC16F87x	32
รูปที่ 3.15 โครงสร้างของ Port E ใน PIC16F87x	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 Block Diagram ในการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์	36
รูปที่ 4.2 กราฟการหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ( $W_v$ ) ที่ $Q_{dEthanol}$ เท่ากับ 10 sccm	37
รูปที่ 4.3 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 170-339 ppm	39
รูปที่ 4.4 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดัน $V_{RL}$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 170-339 ppm	39
รูปที่ 4.5 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 1890-4985 ppm	40
รูปที่ 4.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดัน $V_{RL}$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 1890-4985 ppm	40
รูปที่ 4.7 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 300 ppm กับ $N_2$	41
รูปที่ 4.8 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดัน $V_{RL}$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 300 ppm กับ $N_2$	41
รูปที่ 4.9 กราฟแรงดัน $V_{RL}$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง	44
รูปที่ 4.10 กราฟอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์	44
รูปที่ 4.11 การหาค่าจุดตัดแกน y จากกราฟใน Data Sheet	46
รูปที่ 4.12 การหาสมการที่จะใช้ในการโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์	47
รูปที่ 4.13 Block Diagram การทำงานของวงจรในโครงการ	48
รูปที่ 4.14 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	49
รูปที่ 4.15 วงจรจ่ายแรงดันอ้างอิง	51
รูปที่ 4.16 วงจรสวิตช์เลือกย่านการวัด	51
รูปที่ 4.17 วงจรแสดงสัญญาณไฟเตือน	51
รูปที่ 4.18 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	52
รูปที่ 4.19 รูปภาพภายในเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์	52
รูปที่ 4.20 รูปภาพด้านหน้าเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์	52
รูปที่ 4.21 กราฟแรงดัน $V_{RL}$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)	54
รูปที่ 4.22 กราฟค่า $R_s$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)	55
รูปที่ 4.23 กราฟแรงดัน $V_{RL}$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)	56
รูปที่ 4.24 กราฟค่า $R_s$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)	57
รูปที่ 4.25 กราฟแรงดัน $V_{RL}$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)	58
รูปที่ 4.26 กราฟค่า $R_s$ กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)	59
รูปที่ 5.1 กราฟแรงดัน $V_{RL}$ จากการทดลองทั้ง 3 ครั้งกับค่าเฉลี่ยจากการทดลอง	61
รูปที่ 5.2 กราฟค่า $R_s$ จากการทดลองทั้ง 3 ครั้งกับค่าเฉลี่ยจากการทดลอง	61
รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบแรงดัน $V_{RL}$ ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง	62
รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบค่าของ $R_s$ ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเฉพาะของ TGS 822	10
ตารางที่ 3.1 สรุปการทำงาน Port A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	27
ตารางที่ 3.2 สรุปการทำงาน Port B ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	29
ตารางที่ 3.3 สรุปการทำงาน Port C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	31
ตารางที่ 3.4 สรุปการทำงาน Port D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	32
ตารางที่ 3.5 สรุปการทำงาน Port E ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	34
ตารางที่ 4.1 การทดลองหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ	36
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ	42
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ (ต่อ)	43
ตารางที่ 4.4 ค่า $R_s$ , $V_{RL}$ และจุดตัดแกน $y$ ที่ได้จาก Data Sheet	47
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแรงดัน $V_{RL}$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)	54
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองค่า $R_s$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)	55
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแรงดัน $V_{RL}$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)	56
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองค่า $R_s$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)	57
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแรงดัน $V_{RL}$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)	58
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองค่า $R_s$ ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)	59
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบแรงดัน $V_{RL}$ ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง	62
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าของ $R_s$ ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง	63

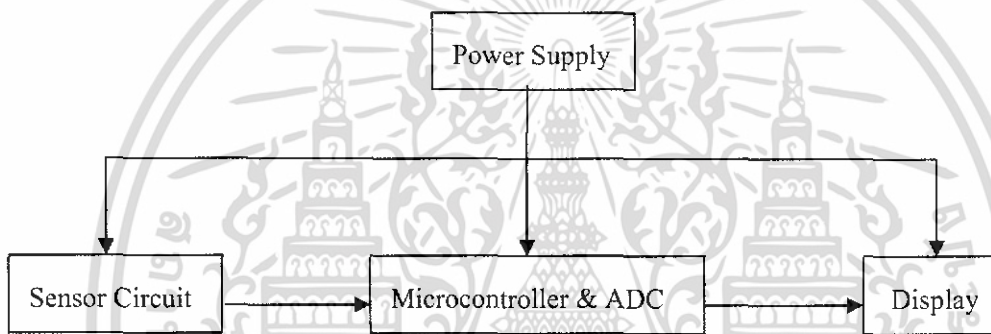
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## ความมุ่งหมายของปริญญาโท

### 1.1 บทนำ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Alcohol Meter) โดยใช้หลักการ  
ทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Sensor) นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรตรวจจับ  
ก๊าซและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานในส่วนของการแสดงผล โดยมี  
กระบวนการในการทำงานของโครงการดังรูป



รูปที่ 1.1 Block Diagram ของโครงการ

### 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญาโท

ในปัจจุบันนี้มีประชากรของประเทศไทยประสบอุบัติเหตุจากรถยนต์และรถจักรยานยนต์  
เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากผู้ขับขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์ดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ  
แอลกอฮอล์เกินปริมาณที่กฎหมายกำหนด กลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้เกิดความคิดที่จะทำเครื่องวัด  
ปริมาณแอลกอฮอล์ขึ้นมา เพื่อนำไปวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในร่างกายของผู้ที่ขับขี่รถยนต์และ  
รถจักรยานยนต์ ซึ่งจะทำให้การเกิดอุบัติเหตุจากรถยนต์และรถจักรยานยนต์ลดลงได้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในปัจจุบันนี้ยังมีราคาค่อนข้างแพง กลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้คิดค้นวิธีการทำเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ขึ้นมา โดยได้นำความรู้ที่ได้เล่าเรียนมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดมาประกอบเป็นเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์เพื่อให้มีราคาถูกกว่าเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์ที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ได้ศึกษาการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์
- 1.4.2 ทำให้รู้จักการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในการออกแบบและควบคุม
- 1.4.3 ทำให้รู้จักการใช้งาน LCD (Liquid Crystal Display) ในการแสดงผล
- 1.4.4 สามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับก๊าซชนิดอื่นๆ ได้
- 1.4.5 ทำให้รู้จักการทำงานเป็นกลุ่มและการแก้ไขปัญหา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

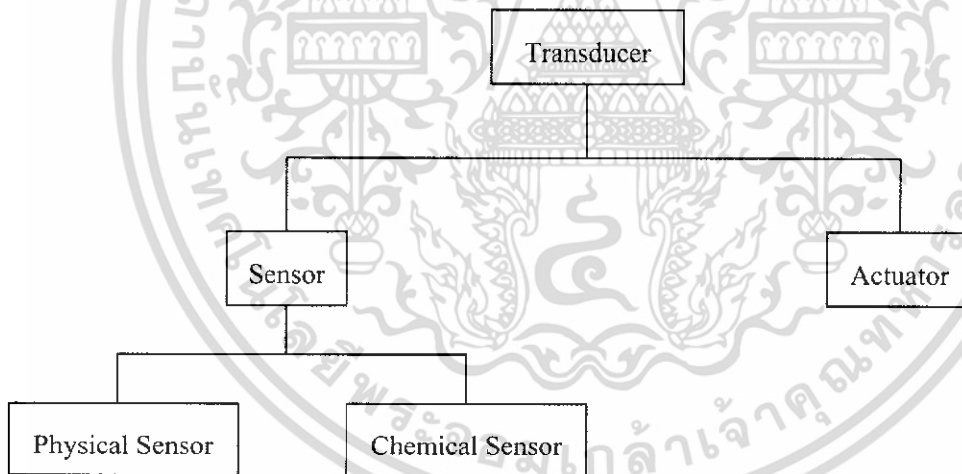
## บทที่ 2

### หลักการของตัวตรวจจับก๊าซ (Gas Sensor)

#### 2.1 นิยามของตัวตรวจจับก๊าซ

ตัวตรวจจับก๊าซจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลออกมาแทนการตอบสนองของประสาทสัมผัสของมนุษย์ ที่นอกจากเราจะได้ยิน สัมผัส ดมกลิ่นและการมองเห็น ถ้าหากว่าสิ่งที่เราได้สัมผัสนั้นมีอันตราย เราอาจจะได้รับอันตรายจากสิ่งที่เราสัมผัสก็ได้ ตัวตรวจจับก๊าซสามารถช่วยได้ในการตรวจจับและแสดงผลให้เราทราบผ่านกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

ตัวตรวจจับ (Sensor) นั้น เป็นส่วนประกอบของทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ดังนั้นสามารถแบ่งส่วนประกอบของทรานสดิวเซอร์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ตัวตรวจจับและแอกทูเอเตอร์ (Actuator) ดังรูป



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของทรานสดิวเซอร์

ตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์จะทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ให้เป็นค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง โดยในโครงงานนี้จะใช้ตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์เบอร์ TGS 822 ซึ่งสามารถตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 50 – 5000 ppm

## 2.2 ตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Sensor)

ตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์จะใช้เทคนิคการสร้างแบบฟิล์มหนา ซึ่งในปัจจุบันทางบริษัทผู้ผลิตได้ผลิตตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ให้มีขนาดเล็กลงมาก เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน และยังมีการใช้พลังงานน้อยอีกด้วย ดังนั้น ตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS 822 จึงเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่มีมักจะนิยมนำมาใช้ในการตรวจจับก๊าซชนิดต่างๆ เช่น Ethanol, Methane, Isobutane, Benzene, Acetone และ Carbon Monoxide เป็นต้น

### 2.2.1 โครงสร้างของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์

โครงสร้างของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำดีบุกไดออกไซด์ (Tin Dioxide :  $\text{SnO}_2$ ) วัสดุที่เป็นส่วนตรวจจับก๊าซจะต่อกับขั้ว Electrode ที่ทำมาจากทองคำ (Au) และวางอยู่บนฐานรองที่ทำมาจาก Alumina Ceramic ขั้วแรกของ Electrode จะเป็นขา 1 กับขา 3 ซึ่งเป็นขั้วบวก (+) และอีกขั้วจะเป็นขา 4 กับขา 6 ซึ่งเป็นขั้วลบ (-) ส่วนอีกด้านของฐานรอง(Substrate) จะเป็นส่วนที่ให้ความร้อน (Heater) แก่ส่วนตรวจจับก๊าซ ซึ่งขั้วแรกจะเป็นขา 2 เป็นขั้วบวก (+) และอีกขั้วจะเป็นขา 5 เป็นขั้วลบ (-)

### 2.2.2 คุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ดี มีดังนี้

2.2.2.1 มีความไวในการตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์สูง

2.2.2.2 มีความไวต่อก๊าซชนิดอื่นๆ ต่ำมาก

2.2.2.3 มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

2.2.2.4 สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ได้ในย่านที่กว้าง

2.2.2.5 มีการใช้พลังงานน้อยและมีขนาดเล็กสะดวกในการนำไปใช้งาน

2.2.2.6 สามารถออกแบบวงจรใช้งานได้ง่าย

### 2.2.3 การประยุกต์ใช้งานตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS 822

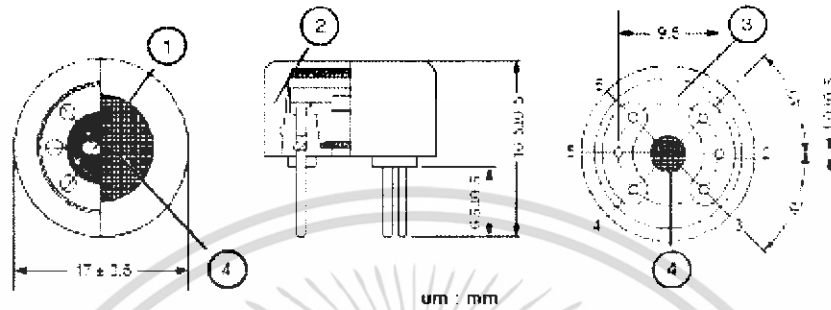
2.2.3.1 ใช้เป็นตัวตรวจจับก๊าซในเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

2.2.3.2 ใช้ตรวจจับก๊าซรั่วในสถานที่ต่างๆ

2.2.3.3 ใช้ตรวจสอบสารละลายในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4 ขนาดของตัวตรวจจับสนักแก๊สแอลกอฮอล์เบอร์ TGS 822



รูปที่ 2.2 แสดงขนาดของ TGS 822

### 2.3 รูปร่างและคุณสมบัติของตัวตรวจจับสนักแก๊สแอลกอฮอล์เบอร์ TGS 822

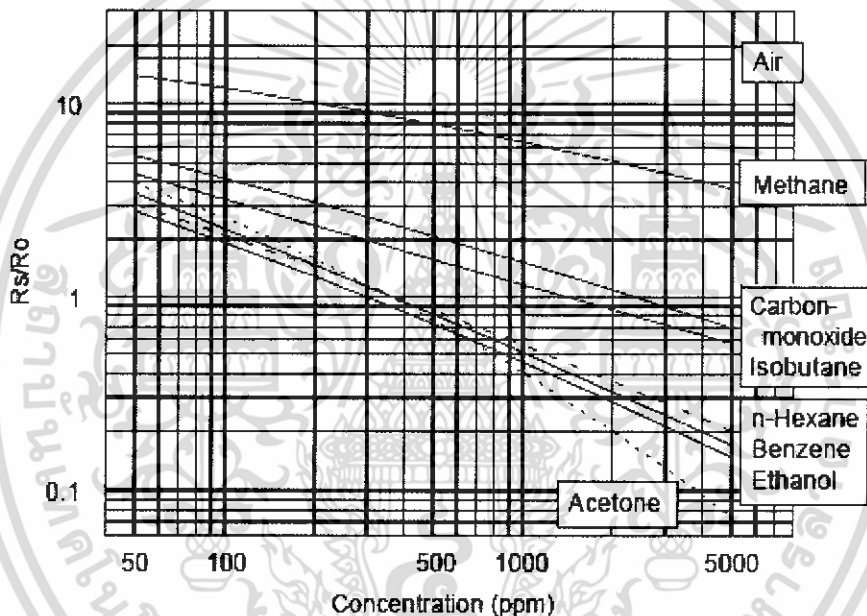


รูปที่ 2.3 รูปร่างของ TGS 822

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 คุณสมบัติเกี่ยวกับความไว

ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์จะมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์มาตกกระทบกับตัวตรวจจับก๊าซ ซึ่งตามโครงสร้างภายในแล้ว TGS 822 สามารถตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 50 ppm ถึง 5000 ppm และความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.4

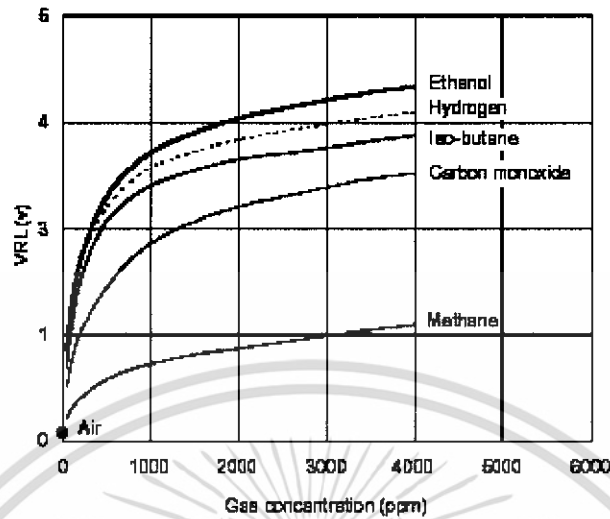


รูปที่ 2.4 กราฟความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ

โดยที่  $R_s$  คือ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้นใดๆ

$R_o$  คือ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้น 300 ppm

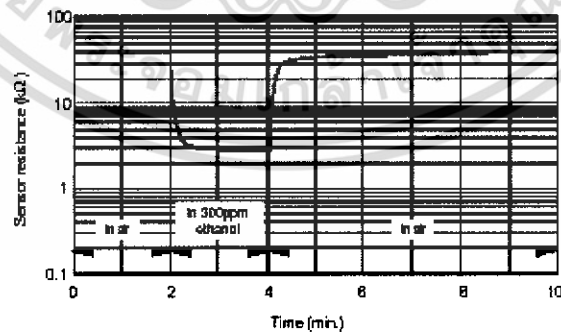
และสาเหตุที่  $R_o$  คือ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้น 300 ppm เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ไหล (V<sub>RL</sub>) กับความเข้มข้นของก๊าซ

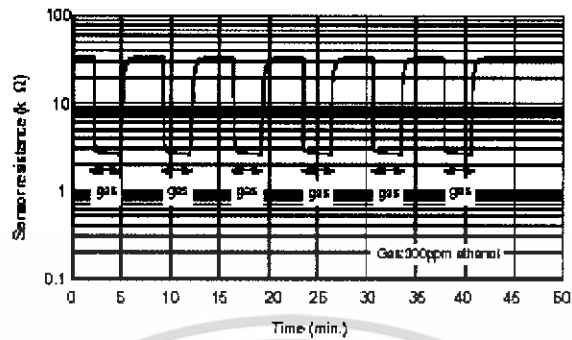
### 2.3.2 คุณสมบัติเกี่ยวกับเวลา

เมื่อตัวตรวจจับก๊าซอยู่ในอากาศค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซจะมีค่ามาก แต่เมื่อนำตัวตรวจจับก๊าซไปตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 300 ppm จะทำให้ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซค่อยๆ ลดลงและคงที่อยู่ที่ค่าๆ หนึ่ง และเมื่อนำตัวตรวจจับก๊าซมาอยู่ในอากาศอีกครั้งหนึ่ง จะทำให้ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซค่อยๆ เพิ่มขึ้นและคงที่อยู่ที่ค่าเดิมดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในที่ความเข้มข้น Ethanol 300 ppm กับอากาศ

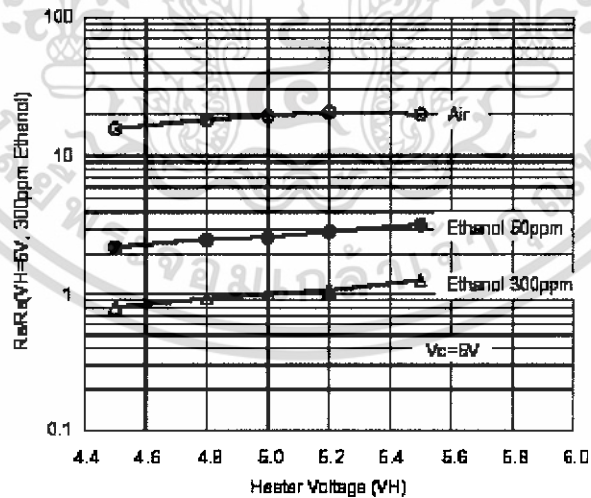
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในเมื่อทดลองหลายครั้ง

### 2.3.3 คุณสมบัติเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าของฮีตเตอร์ (Heater Voltage : $V_H$ )

แรงดันที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์นั้น นอกจากจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซแล้ว ยังมีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ ของตัวตรวจจับก๊าซอีกด้วย ดังนั้นแรงดันฮีตเตอร์ที่ 5 V จึงเหมาะสมมากที่สุด เพื่อให้ตัวตรวจจับก๊าซมีการทำงานที่ถูกต้องดังรูปที่ 2.8

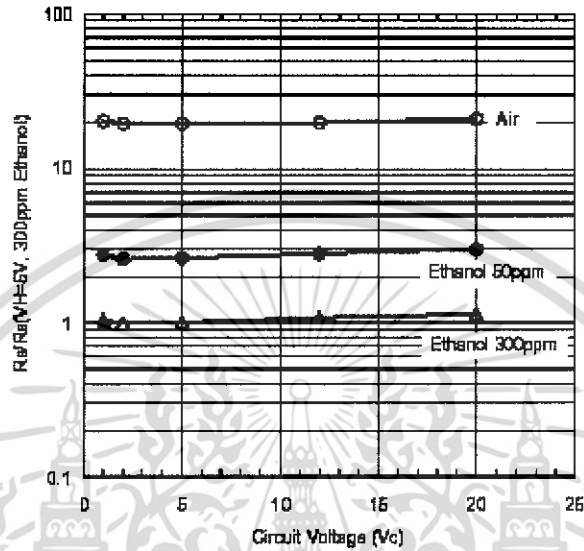


รูปที่ 2.8 กราฟแรงดันฮีตเตอร์ ( $V_H$ ) ที่มีผลต่อค่าความต้านทานภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 คุณสมบัติเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าของวงจร(Circuit Voltage : $V_C$ )

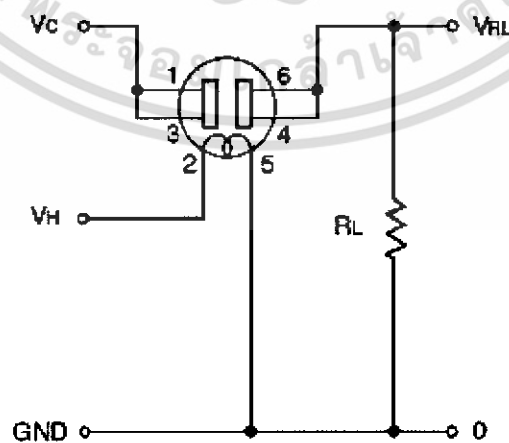
ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายใน และคุณสมบัติอื่นๆ ของตัวตรวจจับก๊าซด้วยเช่นกันดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแรงดันวงจร( $V_C$ ) ที่มีผลต่อค่าความต้านทานภายใน

### 2.4 วิธีใช้งานตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS 822

ในการใช้งานตัวตรวจจับก๊าซนั้น จะไม่นำแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซไปใช้งานโดยตรง แต่จะใช้แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) ไปใช้งานแทน ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่จะนำตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ไปใช้งานนั้น จะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางข้างล่างนี้ จึงจะทำให้ตัวตรวจจับก๊าซสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พารามิเตอร์	ค่า
Circuit Voltage ( $V_C$ )	5.0 $\pm$ 0.2 V DC (Max. 24 V)
Heater Voltage ( $V_H$ )	5.0 $\pm$ 0.2 V DC/AC
Heater Current ( $I_H$ )	130 $\pm$ 4 mA
Heater Resistance ( $R_H$ )	38.0 $\pm$ 3.0 $\Omega$ at room temp. (typical)
Load Resistance ( $R_L$ )	Variable 0.45 k $\Omega$ min.
Power Dissipation ( $P_s$ )	Less than 15 mW
Heater Power Consumption ( $P_H$ )	Approx. 660 mW
Sensor Resistance ( $R_s$ )	1 ~ 10 k $\Omega$ in 300 ppm Ethanol
Typical Detection Range	50 ~ 5000 ppm
Operating & Storage Temperature	-40 $^{\circ}$ C ~ +70 $^{\circ}$ C

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเฉพาะของ TGS 822

จากรูปที่ 2.10 สามารถหาค่า  $P_s$  ได้โดยที่

$$P_s = \frac{V_C^2 \times R_s}{(R_s + R_L)^2} \quad (2.1)$$

และสามารถหาค่า  $R_s$  ได้โดยที่

$$R_s = \left( \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \right) \times R_L \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์นั้น จะใช้แรงดัน 2 ส่วนด้วยกัน คือ แรงดัน  $V_H$  และแรงดัน  $V_C$  โดยที่ทั้งแรงดัน  $V_H$  และแรงดัน  $V_C$  จะต้องเป็นแรงดันที่มีค่าคงที่ ดังตารางที่ 2.1 เนื่องจากตัวตรวจจับก๊าซมีคุณสมบัติด้านความไวตั้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เงื่อนไขในการทดสอบตัวตรวจจับก๊าซ

- เป็นอากาศที่มีก๊าซแอลกอฮอล์เพียงพอที่จะวัดได้ อุณหภูมิ  $20 \pm 2$  °C
- แรงดัน  $V_H$  และแรงดัน  $V_C$  คงที่
- ความต้านทานของโหลด  $R_L$  ประมาณ  $1 \sim 10$  k $\Omega$

## 2.5 พื้นฐานในการวัดด้วยตัวตรวจจับก๊าซ

ในสภาพปกติตัวตรวจจับก๊าซจะมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูงมากๆ (Very High Electrical Impedance) ถ้าตัวตรวจจับก๊าซมีสถานะพร้อมที่จะทำงาน คือ มีการจ่ายแรงดันที่ถูกต้องและมีก๊าซแอลกอฮอล์ เข้ามาตกกระทบที่บริเวณตรวจจับของตัวตรวจจับก๊าซ ในปริมาณที่มากพอ ( $50 \sim 5000$  ppm) ก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซมีค่าลดลง ส่วนค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซจะลดลงมากน้อยเพียงใดนั้น ก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ที่เข้ามาบริเวณตรวจจับก๊าซ จากการที่ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซลดลงนี้ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือเมื่อความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซลดลงมาก ก็จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมโหลด  $R_L$  มีค่าเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเราสามารถนำค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ได้

## บทที่ 3

### ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

#### 3.1 PIC คืออะไร

**PIC** คือ Microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง Microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM, MEMORY RAM, EEPROM, SERIAL, I<sup>2</sup>C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกัน CPU ตัวหนึ่งเลยทีเดียว

**ความเร็วของ PIC** ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25  $\mu$ s แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก Microchip และได้สร้าง Chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

**หน่วยความจำของ PIC** ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คือ อยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4 kwords แต่ในปัจจุบันบริษัท Microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ Memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์และมีที่ท่าว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ในเรื่องของขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่ หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 bits เช่น PIC16F84A ระบุว่ามีความจำ 1 k (ซึ่งหมายถึง 1 kword ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะได้ว่า  $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$  bits ดังนั้นก็คือ  $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75$  kbytes นั่นเอง

**สถาปัตยกรรมของ PIC** ตอนนี้มี 3 สายหลักๆ สมัยก่อนมีแค่สอง คือ ขึ้นต้นด้วย 16xxx, 17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx ถ้าพูดถึงคุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากที่สุดก็คือ 16 -> 17 -> 18 คำสั่ง Assembly ของ 17 และ 18 จะมีมากกว่า 16 ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า ราคาจะสูงกว่าด้วย แต่ที่เป็นที่นิยมมากที่สุด ก็คือ ตระกูล 16xxx

#### 3.2 PIC ชนิดต่างๆ

Microcontroller ในตระกูล PIC ถ้าแบ่งออกตามชนิดของ PROGRAM MEMORY แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1. OTP (One Time Programmable)
2. EPROM (Erasable Programmable ROM)
3. EEPROM/Flash (Electrically Erasable Programmable ROM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1. OTP (One Time Programmable)** เป็น Chip ที่มีราคาถูกที่สุดใน 3 ประเภท สาเหตุก็มาจากว่า Chip แบบ OTP จะสามารถทำการโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น หลังจาก Chip ได้ถูกโปรแกรมไปแล้วจะไม่สามารถโปรแกรมเข้าไปใหม่ได้อีก ดังนั้น Chip ประเภทนี้ จะนิยมใช้หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมจนกระทั่งจุดบกพร่องต่างๆ ในโปรแกรมไม่มีอีกแล้ว เพราะจะมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับ Memory ประเภทอื่นจะมีตัวอักษร C แสดงบนตัว Chip เช่น 16C84, 16C74

**2. EPROM (Erasable Programmable ROM)** เป็น Chip ที่มี Program Memory ที่เมื่อเขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถโปรแกรมใหม่ด้วยการลบโปรแกรมเดิมโดยให้แสง UV (Ultra Violet) ส่องผ่านเข้าไปยัง Chip ประมาณ 5-10 นาที ดังนั้นที่ด้านบนของ Chip จะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัว Chip ได้ แต่ก็มีจำนวนครั้งในการลบโปรแกรมเช่นกัน เมื่อลบโปรแกรมด้วยแสง UV มากๆ เข้าก็จะเกิดอาการด้าน คือ โปรแกรมไม่เข้านั่นเอง จะมีตัวอักษร JW หรือว่าดูเอว่ามีกรอบกระจกอยู่บน Chip หรือไม่

**3. EEPROM/Flash (Electrically Erasable Programmable ROM)** เป็น Chip ที่ออกมาไม่กี่ปีนี้เอง ส่วนของ Program Memory สามารถอ่านหรือเขียนด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้เวลาในการลบข้อมูลไม่กี่ วินาที และสามารถลบ และเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้เป็นที่นิยมที่สุดใน 3 ประเภท มีตัวอักษร F เป็นตัวบอกเช่น 16F874, 16F877

### 3.3 PIC เบอร์ต่างๆ

ปัจจุบัน Microcontroller ของ PIC มีหลากหลายเบอร์จนแทบจะเลือกใช้ไม่ถูก แต่ในความเป็นจริงแล้ว การออกเบอร์ใหม่ๆ ออกมาได้มีการกำหนดทิศทางที่แน่นอน ซึ่งเราสามารถแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่

- PIC12Cxxx, PIC12Fxxx (Flash Microcontroller)
- PIC16C5x
- PIC16Cxxx
- PIC17Cxxx
- PIC16Fxxx (Flash Microcontroller)
- PIC18Cxxx, PIC18Fxxx (Flash Microcontroller)

**PIC12Cxxx และ PIC12Fxxx**

- 8 ขา
- มีคำสั่งในภาษา Assembly ทั้งหมด 33 หรือ 35 คำสั่ง
- มี I/O, Timer, Watch dog
- บางเบอร์มี Internal EEPROM
- จะมี 4 MHz Oscillator อยู่ภายในตัว Chip เลย ทำให้เราไม่ต้องมี Oscillator ภายนอก (แต่หากต้องการความแม่นยำของเวลาก็จำเป็นต้องใช้ Crystal Oscillator ภายนอก)

**8-pin PICmicro<sup>®</sup> MCU Family**

PIC12C508A	PIC12CE519	PIC12CE673
PIC12C509A	PIC12C671	PIC12CE674
PIC12CR509A	PIC12C672	PIC12F629
PIC12CE518		PIC12F675

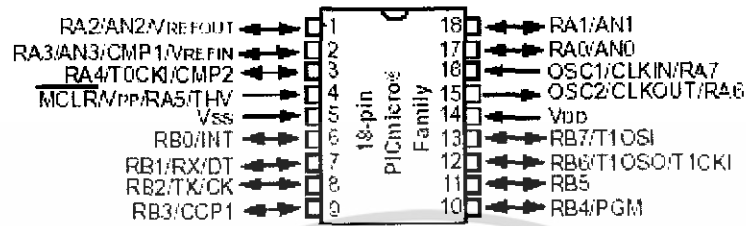
รูปที่ 3.1 ลักษณะของ PIC ตระกูล 8 ขา

**PIC16C5x**

- มีคำสั่งในภาษา Assembly 33 คำสั่ง
- มี I/O, Timer, Watch dog
- มี Feature ค่อนข้างน้อย จะไม่มี I<sup>2</sup>C หรือ Serial เพราะเป็น Chip ที่ออกมาในยุคแรกๆ ของ Microchip

เนื่องจากเป็นเบอร์ที่ออกมานานมากแล้ว จึงมีแต่แบบ OTP และ EPROM Feature ก็มีน้อย I<sup>2</sup>C หรือ USART นี้ไม่ต้องพูดถึงต้องเขียนเองล้วนๆ Microchip คงเห็นจุดด้อยตรงนี้เลยเปลี่ยนตระกูลใหม่เข้ามาคือ PIC16Cxxx

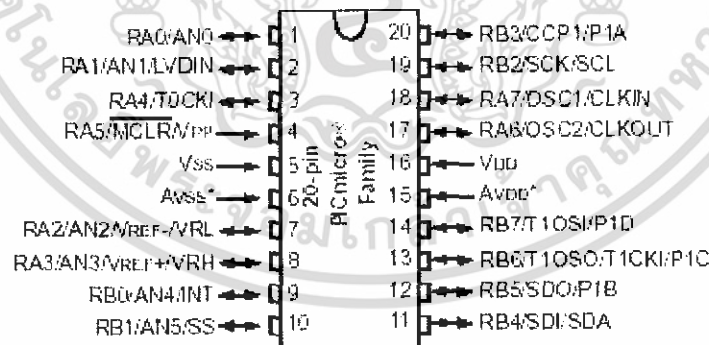
### 18-pin PICmicro<sup>®</sup> MCU Family



PIC16C620A	PIC16CE625	PIC16C710	PIC16F84A
PIC16CR620A	PIC16F627	PIC16C711	PIC16F818
PIC16C621A	PIC16F628	PIC16C712	PIC16F819
PIC16C622A	PIC16F627A	PIC16C715	PIC16F87
PIC16CE623	PIC16F628A	PIC16C716	PIC16F88
PIC16CE624			

รูปที่ 3.2 ลักษณะของ PIC ตระกูล 18 ขา

### 20-pin PICmicro<sup>®</sup> MCU Family



PIC16C717*	PIC16C771	PIC18F1220*
PIC16C770	PIC16C781	PIC18F1320*
	PIC16C782	

\*18 pin device: Avss and AvDD are not valid pins for this device

รูปที่ 3.3 ลักษณะของ PIC ตระกูล 20 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PIC16Cxxx**

- มีคำสั่งในภาษา Assembly 35 คำสั่ง
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I<sup>2</sup>C, USART, SPI, PWM
- เริ่มมี Feature ใส่เข้าไปมากขึ้น ทำให้การ Interface กับอุปกรณ์ภายนอกทำได้ง่ายขึ้น

จะเห็นว่า Feature มีเพียบทั้ง I<sup>2</sup>C, USART, PWM ช่วยในการเขียนโปรแกรมได้มากทีเดียว หลังจากนั้นก็ได้ออกตระกูล PIC12Cxxx ออกมา ซึ่งเป็น PIC ที่มีเพียง 8 ขา ดูแล้วเหมาะกับงานเล็กๆ จุดเด่นคือมี Oscillator ขนาด 4 MHz ภายใน และมี Data Memory ส่วนหนึ่งเป็น EEPROM อยู่ภายใน

ด้วย แต่ในส่วนของ Program Memory ยังเป็น OTP และ EPROM อยู่ หลังจากนั้น PIC12Fxxx ได้ออกตามหลังมาหลังจาก PIC ได้ออก PIC16Fxxx ไปแล้ว

**PIC17Cxxx**

- มีคำสั่งในภาษา Assembly 58 คำสั่ง มีคำสั่งการ คูณ ทหาร
- สามารถต่อกับ Program Memory ภายนอก โดยอ้างได้ถึง 64 k x 16 Program Memory
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I<sup>2</sup>C, USART, SPI, PWM

PIC16Cxxx และ PIC17Cxxx จะออกมาพร้อมๆ กัน แต่ต่างกันที่ PIC17Cxxx ถือว่าเป็นเบอร์ที่ใหญ่กว่า มีคำสั่งใน Assembly มากกว่า รวมทั้งขนาดของ Program Memory จะมีขนาดมากกว่าในตระกูล PIC16Cxxx และสามารถต่อ Memory ภายนอกก็ได้

**PIC16Fxxx (Flash Microcontroller)**

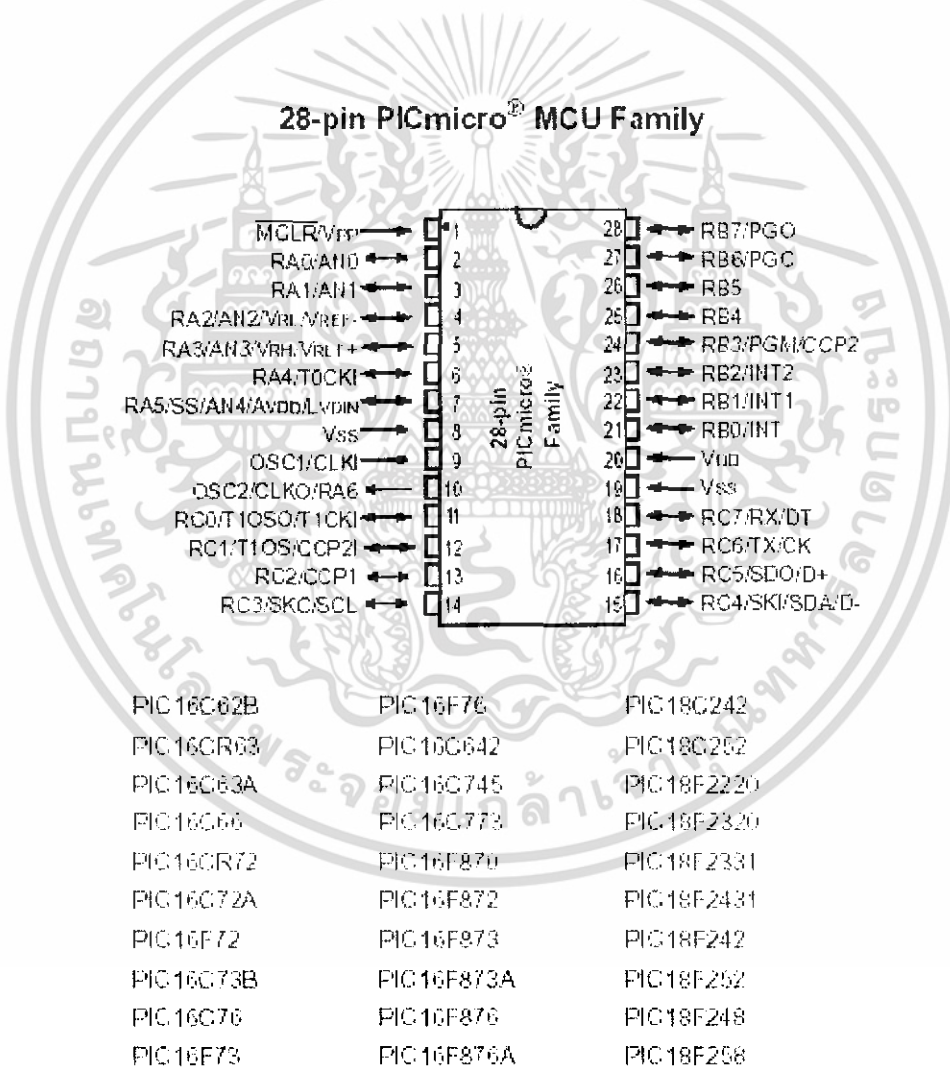
- มีคำสั่งในภาษา Assembly 35 คำสั่ง
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I<sup>2</sup>C, USART, SPI, PWM
- มี A/D ขนาด 10 bits
- มี Program Memory เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง
- มี EEPROM ภายใน
- ในตระกูล 16F87x สนับสนุน In Circuit Debugger (ICD) เป็นผลทำให้ไม่จำเป็นต้องซื้อ Emulator ราคาแพง

PIC16F8xx เป็น PIC ที่ได้รับความนิยมมาก เป็นที่ฮือฮาเพราะเป็น chip ยุคแรกๆ ที่มี Program Memory เป็นแบบ Flash และมี Data Memory ที่เป็น EEPROM เพิ่มเติมเข้ามา รวมทั้งตัว Program Chip สามารถสร้างได้ง่าย ทำให้กลุ่ม HOBBY และกลุ่มนักศึกษา นิยมใช้เพราะรวมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ค่าใช้จ่ายแล้วไม่แพง Chip ที่นำร่องก็ได้แก่ PIC16F83, PIC16F84 หลังจากนั้นก็ได้ออกตระกูล PIC16F87X ซึ่งถือว่าเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ เพราะมี In Circuit Debugger อยู่ภายในทำให้ ไม่จำเป็นต้องพึ่ง Emulator ที่มีราคาแพงอีกต่อไป ซึ่งเป็นผลให้ Chip ในตระกูลนี้ และ PIC16F87x ขายดีเป็นเทน้ำเทท่า เล่นเอาผู้ผลิต Microcontroller เบอร์อื่นต้องปรับกระบวนคราวใหญ่เลยทีเดียว

จุดด้อยของ PIC ก็คือ Program Memory มีลักษณะเป็น Page ทาง Microchip เองก็มองเห็น จุดด้อยตรงนี้จึงได้พัฒนาออกมาเป็น PIC18Cxxx ซึ่ง Program Memory ไม่ถูกแบ่งเป็น Page อีกต่อไป และเพิ่มคำสั่ง Assembly เป็น 77 คำสั่ง รวมทั้งออกแบบให้ Program Memory มีขนาดใหญ่ ขึ้นเพื่อรองรับการเขียนโปรแกรมภาษา C หลังจากนั้นจึงได้ออก PIC18Fxxx ตามมาพร้อมกับ ICD2



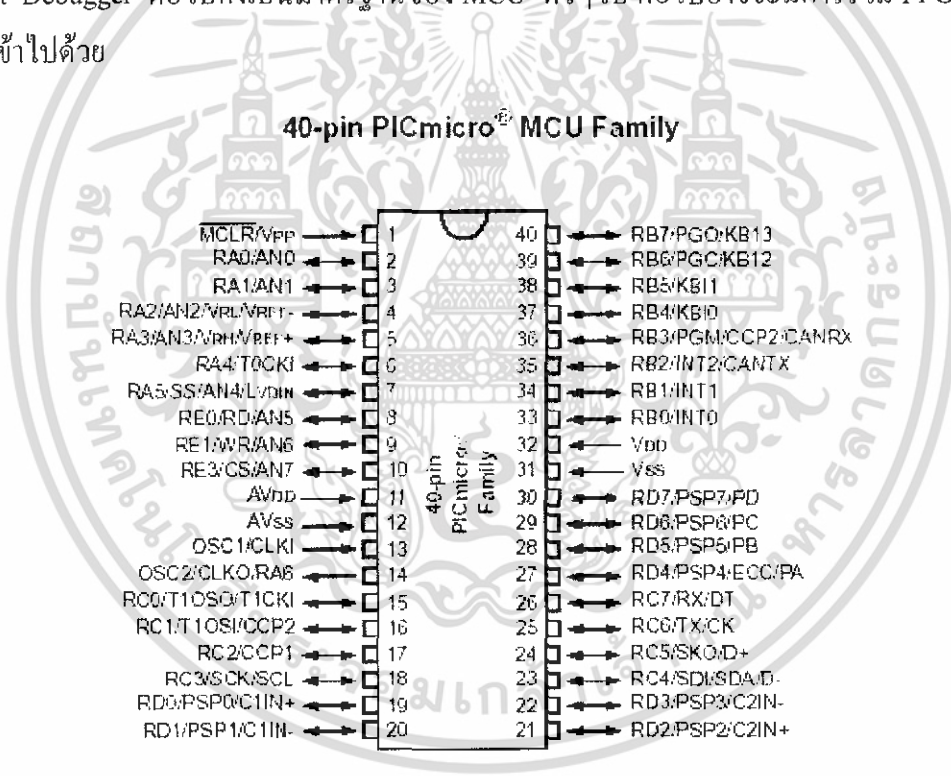
รูปที่ 3.4 ลักษณะของ PIC ตระกูล 28 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **62682** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PIC18Cxxx, PIC18Fxxx (Flash Microcontroller)**

- มีคำสั่งในภาษา Assembly 77 คำสั่ง
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I<sup>2</sup>C, USART, SPI, PWM, CAN
- มี A/D ขนาด 10 bits
- สามารถต่อกับ Program Memory ภายนอก โดยอ้างได้ถึง 64 k x 16 Program Memory
- มี Program Memory เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง
- ในตระกูล 18Fxxx มี EEPROM ภายใน
- ในตระกูล 18Fxxx สนับสนุน In Circuit Debugging (ICD)

แนวโน้มในอนาคต Microcontroller เริ่มจะมี Feature ต่างๆ รวมเข้าไ่มากขึ้น สำหรับ In Circuit Debugger ต่อไปคงเป็นมาตรฐานของ MCU ทั่วไป ต่อไปอาจจะมีการรวม FPGA หรือ DSP เข้าไปด้วย



PIC16C66	PIC16C765	PIC18F4220
PIC16C65B	PIC16C774	PIC18F4320
PIC16C67	PIC16F871	PIC18F4331
PIC16C662	PIC16F874	PIC18F4431
PIC16C74B	PIC16F874A	PIC18F442
PIC16C77	PIC16F877	PIC18F452
PIC16F74	PIC16F877A	PIC18F448
PIC16F77	PIC18C442	PIC18F458
	PIC18C452	

รูปที่ 3.5 ลักษณะของ PIC ตระกูล 40 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ชนิดของ Oscillator

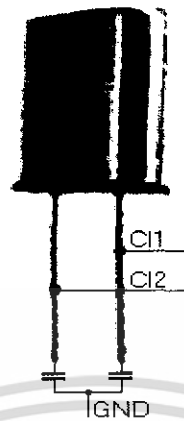
Microcontroller ในตระกูล PIC สามารถเลือก Oscillator ได้ว่าจะใช้แบบภายในหรือภายนอกสำหรับ Oscillator ภายใน PIC จะเป็นประเภท RC Oscillator ที่ความถี่คงที่ 4 MHz ที่  $V_{DD} = 5\text{ V}$  ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ต้องระบุอุณหภูมิเพราะว่า Oscillator ประเภท RC ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ส่วน Oscillator ภายนอก PIC สามารถแบ่งได้ตามนี้ (กับ MCU ตระกูลอื่นก็ใช้ได้เช่นกัน)

**1. Ceramic Resonator** นิยมใช้ในกรณีที่ความถี่สูงไม่มาก ยอมรับ Error ของความถี่ได้พอสมควร เพราะว่ามีราคาถูกเมื่อเทียบกับ Oscillator ที่ต่อภายนอกประเภทอื่น ไม่ต้องมี C ต่อภายนอกด้วย โดยขากลางจะเป็น GND ส่วนอีกสองขาต่อกับ CLKIN และ CLKOUT



รูปที่ 3.6 ลักษณะของ Ceramic Resonator

**2. Quartz Crystal Oscillator** จะไม่มีวงจรมายาวสัญญาณภายใน มีแต่ Crystal ที่กำเนิดสัญญาณ ความถี่กำลังต่ำออกมา จะต้องมีการต่อ Capacitor ต่อลง GND ของทั้ง 2 ขาตามรูป และทั้ง 2 ขาต่อเข้ากับ CLKIN และ CLKOUT จะมีราคาแพงกว่า CERAMIC RESONATOR แต่จะให้ความเที่ยงตรงของความถี่ได้ดีกว่า



รูปที่ 3.7 ลักษณะของ Quartz Crystal Oscillator

3. **TTL Crystal Square-Wave Oscillator** คือ Oscillator ที่มี Crystal อยู่ภายในพร้อมทั้งวงจรอยู่ภายในตัว ทำให้ความถี่ที่ออกมามีเสถียรภาพมากแต่จะมีราคาแพง ลักษณะการต่อ คือ ขา 14 ต่อ  $V_{DD}$  5 V, ขา 7 ต่อ GND, ขา 8 ต่อกับ CLKIN ส่วนขา 1 ไม่ใช้งาน ขา CLKOUT ของ PIC ก็ไม่ต้องต่อ



รูปที่ 3.8 ลักษณะของ TTL Crystal Square-Wave Oscillator

### 3.5 รูปแบบการพัฒนาภาษาโปรแกรมบน Microcontroller

ในการพัฒนาโปรแกรมบน Microcontroller นั้นสามารถมีได้หลากหลายภาษา ไม่ว่าจะเป็น Assembly, C, C++, Basic หรือแม้กระทั่ง Java แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดก็ยังคงเป็นภาษา Assembly อาจเนื่องมาจากข้อเด่นหลายๆ ข้อ คือ

1. เพราะผู้ผลิต Microcontroller จะมีภาษา Assembly พร้อมเครื่องมือในการพัฒนาแจกฟรีเสมอ
2. มีความเร็วสูง เพราะเป็นภาษาที่เรียนว่าภาษาระดับต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีขนาดเล็ก ขนาด Memory ยังคงเป็นปัญหาสำหรับงาน Microcontroller อยู่เพราะ Microcontroller ที่มี Memory ขนาดใหญ่ยังคงมีราคาแพงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการต้นทุนต่ำ ดังนั้นการเขียนภาษา Assembly จึงช่วยในเรื่องขนาดได้อย่างมาก

ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบโปรแกรมที่เราเขียนขึ้นมา อาจจำแนกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

**1. Program Emulator** เป็นวงจรที่จำลองตัวมันเองเป็น Program memory ซึ่งทำให้เราไม่ต้องโปรแกรม EPROM บ่อยๆ ขั้นตอนก็คือ เมื่อเรา Compiled Source Code เสร็จแล้ว (ต้องไม่มี Error นะ) เราก็ทำการส่ง Source Code นี้ไปใส่ไว้ในตัวมัน (มักเป็นนามสกุล Hex File) ผ่านทาง Serial Port, Parallel Port หรือ USB Port ก็ตามแต่บริษัทผู้ขาย โปรแกรมมันก็จะเริ่มทำงานทันที

**ข้อดี** ราคาไม่แพง พอลงชื่อมาใช้ได้

**ข้อเสีย** ทำอะไรไม่ได้มากนอกจากเป็นตัว Program Emulator เวลาโปรแกรมไม่ทำงานตามที่เราร้องการ ก็ตรวจสอบไม่ได้ว่าผิดตรงไหน

**2. Simulator** การที่จะพยายามจำลองพฤติกรรมต่างๆ ของ Microcontroller ไปไว้บนเครื่อง Computer สามารถที่จะทำการเขียน โปรแกรม, Compile และ Run เพื่อดูการทำงานของโปรแกรมที่เราเขียนขึ้นมา

**ข้อดี** ถูก ไม่ต้องลงทุนมาก ส่วนมากจะฟรีเพราะ บริษัท Microcontroller ต่างๆ มักจะมีชุดพัฒนาให้ Download ที่ Website

**ข้อเสีย** เมื่อเขียนบน Simulator เสร็จแล้วมักจะเอาไป Run จริงๆ ไม่ได้ต้องทำการแก้ไขอยู่อีกนาน เพราะส่วนใหญ่สิ่งที่ Simulator ทำได้ Microcontroller มักจะทำไม่ได้ แล้วมันก็จะจำลองได้เฉพาะตัว Microcontroller เท่านั้น นี่แหละทำให้เกิดปัญหาเวลาต่อวงจรลงไปใน Board ทดลองทำไมมันไม่ Work เหมือนตอนมันอยู่บนเครื่อง Computer

**3. Emulator** ตัวนี้ดีที่สุดเพราะมันจำลองตัวมันเองเป็น Microcontroller ได้เหมือนจริงที่สุด

**ข้อดี** เราสามารถดูการทำงานของ Source Code ที่เราเขียนขึ้นได้จริงๆ บนวงจรทดลองของเรา ทำการ Run Code ทีละบรรทัดก็ได้หรือว่าจะหยุด ตรงไหนก็ได้

**ข้อเสีย** แพงที่สุด

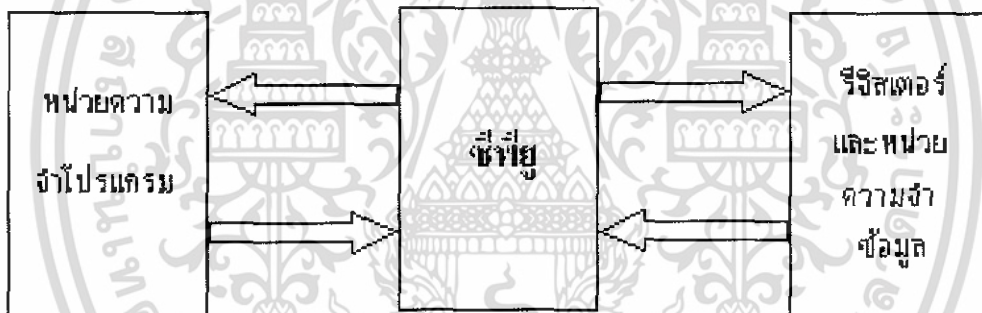
4. **In circuit debug** เพราะว่า Emulator มีราคาแพงมาก ผู้ผลิต Microcontroller ก็หาวิธีใหม่ๆ ด้วยการใส่วงจรบางอย่างไว้ใน Microcontroller ทำให้สามารถควบคุม Microcontroller Run Code ที่ละบรรทัดหรือหยุดที่ตำแหน่งหนึ่ง ในขณะที่กำลังทำงานกับวงจรจริงๆ

**ข้อดี** ราคาไม่แพงมาก แต่ก็ยังแพงอยู่เมื่อเทียบระหว่างเงินบาทกับ Dollar

**ข้อเสีย** เราต้องเสีย Memory บางส่วน ขาบางขาของ Microcontroller ขณะที่เราทำการ Debug อันนี้แล้วแต่ประเภทของ Microcontroller ของแต่ละบริษัท

### 3.6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับการติดต่อแยกด้วยกัน ดังรูป

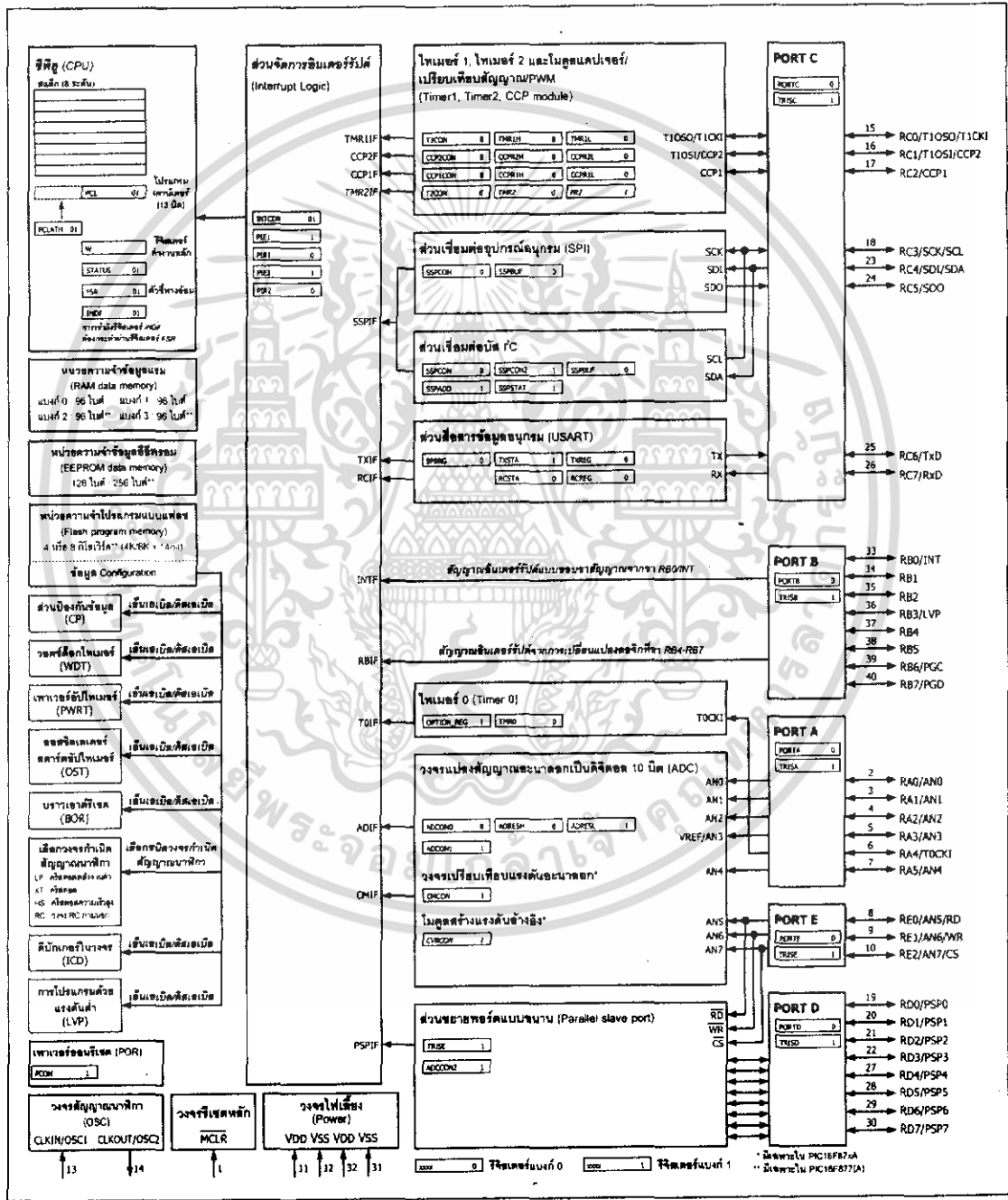


รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F874 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาพอสมควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซ็ต (Brown Out Reset) ส่วนแก้ไขข้อมูลในวงจรหรือดีบั๊กเกอร์ (In Circuit Debugger) วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (Low Voltage Programming) Timer ที่มีมากถึง 3 ตัว วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 1 บิต วงจรเชื่อมต่ออนุกรม (SIP: Serial Peripheral Interfacing) วงจรเชื่อมต่อระบบบัส I<sup>2</sup>C วงจรสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณตรวจับวงจรมอดูลเซ็นทางความกว้างของพัลส์ หรือ PWM (CCP : Compare Capture Pulse Width Modulation) นอกจากนั้นในอนุกรมนี้ จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาลอก และ โมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบหลักคือ ซีพียู, หน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูลหลัก, ส่วนติดต่อพอร์ต, ส่วนจัดการสัญญาณนาฬิกาของระบบ, วงจรรีเซตหลัก, ส่วนควบคุมการตอบสนองอินเทอร์รัพต์และส่วนจัดการด้านไฟเลี้ยง แต่จะมีโมดูลพิเศษเพิ่มเติมเข้ามาหากพอสมควรเพื่อช่วยให้ PIC16F87x มีความสามารถสูงขึ้น



รูปที่ 3.10 โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x รุ่น 40 ขา เบอร์

PIC16F874 (A)/877(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA

#### คุณสมบัติหลัก

- 3.7.1 ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- 3.7.2 สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- 3.7.3 ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ DC ถึง 20 MHz
- 3.7.4 หน่วยความจำโปรแกรม
  - 2 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F870/872
  - 4 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 8 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- 3.7.5 หน่วยความจำแรมหรือรีจิสเตอร์
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/872
  - 192 ไบต์ สำหรับ PIC16F87 (A)/874(A)
  - 368 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- 3.7.6 หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม
  - 64 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/872
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 258 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- 3.7.7 การตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัพต์สูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3.7.8 มีสแต็ก 8 ระดับ
- 3.7.9 มีเพาเวอร์อนรีเซต (POR)
- 3.7.10 มีเพาเวอร์อัพไทมเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์ในตัวทำให้มีความเชื่อถือในการทำงานที่สูง
- 3.7.11 เลือกรับประกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล สามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- 3.7.12 มีโหมดประหยัดพลังงาน
- 3.7.13 สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 V ได้
- 3.7.14 แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In Circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- 3.7.15 ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.16 ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5 V

3.7.17 กระแสซิงค์และกระแสซอร์ส 25 mA

3.7.18 การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด

น้อยกว่า 2 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz

20  $\mu$ A ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz

น้อยกว่า 1  $\mu$ A ในโหมดประหยัดพลังงาน หรือ สแตนด์บาย

### 3.8 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

3.8.1 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 และ รีจิสเตอร์คาบเวลา (Period Register) ขนาด 8 บิตในตัว

3.8.2 มีโมดูล CCP 2 ชุด โดยส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 ns และส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียด 200 ns วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต

3.8.3 มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต

- 5 ช่องสำหรับ PIC16F873(A)/876(A)

- 8 ช่องสำหรับ PIC16F874(A)/877(A)

3.8.4 วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และ I<sup>2</sup>C

3.8.5 วงจรสื่อสารอนุกรม(USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต

3.8.6 มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเทกชัน : Brown Out Detection) เพื่อการรีเซ็ตชิพหรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซ็ต (BOR: Brown Out Reset)

### 3.9 พอร์ตอินพุทเอาต์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC16F87x มีพอร์ตให้ใช้งานตั้งแต่ 3-5 พอร์ต จำนวน 20-33 บิต ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และด้วยความสามารถของพอร์ตใน PIC16F87x ที่สามารถทำงานได้หลายอย่าง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งานต้องทำความเข้าใจถึงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ และการกำหนดพอร์ตหรือเลือกใช้ฟังก์ชันการทำงานให้แก่ขาพอร์ตแต่ละขาด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตทั้งหมดของ PIC16F87x ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะกล่าวถึงภาพรวมของพอร์ตทั้งหมด ตั้งแต่ Port A ถึง Port E โดยจะเน้นไปที่โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และ

ฟังก์ชันการทำงานในภาพรวม สำหรับหน้าที่หรือฟังก์ชันพิเศษที่ขาพอร์ตนั้นๆ สามารถทำได้จะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

ความสามารถในการจ่ายกระแสเอาต์พุตของขาพอร์ตที่ไฟเลี้ยง +5 V คือ 25 mA ต่อขาทั้งกระแสซิงค์และกระแสซอร์ส ในขณะที่กระแสเอาต์พุตรวมของพอร์ต A, B และ E มีค่าสูงสุด 200 mA ส่วนกระแสเอาต์พุตรวมของพอร์ต C และ D มีค่าสูงสุด 200 mA ดังนั้นในการออกแบบเพื่อขับโหลดทางเอาต์พุตของขาพอร์ต ต้องระวังเรื่องกระแสเอาต์พุตรวมที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขับได้

### Port A ใน PIC16F87x

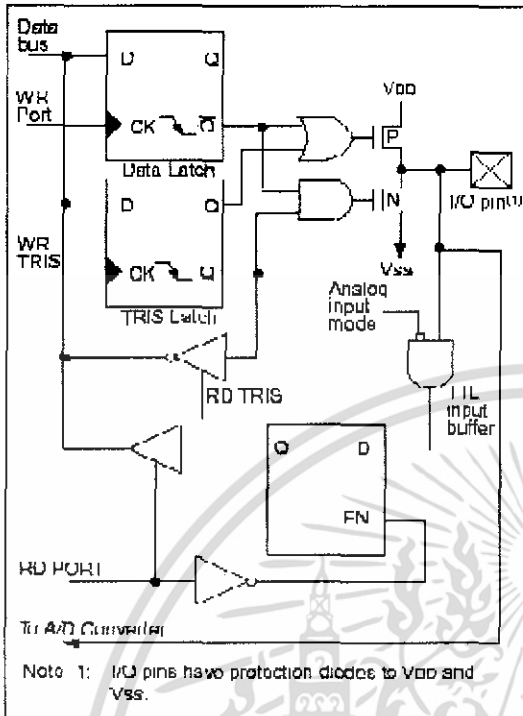
I/O Port บางตัวของ PIC เป็นแบบ Multiplexed ซึ่งอาจเป็นทั้ง I/O หรือ Peripheral Feature (เช่น A/D, Serial, I<sup>2</sup>C) ซึ่งเมื่อ ขาเหล่านี้ใช้งานในส่วน Peripheral ก็จะไม่สามารถใช้งานในลักษณะของ I/O ได้ Port A และ TRIS A Register

Port A มีขนาด 6 บิต ซึ่งเป็น Port ที่เป็นได้ทั้ง Input และ Output โดยต้องเลือกแบบใดแบบหนึ่ง สามารถเลือกได้จาก Register ที่มีชื่อว่า TRIS A ซึ่งถ้า TRIS A Bit ถูก Set เป็น '1' Port A ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็ทำงานเป็น Input (ทำให้ Port นั้นอยู่ในสถานะ High Impedance) ส่วนถ้า TRIS A Bit ถูก Set เป็น '0' Port A ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็ทำงานเป็น Output (Port จะอยู่ในสถานะ Output Latch) การอ่านค่า Port A Register คือ การอ่านค่าสถานะของขา Port A ในขณะนั้น ส่วนการเขียนค่าไปยัง Port A คือ การเขียน ไปยัง Latch ของ Port ลักษณะการเขียนจะเป็นแบบ Read Modify Write Operations ซึ่งหมายความว่า ในการเขียนไปยัง Port จะเริ่มด้วยการอ่านค่า Port นั้นมาก่อนแล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่า หลังจากนั้นก็ทำการเขียนกลับไปยัง Port Latch อีกครั้งหนึ่ง

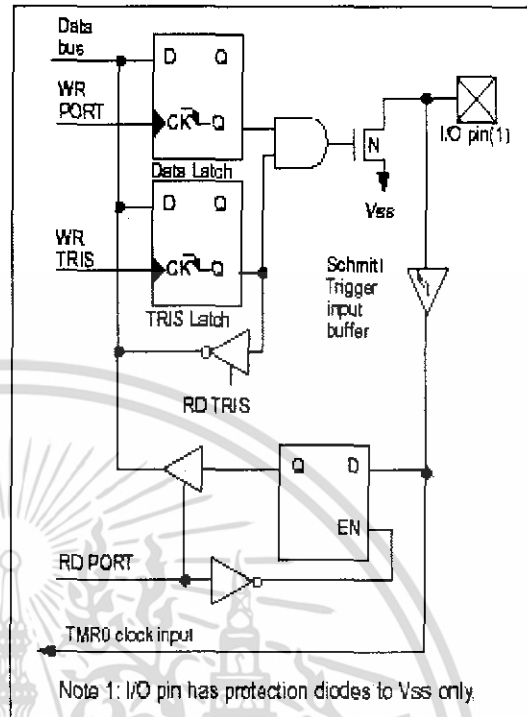
ขา RA4 จะ Multiplexed กับ Timer 0 Module Clock Input ซึ่งจะเรียกรวมๆ ว่า RA4/T0CKI โดยที่ ขา RA4/T0CKI จะเป็นลักษณะ Input แบบ Schmitt Trigger และ Output แบบ Open Drain Port RA ทั้งหมดจะมี TTL Input Level และมี Output แบบ Full CMOS Drivers ส่วน Port A ขาอื่นๆ จะ Multiplex กับ Analog Inputs และ Vref ของ A/D Input ซึ่งการกำหนดการทำงานของแต่ละขาสามารถเลือกได้โดย Clear หรือ Set Control Bit ใน ADCON1 Register ในขณะที่เกิด Power-on Reset ขาเหล่านี้จะถูก Config ให้เป็น Analog Input และจะอ่านค่าได้เป็น '0'

TRIS A Register มีหน้าที่ควบคุมว่าขา Port A ใดจะเป็น Input/Output ในกรณีที่ใช้ Port A เป็น Analog Input TRIS A Register จะต้องถูก Set ตัวอย่างการ Initializing Port A

**FIGURE BLOCK DIAGRAM OF RA3:RA0 AND RA5 PINS**



**FIGURE BLOCK DIAGRAM OF RA4/T0CKI PIN**



ก. ข.  
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของ Port A ใน PIC16F87x  
ก. โครงสร้างขา RA0-RA3 และ RA5 ของพอร์ต A  
ข. โครงสร้างขา RA4 ของพอร์ต A

**TABLE PORTA FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit0	TTL	Input/output or analog input
RA1/AN1	bit1	TTL	Input/output or analog input
RA2/AN2	bit2	TTL	Input/output or analog input
RA3/AN3/VREF	bit3	TTL	Input/output or analog input or VREF
RA4/T0CKI	bit4	ST	Input/output or external clock input for Timer0 Output is open drain type
RA5/SS/AN4	bit5	TTL	Input/output or slave select input for synchronous serial port or analog input

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

**TABLE SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0u 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented locations read as '0'. Shaded cells are not used by PORTA.

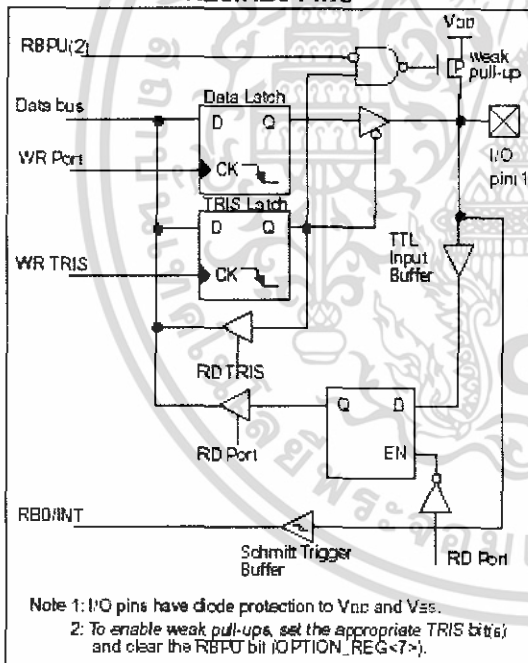
ตารางที่ 3.1 สรุปการทำงานของ Port A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Port B ใน PIC16F87x**

Port B เป็นลักษณะ Port แบบสองทิศทาง ซึ่ง Register ที่จะเป็นตัวกำหนดว่า Port ใดจะเป็นแบบ Input/Output จะถูกกำหนดโดย TRIS B Register ถ้า Set TRIS B Bit ใด (=1) Port B ที่บิตนั้นก็จะป็น Input ถ้า Clear TRIS B Bit ใด (=0) Port B ที่บิตนั้นก็จะป็น Output ขาสามขาของ Port B จะ Multiplexed กับ Low Voltage Programming Function ซึ่งได้แก่ RB3/PGM, RB6/PGC และ RB7/PGD

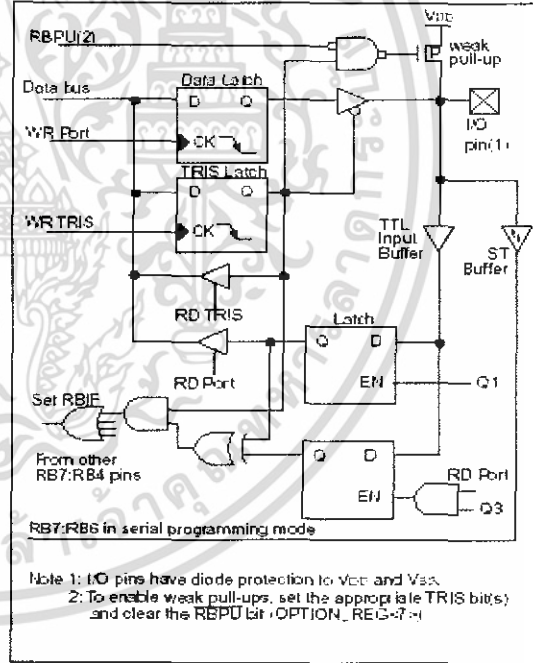
Port B แต่ละ Port จะมี Weak pull-up อยู่ภายใน (ถ้าต้องการ pull-up แข็งๆ ต้องต่อวงจรภายนอก) เราสามารถกำหนดว่าจะใช้ pull-up ภายในหรือไม่จากการ Set หรือ Clear RBPU<sub>N</sub> (OPTION Register บิต 7) โดยถ้าเรา Clear RBPU<sub>N</sub> จะหมายถึง เราทำการ Disable pull-up ภายใน และถ้าเรากำหนดให้ Port B เป็น Output แล้ว pull-up จะถูก Disable โดยอัตโนมัติ

**FIGURE BLOCK DIAGRAM OF RB3:RB0 PINS**



ก.

**FIGURE BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS**



ข.

รูปที่ 3.12 โครงสร้างของ Port B ใน PIC16F87x

ก. โครงสร้างขา RB0-RB3 ของพอร์ต B

ข. โครงสร้างขา RB4-RB7 ของพอร์ต B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Port B นั้น ขา RB4-RB7 จะมี Feature เพิ่มเติมก็คือ การกำหนดให้เกิด Interrupt เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะของสัญญาณไฟฟ้าที่ขา RB4-RB7 (โดยถ้าขาใดขาหนึ่งเกิดเปลี่ยนสถานะก็จะทำให้เกิด RB Port Change Interrupt ขึ้น ซึ่งจะทำให้ RBIF (INTCON.0) Flag ถูก Set โดยที่ Interrupt ประเภทนี้สามารถทำการ “Wake” Microcontroller จากสถานะ Sleep Mode ได้

RBIF Flag จะถูก Clear ได้ 2 กรณี คือ

1. ทำการอ่านหรือเขียน Port B
2. ทำการ Clear RBIF Flag โดยตรง

หากเราใช้ Interrupt on Port B Change แล้วไม่ควรจะ Enable pull-up ของ Port B

**TABLE PORTB FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST <sup>(1)</sup>	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM	bit3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit6	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin (with interrupt on change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit7	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin (with interrupt on change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.

**TABLE SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
06h, 106h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx	0000 0000
86h, 186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
81h, 181h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

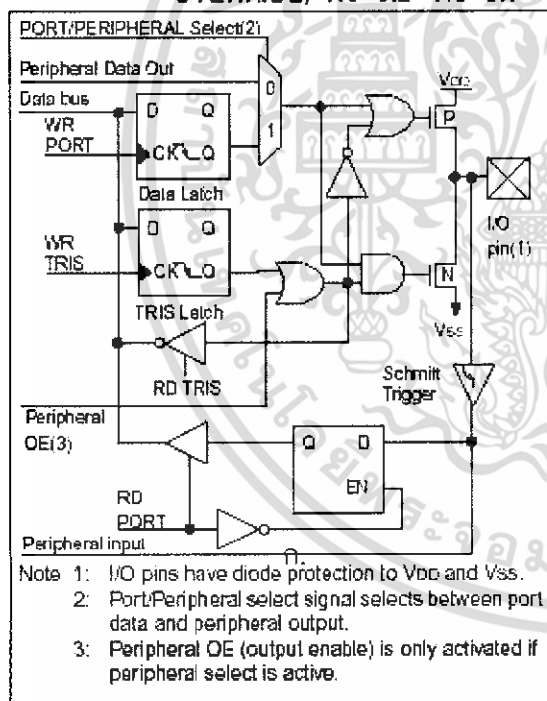
### ตารางที่ 3.2 สรุปการทำงานของ Port B ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Port C ใน PIC16F87x

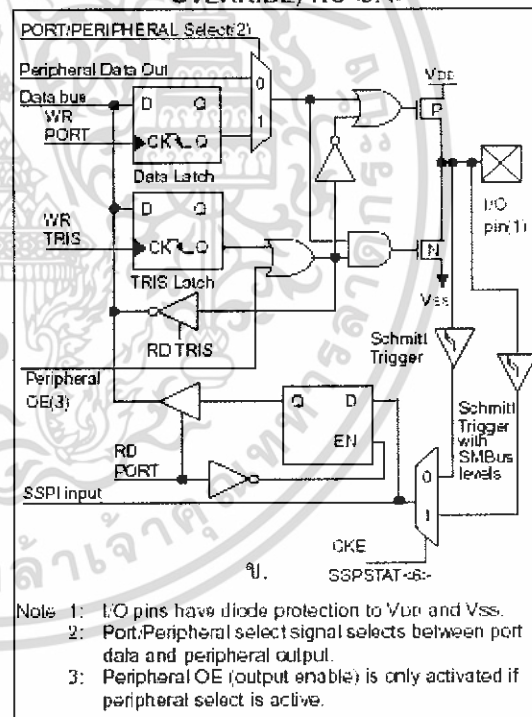
Port C เป็นลักษณะ Port แบบสองทิศทาง ซึ่ง Register ที่จะเป็นตัวกำหนดว่า Port ใดจะเป็นแบบ Input/Output จะถูกกำหนดโดย TRIS C Register ถ้า Set TRIS C Bit ใด (=1) Port B ที่บิตนั้นก็จะป็น Input ถ้า Clear TRIS C Bit ใด (=0) Port C ที่บิตนั้นก็จะป็น Output ที่ Port C จะมีคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น I<sup>2</sup>C, USART, SPI, PWM, CAPTURE ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งาน โดยเมื่อเราทำการ Enable คุณสมบัติเพิ่มเติมต่างๆ ที่ Port C เราต้องระวังในเรื่องของการตั้งค่า TRIS C ของแต่ละขาของ Port C เพราะในการ Enable คุณสมบัติบางตัวที่อยู่ที Port C (เช่น USART) ตัวมันเองก็จะทำการเปลี่ยน Bit TRIS C โดยอัตโนมัติ ดังนั้นไม่ควรที่จะตั้งค่า TRIS C โดยตรงกับขาใดของ Port C ที่ทำการ Enable คุณสมบัติเพิ่มเติม

FIGURE PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<0:2> RC<5:7>



ก.

FIGURE PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<3:4>



ข.

รูปที่ 3.13 โครงสร้างของ Port C ใน PIC16F87x

ก. โครงสร้างขา RC0-RC2 และพอร์ต RC5-RC7 ของพอร์ต C

ข. โครงสร้างขา RC3 และ RB4 ของพอร์ต C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE PORTC FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input
RC1/T1OSI/CCP2	bit1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output
RC2/CCP1	bit2	ST	Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output
RC3/SCK/SCL	bit3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I <sup>2</sup> C modes.
RC4/SDI/SDA	bit4	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode).
RC5/SDO	bit5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output
RC6/TX/CK	bit6	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock
RC7/RX/DT	bit7	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Receive or Synchronous Data

Legend: ST = Schmitt Trigger Input

TABLE SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTC

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other resets
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	x xxx x xxx	nnnn nnnn
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged.

### ตารางที่ 3.3 สรุปการทำงานของ Port C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

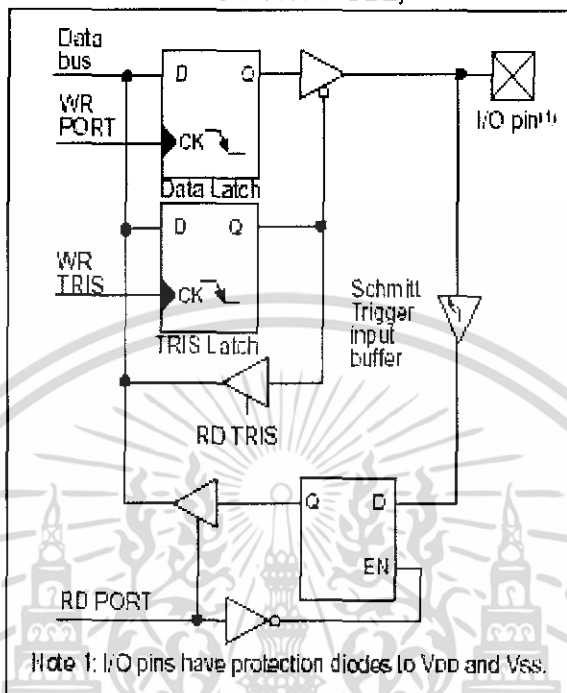
#### Port D และ Port E ใน PIC16F87x

สำหรับ Port D และ Port E นั้นจะไม่มีอยู่ใน PIC ในตระกูลนี้ที่มีขนาดขา 28 ขา ก่อนอื่นมาพูดถึงถึง Port D ก่อน

#### Port D

Port D จะเป็น Port ขนาด 8 บิต ซึ่งจะมี Schmitt Trigger Input Buffer อยู่ในตัว โดยที่เราสามารถกำหนดแต่ละบิตของ Port ให้เป็น Input หรือ Output ได้โดยอิสระจากกัน Port D สามารถที่จะทำตัวเป็น Parallel Slave Port ได้อีกด้วย โดยการ Set PSP Mode Bit (TRIS E <4>) ซึ่งใน Mode นี้ Buffer ภายในจะกลายเป็นแบบ TTL

**FIGURE PORTD BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)**



รูปที่ 3.14 โครงสร้างของ Port D ใน PIC16F87x

**TABLE PORTD FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RD0/PSP0	bit0	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit0
RD1/PSP1	bit1	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit1
RD2/PSP2	bit2	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit2
RD3/PSP3	bit3	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit3
RD4/PSP4	bit4	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit4
RD5/PSP5	bit5	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit5
RD6/PSP6	bit6	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit6
RD7/PSP7	bit7	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit7

Legend: ST = Schmitt Trigger input TTL = TTL input

Note 1: Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffer when in Parallel Slave Port Mode.

**TABLE SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTD**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
09h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	xxxx xxxx	uuuuu uuuuu
89h	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	0000 -111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are not used by PORTD.

ตารางที่ 3.4 สรุปการทำงานของ Port D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TABLE PORTE FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RE0/RD/AN5	bit0	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or read control input in parallel slave port mode or analog input: RD 1 = Not a read operation 0 = Read operation. Reads PORTD register (if chip selected)
RE1/WR/AN6	bit1	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or write control input in parallel slave port mode or analog input: WR 1 = Not a write operation 0 = Write operation. Writes PORTD register (if chip selected)
RE2/CS/AN7	bit2	ST/TTL <sup>(1)</sup>	Input/output port pin or chip select control input in parallel slave port mode or analog input: CS 1 = Device is not selected 0 = Device is selected

Legend: ST = Schmitt Trigger input TTL = TTL input

Note 1: Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port Mode.

TABLE SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTE

Addr	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
09h	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	xxx	uuu
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	0000 -111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	0000	0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are not used by PORTE.

### ตารางที่ 3.5 สรุปการทำงานของ Port E ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

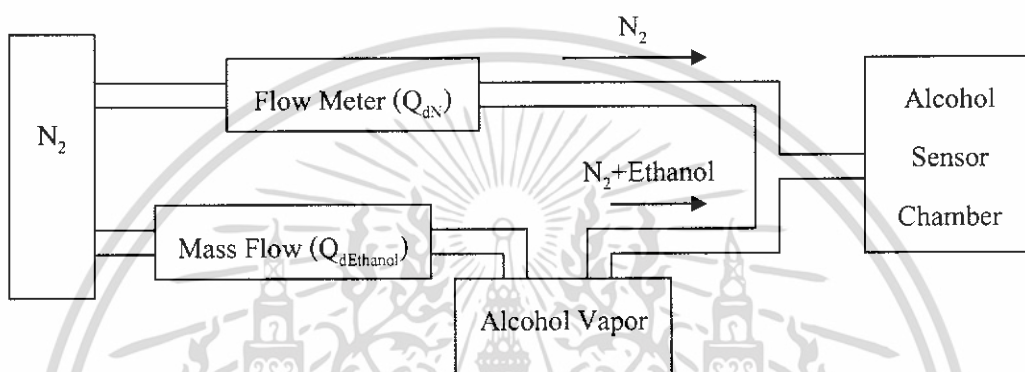
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบและการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์

Block Diagram และสูตรคำนวณในการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.1 Block Diagram ในการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์

#### คำอธิบาย Block Diagram

$N_2$  คือ ก๊าซไนโตรเจนที่ใช้เป็นก๊าซพาหะในการทดลองตัวตรวจจับก๊าซ

Flow Meter( $Q_{dN}$ ) คือ ตัวรับความเข้มข้นของไอระเหยแอลกอฮอล์ที่เข้าไปใน Chamber

Mass Flow( $Q_{dEthanol}$ ) คือ ตัวรับก๊าซไนโตรเจนที่ใช้พาไอระเหยแอลกอฮอล์ให้มีค่าคงที่

Alcohol Vapor คือ ภาชนะบรรจุแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลอง

Alcohol Sensor Chamber คือ ภาชนะบรรจุตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์และวงจรที่ใช้ในการทดลอง

#### สูตรที่ใช้คำนวณในการทดลอง

$$Q_{dN} = \frac{(24.5 \times 10^6) W_t}{MC} - (Q_{dEthanol} + Q_v) \quad (4.1)$$

$$Q_v = \frac{24.5 W_t}{M} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_{dN}$  คือ อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ไม่ผ่านไอระเหยแอลกอฮอล์ (liter/minute)

$Q_{dEthanol}$  คือ อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ผ่านไอระเหยแอลกอฮอล์ (liter/minute)

$Q_v$  คือ อัตราการไหลของไอระเหยแอลกอฮอล์ (liter/minute)

$W_t$  คือ มวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ (gram/minute)

$M$  คือ มวลโมเลกุลของแอลกอฮอล์ (gram/mole)

$C$  คือ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ (ppm)

โดยที่ ppm (Part per Million) คือ อัตราส่วนของก๊าซต่อหนึ่งล้านส่วน

#### 4.1.1 การทดลองหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ ( $W_t$ )

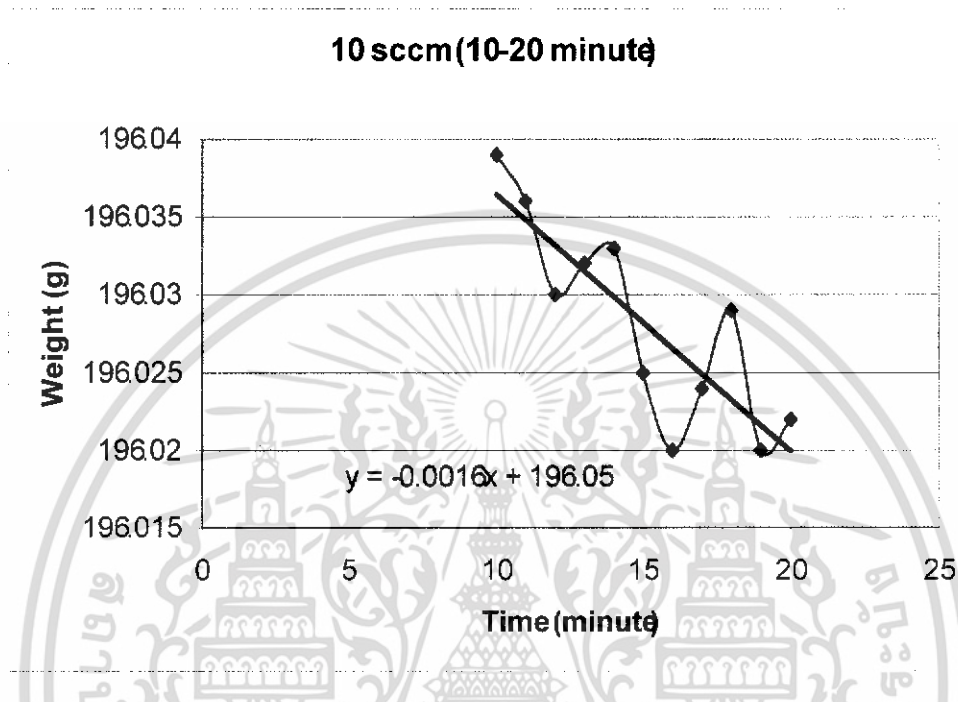
ในการทดลองหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอนั้น จะใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอระเหยของแอลกอฮอล์เข้าไปใน Chamber โดยใช้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ผ่านไอระเหยแอลกอฮอล์ ( $Q_{dEthanol}$ ) เท่ากับ 0.01 liter/minute โดยในการทดลอง ในช่วงแรกการระเหยของแอลกอฮอล์ยังไม่คงที่ ต้องรอเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที แล้วทำการบันทึกน้ำหนักของแอลกอฮอล์ที่หายไปในนาทีที่ 10 – 20 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

Time (minute)	Weight (g)
10	196.039
11	196.036
12	196.030
13	196.032
14	196.033
15	196.025
16	196.020
17	196.024
18	196.029
19	196.020
20	196.022

ตารางที่ 4.1 การทดลองหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผลการทดลองหามวลของแอลกอฮอล์ที่ได้มาพล็อตกราฟ เพื่อหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ ดังรูป



รูปที่ 4.2 กราฟการหามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ ( $W_v$ ) ที่  $Q_{dEthanol}$  เท่ากับ 0.01 liter/minute

จากการทดลองหาค่าการระเหยของแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนที่ผ่านแอลกอฮอล์ ( $Q_{dEthanol}$ ) เท่ากับ 0.01 liter/minute ได้ค่ามวลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยเป็นไอ ( $W_v$ ) เท่ากับ  $1.6 \times 10^{-3}$  gram/minute เพื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน ที่ผ่านแอลกอฮอล์ ( $Q_{dN_2}$ ) ที่ปริมาณความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ตามตารางที่ 4.2

#### 4.1.2 ขั้นตอนในการทดลองตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ

ในการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ในครั้งนี้ ใช้โปรแกรม Labview ในการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซ ( $R_s$ ) และแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ( $V_{RL}$ ) ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลอง ดังนี้

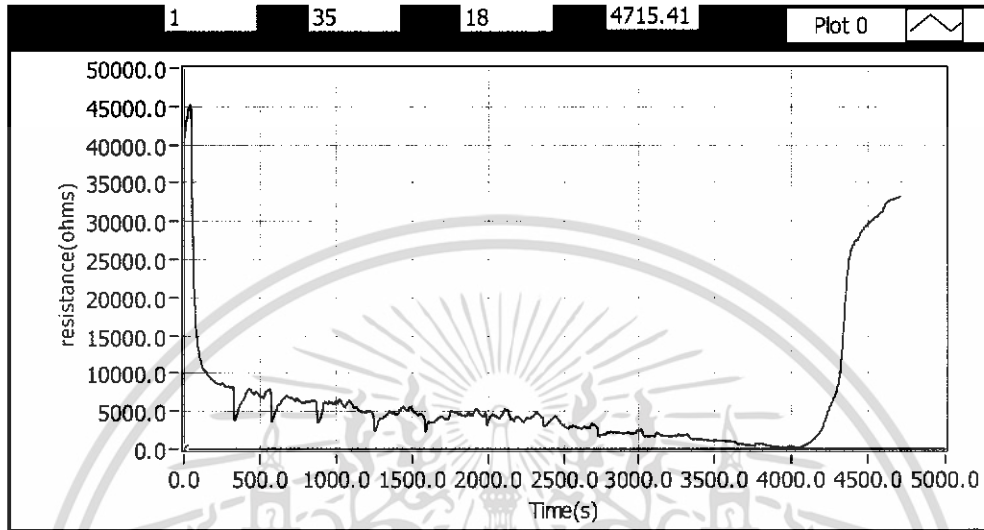
4.1.2.1 ทำการต่อท่อก๊าซเข้ากับจุดเชื่อมต่อต่างๆ ให้เรียบร้อยและพยายามอย่าให้เกิดรอยรั่วบริเวณจุดเชื่อมต่อ

4.1.2.2 จ่ายแรงดัน  $V_H = 5$  V และ  $I_H = 130$  mA ให้กับฮีเตอร์ของตัวตรวจจับก๊าซ

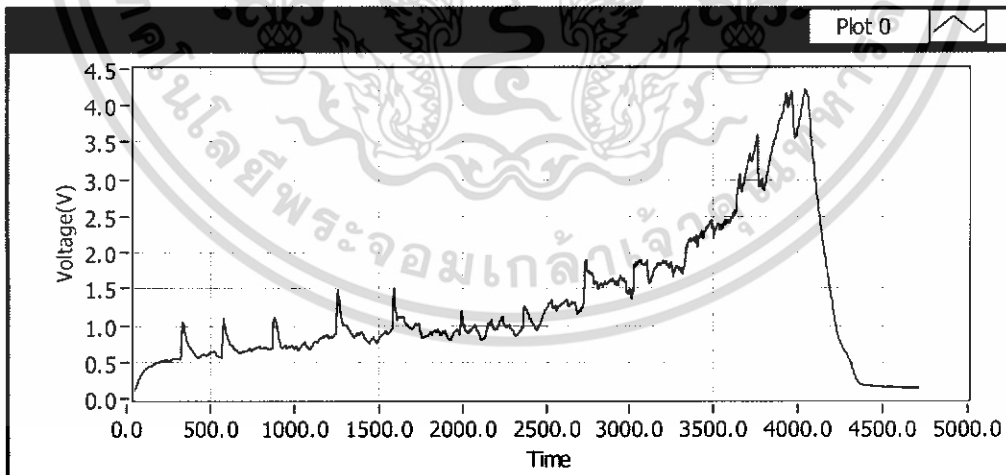
ประมาณ 5 นาที ก่อนการทดลอง เพื่อให้ตัวตรวจจับก๊าซพร้อมที่จะทำงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้ณาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1.2.3 จ่ายแรงดัน  $V_c = 5\text{ V}$  ให้กับวงจรและอ่านค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ซึ่งก็คือ แรงดัน  $V_{RL}$  ที่บรรยากาศห้อง
- 4.1.2.4 ปล่องก๊าซไนโตรเจนผ่าน Flow Meter ซึ่งมีอัตราการไหล 5 liter/minute เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนได้ก๊าซชนิดอื่น ๆ ออกจาก Chamber ให้หมดก่อนการทดลอง ปล่องก๊าซแอลกอฮอล์
- 4.1.2.5 เมื่อปล่องก๊าซไนโตรเจนได้ประมาณ 5 นาที แล้วอ่านค่า  $V_{RL}$  เพื่อเก็บค่าไว้เปรียบเทียบกับค่าที่ทดลองได้จากก๊าซแอลกอฮอล์
- 4.1.2.6 ปล่องก๊าซไนโตรเจนผ่าน Mass Flow เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนพาไอระเหยของแอลกอฮอล์ไปยัง Chamber โดยมีอัตราการไหลของไนโตรเจนคงที่คือ 10 sccm
- 4.1.2.7 เมื่อได้เวลาประมาณ 3 นาทีแล้ว อ่านค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ซึ่งเป็นแรงดันของก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 170 ppm และบันทึกช่วงเวลาที่ความเข้มข้นนี้ไว้ด้วยประมาณ 10 วินาที เพื่อใช้ในการหาค่าแรงดันเฉลี่ย ซึ่งโปรแกรม Labview จะทำการบันทึกค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซและแรงดัน  $V_{RL}$  ที่เวลาใดๆ ไว้ในโปรแกรม Excel ที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ
- 4.1.2.8 ค่อยๆ ลดอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลผ่าน Flow Meter ลงเรื่อยๆ ตามตารางการทดลอง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ
- 4.1.2.9 ที่เวลาทุกๆ 3 นาที หลังจากปรับลดอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ไหลผ่าน Flow Meter แล้ว อ่านค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ตามตารางการทดลองจนถึงค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่ 5000 ppm
- 4.1.2.10 นำแรงดัน  $V_{RL}$  ที่โปรแกรม Labview บันทึกไว้ในโปรแกรม Excel มาพล็อตกราฟเพื่อหาค่าเฉลี่ยของแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ
- 4.1.2.11 นำค่าเฉลี่ยของแรงดัน  $V_{RL}$  มาพล็อตกราฟเทียบกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ เพื่อที่จะนำสมการที่ได้จากกราฟไปโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการแสดงผลความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์ในหน่วย ppm
- 4.1.2.12 นำค่าเฉลี่ยของแรงดัน  $V_{RL}$  ไปคำนวณหาค่า  $R_s$  และ  $R_o$  ตามสมการที่ 2.2 เพื่อนำค่า  $R_s$  และ  $R_o$  มาพล็อตกราฟเทียบกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 2.4

กราฟผลการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ได้จากโปรแกรม Labview

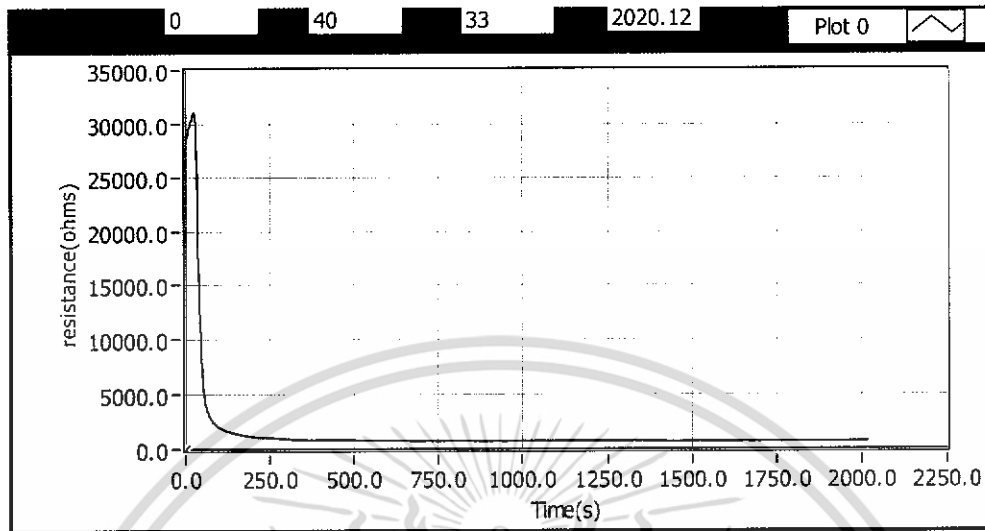


รูปที่ 4.3 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 170–339 ppm

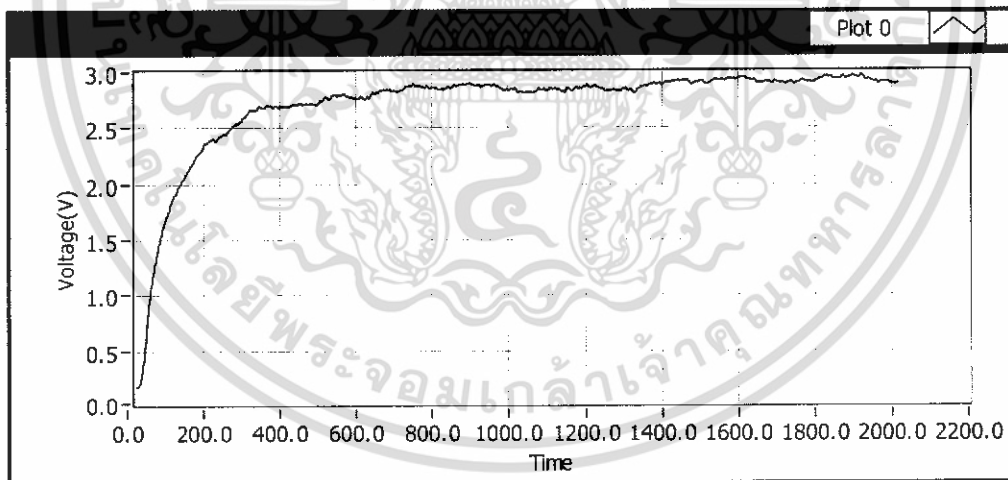


รูปที่ 4.4 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 170–339 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

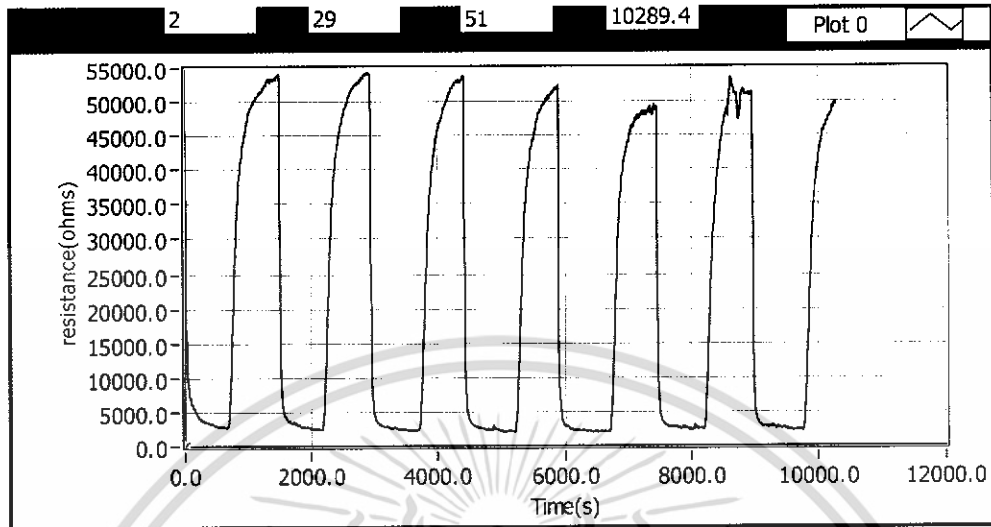


รูปที่ 4.5 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 1890–4985 ppm

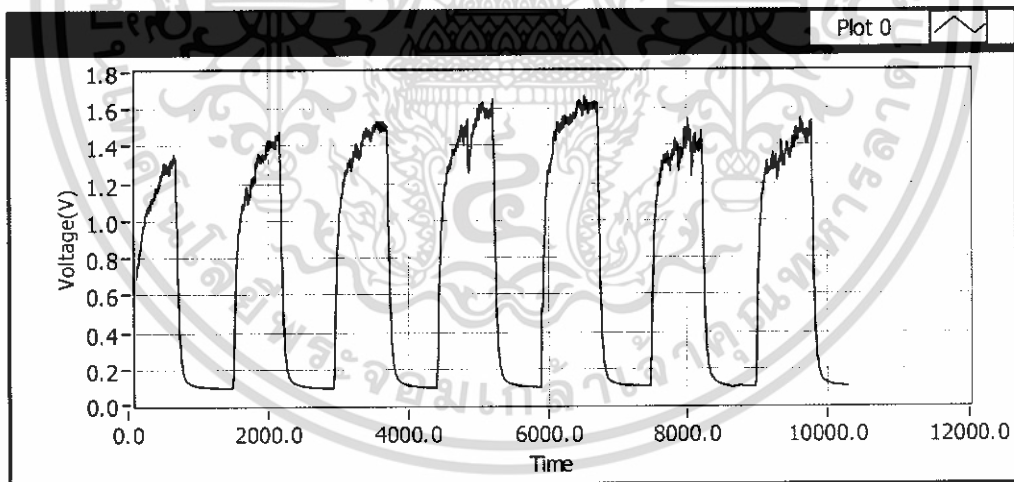


รูปที่ 4.6 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 1890-4985 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ความเข้มข้นแอสทอซอล 300 ppm กับ  $N_2$



รูปที่ 4.8 กราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอสทอซอล 300 ppm กับ  $N_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ

$V_H = 5 \text{ V}$ ,  $I_H = 130 \text{ mA}$ ,  $V_C = 5 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega \pm 5\% \text{ 1/4 W}$ , Temperature =  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Concentration (ppm)	Time (s)	N <sub>2</sub> at Flow Meter (liter/minute)	V <sub>RL</sub> (V)	R <sub>S</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>S</sub> /R <sub>O</sub>
Air	100	-	0.0250	199 k	79.6
N <sub>2</sub>	100	5	0.0950	51.63 k	20.652
170	100	5	0.5312	8.41 k	3.364
180	100	4.72	0.5912	7.46 k	2.984
190	100	4.47	0.6954	6.19 k	2.476
200	100	4.25	0.7601	5.58 k	2.232
210	100	4.05	0.7993	5.26 k	2.104
230	100	3.70	0.8961	4.58 k	1.832
240	100	3.54	0.9002	4.55 k	1.820
260	100	3.27	1.2586	2.97 k	1.188
280	100	3.03	1.3834	2.61 k	1.044
300	100	2.83	1.4285	2.50 k	1.000
310	100	2.74	1.4815	2.37 k	0.948
339	100	2.5	1.5852	2.15 k	0.860
380	100	2.23	1.6455	2.04 k	0.816
419	100	2.02	1.7572	1.85 k	0.70
481	100	1.76	1.8279	1.74 k	0.696
549	100	1.54	1.9367	1.58 k	0.632

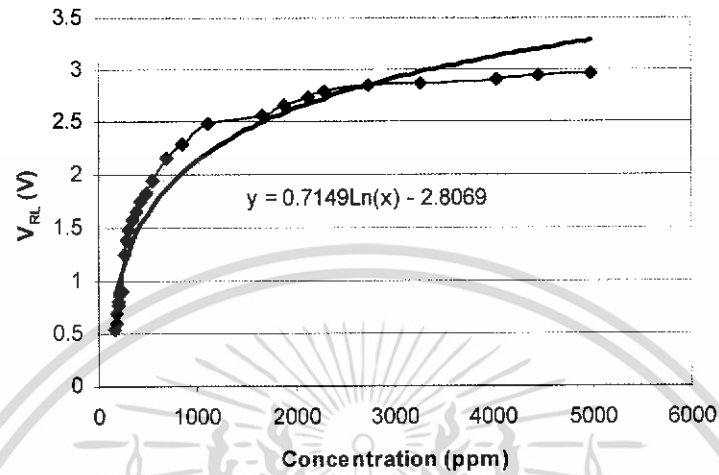
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

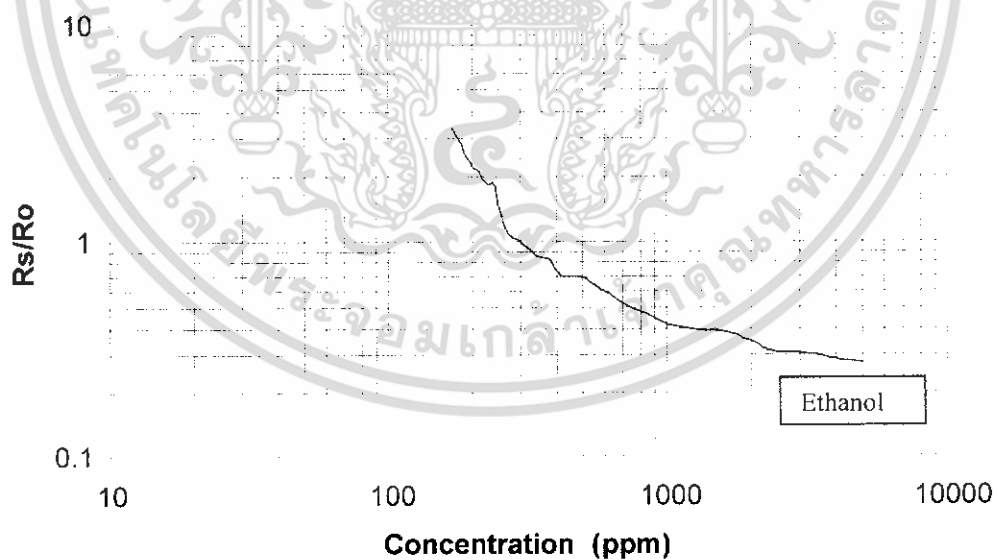
Concentration (ppm)	Time (s)	N <sub>2</sub> at Flow Meter (liter/minute)	V <sub>RL</sub> (V)	R <sub>S</sub> (Ω)	R <sub>S</sub> /R <sub>O</sub>
698	100	1.21	2.1563	1.32 k	0.528
851	100	0.99	2.2912	1.18 k	0.472
1105	100	0.76	2.4769	1.02 k	0.408
1668	100	0.50	2.5607	952.59	0.381
1890	100	0.44	2.6509	886.15	0.354
2125	100	0.39	2.7272	833.38	0.333
2297	100	0.36	2.7979	787.05	0.315
2740	100	0.30	2.8367	762.61	0.305
3265	100	0.25	2.8663	744.41	0.298
4040	100	0.20	2.9120	717.03	0.287
4465	100	0.18	2.9369	702.48	0.281
4985	100	0.16	2.9607	688.79	0.276

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองตัวตรวจจ็ก๊าซแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.10 กราฟอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 แนวทางการออกแบบ

เนื่องจากผลที่ได้จากการทดลองวัดแรงดัน  $V_{RL}$  จากการทดลองการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์นั้น มีความคลาดเคลื่อนอยู่มากจึงไม่สามารถที่จะนำค่าที่ได้จากการทดลองจริงมาใช้งานได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าแรงดัน  $V_{RL}$  จากกราฟใน Data Sheet โดยนำค่าความต้านทาน  $R_s$  ที่ได้จากการวัดขณะที่ไม่มีแอลกอฮอล์ ซึ่งจะมีค่าความต้านทานที่สูงประมาณ  $200 \text{ k}\Omega$  จากนั้นก็อ่านค่าของ  $R_s/R_o$  จากกราฟใน Data Sheet ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ แล้วนำค่า  $R_s$  มาคำนวณหาค่า  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ออกมา แล้วนำค่ามาพล็อตกราฟเพื่อหาสมการที่จะใช้ในการโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถเขียนเป็นขั้นตอนดังนี้

4.2.1 วัดค่า  $R_s$  ในสภาวะที่ไม่มีแอลกอฮอล์ได้ค่า  $R_s$  ประมาณ  $200 \text{ k}\Omega$

4.2.2 อ่านค่า  $R_s/R_o$  จากกราฟใน Data Sheet ที่อากาศได้ค่า  $R_s/R_o$  ประมาณ 78.571

4.2.3 นำค่า  $R_s/R_o$  มาหาค่า  $R_o$  โดยใช้ค่า  $R_s$  ที่วัดได้จากข้อ 4.2.1 โดยใช้สูตร

$$\frac{R_s}{R_o} = \text{จุดตัดแกน } y$$

แทนค่า จุดตัดแกน  $y = 78.571$  และค่า  $R_s = 200 \text{ k}\Omega$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } R_o &= \frac{R_s}{\text{จุดตัดแกน } y} \\ &= \frac{200 \times 10^3}{78.571} \\ &= 2.545 \times 10^3 \end{aligned}$$

ซึ่งจะได้  $R_o = 2.545 \text{ k}\Omega$  โดยค่า  $R_o$  ก็คือค่า  $R_s$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 300 ppm

4.2.4 ใช้ค่า  $R_o$  เป็นค่าหลักที่จะใช้หาค่า  $R_s$  จากสูตรในข้อ 4.2.3 โดยการย้ายข้างหาค่า  $R_s$

$$\text{จะได้ } R_s = R_o \times \text{จุดตัดแกน } y$$

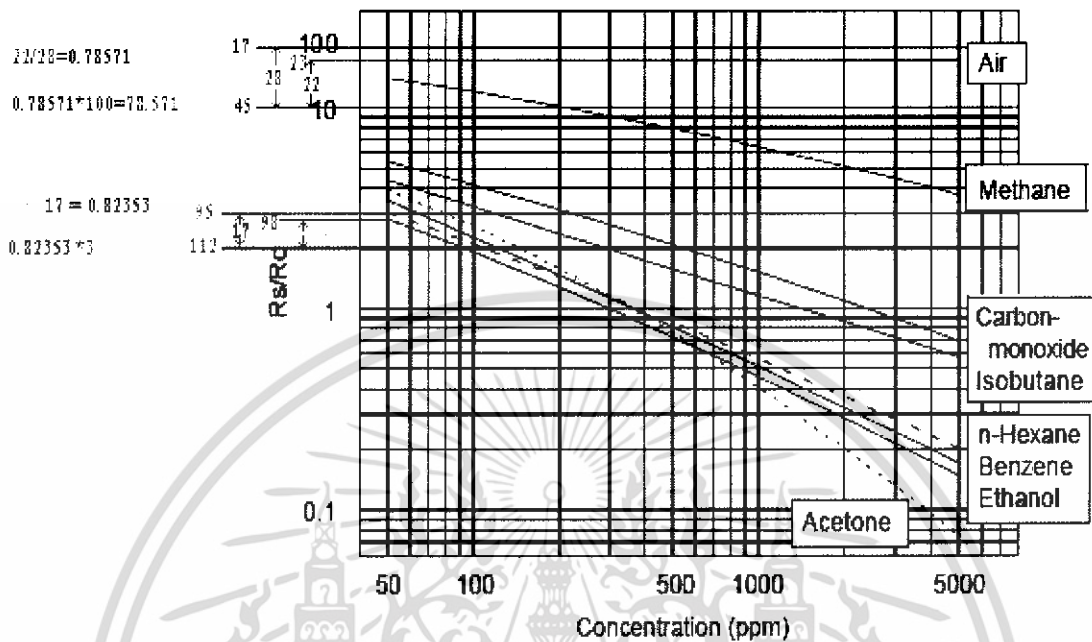
4.2.5 หาค่าจุดตัดแกน  $y$  จากกราฟจะได้  $R_s$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ

แล้วใช้ค่า  $R_s$  หาค่า  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ เช่นกัน

$$\text{จากสูตร } V_{RL} = \left( \frac{V_C \times R_L}{R_s + R_L} \right) \text{ โดยที่ } R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

4.2.6 นำค่า  $V_{RL}$  มาพล็อตกราฟแล้วหาสมการของกราฟออกมา จะได้สมการที่จะใช้ในการโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะใช้ในการประมวลผลการแปลงค่าที่อ่านได้จากตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ แล้วนำไปแสดงผลทางจอ LCD ต่อไป

### ตัวอย่าง การหาจุดตัดแกน y จากกราฟใน Data Sheet



รูปที่ 4.11 การหาค่าจุดตัดแกน y จากกราฟใน Data Sheet

จากรูปเป็นการหาจุดตัดแกน y โดยการวัดระยะห่างของช่วงต่างๆ ที่ต้องการหาบนแกน y ซึ่งตัวเลขที่แสดงนั้นได้มาจากการวัดจำนวน พิกเซล(pixel) ซึ่งในที่นี้ใช้โปรแกรม Paint ในการวัด ตัวอย่าง ข้อมูลชุดบน เป็นการหาจุดตัดแกน y ของ Rs/Ro ที่อากาศ

ช่วงบน เท่ากับ 95 pixel ช่วงล่าง เท่ากับ 112 pixel จะได้ระยะห่างเท่ากับ 28 pixel  
จุดตัดแกน y ที่อากาศ เท่ากับ 23 pixel จะได้ระยะห่างเท่ากับ 22 pixel  
หาอัตราส่วนจะได้  $22/28$  เท่ากับ 0.78571

นำอัตราส่วนไปคูณกับช่วงสูงสุด คือ 100 เท่ากับ  $0.78571 \times 100 = 78.571$

ดังนั้น จะได้ จุดตัดแกน y ที่อากาศ เท่ากับ 78.571

ตัวอย่าง ข้อมูลชุดล่าง เป็นการหาจุดตัดแกน y ของ Rs/Ro ที่แอลกอฮอล์

ช่วงบน เท่ากับ 17 pixel ช่วงล่าง เท่ากับ 45 pixel จะได้ระยะห่างเท่ากับ 17 pixel  
จุดตัดแกน y ที่ Ethanol 50 ppm เท่ากับ 98 pixel จะได้ระยะห่างเท่ากับ 14 pixel  
หาอัตราส่วนจะได้  $14/17$  เท่ากับ 0.82353

นำอัตราส่วนไปคูณกับช่วงสูงสุด คือ 3 เท่ากับ  $0.82353 \times 3 = 2.471$

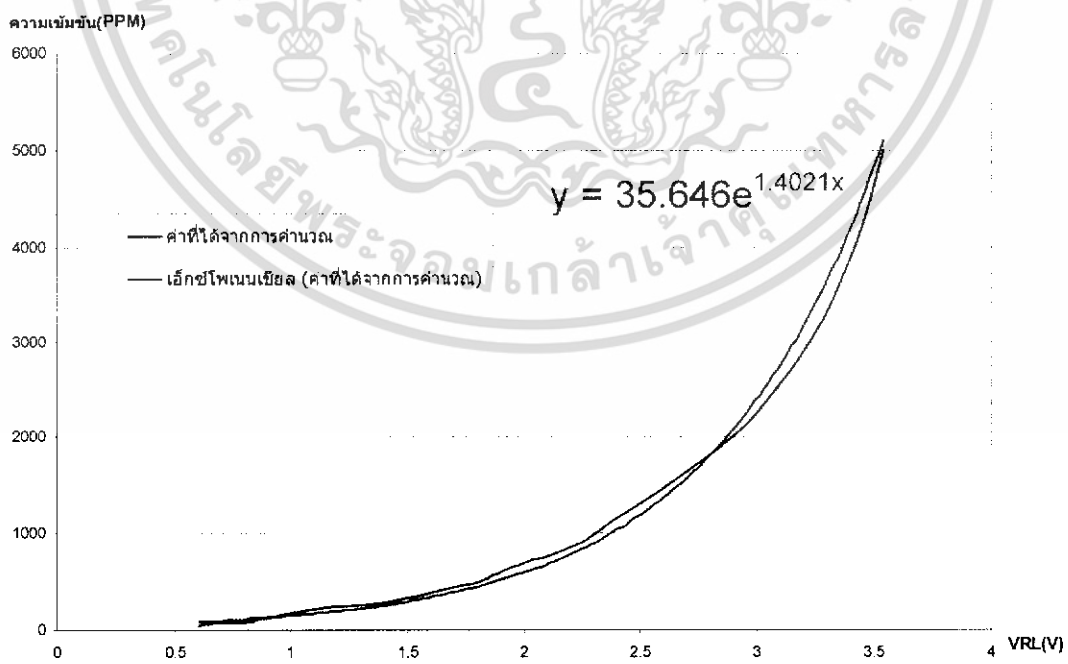
ดังนั้น จะได้ จุดตัดแกน y ที่ Ethanol 50 ppm เท่ากับ 2.471

และที่ความเข้มข้นอื่นๆ ก็หาเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	จุดตัดแกน y	$R_s$ ( $k\Omega$ )	$V_{RL}$ (V)
Air	78.571	200.0	0.0249
50	2.4710	7.250	0.6060
60	2.3300	6.750	0.6450
70	2.2300	6.000	0.7140
80	2.1200	5.500	0.7690
90	2.0000	5.000	0.8330
100	1.9500	4.880	0.8510
200	1.4500	3.630	1.0000
300	1.0000	2.500	1.4300
400	0.8300	2.080	1.6300
500	0.7000	1.750	1.8200
600	0.6500	1.630	1.9000
700	0.5900	1.500	2.0000
800	0.5300	1.340	2.1400
900	0.4900	1.230	2.2500
1000	0.4600	1.160	2.3100
2000	0.2900	0.725	2.9000
3000	0.2200	0.550	3.2300
4000	0.1800	0.463	3.4200
5000	0.1600	0.413	3.5400

ตารางที่ 4.4 ค่า  $R_s$ ,  $V_{RL}$  และจุดตัดแกน y ที่ได้จาก Data Sheet

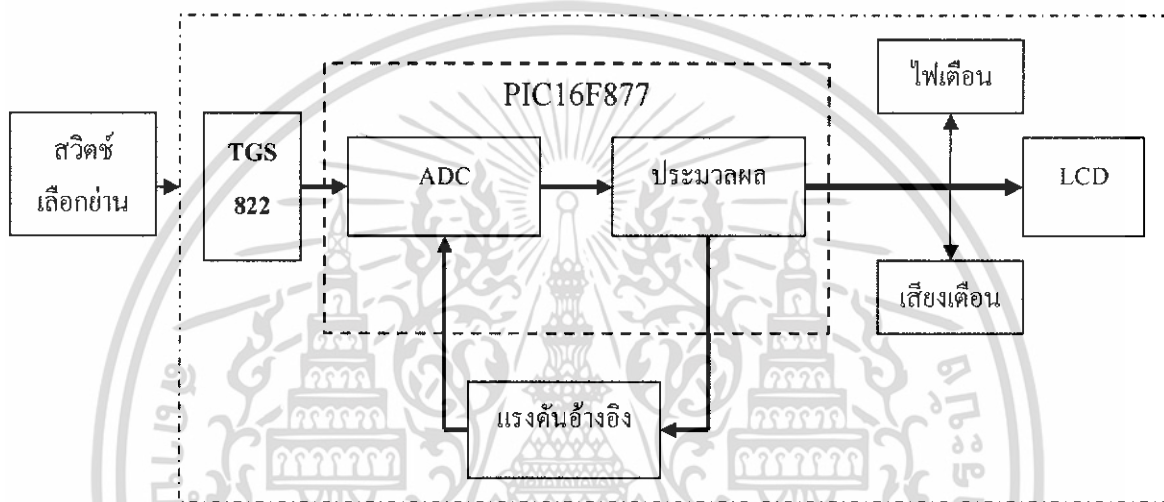


รูปที่ 4.12 การหาสมการที่จะใช้ในการ โปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 หลักการทำงานของวงจรในโครงการ

ในการตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Gas) จะใช้ตัวตรวจจับก๊าซเบอร์ TGS 822 ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ โดยค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์จะเปลี่ยนแปลง เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลกอฮอล์มาตกกระทบกับตัวตรวจจับก๊าซ ซึ่งตามโครงสร้างภายในแล้ว TGS 822 สามารถตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 50 - 5000 ppm



รูปที่ 4.13 Block Diagram การทำงานของวงจรในโครงการ

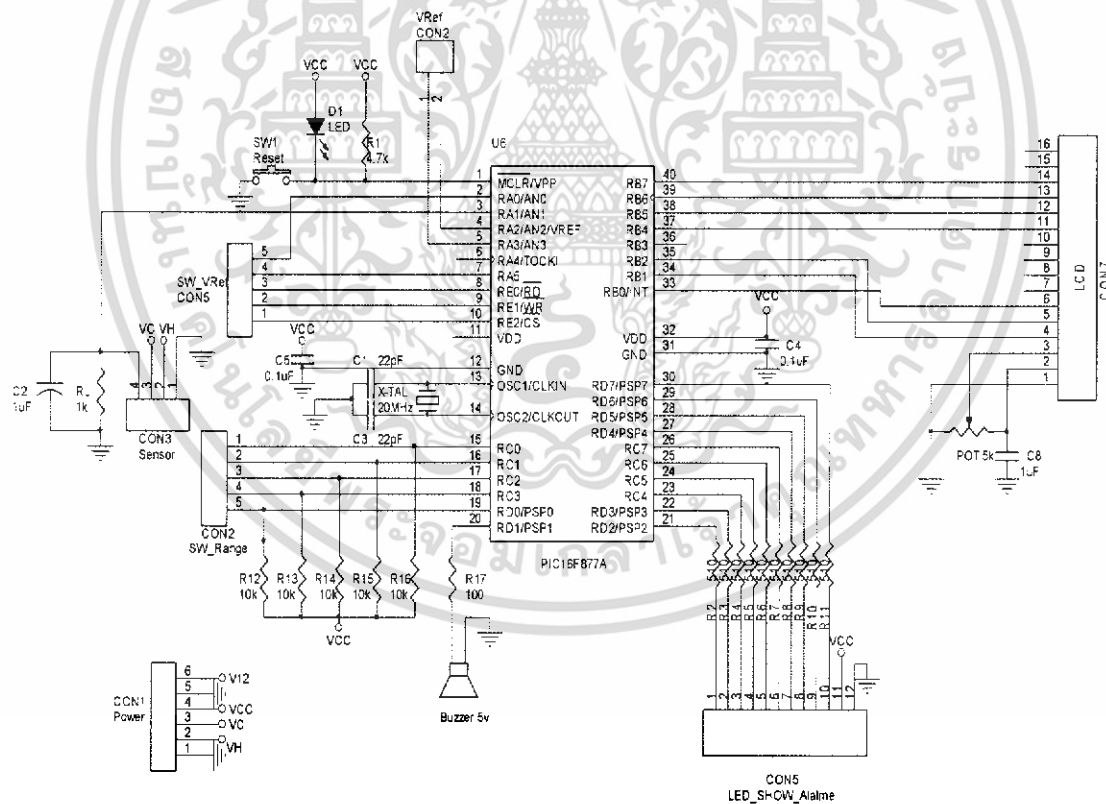
การทำงานของวงจรจะเริ่มจากการเลือกย่านการวัดในการตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ (Alcohol Sensor) ก่อน โดยจะมีอยู่ 5 ช่วง เพื่อที่ต้องการให้สามารถตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ได้ทั้งหมดในช่วง 50 – 5000 ppm เมื่อมีก๊าซแอลกอฮอล์เข้ามาโดยผ่านตัวตรวจจับก๊าซแล้ว จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซเปลี่ยนแปลงผกผันกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ และจะให้แรงดัน  $V_{RL}$  มีค่า 0 – 5 V ซึ่งจะนำแรงดันที่ได้นี้ส่งต่อไปยังวงจรภาคแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเมื่อภาคแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำการแปลงสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำเอาสัญญาณดิจิทัลนี้มาทำการประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นก็นำผลที่ได้ส่งต่อไปยังวงจรถ่ายผล เพื่อแสดงความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในหน่วย ppm

ในกรณีที่ค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงลบ ก็จะมีสัญญาณเสียงและไฟเตือนจาก LED สีเขียวให้รู้ว่า ค่าที่วัดได้นั้นต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ หรือถ้าหากว่าค่าที่วัดได้มีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงบวก จะมีสัญญาณเสียงและไฟเตือนจาก LED สีแดง และเมื่อมีการเปลี่ยนย่านการวัด ส่วนของแรงดันอ้างอิงก็จะถูกเปลี่ยนด้วยเพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การออกแบบชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการออกแบบชุดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ซึ่งภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลอยู่ภายใน ขนาด 10 บิต 8 ช่อง สามารถใช้แสดงผลที่วัดได้ประมาณ 1000 ค่า แต่ถ้าต้องการที่จะวัดค่าให้ได้ถึง 5000 ค่า จะทำให้ค่าที่วัดได้มีความละเอียดไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงได้ทำการออกแบบให้สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันอ้างอิงของแต่ละย่านวัดออกเป็น 5 ย่านวัด โดยแต่ละย่านวัดจะวัดได้ช่วงละ 1000 ค่า ในการใช้งานจะเลือกใช้เพียงครั้งละ 1 ย่านวัด และเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดจะมีสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้เปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันอ้างอิงตามไปด้วย และส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) จะมีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอลที่ได้จากตัวตรวจจับก๊าซ แล้วส่งต่อไปยังส่วนประมวลผลเพื่อทำการเลือกค่าแรงดันอ้างอิงในการแปลงของแต่ละย่านวัดให้ถูกต้อง จากนั้นก็จะแสดงผลความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่วัดได้ออกมาทางจอ LCD และส่งสัญญาณเตือนทาง LED และ Buzzer เมื่อค่าที่วัดได้ต่ำหรือสูงกว่าย่านที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.14 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การออกแบบวงจรแรงดันอ้างอิง

วงจรแรงดันอ้างอิงนี้จะมีหน้าที่ตั้งค่าแรงดันอ้างอิงบวก ( $V_{ref+}$ ) และลบ ( $V_{ref-}$ ) ให้กับ วงจร ADC ซึ่งจะมีความสำคัญมากต่อค่าที่จะแปลงก่อนที่จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หากค่าแรงดันอ้างอิงไม่ถูกต้องค่าที่แปลงได้ก็จะผิดพลาดและค่าที่แสดงผลออกมาก็จะไม่ถูกต้องด้วย โดยในการออกแบบในตอนแรกได้ใช้ IC เบอร์ CD4097BC ซึ่งเป็น IC อนาล็อกมัลติเพล็กซ์เซอร์ 8 ช่อง 2 ทาง ซึ่งสามารถใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 5 V ถึง 24 V โดยจะทำหน้าที่เป็นสวิทช์เลือกค่าของแรงดันอ้างอิง ของแต่ละช่อง ซึ่งมีทั้งหมด 5 ช่อง โดยการควบคุมจะมีสัญญาณควบคุม ABC (และขา INT ซึ่งจะต่อลงกราวด์) โดยที่ขา ABC นี้จะเป็นตัวเลือกการสวิทช์โดยใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็น Logic High และ Low ซึ่งสิ่งที่สำคัญในการควบคุม คือ แรงดันที่ควบคุมต้องมีค่าเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงของไอซีด้วย หากแรงดันควบคุมน้อยกว่าค่าแรงดันไฟเลี้ยงก็จะไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงต่อไฟเลี้ยง 5 V ให้มีค่าเท่ากับสัญญาณ Logic จากไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ว่าการเลือกแรงดันไฟเลี้ยงก็จะมีผลต่อความต้านทานที่หน้าสัมผัสของสวิทช์ด้วย ถ้าหากใช้ไฟเลี้ยงสูงก็จะมีผลต่อความต้านทานที่หน้าสัมผัสของสวิทช์สูงประมาณ 120  $\Omega$  หากใช้ไฟเลี้ยงต่ำ คือ 5 V ค่าความต้านทานที่หน้าสัมผัสก็จะสูงประมาณ 820  $\Omega$  ค่าของกระแสรั่วไหลจะสูงและจะเห็นว่าค่าความต้านทานสูงเกินไปไม่เหมาะต่อการใช้งาน จึงได้ทำการออกแบบวงจรใหม่โดยใช้รีเลย์แทน แต่การใช้รีเลย์จะต้องใช้รีเลย์ถึง 5 ตัว แทน CD4097BC ตัวเดียว และราคาของรีเลย์ทั้งหมดก็สูงกว่า 3 เท่า แต่ค่าความต้านทานที่หน้าสัมผัสน้อยมากเมื่อเทียบกับ CD4097BC จึงมีการเลือกใช้รีเลย์แทน โดยวงจรที่ออกแบบจะประกอบด้วย IC ULN2003A ซึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์และขยายกระแสให้กับรีเลย์ ซึ่งรีเลย์ที่ใช้จะเป็นชนิด 2 Contact เป็นตัวสวิทช์เลือกค่าของแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้ที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวตั้งค่าแรงดันอ้างอิง

การตั้งแรงดันอ้างอิงแต่ละช่วงจะนำข้อมูลที่คำนวณจากตารางที่ 4.4 ของแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 5 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 50 ถึง 1000 ค่าแรงดันที่อ่านได้ คือ 0.606 ถึง 2.31 V

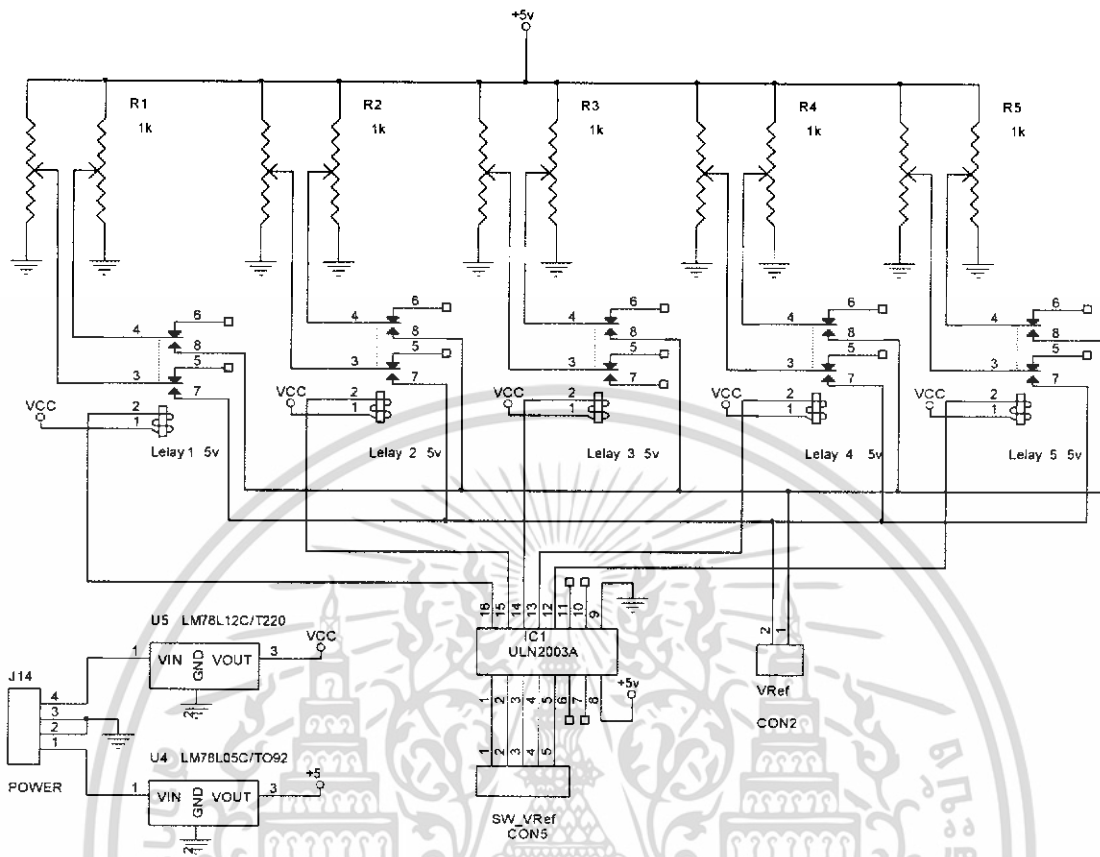
ช่วงที่ 2 1000 ถึง 2000 ค่าแรงดันที่อ่านได้ คือ 2.31 ถึง 2.90 V

ช่วงที่ 3 2000 ถึง 3000 ค่าแรงดันที่อ่านได้ คือ 2.90 ถึง 3.23 V

ช่วงที่ 4 3000 ถึง 4000 ค่าแรงดันที่อ่านได้ คือ 3.23 ถึง 3.42 V

ช่วงที่ 5 4000 ถึง 5000 ค่าแรงดันที่อ่านได้ คือ 3.42 ถึง 3.54 V

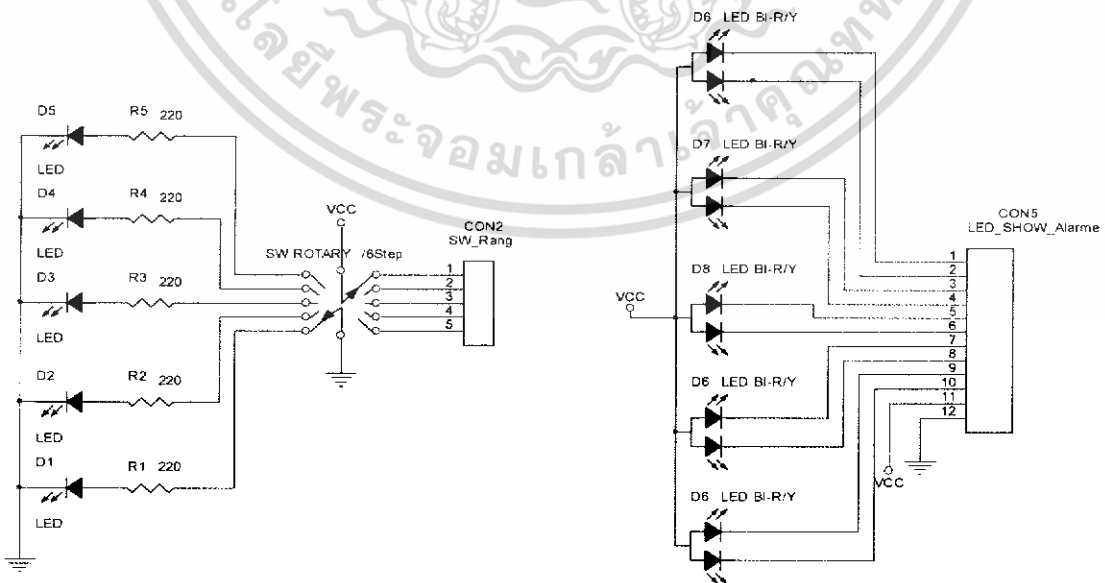
โดยที่ค่าแรงดันสูงจะเป็นแรงดันอ้างอิงบวกและค่าแรงดันต่ำจะเป็นแรงดันอ้างอิงลบ



รูปที่ 4.15 วงจรจ่ายแรงดันอ้างอิง

#### 4.6 การออกแบบวงจรสวิทช์เลือกย่านการวัด

วงจรมีหน้าที่เป็นสวิทช์เลือกย่านในการวัดและแสดงสัญญาณไฟเตือน เมื่อค่าที่วัดต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าในแต่ละย่านวัด โดยใช้ LED 2 สี 3 ขา แบบคอมมอนแอโนด (สีแดงกับสีเขียว)



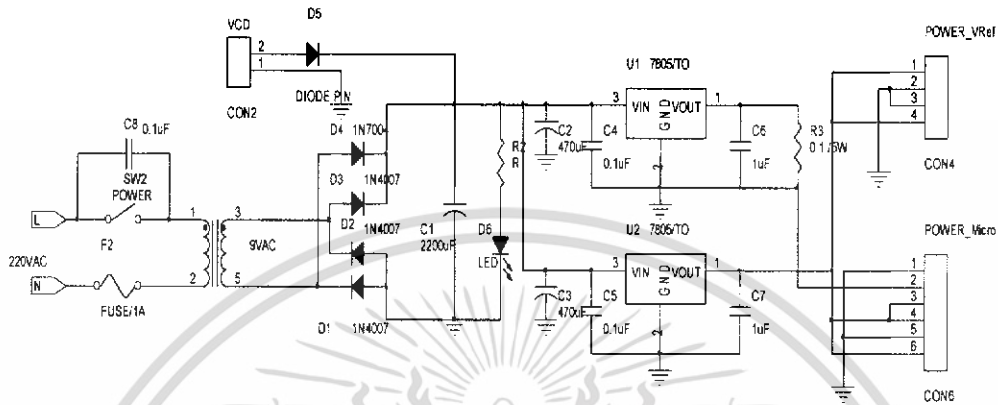
รูปที่ 4.16 วงจรสวิทช์เลือกย่านการวัด

รูปที่ 4.17 วงจรแสดงสัญญาณไฟเตือน

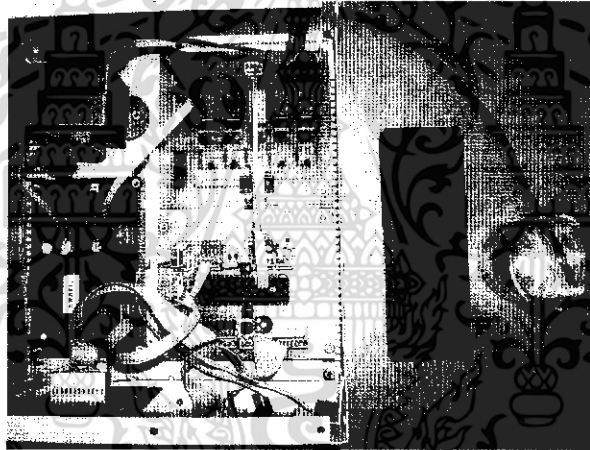
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรเพาเวอร์ซัพพลายทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้แก่ส่วนต่างๆ ของวงจร ได้แก่ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรปรับแรงดันอ้างอิง, วงจร LCD, รวมทั้งวงจรตรวจจับก๊าซด้วย



รูปที่ 4.18 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ 4.19 รูปภาพภายในเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.20 รูปภาพด้านหน้าเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

4.8.1 วางส่วนตรวจจับก๊าซของเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์วางไว้บนรูด้านบนของ Chamber แล้วใช้โปรแกรม Labview เป็นตัวควบคุมการทำงานของ Mass Flow ให้ทำการเปิดวาล์วที่ก๊าซแอลกอฮอล์ที่เข้ามาใน Chamber แล้วทำการทดลองอ่านค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ตั้งแต่ 50 - 5000 ppm และบันทึกผลลงในตารางแล้วนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟค่าของแรงดัน  $V_{RL}$  เทียบกับปริมาณความเข้มข้นแอลกอฮอล์

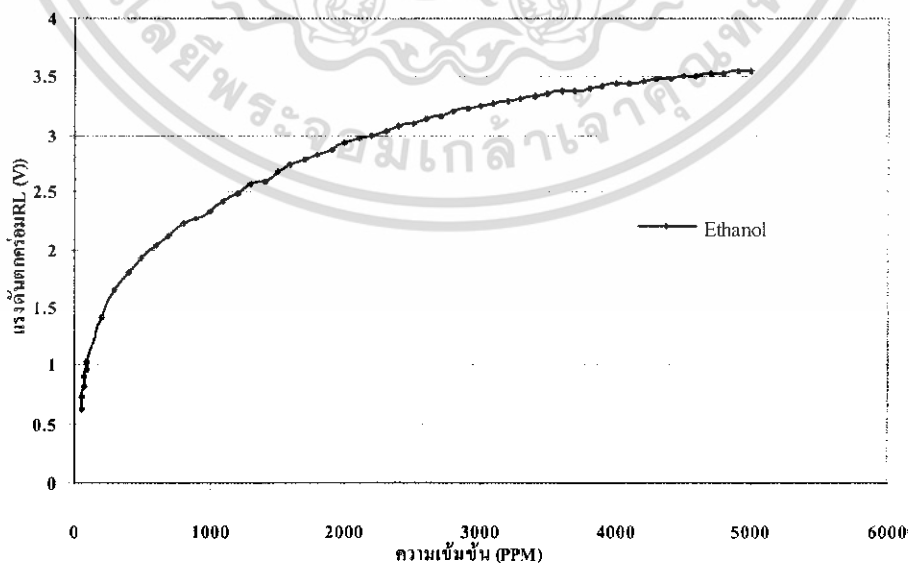
4.8.2 นำค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ที่วัดได้จากการทดลองที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซ ( $R_s$ ) ได้จาก

$$R_s = \left( \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \right) \times R_L$$

โดยให้  $V_c = 5.02 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  แล้วบันทึกผลลงในตารางค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ นำค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซ ( $R_s$ ) ที่ได้มาทำการพล็อตกราฟ

ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)
50	0.631	1100	2.423	2600	3.135	4100	3.452
60	0.731	1200	2.490	2700	3.169	4200	3.462
70	0.818	1300	2.558	2800	3.199	4300	3.480
80	0.895	1400	2.596	2900	3.224	4400	3.491
90	0.957	1500	2.679	3000	3.254	4500	3.505
100	1.017	1600	2.737	3100	3.279	4600	3.516
200	1.143	1700	2.785	3200	3.294	4700	3.520
300	1.645	1800	2.813	3300	3.311	4800	3.538
400	1.802	1900	2.871	3400	3.338	4900	3.549
500	1.920	2000	2.925	3500	3.355	5000	3.556
600	2.040	2100	2.967	3600	3.377		
700	2.121	2200	3.002	3700	3.389		
800	2.221	2300	3.035	3800	3.407		
900	2.261	2400	3.072	3900	3.426		
1000	2.333	2500	3.102	4000	3.452		

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50 - 5000 ppm (ครั้งที่ 1)



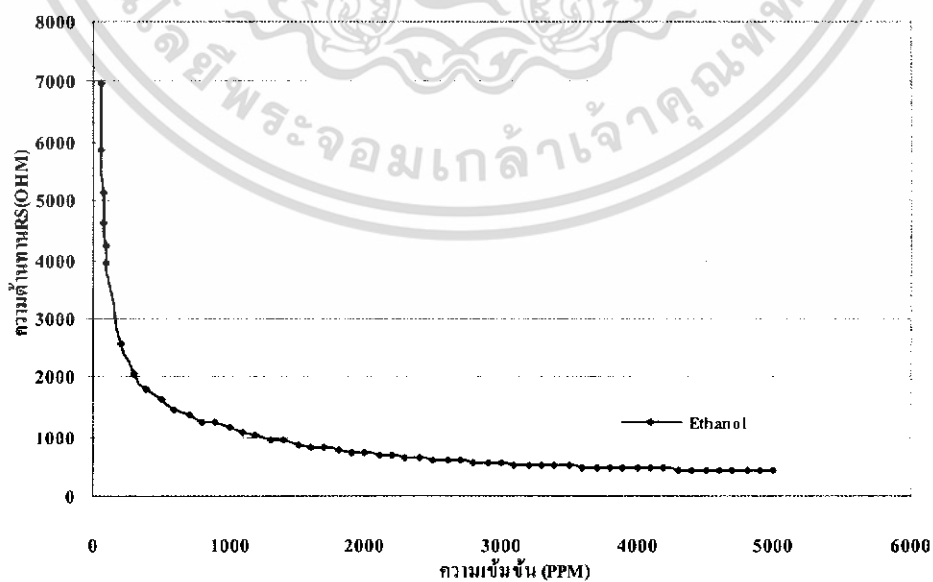
รูปที่ 4.21 กราฟแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )
50	6.955 k	1100	1.071 k	2600	601	4100	454
60	5.867 k	1200	1.016 k	2700	584	4200	450
70	5.136 k	1300	962	2800	569	4300	442
80	4.608 k	1400	933	2900	557	4400	437
90	4.245 k	1500	873	3000	542	4500	432
100	3.936 k	1600	834	3100	530	4600	427
200	2.552 k	1700	802	3200	523	4700	426
300	2.051 k	1800	773	3300	516	4800	418
400	1.785 k	1900	748	3400	503	4900	414
500	1.614 k	2000	716	3500	496	5000	411
600	1.460 k	2100	691	3600	486		
700	1.366 k	2200	672	3700	481		
800	1.258 k	2300	654	3800	473		
900	1.220 k	2400	634	3900	465		
1000	1.151 k	2500	618	4000	458		

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองค่า Rs กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)



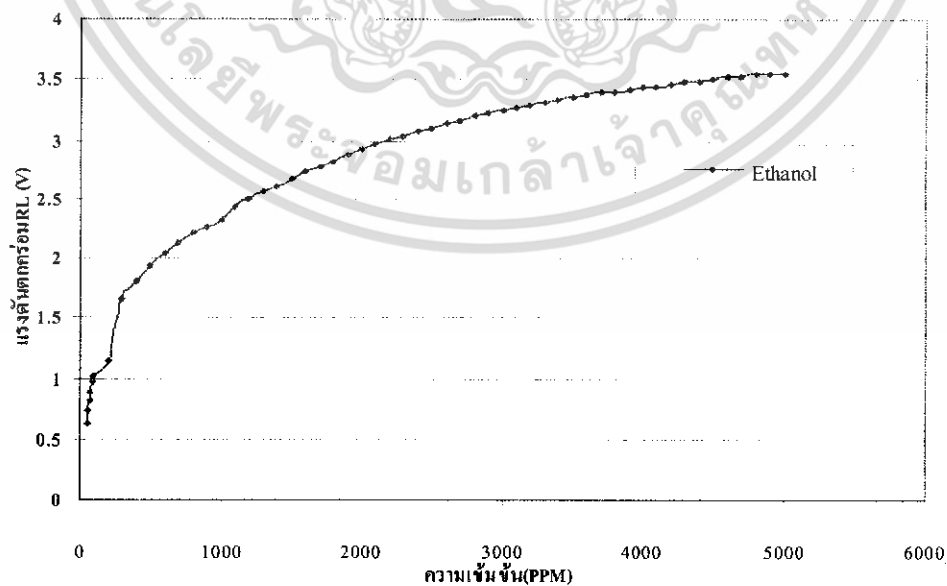
รูปที่ 4.22 กราฟค่า Rs กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)
50	0.626	1100	2.424	2600	3.135	4100	3.450
60	0.727	1200	2.496	2700	3.164	4200	3.461
70	0.815	1300	2.559	2800	3.194	4300	3.484
80	0.890	1400	2.597	2900	3.225	4400	3.493
90	0.959	1500	2.675	3000	3.254	4500	3.505
100	1.017	1600	2.734	3100	3.273	4600	3.518
200	1.146	1700	2.782	3200	3.297	4700	3.523
300	1.649	1800	2.811	3300	3.315	4800	3.539
400	1.803	1900	2.876	3400	3.335	4900	3.547
500	1.925	2000	2.924	3500	3.354	5000	3.557
600	2.041	2100	2.964	3600	3.372		
700	2.123	2200	3.001	3700	3.388		
800	2.215	2300	3.036	3800	3.404		
900	2.260	2400	3.077	3900	3.428		
1000	2.324	2500	3.105	4000	3.451		

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50 - 5000 ppm (ครั้งที่ 2)

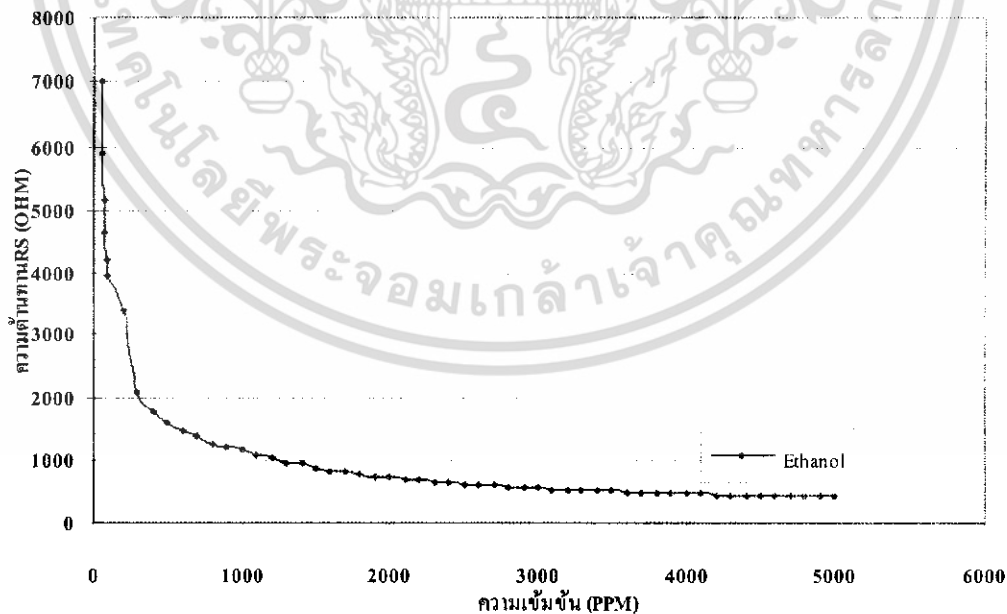


รูปที่ 4.23 กราฟแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )
50	7.019 k	1100	1.070	2600	601	4100	488
60	5.905 k	1200	1.011	2700	586	4200	481
70	5.159 k	1300	961	2800	571	4300	474
80	4.640 k	1400	932	2900	556	4400	464
90	4.234 k	1500	876	3000	542	4500	454
100	3.936 k	1600	836	3100	533	4600	455
200	3.380 k	1700	804	3200	522	4700	450
300	2.044 k	1800	785	3300	514	4800	440
400	1.784 k	1900	745	3400	505	4900	437
500	1.607 k	2000	716	3500	496	5000	432
600	1.459 k	2100	693	3600	601		
700	1.364 k	2200	672	3700	586		
800	1.266 k	2300	653	3800	571		
900	1.221 k	2400	631	3900	556		
1000	1.160 k	2500	616	4000	542		

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองค่า Rs กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)

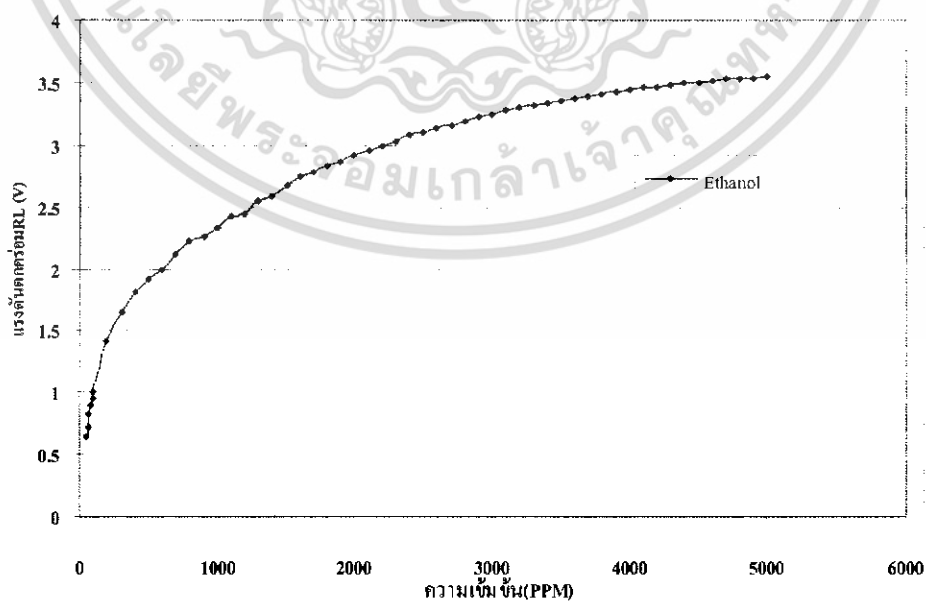


รูปที่ 4.24 กราฟค่า Rs กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)	ความเข้มข้น (ppm)	$V_{RL}$ (V)
50	0.640	1100	2.425	2600	3.132	4100	3.457
60	0.725	1200	2.440	2700	3.165	4200	3.468
70	0.824	1300	2.543	2800	3.200	4300	3.487
80	0.891	1400	2.591	2900	3.221	4400	3.495
90	0.949	1500	2.672	3000	3.253	4500	3.504
100	0.998	1600	2.743	3100	3.276	4600	3.512
200	1.420	1700	2.788	3200	3.295	4700	3.526
300	1.648	1800	2.833	3300	3.310	4800	3.534
400	1.810	1900	2.875	3400	3.332	4900	3.542
500	1.915	2000	2.919	3500	3.352	5000	3.556
600	1.999	2100	2.962	3600	3.378		
700	2.115	2200	2.997	3700	3.385		
800	2.228	2300	3.030	3800	3.410		
900	2.269	2400	3.079	3900	3.421		
1000	2.337	2500	3.100	4000	3.448		

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50 - 5000 ppm (ครั้งที่ 3)



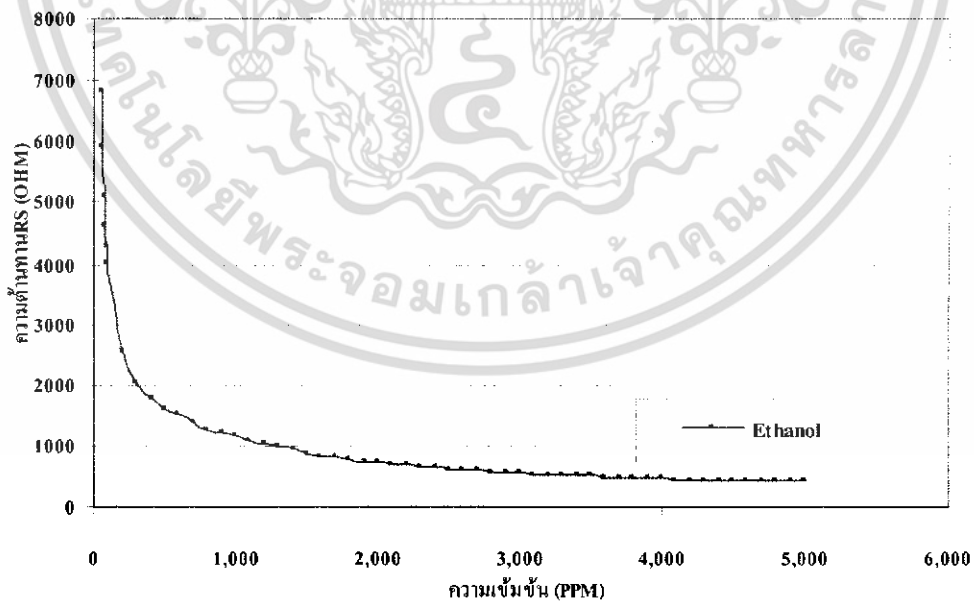
รูปที่ 4.25 กราฟแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )	ความเข้มข้น (ppm)	Rs ( $\Omega$ )
50	6.843 k	1100	1.070 k	2600	602	4100	452
60	5.924 k	1200	1.057 k	2700	586	4200	447
70	5.092 k	1300	974	2800	568	4300	439
80	4.634 k	1400	937	2900	558	4400	436
90	4.289 k	1500	878	3000	543	4500	432
100	4.030 k	1600	830	3100	532	4600	429
200	2.535 k	1700	800	3200	523	4700	423
300	2.046 k	1800	771	3300	516	4800	420
400	1.773 k	1900	746	3400	506	4900	417
500	1.621 k	2000	719	3500	497	5000	411
600	1.511 k	2100	694	3600	486		
700	1.373 k	2200	675	3700	483		
800	1.253 k	2300	656	3800	472		
900	1.212 k	2400	630	3900	467		
1000	1.148 k	2500	619	4000	455		

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองค่า Rs กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)



รูปที่ 4.26 กราฟค่า Rs กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 50-5000 ppm (ครั้งที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์

จากการทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ทำให้ทราบว่า ในสภาวะที่ตัวตรวจจับก๊าซอยู่ในอากาศ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซจะมีค่าสูงมากๆ ประมาณ  $200\text{ k}\Omega$  เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวต้านทานโหลด  $R_L$  ซึ่งมีความต้านทาน  $1\text{ k}\Omega$  จะเห็นได้ว่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซมีค่ามากกว่าความต้านทานของ  $R_L$  มาก จึงทำให้แรงดัน  $V_{RL}$  มีค่าน้อยมากๆ คือ  $0.025\text{ V}$  และในสภาวะที่ตัวตรวจจับก๊าซอยู่ในก๊าซไนโตรเจน ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซมีค่าน้อยกว่าที่อากาศ แต่ก็ยังมีค่าสูงอยู่ประมาณ  $50\text{ k}\Omega$  และมีแรงดัน  $V_{RL}$  ประมาณ  $0.1\text{ V}$

เมื่อทำการทดลองใช้ก๊าซไนโตรเจนพาไอระเหยของแอลกอฮอล์เข้าไปใน Chamber ที่มีตัวตรวจจับก๊าซอยู่ภายใน เพื่อทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ พบว่า การทดลองที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าแรก คือ  $170\text{ ppm}$  ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซค่อยลดลงอย่างรวดเร็ว จึงมีผลทำให้แรงดันที่ตกคร่อม  $R_L$  มีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแอลกอฮอล์ให้มากขึ้นเรื่อยๆ ความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซก็ลดลงอีก จึงทำให้แรงดัน  $V_{RL}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น โดยจากการทดลองแรงดัน  $V_{RL}$  มีค่าตั้งแต่  $0.5312 - 2.9607\text{ V}$  ซึ่งสามารถนำไปเป็นสัญญาณอนาล็อกอินพุตให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลออกทางจอ LCD ได้เลย

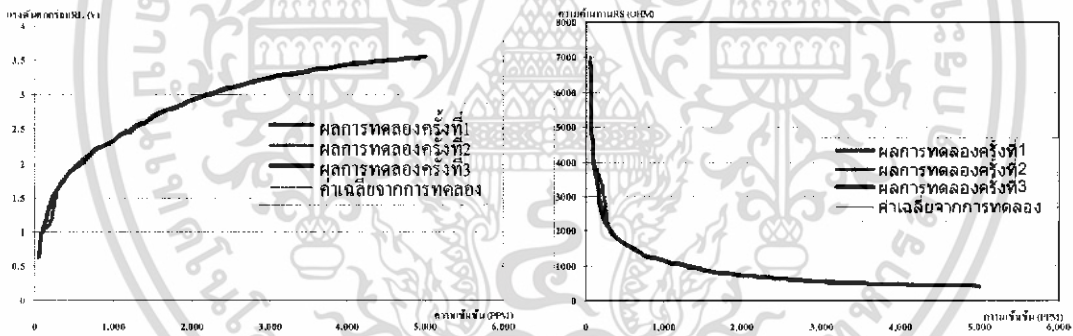
แต่จากกราฟในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกราฟระหว่างแรงดัน  $V_{RL}$  กับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนระหว่างกราฟจากการทดลองกับกราฟสมการเส้นตรงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์นั้นยังไม่ถูกต้องเท่าที่ควร อาจมีสาเหตุมาจากระบบการทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซยังมีจุดบกพร่องอยู่ เช่น การระบายออกของก๊าซแอลกอฮอล์ยังไม่ดีพอ จึงทำให้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ใน Chamber มีค่าไม่เป็นที่ต้องการ และอีกสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจาก Flow Meter มีการควบคุมอัตรา

การไหลของก๊าซในโตรเจนที่คลาดเคลื่อน จึงทำให้แรงดัน  $V_{RL}$  ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ จากการทดลองไม่เป็นไปตามความเป็นจริง

ทางกลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้นำค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ได้จากการทดลองมาใช้งานร่วมกับแรงดัน  $V_{RL}$  ที่ได้จากการอ่านค่า  $R_s$  จากกราฟใน Data Sheet ของตัวตรวจจับก๊าซ เพื่อให้การทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ มีการทำงานที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 5.1.2 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซจะมีค่าลดลง ในลักษณะเป็น Exponential เมื่อแอลกอฮอล์มีปริมาณความเข้มข้นมากขึ้น โดยจะทำให้ค่าของแรงดัน  $V_{RL}$  มีค่ามากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ และเมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟด้านล่างจะเป็นกราฟแสดงค่าของแรงดัน  $V_{RL}$  และค่า  $R_s$  จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง กับค่าเฉลี่ยจากการทดลอง



รูปที่ 5.1

รูปที่ 5.2

รูปที่ 5.1 กราฟแรงดัน  $V_{RL}$  จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง กับค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

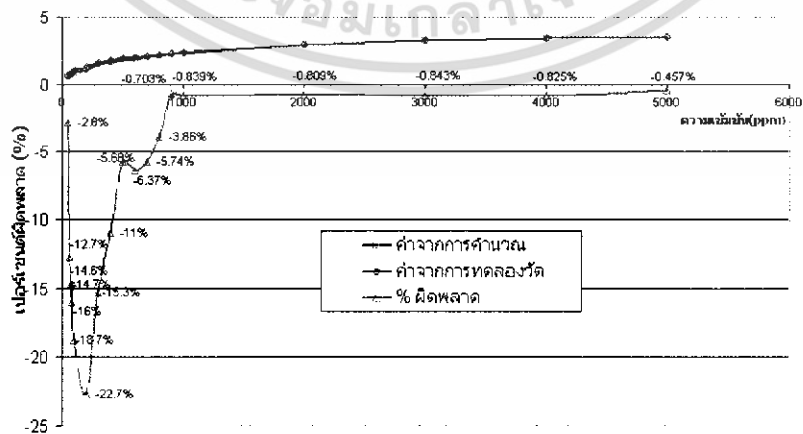
รูปที่ 5.2 กราฟค่า  $R_s$  จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง กับค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดัน  $V_{RL}$  ที่คำนวณได้จาก Data Sheet ของตัวตรวจจับก๊าซกับค่าที่ได้จากการทดลองจากเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์ จะพบที่มีความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ประมาณ - 8.13 % ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.1 และเปรียบเทียบค่า  $R_s$  ที่คำนวณได้จาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง จะมีความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ประมาณ + 9.62 % ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	V <sub>RL</sub> จากการคำนวณ (V)	V <sub>RL</sub> จากการทดลอง (V)	ความผิดพลาด (%)
50	0.606	0.623	-2.80
60	0.645	0.727	-12.7
70	0.714	0.819	-14.7
80	0.769	0.892	-16
90	0.833	0.955	-14.6
100	0.851	1.01	-18.7
200	1.08	1.326	-22.7
300	1.43	1.647	-15.3
400	1.63	1.805	-11
500	1.82	1.92	-5.68
600	1.90	2.026	-6.37
700	2.00	2.119	-5.74
800	2.14	2.222	-3.86
900	2.25	2.263	-0.703
1000	2.31	2.331	-0.839
2000	2.90	2.922	-0.809
3000	3.23	3.253	-0.843
4000	3.42	3.447	-0.825
5000	3.54	3.556	-0.457

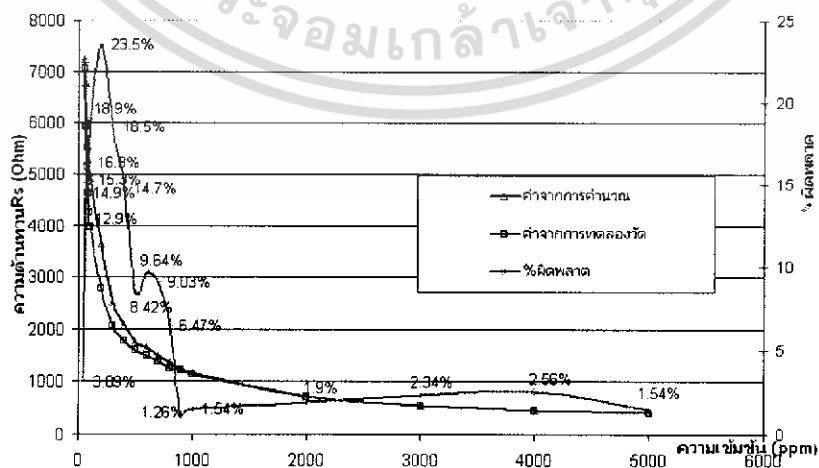
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าแรงดัน V<sub>RL</sub> ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดัน V<sub>RL</sub> ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (ppm)	Rs จากการคำนวณ ( $\Omega$ )	Rs จากการทดลอง ( $\Omega$ )	ความผิดพลาด (%)
50	7.23 k	7.06 k	3.09
60	6.78 k	5.91 k	12.9
70	6.03 k	5.13 k	14.9
80	5.53 k	4.63 k	16.3
90	5.02 k	4.26 k	15.3
100	4.90 k	3.97 k	18.9
200	3.64 k	2.79 k	23.5
300	2.51 k	2.05 k	18.5
400	2.09 k	1.78 k	14.7
500	1.76 k	1.61 k	8.42
600	1.64 k	1.48 k	9.64
700	1.50 k	1.37 k	9.03
800	1.35 k	1.26 k	6.47
900	1.23 k	1.22 k	1.26
1000	1.17 k	1.15 k	1.54
2000	732	718	1.90
3000	556	543	2.34
4000	468	456	2.56
5000	418	412	1.54

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าของ Rs ที่คำนวณจาก Data Sheet กับค่าที่ได้จากการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 เนื่องจากระบบทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซแอลกอฮอล์ ยังไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่ถูกต้องเท่าไรนัก

5.2.2 เมื่อมีปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์เข้าไปกระทบกับส่วนตรวจจับก๊าซของตัวตรวจจับก๊าซเพียงเล็กน้อย จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของตัวตรวจจับก๊าซเปลี่ยนแปลงทันที ทำให้ค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนเกินย่านวัดที่วัดได้ในแต่ละย่าน จึงต้องมีการเปลี่ยนย่านในการวัดอยู่บ่อยๆ

5.2.3 เนื่องจากไม่สามารถที่จะควบคุมปริมาณความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ได้ จึงทำให้การอ่านค่าที่ต้องการทำได้ยากและทำการทดลองได้ลำบาก

## เอกสารอ้างอิง

ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877”  
ประจัน พลังสันติกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์”  
ผศ. ดร. วรพงศ์ ตั้งศิริรัตน์ “เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน การวัดและระบบควบคุม”

ณรงค์ศักดิ์ เกตสุวรรณ, วีระศักดิ์ สวนแก้ว “เครื่องตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547

<http://www.thaimcu.com>

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

<http://www.figarosensor.com>

<http://www.microchip.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

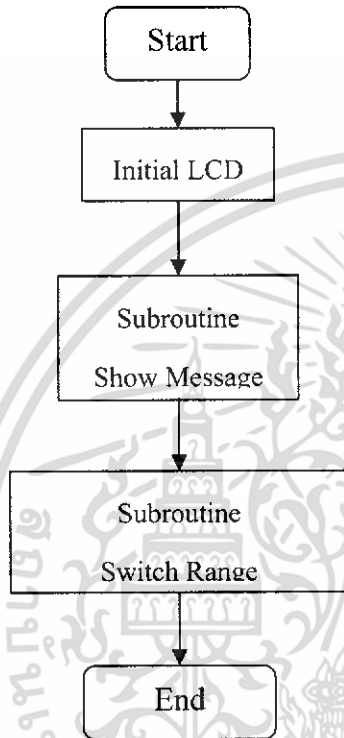


## ภาคผนวก

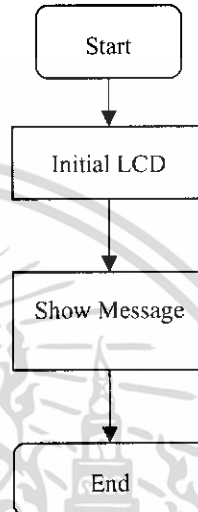
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# โฟลวชาร์ทโปรแกรมเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

**Flow Chart**  
**Main Program**

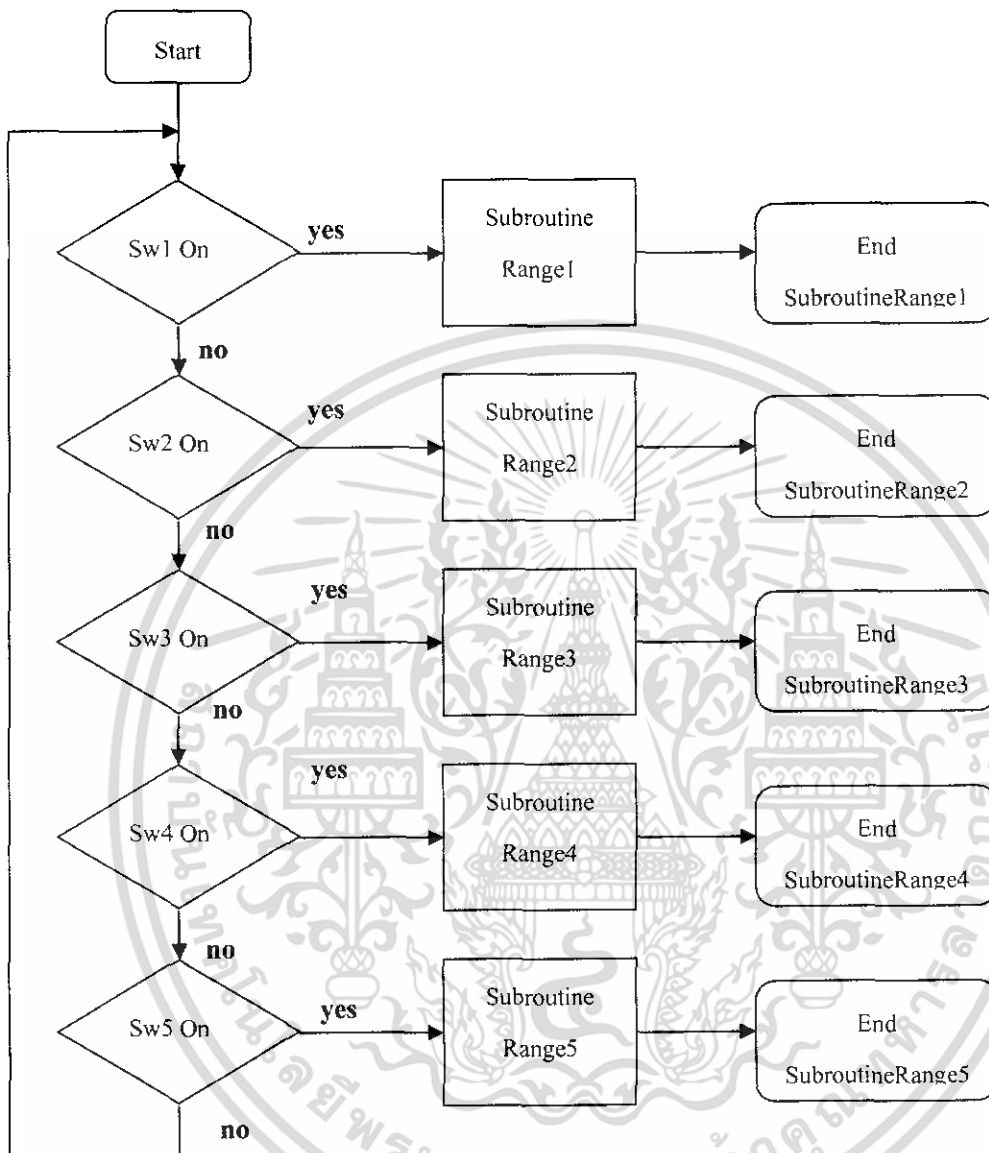


**Flow Chart**  
**Subroutine Show Message**



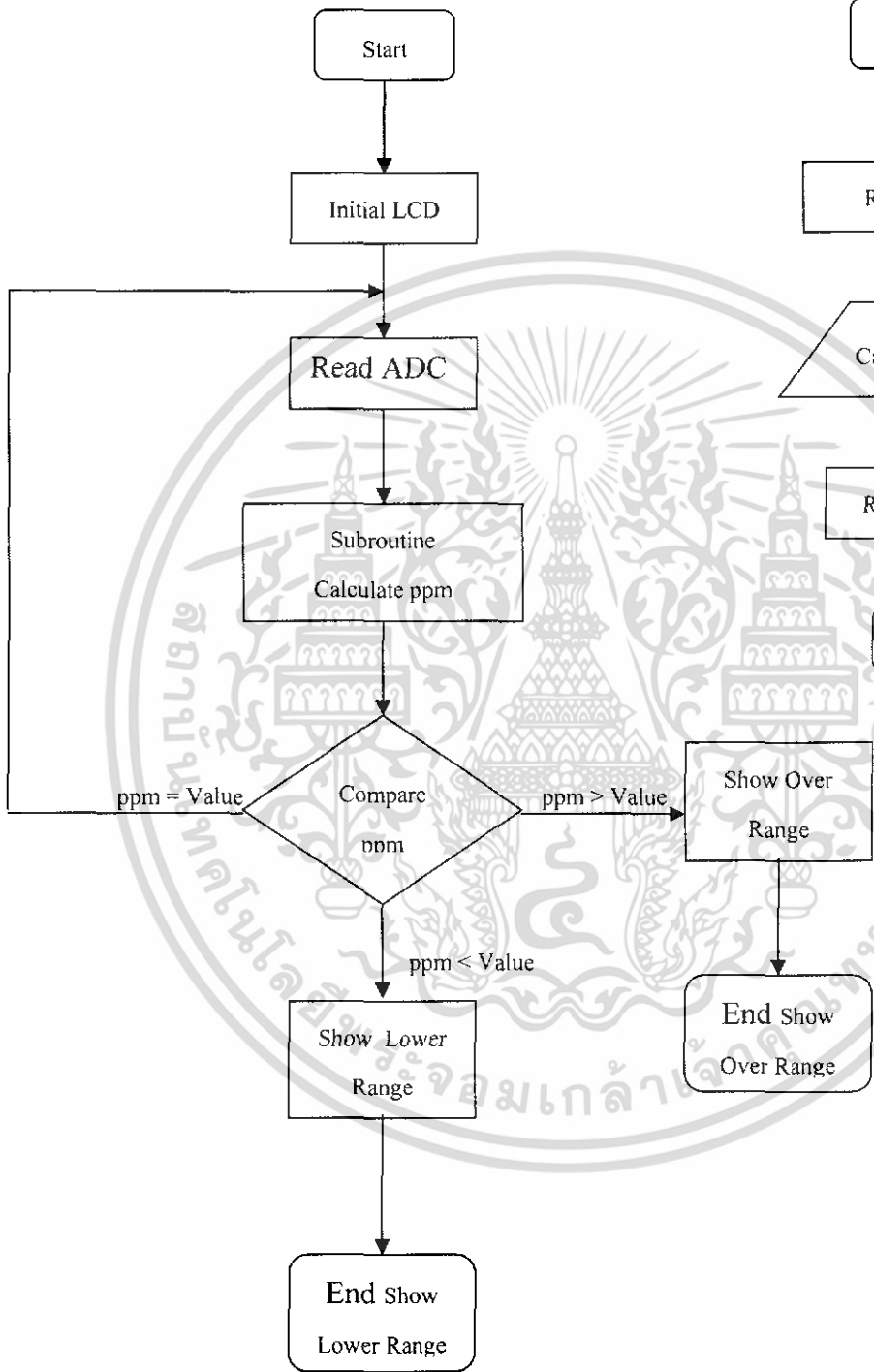
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Flow Chart**  
**Subroutine Switch Range**

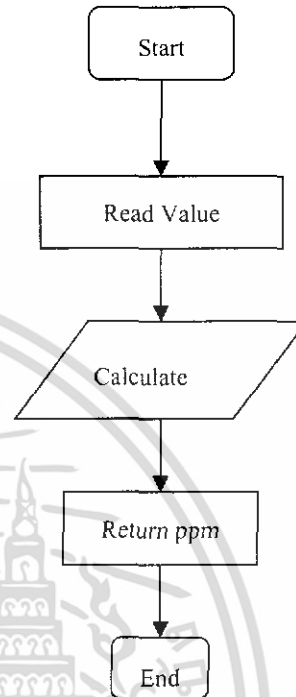


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Flow Chart**  
**Subroutine Range**



**Flow Chart**  
**Subroutine Calculate ppm**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์

```
#define _PIC16F877A_
#include <16F877A.h>
#fuses HS,NOLVP,NOWDT,NOPROTECT
#device ADC=10
#use delay(clock=20000000)
#define use_portb_lcd
#include "lcd.c"
#include <math.h>
#define STRING_SIZE 17
#define msg0 " Engineer KMITL "
#define msg1 "Test Alcohol Gas "
#define msg2 "Show Gas   ppm "
#define msg3 " No Detected "
#define VREF1 0.00213910 //2.348(2.31)-0.606=1.742v=>1.742/1023=0.001702834
#define VREF2 0.000494489//2.913(2.90)-2.308=0.592=>0.605/1023=0.0005917
#define VREF3 0.000289280//3.237(3.23)-2.899=0.34=>0.338/1023=0.0003304
#define VREF4 0.000205188//3.424(3.42)-3.229=0.195=>0.191/1023=0.000190615
#define VREF5 0.000159250//3.543(3.54)-3.419=0.124=>0.13/1023=0.000121212
////////////////////////////////////
void LCD_command(int cm);
void strepy(char *s1,char *s2);
void LCD_string(char *s,int dly);
void LCD_show(void);
void Show_Range(byte r,float value);
void Alam();
////////////////////////////////////
void LCD_command(int cm)
{
lcd_send_byte(0,cm);
}
////////////////////////////////////
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void strcpy(char *s1,char *s2)
{
while(*s1++ = *s2++);
}
////////////////////////////////////
void LCD_string(char *s,int dly)

```

```

{
while(*s!=0)
{LCD_putc(*s++);
delay_ms(dly);
}
}
////////////////////////////////////

```

```

void LCD_show(void)
{
int i;
char str[17];
LCD_command(0x80);
strcpy(str,msg0);
LCD_string(str,100);
LCD_command(0xC0);
strcpy(str,msg1);
LCD_string(str,100);
delay_ms(1000);
LCD_command(0x01);
}
////////////////////////////////////

```

```

void Show_Range(byte R,float value)
{

```

```

lcd_Command(0x80);
lcd_gotoxy(0,1);
printf(lcd_putc, (" %d",r);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,("Alcohol=%1.0f "),value);
    lcd_gotoxy(14,2);
    printf(lcd_putc, ("ppm"));
    LCD_Command(0x0E);
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

void Alam()
{
    output_high(pin_d1);
    delay_ms(50);
    output_low(pin_d1);
    delay_ms(50);
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

void Range()
{int16 dec;
  float v,ppm,x;
  lcd_init();
  setup_port_A(ANALOG_RA3_RA2_REF);
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
  set_adc_channel(1);

```

```

while (true)
{
    ////////////////////////////////// Start Range 1 //////////////////////////////////
    /*      Range1 = 1 ppm To 1000 ppm      */
    /*                                          */
    ////////////////////////////////// Start Range 1 //////////////////////////////////

```

```

if(!input(pin_c0))
{dec=0;x=0;v=0;ppm=0;
  output_HIGH(pin_A0);
  while(!input(pin_c0))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{dec=0;x=0;v=0;ppm=0;
dec=read_adc();
x=(VREF1*(float)dec);
v=x+0.23935;
ppm=(35.646*exp(1.4021*v));//dec[0];
delay_ms(100);
Show_Range(ppm,ppm);
if (ppm<50)
{
while(ppm>50);
{
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,(msg3));
LCD_Command(0x0E);
output_low(pin_d6);
delay_ms(100);
output_high(pin_d6);
delay_ms(100);
Alam();
}
}
if (ppm>1001)
{
while(ppm<1001);
{lcd_gotoxy(0,1);
//printf(lcd_putc,(" Over Range '1' "));
lcd_gotoxy(9,2);
printf(lcd_putc,("1000 ppm"));
LCD_Command(0x0E);
output_low(pin_d7);
delay_ms(100);
output_high(pin_d7);
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

        delay_ms(100);
        Alam();
    }
}
if (ppm>2001)
{
    while(ppm<2001);
    {lcd_gotoxy(0,1);
    //printf(lcd_putc,(" Over Range '2' "));
    lcd_gotoxy(9,2);
    printf(lcd_putc,("2000 ppm "));
    LCD_Command(0x0E);
    output_low(pin_d5);
    delay_ms(100);
    output_high(pin_d5);
    delay_ms(100);
    Alam();
    }
}
}output_low(pin_A5);
}

////////// End Range 2 //////////
////////// Start Range 3 //////////
/* Rang3 = 2000 ppm To 3000 ppm */
/* */
////////// Start Range 3 //////////

```

```

if(!input(pin_c2))
{dec=0;x=0;v=0;ppm=0;
output_high(pin_E0);
while(!input(pin_c2))
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x=(VREF3*(float)dec);
v=x+2.87238;
ppm=(35.646*exp(1.4021*v));
delay_ms(100);
  Show_Range(ppm,ppm);
if (ppm<2001)
  {
  while(ppm>2001);
  {
  lcd_gotoxy(9,2);
  printf(lcd_putc,("2000 ppm"));
  LCD_Command(0x0E);
  output_low(pin_C6);
  delay_ms(100);
  output_high(pin_C6);
  delay_ms(100);
  Alam();
  }
  }
if (ppm>3001)
  {
  while(ppm<3001);
  {lcd_gotoxy(0,1);
  //printf(lcd_putc,(" Over Range '3' "));
  lcd_gotoxy(9,2);
  printf(lcd_putc,("3000 ppm "));
  LCD_Command(0x0E);
  output_low(pin_C7);
  delay_ms(100);
  output_high(pin_C7);
  delay_ms(100);
  Alam();
  }
  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
}output_low(pin_E0);
}
////////// End Range 3 //////////
////////// Start Range 4 //////////
/* Rang4 = 3000 ppm To 4000 ppm */
/* */
////////// Start Range 4 //////////

```

```

if(!input(pin_c3))
{dec=0;x=0;v=0;ppm=0;
output_high(pin_E1);
while(!input(pin_c3))
{
dec=read_adc();
x=(VREF3*(float)dec);
v=x+3.1616;
ppm=(35.646*exp(1.4021*v));
delay_ms(100);
Show_Range(ppm,ppm);
if (ppm<3001)
{
while(ppm>3001);
{
lcd_gotoxy(9,2);
printf(lcd_putc,("3000 ppm"));
LCD_Command(0x0E);
output_low(pin_c4);
delay_ms(100);
output_high(pin_c4);
delay_ms(100);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
if (ppm>4001)
{
    while(ppm<4001);
    {lcd_gotoxy(0,1);
        //printf(lcd_putc,(" Over Range '4' "));
        lcd_gotoxy(9,2);
        printf(lcd_putc,("4000 ppm "));
        LCD_Command(0x0E);
        output_low(pin_c5);
        delay_ms(100);
        output_high(pin_c5);
        delay_ms(100);
        Alam();
    }
}
}output_low(pin_E1);
}
////////// End Range 4 //////////
////////// Start Range 5 //////////
/* Rang5 = 4000 ppm To 5000 ppm */
/* */
////////// Start Range 5 //////////

```

```

if(!input(pin_d0))
{dec=0;x=0;v=0;ppm=0;
output_high(pin_E2);
while(!input(pin_d0))
{
    dec=read_adc();
    x=(VREF3*(float)dec);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ppm=(35.646*exp(1.4021*v));
delay_ms(100);
  Show_Range(ppm,ppm);
if (ppm<4001)
  {
  while(ppm>4001);
  {
  lcd_gotoxy(9,2);
  printf(lcd_putc,("4000 ppm"));
  LCD_Command(0x0E);
  output_low(pin_d2);
  delay_ms(100);
  output_high(pin_d2);
  delay_ms(100);
  Alam();
  }
  }
if (ppm>5001)
  {
  while(ppm<5001);
  {lcd_gotoxy(0,1);
  //printf(lcd_putc,(" Over Range '5' "));
  lcd_gotoxy(7,2);
  printf(lcd_putc,("5000 ppm "));
  LCD_Command(0x0E);
  output_low(pin_d3);
  delay_ms(100);
  output_high(pin_d3);
  delay_ms(100);
  Alam();
  }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

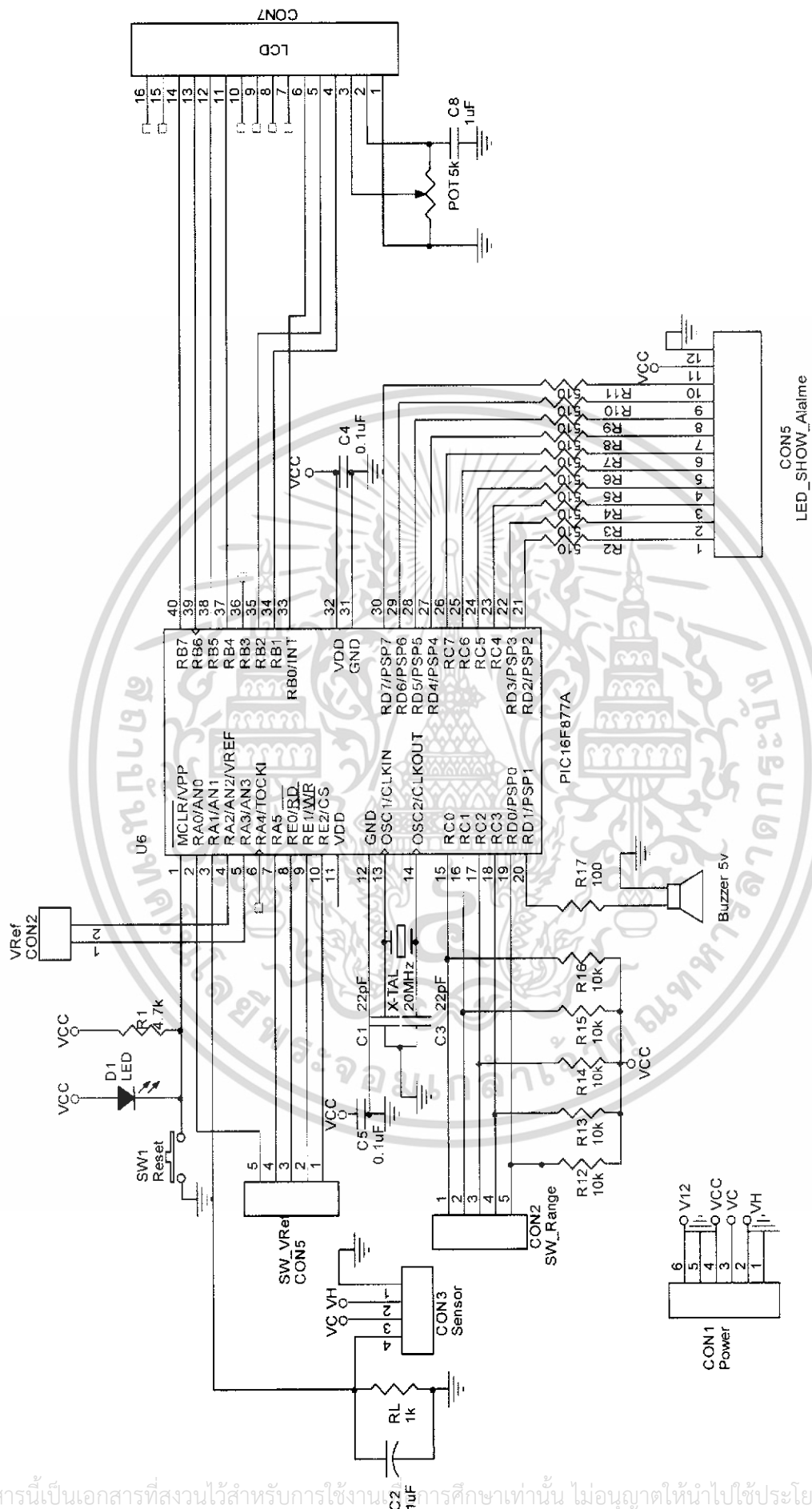
```

    }output_low(pin_E2);
}
////////// End Range 5 //////////
}
}
//////////
void main(void)
{
  lcd_init();
  LCD_Show();
  delay_ms(100);
  range();
}

```

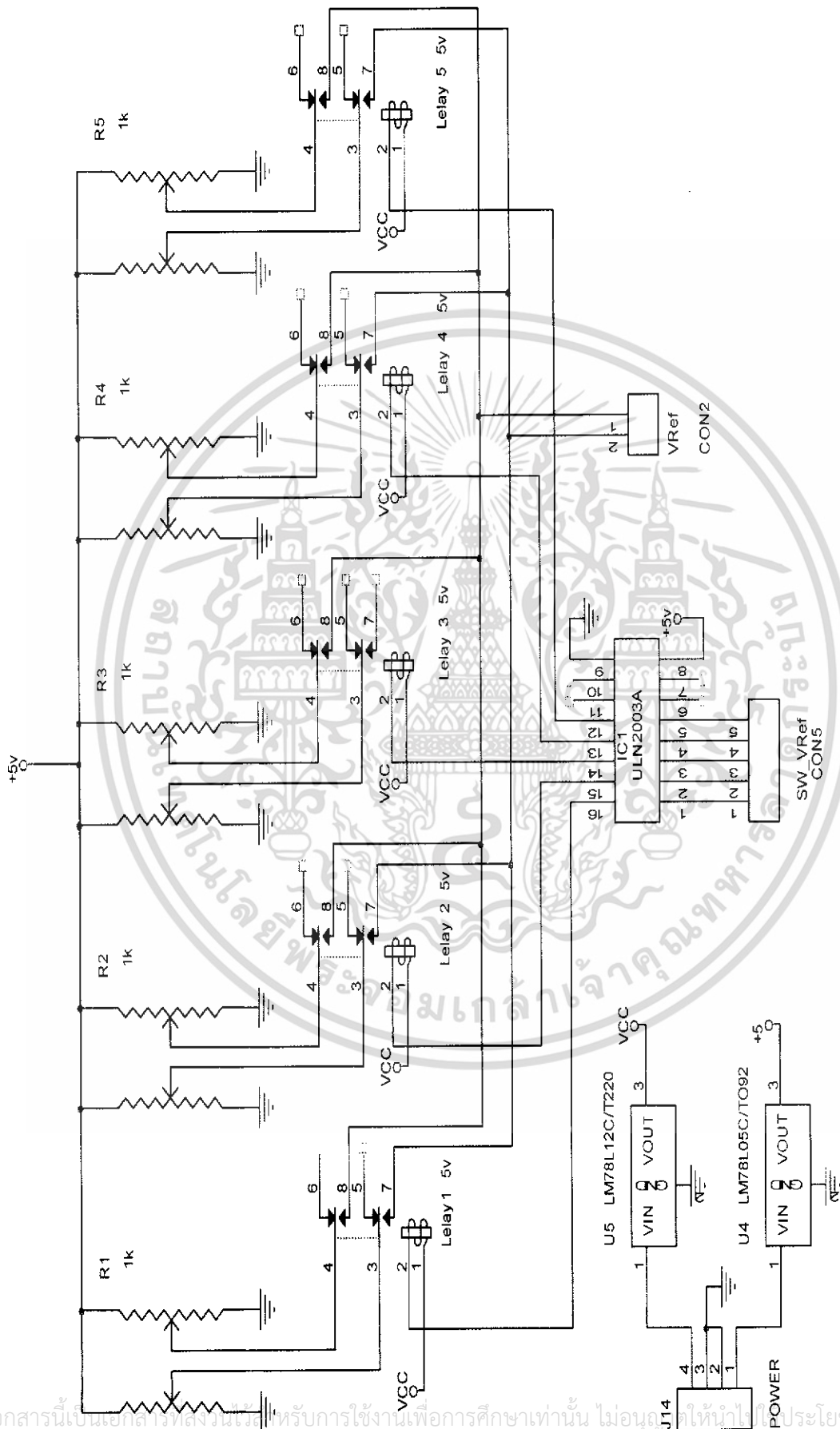


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



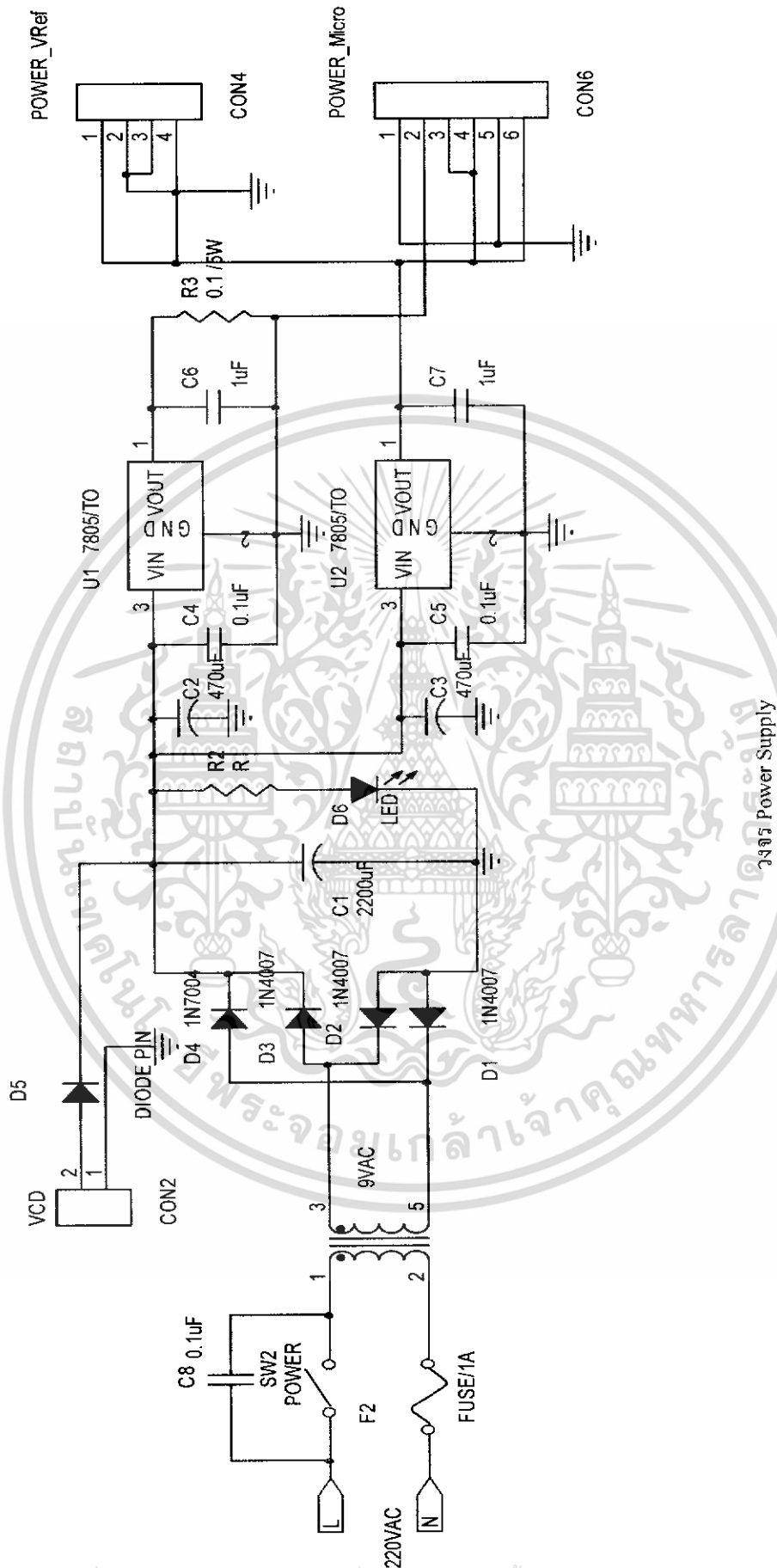
วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

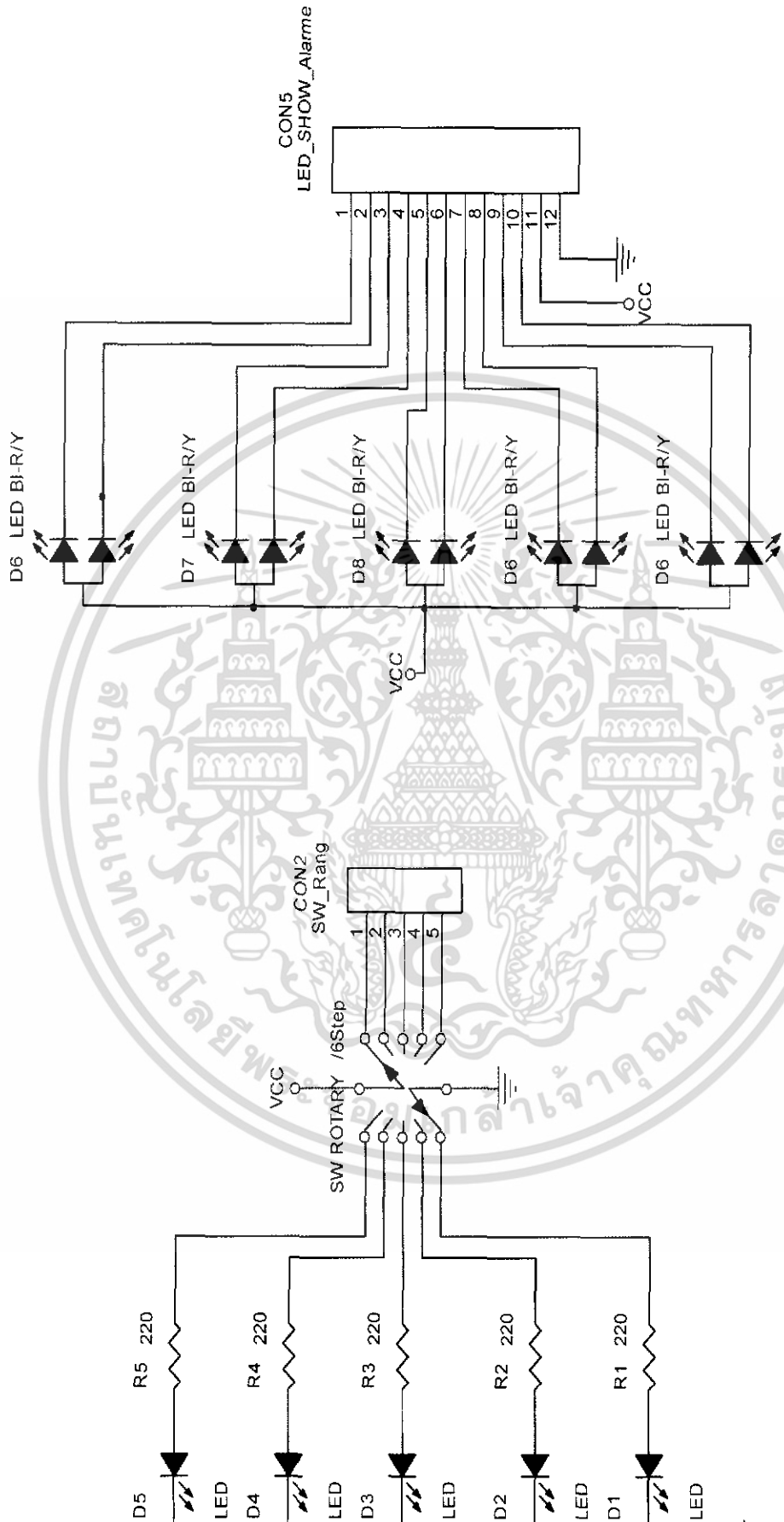


วงจรจ่ายแรงดันเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรมี LED Alarm

วงจรมี Range Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นเอกสารที่จำหน่ายภายใต้เงื่อนไขการรับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TGS 822 - for the detection of Organic Solvent Vapors

### Features:

- \* High sensitivity to organic solvent vapors such as ethanol
- \* High stability and reliability over a long period
- \* Long life and low cost
- \* Uses simple electrical circuit

### Applications:

- \* Breath alcohol detectors
- \* Gas leak detectors/alarms
- \* Solvent detectors for factories, dry cleaners, and semiconductor industries

The sensing element of Figaro gas sensors is a tin dioxide ( $\text{SnO}_2$ ) semiconductor which has low conductivity in clean air. In the presence of a detectable gas, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

The TGS 822 has high sensitivity to the vapors of organic solvents as well as other volatile vapors. It also has sensitivity to a variety of combustible gases such as carbon monoxide, making it a good general purpose sensor. Also available with a ceramic base which is highly resistant to severe environments as high as  $200^\circ\text{C}$  (model# TGS 823).



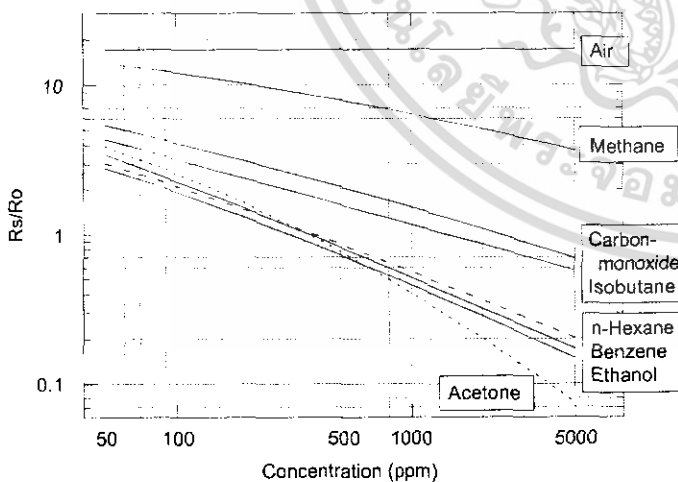
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* ( $R_s/R_o$ ) which is defined as follows:

- $R_s$  = Sensor resistance of displayed gases at various concentrations
- $R_o$  = Sensor resistance in 300ppm ethanol

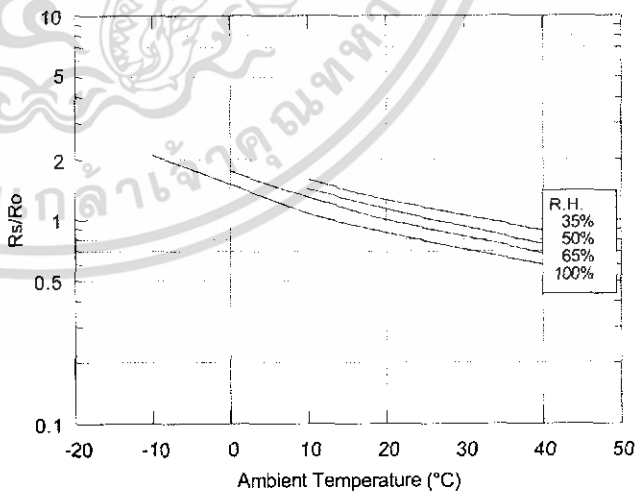
The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* ( $R_s/R_o$ ), defined as follows:

- $R_s$  = Sensor resistance at 300ppm of ethanol at various temperatures/humidities
- $R_o$  = Sensor resistance at 300ppm of ethanol at  $20^\circ\text{C}$  and 65% R.H.

### Sensitivity Characteristics:



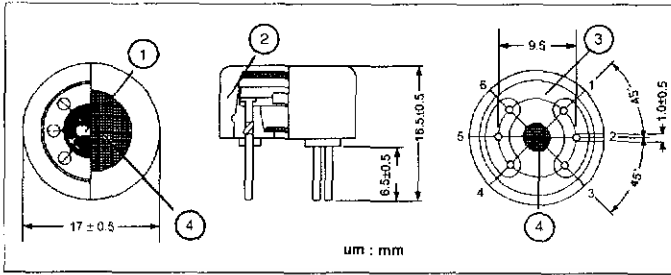
### Temperature/Humidity Dependency:



**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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Structure and Dimensions:**

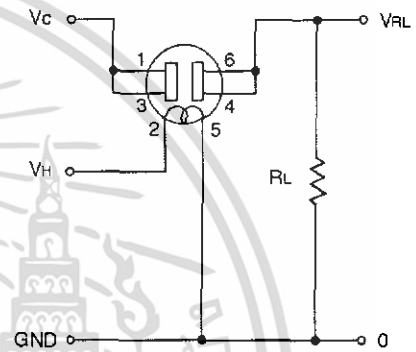


- ① Sensing Element:  
SnO<sub>2</sub> is sintered to form a thick film on the surface of an alumina ceramic tube which contains an internal heater.
- ② Cap:  
Nylon 66
- ③ Sensor Base:  
Nylon 66
- ④ Flame Arrestor:  
100 mesh SUS 316 double gauze

**Pin Connection and Basic Measuring Circuit:**

The numbers shown around the sensor symbol in the circuit diagram at the right correspond with the pin numbers shown in the sensor's structure drawing (above). When the sensor is connected as shown in the basic circuit, output across the Load Resistor (V<sub>RL</sub>) increases as the sensor's resistance (R<sub>s</sub>) decreases, depending on gas concentration.

**Basic Measuring Circuit:**



**Standard Circuit Conditions:**

Item	Symbol	Rated Values	Remarks
Heater Voltage	V <sub>H</sub>	5.0±0.2V	AC or DC
Circuit Voltage	V <sub>C</sub>	Max. 24V	DC only P <sub>s</sub> ≤15mW
Load Resistance	R <sub>L</sub>	Variable	0.45kΩ min.

**Electrical Characteristics:**

Item	Symbol	Condition	Specification
Sensor Resistance	R <sub>s</sub>	Ethanol at 300ppm/air	1kΩ - 10kΩ
Change Ratio of Sensor Resistance	R <sub>s</sub> /R <sub>0</sub>	R <sub>s</sub> (Ethanol at 300ppm/air) R <sub>s</sub> (Ethanol at 50ppm/air)	0.40 ± 0.10
Heater Resistance	R <sub>H</sub>	Room temperature	38.0 ± 3.0Ω
Heater Power Consumption	P <sub>H</sub>	V <sub>H</sub> =5.0V	660mW (typical)

**Standard Test Conditions:**

TGS 822 complies with the above electrical characteristics when the sensor is tested in standard conditions as specified below:

- Test Gas Conditions: 20°±2°C, 65±5%R.H.
- Circuit Conditions: V<sub>c</sub> = 10.0±0.1V (AC or DC),  
V<sub>H</sub> = 5.0±0.05V (AC or DC),  
R<sub>L</sub> = 10.0kΩ±1%

Preheating period before testing: More than 7 days

Sensor Resistance (R<sub>s</sub>) is calculated by the following formula:

$$R_s = \left( \frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L$$

Power dissipation across sensor electrodes (P<sub>s</sub>) is calculated by the following formula:

$$P_s = \frac{V_c^2 \times R_s}{(R_s + R_L)^2}$$

**FIGARO USA, INC.**  
3703 West Lake Ave. Suite 203  
Glenview, Illinois 60025  
Phone: (847)-832-1701  
Fax: (847)-832-1705  
email: figarousa@figarosensor.com

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc.



**MICROCHIP**

---

# **PIC16F87XA**

## **Data Sheet**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**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, KEELoC, 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.

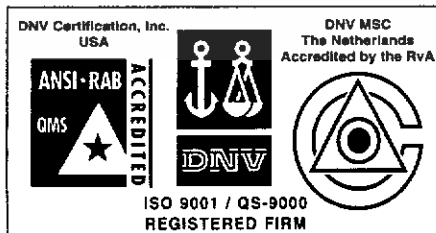
Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, 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, KEELoC® 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# PIC16F87XA

## 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:

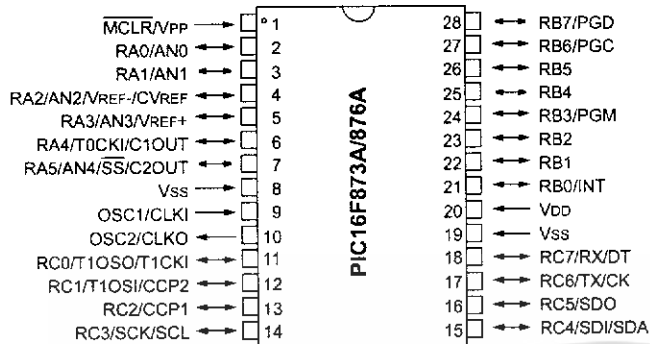
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

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

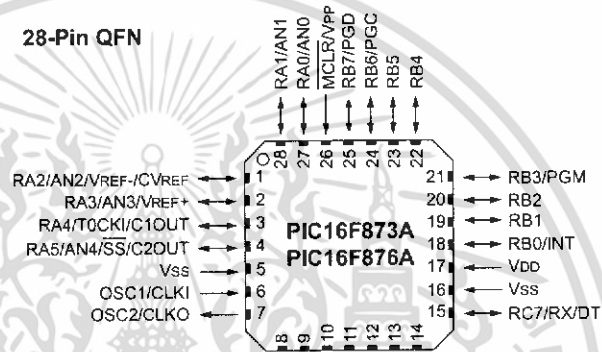
# PIC16F87XA

## Pin Diagrams

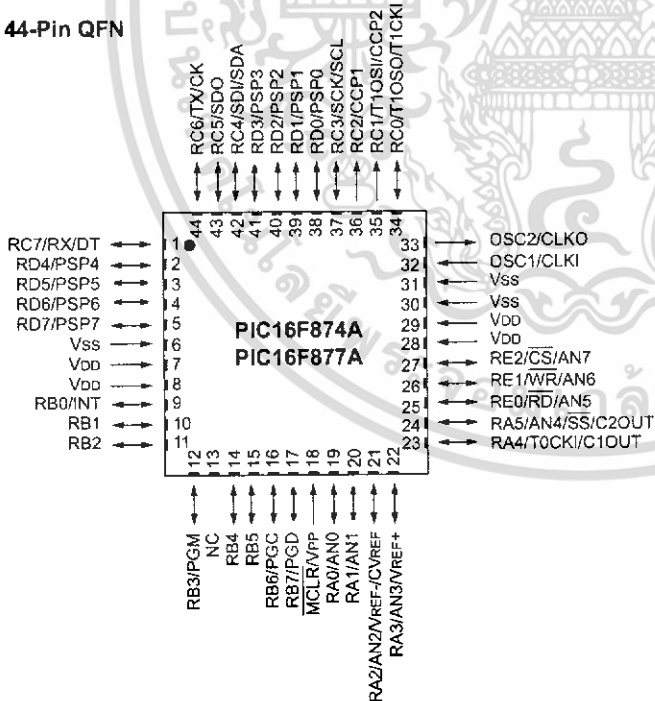
### 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



### 28-Pin QFN

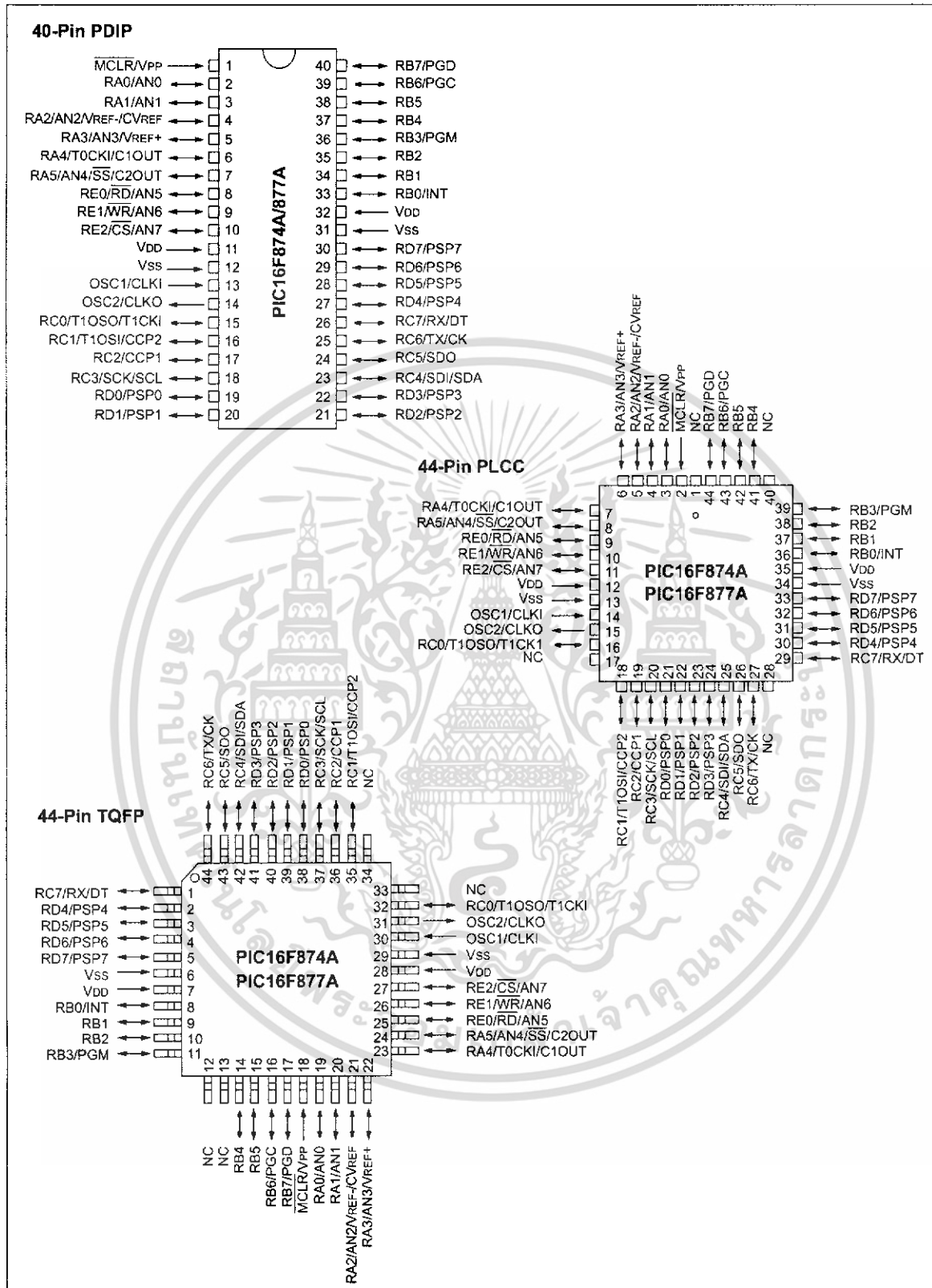


### 44-Pin QFN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin Diagrams (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

## Table of Contents

1.0	Device Overview.....	5
2.0	Memory Organization.....	15
3.0	Data EEPROM and Flash Program Memory.....	33
4.0	I/O Ports.....	41
5.0	Timer0 Module.....	53
6.0	Timer1 Module.....	57
7.0	Timer2 Module.....	61
8.0	Capture/Compare/PWM Modules.....	63
9.0	Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module.....	71
10.0	Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART).....	111
11.0	Analog-to-Digital Converter (A/D) Module.....	127
12.0	Comparator Module.....	135
13.0	Comparator Voltage Reference Module.....	141
14.0	Special Features of the CPU.....	143
15.0	Instruction Set Summary.....	159
16.0	Development Support.....	167
17.0	Electrical Characteristics.....	173
18.0	DC and AC Characteristics Graphs and Tables.....	197
19.0	Packaging Information.....	209
	Appendix A: Revision History.....	219
	Appendix B: Device Differences.....	219
	Appendix C: Conversion Considerations.....	220
	Index.....	221
	On-Line Support.....	229
	Systems Information and Upgrade Hot Line.....	229
	Reader Response.....	230
	PIC16F87XA Product Identification System.....	231

## TO OUR VALUED CUSTOMERS

It is our intention to provide our valued customers with the best documentation possible to ensure successful use of your Microchip products. To this end, we will continue to improve our publications to better suit your needs. Our publications will be refined and enhanced as new volumes and updates are introduced.

If you have any questions or comments regarding this publication, please contact the Marketing Communications Department via E-mail at [docerrors@mail.microchip.com](mailto:docerrors@mail.microchip.com) or fax the **Reader Response Form** in the back of this data sheet to (480) 792-4150. We welcome your feedback.

### Most Current Data Sheet

To obtain the most up-to-date version of this data sheet, please register at our Worldwide Web site at:

<http://www.microchip.com>

You can determine the version of a data sheet by examining its literature number found on the bottom outside corner of any page. The last character of the literature number is the version number, (e.g., DS30000A is version A of document DS30000).

### Errata

An errata sheet, describing minor operational differences from the data sheet and recommended workarounds, may exist for current devices. As device/documentation issues become known to us, we will publish an errata sheet. The errata will specify the revision of silicon and revision of document to which it applies.

To determine if an errata sheet exists for a particular device, please check with one of the following:

- Microchip's Worldwide Web site; <http://www.microchip.com>
- Your local Microchip sales office (see last page)
- The Microchip Corporate Literature Center; U.S. FAX: (480) 792-7277

When contacting a sales office or the literature center, please specify which device, revision of silicon and data sheet (include literature number) you are using.

### Customer Notification System

Register on our Web site at [www.microchip.com/cn](http://www.microchip.com/cn) to receive the most current information on all of our products.

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

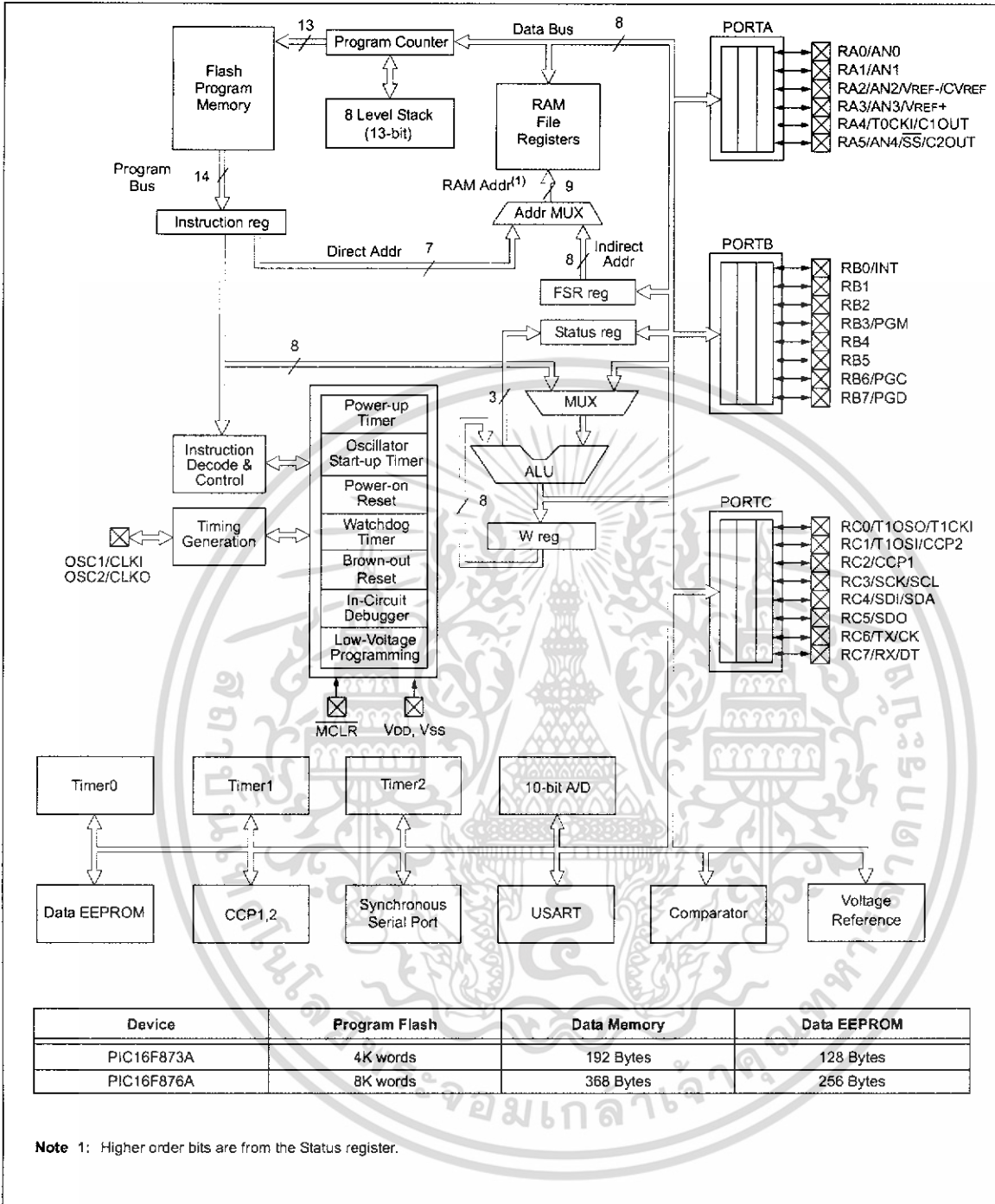
Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

**TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES**

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

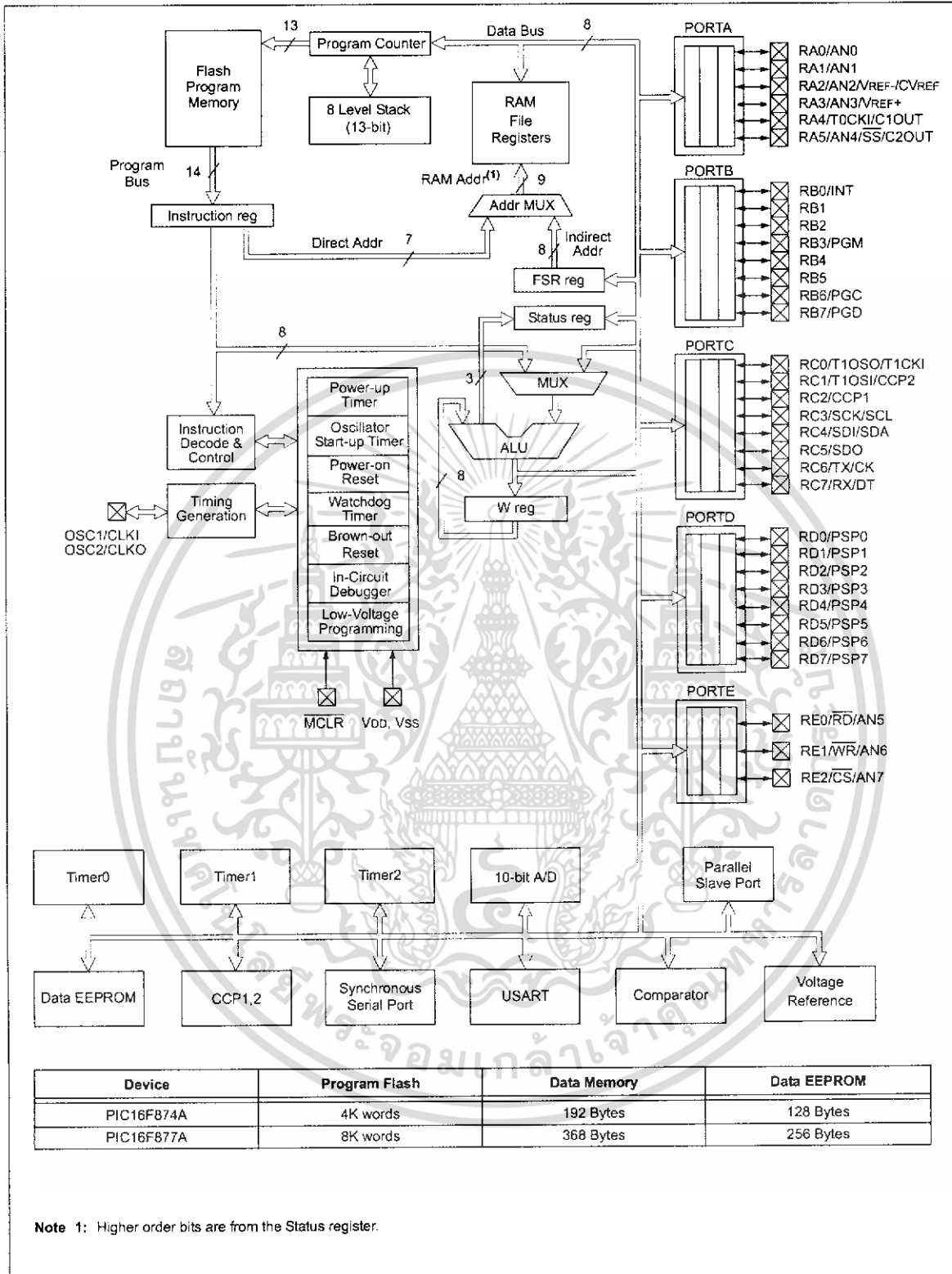
# PIC16F87XA

FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	9	6	I  I	ST/CMOS <sup>(3)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	10	7	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	26	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0  RA1/AN1 RA1 AN1  RA2/AN2/VREF-/ CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF  RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+  RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT  RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2   3   4   5   6   7	27   28   1   2   3   4	I/O I  I/O I  I/O I O  I/O I I O  I/O I I O	TTL   TTL   TTL   TTL   ST   TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.  Digital I/O. Analog input 1.  Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.  Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.  Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.  Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	21	18	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	22	19	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	23	20	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	24	21	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage (single-supply) ICSP programming enable pin.
RB4	25	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	26	23	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	27	24	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	25	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	8	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	12	9	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	10	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	11	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	12	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	13	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	14	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	15	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.
Vss	8, 19	5, 6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	17	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

**Legend:** I = input O = output I/O = input/output P = power  
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

**TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	13	14	30	32	I  I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	14	15	31	33	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	2	18	18	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0 RA1/AN1 RA1 AN1 RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+ RA4/T0CKI/C1OUT RA4  T0CKI C1OUT RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2   3   4   5   6   7	3   4   5   6   8	19   20   21   22   23   24	19   20   21   22   23   24	I/O I I/O I I/O I I O I/O I I O I/O I I I O	TTL   TTL   TTL   TTL   ST   TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.  Digital I/O. Analog input 1.  Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.  Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.  Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.  Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.  Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK  SCL	18	20	37	37	I/O I/O  I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
**Note 3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus.  Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5 RE0 RD AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTE is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6 RE1 WR AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7 RE2 CS AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
Vss	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

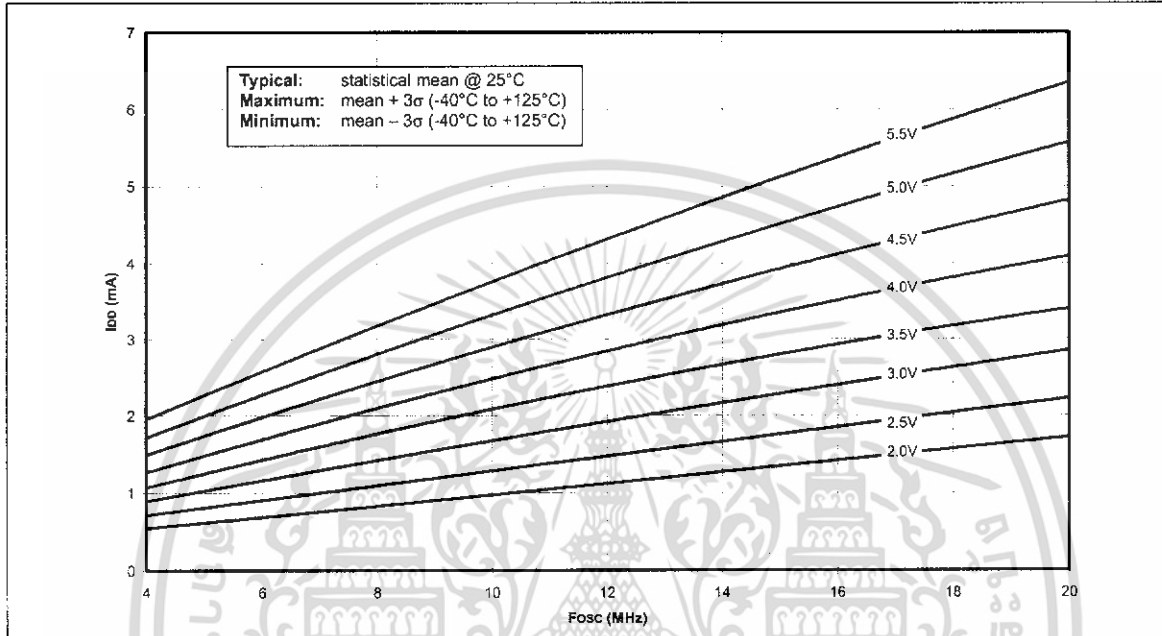
- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

## 18.0 DC AND AC CHARACTERISTICS GRAPHS AND TABLES

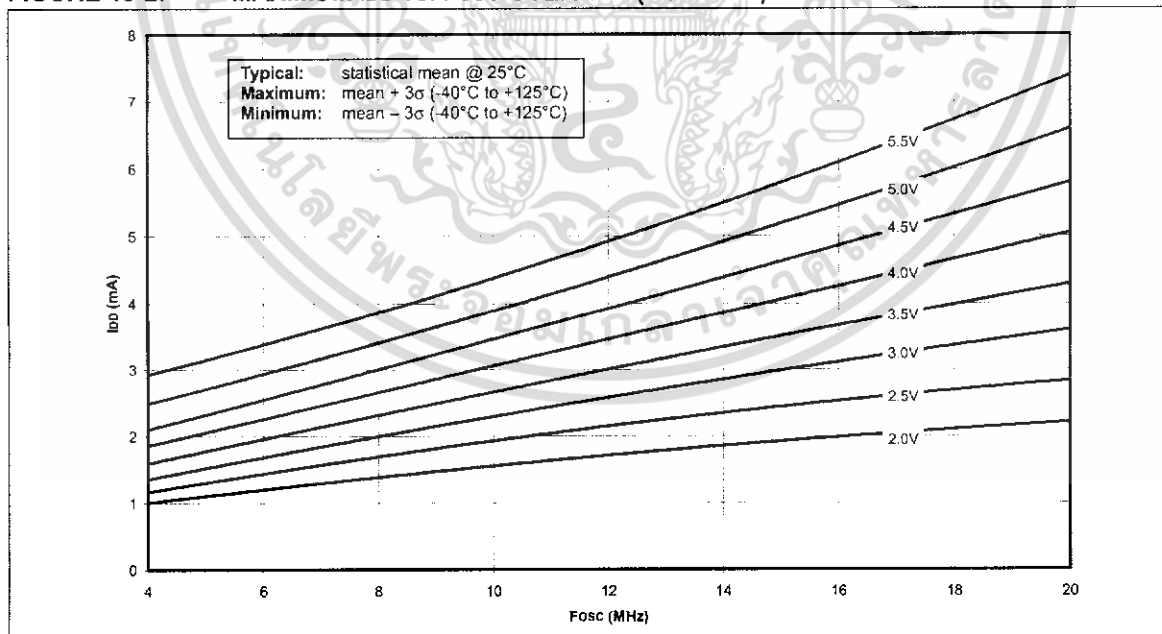
**Note:** The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore, outside the warranted range.

"Typical" represents the mean of the distribution at 25°C. "Maximum" or "minimum" represents (mean + 3σ) or (mean - 3σ) respectively, where σ is a standard deviation, over the whole temperature range.

**FIGURE 18-1: TYPICAL I<sub>DD</sub> vs. Fosc OVER V<sub>DD</sub> (HS MODE)**



**FIGURE 18-2: MAXIMUM I<sub>DD</sub> vs. Fosc OVER V<sub>DD</sub> (HS MODE)**



# PIC16F87XA

FIGURE 18-3: TYPICAL  $I_{DD}$  vs.  $F_{osc}$  OVER  $V_{DD}$  (XT MODE)

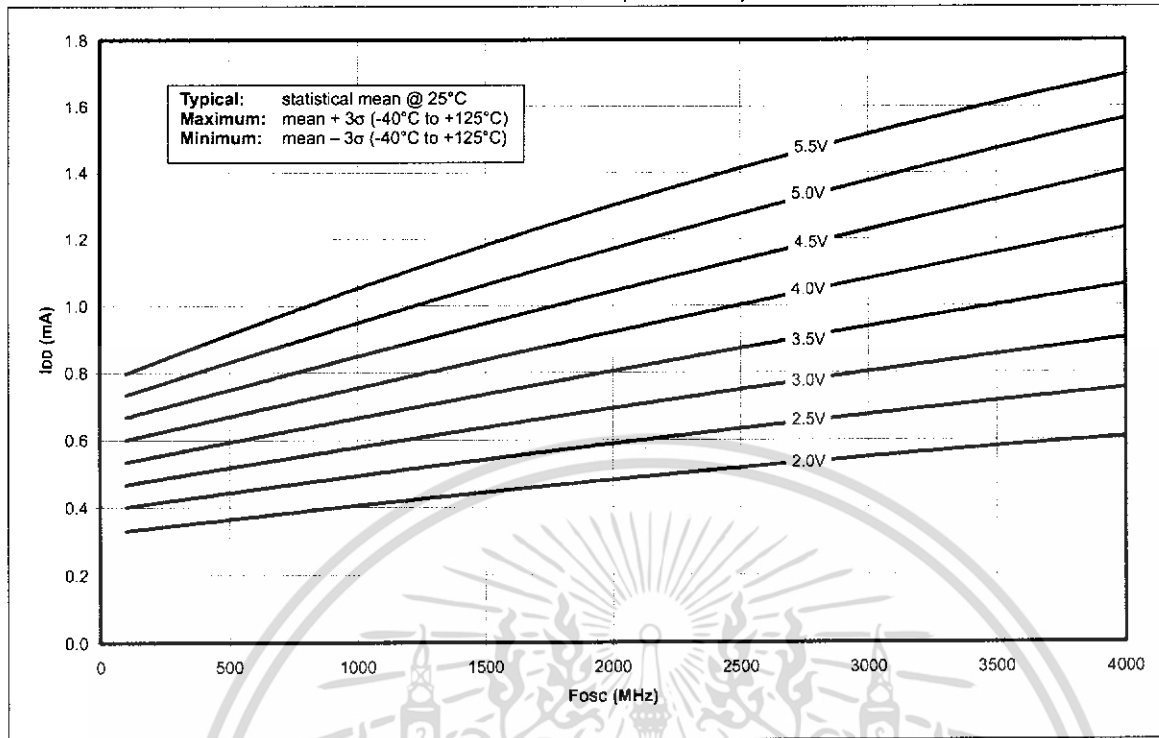
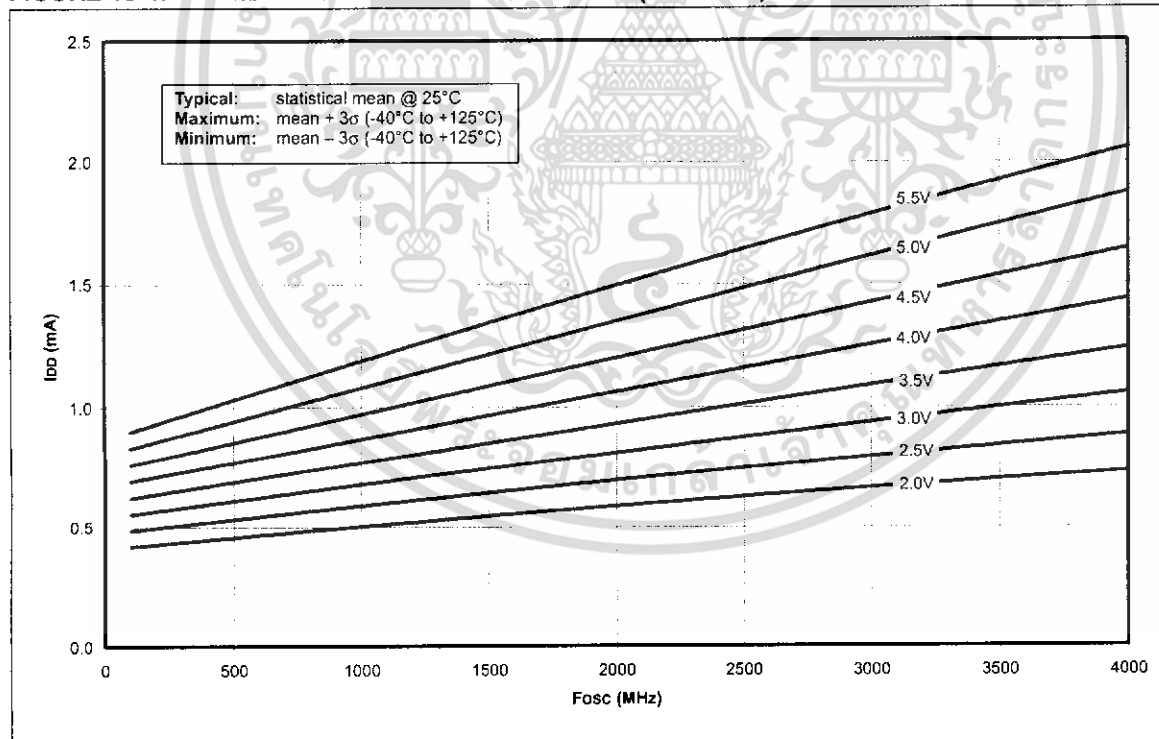
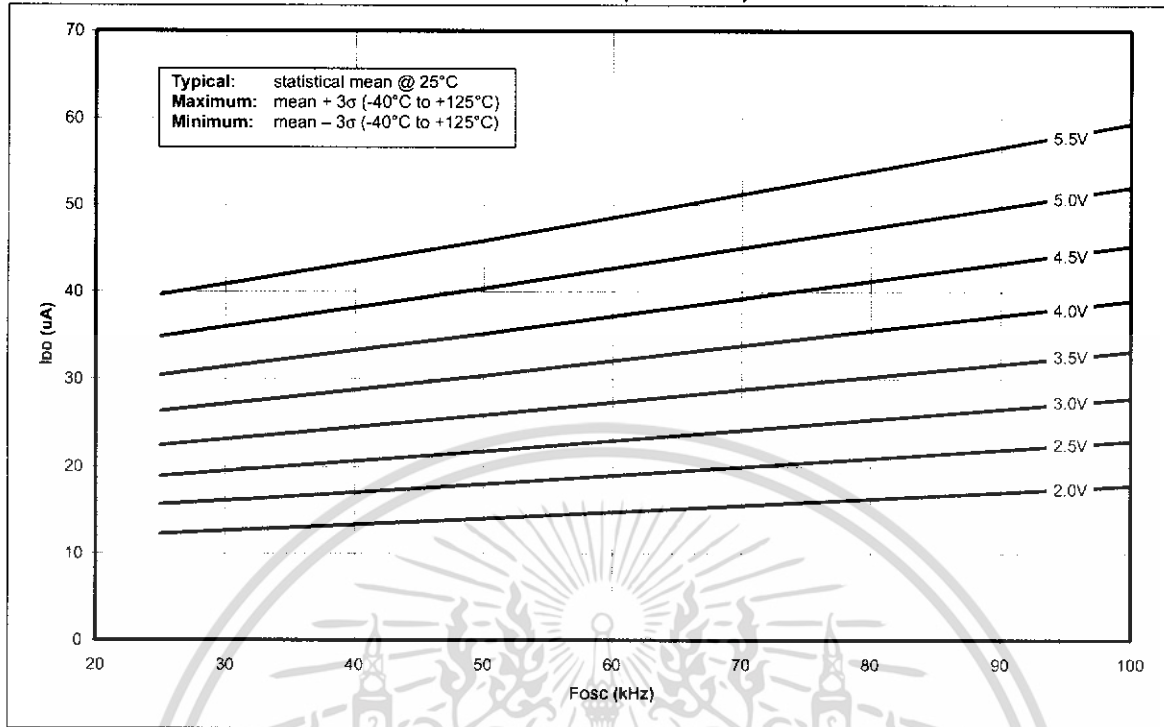


FIGURE 18-4: MAXIMUM  $I_{DD}$  vs.  $F_{osc}$  OVER  $V_{DD}$  (XT MODE)

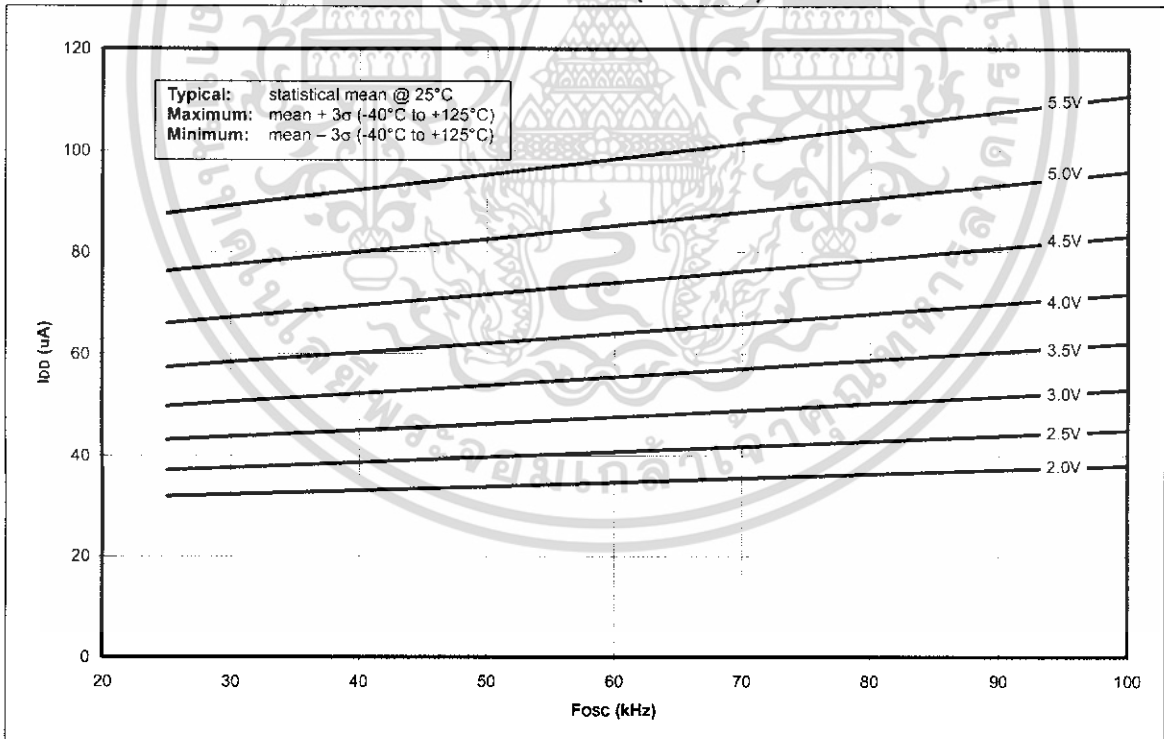


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 18-5: TYPICAL  $I_{DD}$  vs.  $F_{OSC}$  OVER  $V_{DD}$  (LP MODE)**



**FIGURE 18-6: MAXIMUM  $I_{DD}$  vs.  $F_{OSC}$  OVER  $V_{DD}$  (LP MODE)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

FIGURE 18-7: AVERAGE  $F_{osc}$  vs.  $V_{DD}$  FOR VARIOUS VALUES OF R (RC MODE,  $C = 20$  pF,  $+25^{\circ}\text{C}$ )

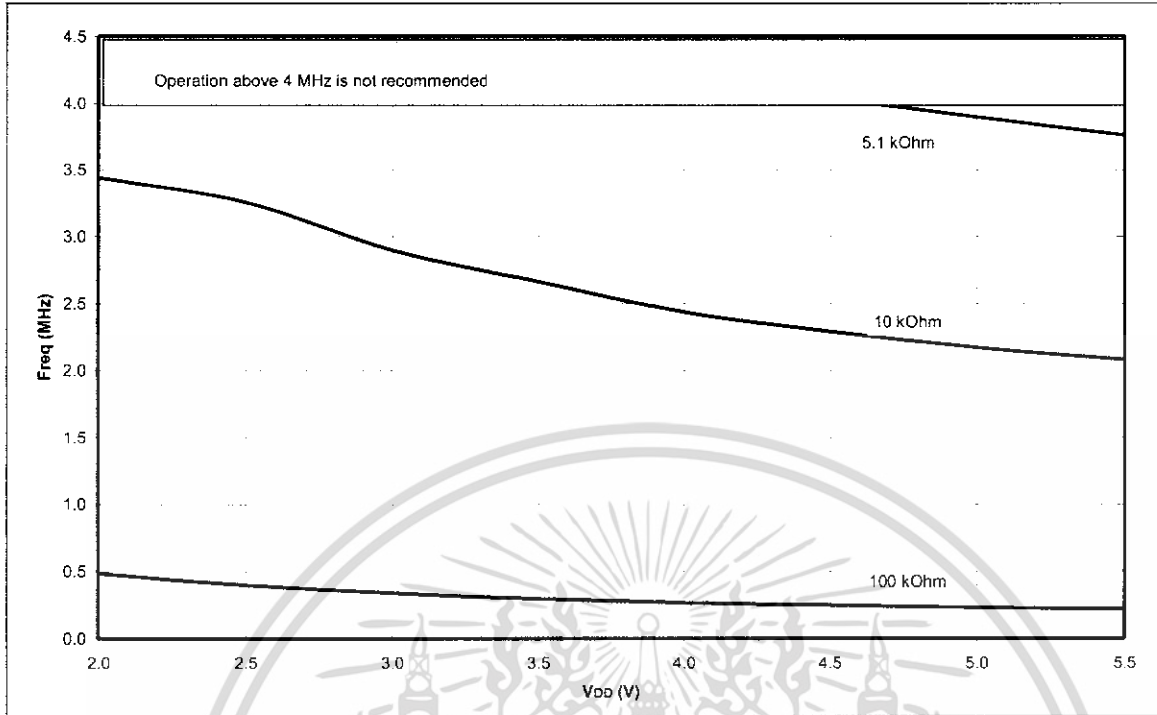
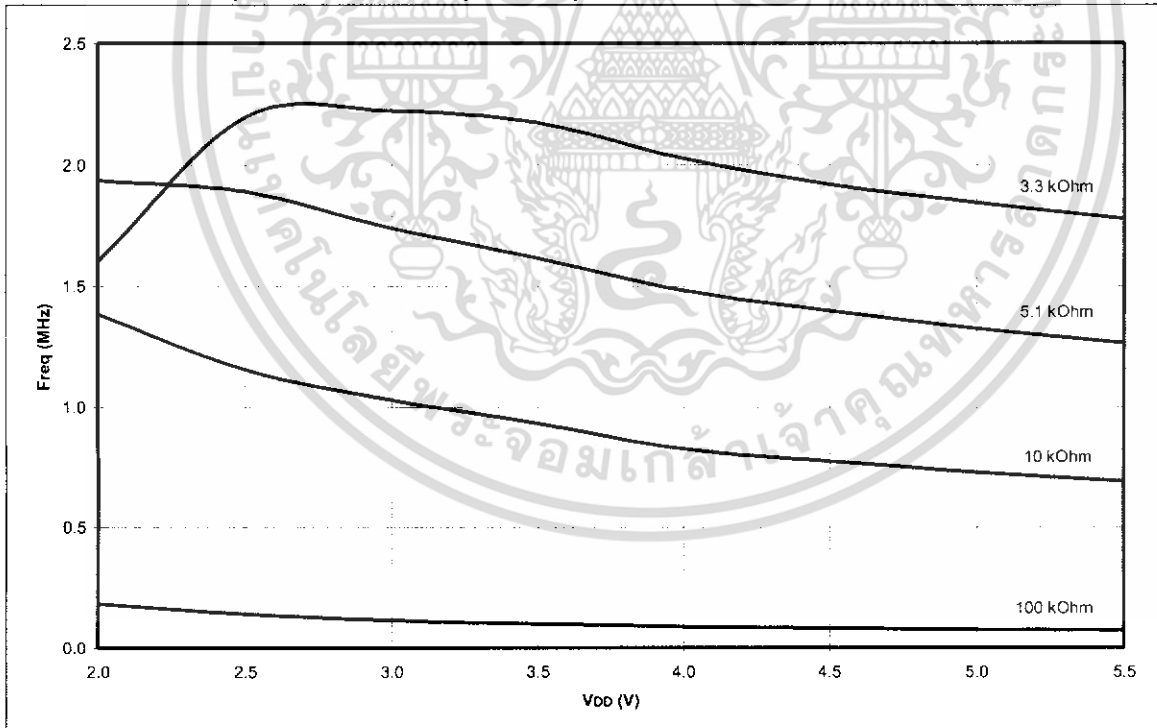
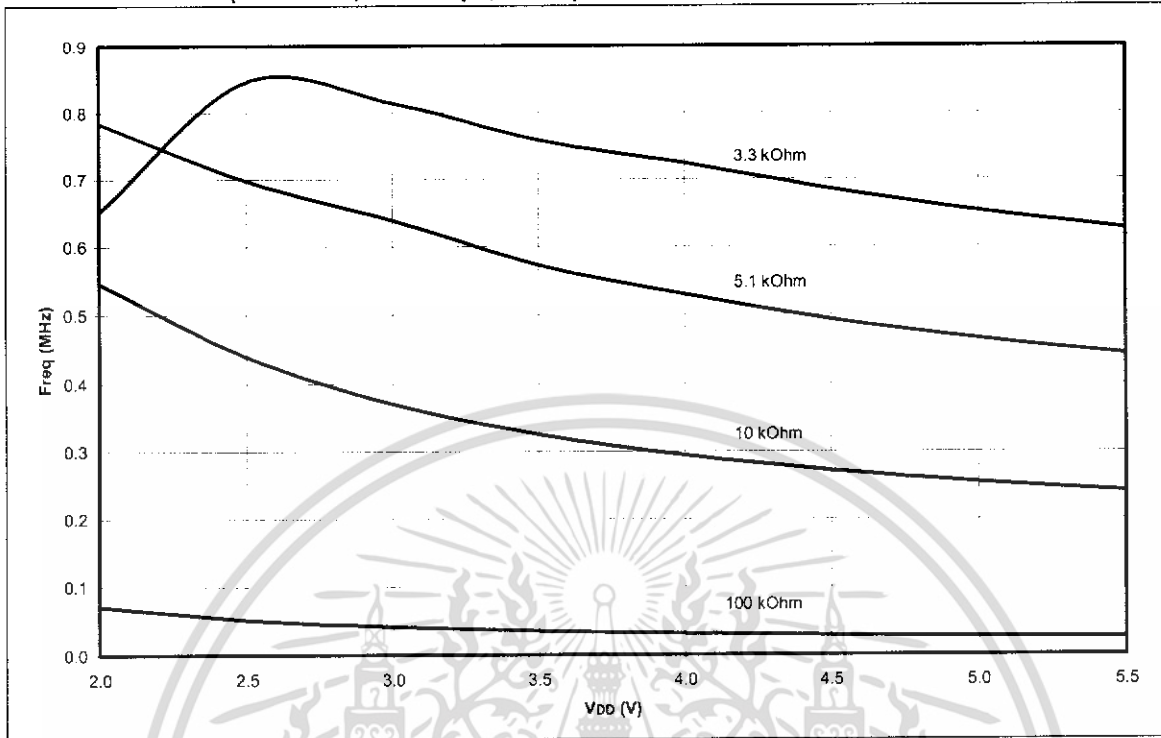


FIGURE 18-8: AVERAGE  $F_{osc}$  vs.  $V_{DD}$  FOR VARIOUS VALUES OF R (RC MODE,  $C = 100$  pF,  $+25^{\circ}\text{C}$ )

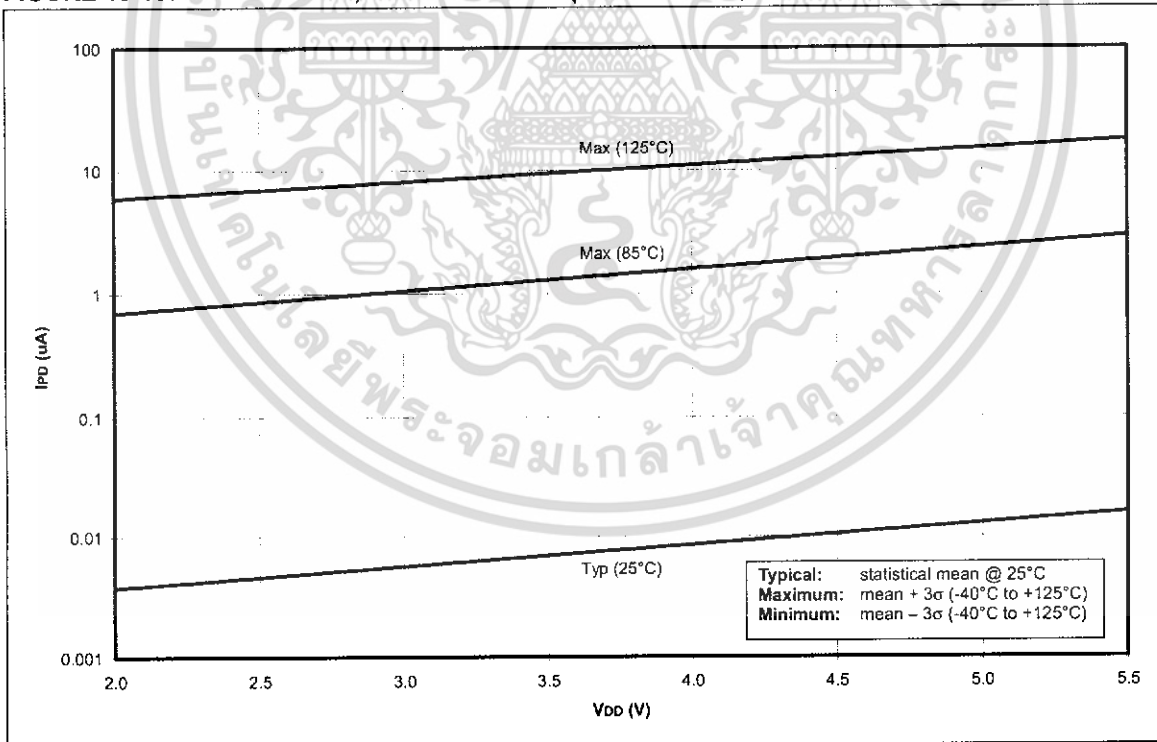


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 18-9: AVERAGE Fosc vs. VDD FOR VARIOUS VALUES OF R (RC MODE, C = 300 pF, +25°C)**



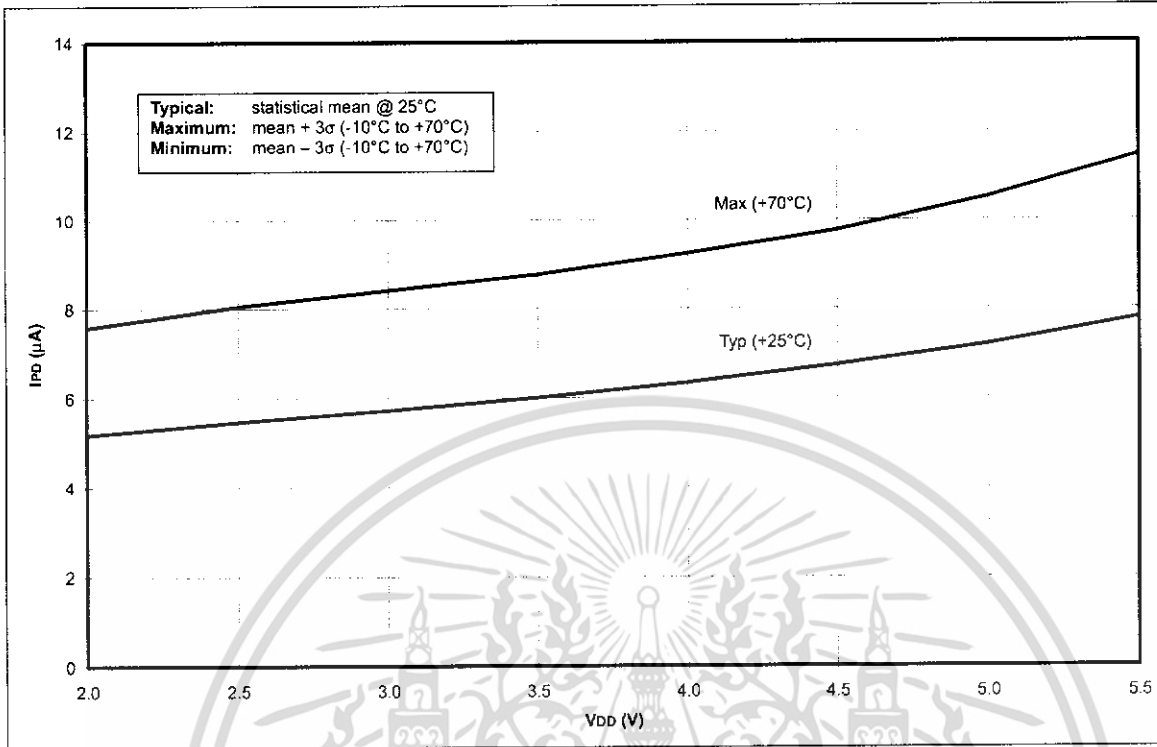
**FIGURE 18-10: IPD vs. VDD, -40°C TO +125°C (SLEEP MODE, ALL PERIPHERALS DISABLED)**



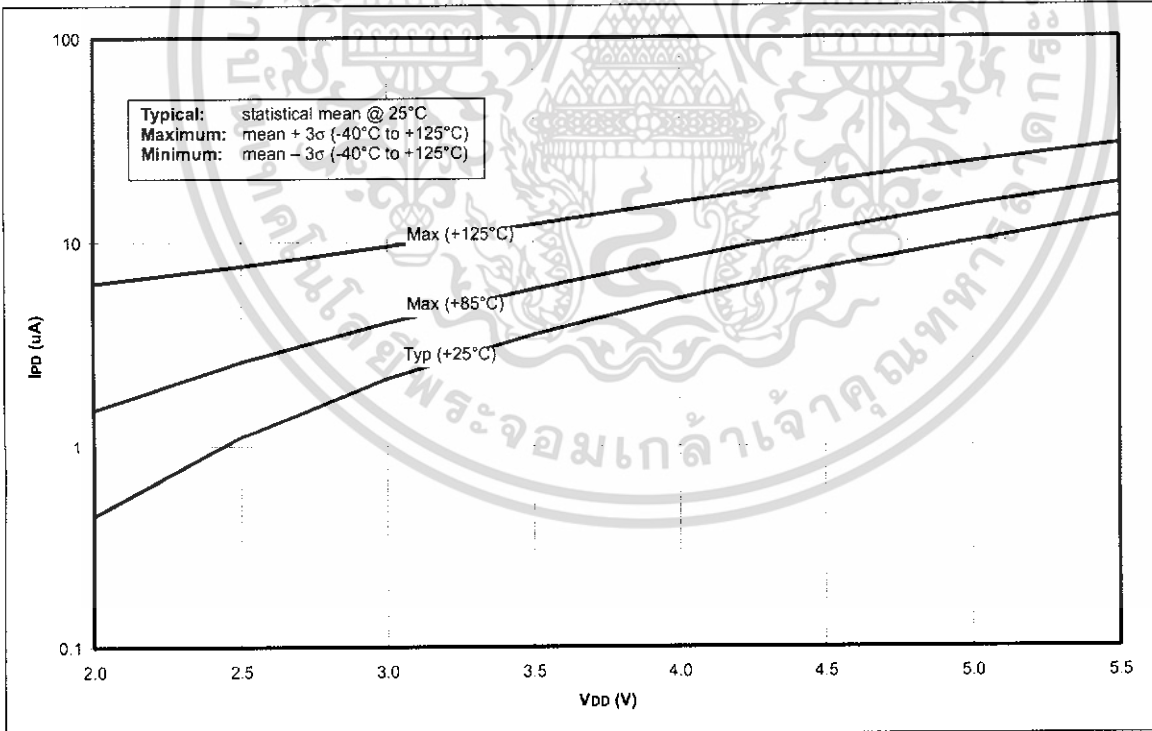
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87XA

**FIGURE 18-11: TYPICAL AND MAXIMUM  $\Delta I_{TMR1}$  vs.  $V_{DD}$  OVER TEMPERATURE (-10°C TO +70°C, TIMER1 WITH OSCILLATOR, XTAL = 32 kHz, C1 AND C2 = 47 pF)**

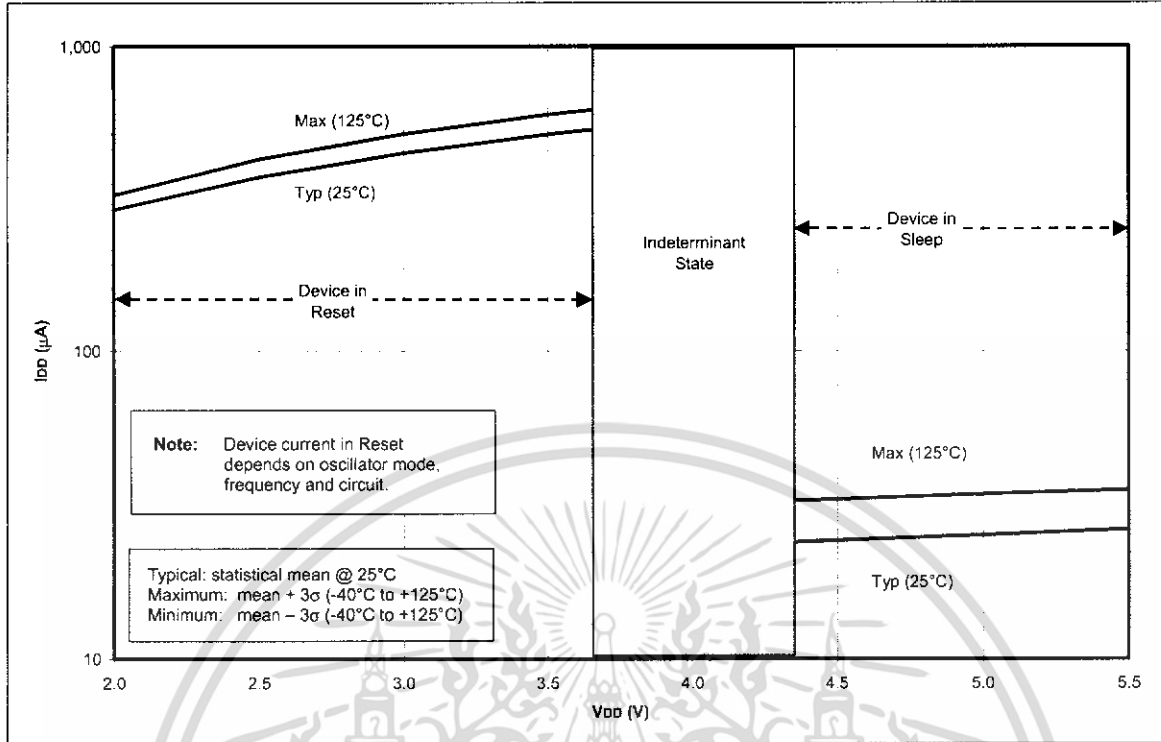


**FIGURE 18-12: TYPICAL AND MAXIMUM  $\Delta I_{WDT}$  vs.  $V_{DD}$  OVER TEMPERATURE (WDT ENABLED)**

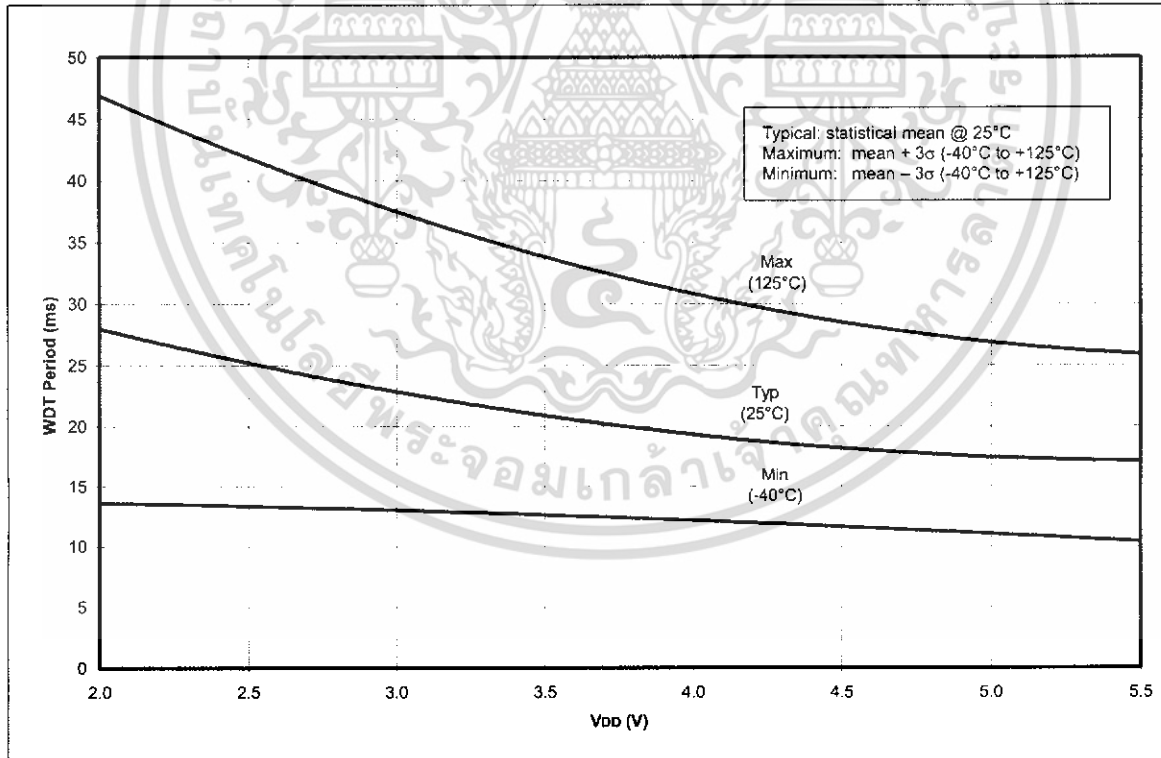


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 18-13:  $\Delta I_{BOR}$  vs.  $V_{DD}$  OVER TEMPERATURE**



**FIGURE 18-14: TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM WDT PERIOD vs.  $V_{DD}$  (-40°C TO +125°C)**



# PIC16F87XA

FIGURE 18-15: AVERAGE WDT PERIOD vs. VDD OVER TEMPERATURE (-40°C TO +125°C)

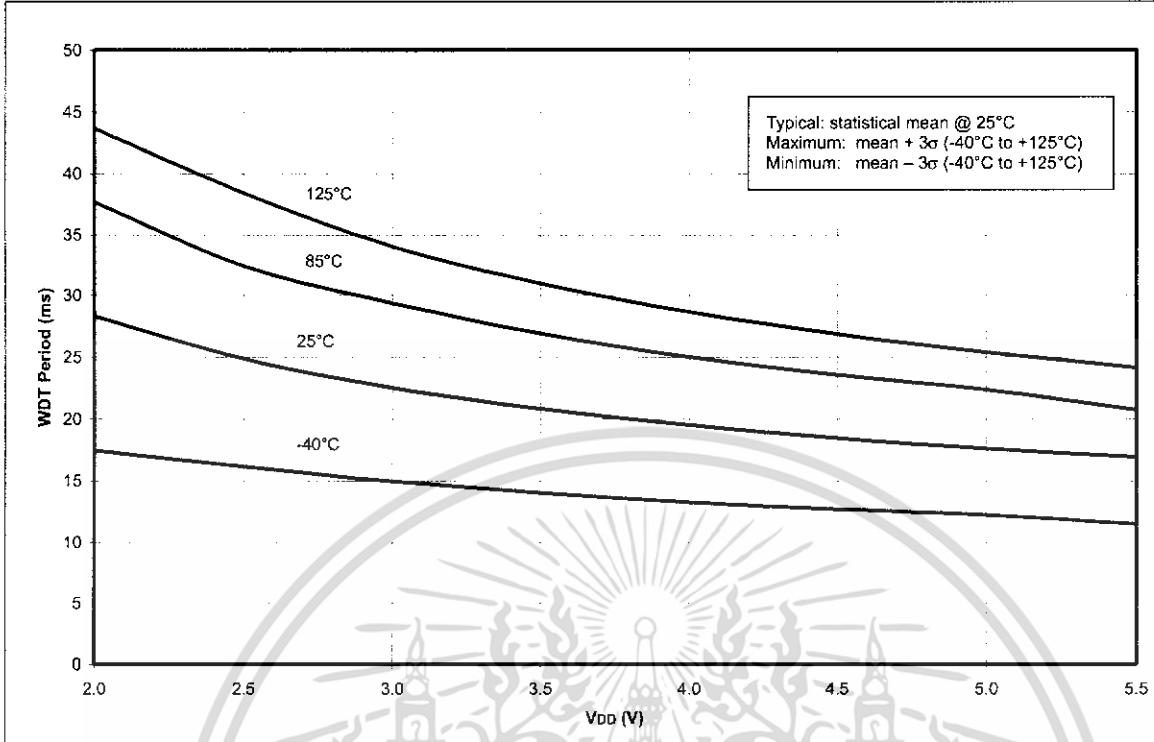
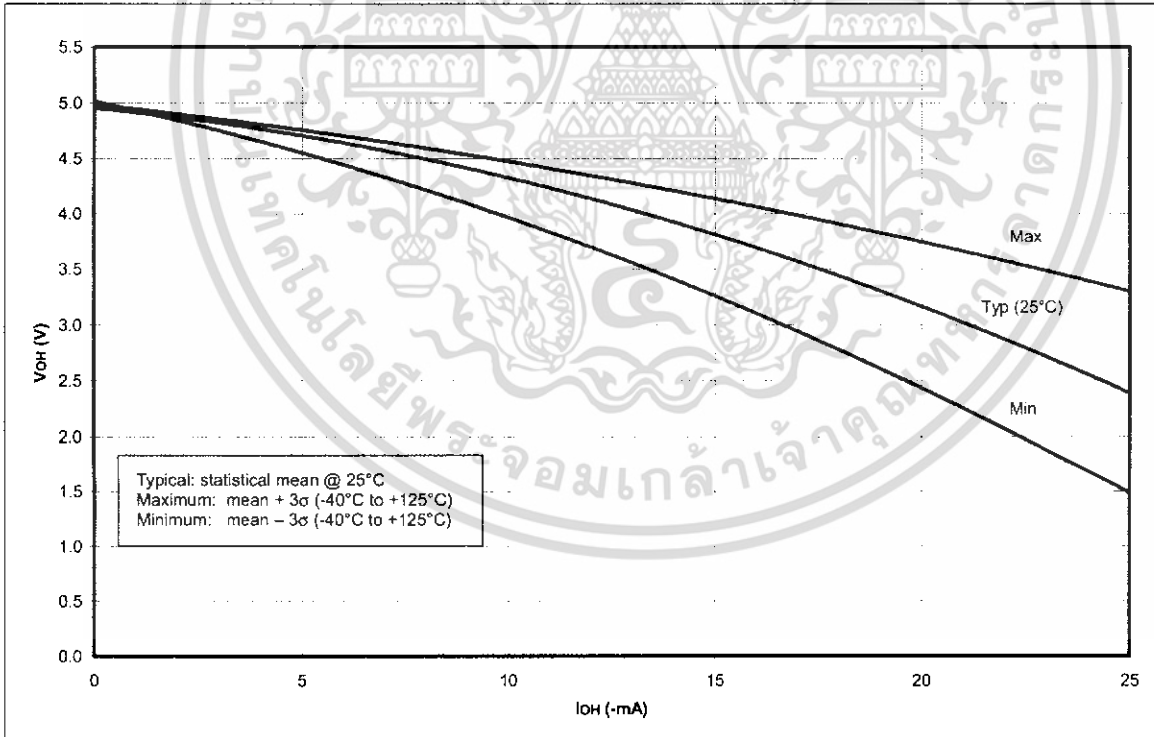
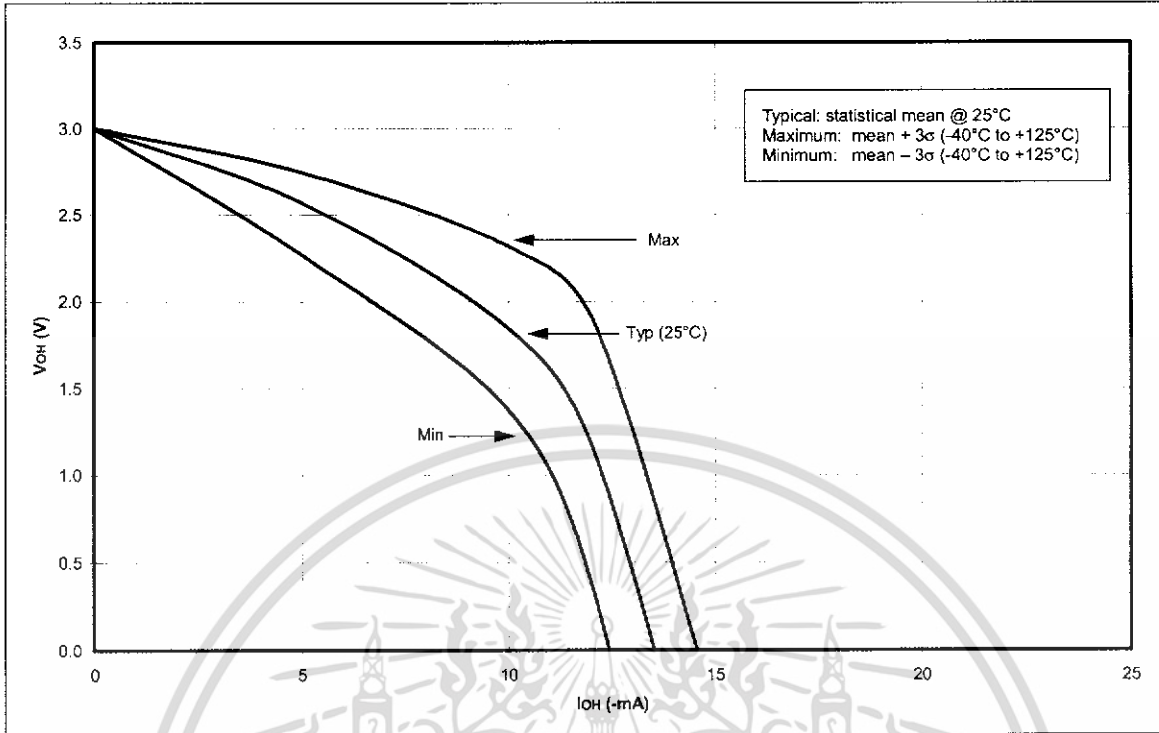


FIGURE 18-16: TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM VOH vs. IOH (VDD = 5V, -40°C TO +125°C)

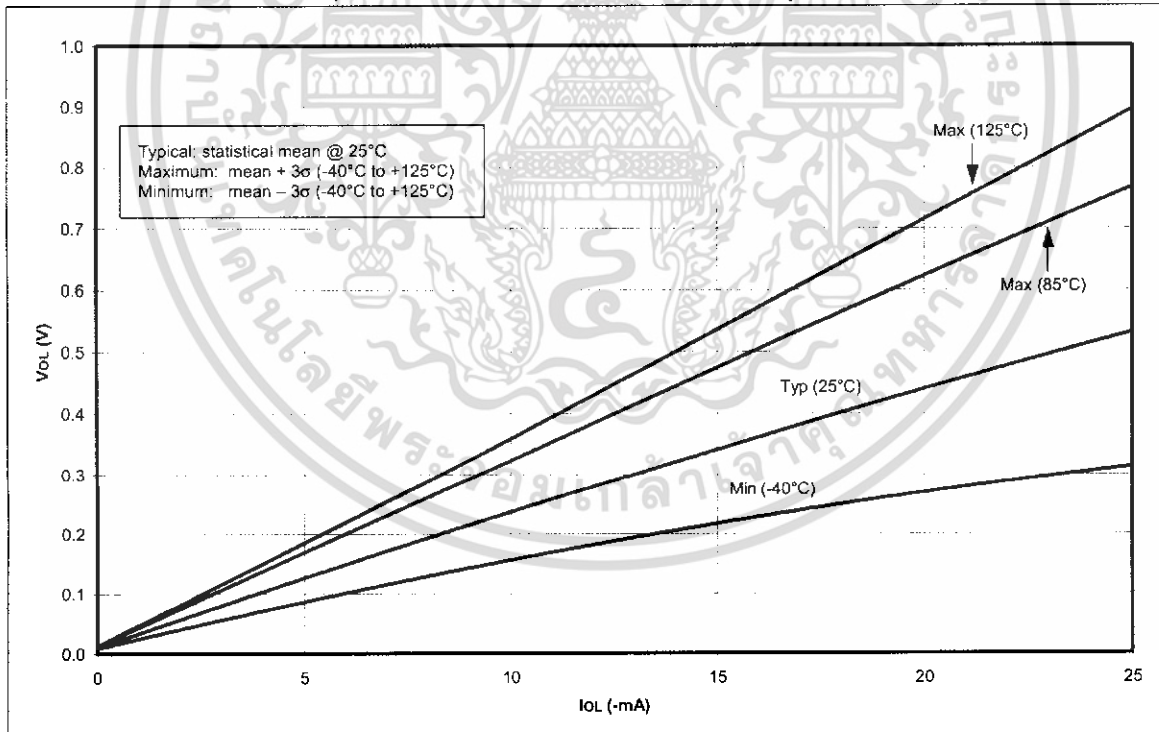


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 18-17: TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM  $V_{OH}$  vs.  $I_{OH}$  ( $V_{DD} = 3V$ ,  $-40^{\circ}C$  TO  $+125^{\circ}C$ )**



**FIGURE 18-18: TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM  $V_{OL}$  vs.  $I_{OL}$  ( $V_{DD} = 5V$ ,  $-40^{\circ}C$  TO  $+125^{\circ}C$ )**



# PIC16F87XA

FIGURE 18-19: TYPICAL, MINIMUM AND MAXIMUM  $V_{OL}$  vs.  $I_{OL}$  ( $V_{DD} = 3V$ ,  $-40^{\circ}C$  TO  $+125^{\circ}C$ )

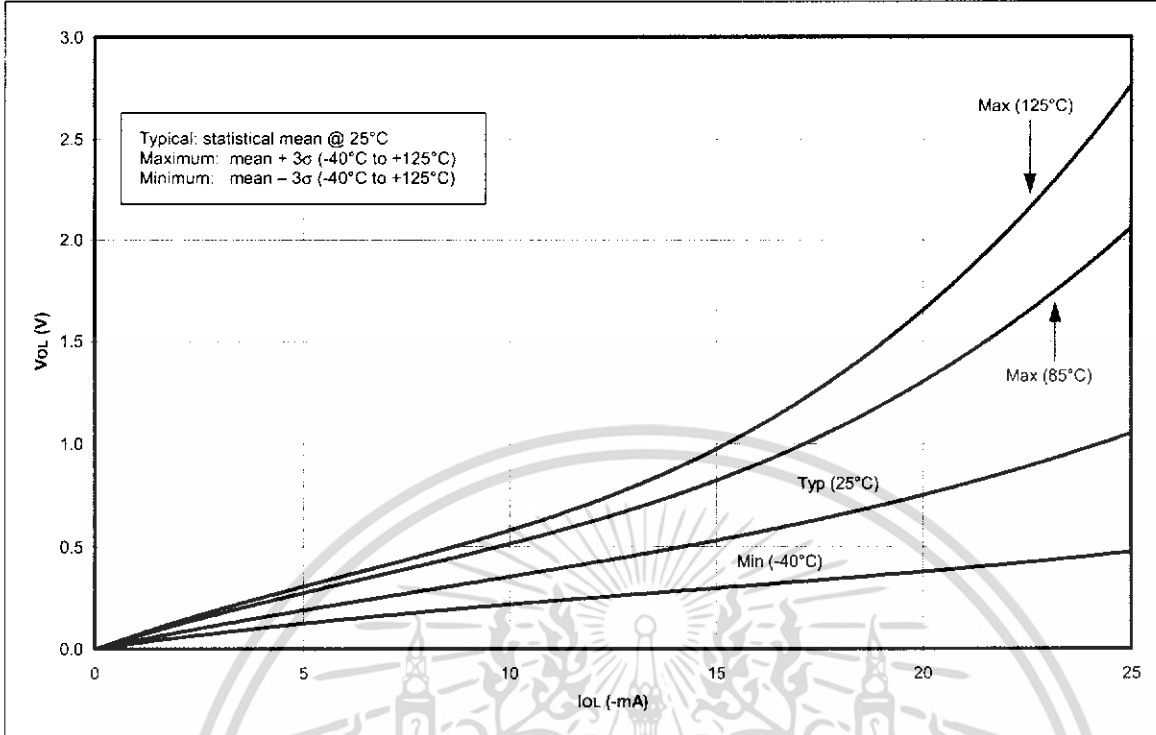
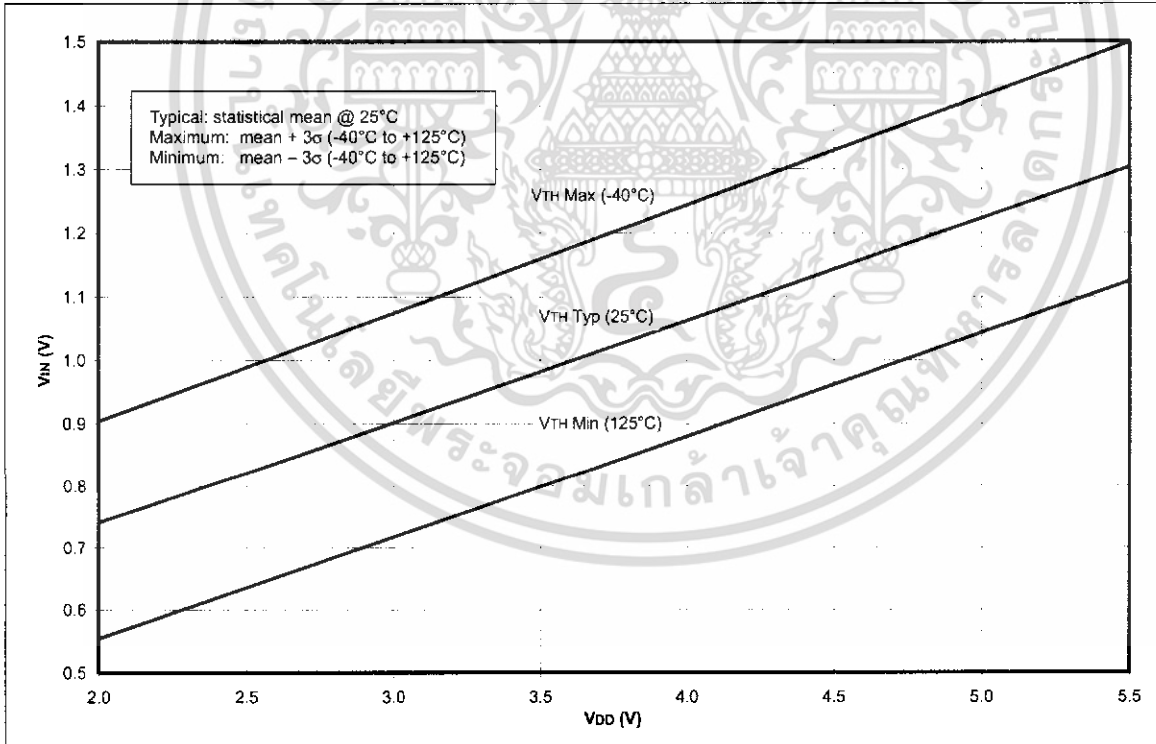
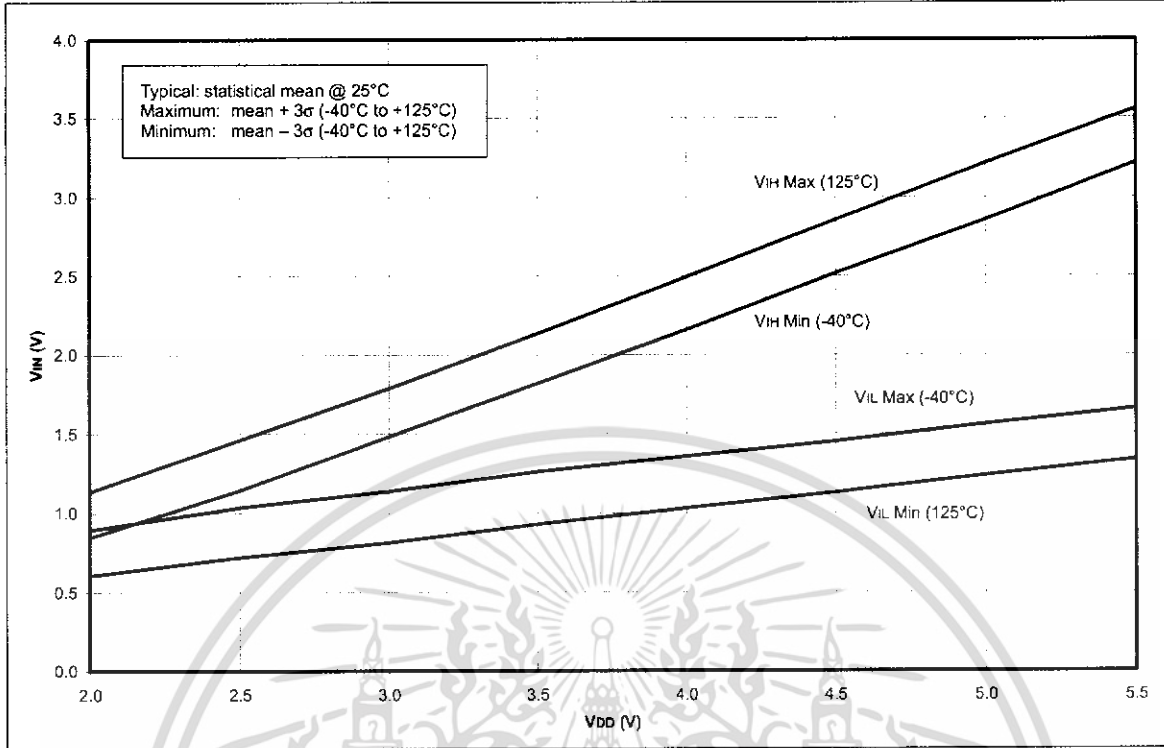


FIGURE 18-20: MINIMUM AND MAXIMUM  $V_{IN}$  vs.  $V_{DD}$  (TTL INPUT,  $-40^{\circ}C$  TO  $+125^{\circ}C$ )

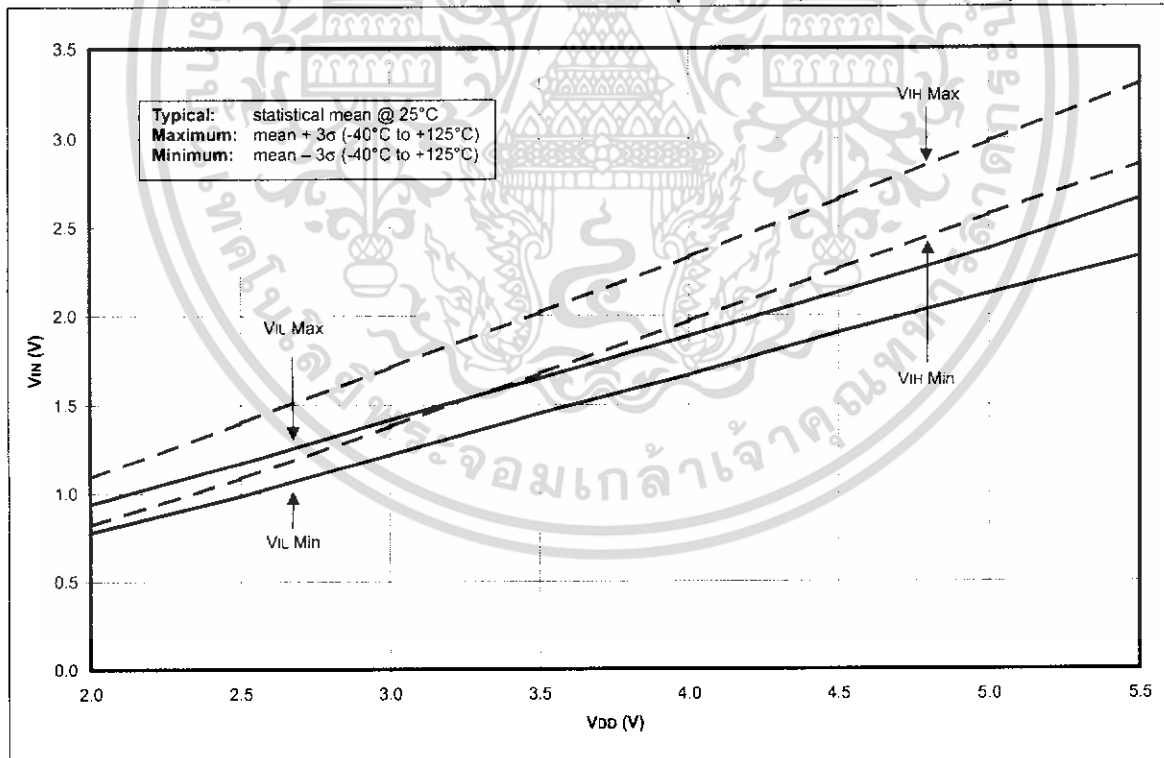


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 18-21: MINIMUM AND MAXIMUM VIN vs. VDD (ST INPUT, -40°C TO +125°C)**



**FIGURE 18-22: MINIMUM AND MAXIMUM VIN vs. VDD (I<sup>2</sup>C INPUT, -40°C TO +125°C)**



# PIC16F87XA

FIGURE 18-23: A/D NONLINEARITY vs. VREFH (VDD = VREFH, -40°C TO +125°C)

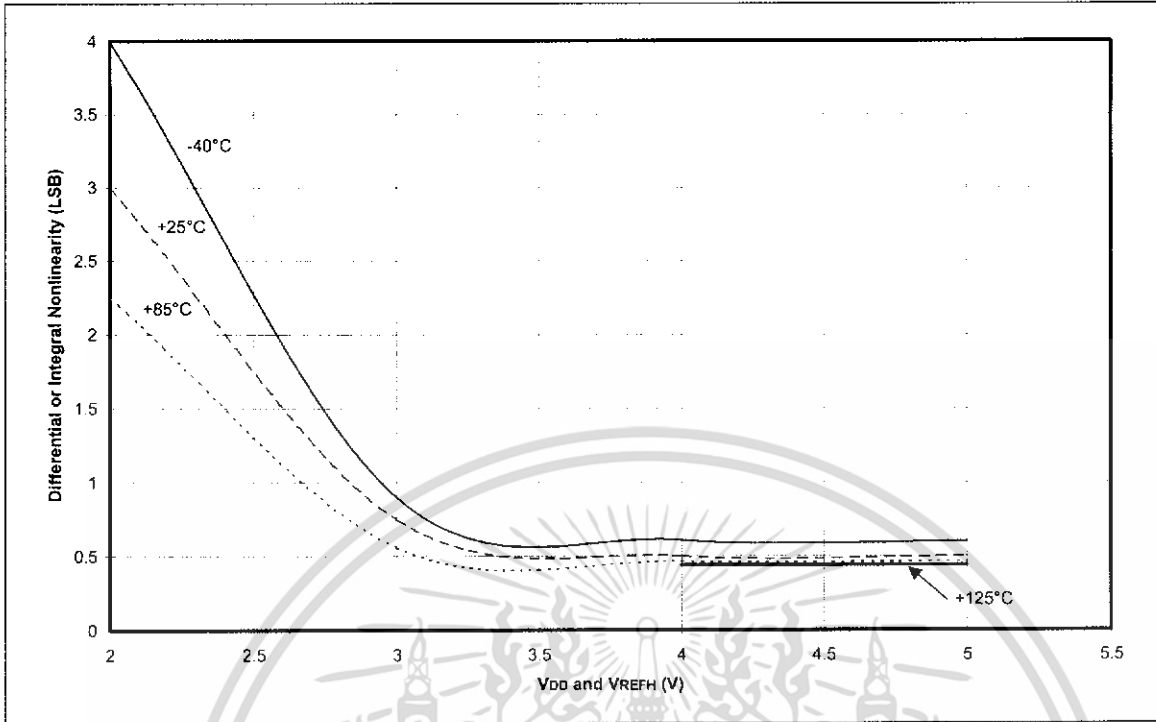
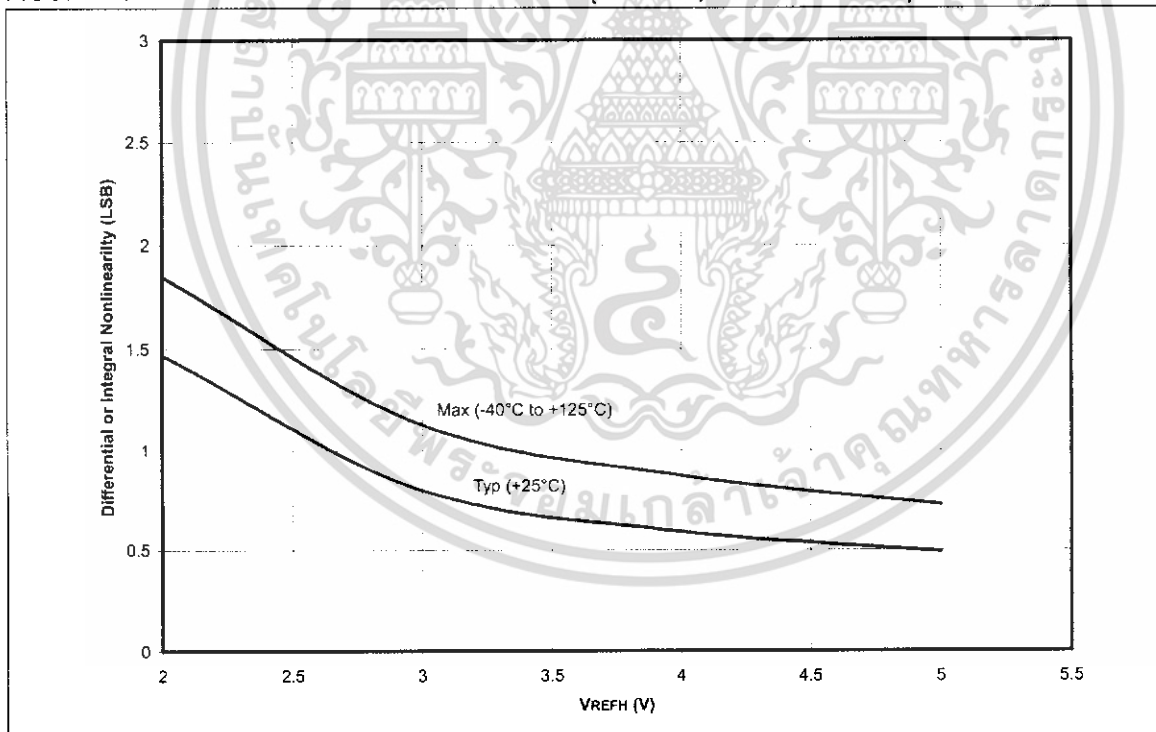


FIGURE 18-24: A/D NONLINEARITY vs. VREFH (VDD = 5V, -40°C TO +125°C)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ULN2001A-ULN2002A ULN2003A-ULN2004A

## SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRATED SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT

### DESCRIPTION

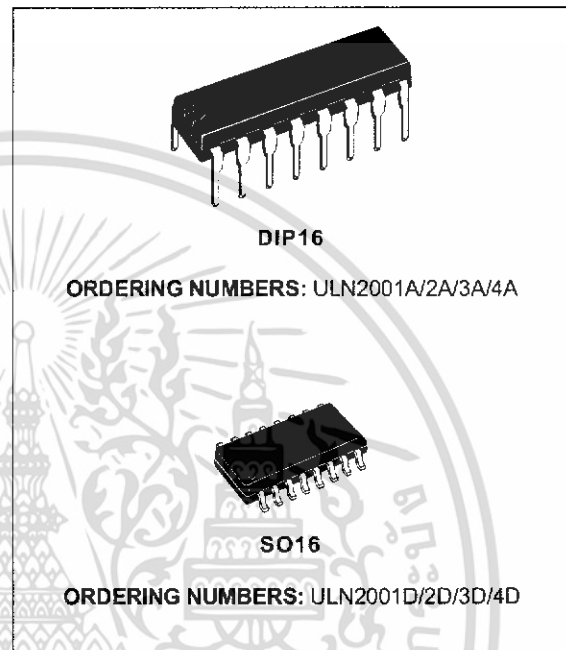
The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

The four versions interface to all common logic families :

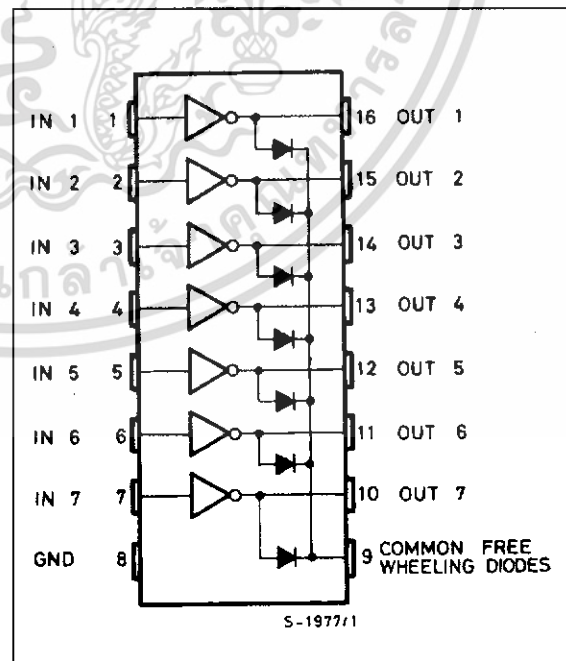
ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.

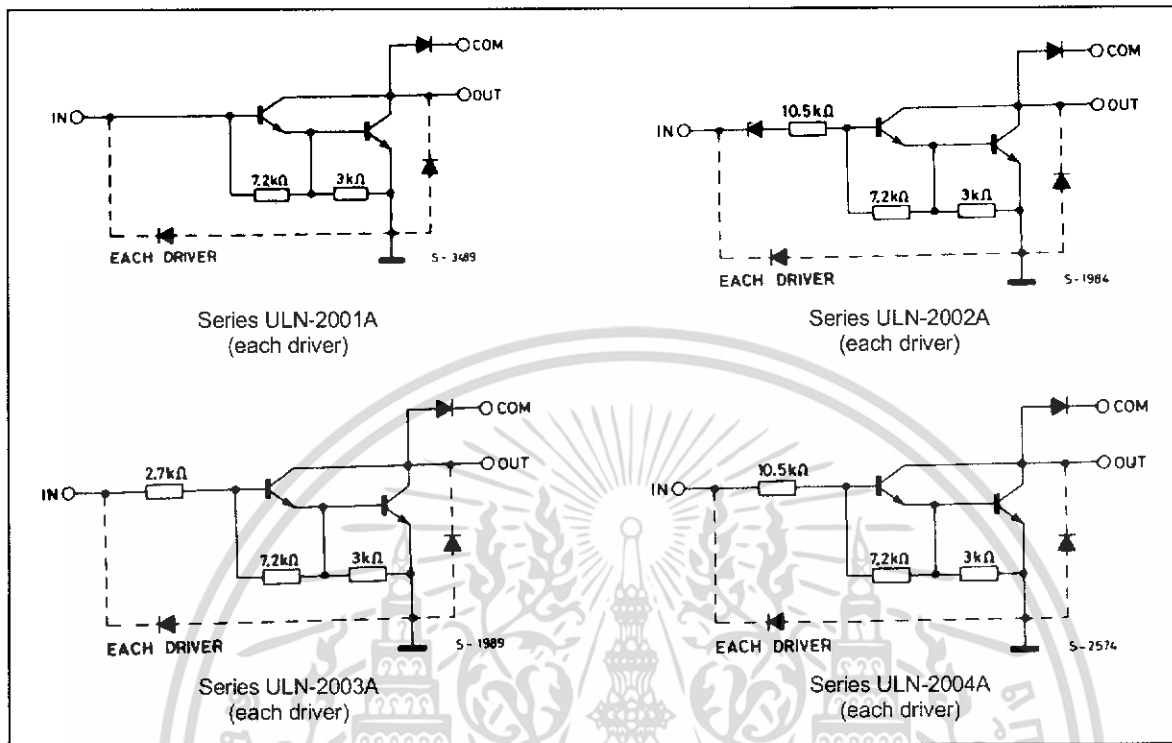


### PIN CONNECTION



# ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_o$	Output Voltage	50	V
$V_{in}$	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
$I_c$	Continuous Collector Current	500	mA
$I_b$	Continuous Base Current	25	mA
$T_{amb}$	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
$T_j$	Junction Temperature	150	°C

## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP16	SO16	Unit
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 70	120	°C/W

**ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_{amb} = 25^{\circ}C$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.	
$I_{CEX}$	Output Leakage Current	$V_{CE} = 50V$ $T_{amb} = 70^{\circ}C, V_{CE} = 50V$			50 100	$\mu A$ $\mu A$	1a 1a	
		$T_{amb} = 70^{\circ}C$ for ULN2002A $V_{CE} = 50V, V_i = 6V$			500	$\mu A$	1b	
		for ULN2004A $V_{CE} = 50V, V_i = 1V$			500	$\mu A$	1b	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 100mA, I_B = 250\mu A$		0.9	1.1	V	2	
		$I_C = 200mA, I_B = 350\mu A$		1.1	1.3	V	2	
		$I_C = 350mA, I_B = 500\mu A$		1.3	1.6	V	2	
$I_{i(on)}$	Input Current	for ULN2002A, $V_i = 17V$		0.82	1.25	mA	3	
		for ULN2003A, $V_i = 3.85V$		0.93	1.35	mA	3	
		for ULN2004A, $V_i = 5V$		0.35	0.5	mA	3	
		$V_i = 12V$		1	1.45	mA	3	
$I_{i(off)}$	Input Current	$T_{amb} = 70^{\circ}C, I_C = 500\mu A$	50	65		$\mu A$	4	
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2V$ for ULN2002A $I_C = 300mA$			13		V	5
		for ULN2003A $I_C = 200mA$			2.4			
		$I_C = 250mA$			2.7			
		$I_C = 300mA$			3			
		for ULN2004A $I_C = 125mA$			5			
		$I_C = 200mA$			6			
		$I_C = 275mA$ $I_C = 350mA$			7 8			
$h_{FE}$	DC Forward Current Gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2V, I_C = 350mA$	1000					
$C_i$	Input Capacitance			15	25	pF		
$t_{PLH}$	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	$\mu s$		
$t_{PHL}$	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	$\mu s$		
$I_R$	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50V$			50	$\mu A$	6	
		$T_{amb} = 70^{\circ}C, V_R = 50V$			100	$\mu A$	6	
$V_F$	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350mA$		1.7	2	V	7	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS

Figure 1a.

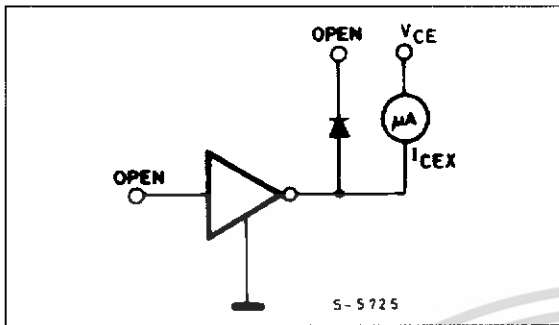


Figure 1b.

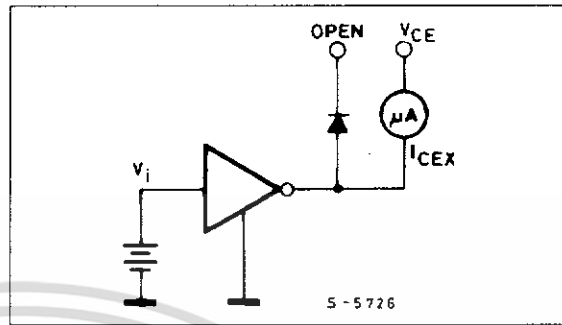


Figure 2.

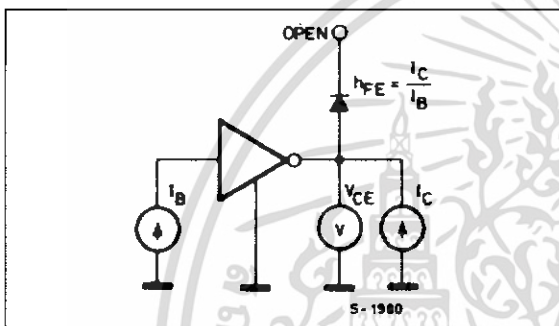


Figure 3.

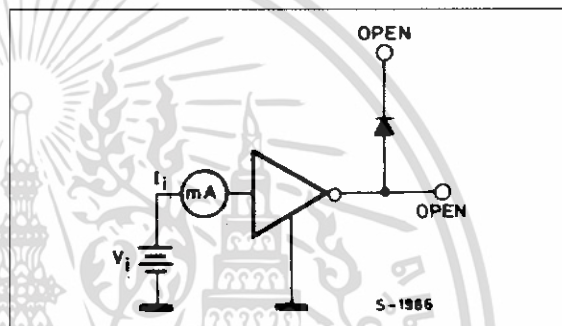


Figure 4.

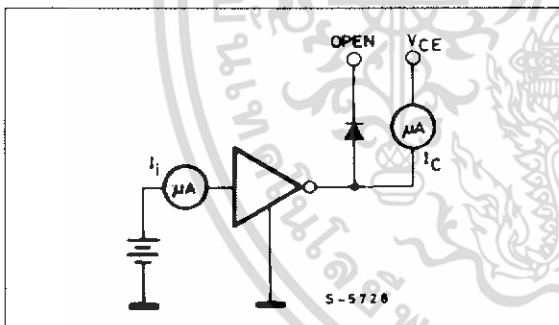


Figure 5.

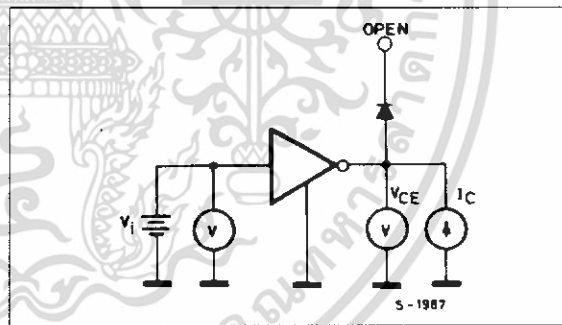


Figure 6.

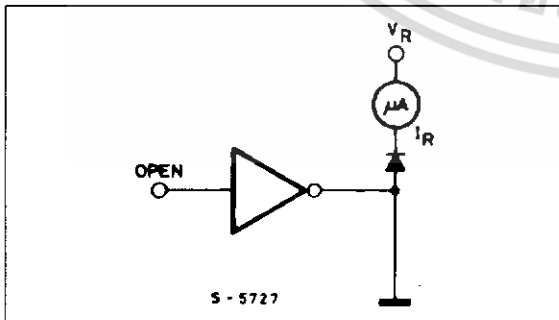


Figure 7.

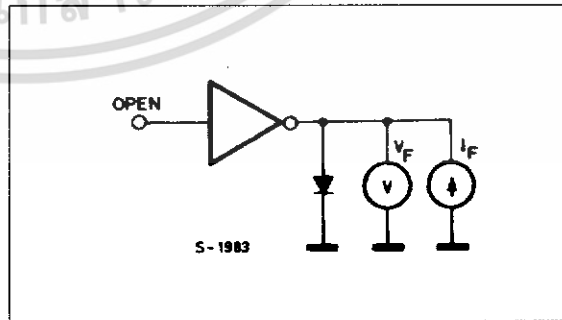


Figure 8: Collector Current versus Input Current

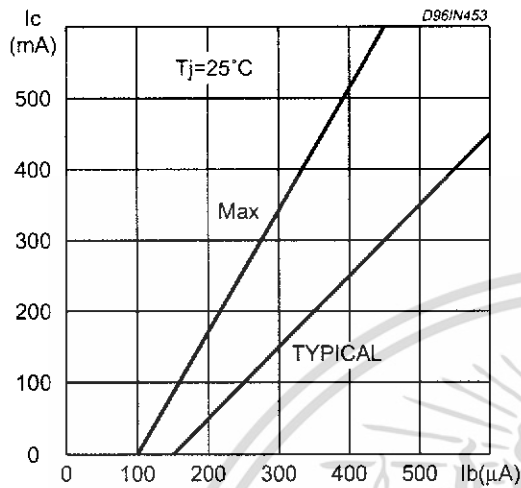


Figure 9: Collector Current versus Saturation Voltage

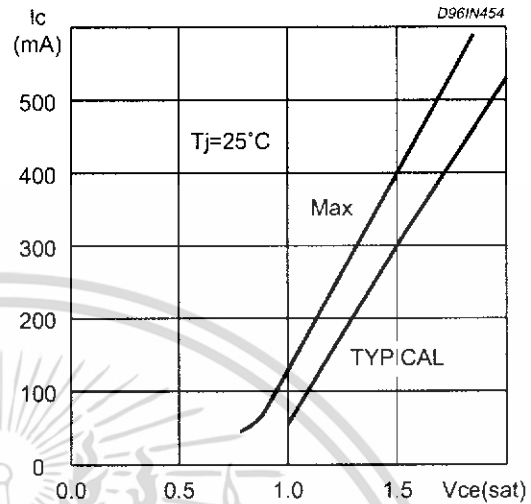


Figure 10: Peak Collector Current versus Duty Cycle

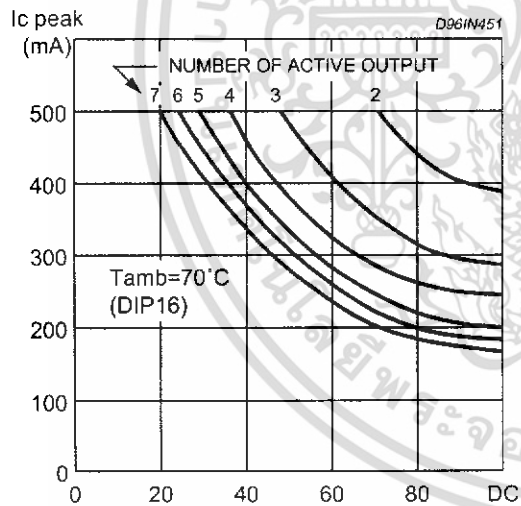
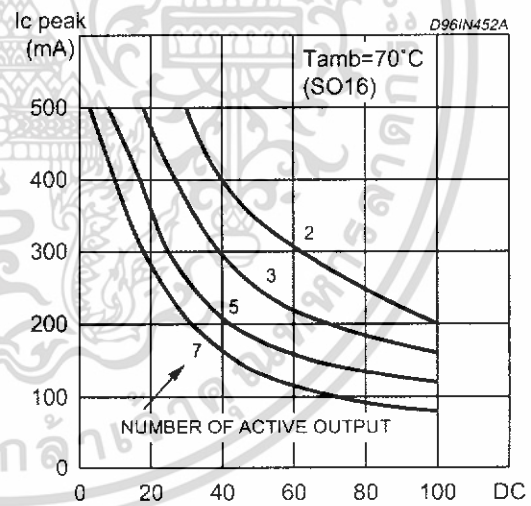


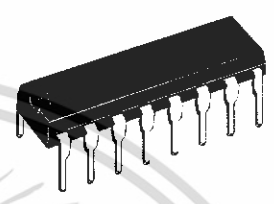
Figure 11: Peak Collector Current versus Duty Cycle



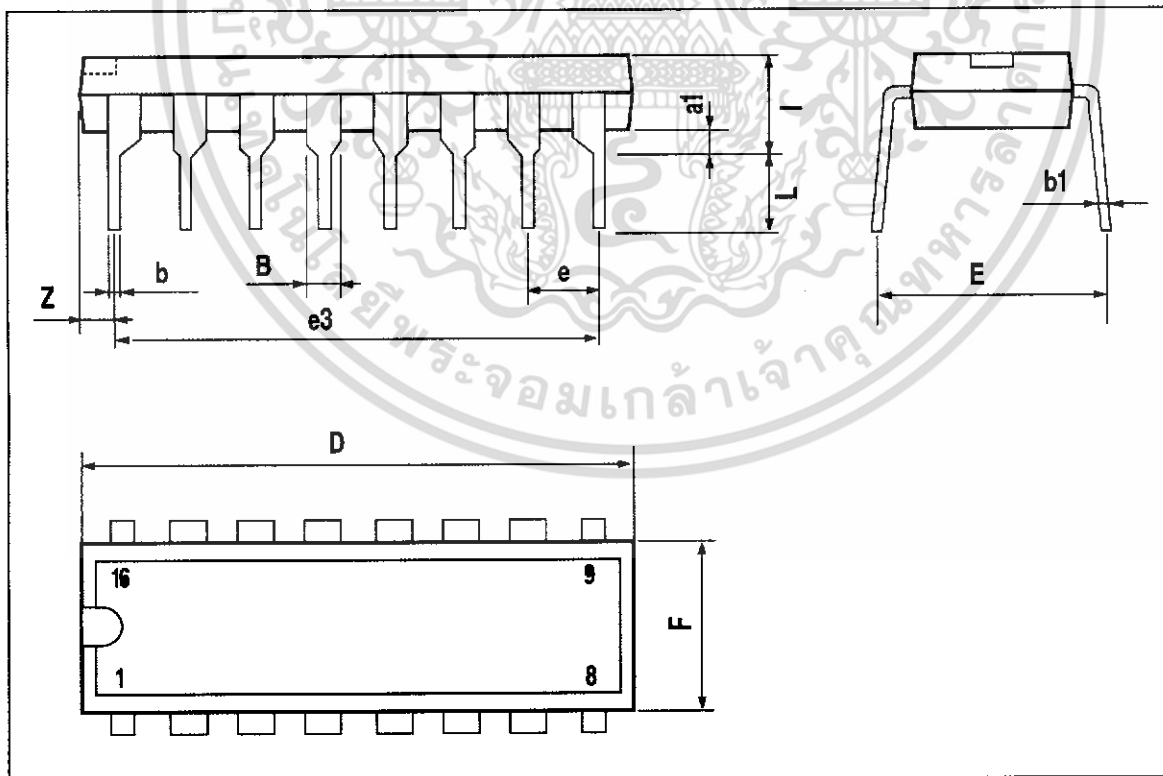
ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050

**OUTLINE AND MECHANICAL DATA**



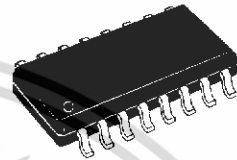
**DIP16**



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

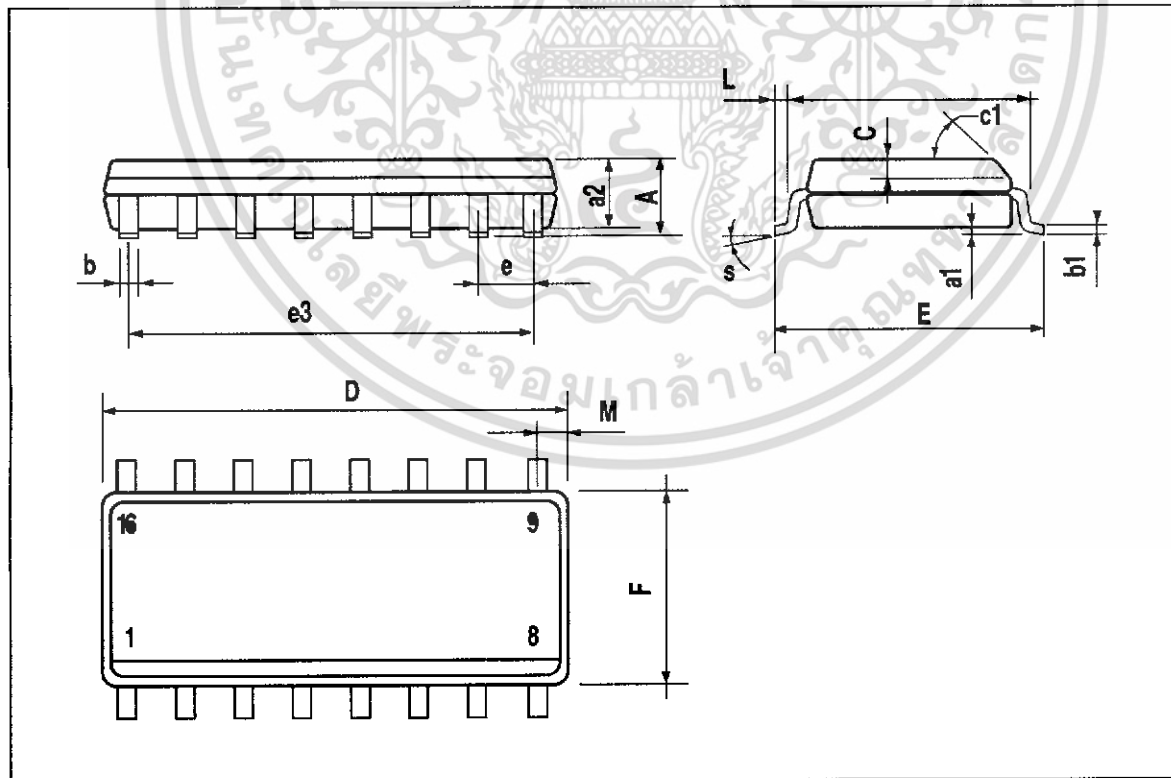
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F (1)	3.8		4	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.209
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8° (max.)					

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



SO16 Narrow

(1) D and F do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.006inch).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics  
© 2002 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved  
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.  
<http://www.st.com>

This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ในการศึกษาระดับอุดมศึกษานั้น เป็นระดับที่ต้องสามารถประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมาเองได้ โดยอาศัยความรู้ที่เรียนมาตลอดหลักสูตรและการเรียนวิศวกรรมศาสตร์ก็เป็นสาขาหนึ่งที่ต้องทำ ดังนั้นผู้จัดทำโครงการนี้จึงคิดค้นเครื่องวัดปริมาณก๊าซแอลกอฮอล์ขึ้นมา เพื่อนำความรู้ที่เรียนเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้งานได้ ซึ่งในโครงการนี้นั้นจะต้องใช้ความรู้ทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นพื้นฐานของสาขานี้เข้ามาเกี่ยวข้อง รวมทั้งต้องใช้ความรู้ทางไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลและแสดงผล

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาแก่ผู้จัดทำโครงการนี้ด้วยดีตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นาย มณฑล โพธิ์แสร์  
นาย ยุทธศาสตร์ เวียงทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้