ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
Pressure Leak Tester

ชื่อนักศึกษา
1. นายเจริญพงศ์ สกุลวา รหัสประจำตัว 47035345
2. นายสุวิทย์ คงสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 47035373
3. นายปฏิพงษ์ บุญรอด รหัสประจำตัว 48035378

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.อมรชัย ชัยชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อ.พรพิมล ฉายรัศมี	พรพิมล ฉายรัศมี
2. อ.อมรชัย ชัยชนะ	
3. อ.สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี	
4. รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
5. อ.สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 9 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2550 เวลา 11.00 น.
สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม..
(รศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
วันที่....20....เดือน.....๔.....พ.ศ...50........

<BT491312>
เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

PRESSURE LEAK TESTER

เจริญพงศ์ สกุลวา
สุวิทย์ คงสวัสดิ์
ปฏิพงษ์ บุญรอด

ปพ.
จ735ค
2549

เลขหมู่....................
เลขทะเบียน 75184
วัน,เดือน,ปี 24 ต.ค. 2550

b 11814196
i....................

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

PRESSURE LEAK TESTER

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
2. เพื่อออกแบบวงจร เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
3. เพื่อสร้างเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
4. เพื่อทดสอบการใช้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
5. เพื่อนำเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลไปใช้งานได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
2. ได้แบบวงจรของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
3. ได้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
4. ได้ผลของการทดสอบการใช้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
5. ได้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหลที่สามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล
นักศึกษา	นายเจริญพงศ์ สกุลวา
	นายสุวิทย์ คงสวัสดิ์
	นายปฏิพงษ์ บุญรอด
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล ซึ่งหลักการทำงานจะประกอบด้วยส่วนการวัดจะใช้เซ็นเซอร์ความดันเป็นอุปกรณ์ตรวจจับความดันที่ส่งให้กับชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ แล้วส่งสัญญาณไปที่วงจรขยายสัญญาณการวัด เพื่อขยายสัญญาณการวัดให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน แล้วส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ส่งไปยังภาคประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877 ในการประมวลผล แล้วส่งต่อไปยังส่วนแสดงผลทาง LED ตัวเลข 7 ส่วน

วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงานนี้ สำหลับใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบคุณภาพของสานน้ำเกลือที่ใช่กันในทางการแพทย์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพออกสู่ตลาดต่อไป โดยเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลนี้สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้ที่ความดัน 0-760 mmHg และแสดงผลผ่านทาง LED ตัวเลข 7 ส่วน และ Buzzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Pressure Leak Tester
Students	Mr.Charoenpong Sakulwa
	Mr.Suwit Khongsawat
	Mr.Patipong Boonrawd
Advisor	Mr.Amornchai Chaichana
Co-Advisor	Mr.Surapong Siripongdee
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	2006

ABSTRACT

This abstract offer a machine that checks for Pressures Leak Tester. The working principle of measuring consists of a sensor. Pressure is sent to the component to be checked and then back to the analyzing monitor used for checking in order to expend the signal to become standardized. Then send signal to analog monitor to be converted into digital to the photo analysis by using Microcontroller PIC16F877 units for analyzing and display to 7 segments.

The objectives of this project are to be used as a medical analyzer to examine the quality of Saline Solution in order to distribute an efficient product. This machine is capable of checking Pressure Leak Tester from 0-760 mmHg and show. The results on 7 segments and buzzer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความอนุเคราะห์ จากอาจารย์อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม รวมทั้งอาจารย์ในภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาและรวมทั้งการแนะนำแนวทางการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไขให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานนี้ ขอขอบคุณห้องสมุด คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สำนักหอสมุดกลางและสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ที่ได้อำนวยความสะดวกในการค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ขอขอบคุณ บริษัท พีแอนด์พี อิเลคทรอนิกส์ เทคโนโลยี จำกัด ที่ได้แนะนำสิ่งต่างๆ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดลองและจัดทำโครงงานนี้ สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาผู้ที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในชีวิตที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนด้านการศึกษามาตลอดชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงงาน	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงงาน	1
1.4 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.5 ขั้นตอนของการทำโครงงาน	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	3
2.2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F877	3
2.2.3 สถาปัตยกรรมของ PIC16F877	5
2.2.4 การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC16F877	6
2.2.5 การจัดขาของ PIC16F877	6
2.2.6 การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC16F877	7
2.2.7 จังหวะสัญญาณนาฬิกาและไซเคิลการทำงานของ PIC16F877	8
2.2.8 การจัดการหน่วยความจำของ PIC16F877	9
2.2.9 รีจีสเตอร์ควบคุมของ PIC16F877	11
2.2.10 การเข้าถึงรีจีสเตอร์และข้อมูลของ PIC16F877	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2.11 การใช้งาน อินพุต / เอาท์พุต พอร์ต	14
2.2.12 ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F877	15
2.2.13 การใช้งาน EEPROM ภายใน	17
2.2.14 คุณสมบัติพิเศษของซีพียู PIC16F877	29
2.2.15 การอินเตอร์รัพต์ของ PIC16F877	21
2.3 LED ตัวเลข 7 ส่วน	23
2.4 วงจรขยายสัญญาณการวัด	25
2.5 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	28
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	39
3.1 กล่าวนำ	39
3.2 ฮาร์ดแวร์	39
3.2.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณการวัด	40
3.2.2 การออกแบบวงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	40
3.2.3 การออกแบบวงจรคีย์สวิตช์ (Key Switch)	41
3.2.4 การออกแบบวงจรแสดงผล (Display)	42
3.2.5 การออกแบบวงจรแหล่งจ่าย (Power Supply)	43
3.2.6 การออกแบบวงจรประมวลผลกลาง (Central Processing Unit)	43
3.3 ซอฟต์แวร์	45
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	46
4.1 กล่าวนำ	46
4.2 เอ้าท์พุทที่ออกตัวเซ็นเซอร์ขณะป้อนความดันในระดับต่างๆ	46
4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง	46
4.2.2 ผลการทดลอง	47
4.3 การทดลองการทำงานวงจรขยายสัญญาณการวัด	47
4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง	47
4.3.2 ผลการทดลอง	48
4.4 การทดลองการทำงานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง	48
4.3.2 ผลการทดลอง	50
บทที่ 5 บทสรุป	51
5.1 สรุป	51
5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข	51
5.3 แนวทางการพัฒนา	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก ก ภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้งและการใช้งาน	53
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	58
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร	63
ภาคผนวก ง แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงงาน	67
ภาคผนวก จ ผังงานของโปรแกรม	83
ภาคผนวก ฉ รหัสต้นฉบับของโปรแกรม	85
ภาคผนวก ช คู่มือการใช้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	103
ประวัติผู้แต่ง	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจีสเตอร์ STATUS	11
2.2 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจีสเตอร์ OPTION	11
2.3 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจีสเตอร์ INTCON	12
2.4 รายละเอียดของรีจีเตอร์ EECON1	17
2.5 หน่วยของความดันและความสัมพันธ์ของหน่วยในระบบต่างๆ	35
2.6 ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยพื้นฐานและหน่วยแปลงในระบบต่างๆ	36
2.7 เปรียบเทียบหน่วยพื้นฐานและหน่วยแปลงในระบบต่างๆ	37
4.1 เอาต์พุตที่ออกตัวเซ็นเซอร์ขณะป้อนความดันในระดับต่างๆ	46
4.1 การทดลองวงจรขยายสัญญาณการวัด	47
4.3 ผลการทดลองเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	48
4.4 ผลการทดลองเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลที่สายน้ำเกลือขนาด 4 มิลลิเมตร	49
4.5 ผลการทดลองเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลที่สาย PU ขนาด 6 มิลลิเมตร	49
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรประมวลผลกลาง	64
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล	66
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรคีย์สวิตช์	66
ค.4 รายการอุปกรณ์อื่นๆ	66
ช.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น	114
ช.2 ข้อมูลจำเพาะ	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	5
2.2 การต่อขาใช้งานของ PIC16F877/874	7
2.3 แผนผังแสดงจังหวะการทำงานของ PIC16F877	8
2.4 การทำงานแบบไปป์ไลน์ที่ใช้ใน PIC16F877	9
2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877	10
2.6 การถ่ายทอดข้อมูลภายในโปรแกรมเคาน์เตอร์	12
2.7 รูปร่างและการกำหนดชื่อเซกเมนต์ต่างๆ ของ LED ตัวเลข 7 ส่วน	24
2.8 วงจรภายใน LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบแคโทดร่วมและแอโนดร่วม	24
2.9 การจัดขาของ LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบตัวเดี่ยวและตัวคู่	24
2.10 วงจรวงจรขยายสัญญาณการวัด	27
2.11 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	28
2.12 ความผิดพลาดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	29
2.13 แสดงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ	31
2.14 แสดงความดันที่เกิดจากของเหลว	32
2.15 แสดงการเปรียบเทียบความดันทั้ง 4 รูปแบบ	34
2.16 แสดงการวัดความดัน	34
3.1 ผังการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	39
3.2 วงจรขยายสัญญาณการวัด	40
3.3 การต่อใช้งานของ ICL7135	41
3.4 วงจรคีย์สวิตช์	42
3.5 การต่อใช้งานของ LED ตัวเลข 7 ส่วน	42
3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 V	43
3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 0 -5 V	43
3.8 วงจรประมวลผลกลาง	44
3.9 แผนผังการทำงานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	45
ก.1 ด้านหน้าของเครื่อง	54
ก.2 ด้านหลังของเครื่อง	54
ก.3 ด้านในของเครื่อง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.4 บอร์ดประมวลผล	55
ก.5 จอแสดงผลแบบ LED ตัวเลข 7 ส่วน	56
ก.6 คีย์สวิตช์	56
ก.7 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง	57
ข.1 วงจรประมวลผลกลาง	59
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลาง	60
ข.3 วงจรคีย์สวิตช์	60
ข.4 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรคีย์สวิตช์	61
ข.5 วงจร LED ตัวเลข 7 ส่วน และ Buzzer	61
ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจร LED ตัวเลข 7 ส่วน และ Buzzer	62
จ.1 แผนผังการทำงานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	84
ช.1 ตัวเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล	105
ช.2 ส่วนประกอบของคีย์สวิทช์	106
ช.3 แสดงการเข้า Function t.P (Test pressure)	107
ช.4 แสดงการเข้า Function S.t (Settling time)	107
ช.5 แสดงการเข้า Function P.d (Pressure Decay)	108
ช.6 แสดงการเข้า Function t.t (Test time)	109
ช.7 แสดงการเข้า Function P.H (Pressure High)	109
ช.8 แสดงการเข้า Function P.L (Pressure Low)	110
ช.9 แสดงการเข้า Function t.H (Time High)	110
ช.10 แสดงการเข้า Function t.L (Time Low)	111
ช.11 แสดงหลอด LED 1 ติด	111
ช.12 แสดงหลอด LED 2 ติด	112
ช.13 แสดงหลอด LED 3 ติด	112
ช.14 แสดงการนับจำนวนชิ้นงานที่ตรวจผ่าน	112
ช.15 แสดงหลอด LED 4 ติดในกรณี P.d Error มากกว่าค่าที่ตั้งไว้	112
ช.16 แสดงหลอด LED 4 ติดในกรณี Pressure ที่อ่านได้มีค่ามากกว่าค่า P.H ที่ตั้งไว้	113
ช.17 แสดงหลอด LED 4 ติดในกรณี Pressure ที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่าค่า P.L ที่ตั้งไว้	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ช.18 แสดงตำแหน่ง VR แบบ Tim pot บนบอร์ดควบคุม	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้การตรวจสอบคุณภาพของสายน้ำเกลือมีความสำคัญอย่างมากเพราะผลิตภัณฑ์ที่จะออกสู่ตลาด ได้นั้นจะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพเป็นอย่างดี มิฉะนั้นอาจเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานได้ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแม่นยำและความถูกต้องสูงทำให้มีราคาของเครื่องตรวจสอบคุณภาพสูงตามไปด้วย และบางครั้งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งถ้านำเข้าจากต่างประเทศถ้าอุปกรณ์มีปัญหาก็ต้อเสียเวลาส่งซ่อมถึงต่างประเทศด้วยทำให้เป็นการเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วย

1.2 จุดมุ่งหมายของโครงงาน

คณะผู้จัดทำได้แนวคิดประดิษฐ์อุปกรณ์ เครื่องทดสอบความดันรั่วไหลขึ้นมา โดยเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลนี้ ประกอบด้วยในส่วนของการวัดคือใช้ MPX5500 ในส่วนของวงจรมีวงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรเปลี่ยนสัญญาณจากแอนะลอกเป็นดิจิตอล ตัวประมวลผลกลางใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลออกตัว LCD ทั้งหมดรวมกันเป็น เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงงาน

เมื่อได้ผ่านการศึกษาทดสอบใช้งานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลแล้ว จะทำให้เกิดทักษะมีความชำนาญประสบการณ์ในการใช้งานปฏิบัติกับเครื่องจริงๆ มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล และการนำตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งาน

1.4 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. ความดันที่ใช้ในการตรวจสอบอยู่ระหว่าง 0-760 mmHg โดยวัดได้ละเอียดเป็นหน่วย 1 mmHg
2. สายน้ำเกลือที่นำมาตรวจสอบต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางวัดจากวงนอกไม่เกิน 10 มิลลิเมตร
3. มีการแสดงผลความดันที่เหลืออยู่ในระบบ ขณะทำการทดสอบผ่านทาง 7 Segment
4. กำหนดค่าความดัน ต่ำสุด สูงสุด ของการตรวจสอบได้
5. กำหนดเวลาในการตรวจสอบได้ 0-999 วินาที โดยตั้งเวลาได้ละเอียดเป็นหน่วย 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการทำโครงงาน

โครงงานนี้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งการทำงานในระยะแรกจะเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลและทำในส่วนของฮาร์ดแวร์หลังจากนั้นเมื่อสร้างฮาร์ดแวร์ได้ระดับหนึ่งแล้วก็จะเริ่มเขียนโปรแกรมทดสอบพร้อมกับการทำฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม และเมื่อทำโครงงานเสร็จเรียบร้อยแล้วจะให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลต่อไป

1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ จุดมุ่งหมายของโครงงาน สมมุติฐานของการจัดทำโครงงาน ขีดความสามารถของโครงงาน ขั้นตอนของการทำโครงงาน และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล องค์ประกอบของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล หลักการทำงานของ เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล ไมโครคอนโทรลเลอร์ MPX5500 วงจรขยายสัญญาณการวัด และวงจรเปลี่ยนสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับ การออกแบบและการสร้าง ขั้นตอนการออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ รวมทั้งวงจรการทำงาน เช่น วงจรขยายสัญญาณการวัดและวงจรเปลี่ยนสัญญาณ พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลอง เป็นส่วนที่ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้งและการใช้งาน

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงงาน

ภาคผนวก จ แสดงผังงานของโปรแกรม

ภาคผนวก ฉ แสดงรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

ภาคผนวก ช เป็นคู่มือการใช้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

ภาคผนวก ซ รายงานผลการทดสอบเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการสำคัญที่ใช้ในโครงงานโดยจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะเป็นตัวประมวลผลกลางของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล ตัวตรวจจับคือตัว MPX5500 และวงจรที่ประกอบของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนหนึ่งของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการใช้งานการควบคุมทาอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ยิ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนา ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ให้ทำงานในลักษณะ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ขึ้น มีคำสั่งการใช้งานเพียง 33-35 คำสั่งโดยในหนึ่งคำสั่งใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวยกเว้นคำสั่งที่ใช้ในการกระโดด (Jump) นั่นก็คือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ซึ่งตระกูลนี้ได้รับความ นิยมในการนำไปควบคุมสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างมากมาย ส่งผลให้เกิดความต้องการเรียนรู้และใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลดังกล่าว

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

PIC16F877 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) ของบริษัทไมโครชิปเทคโนโลยี (Microchip Technology) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีด้วยกันหลายเบอร์ แต่ละเบอร์ก็ มีความสามารถแตกต่างกันไป ภายใน PIC16F877 มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) แบบแฟลช (Flash) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและ ลบได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่จัดอยู่ในกลุ่มของไมโครโปรเซสเซอร์แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) คือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จะมีชุดคำสั่งน้อยเพียง 33-35 คำสั่งพื้นฐานเท่านั้น และทุกคำสั่งสามารถทำงานให้เสร็จได้ด้วยการใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวยกเว้นคำสั่งที่ใช้ในการกระโดด (Jump) ทั้งยังทำงานในลักษณะไปป์ไลน์ (Pipe Line) เหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์สมัยใหม่ ความเร็วในการทำงานจึงสูงมากเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ ที่มีความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเทากัน

2.2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F877

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ส่วนของเพอริเฟอรัล (Peripheral) และคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของหน่วยประมวลผลกลางภายใน PIC16F877

หน่วยประมวลผลกลางเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) คำสั่งมีขนาด 14 (Bit)

1. คำสั่งใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 ไซเคิล (Cycle) ของสัญญาณนาฬิกา ยกเว้นคำสั่งที่ใช้ในการกระโดดจะใช้เวลา 2 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา
2. ประมวลผลข้อมูลขนาด 8 บิต
3. มีสแต็ก (Stack) 8 ระดับ
4. โหมดการอ้างแอดเดรส (Address) 3 โหมดคือ แบบโดยตรง (Direct) แบบโดยอ้อม (Indirect) และแบบสัมพัทธ์ (Relative)
5. มีหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) เป็นแบบอีอีพรอม (EEPROM) สามารถลบและเขียนได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้าและเก็บข้อมูลได้นาน 40 ปี

1.6 ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งเป็นแบบแฟลชมีขนาด 8 กิโลเวิร์ด (1 เวิร์ดของ PIC16F876 มีขนาด 14 บิต) หน่วยความจำอีอีพรอมภายใน 256 ไบต์ (Byte) หวยความจำแรม (RAM) 368 ไบต์ (Byte) ซึ่งใช้เป็นรีจีสเตอร์ (Register)

2.2.2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของเพอริเฟอรัลใน PIC16F877

1. มีขาอินพุต / เอาต์พุต (Input / Output) 22 ขา (สำหรับ PIC16F876) สามารถกำหนดให้เป็นขาอินพุตหรือขาเอาต์พุตได้อย่างอิสระ
2. กระแสซิงก์ (Synchronous) สูงสุด 25 มิลลิแอมป์
3. กระแสซอร์ส (Source) สูงสุด 25 มิลลิแอมป์
4. มีเพาเวอร์ออนรีเซตในตัว (POR : Power On Reset)
5. มีเพาเวอร์อัปไทมเมอร์ในตัว (PWRT : Power Up Timer)
6. มีออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทม์เมอร์ (OST : Oscillator Start Up Timer)
7. มีวอตช์ด็อกไทม์เมอร์ (WDT : Watch Dog Timer) พร้อมกับวงจรออสซิลเลเตอร์ RC ภายใน เพื่อช่วยให้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความแน่นอนยิ่งขึ้น
8. ป้องการคัดลอกข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม
9. มีโหมดประหยัดพลังงานหรือโหมดสลีป (Sleep Mode)
10. สามารถเลือกใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้กำหนดการทำงานได้
11. การเขียนข้อมูลสู่หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็น แบบอนุกรมผ่านขาใช้งานเพียง 2 ขา
12. ได้รับการพัฒนาภายใต้เทคโนโลยีซีมอสแฟลช (CMOS Flash Technology) และ อีอีพรอมความเร็วสูง พลังงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

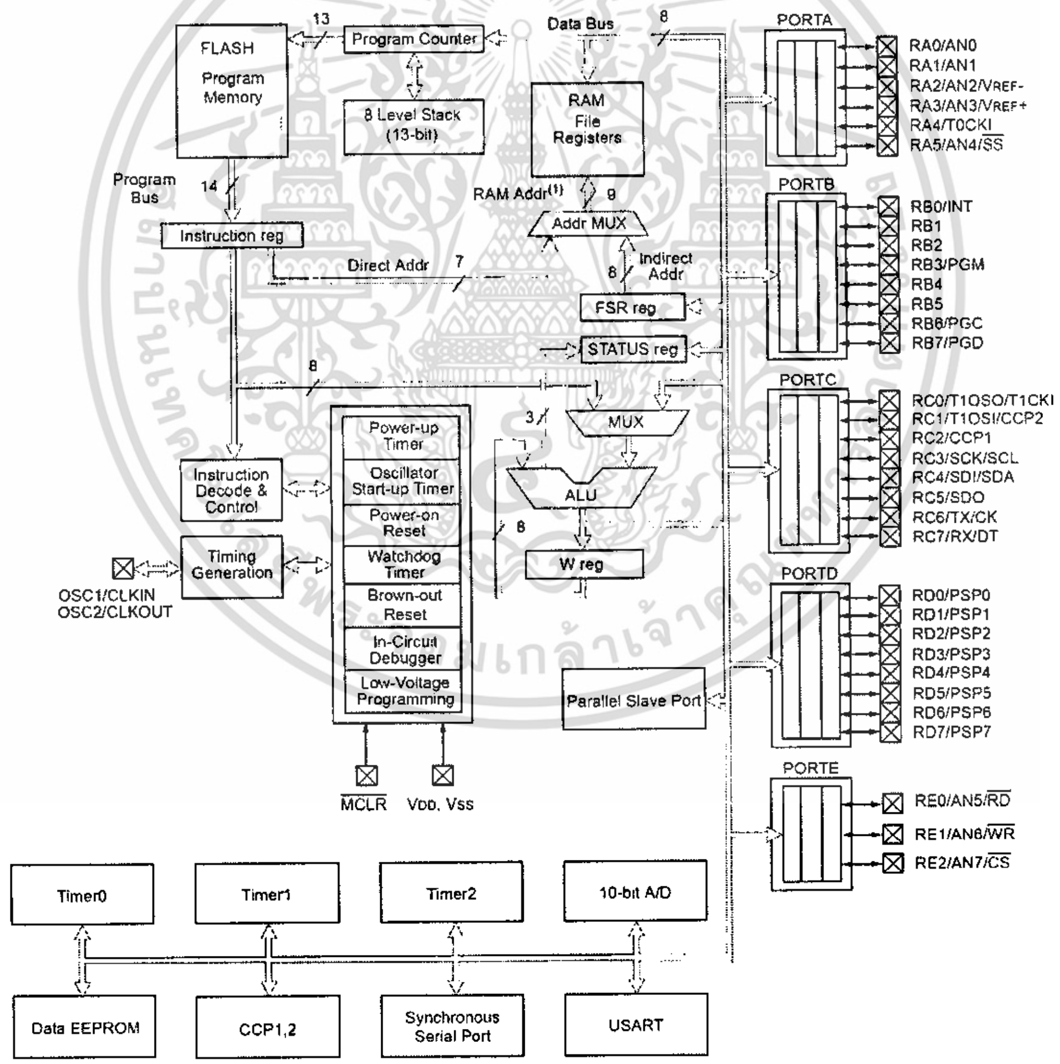
13. ยานไฟเลี้ยง 2.0 - 6.0 โวลต์ (V)

14. ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 2 มิลลิแอมป์ ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ สัญญาณนาฬิกาความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์ 15 ไมโครแอมป์ (uA) ที่ไฟเลี้ยง +3 โวลต์ สัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 32 กิโลเฮิรตซ์ (KHz) น้อยกว่า 1 ไมโครแอมป์ ขณะสแตนด์บาย (Stand By)

2.2.3 สถาปัตยกรรมของ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ได้รับการบรรจุหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และหน่วยอินพุตเอาต์พุตไว้พร้อม ทั้งยังมีไทมเมอร์และวอตซ์ด็อกครบถ้วนสมบูรณ์

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC16F877

1. หน่วยความจำโปรแกรมมีโครงสร้างเป็นหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash)มีขนาด 8 กิโลเวิร์ดโดยใน 1 เวิร์ดของPIC16F877 มีขนาด 14 บิต
2. หน่วยความจำมูลเป็หน่วยความจำแบบอีอีพรอม ขนาด 256 ไบต์
3. หน่วยความจำแรมให้ได้รับการกำหนดให้ทำงานเป็น รีจีสเตอร์กำหนดแฟ้มข้อมูล หรือ รีจีสเตอร์ไฟล์ (Register File) ขนาด 368 ไบต์

การเข้าถึงหน่วยความจำของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำได้ในลักษณะโดยตรง โดยอ้อม และแบบสัมพัทธ์โดยมีรีจีสเตอร์ FSR (File Select Register) ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามคำสั่งที่กำหนดให้ข้อมูลของชุดคำสั่งจะถูกนำไปเก็บไว้ในรีจีสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) จากนั้นจะถูกส่งต่อ ไปยังวงจรถอดรหัส เพื่อควบคุมไทม์เมอร์ทั้งหมดภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ และยังส่งไปควบคุมหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ด้วย

ใน PIC16F876 มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต 1 ตัว, ขนาด 16 บิต 2 ตัวปรีสเกลเลอร์ (Prescaler) ทสามารถโปรแกรมได้ สามารถรับสัญญาณอินพุตทั้ง จากภายนอกและภายใน

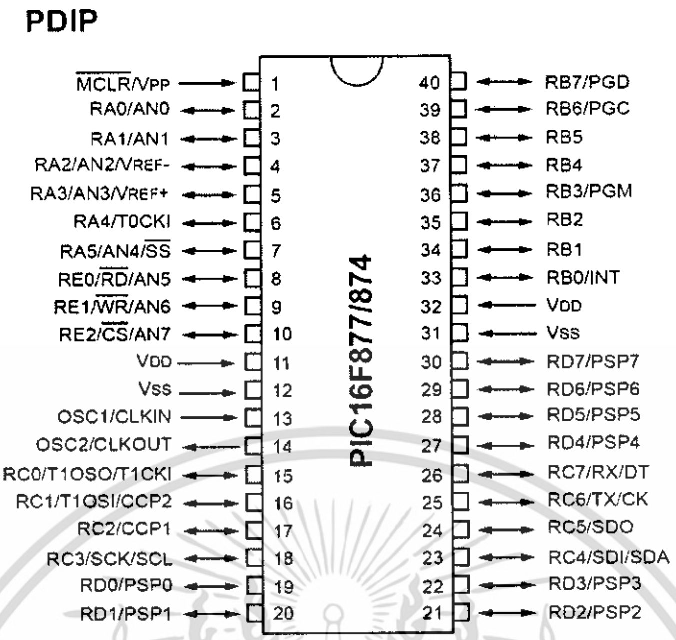
ใน PIC16F876 มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต 1 ตัว, ขนาด 16 บิต 2 ตัวปรีสเกลเลอร์ (Prescaler) ที่สามารถโปรแกรมได้ สามารถรับสัญญาณอินพุตทั้งจากภายนอกและภายใน หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit : ALU) มีขนาด 8 บิต ในส่วนของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตใน PIC16F876 มีด้วยกัน 3 พอร์ต (Port) คือพอร์ต A พอร์ต B และพอร์ต C โดยที่พอร์ต A มี 6 บิตคือ RA0-RA5 ส่วนพอร์ต B มี 8 บิตคือ RB0-RB7 และพอร์ต C มี 8 บิตคือ RC0-RC7

2.2.5 การจัดขาของ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F876 สามารถจัดขาต่อใช้งานได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มขาสัญญาณนาฬิกา มี 2 ขา คือOSC1 / CLKIN (ขา 9) และ OSC2 / CLKOUT (ขา 10)
2. กลุ่มขาควบคุม มี 1 ขา คือ MCLR (ขา 1)
3. กลุ่มขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต มี 22 ขา แบ่งเป็นขาพอร์ต A 6 ขาได้แก่ RA0-RA5 (ขา 2 ถึงขา 7) ขาพอร์ต B ได้แก่ขา RB0-RB7 (ขา 21 ถึงขา 28) และขาพอร์ต C ได้แก่ RC0-RC7 (ขา 11 ถึงขา 18)
4. กลุ่มขาไฟเลี้ยงมี 3 ขา คือ ขา VSS (ขา 8 และขา 19) หรือขาต่อกราวด์และขา VDD (ขา20) หรือขาตอไฟเลี้ยง ปกติใช้ +5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การต่อขาใช้งานของ PIC16F877/874

2.2.6 การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC16F877

การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC16F876 ทำได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ โดยใช้อุปกรณ์ 3 รูปแบบ คือ ตัวต้านทานร่วมกับตัวเก็บประจุ (RC Clock Circuit) เซรามิกเรโซเนเตอร์ (Ceramic Rasonater) และคริสตอล (Crystal)

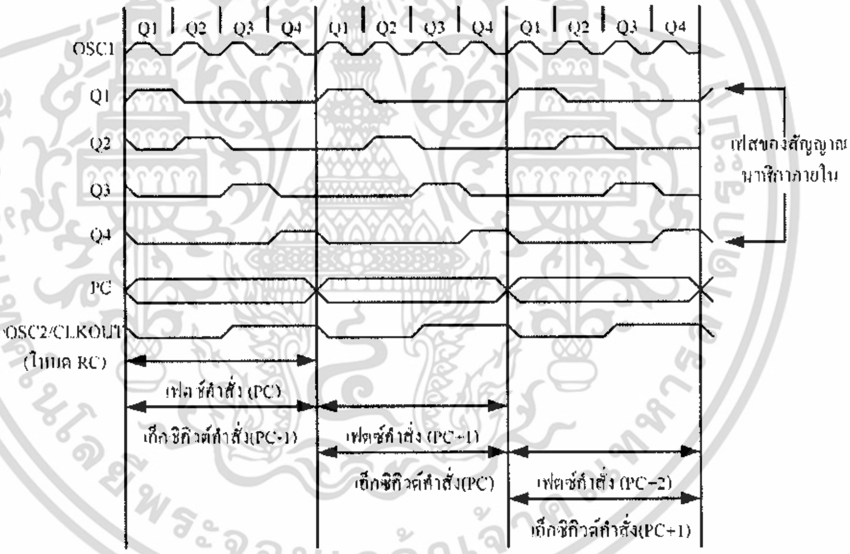
1. การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC Clock Circuit)
   การป้อนสัญญาณนาฬิกานี้เหมาะสำหรับงานที่ไม่เข้มงวดเรื่องความแม่นยำและเสถียรภาพของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด และใช้งบประมาณต่ำที่สุด
2. การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล
   วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบนี้มีความเที่ยงตรงสูงมาก ส่งผลให้การคำนวณเกี่ยวกับการหน่วงเวลาในการเขียนโปรแกรมกระทำได้อย่างแม่นยำมากขึ้น โดยสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะถูกหารลง 4 เท่า
3. การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เซรามิกเรโซเนเตอร์
   การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เซรามิกเรโซเนเตอร์นี้ใช้เมื่อต้องการให้รูปร่างของสัญญาณนาฬิกามีคุณภาพและความเที่ยงตรงสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 จังหวะสัญญาณนาฬิกาและไซเคิลการทำงานของ PIC16F877

สัญญาณนาฬิกาอินพุตของ OSC1 (Oscilator1) จะถูกหารด้วย 4 แล้วแบ่งเป็น 4 ช่วง กำหนดเป็นช่วงสัญญาณนาฬิกา Q1 ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q2ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q3 และช่วงสัญญาณนาฬิกา Q4 โปรแกรมเคาน์เตอร์(Program Counter) ภายในซีพียูจะเพิ่มค่าขึ้นทุกๆ ครั้งที่ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q1เมื่อโปรแกรมเคาน์เตอร์เพิ่มค่าขึ้นคำสั่งจะถูกเฟตช์จากหน่วยความจำโปรแกรมจากนั้นซีพียูทำการแลตช์ (Latch) ข้อมูลคำสั่งนั้นไว้ในรีจีสเตอร์คำสั่ง ที่ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q4 คำสั่งจะถูกถอดรหัสและเอ็กซิคิวต์ จนเสร็จสิ้นภายในช่วงสัญญาณนาฬิกา Q1-Q4 หรือภายใน 1 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา

แผนผังการทำงานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจังหวะของสัญญาณนาฬิกากับการประมวลผลคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877 จะทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกต่อหนึ่งคำสั่ง แต่สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานของซีพียูให้มีความชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงจังหวะการทำงานของ PIC16F877

ไซเคิลการทำงาน (Instruction Cycle) ของ PIC16F877 แบ่งเป็น 2 ไซเคิล คือ การเฟตช์และการเอ็กซิคิวต์ ประกอบด้วย 4 คิวไซเคิล (Q-cycle : Quadrature Cycle) คือ Q1 Q2 Q3 และ Q4 การเฟตช์และเอ็กซิคิวต์คำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีลักษณะเป็นแบบไปป์ไลน์ (PipeLine : การทำงานที่เหลื่อมล้ำกันในแต่ละขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น) กล่าวคือ เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งหนึ่ง โดยที่คำสั่งนั้นมี 2 ขั้นตอน เมื่อทำงานไปแล้ว 1 ขั้นตอน คือขั้นตอนการเฟตช์คำสั่ง ซีพียูจะเริ่มเฟตช์คำสั่งต่อไปทันที พร้อมๆ กับการ เอ็กซิคิวต์คำสั่งก่อนหน้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟตซ์ 1	เอ็กซิคิวต์ 1				
	เฟตซ์ 2	เอ็กซิคิวต์ 2			
		เฟตซ์ 3	เอ็กซิคิวต์ 3		
			เฟตซ์ 4	ฟลัช	
				เฟตซ์ SUB1	เอ็กซิคิวต์ SUB

รูปที่ 2.4 การทำงานแบบไปป์ไลน์ที่ใช้ใน PIC16F877

ตัวอย่างโปรแกรมเพื่อแสดงการเฟตซ์คำสั่งต่อไปทันที พร้อมๆกับการเอ็กซิคิวต์คำสั่ง

```
Movlw     0x55       ; นำค่า 0x55 มาเก็บไว้ที่รีจีสเตอร์ W
movwf     PORTB      ; นำข้อมูลไปเก็บไว้ที่รีจีสเตอร์ PORT B
call      SUB1       ; เรียกโปรแกรมย่อยที่มีชื่อว่า SUB1
bsf       PORTA,3    ; เป็นการเซตข้อมูลใน PORT A บิตที่ 3
```

ช่วงเวลา "ฟลัช" (Flush) หมายถึง ช่วงเวลาที่ซีพียูทำงานคำสั่งก่อนหน้ายังไม่เสร็จสิ้น เนื่องจากต้องทำการค้นหาตำแหน่งแอดเดรส (Address) ของโปรแกรมย่อยที่ต้องกระโดดไปทำงาน ช่วงเวลาแบบนี้จะเกิดขึ้น เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดด ในขณะเดียวกันซีพียูก็จะทำการเฟตซ์คำสั่งต่อไปพร้อมๆกัน ทำให้ซีพียูสามารถทำงานได้เสมือนว่าใน 1 คำสั่งการทำงาน ใช้เวลา 1 ไซเคิลของสัญญานาฬิกา เทคนิคลักษณะนี้เรียกว่า "ไปป์ไลน์" (Pipeline) ซึ่งเป็นที่นิยมมากในไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) สมัยใหม่

ไซเคิลการเฟตซ์คำสั่งเริ่มต้น ในทุกๆ คิวไซเคิลที่ 1 พร้อมกับคำสั่งข้อมูลที่ได้รับการเฟตซ์จะถูกนำเข้าไปเก็บไว้ในรีจีสเตอร์คำสั่งในคิวไซเคิลที่ 1 (Q1) จากนั้นคำสั่งจะได้รับการถอดรหัส และนำไปดำเนินการจนเสร็จสิ้นภายในคิวไซเคิลที่ 2-4 (Q2-Q4) โดยกำหนดให้ในคิวไซเคิลที่ 2 หน่วยความจำข้อมูลที่ใช้เก็บค่าโอเปอร์แรนด์ (Operand) จะถูกอ่าน และถูกเขียนข้อมูลใหม่เข้าไปแทนที่ในคิวไซเคิลที่ 4

2.2.8 การจัดการหน่วยความจำของ PIC16F877

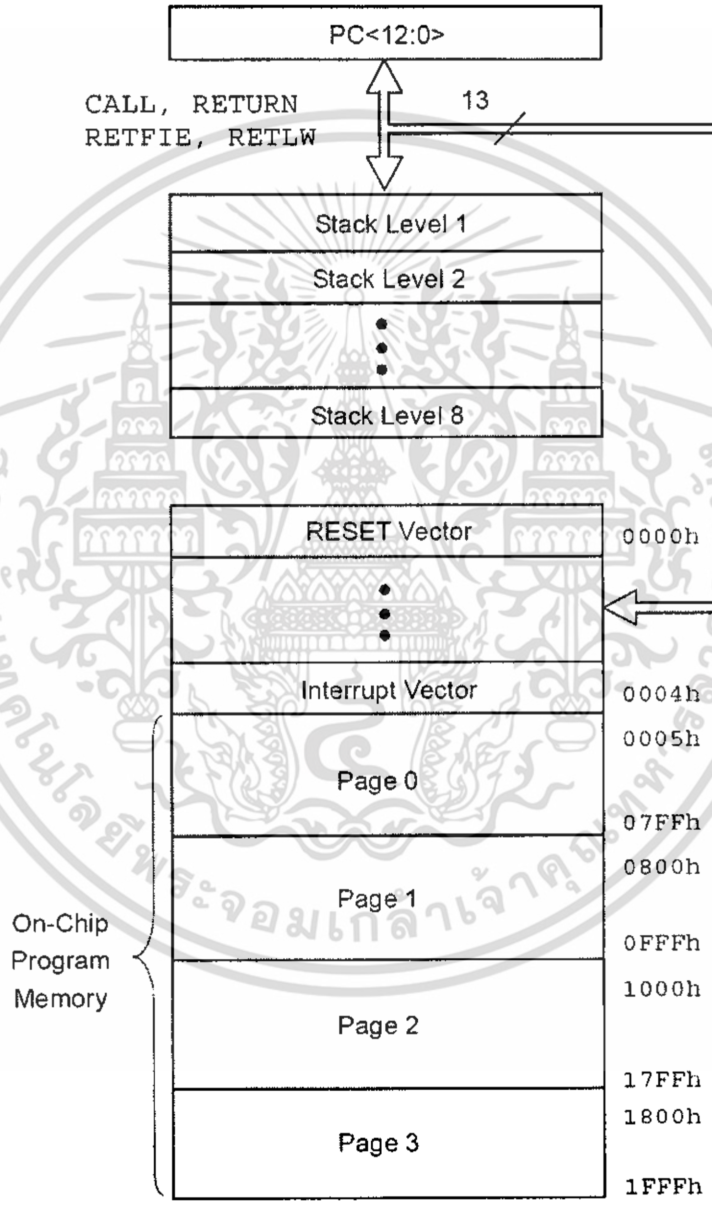
การจัดการหน่วยความจำของ PIC16F877 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูลและหน่วยความจำส่วนของEEPROM

2.2.8.1. หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877 เป็นหน่วยความจำแบบแฟลชซึ่งสามารถที่จะโปรแกรมลงบนหน่วยความจำนี้ได้ทั้งในโหมดโปรแกรมและในขณะทำงานปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F877 มี โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) ขนาด 13บิต ที่สามารถอ้างตำแหน่งหน่วยความจำได้ 8K X 14 ตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งรีเซตเวคเตอร์ (Reset Vector) อยู่ที่ตำแหน่ง 0000h และตำแหน่งอินเตอร์รัพต์ เวคเตอร์ (Interrupt Vector) อยู่ที่ตำแหน่ง 0004h และมีความลึกของสแต็ก (Stack) 8 ระดับ



รูปที่ 2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8.2. หน่วยความจำข้อมูล

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลได้รับการจัดสรรเป็น 2 ส่วน คื อ พื้ นที่ของรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register : SFR) และพื้นที่ของรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Function Register : GPR) การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลทั้ง SFR และ GPR จะถูกแบ่งออกเป็น 4 แบงค์ (Bank) ซึ่งเป็นที่อยู่ของรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป และรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ เราสามารถเปลี่ยนแบงค์ ได้โดยการเลือกที่บิต RP0 และ RP1 แต่ละแบงค์มีถึง 128 ไบต์ และส่วนต้นๆ ของแต่ละแบงค์ จะเป็นที่อยู่ของรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ และส่วนถัดไปจะเป็นที่อยู่ของ รีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป ซึ่งถูกใช้เหมือนกับแรมทั่วไป

การเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลสามารถทำได้ทั้งแบบโดยตรง (Direct) หรือแบบโดยอ้อม (Indirect) ผ่านทางรีจีสเตอร์เลือกแฟ้มข้อมูล (File Select Register : FSR)

2.2.9 รีจีสเตอร์ควบคุมของ PIC16F877

ใน PIC16F877 มีรีจีสเตอร์ควบคุมที่มีบทบาทสำคัญอยู่ 6 ตัว คือ

2.2.9.1. รีจีสเตอร์ STATUS

เป็นรีจีสเตอร์ที่ใช้แสดงสถานะทางคณิตศาสตร์ของหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ สถานะ การทำงานของ PIC16F877 และใช้เป็นตัวกำหนดการเลือกแบงค์ของหน่วยความจำข้อมูล การเข้าถึงรีจีสเตอร์ STATUS เพื่ออ่านและเขียนข้อมูลสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการเดียวกับการอ่านและเขียนรีจีสเตอร์ตัวอื่นๆ

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจีสเตอร์ STATUS

บิตที่	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-1	R/W-X	R/W-X	R/W-X
	IRP	IR1	IR0	TO	PD	Z	DC	C

2.2.9.2.รีจีสเตอร์ OPTION

เป็นรีจีสเตอร์ที่ควบคุมการอินเตอร์รัพต์จากสัญญาณภายนอก

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของบิตต่าง ๆ ในรีจีสเตอร์ OPTION

บิตที่	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
	RBPU	INTEG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9.3 รีจีสเตอร์ INTCON

เป็นรีจีสเตอร์ที่เก็บค่าบิตของการอีนาเบิลสัญญาณอินเตอร์รัพต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0B มีบทบาทสำคัญมากในเรื่องการอินเตอร์รัพต์

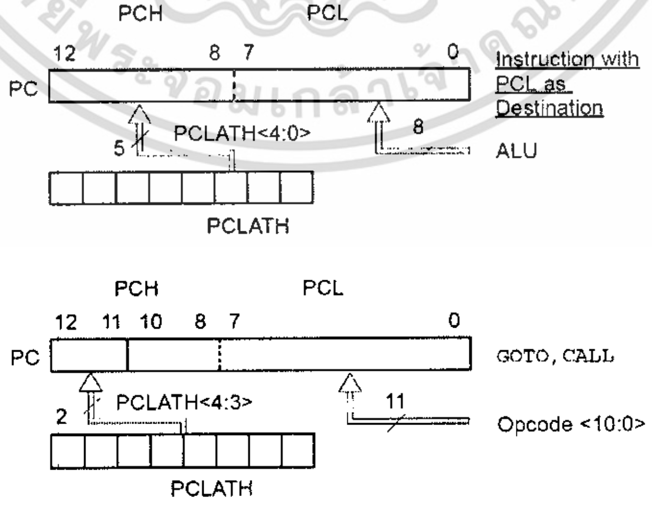
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดของบิตต่าง ๆ ในรีจีสเตอร์ INTCON

บิตที่	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF

2.2.9.4. รีจีสเตอร์โปรแกรมเคาน์เตอร์ PCL และ PCLATH

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) เป็นรีจีสเตอร์ที่มีหน้าที่ชี้ตำแหน่งแอดเดรสต่อไปของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน

โปรแกรมเคาน์เตอร์หรือ PC ใน PIC16F877 มีขนาด 13 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ รีจีสเตอร์โปรแกรมเคาน์เตอร์ไบต์ต่ำ หรือ PCL (Program Counter Low Byte) ซึ่งในส่วนนี้มีขนาด 8 บิต สามารถอ่านและเขียนค่าได้โดยตรง ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งมีขนาด 5 บิต ไม่สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลได้โดยตรง ต้องอาศัยการเขียนและอ่านค่าผ่านรีจีสเตอร์ PCLATH โดยรีจีสเตอร์ PCLATH จะทำการเก็บค่าของ 5 บิตบนโปรแกรมเคาน์เตอร์ไว้และถ่ายทอดลงสู่ 5 บิตบนของโปรแกรมเคาน์เตอร์ไบต์สูง (PCH) ก็ต่อเมื่อโปรแกรมเคาน์เตอร์มีการโหลดค่าใหม่เข้ามา ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อกระทำคำสั่ง CALL หรือ GOTO



รูปที่ 2.6 การถ่ายทอดข้อมูลภายในโปรแกรมเคาน์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9.5 สแต็ก (Stack)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ได้จัดสรรสแต็กหรือพื้นที่ในหน่วยความจำ เพื่อใช้ในการเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวได้ 8 ระดับ หากมีการพุชเป็นครั้งที่ 9 ซีพียูจะนำค่าของ PC ในครั้งที่ 9 นี้เก็บลงในสแต็กที่เก็บค่า PC ในครั้งที่ 1

2.2.9.6 รีจีสเตอร์ W

ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีรีจีสเตอร์ที่ใช้ในการทำงานหลักคือ รีจีสเตอร์ W หากเปรียบเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่น ๆ รีจีสเตอร์ W เทียบได้กับแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) เมื่อ PIC16F877 กระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์รีจีสเตอร์ W จะเป็นรีจีสเตอร์ที่ซีพียูติดต่อด้วยการโอนข้อมูลหรือการตรวจสอบข้อมูลจะกระทำที่รีจีสเตอร์ W

2.2.9.7 รีจีสเตอร์ไฟล์ (File Register)

เนื่องจาก PIC16F877 มีรีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายตัว จึงมีการจัดรวบรวมรีจีสเตอร์ทั้งหมดที่ต้องใช้การเข้าถึงแบบโดยอ้อมไว้ในลักษณะแฟ้มข้อมูล

รีจีสเตอร์ได้รับการนำมารวมไว้มีชื่อว่า รีจีสเตอร์ไฟล์ (Register File) มีขนาด 8 บิต และมีรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ ที่ถูกกำหนดหน้าที่และตำแหน่งไว้แล้วและอีก 68 ตัว จะได้รับการกำหนดให้ใช้งานอย่างอิสระ

2.2.10 การเข้าถึงรีจีสเตอร์และข้อมูลของ PIC16F877

1. การเข้าถึงข้อมูลแบบทันทีทันใด (Immediate Addressing Mode)

   การเข้าถึงข้อมูลแบบทันทีทันใดนี้จะเป็นการเข้าถึงค่าคงที่โดยตรง ด้วยการใช้ชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ (Literal) ร่วมกับรีจีสเตอร์ W หรือแอกคิวมูเลเตอร์ ตัวอย่างของคำสั่งที่แสดงให้เห็นถึงการเข้าถึงข้อมูลทันทีทันใดได้แก่ movlw k โดยที่ k คือค่าคงที่

2. การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรง (Direct Addressing Mode)

   การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรงนี้เป็นการเข้าถึงข้อมูลหรือรีจีสเตอร์ด้วยการกำหนดแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึงอย่างเจาะจง หรือระบุผ่านชื่อของรีจีสเตอร์ก็ได้ ดังตัวอย่างClrf Temp เป็นคำสั่งที่ต้องการเคลียร์ค่าของรีจีสเตอร์ตั้งชื่อว่า Temp

3. การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยอ้อม (Indirect Addressing Mode)

   การเข้าถึงแบบนี้จะใช้ในกรณีที่ต้องการติดต่อกับรีจีสเตอร์หลายๆ ตัวในคราวเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะมีรีจีสเตอร์ FSR (File Select Register) และรีจีสเตอร์ INDF ช่วยในการติดต่อแบบโดยอ้อม รีจีสเตอร์ FSR ทำหน้าที่เป็นตัวชี้แอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการเข้าถึง แล้วทำการอ่านข้อมูลนั้น ๆ จากรีจีสเตอร์ INDF หรืออาจกล่าวได้ว่าใช้รีจีสเตอร์ FSR เก็บค่าแอดเดรสและรีจีสเตอร์ INDF เก็บค่าของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเข้าถึงค่าข้อมูลแบบสัมพันธ์

การเข้าถึงค่าข้อมูลแบบสัมพันธ์นี้จะประกอบด้วยการคำนวณค่าสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างแอดเดรสที่เริ่มต้นทำงานกับแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึง โดยมีการใช้ค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์เข้ามาช่วยคำสั่งหนึ่งที่นำมาใช้ในการเข้าถึงข้อมูลสัมพันธ์ คือ Retlw

กระบวนการจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าออฟเซต (Offset) ลงในรีจีสเตอร์ W แล้วนำไปรวมกับค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ก็จะได้ค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการเข้าถึง การเข้าถึงแบบนี้มีข้อจำกัด คือ ระยะห่างของแอดเดรสเริ่มต้นกับแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึงต้องไม่เกิน 256 ตำแหน่ง

2.2.11 การใช้งาน Input / Output Port

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีพอร์ตสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 3 พอร์ต คือ พอร์ต A มีขนาด 6 บิต และพอร์ต B กับ พอร์ต C มีขนาด 8 บิต ขาแต่ละของ PIC16F877 สามารถจ่ายกระแสออกได้สูงสุด 25 มิลลิแอมป์ และสามารถรับกระแสสูงสุดต่อขาได้ 20 มิลลิแอมป์ เมื่อใช้ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ แต่ถ้าจะนำไปขับ LED จะต้องจำกัดกระแสโดยการต่อค่าความต้านทานเข้าไป แต่ถ้าใช้ไฟเลี้ยง +3 โวลต์ ก็สามารถที่จะขับ LED ได้โดยตรง

2.2.11.1 พอร์ต A และรีจีสเตอร์ TRISA

พอร์ต A เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง มีขนาด 6 บิต มีรีจีสเตอร์กำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต A คือ TRISA เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตที่ต้องการกำหนดให้เป็นอินพุต และถ้าหากต้องการใช้งานเป็นเอาต์พุตก็จะต้องเขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตที่ต้องการให้เป็นเอาต์พุต

สำหรับขาของพอร์ต A บิตที่ 4 หรือ RA / TOCKI มีความแตกต่างจากขาอื่น ๆ ตรงที่ว่าขานี้จะมีวงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) ต่อเข้าที่ขาอินพุตเพราะขานี้ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาภายนอกสำหรับขาไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ TMRO ภายใน

ขาของพอต A ยังมัลติเพล็กกับแอนาลอกอินพุต(Analog Input)และแอนาลอก Vrff อินพุต เมื่อต้องการใช้งานก็จะทำการกำหนดโดยเลือกเคลียร์หรือเซต(Clearing/Setting)ที่บิตคอนโทรล(Control Bit)ในรีจีสเตอร์ ADCON1(A/D Control Register 1)

ขณะเพาเวอร์ออนรีเว็ตขาของพ็อตAจะถูกกำหนดให้เป็นแอนาลอกอินพุตและกำหนดลอจิกเป็น "0"

2.2.11.2 พอร์ต B และรีจีสเตอร์ TRISB

พอร์ตBเป็นพอร์ตแบบสองทิศทางมีขนาด 8 บิต มีรีจีสเตอร์กำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต B คือ TRISB การกำหนดทิศทางจะกำหนดเช่นเดียวกับ TRISA

แต่ละขาของพอร์ต B สามารถเลือกให้พูลอัพโดยทำการเคลียร์บิต RBPU ในรีจิสเตอร์ OPTION และการพูลอัพจะถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติเมื่อกำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาท์พุต และนอกจากนี้การพูลอัพจะถูกยกเลิกเมื่อเกิดเพาเวอร์ออนรีเซ็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของขาอีก 4 ขา คือ (RB4-RB7)ยังใช้เป็นขาเพื่อการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือระดับสัญญาณของพอร์ต B เพื่อกระตุ้นให้เกิดการ กล่าวคือ จะสามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้เฉพาะขาที่เป็นอินพุต(ถ้าบิตRB4-RB7 บิตใดบิตหนึ่งเป็นเอาท์พุตจะไม่สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัพได้)

ขณะที่อยู่ในโหมดสลีปสามารถทำงานให้อุปกรณ์เกิดการอินเตอร์รัพได้โดยผู้ใช้สู่การบริการอินเตอร์รัพย่อยสามารถทำการเคลียร์อินเตอร์รัพต์ได้ดังนี้

1. อ่านหรือเขียนจากพอร์ต B อย่างใดอย่างหนึ่งจะทำให้หยุดการทำงาน

2. เคลียร์บิต RBIF

3. พอร์ต C และรีจีสเตอร์ TRISC

พอร์ต C เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง มีขนาด 8 บิต มีรีจิสเตอร์กำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต C คือ TRISC

พอร์ต C จะมัลติเพล็กซ์กับฟังก์ชันอุปกรณ์เสริมมากมาย และพอร์ต C นี้ยังมีบัฟเฟอร์ (Buffer) ทางอินพุตแบบชมิตทริกเกอร์ เมื่อทำการอีนาเบิล (Enable) ฟังก์ชั่นอุปกรณ์เสริม ควรระวังในการกำหนดค่าของบิต TRIC และในบางอุปกรณ์เสริมจะทำการโอเวอร์ไรด์ (Override) บิต TRIS เพื่อกำหนดให้ขานี้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต และควรจะหลีกเลี่ยงตำแหน่งปลายทาง ผู้ใช้ควรจะอ้างอิงถึงส่วนอุปกรณ์เสริมที่คล้ายคลึงสำหรับการตั้งค่าบิต TRIS ให้ถูกต้อง

2.2.11.3 การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดทิศทางของพอร์ต

เริ่มจากการเลือกแบงค์ของรีจิสเตอร์ไฟล์ไปที่แบงค์ 1 โดยการเซตบิต RPO ในรีจิสเตอร์ STATUS จากนั้นเขียนค่า "0" หรือ "1" ซึ่งเป็นการกำหนดทิศทางว่าเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ไปยังรีจีสเตอร์ พอร์ต A พอร์ต B และ พอร์ต C ตามตำแหน่งบิตที่ต้องการกำหนดโดยแอดเดรสที่อ้างถึงจะตรงกับ 0x05, 0x06 และ 0x07 ตามลำดับ ซึ่งก็คือแอดเดรสของรีจีสเตอร์ TRISA, TRISB และ TRISC ได้โดยตรง

หลังจากการกำหนดทิศทางของพอร์ตแล้ว ก็ต้องทำการเลือกแบงค์ของรีจีสเตอร์ไฟล์ให้กลับมายังแบงค์ 0 เพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลกับพอร์ตจริงๆ โดยผ่านทางรีจีสเตอร์ พอร์ต A พอร์ต B และ พอร์ต C วิธีการก็คือ การเคลียร์บิต RPO ของรีจีสเตอร์ STATUS

2.2.12 ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F877

2.2.12.1. การเลือกโหมดไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์

การกำหนดให้โมดูลไทม์เมอร์ 0 ทำงานในลักษณะเป็นไทม์เมอร์หรือตัวตั้งเวลากับเคาน์เตอร์ หรือวงจรนับ จะต้องทำการกำหนดบิต TOCS อันเป็นบิตที่ 5 ของรีจีสเตอร์ OPTION เมื่อกำหนดให้บิต TOCS เป็น "0" โมดูลไทม์เมอร์ 0 จะทำงานในโหมดไทม์เมอร์ ซึ่งรับสัญญาณนาฬิกาจากภายในของ PIC16F8XX และหากกำหนดให้บิต TOCS เป็น "1" โมดูลไทม์เมอร์ 0 จะทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ ซึ่งจะรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกโดยผ่านมาทางขา RA4/TOCK1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโมดูลไทม์เมอร์ 0 ทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ TMRO จะเพิ่มค่าขึ้นเมื่อมีสัญญาณนาฬิกานั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดที่บิต TOSE อันเป็นบิต 4 ของรีจีสเตอร์ OPTION

2.2.12.2 การอินเตอร์รัพต์ของ TMRO

จะเกิดขึ้นเมื่อค่าของรีจีสเตอร์ TMRO เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก Oxff มาเป็น OxOO หรือเรียกว่าเกิดโอเวอร์โฟลว เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว บิต TOIF ซึ่งเป็นบิต 2 ของรีจีสเตอร์ INTCON จะเซตเป็น "1" และถ้าหากไม่ต้องการให้เกิดอินเตอร์รัพต์อันเนื่องมาจากการเกิดโอเวอร์โฟลวของ TMRO ให้ทำการเคลียร์บิต TOIE อันเป็นบิต 5 ของรีจีสเตอร์ INTCON

ถ้าหากเกิดโอเวอร์โฟลวแล้วต้องการเคลียร์บิต TOIF ด้วยวิธีการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น ก่อนที่จะออกจากการบริการอินเตอร์รัพต์ มิฉะนั้นจะเกิดการอินเตอร์รัพต์ซ้อนขึ้นเป็นระยะ ซึ่งทำได้โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อเคลียร์บิต TOIF รวมเข้าไปในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัพต์อันเนื่องมาจาก TMRO เกิดโอเวอร์โฟลว

2.2.12.3 การใช้ TMRO กับสัญญาณนาฬิกาภายนอก

เมื่อต้องการ TMRO ทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก สิ่งที่ต้องจะให้ความสำคัญมากจังหวะเวลาของสัญญาณจะต้องสอดคล้องกับจังหวะการทำงานภายในของ PIC16F877 หรือเกิดการซิงโครไนเซชั่น (Syncronization) เมื่อมีการป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอกให้แก่ TMRO ผ่านทางขา RA4/TOCKI และไม่มีการใช้ปรีสเกลเลอร์ภายใน PIC16F877 การซิงโครไนเซชั่นระหว่างสัญญาณนาฬิกาภายนอกที่ขา RA4/TOCKI กับสัญญาณนาฬิกาภายในจะเกิดขึ้นจากการสุ่มที่ไซเคิล Q2 และ Q4 ของสัญญาณนาฬิกาภายใน สัญญาณที่ขา TOCKI จะต้องมีคาบเวลามากกว่าสัญญาณนาฬิกาภายในหรือ TOSE หรืออย่างน้อย 2 เท่า

กรณีที่ใช้ปรีสเกลเลอร์สัญญาณนาฬิกาภายนอกจะถูกหารด้วยปรีสเกลเลอร์ แบบวงจรนับ อะซิงโครนัส (Asynchjronous Ripple Counter Type Prescaler) ทำให้เอาต์พุต ปรีสเกลเลอร์จะมีความสมาตรกัน สัญญาณนาฬิกาภายนอกที่จะป้อนเข้าสู่ TMRO ต้องมีคาบเวลาอย่างน้อย 4 เท่าของ TOSC และความกว้างของสัญญาณนาฬิกาจะต้องไม่น้อยกว่า 10 นาโนวินาที

2.2.12.4 ผลทางเอาต์พุตของไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์จะให้ผลทางเอาต์พุต 2 ลักษณะ คือ อ่านค่าของโมดูลไทม์เมอร์ที่ รีจีสเตอร์ TMRO ที่แอดเดรส OxO1 และกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพต์เมื่อเกิดฒอเวอร์โฟลวจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูล Oxff เป็น OxOO

2.2.12.5 ปรีสเกลเลอร์

เป็นตัวนับขนาด 8 บิตที่ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นปรีสเกลเลอร์เมื่อทำงานร่วมกับไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ และเป็นโพสต์- สเกลเลอร์ (Post Sacler) เมื่อทำงานร่วมกันวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปรีสเกลเลอร์จะหารสัญญาณนาฬิกาอินพุตด้วยค่า 1 ใน 8 ค่าซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ โดยค่าของปรีสเกลเลอร์ที่สามารถกำหนดได้ประกอบด้วย 2,4,8,16,32,64,128 และ 256

การกำหนดค่าของปรีสเกลเลอร์เพื่อทำการลดทอนสัญญาณนาฬิกา สามารถทำได้โดยกำหนดที่รีจิสเตอร์ OPTION 4 บิต คือ บิต PSA PS2 และ PS0

ค่าของปรีสเกลเลอร์จะถูกเคลียร์เมื่อ PIC16F877 กระทำคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการเขียนข้อมูลมายัง TMRO เช่นคำสั่ง Clrf คำสั่ง Movwf และคำสั่ง Bsf เป็นต้น

2.2.13 การใช้งาน EEPROM ภายใน

PIC16F877 มีหน่วยความจำแบบ EEPROM โดยสามารถอ่านและเขียนในขณะทำงานปกติได้แต่โดยการเข้าถึงนั้นจะต้องทำผ่านรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษซึ่งต้องใช้ถึง 4 ตัวดังนี้

2.2.13.1 EECON1 และ EECON2

EECON1 เป็นรีจีสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ และ EECON2 ใช้เป็น ซีเควน (Sequence) ของการเขียนเท่านั้นไม่สามาถอ่านและเขียนในขณะทำงานปกติ

บิต EEPGO เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่าจะเข้าถึง EEPROM หรือหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory) คือ ถ้าเป็น "0" จะเป็นการเข้าถึงอีอีพรอม (EEPROM) ถ้าเป็น "1" เป็นการเข้าถึงหน่วยความจำแบบแฟลช

บิต RD และ WR เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่าจะเป็นการอ่านหรือเขียนโดยทั้งสองบิตนี้สารถเซตได้โดยการใช้ซอฟต์แวร์ อย่างเดียวแล้วจะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์ (Hardware)เมื่ออ่านหรือเขียนเสร็จเรียบร้อย

บิต WREN เป็นบิตที่ใช้อีนาเบิล การเขียนและปกติจะถูกดีสเอเบิล (Disable) หรือเป็น "0" บิต WRERR ใช้บอกว่าการเขียนเกิดขัดจังหวะจากการรีเซต (Reset) หรือวอตช์ด็อก ทำงานซึ่งบิตนี้จะเซต "1" ถ้าเกิดกรณีทั้งสองขณะเขียนข้อมูลลงอีอีพรอมและถ้าไม่เกิดกรณีทั้งสองขณะเขียนข้อมูลจะเป็น "1"

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของรีจีเตอร์ EECON1

บิตที่	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
	U	U	U	R/W-0	R/W-X	R/W-0	R/S-0	R/S-X
	-	-	-	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD

บิต 7-5 : ในPIC 16F8XX ไม่ใช้บิตนี้ อ่านค่าได้เป็น "0"

บิต 4 : EEIF (EEPROM Write Operation Interrupt Flag Bit) บิตแสดงการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมสมบูรณ์ จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น หากมีการอีนาเบิลไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
75184
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"1" เมื่อการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมสมบูรณ์ (เคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์)

"0" เมื่อการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมไม่สมบูรณ์หรือยังไม่เริ่มต้นการเขียนข้อมมูล

บิต3 : WRERR (EEPROM Error Flag Bit) บิตแสดงความผิดพลาดในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอม

"1" เมื่อการเขียนข้อมูลถูกขัดจังหวะ ทำให้การเขียนข้อมูลเกิดความผิดพลาด

"0" เมื่อการเขียนข้อมูลสมบูรณ์

บิต 2 : WREN (EEPROM Write Enable Bit) บิตอีนาเบิลการเขียนข้อมูลยอมให้เกิดการเขียนข้อมูล

"1" ยอมให้เกิดการเขียนข้อมูล

"0" ไม่ยอมให้เกิดการเขียนข้อมูลยอมให้เกิดการเขียนข้อมูล

บิต 1 : WR (Write Control Bit) บิตควบคุมการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอม

"1" แสดงถึงไซเคิลของอินนิเชียล (Initial) การเขียนข้อมูลหรือใช้เป็นบิตเริ่มต้นการเขียนข้อมูลสามารถเซตได้ทางซอฟต์แวร์และบิตนี้จะเคลียร์อัตโนมัติ เมื่อเกิดการเขียนข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

"0" เมื่อไซเคิลของการเขียนข้อมูลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

บิต 0 : RD (Read Control Bit) บิตควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำอีอีพรอม

"1" แสดงถึงไซเคิลของการกำหนดค่าเริ่มต้นการอ่านข้อมูล หรือใช้เป็นบิตเริ่มต้นการอ่านข้อมูลสามารถเซตได้ ได้ทางซอฟต์แวร์ บิตนี้จะเคลียร์อัตโนมัติเมื่อเกิดการเขียนข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

"0" เมื่อไซเคิลของการเขียนข้อมูลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.2.13.2 EEDATA

EEDATA ใช้เป็นที่พักข้อมูลขนาด 8 บิตที่ต้องการอ่านหรือเขียนมีจำนวน 64 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ OxOO - Ox3F การเขียนและอ่านข้อมูลจะกระทำในระดับไบต์หรือครั้งละ 8 บิตเท่านั้น การเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมทุกครั้งต้องทำการลบข้อมูลออกก่อนเสมอ ซึ่งอัตราเร็วในการลบข้อมูลจะสูงในขณะที่อัตราเร็วในการเขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับไทม์เมอร์ในตัว PIC16F877 ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันและอุณหภูมิในขณะที่ทำการเขียนข้อมูลนั้น

เมื่อทำการป้องกันข้อมูลในหน่วยความจำอีอีพรอมแล้ว ซีพียูสามารถอ่านและเขียนข้อมูลในหน่วยความจำได้ตามปกติ แต่เครื่องโปรแกรมภายนอกจะไม่สามารถเข้าถึงหน่วยความจำส่วนนี้

2.2.13.3 EEADR

เป็นรีจีสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมที่ต้องการเขียนโดยมีค่าตั้งแต่ OOH ถึง FFH (256 ไบต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.14 คุณสมบัติพิเศษของซีพียู PIC16F877

2.2.14.1 การทำงานในโหมดสลีปหรือเพาเวอร์ดาวน์

การเข้าสู่โหมดการทำงานแบบนี้ จะเกิดขึ้นหลังจากการะทำคำสั่ง Sleep เมื่อเริ่มทำงานวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์จะถูกเคลียร์ (แต่ยังทำงานอยู่) บิต PD ในรีจีสเตอร์ STATUS จะถูกเคลียร์ด้วย ในขณะที่บิต TO ในรีจีสเตอร์ STATUS จะเซต วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในหยุดทำงาน ส่วนขาสัญญาณทุกพอร์ตจะคงสถานะเดิมก่อนหน้าที่จะกระทำคำสั่ง Sleep

การจากโหมดสลีปหรือการเวกอัป (Wake Up) PIC16F877 จะออกจากโหมดสลีปได้ หากมีเหตุการณ์ 1 ใน 3 เกิดขึ้น คือ

1. เกิดสัญญาณรีเซตจากภายนอกป้อนเข้าที่ขา MCLR
2. วอตซ์ด็อกไทม์เมอร์เวกอัป (ถ้าหากมีการอีนาเบิลวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์ไว้)
3. เกิดอินเตอร์รัพขึ้นจากการป้อนสัญญาณเข้าที่ขา RB0/INT จากการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่พอร์ต B บิต 7 - บิต 4 หรือจากการที่เขียนข้อมูลในอีอีพรอมสมบูรณ์

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ กระทำคำสั่ง Sleep แล้วคำสั่งต่อไปนี้จะถูกเฟตซ์ขึ้นมา ถ้าหากคำสั่งต่อไปนี้เป็นคำสั่งที่ทำให้เกิดการอินเตอร์รัพไมโครคอนโทรลเลอร์จะเวกอัปกระทำคำสั่งและต้องตรวจสอบสถานะที่บิต GIE ด้วย หากบิต GIE เป็น "0" อยู่ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดการเวกอัปซีพียูจะทำงานในคำสั่งที่ถัดจาก Sleep ต่อไปตามลำดับ แต่ถ้ากำหนดบิต GIE เป็น "1" เมื่อเกิดการเวกอัปไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำคำสั่งที่ถัดจาก Sleep แล้วกระโดดไปยังอินเตอร์รัพแอดเดรสที่ตำแหน่ง 0x04 ดังนั้นคำสั่งที่ควรใช้หลังคำสั่ง Sleep คือ Nop (No Operation)

ถ้าเกิดการอินเตอร์รัพเกิดขึ้นระหว่างหรือหลังจากเอ็กซิคิวต์คำสั่ง Sleep ซีพียูจะเวกอัปโหมดสลีปทันที ทั้งนี้ซีพียูจะกระทำคำสั่ง Sleep จนเสร็จสิ้นก่อน ในขณะที่วอตซ์ด็อกไทม์เมอร์จะเคลียร์ค่าทั้งหมด บิต TO จะเซต และ PD จะได้รับการเคลียร์

ดังนั้นก่อนเข้าสู่โหมดสลีปจะมีการตรวจสอบสถานะของบิต INTE และ INTF ก่อนและเพื่อให้แน่ใจว่าวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์ได้รับการเคลียร์จริง ๆ ควรเอ็กซิคิวต์คำสั่ง Clrwdt ก่อนที่จะกระทำการเอ็กซิคิวต์คำสั่ง Sleep

2.2.14.2 การโปรแกรมแบบอนุกรมภายในวงจร

PIC16F877 สามารที่จะโปรแกรมข้อมูลลงบนตัวมันได้ แม้ว่าจะอยู่ในวงจรก็ตาม โดยใช้ขาสัญญาณสองขา สำหรับสัญญาณนาฬิกาและข้อมูลอีก 3 ขา สัญญาณสำหรับไฟเลี้ยง กราวด์ และแรงดันสำหรับโปรแกรม

PIC16F877 ถูกกำหนดให้ทำงานในโหมดโปรแกรม (Program / Verify Mode) โดยการทำให้ขา RB6 และ RB7 ได้รับลอจิก "0" ขา RB6 จะถูกใช้สำหรับรับสัญญาณนาฬิกา ส่วนขา RB7 รับข้อมูลที่ต้องการโปรแกรมในขณะที่ขา MCLR ใช้รับแรงดันสำหรับการโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการรีเซตโปรแกรมเคาน์เตอร์ของ PIC16F877 จะถูกกำหนดให้ไปที่ตำแหน่ง 0x00 คำสั่งขนาด 6 บิต และข้อมูลขนาด 14 บิต จะถูกส่งเข้าไปในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน PIC16F877 โดยการใช้คำสั่งเกี่ยวกับการถ่ายทอดข้อมูล

2.2.14.3 วอตช์ด็อกไทม์เมอร์

เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณอย่างต่อเนื่องหรือที่เรียกว่า ฟรีรันนิ่งออสซิลเลเตอร์ (Free Running Oscillator) แบบ RC บรรจุอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ในการทำงานจึงไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ภายนอกแต่อย่างใด วงจรออสซิลเลเตอร์ในส่วนของวอตซ์ไทม์เมอร์นี้แยกการทำงานออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ขา OSC1 / CLKIN อย่างสิ้นเชิง ดังนั้นวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์หรือ WDT จะยังคงทำงานต่อเนื่องไป แม้ว่าไม่มีการป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้ามาที่ขา OSC1/CLKIN และ OSC2/CLKOUT ก็ตาม โดยยังคงทำงานตราบเท่าที่ยังมีการจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 กระทำคำสั่ง Sleep สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะถูกปลดออกแต่วอตซ์ด็อกไทม์เมอร์ภายใน PIC16F877 ยังคงทำงานต่อไป กล่าวคือยังคงมีการกำเนิดสัญญาณและนับค่าต่อไปเรื่อยๆ จนถึงค่าที่กำหนดไว้ ก็จะเกิดสภาวะที่เรียกว่า ไทม์เอาต์ (Time Out) ถ้าหากอยู่ในสภาวะการทำงานปกติเมื่อวอตซ์ด็อกเกิดไทม์เอาต์จะสร้างสัญญาณรีเซตขึ้น แต่ถ้าอยู่ในโหมดสลีปสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการไทม์เอาต์จะกระตุ้นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 กลับมาทำงานในโหมดปกติต่อไป

2.2.14.4 คาบเวลาของวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์

วอตซ์ด็อกจะมีคาบเวลาไทม์เอาต์เท่ากับ 18 มิลลิวินาที ในกรณีที่ไม่มีการใช้ปรีสเกลเลอร์คาบเวลานี้อาจคลาดเคลื่อนได้ตามอุณหภูมิใช้งานและค่าของแรงดันไฟเลี้ยง ถ้าต้องการให้คาบเวลาของวอตซ์ด็อกยาวนานขึ้น จะต้องนำปรีสเกลเลอร์มาช่วยซึ่งสามารถกำหนดได้ด้วยกระบวนการซอฟต์แวร์โดยการกำหนดค่าลงในรีจีสเตอร์ OPTION เมื่อนำปรีสเกลเลอร์มาช่วยเพิ่มคาบเวลาจะสามารถเพิ่มได้สูงถึง 128 เท่า หรือประมาณ 2.3 วินาที

คำสั่ง Clrwdt และ Sleep เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเคลียร์ค่าของวอตซ์ด็อกเมื่อกระทำคำสั่งนี้ ค่าของวอตซ์ด็อกจะกลายเป็นศูนย์ โดยที่ไม่เกิดการไทม์เอาต์และกำเนิดสัญญาณเพื่อทำการรีเซตระบบ บิต TO ในรีจีสเตอร์ STATUS จะถูกเคลียร์เมื่อวอตซ์ด็อก เกิดการไทม์เอาต์

2.2.14.5 การรีเซตของ PIC16F877

กระบวนการรีเซตที่เกิดขึ้นกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีด้วยกัน 5 แบบ ดังนี้

1. เพาเวอร์ออนรีเซต (Power-On Reset : POR)
2. การเกิดรีเซตที่ขา MCLR ในขณะที่ทำงานปกติ
3. เกิดการรีเซตที่ขา MCLR ในขณะที่อยู่ในโหมดสลีป
4. การรีเซตอันเนื่องมาจากวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์ในขณะทำงานปกติ
5. การรีเซตอันเนื่องมาจากวอตซ์ด็อกไทม์เมอร์ในขณะทำงานอยู่ในโหมดสลีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดการรีเซตจะส่งผลต่อค่าของรีจีสเตอร์ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 โดยจะเกิดการเคลียร์ค่าเป็น 0 แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับว่าสาเหตุของการรีเซตมาจากอะไร เพราะจะมีรีจีสเตอร์บางตัวที่ยังคงค่าเดิมอยู่แม้ว่าจะเกิดการรีเซตก็ตาม

2.2.14.6 เพาเวอร์ออนรีเซต (POR)

การรีเซตแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการตรวจจับแรงดันที่ขา V_{DD} ได้ในระหว่างแรงดันอยู่ในช่วง 1.2-1.7 โวลต์ ในขณะที่ขา MCLR จะต่ออยู่กับไฟเลี้ยงโดยตรงหรือผ่านตัวต้านทานทำให้ขา R (Reset) ของ RS ฟลิปฟลอป (Flip Flop) ที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับลอจิก "1" ซึ่งจะส่งผลให้ฟลิปฟลอปเกิดการรีเซต การรีเซตแบบนี้จะไม่เกิดขึ้นหากไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

2.2.14.7 เพาเวอร์อัปไทม์เมอร์ (PWRT)

เมื่อเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต จะทำให้ไทม์เมอร์ตัวหนึ่งภายใน PIC16F877 ทำงานไทม์เมอร์ตัวนั้น คือ เพาเวอร์อัปไทม์เมอร์ (Power Up Timer : PERT) จะทำการกำหนดคาบเวลาไทม์เอาต์ (Time- Out : TPWRT) ไว้ที่ 72 มิลลิวินาที หลังจากที่เกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

คาบเวลาของเพาเวอร์อัปไทม์เมอร์ได้รับการกำหนดโดยวงจรออสซิลเลเตอร์ RC ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะดำรงสถานการณ์รีเซตไว้จนกว่าเพาเวอร์อัปไทม์เมอร์จะแอกทีฟ

การอีนาเบิลและดิสเอเบิลเพาเวอร์อัปไทม์เมอร์สามารถทำได้โดยกำหนดที่บิต PWRTE ใน Configuration Bit

2.2.14.8 ออสซิลเลเตอร์ สตาร์ทอัปไทม์เมอร์ (OST)

OST ทำหน้าที่กำหนดสัญญาณหน่วงเวลาขนาด 1,024 ไซเคิล หลังจากสิ้นสุดการทำงานของ PWRT เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรจะกำเนิดสัญญาณนาฬิกา แบบคริสตอลและเซรามิกเรโซเนเตอร์พร้อมจะเริ่มทำงานแล้ว

2.2.15 การอินเตอร์รัพต์ของ PIC16F877

การอินเตอร์รัพต์ (Interrupt) คือ การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น ซีพียูจะทำงานจนจบไซเคิลนั้น แล้วจึงมาตอบสนองการอินเตอร์รัพต์โดยกระโดดมาทำงานยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ จนกระทั่งเมื่อตอบสนองการอินเตอร์รัพต์เรียบร้อยแล้ว ซีพียูจะกลับไปทำงานต่อจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าการอินเตอร์รัพต์

การเกิดอนเตอร์รัพต์ใสระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีทั้งจากในตัวซีพียูและจากภายนอกหรือจากกระบวนการประมวลผลของซอฟต์แวร์ก็ได้ ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 สามารถรับการอินเตอร์รัพต์โดยสรุปได้ 4 แหล่งกำเนิด ดังนี้

1. สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกป้อนเข้าที่ขา RB0/INT
2. การอินเตอร์รัพต์อันเนื่องจาก TMRO เกิดโอเวอร์โฟลว
3. การอินเตอร์รัพต์อันเนื่องมาจากเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ขา RB4-RB7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การอินเตอร์รัพต์อันเนื่องมาจากการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมเสร็จ

PIC16F877 สามารถที่จะเลือกการตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ทั้ง 4 รูปแบบหรือจะเลือกตอบสนองบางแหล่งกำเนิดก็ได้โดยการกำหนดที่รีจีสเตอร์ INTCON

ระดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ บิต GIE จะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด ถ้าหากบิต GIE เป็น "0" จะเป็นการดิสเอเบิลการอินเตอร์รัพต์จากทุกแหล่งกำเนิด ในขณะเดียวกันถ้าหากบิต GIE เป็น "1" จะกำหนดให้ PIC16F877 พร้อมที่จะตอบสนองการอินเตอร์รัพต์จากทุกแหล่งกำเนิด ขึ้นกับว่าบิตควบคุมการอินเตอร์รัพต์อื่น ๆ ในรีจีสเตอร์ INTCON จะมีการอีนาเบิลไว้หรือไม่

เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น PIC16F877 จะกระโดดไปทำงานที่แอดเดรส 0x04 ของหน่วยความจำโปรแกรมเสมอ ซึ่งโปรแกรมย่อยที่แอดเดรส 0x004 จะเรียกว่า โปรแกรมย่อยของการบริการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt)

ทุกครั้งที่เกิดอินเตอร์รัพต์ ก่อนที่จะทำการเอ็กซิคิวต์ โปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัพต์ควรจะมีการหน่วงเวลาอย่างน้อย 3-4 ไซเคิลของการกระทำคำสั่ง (Instruction Cycle)

2.2.15.1 รายละเอียดของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์

1. แหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์จากภายนอก (External Interrupt)

การใช้แหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์แบบนี้จะต้องใช้ทั้งกระบวนการทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยฮาร์ดแวร์ หมายถึง การกำหนดระดับสัญญาณหรือระดับลอจิกที่ป้อนเข้าสู่ขา RB0 / INT เพื่อทำให้ซีพียูภายใน PIC16F877 รับทราบถึงการเกิดอินเตอร์รัพต์

การกำหนดขอบขาของสัญญาณที่ทำให้เกิดการอินเตอร์รัพต์ต้องกระทำด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดข้อมูลลงในบิต INTED (บิต 6) ของรีจีสเตอร์OPTION ผู้ใช้งานสามารถอีนาเบิลการอินเตอร์รัพต์แบบนี้ได้โดยกำหนดที่บิต 4 ในรีจีสเตอร์ INTCON

2. อินเตอร์รัพต์จากไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

เมื่อไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ TMRO เกิดการโอเวอร์โฟลว กล่าวคือ ถ้าการนับของเคาน์เตอร์เปลี่ยนจาก 0xff มาเป็น 0x00 จะเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น การอินเตอร์รัพต์นี้เป็นการอินเตอร์รัพต์จากแหล่งกำเนิดภายใน PIC16F8XX

3. อินเตอร์รัพต์จากการเปลี่ยนแปลงที่ขา RB4-RB7 ของพอร์ต B

การอินเตอร์รัพต์แบบนี้เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเซตบิต RBIE ซึ่งเป็นบิต 3 ของรีจีสเตอร์ INTCON เมื่อมีการอินเตอร์รัพต์แบบนี้ ขาสัญญาณของพอร์ต B ทั้ง 4 ขา คือ RB4-RB7 จะเริ่มมีการตรวจสอบเปรียบเทียบระดับลอจิกที่ขาสัญญาณว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นก็จะเกิดการอินเตอร์รัพต์ซีพียูจะทำการเซตบิต RBIF อันเป็นบิต 0 ของรีจีสเตอรี INTCON

การเคลียร์อินเตอร์รัพต์นี้ สามารถกระทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ได้ 2 วิธี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รีเซตบิต RBIE ซึ่งเป็นบิต 3 ของรีจีสเตอร์ INTCON

2. อ่านค่าพอร์ต B หลังเกิดการอินเตอร์รัพต์ และรีเซตบิต RBIF ของรีจีสเตอร์ INTCON

2.2.15.2 การเก็บข้อมูลเมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์

เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์ค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) จะถูกเก็บไว้ในสแต็กโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องทราบว่าก่อนเกิดการอินเตอร์รัพต์ทำงานอยู่ที่แอดเดรสใด เมื่อตอบสนองการอินเตอร์รัพต์แล้ว ซีพียูจะต้องย้อนกลับมาทำงานต่อตามที่เก็บไว้ในสแต็ก

2.2.15.3 ตำแหน่งเริ่มต้นของการบริการอินเตอร์รัพต์

ค่าอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์ (Interrupt Vector) ของ PIC16F877 คือ 0x04 เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น อินเตอร์รัพต์เวกเตอร์จะชี้มาที่หน่วยความจำโปรแกรมตำแหน่ง 0x004 ซึ่งที่ตำแหน่งแอดเดรสนี้คำสั่งแรกของโปรแกรมย่อยของการบริการอินเตอร์รัพต์จะต้องถูกเก็บไว้

2.2.15.4 การบริการอินเตอร์รัพต์เมื่อมีแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์ภายนอกหลายแหล่ง

ถ้าหากในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์มากกว่า 1 แหล่ง ฮาร์ดแวร์จะกำเนิดสัญญาณ เพื่ออินเตอร์รัพต์ไมโครคอนโทรลเลอร์และแจ้งให้ทราบถึงสาเหตุของการอินเตอร์รัพต์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีการจัดโปรแกรมย่อยที่แตกต่างกันไปสำหรับการอินเตอร์รัพต์ในแต่ละลักษณะ

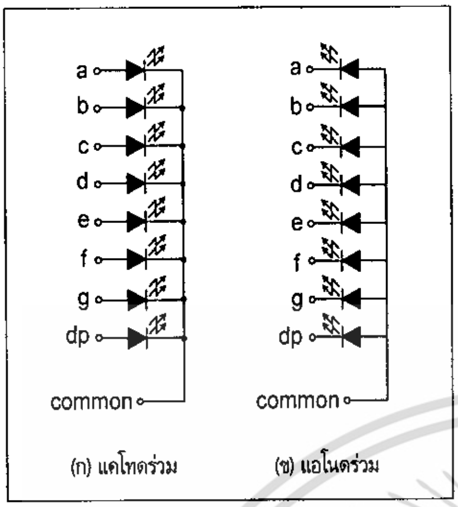
สำหรับ PIC16F877 มีขาสำกรับรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกเพียง 1 ขา เท่านั้น ถ้าหากต้องทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์จากภายนอกหลายแหล่ง จะต้องใช้ขาสัญญาณพอร์ตอินพุตรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัพต์ภายนอก แล้วใช้วิธีการพูลลิ่ง (Pulling) ซึ่งคือ

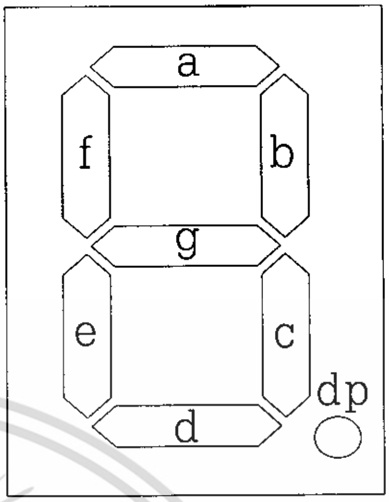
2.3 LED ตัวเลข 7 ส่วน

LED ตัวเลข 7 ส่วนประกอบขึ้นจาก LED จำนวน 7 ตัวที่บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันและได้รับการจัดเรียงเป็นรูปตัวเลข LED แต่ละตัวจะถูกเรียกว่า ส่วน หรือ เซกเมนต์ (Segment) แต่ละส่วนหรือเซกเมนต์มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามตำแหน่งที่ได้รับการจัดวาง คือ a,b,c,d,e,f และ g ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วน dp เป็น LED อีก 1 ตัวที่บรรจุอยู่ใน LED ตัวเลข 7 ส่วนนี้ใช้เป็นตัวแสดงจุดทศนิยมในกรณีที่มีการแสดงผลในลักษณะเลขที่มีทศนิยม

LED ทุกตัวที่บรรจุใน LED ตัวเลข 7 ส่วนนี้มีขาต่อร่วมกันซึ่งก็มีทั้งแบบต่อขาแคโทดร่วมกัน เรียกว่า แคโทดร่วม (Common Cathode) และแบบต่อขาแอโนดร่วมกัน เรียกว่า แบบแอโนดร่วม (Common Anode) การขับให้ LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแคโทดร่วมสว่างจะต้องจ่ายไฟลบเข้าทางขาร่วม แล้วจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาแอโนดซึ่งก็คือขาของแต่ละเซกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

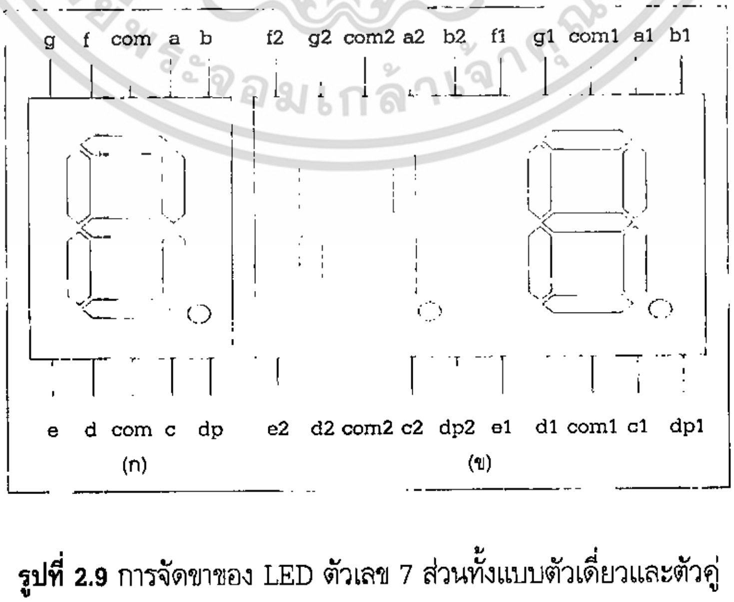




รูปที่ 2.7 รูปร่างและการกำหนดชื่อเซกเมนต์ต่างๆ ของ LED ตัวเลข 7 ส่วน

รูปที่ 2.8 วงจรภายใน LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบแคโทดร่วมและแอโนดร่วม

LED ตัวเลข 7 ส่วนมีจำหน่ายทั้งแบบตัวเดี่ยว,ตัวคู่ และแบบที่มีมากกว่า 2 หลัก แต่ที่นิยมใช้งานและหาได้ง่ายมี 2 แบบ คือ แบบตัวเดี่ยวและแบบตัวคู่ โดยมีการจัดขาดังในรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบตัวเดี่ยวมีการต่อใช้งาน 10 ขา คือ ขา a,b,c,d,e,f,g,db และขาร่วม (Common) ซึ่งมีขา 2 ขาถ้าเป็น LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบตัวคู่มีขาต่อใช้งาน 20 ขาแบ่งเป็นขา a,b,c,d,e,f,g,และdbอย่างละ 2 ขา รวม 16 ขาและขาร่วมอีกหลักละ 2 ขา การต่อขาร่วมของแต่ละหลักทั้ง 2 ขานั้นสามารถต่อใช้งานเพียง**ขา**เดียวได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในของ LED ตัวเลข 7 ส่วนขาร่วมนี้ต่อถึงกันอยู่แล้ว



รูปที่ 2.9 การจัดขาของ LED ตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบตัวเดี่ยวและตัวคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรขยายสัญญาณการวัด (Instrument Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณการวัดเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะถูกต้องสูงมีความเพี้ยนต่ำ

ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณการวัด จึงจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณาระบบควบคุมแล้วพบว่าใช้ในความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 KHz ดังนั้นการนำเอาออปแอมป์มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม ดังนั้นการพัฒนา วงจรขยายสัญญาณการวัดให้ใช้งานได้จริงจะต้องมีคุณสมบัติคือ

1. อิมพีแดนซ์ที่ขาเข้าเป็นอนันต์
2. กระแสออฟเซตทางเข้า และแรงดันออฟเซตขาเข้า
3. อัตราการขยายเป็นอนันต์ พิจารณาวงจรขยายสัญญาณการวัดประกอบด้วย 2ส่วนคือ

ส่วนที่1 เป็นส่วนอินพุตอิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูง และสามารถกำหนดกำหนดอัตราการขยายของวงจรได้โดยใช้การปรับ VR เพียงตัวเดียว จะได้เอาต์พุตระหว่างออปแอมป์ทั้งสองสูตร

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib}) \times \left[\frac{2R}{R_4 + 1}\right] \times \left[\frac{R_f}{R_i}\right] \tag{2.1}$$

ในวงจรที่ออกแบบนั้นจะได้

$$R_f = R_i \times R_{in} = (V_{in} - V_{ib})R_4 = VR$$
$$V_o = V_{in} \times \left[\frac{2R}{VR + 1}\right] \tag{2.2}$$

การกำหนดอัตราการขยายของวงจรนี้จะเป็นการกำหนดช่วงของความดันที่ต้องการควบคุม (กำหนด Span)

ส่วนที่ 2 ของวงจรขยายสัญญาณการวัดเป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มี อัตราการขยายเท่ากับหนึ่ง มีป้อนแบบลบ มีการกำหนดจุดการกำหนดจุดอ้างอิงโดยการปรับระดับไฟตรงที่ป้อนทางด้านขา Non-Inverting ของออปแอมป์เพื่อการกำหนดจุด Zero ของวงจร ดังรูปที่ 2.9

เรากำหนดสัญญาณ Common Mode โดยใช้ Vcom เป็น Via และ Vib

ที่ ออปแอมป์ A จะทำให้ V2a = Vcom ที่ ออปแอมป์ B จะทำให้ V2b = Vcom เพราะฉะนั้น จะไม่มีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R4 หมายความว่า จะไม่มีกระแสไหลผ่าน R3 และจะทำให้ Va = V2a ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_a - V_b}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{V_2 a - V_2 b}{R_4} \tag{2.3}$$

จากคุณสมบัติของ ออปแอมป์เราจะได้ว่า $V_2 = V_3$

$$\frac{V_a - V_b}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{V_{ia} - V_{ib}}{R_4} \tag{2.4}$$

หรือ

$$V_a - V_b = \frac{(V_{ia} - V_{ib})R_3 + R_4 + R_5}{R_4} \tag{2.5}$$

ให้

$$I_1 = I_f$$
$$\frac{V_a - V_b}{R_1} = \frac{V_2 - V_o}{R_1}$$
$$V_a R_f V_2 R_f = V_2 R_1 - V_o R_1$$
$$V_o R_1 = V_2 R_1 - V_a R_f + V_2 R_f$$
$$V_o R_1 = V_2 (R_1 + R_f) - V_a R_f \tag{2.6}$$

หา V3

$$V_3 = V_b \left(\frac{R_2}{R_1} + R_2 \right)$$

(2.7)

กำหนดให้ $V_2 = V_3$

$$V_o R_i = \frac{V_a R_2}{R_1 + R_2}(R_i + R_f) - V_a R_f \tag{2.8}$$

ให้ $R_1 = R_i$

$R_2 = R_f$

ได้สมการ

$$V_o R_i = V_b R_f V_a R_f \tag{2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้สมการ

$$V_o = (V_b - V_a)\frac{R_f}{R_i} \tag{2.10}$$

จากนั้นกำหนดให้ Va กับ Vb ต่อสลับกัน จะได้สมการใหม่

$$V_o = (V_a - V_b)\times\frac{R_f}{R_i} \tag{2.11}$$

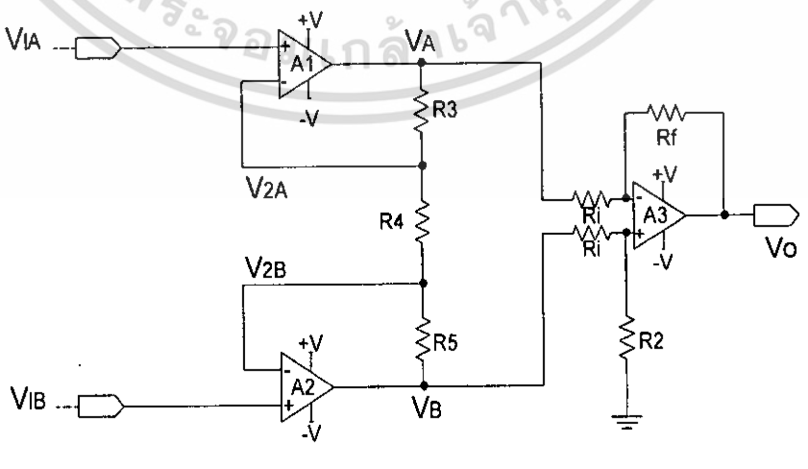
จะได้ว่า

$$V_o = (V_{ia} - V_{ib})\times\left[\frac{(R_3 + R_4 + R_5)}{R_4}\right]\times\frac{R_f}{R_{in}}$$

(2.12)

กำหนดให้ R3 = R4 = R5 จะได้ว่า

$$V_o = (V_{in} - V_{ib})\times\left[\frac{(2R+1)}{R_4}\right]\times\frac{R_f}{R_{in}} \tag{2.13}$$



รูปที่ 2.10 วงจรวงจรขยายสัญญาณการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter : A/D) คือการเปลี่ยนสัญญาณที่เป็นสัญญาณแอนะลอก (คือ สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เช่น ระดับของแรงดันไฟฟ้า หรือปริมาณของกระแสไฟฟ้า เป็นต้น) ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิตอลที่อยู่ในรูปของเลขฐานสอง คือ "0" กับ "1" ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันของเวลา

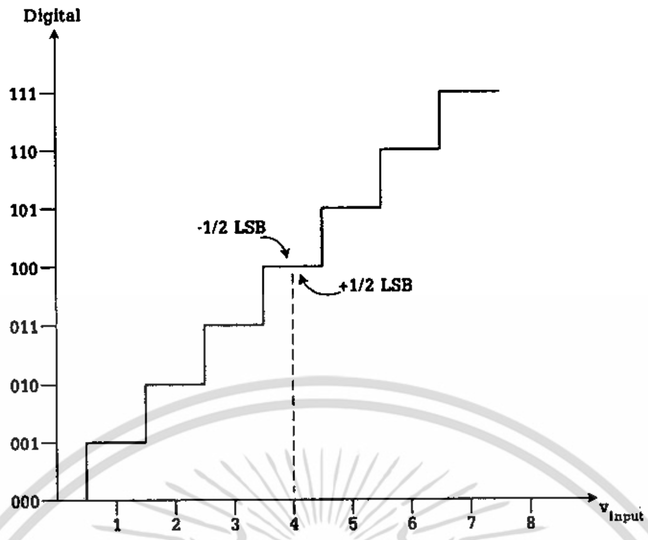
สิ่งที่ต้องพิจารณาในการแปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลนั้น มีดังนี้
ความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของเอาต์พุตยิ่งมีจำนวนบิตของเอาต์พุตมากเท่าไร ความละเอียดของการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลก็จะยิ่งมากขึ้นทั้งนี้เพราะว่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามาถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง +1/2LSB ถึง -1/2LSB จะไม่มีผลกระทบต่อเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ตัวอย่างเช่น การแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 3 บิต เอาต์พุตจะประกอบด้วย D0, D1 และ D2 โดยที่ D0 เป็นบิตที่มีความสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit (LSB)) และบิต D2 เป็นบิตที่มีความสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit (MSB)) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.11 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

คุณลักษณะในทางอุดมคติของการแปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล 3 บิต จะให้ 1 LSB เทียบเท่ากับแรงดัน 1 โวลต์ ดังนั้นเมื่อป้อนอินพุตแรงดันเข้ามาเป็น 0, 1 และ 2 โวลต์ เอาต์พุตที่ได้จะเป็น 000, 001 และ 010 ตามลำดับ ถ้าหากแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าเป็นเศษส่วน เช่น มีแรงดันอินพุตเท่ากับ 1.25 โวลต์ เอาต์พุตที่ได้ก็ยังคงเป็น 001 อยู่ ที่เป็นอย่างนี้ก็เพราะว่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าอยู่ในช่วง +1/2 LSB ถึง -1/2 LSB จะไม่มีผลต่อเอาต์พุต

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วง 0.5-1.5 โวลต์ เอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ก็ยังคงมีค่าเป็น 001 อยู่ตลอด แต่ถ้าหากแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ 1.6 โวลต์ เอาต์พุตที่ได้จะเป็น 010 ซึ่งความผิดพลาดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนี้เราจะต้องคำนึงถึงในการที่จะออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ความผิดพลาดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ถ้าแรงดันอินพุตมีค่าความแตกต่างของแรงดันน้อยกว่า 1 LSB แต่เพื่อที่จะทำให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแยกความแตกต่างของแรงดันอินพุตได้ดีขึ้น จะต้องทำให้ มีช่วงแรงดันที่น้อยที่สุด โดยการเพิ่มจำนวนบิตของเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลให้มากขึ้น

2.6 ความดัน (Pressure)

2.6.1 ความดันและหน่วยวัดความดัน (Pressure and Measuring Units)

ความดันเป็นค่าตัวแปร (Variable) ที่สำคัญมากตัวหนึ่ง ค่าของตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ (Process Measurement) สามารถวัดได้ในรูปของความดันทั้งสิ้น เช่น

1. การวัดค่า Folw แบบใช้ตัววัดลักษณะออริฟิสทำให้เกิดค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล
2. การวัดระดับของของเหลวในภาชนะโดยใช้หลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล ที่เกิดจากสแตติกเฮด (Static Head)
3. การวัดอุณหภูมิแบบเติมของเหลวในกระเปาะ (Filled Thermal) เปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็นความดันก่อนแล้วอ่านอุณหภูมิในรูปของความดัน

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำลงอย่างสม่ำเสมอในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ที่กำหนด ถ้ากำหนดให้ F คือ แรงที่กระทำ, A คือ พื้นที่ที่ถูกกระทำ, P คือ ความดันที่เกิดขึ้น จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{F}{A} \tag{2.14}$$

แรงที่กระทำอาจเกิดจากของเหลว (Liquids) ก๊าซ หรือของแข็ง (Solids) ก็ได้

แรงที่กระทำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton) 1 N = 1kg m/s^2 กระทำลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรจะได้ความดัน = 1 ปาสคาล (เขียนย่อ Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \tag{2.15}$$

ผู้ที่กำหนดหน่วยความดันนี้ขึ้นมาคือ Blaise Pascal แต่ปาสคาลเป็นหน่วยเล็ก ต่อมา Bar จึงได้กำหนดหน่วยในทางปฏิบัติขึ้น

$$1 \text{ bar} = 100{,}000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa} \tag{2.16}$$

ค่าความดัน 1 bar นี้ มีค่าใกล้เคียงกับความดัน 1 บรรยากาศ และ 1 kg/cm^2 มาก หน่วยความดัน "bar " นี้ต่อไปจะเป็นหน่วยมาตรฐานสากลของทุกประเทศ

ค่าเปรียบเทียบกับหน่วยที่มีอยู่เดิม

ค่าความดันบรรยากาศโดยประมาณ (Technical Atmosphere)

1 kg/cm^2 = 0.981 bar

ค่าความดันบรรยากาศทางฟิสิกส์ (Physical Atmosphere)

1 atm = 1.01325 bar

หน่วยอังกฤษ

1 psi = 0.068947 bar

ในรูปความสูงของน้ำและปรอท

1 mH_2O = 0.09806 bar

1 inH_2O = 0.00249089 bar

1 inHg = 0.034531 bar

โดยกำหนดให้ 1 บรรยากาศ = 760 mmHg ที่ปรอท 0^{0}C และมีความเร่งอันเกิดแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s^2

1 mmHg = ความดันอันเกิดจากความสูงของปรอท 1mm ที่ปรอท 0^{0}C มีความหนาแน่น = 13.5951 g/cm^3 และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง 9.80665 m/s^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 mH_2O = ความดันอันเกิดจากความสูงของน้ำ 1 เมตร มีค่าความหนาแน่นคงที่ 1 g/cm^3 และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s^2

2.6.1.1 ความดันที่เกิดจากก๊าซ (Pressure of Gases)

โมเลกุลของก๊าซแต่ละตัวเปรียบเสมือนลูกบอลเล็ก ๆ ที่เคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาในภาชนะปิด ระหว่างที่มันเคลื่อนที่อยู่นั้น มันจะชนกันเองและชนกับพื้นผิวภายในของภาชนะ การเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา การเกิดปะทะกันเอง และปะทะกับพื้นผิวภายในของภาชนะเช่นนี้จะเกิดความดันขึ้น

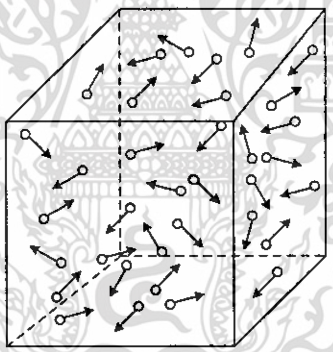
ถ้ากำหนดให้

m เป็นมวลของโมเลกุลก๊าซ มีหน่วยเป็น kg

v เป็นความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ มีหน่วยเป็น m/s

n เป็นจำนวนโมเลกุลของก๊าซ ที่บรรจุอยู่ในภาชนะปริมาตร 1 m^3

จะได้ $$P = \frac{1}{3} n.m.v^2$$



รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ

เมื่อก๊าซได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซสูงขึ้นหรือเมื่อก๊าซถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของก๊าซต่อ 1 m^3 สูงขึ้นผลที่ได้คือ จะทำให้ความดันสูงขึ้น

2.6.1.2 ความดันที่เกิดจากของเหลว (Pressure of liquids)

ของเหลวมีมวลหนาแน่นกว่าก๊าซมาก ในทางปฏิบัติถือว่าของเหลวเป็นสารที่อัดตัวไม่ลง (Incompressible) ถ้าเปรียบเทียบกับก๊าซแล้ว ก๊าซเป็นสารที่อัดตัวลง (Compressible) เมื่อของเหลวถูกบรรจุอยู่ในภาชนะ โมเลกุลของของเหลวจะทับถมกับไปเรื่อย ๆ จากบนลงสู่ล่างทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามขนาดความสูงของของเหลวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันที่เกิดจากของเหลวลักษณะนี้เรียกว่า สแตติกเฮด (Static Head) หรือเรียกสั้น ๆว่า เฮด (Head)

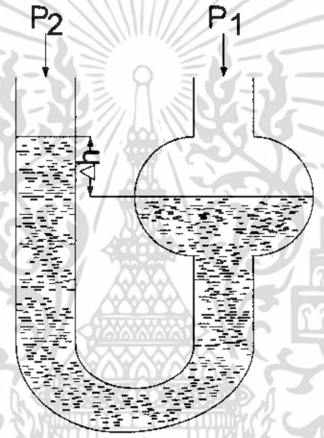
ถ้ากำหนดให้ P คือ ความดันอันเกิดจากของเหลว มีหน่วยเป็น bar

p คือ ความหนาแน่นของของเหลว มีหน่วยเป็น kg/m^3

H คือ ความสูงของของเหลว มีหน่วยเป็น m

และ g คือ แรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็น m/s^2

จะได้ $P = h . p . g$



รูปที่ 2.14 แสดงความดันที่เกิดจากของเหลว

ค่าสแตติกเฮดของของเหลวที่มีความสูงเท่ากัน จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวปรอทจะทำให้เกิดสแตติกเฮด 13.6 เท่าของน้ำในความสูงที่เท่ากัน

ตามรูปที่ 2.14 เป็นการวัดความดันโดยอาศัยความต่างระดับของของเหลว ค่าความดันจากสูตร

$$P = P1 - P2 = h . p . g \tag{2.17}$$

เครื่องวัดแบบนี้เรียกว่า มาโนมิเตอร์ (Manometer) เป็นวิธีการวัดที่เก่าแก่ที่สุดสมัยยุคของเครื่องจักรไอน้ำก่อนที่จะมีเครื่องมือวัดหลายอย่างเช่นในปัจจุบัน

2.6.1.3 รูปแบบของความดัน (Types of Pressure)

รูปแบบของความดันแตกต่างกันไปตามจุดอ้างอิง (Reference) ที่มีค่าเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติจะมี 4 รูปแบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่าความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) ค่าความดันสัมบูรณ์อยู่ที่จุดสุญญากาศ ค่าที่กำหนดเป็นความดันสัมบูรณ์ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น "abs"หรือ "a" เช่น bar_{abs}, Psia หรือ kg/cm^2_{sab}ค่าความดันสัมบูรณ์นี้เป็นค่าที่ใช้สำหรับในการคำนวนทางเทอร์โมไดนามิก เช่น การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
2. ความดันเกจ (Gauge Pressure)ความดันเกจจะอ้างอิงค่าศูนย์ (Zero Reference) ที่ความดันบรรยากาศ โดยค่าที่บอกจะเป็นค่าที่สูงกว่าความดันบรรยากาศขึ้นไป ซึ่งค่าความดันบรรยากาศนี้จะถือที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (Mean Sea Level) มีค่าเท่ากับ 1.01325 bar_{abs} ถ้าวัด ณ จุดใด ๆ บนพื้นโลกจะมีค่าแตกต่างกับประมาณ 5% ในทางปฏิบัติจะถือโดยประมาณว่าเท่ากัน งานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมจะบอกเป็นความดันเกจแทบทั้งสิ้นค่าที่กำหนดเป็นความดันเกจนี้ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น g หรือ G เช่น bar_g, kg/cm_G หรือ Psig

ถ้าเปรียบเทียบค่าความดันสัมบูรณ์กับความดันเกจแล้ว ความดันสัมบูรณ์จะมีค่ามากกว่า 1.01325 bar หรือ 14.696 Psi

$$P_{abs} = P_g + \text{Atmosphere} \qquad (2.18)$$

3. ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differantial Pressure)เป็นการบอกค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด ความดันดิฟเฟอเรนเชียลจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ความดันทั้งสองจุดที่วัดมีค่าเท่ากัน

ค่าที่กำหนดเป็นความดันแตกต่างจะมีตัวย่อต่อท้ายว่า D หรือ d เช่น kg/cm^2_D Psid หรือbar_d ในการใช้งานตัวกรองน้ำมันเราสามารถกำหนดเวลาทำความสะอาดของตัวกรองนี้ได้โดยดูค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่หน้าและหลังตัวกรอง ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลน้อยแสดงว่าตัวกรองยังสะอาด

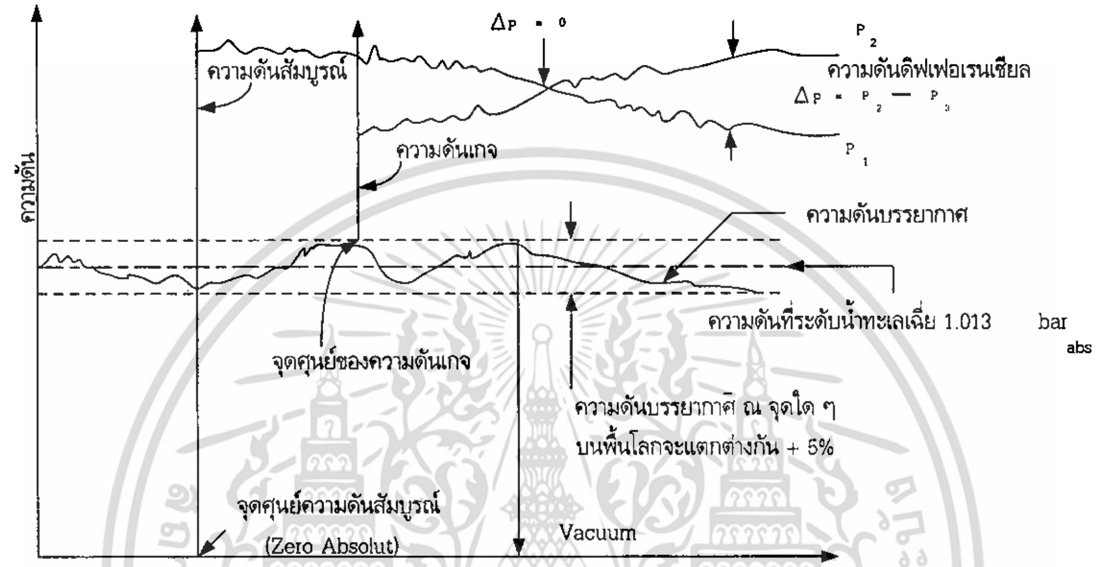
4. Vacuumจะอ้างอิงจุดศูนย์ที่ความดันบรรยากาศและค่าจะมากขึ้นเมื่อความดันลดลง ค่าจะได้สูงสุดที่จุดศูนย์ของความดันสัมบูรณ์ (Zero Absolute) Vacuum นี้ บางทีจะเรียกว่าความดันลบ (Negative Pressure) นิยมกำหนดหน่วยเป็นค่าความสูงของของเหลว เช่น mmHg, inHg และจะมีตัวย่อต่อท้ายด้วย Vac เช่น 785 $mmHg_{Vac}$

โดยปกติช่วงการวัดระดับ Vacuum แบ่งเป็น 4 ระดับคือ

1. ระดับกลาง (Medium) ตั้งแต่ 25 $mmHg_{Vac}$ ถึง 763 $mmHg_{Va}$c
2. ระดับค่อนข้างสูง (medium High) ตั้งแต่ 1 ถึง 10^{-3} torr
3. ระดับสูง (High) 10^{-3} ถึง 10^{-7} torr
4. ระดับสูงสุด (Ultrhigh) น้อยกว่า 10^{-7} torr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงที่เป็น Vacuum สูง หน่วยที่ใช้จะเรียกเป็น torr "1 torr หมายถึง 1 mmHg" จุดศูนย์อยู่ที่จุดความดันสัมบูรณ์ ซึ่งหน่วยนี้ตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่ "torricelli" นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี ที่เป็นผู้ค้นพบความดัน 1 บรรยากาศมีค่า 720 mmHg

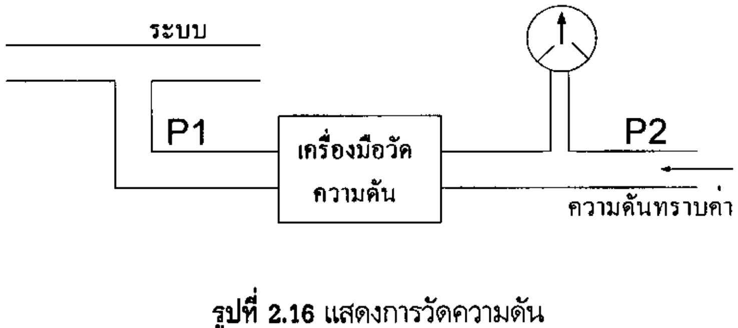


รูปที่ 2.15 แสดงการเปรียบเทียบความดันทั้ง 4 รูปแบบ

ถ้าพิจารณาอย่างละเอียดจะเห็นว่า จุดศูนย์ของค่าความดันเกจและค่า Vacuum เป็นจุดเดียวกันมีค่าไม่แน่นอนแล้วแต่การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ แต่ค่าศูนย์ของความดันสัมบูรณ์มีค่าที่แน่นอน

2.6.2 หลักการวัดความดัน

การวัดความดัน คือ การเปรียบเทียบความดันที่ต้องการทราบค่ากับความดันอ้างอิง (นิยมใช้ความดันบรรยากาศเป็นแรงดันอ้างอิง)



รูปที่ 2.16 แสดงการวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 หน่วยของความดันและความสัมพันธ์ของหน่วยในระบบต่างๆ

<table>
<tr><td rowspan="2">F</td><td colspan="2">Bs</td><td colspan="2">MKSA</td><td>SI</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pond(P),IB</td><td colspan="2">Kg</td><td>N</td></tr>
<tr><td>A</td><td colspan="2">$Inch^2$(SI)</td><td colspan="2">Cm^2</td><td>m^2</td></tr>
<tr><td>P=F/A</td><td>PSI</td><td>Inch H_2O
Inch Hg</td><td>$Kg.cm^2$</td><td>mm H_2O
mmHg</td><td>$N.m^2$</td></tr>
</table>

2.6.2.1 ความสัมพันธ์ของหน่วยการวัดความดัน

1 atm = 1.033 $kg.cm^{-2}$ = 14.7 PSI = 760 mmHg = 1.013 bar = 101.306 kpa

1 $kg.cm^{-2}$ = 14.23 PSI = 0.9807 bar = 98.07 Kpa = 735.6 mmHg

1 bar = 100 kPa = 10^5 $N.m^{-2}$

2.6.2.2 สเกลที่ใช้ในการวัดความดัน

โดยทั่วไปสเกลที่ใช้ในการวัดความดัน มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. สเกลความดันเกจ (Gauge pressure scale)
2. สเกลความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure scale)

ความแตกต่างระหว่างความดันเกจและความดันสมบูรณ์ อยู่ที่ตำแหน่งของจุดเริ่มต้น ความดันเกจเริ่มนับศูนย์ที่ความดันบรรยากาศ ส่วนความดันสมบูรณ์จะเริ่มนับศูนย์ที่สุญญากาศสมบูรณ์

2.6.3 มาตรฐานการวัดความดัน

2.6.3.1 ระบบหน่วยของตัวแปร (Variable unit)

โดยทั่วไปจะแบ่งหน่วยตัวแปรออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบหน่วยพื้นฐาน (Basic Unit) ซึ่งจะกำหนดจากปริมาณที่เป็นต้นแบบของมาตรฐาน (Prototype) เช่น หน่วยของความยาว, น้ำหนัก
2. ระบบหน่วยแปลง (Derived unit) เป็นหน่วยที่ได้มาจากกการคำนวณแล้วมีการบัญญัติขึ้นมา เช่น หน่วยของความดัน, หน่วยของปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยพื้นฐานและหน่วยแปลงในระบบต่างๆ

ตัวแปร	ระบบ SI		ระบบ MKSA		ระบบ BS	
	ชื่อของหน่วย	สัณลักษณ์	ชื่อของหน่วย	สัณลักษณ์	ชื่อของหน่วย	สัณลักษณ์
มวล	กิโลกรัม	Kg	กิโลกรัม	Kg	ปอนด์	P,.Lb
ความยาว	เมตร	m	เมตร	m	นิ้ว	inch
พื้นที่	ตารางเมตร	m^2	ตารางเมตร	m^2	ตารางนิ้ว	$Inch^2$
แรง	นิวตัน	N	กิโลกรัม	Kg	ปอนด์	P,.Lb
แรงดัน	ปาสคาล	Pa	กก./ซม^2	Kg/ m^2	ปอนด์/นิ้ว^2	PSI
ปริมาณ	ลูกบาศก์เมตร	m^3	ลูกบาศก์เมตร	m^3	ลูกบาศก์นิ้ว	$Inch^3$
อุณหภูมิ	เคลวิน	K	องศาเซลเซียล	C	องศาฟาเรนไฮท์	F

ระบบหน่วยวัดของประเทศต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 3 ระบบด้วยกัน คือ

1. ระบบ MKSA เป็นระบบพื้นฐานดั้งเดิมของฝรั่งเศส และประเทศบนพื้นทวีปยุโรป
2. ระบบ BS เป็นระบบการวัดดั้งเดิมของอังกฤษ แต่ได้รับความนิยมอยู่มาก
3. ระบบ SI เป็นระบบการวัดใหม่ที่ปรับปรุงเอาค่าบางค่าในระบบ MKSA มาปรับเป็นหน่วยที่จำเป็นจะต้องใช้เพื่อรับกับความเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี

อย่างไรก็ดี เนื่องจากประเทศเราได้นำเอาเทคโนโลยีจากประเทศต่าง ๆ เข้ามาเป็นจำนวนมาก และมีระบบหน่วยวัดและกันไปทั้ง 3 ระบบ เราจึงควรที่จะทราบเทคนิคการแปลงหน่วยเข้าหากันบ้างตามความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบหน่วยพื้นฐานและหน่วยแปลงในระบบต่างๆ

ปริมาณที่วัด/ระบบ	ระบบ BS	ระบบ MKSA	ระบบ SI
มวล(Mass)	1Lb	1/2.2Kg	1/2.2Kg
	2.2Lb	1Kg	1Kg
แรงหรือน้ำหนัก Force, Weight	1Lb	1/2.2Kg	9.81/2.2Kg
	2.2Lb	1Kg	9.81N
	1 x 2.2/9.81Lb	1/9.81Kg	1N
ความยาว (Length)	1inch	2.54cm	.0254m
	1/2.54inch	1cm	.01m
	100/2.54inch	100cm	1m
พื้นที่(Area)	$1inch^2$	$(2.54cm)^2$	$(.0254m)^2$
	$(1/2.54)^2 inch^2$	$1cm^2$	$(.01m)^2$
	$(100/2.54)^2 inch^2$	$(100cm)^2$	$1m^2$

2.6.3.2 สัญญาณมาตรฐาน

ในระบบการวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องมีการนำค่าไปประมวลผลและตัดสินใจ เครื่องแสดงค่า และเครื่องมือประมวลผลตัดสินใจ ซึ่งมี 2 ปบบ คือ แบบนิวแมติก และแบบไฟฟ้า ดังนั้น สัญญาณวัดโดยทั่วไปที่จำเป็นจึงมี 2 รูปแบบ ดังกล่าว คือ

1. สัญญาณมาตรฐานนิวแมติก (Pnuematic Signal) เป็นสัญญาณวัดมาตรฐานใช้ระบบความดันลมเป็นรูปแบบสัญญาณ มี 2-3 ลักษณะคือ

   1.1 ใช้ความดันลม 0-1 BAR

   1.2 ใช้ความดันลม 0.2-1.4 Kg/cm^2

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของผลิตภัณฑ์อุปกรณ์นั้น ๆ

2. สัญญาณมาตรฐานไฟฟ้า Electrical Signal เป็นสัญญาณวัดมาตรฐานใช้แรงดันและกระแสไฟฟ้า สัญญาณมี 2 ลักษณะคือ

   2.1 ใช้แรงดัน 0 - 10 V กระแส 0 – 100 mA

   2.2 ใช้แรงดัน 1 – 5V กระแส 4 – 20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโดยมากรูปแบบที่ 1 มักเป็นการควบคุมแบบ Analog และแบบที่ 2 เป็นระบบควบคุมแบบดิจิตอล หรือใช้ร่วมกับ Computer เป็นหลัก อย่างไรก็ดีทั้งสัญญาณแบบนิวแมติกและไฟฟ้า ก็มีจุดใช้งานแตกต่างกัน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

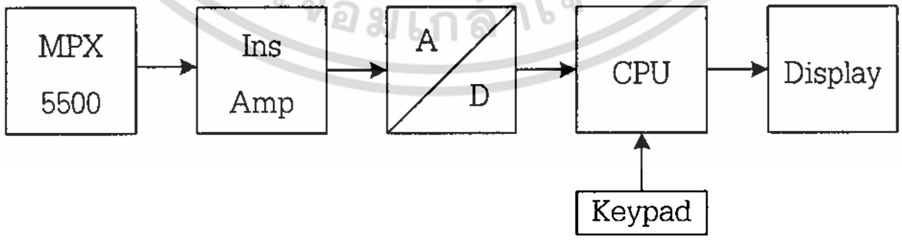
บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในส่วนของการออกแบบการสร้างเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล (Pressure Leak Tester) นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยวงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล วงจรประมวลผลกลาง และวงจร LED ตัวเลข 7 ส่วนเพื่อแสดงผล ในส่วนของซอฟต์แวร์จะเป็นส่วนที่ทำให้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหลทำงานได้

3.2 ฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์มีการทำงานตามผังแสดงการทำงานดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้ วงจรขยายสัญญาณการวัด จะรับสัญญาณการวัดมาจากตัวเซ็นเซอร์คือตัว MPX5500 มาทำการขยายสัญญาณของการวัดโดยส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าคือ 0-5 โวลต์ แล้วส่งต่อไปยังภาคการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยภาคการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนี้จะใช้ ขนาด 10 บิต โดยไอซีเบอร์ ICL7135 เป็นตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งต่อไปยังตัว CPU ประมวลผลตามที่โปรแกรมไว้ โดยสามารถตั้งค่าการวัด ได้โดยการใช้ Keypad ตั้งค่า ที่ต่อเข้ากับตัว CPU ประมวลผล โดยตัว CPU ใช้ของ PIC 16F877 หลังจากที่ทำการประมวลผลแล้วก็ส่งออกไปยังภาคแสดงผล Display แสดงค่าจากการทดสอบโดยแสดงบนตัว LED ตัวเลข 7 ส่วน



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

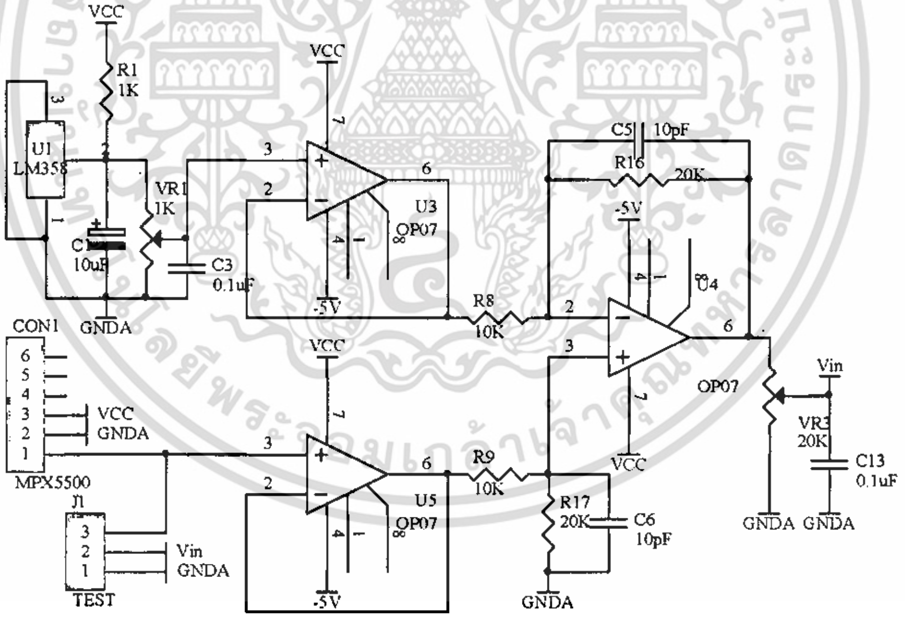
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณการวัด

วงจรขยายสัญญาณการวัดเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะถูกต้องสูงมีความเพี้ยนต่ำ ดังนั้นวงจร วงจรขยายสัญญาณการวัด จึงจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณาระบบควบคุมแล้วพบว่าใช้ในความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 KHz การนำเอาออปแอมป์ (Op-Amp) มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม ออปแอมป์ที่มาใช้คือเบอร์ OP07 คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์มีลักษณะดังนี้

1. อัตราการขยายแรงดันลูปเปิด (Open-Loop Voltage) มีค่าอนันต์ (Infinite)
2. ค่าอิมพีแดนซ์อินพุตที่ขาอินพุต (Input Impedance) ทั้งสองข้างมีค่าเป็นอนันต์ ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขาอินพุตของออปแอมป์ถือว่าน้อยมาก มีค่าประมาณศูนย์
3. แรงดันอินพุตออฟเซต (Input Offset Voltage) มีค่าเป็นศูนย์
4. ค่าอิมพีแดนซ์เอาต์พุต (Output Impedance) ที่ขาเอาต์พุตมีค่าเท่ากับศูนย์

วงจรขยายสัญญาณการวัดที่ใช้ดังนี้



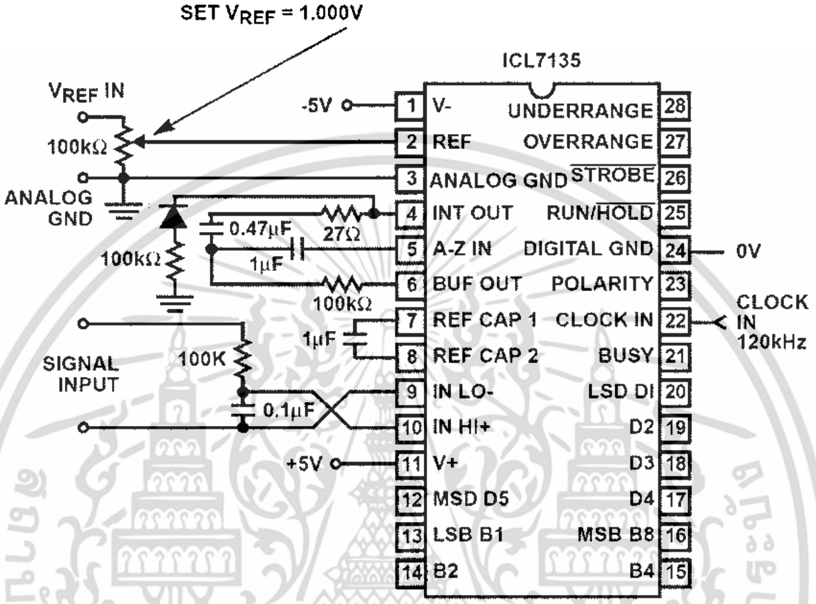
รูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณการวัด

3.2.2 การออกแบบวงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

วงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ใช้ไอซีเบอร์ ICL7135 ขนาด 10 บิต เป็นตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.3 โดย ICL7135 ต้องการแรงดันอ้างอิงและสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก สามารถทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง +5 0 -5 v โดยแรงดันอ้างอิงที่จะต่อภายนอกจะมีค่า 1 V

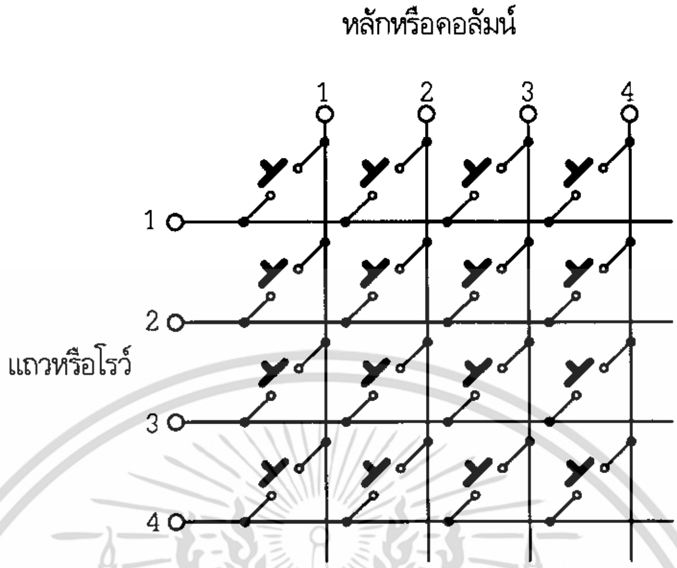


รูปที่ 3.3 การต่อใช้งานของ ICL7135

3.2.3 การออกแบบวงจรคีย์สวิตซ์ (Key Switch)

Key Switch หรือ Key Pad มีขนาด 8 บิต สวิตซ์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จะเรียกแกนตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (Column) ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่า แถวหรือโรว์ (Row) ดังนั้นค่าของสวิตซ์จะต้องประกอบด้วย ตำแหน่งในแนวหลักและแถว แสดงดังรูปที่ 3.4

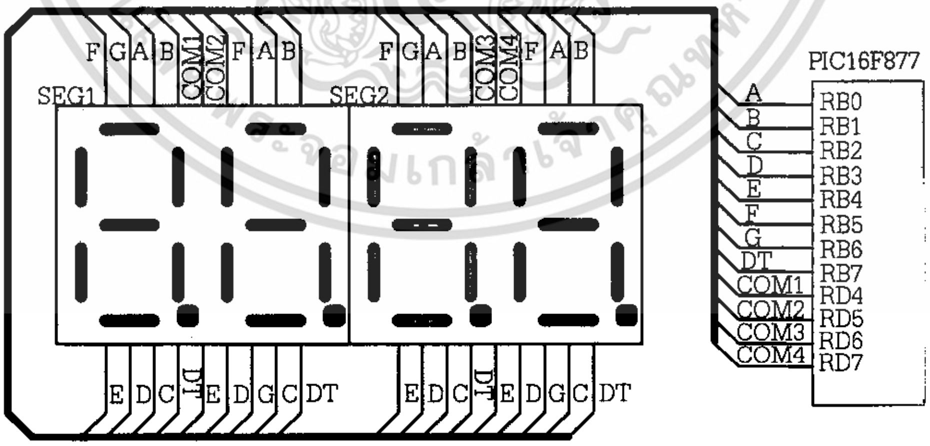
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรคีย์สวิตซ์

3.2.4 การออกแบบวงจรแสดงผล (Display)

วงจรแสดงผลจะใช้ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบคู่จำนวน 2 ตัว โดยต่อผ่านพอร์ต RB0-RB7 และ RD4-RD7 ของพอร์ต CPU ใช้การเขียนโปรแกรมในการสร้างสัญญาณให้แสดงผลออก LED ตัวเลข 7 ส่วน

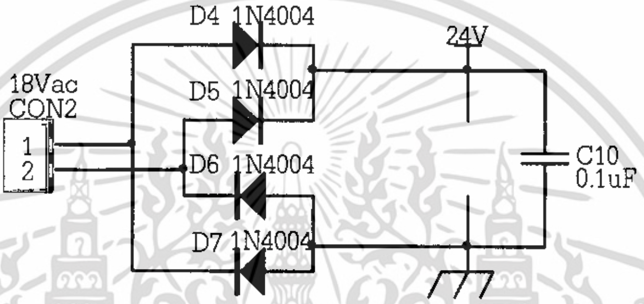


รูปที่ 3.5 การต่อใช้งานของ LED ตัวเลข 7 ส่วน

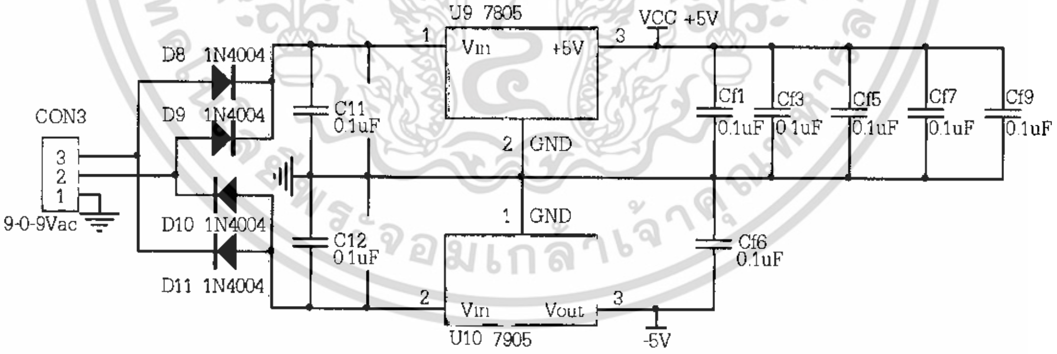
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การออกแบบวงจรแหล่งจ่าย (Power Supply)

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในโครงงานนี้จะมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้ควบคุม Solenoid Valve จะใช้แรงดัน 24 Vdc แดสงดังรูปที่ 3.6 และส่วนวงจรอื่นๆ จะใช้ IC ตระกูล 78XX และ 79XX ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดัน โดยใช้ เบอร์ 7805 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5V จ่ายให้ วงจรส่วนต่างๆ ยกเว้นวงจรขยายสัญญาณการวัด ที่ใช้ 7805 และ7905 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5V และ -5V ให้กับวงจร แดสงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 V

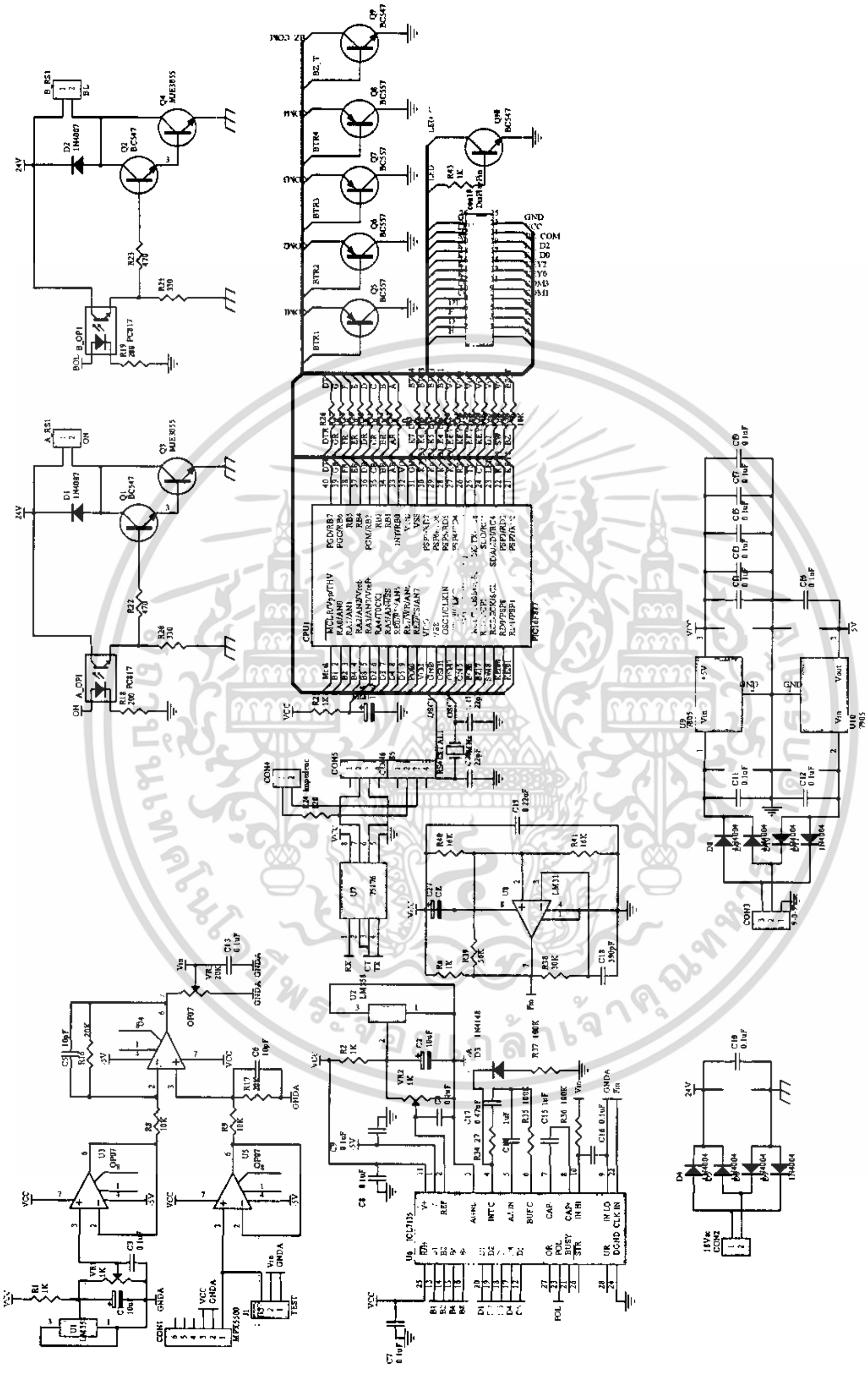


รูปที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +5 0 -5 V

3.2.6 การออกแบบวงจรประมวลผลกลาง (Central Processing Unit)

ภาคประมวลผลกลางหรือ CPU ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F877 ประมวลผลตามที่โปรแกรมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

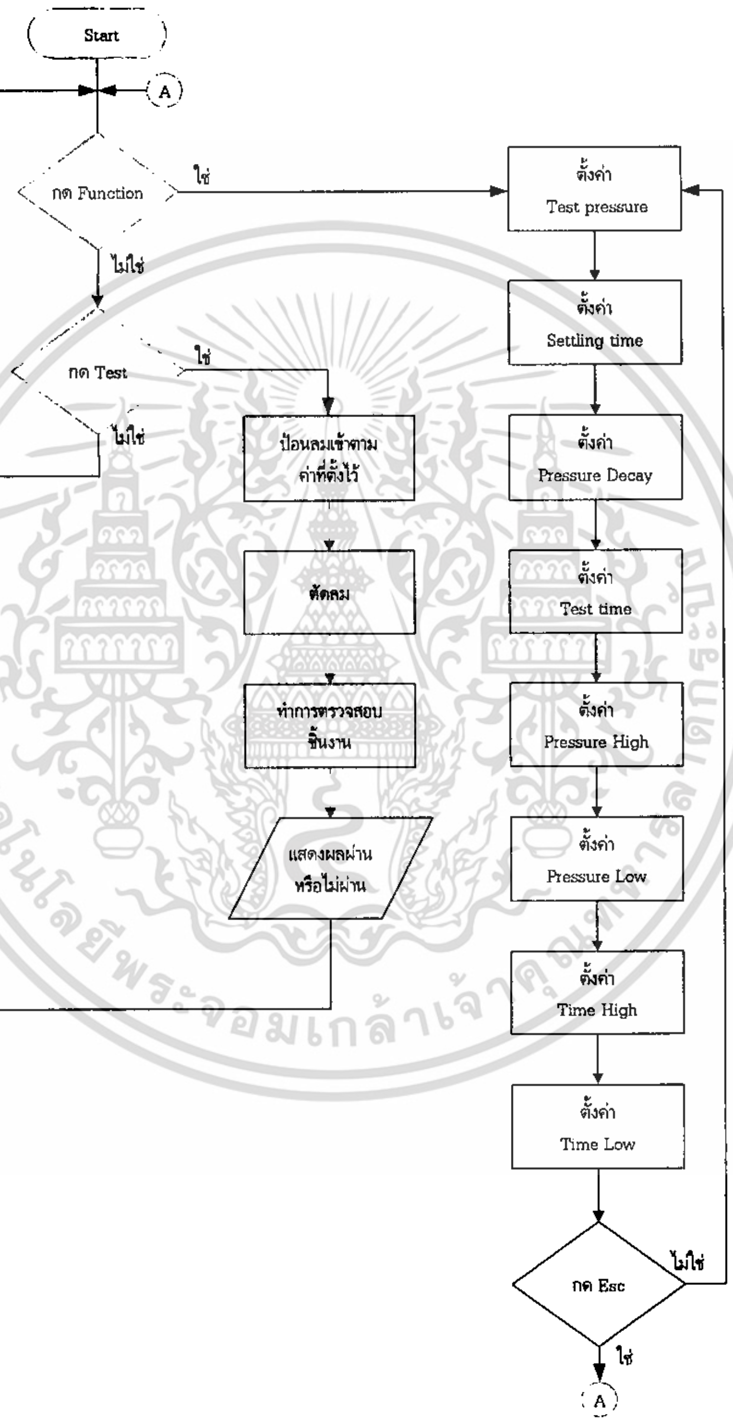


รูปที่ 3.8 วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ซอฟต์แวร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์แสดงถึงการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลดังนี้



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองส่วนต่างๆ ของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลได้แก่ เอาต์พุตที่ออกตัวเซ็นเซอร์ขณะป้อนความดันในระดับต่างๆ วงจรขยายสัญญาณการวัด และผลการทดลองของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

4.2 เอาต์พุตที่ออกตัวเซ็นเซอร์ขณะป้อนความดันในระดับต่างๆ

เซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับความดันนี้สามารถทนความดันได้ 5 bar แต่ในโครงงานนี้ความดันที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงานอยู่ที่ 0-760 mmHg หรือ 0-1 bar เท่านั้น ซึ่งเอาต์พุตของตัวเซ็นเซอร์จะให้ออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่ 0 bar เท่ากับ 0.2 V. และที่ 5 bar จะเท่ากับ 4.7 V. ในการทดลองจะทดลองเฉพาะความดันจริงที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงาน

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. จ่ายไฟกระแสตรง 5 V. ให้กับตัวเซ็นเซอร์ ที่ขา 3 เป็นไฟบวก ขา 2 เป็นขาลบ และขา 1 เป็นเอาต์พุต
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
3. ทำการจ่ายแรงดันลมให้กับตัวเซ็นเซอร์ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เอาต์พุตที่ออกตัวเซ็นเซอร์ขณะป้อนความดันในระดับต่างๆ

แรงดันลม	ค่าที่ได้จากการวัด (V)										ค่าเฉลี่ย (V)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100 mmHg	0.285	0.283	0.286	0.285	0.284	0.286	0.285	0.284	0.284	0.286	0.284
200 mmHg	0.372	0.374	0.372	0.373	0.372	0.374	0.373	0.373	0.372	0.374	0.372
300 mmHg	0.463	0.464	0.462	0.464	0.463	0.464	0.462	0.462	0.464	0.463	0.463
400 mmHg	0.553	0.555	0.552	0.553	0.552	0.554	0.556	0.553	0.552	0.554	0.553
500 mmHg	0.642	0.643	0.642	0.642	0.643	0.644	0.643	0.642	0.642	0.643	0.642
600 mmHg	0.731	0.732	0.730	0.731	0.732	0.730	0.732	0.732	0.731	0.732	0.731
700 mmHg	0.822	0.822	0.824	0.823	0.822	0.824	0.822	0.823	0.821	0.823	0.822
800 mmHg	0.914	0.912	0.914	0.913	0.914	0.911	0.912	0.913	0.914	0.913	0.913
900 mmHg	1.076	1.074	1.075	1.076	1.074	1.073	1.074	1.076	1.075	1.075	1.074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลอง

จากค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตตามตาราง ผลปรากฏว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นเชิงเส้นและมีความเที่ยงตรงสูงแม้จะวัดหลายๆ ครั้ง จึงสรุปได้ว่าการทำงานของตัวเซ็นเซอร์นั้นมีค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำสูง ได้สัญญาณตามมาตรฐานที่ต้องการ

4.3 การทดลองการทำงานวงจรขยายสัญญาณการวัด

วงจรขยายสัญญาณการวัด เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่ใช้วัดสัญญาณจากทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ โดยที่สัญญาณที่รับมาขยายนั้นจะถูกต้องสูงมีความเพี้ยนต่ำ ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณการวัด จึงจะต้องมีคุณสมบัติเป็นวงจรขยายในอุดมคติเมื่อพิจารณาระบบควบคุมแล้วพบว่าใช้ในความถี่ต่ำ คือ ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 500 KHz การนำเอาออปแอมป์ (Op-Amp) มาใช้จึงเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เหมาะสม

4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรขยายสัญญาณการวัดตามรูปที่ 3.2
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
3. ทำการจ่ายแรงดันลมให้กับตัวเซ็นเซอร์ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดลองวงจรขยายสัญญาณการวัด

แรงดันลม	ค่าเฉลี่ยเอาต์พุตของเซ็นเซอร์	เอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณการวัด (V)										ค่าเฉลี่ยวงจรขยายสัญญาณการวัด
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100 mmHg	0.284	1.105	1.106	1.105	1.106	1.106	1.105	1.104	1.105	1.105	1.106	1.105
200 mmHg	0.372	1.206	1.205	1.206	1.205	1.204	1.206	1.206	1.205	1.204	1.206	1.205
300 mmHg	0.463	1.305	1.306	1.305	1.304	1.305	1.306	1.304	1.304	1.306	1.305	1.305
400 mmHg	0.553	1.404	1.406	1.406	1.405	1.405	1.406	1.404	1.405	1.404	1.406	1.405
500 mmHg	0.642	1.506	1.504	1.505	1.506	1.505	1.504	1.504	1.506	1.505	1.506	1.505
600 mmHg	0.731	1.605	1.605	1.605	1.605	1.606	1.604	1.065	1.606	1.606	1.604	1.605
700 mmHg	0.822	1.705	1.704	1.705	1.706	1.706	1.705	1.704	1.705	1.706	1.704	1.705
800 mmHg	0.913	1.804	1.805	1.806	1.806	1.805	1.804	1.805	1.806	1.806	1.805	1.805
900 mmHg	1.075	1.905	1.906	1.906	1.905	1.906	1.904	1.905	1.905	1.906	1.905	1.905

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง

จากค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อป้อนอินพุตตามตาราง ผลปรากฏว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นเชิงเส้นและมีความเที่ยงตรงสูงแม้จะวัดหลายๆ ครั้ง จึงสรุปได้ว่าการทำงานวงจรขยายสัญญาณการวัด นั้นมีค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำสูง ได้สัญญาณตามมาตรฐานที่ต้องการ

4.4 การทดลองการทำงานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

การทดลองการทำงานของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลคือใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน วัดแล้วส่งสัญญาณให้วงจรขยายสัญญาณการวัดจะรับสัญญาณการวัดมาจากเซ็นเซอร์วัดความดัน มาทำการขยายสัญญาณ แล้วส่งต่อไปยังภาคการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ส่งต่อไปยังตัว CPU ประมวลผลตามที่โปรแกรมไว้ โดยสามารถตั้งค่า ความดันที่จะทดสอบและเวลาในการทดสอยได้ โดยการกด Keypad หลังจากที่ทำการประมวลผลแล้วก็ส่งไปยังภาคแสดงผล Display แสดงค่าจากการทดสอบโดยแสดงบนจอ LCD ตัวเลข 7 ส่วน LED และ Buzzer

4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบภาคต่างๆ ของเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลเข้าด้วยกัน
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมดของวงจร
3. ทำการตั้งค่าความดันและค่าต่างๆ ที่ต้องการทำการทดสอบชิ้นงานให้กับเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลแล้วอ่านค่าที่จอแสดงผล
4. ทำการคำนวณหาค่า Error

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

อินพุตที่ตั้งไว้ (mmHg)	เอาต์พุตที่เข้าไปในระบบ (mmHg)										เฉลี่ย	Error (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
100	103	105	102	103	102	103	105	104	102	103	103	3
200	204	205	204	203	206	205	204	203	204	205	204	2
300	304	306	308	302	305	304	305	304	306	305	305	1.6
400	407	409	406	408	407	408	406	407	406	407	407	1.7
500	507	506	506	509	504	506	505	506	504	506	506	1.2
600	607	603	606	611	608	607	606	605	607	605	607	1.4
700	710	712	708	709	707	709	708	707	709	707	709	1.3
800	809	815	812	810	811	812	811	809	810	811	811	1.3
900	912	917	912	910	911	912	911	910	912	911	912	1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลที่สายขนาดน้ำเกลือขนาด 4 มิลลิเมตร

อินพุตที่ตั้งไว้ (mmHg)	เอาต์พุตที่เข้าไปในระบบ (mmHg)										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100	138	136	138	138	137	135	137	138	136	137	137
200	232	232	232	232	232	233	232	234	233	232	232.4
300	326	325	326	326	326	325	324	326	325	326	325.5
400	422	420	422	421	422	421	422	420	420	421	421
500	515	516	515	515	516	514	516	515	514	516	515
600	618	619	619	618	618	617	619	617	618	617	618
700	725	726	725	726	726	727	726	725	727	726	725.9
800	815	823	831	832	834	836	832	831	834	834	830
900	932	936	931	929	927	930	932	928	932	933	931

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลที่สาย PU ขนาด 6 มิลลิเมตร

อินพุตที่ตั้งไว้ (mmHg)	เอาต์พุตที่เข้าไปในระบบ (mmHg)										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100	148	147	148	148	147	146	147	148	146	148	147.3
200	241	240	240	241	241	242	241	240	242	240	240.8
300	334	335	334	334	332	333	335	335	334	335	334
400	426	425	426	427	426	425	425	426	427	426	425.9
500	520	521	522	521	520	521	522	522	523	521	521.3
600	613	613	614	613	613	614	612	612	614	613	613
700	712	713	713	712	712	713	714	713	712	713	712.7
800	815	814	816	816	817	815	816	815	817	814	815.5
900	917	918	912	918	917	915	917	918	916	918	916.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองใช้เครื่องเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล โดยทำการทดสอบที่ความดันต่างๆ ตามตารางแล้วปรากฏว่าเครื่องสามารถใช้ทดสอบชิ้นงานและแสดงผลได้ ซึ่งจากการทดลอง เอ้าท์พุทที่เข้าไปในระบบจะมีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ เนื่องจากความดันที่ใช้ในการทดสอบมีความดันและอัตราการไหลที่สูง จึงทำให้วาล์วควบคุมไม่สามารถตัดลมได้ทัน แต่ค่าที่เกินมานั้นเป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ เนื่องจากไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย และยังเป็นค่าที่น้อยมากอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

การจัดทำเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลเป็นการนำความรู้ทุกๆ ด้านที่ได้เรียนมา และจากการศึกษาเพิ่มเติมนำมาประยุกต์ให้เกิดความสัมพันธ์กันในทุกๆ ด้าน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของซอร์ฟแวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยวงจรขยายสัญญาณการวัด วงจรการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล วงจรประมวลผลกลาง และตัวเซ็นเซอร์ใช้ MPX5500 ในส่วนของซอฟต์แวร์จะเป็นส่วนที่ทำให้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหลทำงานได้ โดยการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา C สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ PIC16F877 จึงได้เครื่องทดสอบความดันรั่วไหลขึ้นมา

5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เอ้าท์พุทที่เข้าไปในระบบจะมีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้เล็กน้อย
   วิธีการแก้ไข เขียนโปรแกรมชดเชยความดันที่เกินเข้ามาและ ใช้ตัวควบคุมการไหลของลมให้ไหลอย่างช้าๆ
2. จากจุดต่อ Test Port ของตัวเครื่องยังไม่สามารถรองรับขนาดของสายน้ำเกลือได้ทุกชนิด
   วิธีการแก้ไข ทำตัวเชื่อมต่อออกมาอีกตัวหนึ่งเพื่อเป็นตัวแปลงของสายน้ำเกลือชนิดต่างๆ ให้เข้ากับตัวเครื่องได้
3. การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ต้องใช้เวลาในการศึกษาโปรแกรมอย่างมากและ
   โปรแกรมที่เขียนก็ยังมีจุดผิดพลาดที่ต้องแก้ไข
   วิธีการแก้ไข แบ่งเวลาให้มากขึ้นศึกษาอย่างจริงจังและปรึกษาผู้ที่สามารถเขียนได้ช่วยชี้แนะ

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. สามารถเพิ่มการปรับเปลี่ยนหน่วยของความดันได้ และบันทึกวัน เดือน ปี ครั้งสุดท้ายที่มีการ
   ปรับเปลี่ยนค่าได้
2. สามารถนำค่าความดันที่วัดได้ไปแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์และเก็บเป็นข้อมูลได้
3. สามารถตรวจสอบระบบปิดต่างๆ ที่ต้องการไม่ให้มีการรั่วเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. 2540. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51.** กรุงเทพฯ : บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

ธีรวัฒน์ ประกายผล. 2544. **การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2548. **เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์ 2546. **เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม** พิมพ์ครั้งที่ 18. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

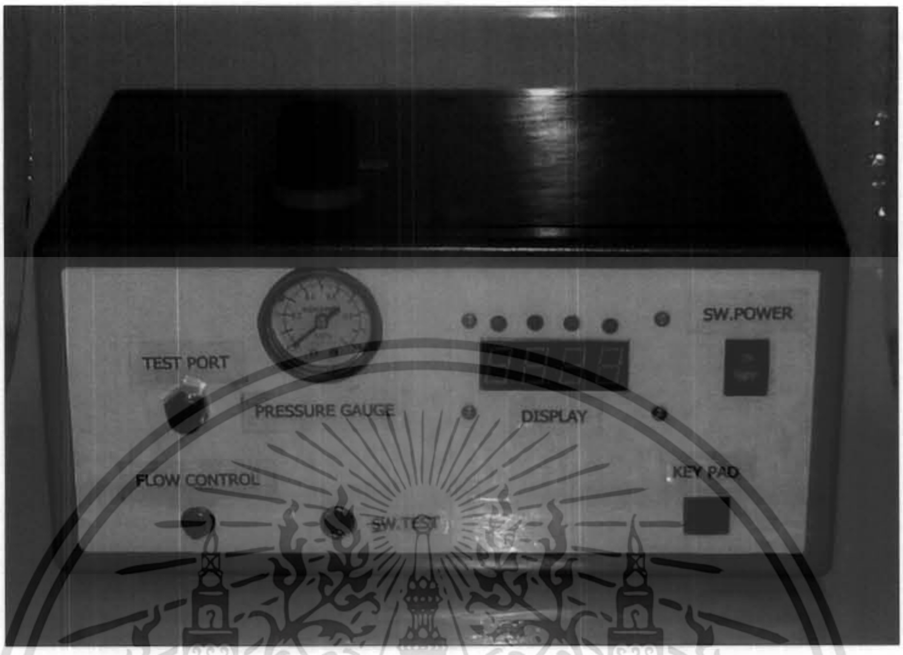
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบ

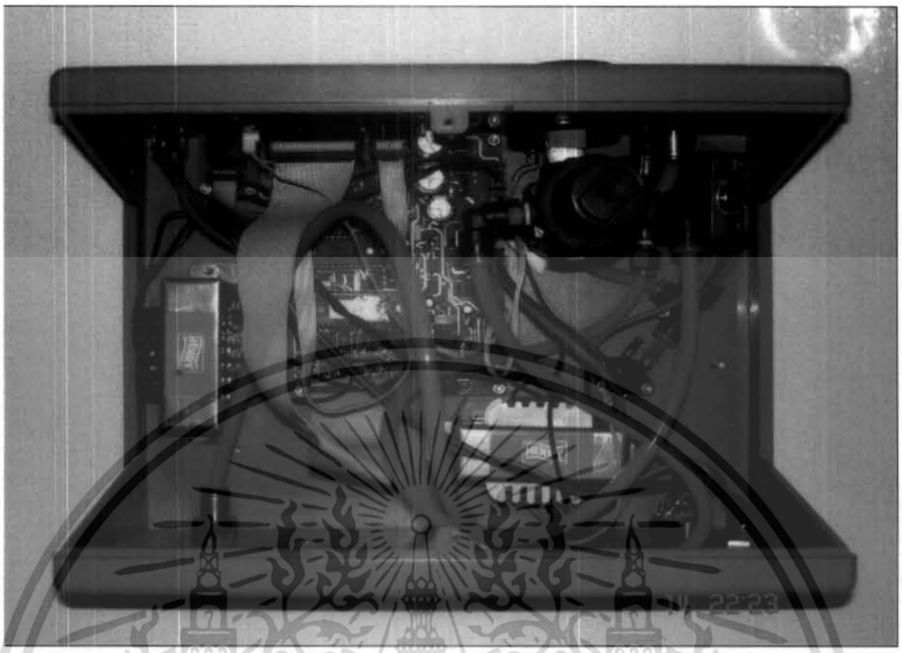
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของเครื่อง

รูปที่ ก.2 ด้านหลังของเครื่อง

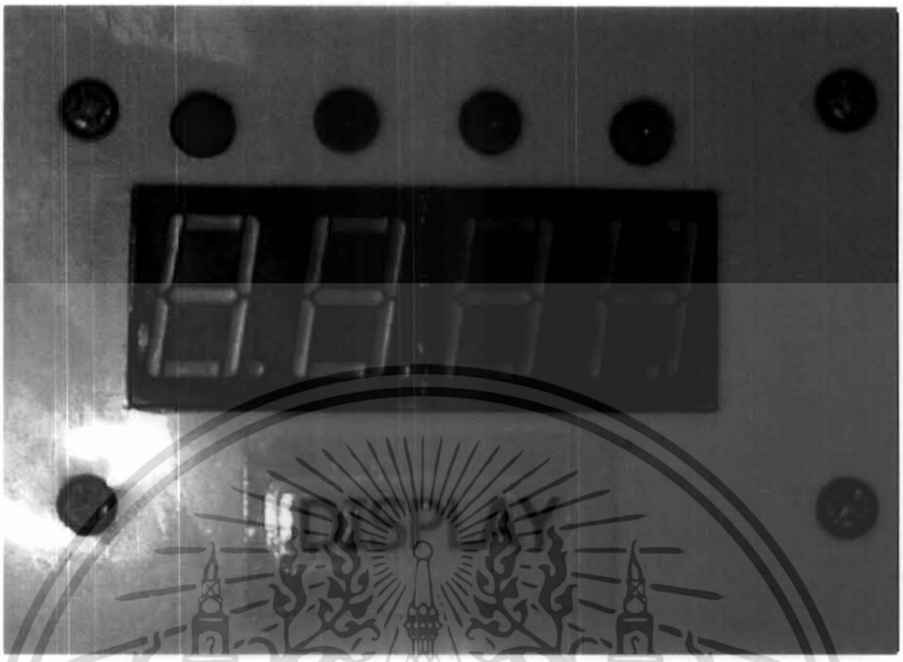
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



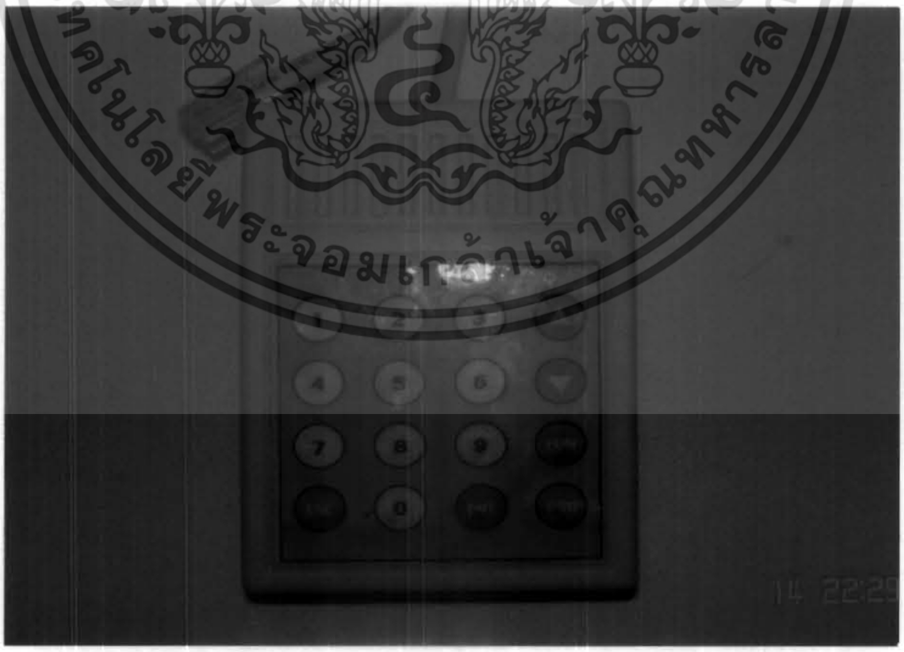
รูปที่ ก.3 ด้านในของเครื่อง

รูปที่ ก.4 บอร์ดประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

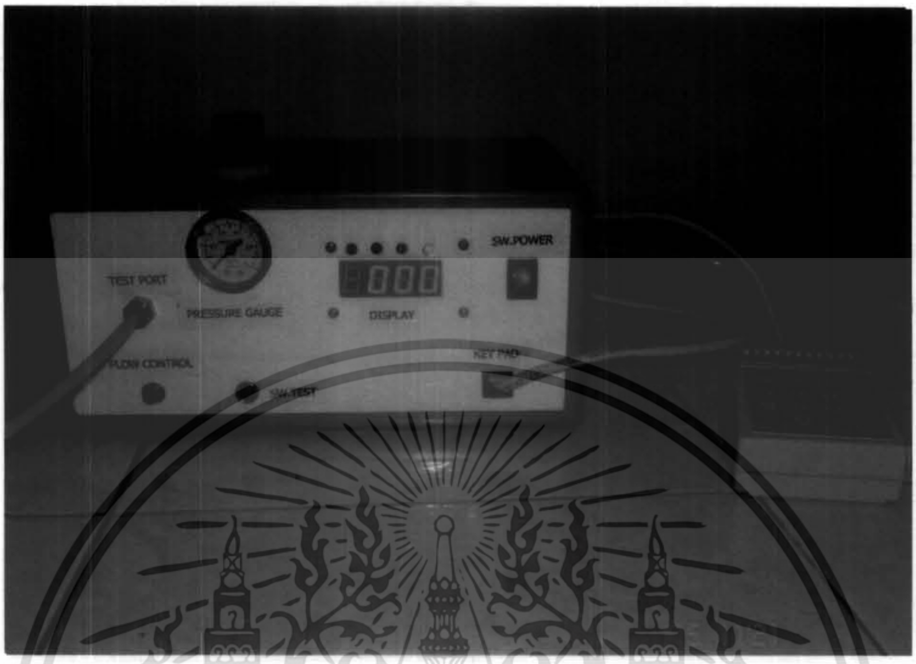


รูปที่ ก.5 จอแสดงผลแบบ LED ตัวเลข 7 ส่วน



รูปที่ ก.6 คีย์สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



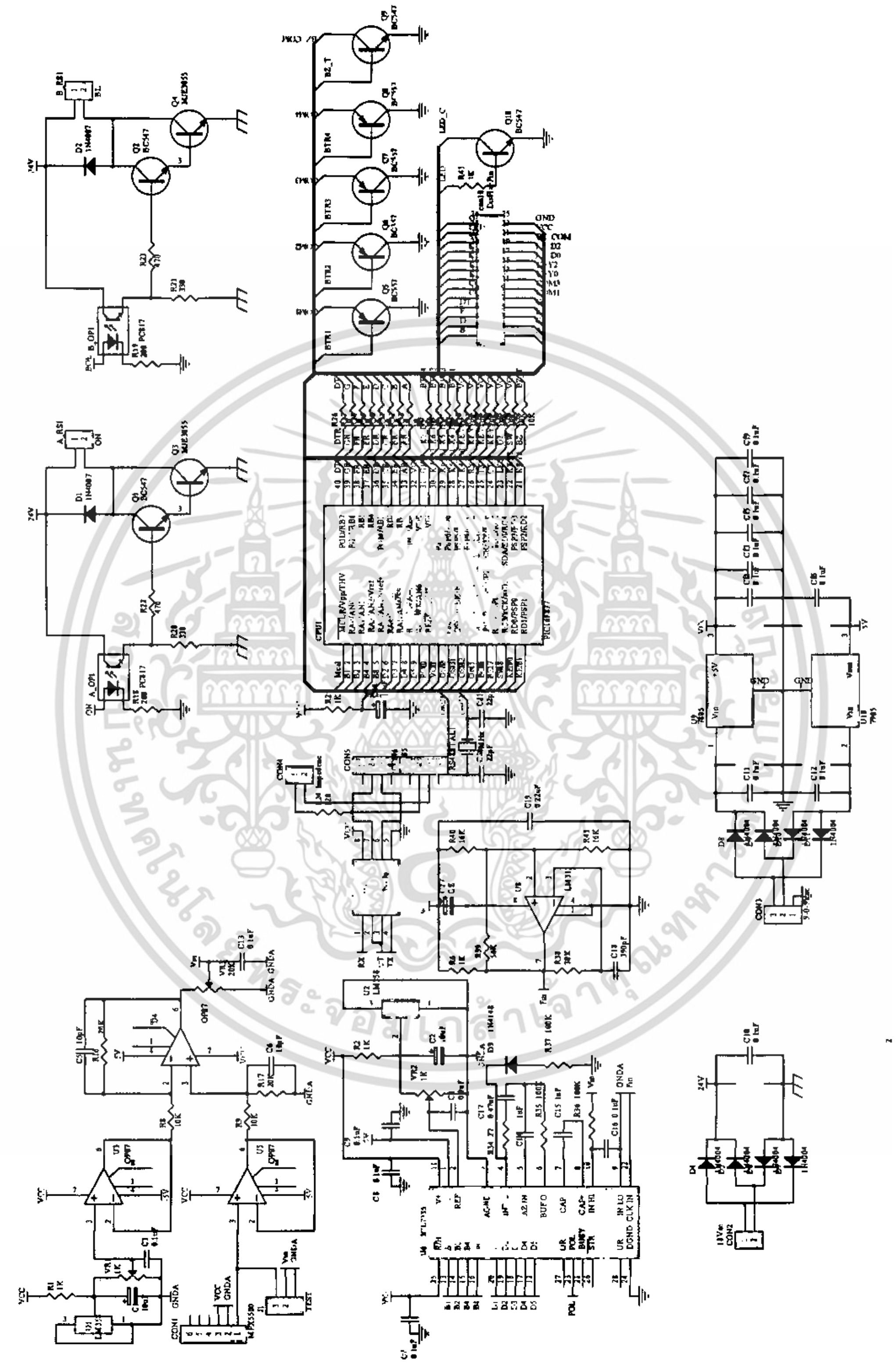
รูปที่ ก.7 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

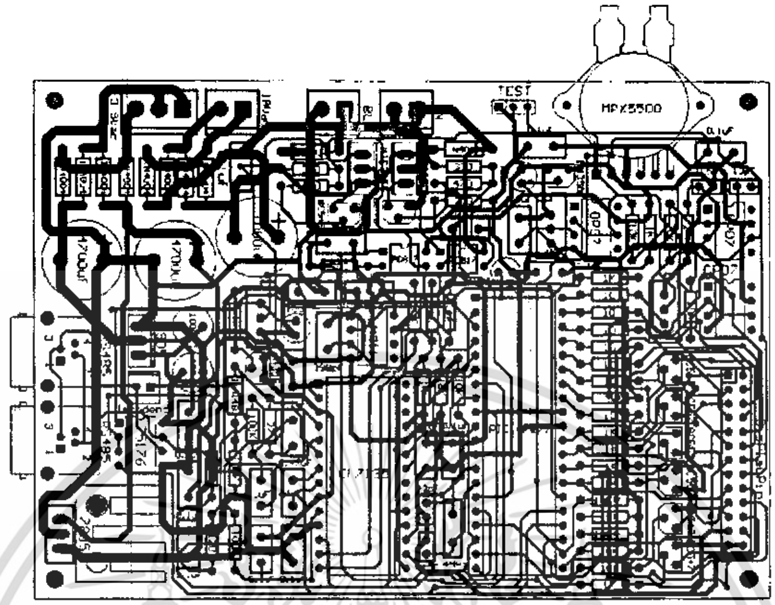
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

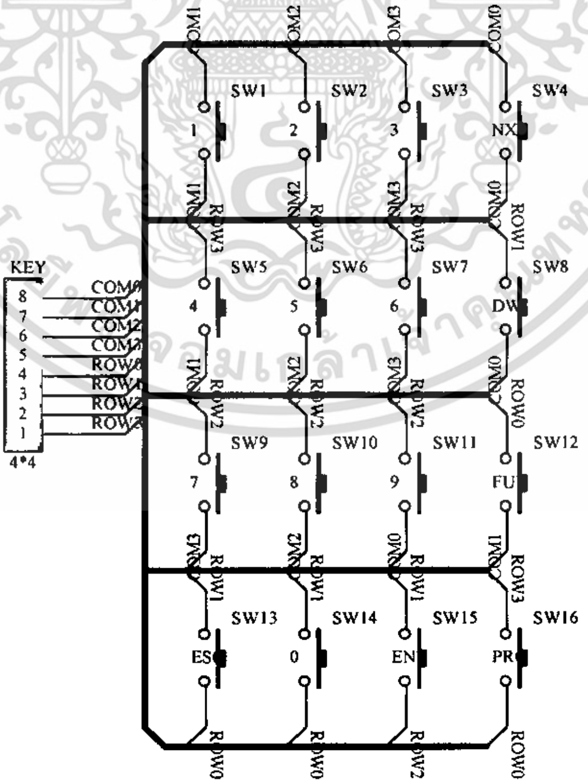


รูปที่ ข.1 วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

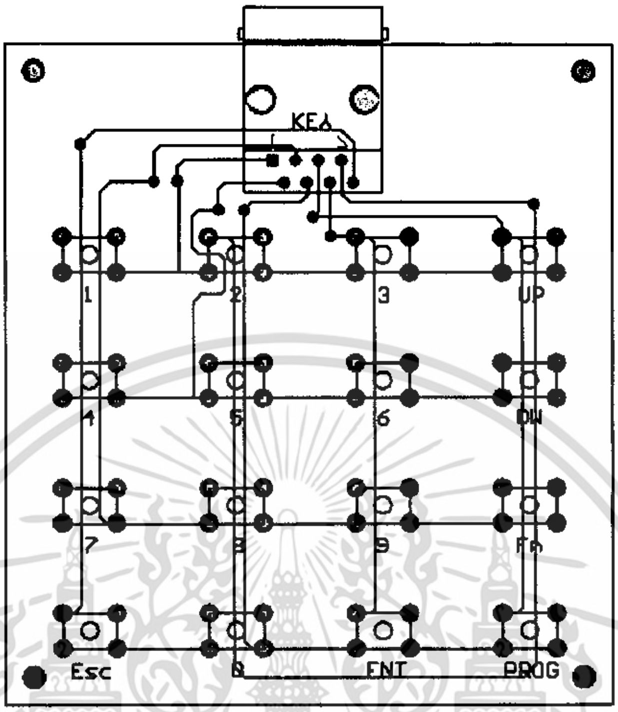


รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลาง

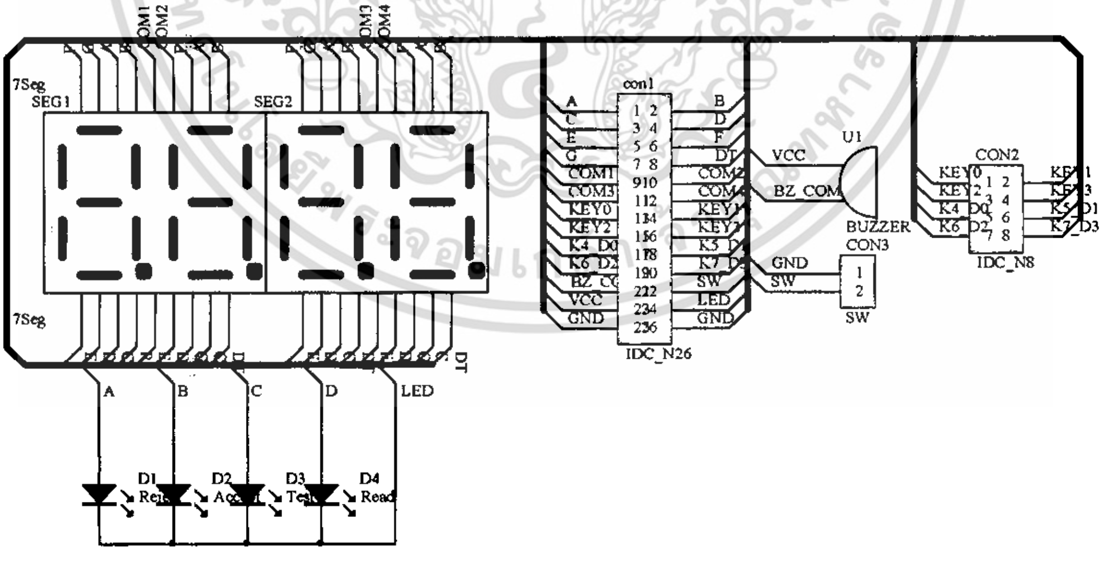


รูปที่ ข.3 วงจรคีย์สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

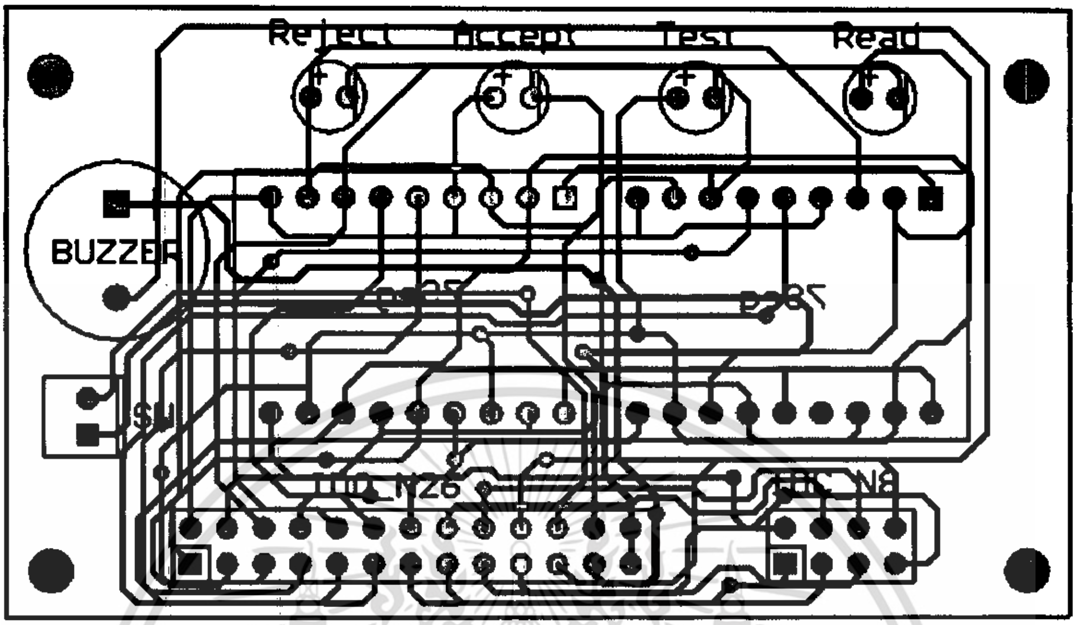


รูปที่ ข.4 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรคีย์สวิตช์



รูปที่ ข.5 วงจร LED ตัวเลข 7 ส่วน และ Buzzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 แผ่นวงจรพิมพ์วงจร LED ตัวเลข 7 ส่วน และ Buzzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรประมวลผลกลาง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ไอซี		
IC1	PIC16F877	1 ตัว
IC2	ICL7135	1 ตัว
IC3	OP07	3 ตัว
IC4	PC817	2 ตัว
IC5	LM311	1 ตัว
IC6	7805	1 ตัว
IC7	7905	1 ตัว
IC8	LM358	2 ตัว
ไดโอด		
D1	1N4007	2 ตัว
D2	1N4004	8 ตัว
D3	1N4148	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์		
Q1	BC547	3 ตัว
Q2	BC557	5 ตัว
Q3	MJE3055	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	4700µF/16โวลต์	2 ตัว
C1	1000µF/50โวลต์	1 ตัว
C1	100µF/25โวลต์	2 ตัว
C1	10µF/16โวลต์	3 ตัว
C2	1µF	2 ตัว
C3	0.47 µF	1 ตัว
C3	0.22 µF	1 ตัว
C3	0.1 µF	16 ตัว
C3	10 pF	2 ตัว
C3	22 pF	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทาน		
R1	10 kΩ	9 ตัว
R2	100 kΩ	3 ตัว
R3	10 Ω	8 ตัว
R4	1 kΩ	9 ตัว
R5	20 kΩ	2 ตัว
R6	200 Ω	2 ตัว
R7	330 Ω	2 ตัว
R8	470 Ω	2 ตัว
R9	16 kΩ	2 ตัว
R10	56 kΩ	1 ตัว
R11	30 kΩ	1 ตัว
R12	120 Ω	1 ตัว
R13	27 Ω	1 ตัว
VR1	1 kΩ	2 ตัว
VR2	20 kΩ	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
XTAL1	18.423 MHz	1 ตัว
Pin1	26 ขา	1 ตัว
Pin2	3 ขา	1 ตัว
Pin3	2 ขา	1 ตัว
Connect1	2 ขา	3 ตัว
Connect2	3 ขา	1 ตัว
sensor	MPX5500	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
PIN1	26 ขา	1 ตัว
PIN1	8 ขา	1 ตัว
LED	แดง	1 ตัว
LED	เขียว	1 ตัว
LED	เหลือง	2 ตัว
7 Segment	2 ตัวอักษร	2 ตัว
Buzzer	HC12G-2DP4L	1 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรคีย์สวิตช์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
PIN	8 ขา	1 ตัว
Switch	Pushbutton 4 ขา	16 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์อื่นๆ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
กล่อง	27 x 20 x 13	1 กล่อง
กล่อง	10 x 8 x 4	1 กล่อง
สวิตช์	220 AC	1 ตัว
สวิตช์	Pushbutton 2 ขา	1 ตัว
สายแพ	40 C	1 เมตร
ชุดฟิวส์	220 VAC 1 A	1 ชุด
ฟิตติ้ง	¼ นิ้ว	4 ตัว
สายลม	¼ นิ้ว	5 เมตร
Air Regulator	¼ นิ้ว	1 ตัว
Flow Control	¼ นิ้ว	1 ตัว
Solenoid Valve	24 VDC	1 ตัว
Transformer	220/18 VAC	1 ตัว
Transformer	220/9-0-9 VAC	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

intersil

ICL7135

Data Sheet | December 2000 | File Number 3093.2

$4^1/_2$ Digit, BCD Output, A/D Converter

The Intersil ICL7135 precision A/D converter, with its multiplexed BCD output and digit drivers, combines dual-slope conversion reliability with ±1 in 20,000 count accuracy and is ideally suited for the visual display DVM/DPM market. The 2.0000V full scale capability, auto-zero, and auto-polarity are combined with true ratiometric operation, almost ideal differential linearity and true differential input. All necessary active devices are contained on a single CMOS IC, with the exception of display drivers, reference, and a clock.

The ICL7135 brings together an unprecedented combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10μV, zero drift of less than 1μV/°C, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. The versatility of multiplexed BCD outputs is increased by the addition of several pins which allow it to operate in more sophisticated systems. These include STROBE, OVERRANGE, UNDERRANGE, RUN/HOLD and BUSY lines, making it possible to interface the circuit to a microprocessor or UART.

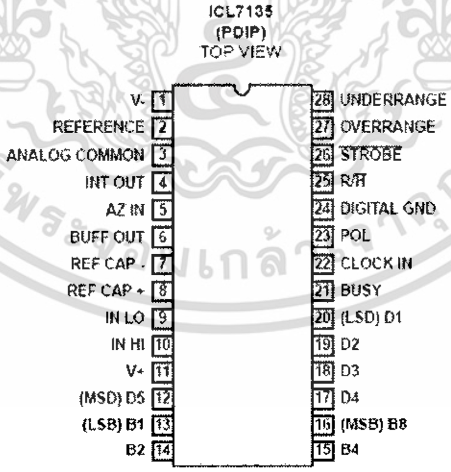
Features

- Accuracy Guaranteed to ±1 Count Over Entire ±20000 Counts (2.0000V Full Scale)
- Guaranteed Zero Reading for 0V Input
- 1pA Typical Input Leakage Current
- True Differential Input
- True Polarity at Zero Count for Precise Null Detection
- Single Reference Voltage Required
- Overrange and Underrange Signals Available for Auto-Range Capability
- All Outputs TTL Compatible
- Blinking Outputs Gives Visual Indication of Overrange
- Six Auxiliary Inputs/Outputs are Available for Interfacing to UARTs, Microprocessors, or Other Circuitry
- Multiplexed BCD Outputs

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7135CPI	0 to 70	28 Ld PDIP	E28.6

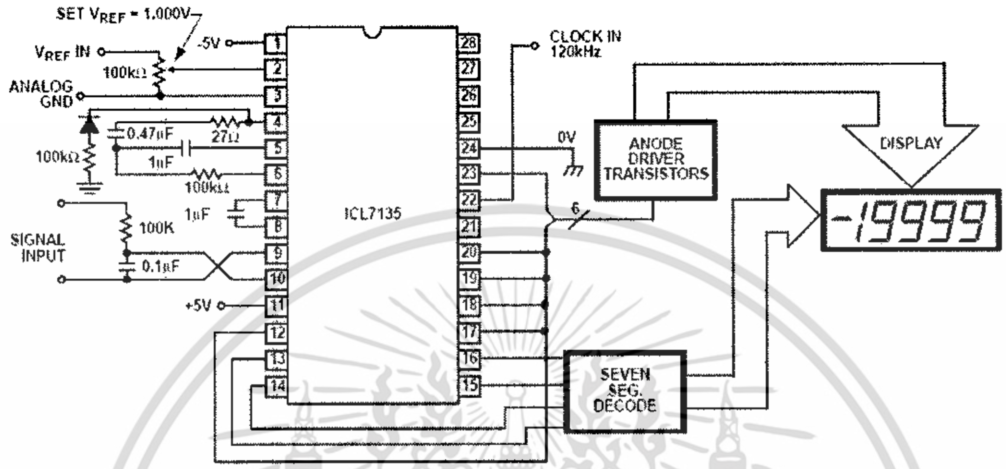
Pinout



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.
1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Intersil and Design is a trademark of Intersil Corporation. | Copyright © Intersil Corporation 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Application Schematic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage V+ . . . . +6V
V- . . . . -9V
Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1) . . . . V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input). . . . . V+ to V-
Clock Input Voltage . . . . GND to V+

Operating Conditions

Temperature Range . . . . 0°C to 70°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 2) . . . . θ_{JA} (°C/W)
PDIP Package 55
Maximum Junction Temperature . . . . 150°C
Maximum Storage Temperature Range . . . . -65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) . . . . 300°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to ±100μA.
2. θ_{JA} is measured with the component mounted on a low effective thermal conductivity test board in free air. See Tech Brief TB379 for details.

Electrical Specifications

V+ = +5V, V- = -5V, T_A = 25°C, f_{CLK} Set for 3 Readings/s, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ANALOG (Notes 3, 4)					
Zero Input Reading	V_{IN} = 0V, V_{REF} = 1.000V	-00000	±00000	+00000	Counts
Ratiometric Error (Note 4)	V_{IN} = V_{REF} = 1.000V	-3	0	+3	Counts
Linearity Over ± Full Scale (Error of Reading from Best Straight Line)	-2V ≤ V_{IN} ≤ +2V	-	0.5	1	LSB
Differential Linearity (Difference Between Worse Case Step of Adjacent Counts and Ideal Step)	-2V ≤ V_{IN} ≤ +2V	-	0.01	-	LSB
Rollover Error (Difference In Reading for Equal Positive and Negative Voltage Near Full Scale)	$-V_{IN}$ = $+V_{IN}$ ≈ 2V	-	0.5	1	LSB
Noise (Peak-to-Peak Value Not Exceeded 95% of Time), e_N	V_{IN} = 0V, Full scale = 2.000V	-	15	-	μV
Input Leakage Current, I_{ILK}	V_{IN} = 0V	-	1	10	pA
Zero Reading Drift (Note 7)	V_{IN} = 0V, 0°C to 70°C	-	0.5	2	μV/°C
Scale Factor Temperature Coefficient, T_C (Notes 5 and 7)	V_{IN} = +2V, 0°C to 70°C Ext. Ref. 0ppm/°C	-	2	5	ppm/°C
DIGITAL INPUTS					
Clock In, Run/Hold (See Figure 2) V_{INH}		2.8	2.2	-	V
V_{INL}		-	1.6	0.8	V
I_{INL}	V_{IN} = 0V	-	0.02	0.1	mA
I_{INH}	V_{IN} = +5V	-	0.1	10	μA
DIGITAL OUTPUTS					
All Outputs V_{OL}	I_{OL} = 1.6mA	-	0.25	0.40	V
B1, B2, B4, B8, D1, D2, D3, D4, D5, V_{OH}	I_{OH} = -1mA	2.4	4.2	-	V
BUSY, $\overline{STROBE}$, OVERRANGE, UNDERRANGE, POLARITY, V_{OH}	I_{OH} = -10μA	4.9	4.99	-	V
SUPPLY					
+5V Supply Range, V+		+4	+5	+6	V
-5V Supply Range, V-		-3	-5	-8	V
+5V Supply Current, I+	f_C = 0	-	1.1	3.0	mA
-5V Supply Current, I-	f_C = 0	-	0.8	3.0	mA
Power Dissipation Capacitance, C_{PD}	vs Clock Frequency	-	40	-	pF
CLOCK					
Clock Frequency (Note 6)		DC	2000	1200	kHz

NOTES:

3. Tested in 4$^1/_2$ digit (20,000 count) circuit shown in Figure 3. (Clock frequency 120kHz.)
4. Tested with a low dielectric absorption integrating capacitor, the 27Ω INT OUT resistor shorted, and R_{INT} = 0. See Component Value Selection Discussion.
5. The temperature range can be extended to 70°C and beyond as long as the auto-zero and reference capacitors are increased to absorb the higher leakage of the ICL7135.
6. This specification relates to the clock frequency range over which the ICL7135 will correctly perform its various functions. See "Max Clock Frequency" section for limitations on the clock frequency range in a system.
7. Parameter guaranteed by design or characterization. Not production tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

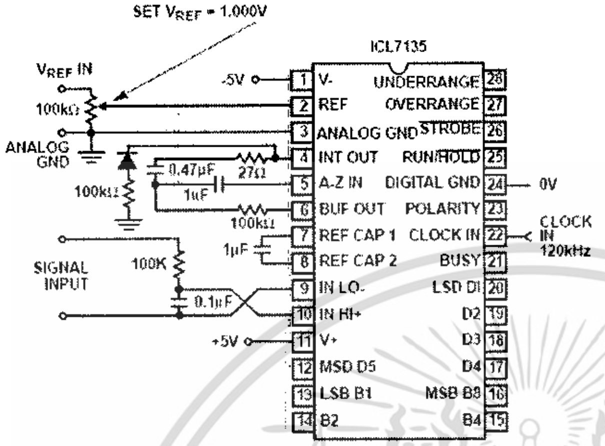


FIGURE 1. ICL7135 TEST CIRCUIT

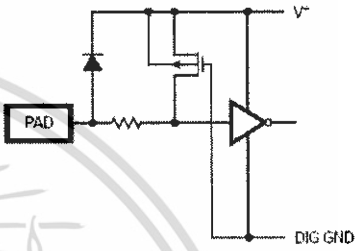


FIGURE 2. ICL7135 DIGITAL LOGIC INPUT

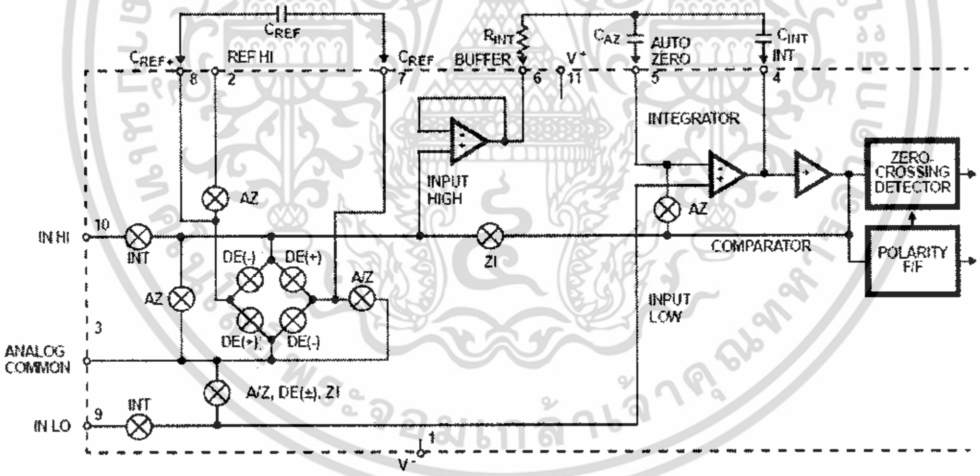


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Description

Analog Section

Figure 3 shows the Block Diagram of the Analog Section for the ICL7135. Each measurement cycle is divided into four phases. They are (1) auto-zero (AZ), (2) signal-integrate (INT), (3) de-integrate (DE) and (4) zero-integrator (ZI).

Auto-Zero Phase

During auto-zero, three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C_{AZ} to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the AZ accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10μV.

Signal Integrate Phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range: within one volt of either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common-mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is latched into the polarity F/F.

De-Integrate Phase

The third phase is de-integrate or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is.

$$\text{OUTPUT COUNT} = 10{,}000\left(\frac{V_{IN}}{V_{REF}}\right).$$

Zero Integrator Phase

The final phase is zero integrator. First, input low is shorted to analog COMMON. Second, a feedback loop is closed around the system to input high to cause the integrator output to return to zero. Under normal condition this phase lasts from 100 to 200 clock pulses, but after an overrange conversion, it is extended to 6200 clock pulses.

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier; or specifically from 0.5V below the positive supply to 1V above the negative supply. In this range the system has a CMRR of 86dB typical. However, since the integrator also swings with the common mode voltage, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common-mode voltage with a near full scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator swing can be reduced to less than the recommended 4V full scale swing with some loss of accuracy. The integrator output can swing within 0.3V of either supply without loss of linearity.

Analog COMMON

Analog COMMON is used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in most applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the converter. The reference voltage is referenced to analog COMMON.

Reference

The reference input must be generated as a positive voltage with respect to COMMON, as shown in Figure 4.

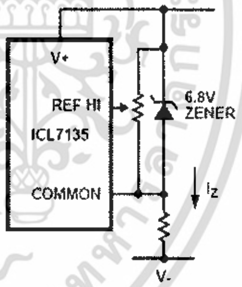


FIGURE 4A.

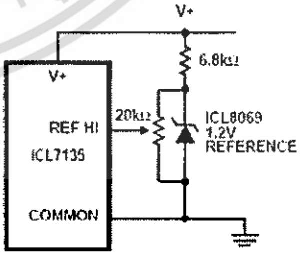


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Supplies

The ICL7135 is designed to work from ±5V supplies. However, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than ±1.5V.

See "differential input" for a discussion of the effects this will have on the integrator swing without loss of linearity.

Typical Applications

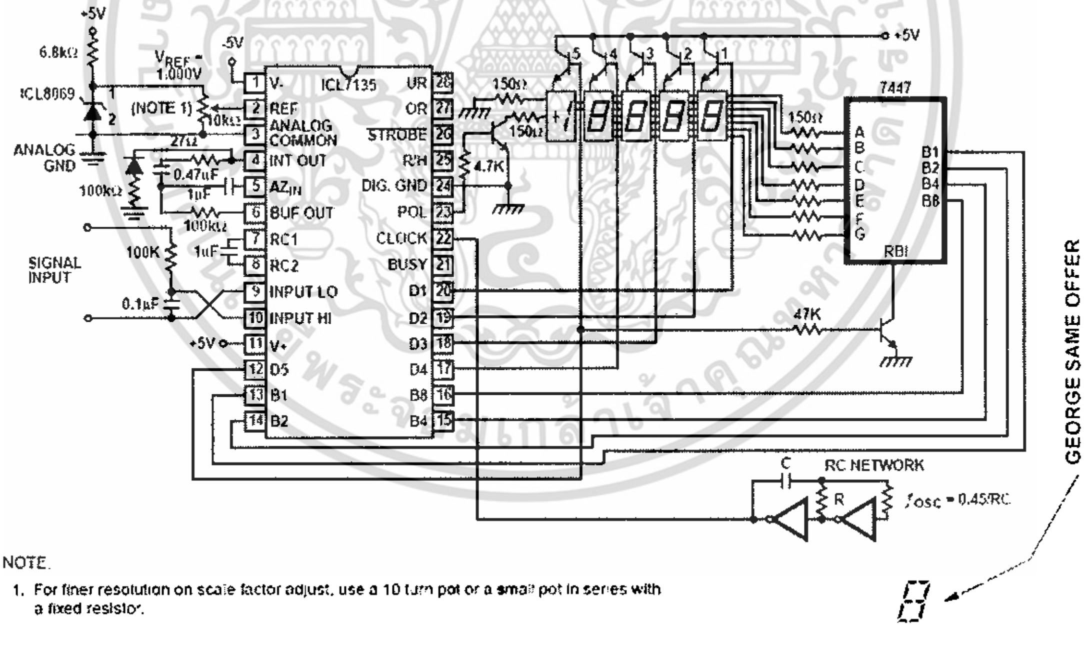
The circuits which follow show some of the wide variety of possibilities and serve to illustrate the exceptional versatility of this A/D converter.

Figure 7 shows the complete circuit for a $4^1/_2$ digit (±2.000V) full scale) A/D with LED readout using the ICL8069 as a 1.2V temperature compensated voltage reference. It uses the band-gap principal to achieve excellent stability and low noise at reverse currents down to 50μA. The circuit also shows a typical R-C input filter. Depending on the application, the time-constant of this filter can be made faster, slower, or the filter deleted completely. The $^1/_2$ digit LED is driven from the 7 segment decoder, with a zero reading blanked by connecting a D5 signal to RBI input of the decoder. The 2-gate clock circuit should use CMOS gates to maintain good power supply rejection.

A suitable circuit for driving a plasma-type display is shown in Figure 8. The high voltage anode driver buffer is made by Dionics. The 3 AND gates and caps driving "BI" are needed for interdigit blanking of multiple-digit display elements, and can be omitted if not needed. The 2.5kΩ and 3kΩ resistors set the current levels in the display. A similar arrangement can be used with Nixie® tubes.

The popular LCD displays can be interfaced to the outputs of the ICL7135 with suitable display drivers, such as the ICM7211A as shown in Figure 9. A standard CMOS 4030 QUAD XOR gate is used for displaying the $^1/_2$ digit, the polarity, and an "overrange" flag. A similar circuit can be used with the ICL7212A LED driver and the ICM7235A vacuum fluorescent driver with appropriate arrangements made for the "extra" outputs. Of course, another full driver circuit could be ganged to the one shown if required. This would be useful if additional annunciators were needed. The Figure shows the complete circuit for a $4^1/_2$ digit (±2.000V) A/D.

Figure 10 shows a more complicated circuit for driving LCD displays. Here the data is latched into the ICM7211 by the $\overline{\text{STROBE}}$ signal and "Overrange" is indicated by blanking the 4 full digits.



NOTE:

1. For finer resolution on scale factor adjust, use a 10 turn pot or a small pot in series with a fixed resistor.

FIGURE 7. $4^1/_2$ DIGIT A/D CONVERTER WITH A MULTIPLEXED COMMON ANODE LED DISPLAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

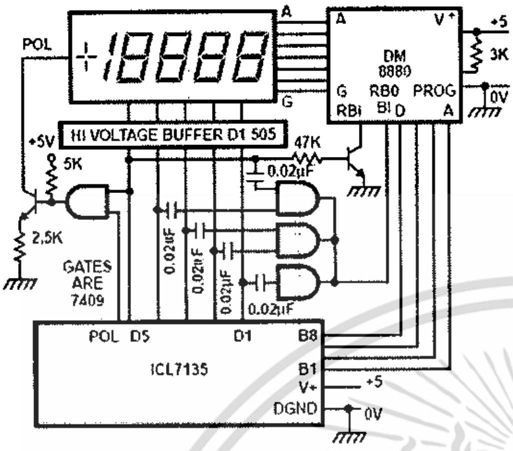


FIGURE 8. ICL7135 PLASMA DISPLAY CIRCUIT

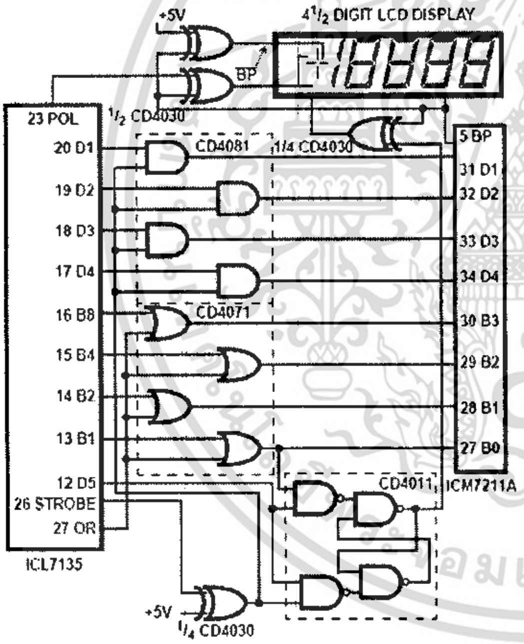


FIGURE 9. LCD DISPLAY WITH DIGIT BLANKING ON OVERRANGE

A problem sometimes encountered with both LED and plasma-type display driving is that of clock source supply line variations. Since the supply is shared with the display, any variation in voltage due to the display reading may cause clock supply voltage modulation. When in overrange the display alternates between a blank display and the 0000 overrange indication. This shift occurs during the reference integrate phase of conversion causing a low display reading just after overrange recovery. Both of the above circuits have considerable current flowing in the digital supply from drivers, etc. A clock source using an LM311 voltage comparator with positive feedback (Figure 11) could minimize any clock frequency shift problem.

The ICL7135 is designed to work from ±5V supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated with an ICL7660 and two capacitors (Figure 12).

Interfacing with UARTs and Microprocessors

Figure 13 shows a very simple interface between a free-running ICL7135 and a UART. The five $\overline{\text{STROBE}}$ pulses start the transmission of the five data words. The digit 5 word is 0000XXXX, digit 4 is 1000XXXX, digit 3 is 0100XXXX, etc. Also the polarity is transmitted indirectly by using it to drive the Even Parity Enable Pin (EPE). If EPE of the receiver is held low, a parity flag at the receiver can be decoded as a positive signal, no flag as negative. A complex arrangement is shown in Figure 14. Here the UART can instruct the A/D to begin a measurement sequence by a word on RRI. The BUSY signal resets the Data Ready Reset (DRR). Again $\overline{\text{STROBE}}$ starts the transmit sequence. A quad 2 input multiplexer is used to superimpose polarity, over-range and under-range onto the D5 word since in this instance it is known that B2 = B4 = B8 = 0.

For correct operation it is important that the UART clock be fast enough that each word is transmitted before the next $\overline{\text{STROBE}}$ pulse arrives. Parity is locked into the UART at load time but does not change in this connection during an output stream.

Circuits to interface the ICL7135 directly with three popular microprocessors are shown in Figure 15 and Figure 16. The 8080/8048 and the MC6800 groups with 8-bit buses need to have polarity, over-range and under-range multiplexed onto the Digit 5 Sword - as in the UART circuit. In each case the microprocessor can instruct the A/D when to begin a measurement and when to hold this measurement.

Application Notes

NOTE #	DESCRIPTION	AnswerFAX DOC. #
AN016	"Selecting A/D Converters"	9016
AN017	"The Integrating A/D Converter"	9017
AN018	"Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"	9018
AN023	"Low Cost Digital Panel Meter Designs"	9023
AN028	"Building an Auto-Ranging DMM Using the 8052A/7103A A/D Converter Pair"	9028
AN030	"The ICL7104 - A Binary Output A/D Converter for Microprocessors"	9030
AN032	"Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7136/7/9 Family"	9032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

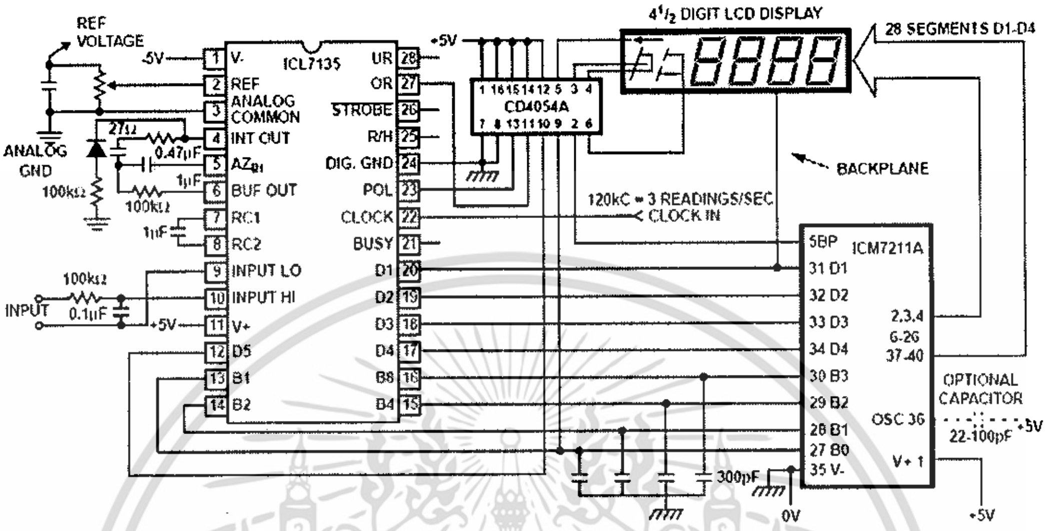


FIGURE 10. DRIVING LCD DISPLAYS

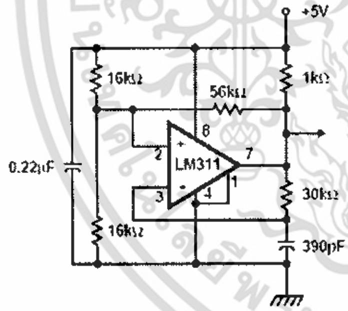


FIGURE 11. LM311 CLOCK SOURCE

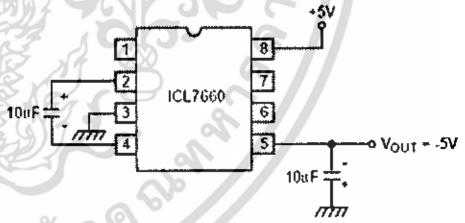


FIGURE 12. GENERATING A NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

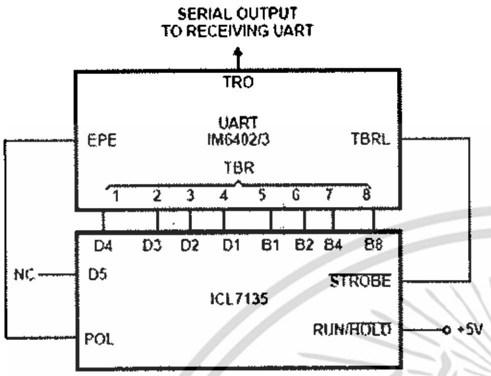


FIGURE 13. ICL7135 TO UART INTERFACE

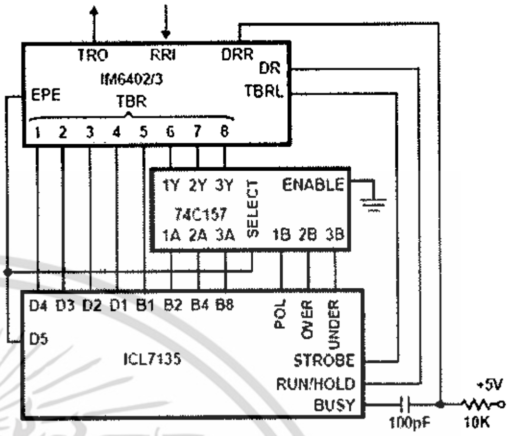


FIGURE 14. COMPLEX ICL7135 TO UART INTERFACE

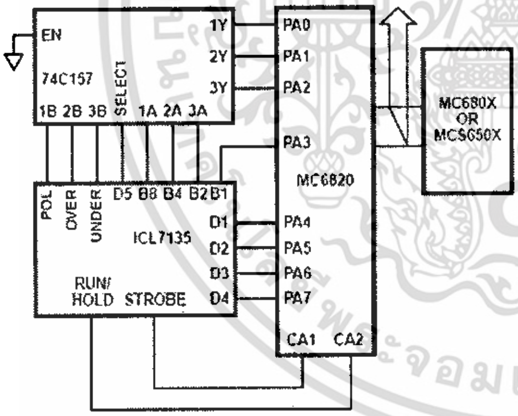


FIGURE 15. ICL7135 TO MC6800, MCS650X INTERFACED

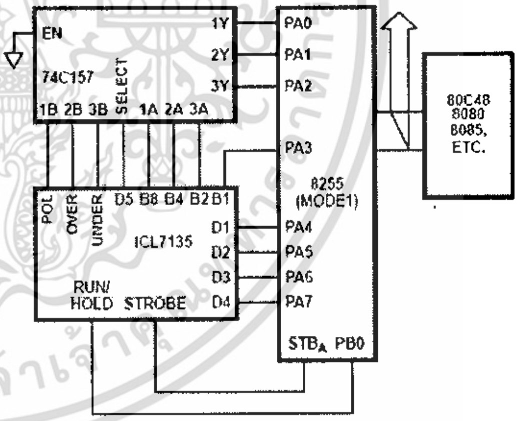


FIGURE 16. ICL7135 TO MCS-48, -80, -85 INTERFACE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Courtesy of Analog Devices, Inc. Used with permission.

ANALOG DEVICES

Ultralow Offset Voltage Operational Amplifiers

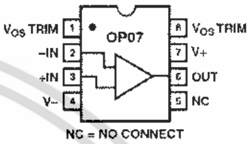
OP07

FEATURES
- Low V_{OS}: 75 μV Max
- Low V_{OS} Drift: 1.3 μV/°C Max
- Ultra-Stable vs. Time: 1.5 μV/Month Max
- Low Noise: 0.6 μV p-p Max
- Wide Input Voltage Range: ±14 V
- Wide Supply Voltage Range: 3 V to 18 V
- Fits 725,108A/308A, 741, AD510 Sockets
- 125°C Temperature-Tested Dice

APPLICATIONS
- Wireless Base Station Control Circuits
- Optical Network Control Circuits
- Instrumentation
- Sensors and Controls
  - Thermocouples
  - RTDs
  - Strain Bridges
  - Shunt Current Measurements
- Precision Filters

PIN CONNECTIONS

Epoxy Mini-Dip (P-Suffix)
8-Pin SO (S-Suffix)



GENERAL DESCRIPTION

The OP07 has very low input offset voltage (75 μV max for OP07E) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP07 also features low input bias current (±4 nA for OP07E) and high open-loop gain (200 V/mV for OP07E). The low offsets and high open-loop gain make the OP07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of ±13 V minimum combined with high CMRR of 106 dB (OP07E) and high input impedace provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP07 an industry standard for instrumentation applications.

The OP07 is available in two standard performance grades. The OP07E is specified for operation over the 0°C to 70°C range, and OP07C over the –40°C to +85°C temperature range.

The OP07 is available in epoxy 8-lead Mini-DIP and 8-lead SOIC. It is a direct replacement for 725,108A, and OP05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. For improved specifications, see the OP177 or OP1177. For ceramic DIP and TO-99 packages and standard micro circuit (SMD) versions, see the OP77.

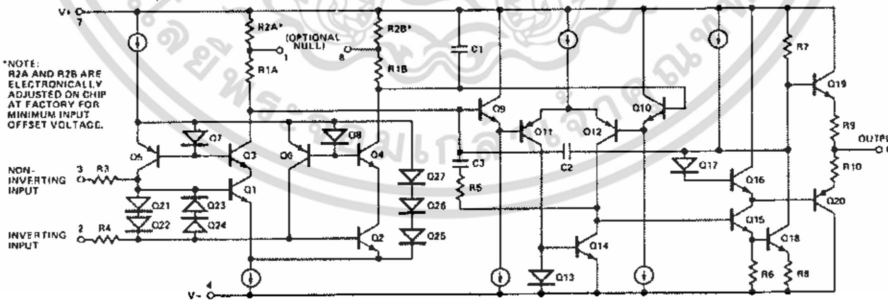


Figure 1. Simplified Schematic

REV. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 www.analog.com
Fax: 781/326-8703
© Analog Devices, Inc., 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07–SPECIFICATIONS

OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = ±15 V, T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Offset Voltage[1]	V_{OS}			30	75	µV
Long-Term V_{OS} Stability[2]	V_{OS}/Time			0.3	1.5	µV/Mo
Input Offset Current	I_{OS}			0.5	3.8	nA
Input Bias Current	I_B			±1.2	±4.0	nA
Input Noise Voltage	e_n p-p	0.1 Hz to 10 Hz[3]		0.35	0.6	µV p-p
Input Noise Voltage Density	e_n	f_O = 10 Hz		10.3	18.0	nV/√Hz
		f_O = 100 Hz[3]		10.0	13.0	nV/√Hz
		f_O = 1 kHz		9.6	11.0	nV/√Hz
Input Noise Current	I_n p-p			14	30	pA p-p
Input Noise Current Density	I_n	f_O = 10 Hz		0.32	0.80	pA/√Hz
		f_O = 100 Hz[3]		0.14	0.23	pA/√Hz
		f_O = 1 kHz		0.12	0.17	pA/√Hz
Input Resistance—Differential Mode[4]	R_{IN}		15	50		mΩ
Input Resistance—Common-Mode	R_{INCM}			160		GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V_{CM} = ±13 V	106	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V_S = ±3 V to ±18 V		5	20	µV/V
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	R_L ≥ 2 kΩ, V_O = ±10 V	200	500		V/mV
		R_L ≥ 500 Ω, V_O = ±0.5 V, V_S = ±3 V[4]	150	400		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Output Voltage Swing	V_O	R_L ≥ 10 kΩ	±12.5	±13.0		V
		R_L ≥ 2 kΩ	±12.0	±12.8		V
		R_L ≥ 1 kΩ	±10.5	±12.0		V
DYNAMIC PERFORMANCE						
Slew Rate	SR	R_L ≥ 2 kΩ[3]	0.1	0.3		V/µs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A_{VOL} = 1[5]	0.4	0.6		MHz
Closed-Loop Output Resistance	R_O	V_O = 0, I_O = 0		60		Ω
Power Consumption	P_d	V_S = ±15 V, No Load		75	120	mW
		V_S = ±13 V, No Load		4	6	mW
Offset Adjustment Range		R_P = 20 kΩ		±4		mV

NOTES

[1]Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

[2]Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of VOS vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in VOS during the first 30 operating days are typically 2.5 µV refer to the typical performance curves. Parameter is sample tested.

[3]Sample tested.

[4]Guaranteed by design.

[5]Guaranteed but not tested.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15$ V, $T_A = 25°C$, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Offset Voltage[1]	V_{OS}			60	150	µV
Long-Term V_{OS} Stability[2]	V_{OS}/Time			0.4	2.0	µV/Mo
Input Offset Current	I_{OS}			0.8	6.0	nA
Input Bias Current	I_B			±1.8	±7.0	nA
Input Noise Voltage	e_n p-p	0.1 Hz to 10 Hz[3]		0.38	0.65	µV p-p
Input Noise Voltage Density	e_n	f_O = 10 Hz		10.5	20.0	nV/√Hz
		f_O = 100 Hz[3]		10.2	13.5	nV/√Hz
		f_O = 1 kHz		9.8	11.5	nV/√Hz
Input Noise Current	I_n p-p			15	35	pA p-p
Input Noise Current Density	I_n	f_O = 10 Hz		0.35	0.90	pA/√Hz
		f_O = 100 Hz[3]		0.15	0.27	pA/√Hz
		f_O = 1 kHz		0.13	0.18	pA/√Hz
Input Resistance- Differential Mode[4]	R_{IN}		8	33		mΩ
Input Resistance- Common-Mode	R_{INCM}			120		GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V_{CM} = ±13 V	100	120		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V_S = ±3 V to ±18 V		7	32	µV/V
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2$ kΩ, V_O = ±10 V	120	400		V/mV
		$R_L \geq 500$ Ω, V_O = ±0.5 V, V_S = ±3 V[4]	100	400		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 10$ kΩ	±12.0	±13.0		V
		$R_L \geq 2$ kΩ	±11.5	±12.8		V
		$R_L \geq 1$ kΩ		±12.0		V
DYNAMIC PERFORMANCE						
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2$ kΩ[3]	0.1	0.3		V/µs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A_{VOL} = 1[5]	0.4	0.6		MHz
Closed-Loop Output Resistance	R_O	V_O = 0, I_O = 0		60		Ω
Power Consumption	P_d	V_S = ±15 V, No Load		80	150	mW
		V_S = ±13 V, No Load		4	8	mW
Offset Adjustment Range		R_P = 20 kΩ		±4		mV

NOTES

[1]Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

[2]Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of VOS vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in VOS during the first 30 operating days are typically 2.5 µV refer to the typical performance curves. Parameter is sample tested.

[3]Sample tested.

[4]Guaranteed by design.

[5]Guaranteed but not tested.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP07–SPECIFICATIONS

OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = ±15 V, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Offset Voltage[1]	V_{OS}			45	130	μV
Voltage Drift without External Trim[2]	TCV_{OS}			0.3	1.3	μV/°C
Voltage Drift with External Trim[3]	TCV_{OSN}	R_P = 20 kΩ		0.3	1.3	μV/°C
Input Offset Current	I_{OS}			0.9	5.3	nA
Input Offset Current Drift	TCI_{OS}			8	35	pA/°C
Input Bias Current	I_B			±1.5	±5.5	nA
Input Bias Current Drift	TCI_B			13	35	pA/°C
Input Voltage Range	IVR		±13	±13.5		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V_{CM} = ±13 V	103	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V_S = ±3 V to ±18 V		7	32	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	R_L ≥ 2 kΩ, V_O = ±10 V	180	450		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Output Voltage Swing	V_O	R_L ≥ 10 kΩ	±12	±12.6		V

NOTES
[1]Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
[2]Guaranteed by design.
[3]Sample tested.
Specifications subject to change without notice.

OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = ±15 V, −40°C ≤ T_A ≤ +85°C, unless otherwise noted.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Offset Voltage[1]	V_{OS}			85	250	μV
Voltage Drift without External Trim[2]	TCV_{OS}			0.5	1.8	μV/°C
Voltage Drift with External Trim[3]	TCV_{OSN}	R_P = 20 kΩ		0.4	1.8	μV/°C
Input Offset Current	I_{OS}			1.6	8.0	nA
Input Offset Current Drift	TCI_{OS}			12	50	pA/°C
Input Bias Current	I_B			±2.2	±9.0	nA
Input Bias Current Drift	TCI_B			18	50	pA/°C
Input Voltage Range	IVR		±13	±13.5		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V_{CM} = ±13 V	97	120		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V_S = ±3 V to ±18 V		10	51	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	R_L ≥ 2 kΩ, V_O = ±10 V	100	400		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Output Voltage Swing	V_O	R_L ≥ 10 kΩ	±11	±12.6		V

NOTES
[1]Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
[2]Guaranteed by design.
[3]Sample tested.
Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

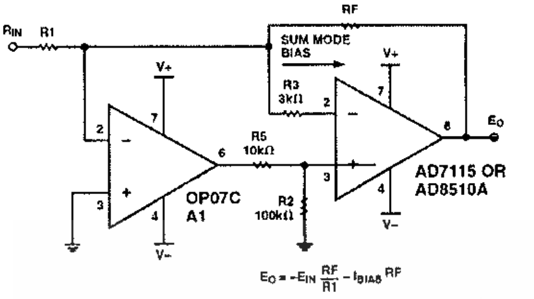


Figure 2. Typical Offset Voltage Test Circuit

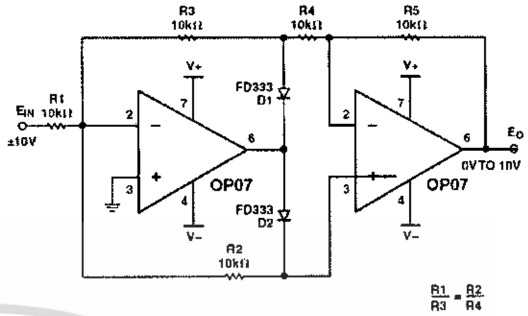


Figure 5. Burn-In circuit

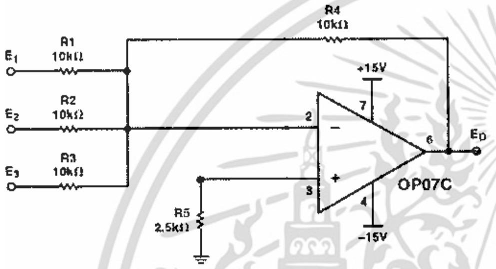
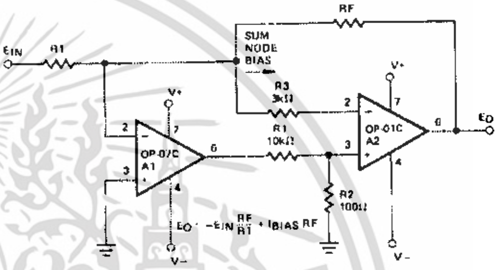


Figure 3. Typical Low-Frequency Noise Circuit



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 6. High-Speed, Low VOS Composite Amplifier

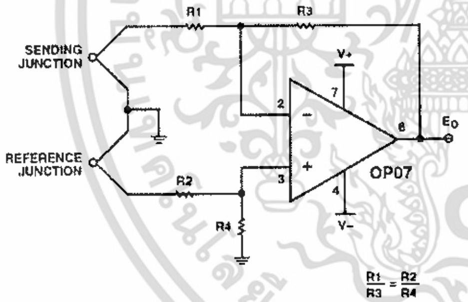
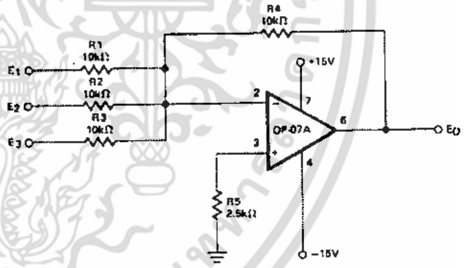


Figure 4. Optional Offset Nulling Circuit



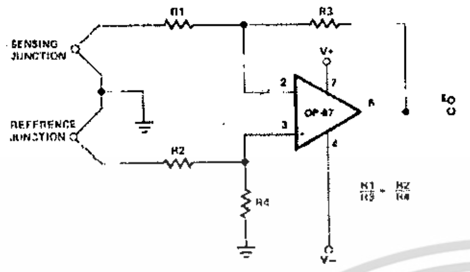
PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 7. Adjustment-Free Precision Summing Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

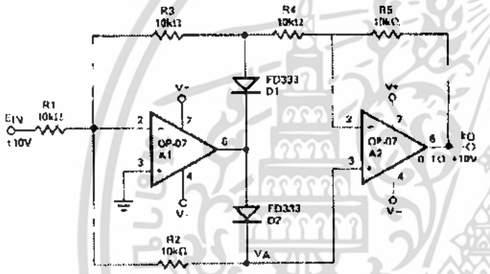
OP07

TYPICAL APPLICATIONS



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 8. High-Stability Thermocouple Amplifier



PINOUTS SHOWN FOR J, P, AND Z PACKAGES

Figure 9. Precision Absolute-Value Circuit

APPLICATIONS INFORMATION

OP07 series units may be substituted directly into 725, 108A/308A* and OP05 sockets with or without removal of external compensation or nulling components. Additionally, the OP07 may be used in unnulled 741 type sockets. However, if conventional 741 nulling circuitry is in use, it should be modified or removed to enable proper OP07 operation. OP07 offset voltage may be nulled to zero through use of a potentiometer (see offset nulling circuit diagram).

PRECISION ABSOLUTE-VALUE CIRCUIT

The OP07 provides stable operation with load capacitance of up to 500 pF and ±10 V swings; larger capacitances should be decoupled with a 50 Ω decoupling resistor.

Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation will be obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

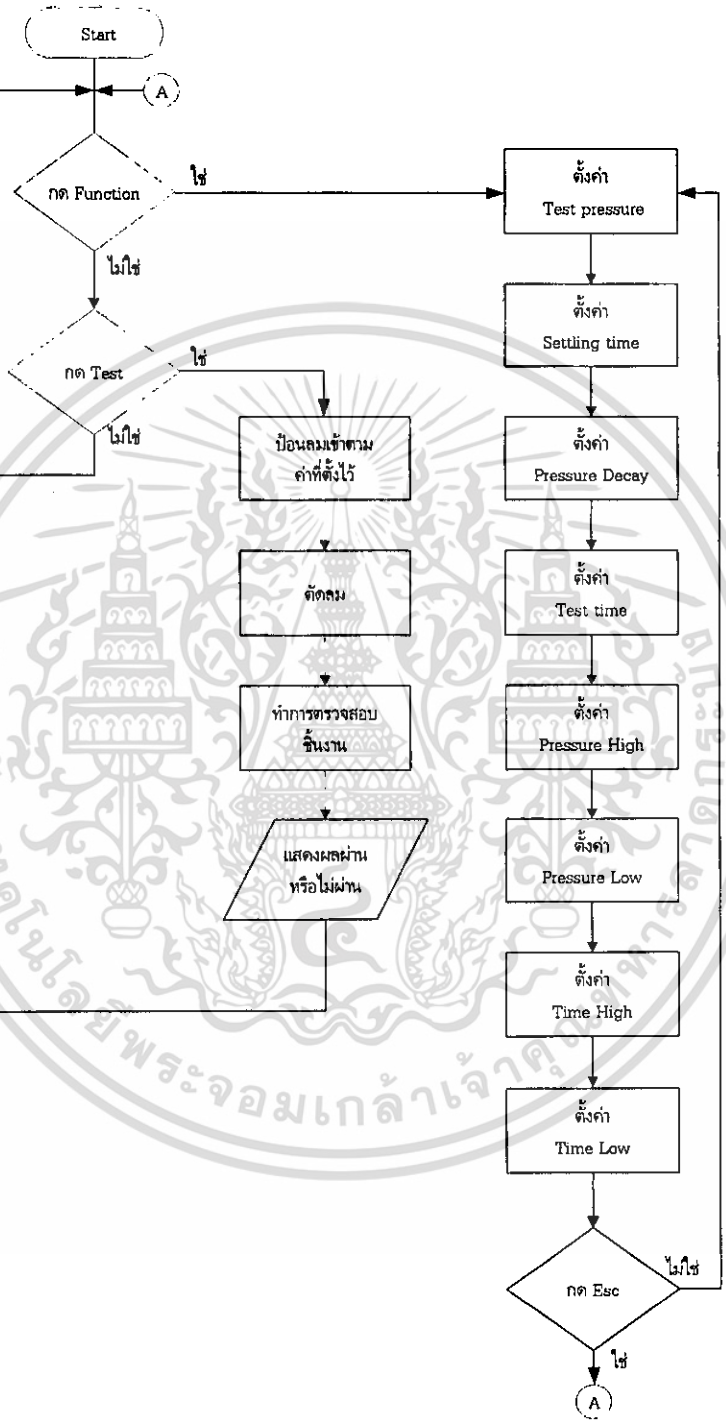
*TO-99 Package only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1 แผนผังการทำงานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงานของเครื่อง

```
#include "/phesser.h"
#include <stdlib.h>
#priority rtcc,timer1,rda    /* ความสำคัญ Interrup */
#rom  0x2100={1,25,4,15,10,5,0x00,200,0x00,250,0x00,0x10,0x01,0x02}
//
//***** กำหนด port ให้ตรงกับวงจร *****
//
// port address
#byte port_A=5
#byte port_B=6
#byte port_C=7
#byte port_D=8
#byte port_E=9
// bit Output seg
#byte data_seg = 6
#bit  dot = port_B.7
#bit  seg_digit1 = port_D.4
#bit  seg_digit2 = port_D.5
#bit  seg_digit3 = port_D.6
#bit  seg_digit4 = port_D.7
#bit  led_digit5 = port_C.4
// bit Input icl7135
#byte ad_in = 5
#bit  pol = port_E.2
#bit  d1 = port_E.2
#bit  d2 = port_A.4
#bit  d3 = port_A.5
#bit  d4 = port_E.0
#bit  d5 = port_E.1
// bit Input SW
#byte data_sw = 8
#bit  sw_start = port_C.3
// bit Output Relay
#bit  on = port_C.0
#bit  bol = port_C.1
// bit Output Buzzer
#bit  bz = port_C.2
// bit RS485
#bit  rx = port_C.7
#bit  tx = port_C.6
#bit  ct = port_C.5
//
//***** จองพื้นที่หน่วยความจำแบบถาวร *****
//
// ad_data icl7135
long data_ad[5]={0,0,0,0,0},pressure_test=0;
// data seg
char seg[5]={0x10,0,0,0,0x10},count_seg=0;
char const number[29] =
{0x3f,0x06,0x5b,0x4f,0x66,0x6d,0x7d,0x07,0x7f,0x6f,    //data 7-seg
                         0x77,0x7c,0x39,0x5e,0x79,0x71,
//data a-f
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                              0x00,0x40,
//data sing
                              0x78,0x73,0x76,0x38,
//data T,P,H,L
                              0x08,0x04,0x02,0x01,
//led 1,2,3,4
                              0x5c,0x70,0x50};
//data O,K,R
char dot_seg=0,dot_seg1=0,send485;
#bit dot0 = dot_seg.0
#bit dot1 = dot_seg.1
#bit dot2 = dot_seg.2
#bit dot3 = dot_seg.3
#bit chake_key = dot_seg.4
#bit key_while = dot_seg.5
#bit start_while = dot_seg.6
#bit duty = dot_seg.7
//
#bit key_onoff = dot_seg1.0
#bit rs485_addv = dot_seg1.1
// data key
char data_key = 0;
signed int16 buf=0;
char const key[16] = {0x0a,0x0b,0x0c,0x0d,
                      0x03,0x06,0x09,0x0f,
                      0x02,0x05,0x08,0x00,
                      0x01,0x04,0x07,0x0e};
// counter
long  counter = 0,count1 = 0,count2 = 0;
// data read_eeprom
char rs485_add,settling_time,test_time,time_hing,time_low;
//start_add 0000
long
test_pressure,pressure_hing,pressure_low,counter_buf,pressure_decay;
// timer data
char count=0,sec=0;
//
//***** START READ_EEPROM *****
//
void read_dataeeprom(void){
char i[14],j;
   for(j=0;j<14;j++){
      i[j] = read_eeprom(j);
   }
   rs485_add = i[0];
   settling_time = i[1];
   pressure_decay = i[2];
   test_time = i[3];
   time_hing = i[4];
   time_low = i[5];
   test_pressure = i[6];
   test_pressure = (test_pressure<<8)+i[7];
   pressure_hing = i[8];
   pressure_hing = (pressure_hing<<8)+i[9];
   pressure_low = i[10];
   pressure_low = (pressure_low<<8)+i[11];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   counter_buf = i[12];
   counter_buf = (counter_buf<<8)+i[13];
   send485=0x80|rs485_add;
}
//
//***** WRITE EEPROM *****
//
void write_ee(char add,dat){
   write_eeprom (add,dat);
}
//
//***** WRITE EEPROM DATA *****
//
void write_ee_data(long data_edit,char count_fun){
char add,dat;
   if(count_fun==1){
      dat = MAKE8(data_edit,1);
      write_ee(6,dat);
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(7,dat);
      test_pressure = data_edit;
   }
   else if(count_fun==2){
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(1,dat);
      settling_time = data_edit;
   }
   else if(count_fun==3){
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(2,dat);
      pressure_decay = data_edit;
   }
   else if(count_fun==4){
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(3,dat);
      test_time = data_edit;
   }
   else if(count_fun==5){
      dat = MAKE8(data_edit,1);
      write_ee(8,dat);
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(9,dat);
      pressure_hing = data_edit;
   }
   else if(count_fun==6){
      dat = MAKE8(data_edit,1);
      write_ee(10,dat);
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(11,dat);
      pressure_low = data_edit;
   }
   else if(count_fun==7){
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(4,dat);
      time_hing = data_edit;
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   else if(count_fun==8){
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(5,dat);
      time_low = data_edit;
   }
   else if(count_fun=='A'){
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(0,dat);
      rs485_add = data_edit;
   }
   else if(count_fun=='B'){
      dat = MAKE8(data_edit,1);
      write_ee(12,dat);
      dat = MAKE8(data_edit,0);
      write_ee(13,dat);
      test_pressure = data_edit;
   }
}
//
//***** DECODE_DATA *****
//
void decode_data(long k,char l){
long  i,j;
   j = k;
   i = j/1000;
   if(i==0) {
      if(l==0) seg[0] = 0x10;        //ว่าง
      //
      j = j%1000;
      i = j/100;
      if(i==0) {
         seg[1] = 0x10;
         //
         j = j%100;
         i = j/10;
         if(i==0) {
            seg[2] = 0x10;
         }
         else {
            seg[2] = i;
         }
         j = j%10;
         seg[3] = j;
      }
      else {
         seg[1] = i;
         //
         j = j%100;
         i = j/10;
         seg[2] = i;
         //
         j = j%10;
         seg[3] = j;
      }
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else
{
      seg[0] = i;
      //
      j = j%1000;
      i = j/100;
      seg[1] = i;
      //
      j = j%100;
      i = j/10;
      seg[2] = i;
      //
      j = j%10;
      seg[3] = j;
   }
}
//
//***** buzzur_beet *****
//
void buzzur_beet(void){
   setup_ccp1(CCP_PWM);;
   delay_ms(150);
   setup_ccp1(CCP_OFF);
   bz = 0;
   delay_ms(100);
}
//***** SET_REG *****
//
long set_reg(long data_edit){
char exit_test=0;
long key_buf[3];
   while(exit_test==0){
      if(count>=25) {
         decode_data(data_edit,1);
         dot1 = 1;
      }
      else {
         seg[0] = 0x10;    //ว่าง
         seg[1] = 0x10;
         dot1 = 0;
         //seg[2] = 0x10;
         //seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      if(data_key<=0x09) {
         key_buf[0] = data_key;
         exit_test=1;
      }
   }
   dot1 = 0;
   data_edit = (data_edit%100)+(key_buf[0]*100);
   exit_test = 0;
   decode_data(data_edit,1);
   buzzur_beet();
   while(exit_test==0){
      if(count>=25) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          decode_data(data_edit,1);
          dot2 = 1;
       }
       else {
          seg[0] = 0x10;     //ว่าง
          //seg[1] = 0x10;
          seg[2] = 0x10;
          dot2 = 0;
          //seg[3] = 0x10;     //ว่าง
       }
       if(data_key<=0x09) {
          key_buf[1] = data_key;
          exit_test=1;
       }
    }
    dot2 = 0;
    data_edit = (data_edit%100)%10;
    data_edit = data_edit+(key_buf[0]*100)+(key_buf[1]*10);
    exit_test = 0;
    decode_data(data_edit,1);
    buzzur_beet();
    while(exit_test==0){
       if(count>=25) {
          decode_data(data_edit,1);
          dot3 = 1;
       }
       else {
          seg[0] = 0x10;     //ว่าง
          //seg[1] = 0x10;
          //seg[2] = 0x10;
          seg[3] = 0x10;     //ว่าง
          dot3 = 0;
       }
       if(data_key<=0x09) {
          key_buf[2] = data_key;
          exit_test=1;
       }
    }
    dot3 = 0;
    data_edit = (key_buf[0]*100)+(key_buf[1]*10)+key_buf[2];
    decode_data(data_edit,1);
    buzzur_beet();
    return(data_edit);
}
//
//***** EDIT COUNT_FUN *****
//
void edit_data(char count_fun){
char exit_test=0;
long data_edit=0;
    dot1 = 0;
    if(count_fun==1){
       data_edit = test_pressure;
    }
    else if(count_fun==2){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      data_edit = settling_time;
   }
   else if(count_fun==3){
      data_edit = pressure_decay;
   }
   else if(count_fun==4){
      data_edit = test_time;
   }
   else if(count_fun==5){
      data_edit = pressure_hing;
   }
   else if(count_fun==6){
      data_edit = pressure_low;
   }
   else if(count_fun==7){
      data_edit = time_hing;
   }
   else if(count_fun==8){
      data_edit = time_low;
   }
   else if(count_fun=='A'){
      data_edit = rs485_add;
   }
   //
   while(exit_test==0){
      if(data_key==0x0a){
         buzzur_beet();
         data_edit++;
         if(data_edit>999) data_edit=1;
      }
      else if(data_key==0x0b){
         buzzur_beet();
         data_edit--;
         if(data_edit==0) data_edit=999;
      }
      else if(data_key==0x0f){
         buzzur_beet();
         exit_test=1;
         write_ee_data(data_edit,count_fun);
      }
      else if(data_key==0x0d){
         buzzur_beet();
         data_edit = set_reg(data_edit);
      }
      if(count_fun=='A'){
         if(data_key==0x0e){
            buzzur_beet();
            exit_test=1;
            write_ee_data(data_edit,count_fun);
         }
      }
      decode_data(data_edit,1);
      //
   }
}
//
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//***** START EDIT FUN *****
//
void edit_fun(void){
char count_fun=1,exit_test=0;
   buzzur_beet();
   while(exit_test==0){
      if(count_fun==1){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x12;     // T.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x13;     // P
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==2){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x05;     // S.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x12;     // T
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==3){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x13;     // P.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x0d;     // D
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==4){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x12;     // T.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x12;     // T
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==5){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x13;     // P.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x14;     // H
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==6){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x13;     // P.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x15;     // L
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==7){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x12;     // T.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x14;     // H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      else if(count_fun==8){
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 0x12;     // T.
         dot1 = 1;
         seg[2] = 0x15;     // L
         seg[3] = 0x10;     //ว่าง
      }
      if(data_key==0x0a){
         buzzur_beet();
         count_fun++;
         if(count_fun>8) count_fun=1;
      }
      else if(data_key==0x0b){
         buzzur_beet();
         count_fun--;
         if(count_fun==0) count_fun=8;
      }
      else if(data_key==0x0f){
         buzzur_beet();
         edit_data(count_fun);
         count_fun++;
         if(count_fun>8) count_fun=1;
      }
      else if(data_key==0x0e){
         buzzur_beet();
         exit_test=1;
      }
      else if(data_key==0x0c){
         buzzur_beet();
         count_fun++;
         if(count_fun>8) count_fun=1;
      }
   }
}
//
//***** START FUNCTION A TO D ICL7135 *****
//
void read_ad(void){
long data_bufad[2]={0,0};
char i,data_atod[3]={0,0,0};
   for(i=0;i<1;i++){
      //
      while(d4==0);
      delay_cycles (2);
      data_atod[2] = (ad_in&0x0f);
      //
      while(d3==0);
      delay_cycles (2);
      data_atod[1] = (ad_in&0x0f);
      //
      while(d2==0);
      delay_cycles (2);
      data_atod[0] = (ad_in&0x0f);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        //
        data_bufad[0] = data_atod[2];
        data_bufad[0] = data_bufad[0]*100;
        data_bufad[0] = data_bufad[0]+(data_atod[1]*10);
        data_bufad[0] = data_bufad[0]+data_atod[0];
        data_bufad[1] = data_bufad[1]+data_bufad[0];
    }
    pressure_test = data_bufad[1]/1;
    data_ad[3] = data_atod[2];
    data_ad[2] = data_atod[1];
    data_ad[1] = data_atod[0];
    //
}
//
//***** AD READ FUN *****
//
void ad_read_fun(void){
    if(pol==1) seg[0] = 0x10;  //no-sing
    else seg[0] = 0x11;        //sing -
    read_ad();
    seg[1] = data_ad[3];
    seg[2] = data_ad[2];
    seg[3] = data_ad[1];
}
//
//***** START FUNCTION SCAN_KEY *****
//
void scankey(void){
char i;
    if(key_onoff==0){
    i = data_sw&0x0f;
    if(chake_key==0){
        if(i==0x0e){
            data_key = count_seg;
            data_key = key[data_key*4];
            chake_key = 1;
        }
        else if(i==0x0d){
            data_key = count_seg;
            data_key = key[(data_key*4)+1];
            chake_key = 1;
        }
        else if(i==0x0b){
            data_key = count_seg;
            data_key = key[(data_key*4)+2];
            chake_key = 1;
        }
        else if(i==0x07){
            data_key = count_seg;
            data_key = key[(data_key*4)+3];
            chake_key = 1;
        }
        else if(count_seg==3) data_key = 0xff;
    }
    else if(count_seg==3) chake_key = 0;
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
//
//***** CAL_PHESSER *****
//
void cal_phesser(void){
char exit=0,exit1=0,testsw=0;
   while(exit==0){
      if(sw_start==0) testsw = 1;
      if(testsw==0){
         bol = 1;
         ad_read_fun();
         if(data_key==0x0e) exit=1;     //fun goto
      }
      else {
         seg[4] = 25;
         bol = 0;
         on = 1;
         while(exit1==0){
            if(pressure_test<test_pressure){
               ad_read_fun();
               if((data_key==0x0e)||(pressure_test>pressure_hing)) {
                  exit1=1;
                  exit=1;
               }
            }
            else {
               on = 0;
               seg[4] = 24;
               if(data_key==0x0e) {
                  exit1=1;
                  exit=1;
               }
               else ad_read_fun();
            }
         }
      }
   }
   seg[4] = 0x10;
   on = 0;
   bol = 1;
   buzzur_beet();
   seg[0] = 0x10;    //ว่าง
   seg[1] = 26;    // o
   seg[2] = 27;    // k
   seg[3] = 0x10;    //
   delay_ms(1000);
   decode_data(counter,0);
   bol = 0;
   on = 0;
}
//
//***** START TEST *****
//
void start_test(void){
long pressure_buf;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
char i=0,step=0,status=0;
signed int16 x,y,z;
   on = 1;
   sec = 0;
   count = 0;
   seg[4] = 25;
   ad_read_fun();
   while(step<5){
      if(step==0){
         if(pressure_test<test_pressure){
            ad_read_fun();
            if((sec>time_hing)||(pressure_test>pressure_hing)) {
               step=5;
               status=1;
            }
         }
         else step = 1;
      }
      else if(step==1){
         delay_ms(200);
         on = 0;
         seg[4] = 24;
         if(sec<time_low){
            step=5;
            status=1;
         }
         else {
            step = 2;
            sec = 0;
            count = 0;
         }
      }
      else if(step==2){
         if(sec<settling_time){
            ad_read_fun();

if((pressure_test<pressure_low)||(pressure_test>pressure_hing)) {
               step=5;
               status=1;
            }
         }
         else {
            step=3;
            sec = 0;
            count = 0;
            pressure_buf = pressure_test;
         }
      }
      else if(step==3){
         if(sec<test_time){
            if(count>=25) seg[4]=0x10;
            else seg[4]=24;
            read_ad();
            x = pressure_buf;
            y = pressure_test;
            z = abs(y-x);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(pressure_test>=pressure_buf) seg[0] = 0x10;
            else seg[0] = 0x11;
            //
            x = abs(z-buf);       //ตรวจสอบการอ่านผิดของโปรแกรมอ่านค่า A to D
            if(x>3) {
               i = buf;
               read_ad();
               x = pressure_buf;
               y = pressure_test;
               z = abs(y-x);
               if(z>10) buf = z;
            }
            else {
               i = z;
               buf = z;
            }
            //
if((pressure_decay<i)||(pressure_test>pressure_hing)||(pressure_test<
pressure_low)){
               step=5;
               status=1;
            }
            else decode_data(i,1);
         }
         else{
            step = 5;
            status = 0;
         }
      }
   }
   if(status==0) seg[4] = 23;
   else {
      seg[4]=22;
      setup_ccp1(CCP_PWM);
   }
   on = 0;
   ad_read_fun();
   bol = 1;
   //
   delay_ms(3000);
   //
   if(status==0){
      counter++;
      count1 = counter/100;
      count2 = counter%100;
      write_ee_data(counter,'B');
   }
   bol = 0;
   setup_ccp1(CCP_OFF);
   bz = 0;
   buf = 0;
}
//
//***** START INTERRUPTS SER *****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//
#int_rda
void serial_isr() {
   int t;
   t=getc();
   if(t==send485){
      putc(count1);
      putc(count2);
      putc(count1);
      putc(count2);
      putc(count1);
      putc(count2);
   }
}
//
//***** START INTERRUPTS RTCC *****
//
#int_RTCC
RTCC_isr() {
char i;
   //set_rtcc (0x60);
   restart_wdt();
   data_seg = 0;
      seg_digit1 = 1;
      seg_digit2 = 1;
      seg_digit3 = 1;
   seg_digit4 = 1;
   led_digit5 = 0;
      data_seg = number[seg[count_seg]];
      if(count_seg==0) {
      if(dot0==1){
         dot = 1;
      }
      seg_digit1 = 0;
      scankey();
   }
      else if(count_seg==1) {
      if(dot1==1){
         dot = 1;
      }
      seg_digit2 = 0;
      scankey();
   }
      else if(count_seg==2) {
      if(dot2==1){
         dot = 1;
      }
      seg_digit3 = 0;
      scankey();
   }
   else if(count_seg==3) {
      if(dot3==1){
         dot = 1;
      }
      seg_digit4 = 0;
      scankey();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   }
   else if(count_seg==4) led_digit5 = 1;
      count_seg++;
      if(count_seg>=5) count_seg = 0;
   //
}
//
//***** START INTERRUPTS TIMER1 *****
//
#int_TIMER1
TIMER1_isr() {
char i;
long j;
   set_timer1(0xB1E0);
   count++;
   if(count>=50) {
      count = 0;
      sec++;
   }
}

//
//***** START MAIN PROGRAM *****
//
void main() {
char i;
   //disable_interrupts(INT_RTCC);
   //disable_interrupts(INT_RDA);
   //
   setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
   setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);
   setup_spi(FALSE);
   setup_psp(PSP_DISABLED);
   setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_4);
   setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);
   setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,249,2);
   setup_ccp1(CCP_OFF);
   setup_ccp2(CCP_OFF);
   enable_interrupts(INT_RTCC);
   enable_interrupts(INT_TIMER1);
   enable_interrupts(INT_RDA);
   set_pwm1_duty(500);
   enable_interrupts(global);
   // I/O direct
      set_tris_A (0b11111111);                    //SET I/O Port
   set_tris_B (0b00000000);
   set_tris_C (0b10001000);
   set_tris_D (0b00001111);
   set_tris_E (0b11111111);
   //
   seg_digit1 = 1;        //clr Display
      seg_digit2 = 1;
      seg_digit3 = 1;
   seg_digit4 = 1;
   led_digit5 = 0;
   chake_key = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
start_while = 0;
//
decode_data(counter,0);
bol = 1;
delay_ms(2000);
bol = 0;
on = 0;
ct = 0;         //RXD
duty = 0;
//
set_timer1(0xD8F0);
//setup_wdt(WDT_2304MS);
//
//while(1){
//ct = 1;
//putc(i);
//i++;
//delay_ms(100);
//}
while(1){
   read_dataeeprom();
   while(sw_start==1){
      if(data_key==0x0c) {
         seg[4] = 0x10;
         edit_fun();
      }
      else if(data_key==0x01){
         if(key_while==0) {
            key_while = 1;
            sec = 0;
            count = 0;
         }
         else if(sec>=3) {
            seg[0] = 0x10;     //ว่าง
            seg[1] = 0x0c;     // c
            seg[2] = 0x0a;     // a
            seg[3] = 0x15;     // l
            seg[4] = 0x10;
            buzzur_beet();
            delay_ms(500);
            cal_phesser();
            key_while = 0;
         }
      }
      else if(data_key==0x02){
         if(key_while==0) {
            key_while = 1;
            sec = 0;
            count = 0;
         }
         else if(sec>=3) {
            seg[0] = 0x10;     //ว่าง
            seg[1] = 0x0a;     // A
            seg[2] = 0x0d;     // d
            seg[3] = 0x0d;     // d
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            seg[4] = 0x10;
            buzzur_beet();
            delay_ms(500);
            edit_data('A');
            send485=0x80|rs485_add;
            seg[0] = 0x10;     //ว่าง
            seg[1] = 26;     // o
            seg[2] = 27;     // k
            seg[3] = 0x10;     //
            delay_ms(500);
            key_while = 0;
         }
      }
      else {
         key_while = 0;
         decode_data(counter,0);
         dot1 = 0;
      }
   }
   //
   while(sw_start==0){
      if(start_while==0) {
         start_while = 1;
         sec = 0;
         count = 0;
      }
      else if(sec>=3) {
         seg[0] = 0x10;     //ว่าง
         seg[1] = 28;      // r
         seg[2] = 0x0d;     // d
         seg[3] = 0x10;
         seg[4] = 0x10;
         dot1 = 1;
         buzzur_beet();
         delay_ms(500);
         read_dataeeprom();
         counter = counter_buf;
         count1 = counter/100;
         count2 = counter%100;
         dot1 = 0;
         decode_data(counter,0);
         delay_ms(500);
         start_while = 0;
      }
   }
   if(sec<3) {
      key_onoff=1;
      start_test();
      key_onoff=0;
      start_while = 0;
   }
 }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

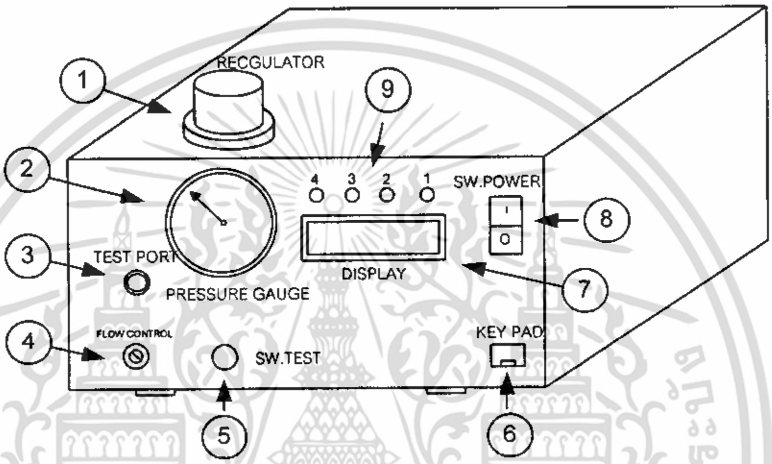
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะใช้งานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหลควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจ เพื่อผลของการทดสอบที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันความเสียหายแก่เครื่องทดสอบความดันรั่วไหล

2.ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม

2.1 ตัวเครื่อง



รูปที่ ช.1 ตัวเครื่อง

1. RECGULATOR สำหลับปรับลดระดับความดันด้านอินพุท
2. PRESSURE GAUGE สำหลับตรวจสอบความดันด้านอินพุท
3. TEST PORT เป็นจุดต่อไปยังชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบ
4. FLOW CONTROL สำหลับปรับอัตราการไหลของลมที่เข้าไปในชิ้นงาน
5. SW.TEST สวิตซ์สำหลับกดเพื่อทำการทดสอบชิ้นงาน
6. Key Pad จุดต่อไปยัง Key Pad
7. Display แสดงตัวเลขจำนวน 4 หลัก
8. SW.POWER สวิตซ์สำหลับปิดและเปิดเครื่อง
9. LED 1 จะติดแสดงการเริ่มทำงานในการอ่านค่าความดัน

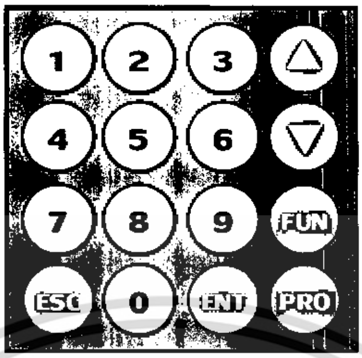
   LED 2 จะติดแสดงเมื่อเข้าสู่ช่วง Settering Time

   LED 3 จะติดแสดงเมื่อผลค่าความดันได้ตามที่กำหนด

   LED 4 จะติดแสดงเมื่อผลค่าความดันไม่ได้ตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Key Pad



รูปที่ ช.2 ส่วนประกอบของ Key Pad

△	ปุ่ม Increment สำหรับเพิ่มค่าครั้งละ 1 หน่วย
▽	ปุ่ม Decrement สำหรับลดค่าครั้งละ 1 หน่วย
FUN	ปุ่ม Function สำหรับเลือกเข้าสู่เมนูการตั้งค่า
PRO	ปุ่ม Pro สำหรับเลือกใส่ค่าตัวเลขแบบ 3 หลักวิธีการป้อนค่าให้กดปุ่ม Pro แล้วกดตัวเลขในขณะที่กำลังป้อนตัวเลขหลักใดนั้นจุดสีแดงด้านล่างตัวเลขจะกระพริบและถ้าต้องการใส่เพียงหลักหน่วยหรือหลักสิบจะต้องเติม 0 หน้าหลักที่ว่างเพื่อให้ครบทั้ง 3 หลักแล้วกดปุ่ม Ent เพื่อบันทึกค่า
ENT	ปุ่ม Enter สำหรับการดูค่าที่ถูกตั้งไว้ในแต่ละฟังก์ชันหรือทำบันทึก
ESC	ปุ่ม Escape สำหรับออกจากโหมดเมนูตั้งค่า เข้าสู่โหมดการทำงาน
0-9	ปุ่ม แทนค่าตัวเลขต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 9

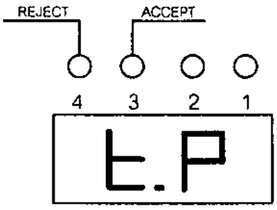
3. การติดตั้งและการใช้งาน

3.1. ขั้นตอนการตั้งค่าและหน้าที่ของฟังก์ชันต่างๆ โดยใช้ Keyboard Control

ก่อนการกด Switch เริ่มการ run ผู้ใช้สามารถเลือกตั้งค่าต่างๆ จาก Keypad ได้โดยการกดปุ่ม FUN เพื่อเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

1. t.P (Test pressure) คือค่าความดันที่ต้องการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

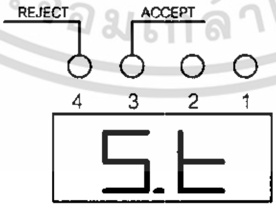


รูปที่ ซ.3 แสดงการเข้า Function t.P (Test pressure)

- กดปุ่ม FUN จนพบสัญลักษณ์ T.P บน Display
- กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า Test Pressure
- การกด ปุ่ม △ หรือ ▽ จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
- กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก เช่น ต้องการใส่ค่า 563 ก็กดปุ่มตามลำดับดังนี้ PRO 5 6 3 ที่ display จะแสดงตัวเลข 563 ตามค่าที่ต้องการ
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า

2. S.t (Settling time) คือช่วงเวลาที่ต้องการให้ค่าความดันที่เข้ามาในระบบทดสอบมีค่าเท่ากับค่าความดันที่กำหนดในฟังก์ชัน T.P การแสดงผลจะให้ไฟ LED 2 สว่างค้างไว้จนกว่าจะได้ค่าความดันที่ต้องการ เพื่อนำค่าความดันสุดท้ายไปทำการทดสอบ

- กดปุ่ม FUN จนพบสัญลักษณ์ S.T บน Display



รูปที่ ซ.4 แสดงการเข้า Function S.t (Settling time)

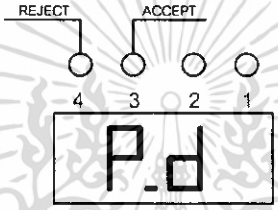
- กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า test pressure
- การกด ปุ่ม △ หรือ ▽ จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า

3. P.d (Pressure Decay) คือค่าความคลาดเคลื่อนของความดันภายในชิ้นงานทดสอบเทียบกับค่าความดันในข้อที่1

- กดปุ่ม FUN จนพบสัญลักษณ์ P.d บน Display



รูปที่ ช.5 แสดงการเข้า Function P.d (Pressure Decay)

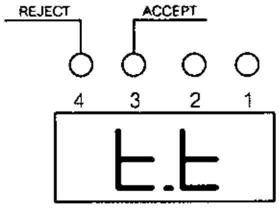
- กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า Pressure Decay
- การกด ปุ่ม △ หรือ ▽ จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
- กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า

4. t.t (Test time) คือช่วงเวลาทดสอบและต้องทำการอ่านความดันขณะนั้นไปเทียบกับค่าความดันสุดท้ายในข้อ 2 ว่ามีค่าความดันที่คลาดเคลื่อนไปเท่าใด เกินกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ตั้งไว้หรือไม่

- กดปุ่ม FUN จนพบสัญลักษณ์ T.T บน Display
- กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า test pressure
- การกด ปุ่ม △ หรือ ▽ จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
- กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ

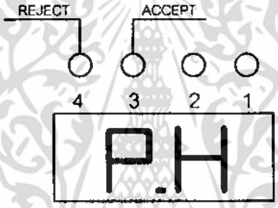
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า



รูปที่ ช.6 แสดงการเข้า Function t.t (Test time)

5. P.H (Pressure High) คือค่าความดันสูงสุดที่ยอมรับได้ขณะทำการ Test Pressure
   - กดปุ่ม △ หรือ ▽ จนพบสัญลักษณ์ P.H บน Display



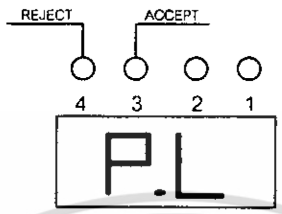
รูปที่ ช.7 แสดงการเข้า Function P.H (Pressure High)

   - กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า test pressure
   - การกด ปุ่ม△หรือ▽จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
   - กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก
   - เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
   - กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า

6. P.L (Pressure Low) คือค่าความดันต่ำสุดที่ยอมรับได้ขณะทำการ Test Pressure
   - กดปุ่ม △ หรือ ▽ จนพบสัญลักษณ์ P.L บน Display
   - กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า test pressure
   - การกด ปุ่ม△หรือ▽จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
   - กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

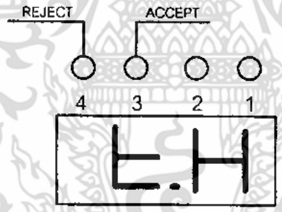
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า



รูปที่ ช.8 แสดงการเข้า Function P.L (Pressure Low)

7. t.H (Time High) คือ ค่าช่วงเวลาสูงสุดที่ความดันในระบบทดสอบจะมีค่าเท่ากับความดันที่กำหนดไว้ในข้อที่1 ดังนั้นถ้าพ้นช่วงเวลาที่กำหนดนี้แล้วความดันในระบบทดสอบยังมีค่าไม่เท่ากับความดันที่กำหนดไว้ในข้อที่1 เครื่องจะสั่ง Reject ชิ้นงานทดสอบทันที

- กดปุ่ม △ หรือ ▽ จนพบสัญลักษณ์ t.H บน Display



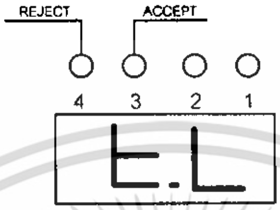
รูปที่ ช.9 แสดงการเข้า Function t.H (Time High)

- กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า t.H
- การกด ปุ่ม△หรือ▽จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
- กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. t.L (Time Low) คือ ค่าช่วงเวลาที่เร็วที่สุดที่ความดันในระบบทดสอบจะมีค่าเท่ากับความดันที่กำหนดไว้ในข้อที่1 ดังนั้นถ้าความดันในระบบทดสอบมีค่าเท่ากับความดันที่กำหนดไว้ในข้อที่ 1 เร็วกว่าเวลาที่กำหนดไว้ในข้อนี้ เครื่องจะสั่ง Reject ชิ้นงานทดสอบทันที

- กดปุ่ม △ หรือ ▽ จนพบสัญลักษณ์ t.L บน Display

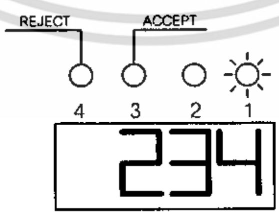


รูปที่ ช.10 แสดงการเข้า Function t.L (Time Low)

- กดปุ่ม ENT เพื่อเลือกตั้งค่า t.L
- การกด ปุ่ม△หรือ ▽จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าครั้งละ 1
- กรณีต้องการค่าเป็นเลขสามหลัก สามารถกดปุ่ม PRO ตามด้วยการกดค่าตัวเลขที่ต้องการทั้ง สามหลัก
- เมื่อได้ค่าที่ต้องการ กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อบันทึกค่าใหม่ และ Display จะกลับเข้าสู่โหมดเมนูตั้งค่าต่างๆ
- กดปุ่ม ESC เพื่อออกจากโหมดเมนูตั้งค่า

3.2 ขั้นตอนการใช้งาน

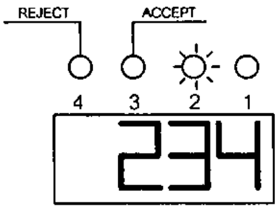
1. กด Test Switch เพื่อเริ่มการทำงาน ไฟ LED 1 จะติด และที่ Display จะแสดงค่าความดันที่อ่านได้



รูปที่ ช.11 แสดงหลอด LED 1 ติด

2. เมื่อถึงจุด Test Pressure ไฟ LED 2 จะติด และค้างไว้นานตามเวลาของค่า Setting Time ที่ได้ตั้งเอาไว้ แล้วจึงจะกระพริบ

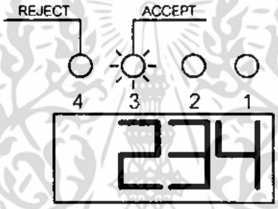
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



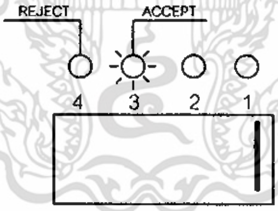
รูปที่ ซ.12 แสดงหลอด LED 2 ติด

3. เมื่ออ่านค่า Pressure ตามเวลา Test Time ที่ตั้งไว้เสร็จแล้วพบว่า

- ค่า P.d (Pressure decay) หรือ Error น้อยกว่าตามที่ตั้งไว้ ไฟ LED 3 (ACCEPT) จะติด แล้วตัว Counter จะทำการนับเพิ่มทีละ 1 ค่าแสดงว่าชิ้นงานนี้ผ่านการทดสอบ

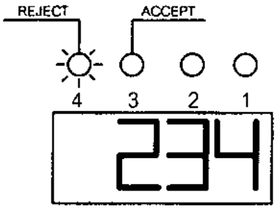


รูปที่ ซ.13 แสดงหลอด LED 3 ติด



รูปที่ ซ.14 แสดงการนับจำนวนชิ้นงานที่ตรวจผ่าน

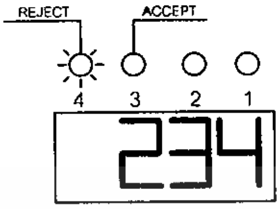
- ค่า P.d (Pressure decay) หรือ Error มากกว่าค่าที่ตั้งไว้ ไฟ LED 4 (REJECT) จะติด และไม่มีการเพิ่มค่าใดใดที่ตัว Counter แสดงว่าชิ้นงานนี้ไม่ผ่านการทดสอบ



รูปที่ ซ.15 แสดงหลอด LED 4 ติดในกรณี P.d Error มากกว่าค่าที่ตั้งไว้

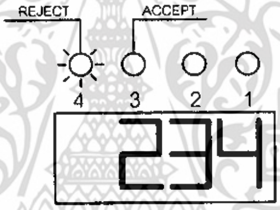
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า Pressure ที่อ่านได้ มีค่ามากกว่าค่า Pressure High ที่ตั้งไว้ ไฟ LED 4 (REJECT) จะติด และไม่มีการเพิ่มค่าใดใดที่ตัว Counter แสดงว่าชิ้นงานนี้ไม่ผ่านการทดสอบ



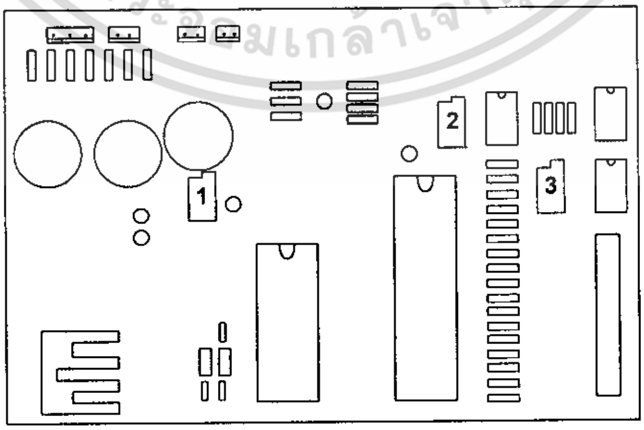
รูปที่ ช.16 แสดงหลอด LED 4 ติดในกรณี Pressure ที่อ่านได้มีค่ามากกว่าค่า P.H ที่ตั้งไว้

- ค่า Pressure ที่อ่านได้ มีค่าน้อยกว่าค่า Pressure Low ที่ตั้งไว้ ไฟ LED 4 (REJECT) จะติด และไม่มีการเพิ่มค่าใดใดที่ตัว Counter แสดงว่าชิ้นงานนี้ไม่ผ่านการทดสอบ



รูปที่ ช.17 แสดงหลอด LED 4 ติดในกรณี Pressure ที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่าค่า P.L ที่ตั้งไว้

4. การปรับเทียบบอร์ดควบคุม (Control Board)



รูปที่ ช.18 แสดงตำแหน่ง VR แบบ Tim pot บนบอร์ดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบอร์ดควบคุมจะมี VR แบบ Tim pot จำนวน 3 ตัว มีตำแหน่งตามรูป โดย VR แต่ละตัวจะมีหน้าที่ ดังนี้

VR ตัวที่ 1 เป็น VR ปรับค่าแรงดัน referent ของ A to D เบอร์ ICL 7135 จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับ 1V เท่านั้น โดยขณะปรับแต่ง ต้องวัดที่ขา 2 ของ IC เบอร์ ICL 7135 และ ปรับแต่งให้ = 1V (โดยทั่วไป จะปรับค่าไว้ให้แล้ว)

VR ตัวที่ 2 เป็น VR ปรับแรงดันที่ Test-Out ให้เท่ากับ 0V โดยขณะปรับแต่งความดันที่เข้ามาที่ Sensor ต้องเท่ากับ 0 mmHg ด้วย

VR ตัวที่ 3 เป็น VR ปรับแรงดันที่ Test-Out ให้ได้ตามความดันที่เป็นจริง โดยขณะปรับแต่งจะต้องมีความดันเข้ามาที่ Sensor ด้วย

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานเครื่องทดสอบความดันรั่วไหล สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ ซ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
จอแสดงผลไม่แสดงผล	ตรวจสอบพอร์ตที่ต่อกับบอร์ดประมวลผล
ไม่มีความดันลมเข้าไปในชิ้นงาน	- ตรวจสอบจุดต่อลมด้านหลังและด้านในของเครื่อง - ตรวจสอบวาล์วจ่ายลมในตัวเครื่อง - ตรวจสอบตัวลดระดับความดันลมในตัวเครื่อง
หลอดแอลอีดี Display ไม่ติด	ตรวจสอบจุดต่อหลอดแอลอีดี
ปุ่ม Key Pad ไม่ทำงาน	ตรวจสอบจุดต่อ Key Pad
เปิดเครื่องไม่ติด	ตรวจสอบฟิวส์ในเครื่องและแหล่งจ่ายไฟ

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- ปิดสวิตช์และถอดปลั๊กทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ
- ปิดลมทุกครั้งเมื่อใช้งานเสร็จ
- เช็ดทำความสะอาดตัวชุดทดลองด้วยผ้าแห้งสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อควรระวัง

- ไม่ควรเปิดเครื่องตลอดเวลา ในกรณีที่ไม่ได้ใช้งาน
- ไม่ควรเก็บรักษาเครื่องไว้ใกล้กับที่ชื้นและร้อนเกินไป

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ ซ.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ตัวเซนเซอร์	MPX 5500
ความดันลมที่อินพุท	2-5 bar
ความดันลมที่เอ้าท์พุท	ใช้งานทั่วไป 0-760 mmHg สูงสุด 999 mmHg
แหล่งจ่ายพลังงาน	220 VAC 50Hz

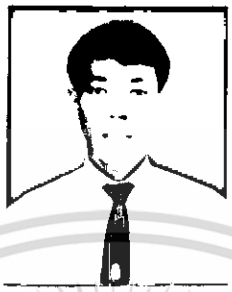
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	เจริญพงศ์ สกุลวา
วันเดือนปีเกิด	15 พฤศจิกายน 2525
ภูมิลำเนา	172 หมู่ 4 ตำบล บางขันแตก อำเภอ เมือง จังหวัด สมุทรสงคราม 75000
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเมืองสมุทรสงคราม จังหวัด สมุทรสงคราม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนถาวรานุกูล จังหวัด สมุทรสงคราม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี จังหวัด ราชบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
ความสนใจพิเศษ	ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสุวิทย์ คงสวัสดิ์
วันเดือนปีเกิด	29 มีนาคม 2526
ภูมิลำเนา	58 หมู่ 15 ตำบล กันจุ อำเภอ บึงสามพัน จังหวัด เพชรบูรณ์ 67160

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านลำตะคร้อ	จังหวัด เพชรบูรณ์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านลำตะคร้อ	จังหวัด เพชรบูรณ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยสารพัดช่างเพชรบูรณ์	จังหวัด เพชรบูรณ์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์	จังหวัด เพชรบูรณ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	

ความสนใจพิเศษ	ติดตามข่าวเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่ๆ
คติพจน์	อย่าบอกว่าทำไม่ได้ ในเมื่อยังไม่ได้ลองทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายปฏิพงษ์ บุญรอด
วันเดือนปีเกิด	20 มิถุนายน 2524
ภูมิลำเนา	298 ถ.ประชาทร แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนปัญญาภรณ์	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษกมหานคร	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	

ความสนใจพิเศษ	ระบบการแพทย์ฉุกเฉินและการกู้ชีพ
คติพจน์	ความล้มเหลวที่สุดในชีวิต คือการไม่กล้าที่จะลงมือทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้