

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถานีเติมลมยาง

TIRES PRESSURE FILLING STATION



นายเกษม ขวลิขิตดำรง

นายวิรัช รุ่งสุริยะวิบูลย์

รฟ.
๗๖๖๘
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 71961
วัน,เดือน,ปี..... 6. ส.ย. 2550

b. 11๖๖๐๙๕๓
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIRES PRESSURE FILLING STATION



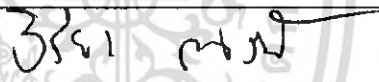
**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

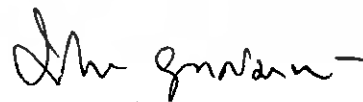
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท สถานีเติมลมยาง
TIRES PRESSURE FILLING STATION
นักศึกษาผู้จัดทำ นายเกษม ชวลิตคำรง รหัสนักศึกษา 46012075
นายวริษฐ์ รุ่งสุริยะวิบูลย์ รหัสนักศึกษา 46012124
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ. วิริยะ กองรัตน์	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประภาพร อุดกนิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

หัวข้อปริญญานิพนธ์ สถานีเติมลมยาง
TIRES PRESSURE FILLING STATION
นักศึกษาคณะผู้จัดทำ นายเกษม ชวลิตดำรง รหัสนักศึกษา 46012075
 นายวริษฐ์ รุ่งสุริยะวิบูลย์ รหัสนักศึกษา 46012124
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิริยะ กองรัตน์
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอโครงการสถานีเติมลมยาง โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งในปัจจุบันนี้นั้นผู้คนส่วนมากเริ่มที่จะมีความสนใจในการเติมลมของยางรถยนต์มากขึ้นเพราะ ในขณะที่ขับขี่รถอยู่บนท้องถนน ถ้าเกิดแรงดันลมยางในล้อรถยนต์แต่ละล้อไม่เท่ากันจะทำให้มีผลต่อการควบคุมการขับขี่ ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้มีความสะดวกสบายและแม่นยำในการเติมลมยางรถยนต์ ผู้ดำเนินโครงการจึงนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยในการเติมลมยางให้เท่ากัน ผู้ดำเนินโครงการได้สร้างสถานีเติมลมยางรถยนต์ขึ้นมาโดยใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวตรวจวัดความดันลมยางในล้อรถยนต์ และจอแสดงผล LCD แสดงผลคิดตั้งไว้ที่ๆ ผู้เติมลมยางสามารถเห็นชัดเจน และมีการกำหนดขอบเขตเอาไว้ว่า สถานีเติมลมยางล้อรถยนต์นี้สามารถเติมลมยางได้ ตั้งแต่ 1-10 bar ผลการทดลองสถานีเติมลมยางสามารถแสดงผลที่หน้าจอ LCD ออกมาเป็นตัวเลข ทำให้ผู้เติมลมยางทราบว่ามีความดันลมยางในล้อตามที่กำหนดไว้ได้ตามขอบเขต

Thesis Title	Tires Pressure Filling Station	
Authors	Mr.Kasem	chowvaritdrumrong
	Mr.Varit	Rungsuriyaviboon
Thesis Advisor	Assoc.prof.Viriya	Kongratana
Year	2006	

ABSTRACT

This thesis presents the tires pressure filling station used Microcontroller to control the system. At present many people have interesting in tyre inflation increasingly. Because between driving in the different weather, the wind force in tyre is not equal that has impact on driving control. So the operator has the idea to make the program of tyre inflation.

We made the tires pressure filling station that used the sensor to check the wind force in tyre. In addition, LCD monitor was installed near the driver that can see easily. We also limited to inflate between 1-10 bar. After testing the Tires Pressure Filling Station , it can show the measure on the LCD monitor. So the driver will know the nulent wind force in tyre.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เนื่องด้วยเพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก ท่านอาจารย์ รศ.วิริยะ กองรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการและการวิจัย ตลอดจนอีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง ในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ และให้ กำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณห้องสมุดและภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลและเป็นสถานที่ใช้ในการ ทำงานวิจัย ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือ พร้อมทั้งอนุเคราะห์เป็นสถานที่ใช้ในการทดสอบ งานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และที่ลืมเสียมิได้ก็คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่อันเป็นที่รักยิ่งที่ให้การ สนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาของข้าพเจ้าทั้งเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเติมลมยาง.....	3
2.1.1 ข้อเสนอแนะการเติมลมยางให้ถูกวิธี.....	3
2.2 ความดันและหน่วยวัดความดัน.....	4
2.1.2 ความดันที่เกิดจากก๊าซ.....	5
2.3 ทฤษฎีทางด้านฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628.....	6
2.3.2 โครงสร้างของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628.....	8
2.3.3 การทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628.....	10
2.3.4 หน่วยความจำของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628.....	11
2.3.5 สาเหตุที่เลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628.....	14
2.3.6 Pressure Sensor.....	15
2.4 ทฤษฎีทางด้านซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.4.1 โปรแกรมภาษา BASIC.....	17
2.4.2 จุดเด่นของ โปรแกรม PICBASIC PRO คอมไพเลอร์.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 ส่วนประกอบและหลักการทํางานของ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์.....	18
2.4.4 โปรแกรมระบบ Microcode Studio.....	18
2.4.5 จุดเด่นของโปรแกรมระบบ Microcode Studio.....	19
2.4.6 สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรมภาษา PICBASIC PRO คอมไพเลอร์.....	20
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ.....	21
3.1 กล่าวนำ.....	21
3.2 โครงสร้างพื้นฐานของโครงการสถานีเคมิมขาง.....	21
3.3 โครงสร้างทางด้าน Hardware.....	23
3.4 โครงสร้างทางด้าน Software.....	24
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	26
4.1 กล่าวนำ.....	26
4.2 ทดลองการทํางานของระบบเคมิมขางในสภาวะปกติ.....	27
4.3 ทดลองการทํางานของระบบเคมิมขางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมมากเกินไป.....	28
4.4 ทดลองการทํางานของระบบเคมิมขางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมน้อยเกินไป หรือ ไม่มีลม.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	30
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	30
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทําวิจัย.....	30
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	30
บรรณานุกรม.....	31
ภาคผนวก.....	32

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงตารางผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะปกติ.....	27
4.2 แสดงตารางผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมมาก เกินไป.....	28
4.3 แสดงตารางผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมน้อย เกินไปหรือไม่มีลม.....	29



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โค้ดแอมป์แสดงสถาปัตยกรรมแบบฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.....	6
2.2 โค้ดแอมป์แสดงกระบวนการไปป์ไลน์ที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.....	7
2.3 แสดงโค้ดแอมป์ของขา PIC 16F628.....	9
2.4 ภาพแสดงโค้ดแอมป์การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628.....	10
2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628.....	12
2.6 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ทั้งหมดของ PIC16F628.....	13
2.7 กราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของขนาดความยาวของท่อกับอุณหภูมิเมื่อต้องการวัด ความดันที่อุณหภูมิต่างกัน.....	16
3.1 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของระบบการเติมลมยาง.....	21
3.2 แสดงตัว Display ขณะที่กำลังเซตค่าเป้าหมาย.....	22
3.3 แสดงตัว Pressure Sensor ที่ใช้ในการวิจัยระบบการเติมแรงดันลมนี้.....	23
3.4 ชุดวงจรในการควบคุมระบบการเติมแรงดันลม.....	23
3.5 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการเติมแรงดันลม.....	25
4.1 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะอุดมคติ.....	26
4.2 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะปกติ.....	27
4.3 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลม มากเกินไป.....	28
4.4 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมน้อยเกินไป หรือไม่มีลม.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริศยานิพนธ์

ในปัจจุบันคนเราทุกคนได้มีการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งการเดินทางของแต่ละคนนั้นจะแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางในระยะสั้น เช่น การเดินทางไปในระยะ 100 เมตร 200 เมตร หรืออาจจะเป็นการเดินทางในระยะทางไกล เช่น การเดินทางไปยังต่างจังหวัด หรือแม้กระทั่งไปยังต่างประเทศ โดยที่การเดินทางของทุกคนส่วนใหญ่นิยมใช้ยานพาหนะในการเดินทางทำให้ปัจจุบันได้เกิดอุบัติเหตุในท้องถนนอยู่เป็นจำนวนมาก เราจึงต้องยิ่งควรคิดถึงความปลอดภัยในการเดินทางโดยไม่ควรที่จะมองข้ามสิ่งเล็กๆ ที่อาจจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ เช่น การเติมลมยางของยานพาหนะ ซึ่งคนส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้จะมองข้ามการเติมลมให้กับยางของยานพาหนะ โดยการเติมแรงดันลมยางจะสามารถส่งผลถึงความนิ่มนวลในการขับขี่ การซึมซับแรงสั่นสะเทือน การทรงตัวของรถยนต์ การเกาะถนน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ถ้าความดันลมยางน้อย จะสามารถซึมซับแรงสั่นสะเทือนได้มากกว่าให้ความนิ่มนวลในการขับขี่ที่มากกว่า แต่การทรงตัวและการเกาะถนนจะน้อยกว่ารวมถึงสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงนี้จะมากกว่า

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีความคิดการทำวิจัยในเรื่อง โครงการสถานีเติมลมขึ้น โดยอาศัยหลักการประยุกต์ใช้ความรู้ที่จำเป็นและเกี่ยวข้องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความรู้ในเรื่องของการออกแบบเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ความรู้ทางด้านของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนความรู้ทางด้านเกี่ยวกับความดันด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริศยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการควบคุมความดัน
2. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ u controller เพื่อควบคุม
3. เพื่อศึกษาการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุม u controller แบบ PIC

1.3 ขอบเขตของปริศยานิพนธ์

1. เข้าใจและสามารถอธิบายหลักการเกี่ยวกับความดันได้
2. สามารถออกแบบวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปควบคุมกระบวนการได้
3. สามารถเขียนโปรแกรม PICBASIC PRO เพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

4. สามารถเติมลมยางได้ด้วยการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สามารถคิดต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการเติมลมยางให้สามารถทำงานสัมพันธ์กันได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการ ในการเติมลมยางให้ถูกวิธี
2. ศึกษาทฤษฎีของความดัน
3. ศึกษาหลักการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628
4. ศึกษาหลักการทำงานของ Pressure Sensor
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา BASIC
6. ศึกษา โปรแกรมซอฟต์แวร์ระบบ PIC BASIC PRO
7. ศึกษา โปรแกรมซอฟต์แวร์ Microcode Studio



บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเติมลมยาง

มักจะเป็นคำถามเสมอว่าการเติมลมยางควรเติมมากน้อยเพียงใด คำตอบคือให้เติมตามคำแนะนำของผู้ผลิตรถยนต์ ซึ่งสามารถจะดูได้จากคู่มือการใช้รถ หรือรถบางรุ่น บางยี่ห้อ จะมีสติ๊กเกอร์ติดบอกความดันลมยางไว้ อาจจะติดที่เสาประตู หรือฝาถังน้ำมัน หากไม่สามารถหาได้ ให้เติมประมาณ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของผู้ขับขี่ด้วย

หากจะต้องเดินทางไกล ควรเติมลมยางให้มากกว่าปกติ 2-3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อป้องกันความร้อนที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการบิดตัวของยาง ยางที่มีความดันลมยางน้อยจะมีการบิดตัวมากกว่ายางที่มีความดันลมยางมากกว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการบิดตัว จะทำให้ความดันลมยางสูงขึ้น 5-6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งอาจจะทำให้ยางระเบิดได้ และที่สำคัญอย่าลืมตรวจความดันลมยางอะไหล่ รวมทั้งอุปกรณ์ในการถอดเปลี่ยนล้อด้วย วิธีการสังเกตว่าเติมลมยางมากเกินไปหรือน้อยเกินไป สามารถดูได้จากการสึกของหน้ายาง ถ้าเติมลมยางมากเกินไป ดอกยางบริเวณกลางของหน้ายางจะสึกมากกว่าด้านข้างทั้งสองข้าง แต่หากเติมลมยางน้อยเกินไป ดอกยางบริเวณด้านข้างทั้งสองข้างจะสึกมากกว่าบริเวณกลางของหน้ายาง

2.1.1 ข้อแนะนำการเติมลมยางให้ถูกวิธี มีดังต่อไปนี้

1. สูบลมยางให้ถูกต้องตามอัตราที่กำหนดไว้ขณะที่ยางยังเย็นอยู่ โดยให้ดูจากคู่มือการใช้รถและอย่าลืมว่ารถแต่ละรุ่นย่อมจะมีการใช้ลมยางที่แตกต่างกัน ดังนั้นการที่เพิ่มหรือลดลมยางให้มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุก
2. อย่าปล่อยลมยางออก เมื่อความดันของลมยางสูงขึ้นในขณะที่ยางยังร้อนอยู่
3. เมื่อขับรถด้วยความเร็วสูง ควรเติมลมยางมากกว่าอัตราปกติ 3-5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
4. ตรวจดูลมยางเป็นประจำอย่างน้อยอาทิตย์ละ 1 ครั้ง

การเติมลมยางก็ไม่ควรเติมลมยางให้อ่อนหรือมากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดผลเสียมากมาย เช่น

ถ้าเติมลมอ่อนเกินไป

1. ยางสึกหรือผิดปกติ จะสึกหรือบริเวณไหล่ยางมากทำให้อายุยางสั้นลง
2. ทำให้แก้มยางทำงานมาก อาจทำให้ผ้าใบหักง่ายหรือยางบวมล่อนได้

3. พวงมาลัยหนัก และกินน้ำมันมากขึ้น
4. ประสิทธิภาพในการยึดเกาะถนนลดลง

ถ้าเค็มลมมากเกินไป

1. ยางสึกหรือบริเวณกลางหน้ายางและทำให้อายุยางสั้นลง
2. โครงยางระเบิดได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทกเนื่องจาก โครงยางเบ่งตัวเต็มที่ เกิดการยืดหยุ่นตัวได้น้อย
3. เกิดการลื่นไถลได้ง่าย เนื่องจากพื้นที่การยึดเกาะถนนลดลง

นอกจากการเติมลมยางให้เหมาะสมแล้ว ก่อนเติมลมยางทุกครั้งคุณควรจะตรวจสอบสภาพความเรียบร้อยของยาง ตรวจสอบดูว่ายางมีบาดแผลหรือบวมล่อนหรือไม่ กระทั่งล้อมีรอยแตกหรือไม่ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการใช้ยางรถยนต์

2.2 ความดันและหน่วยวัดความดัน

ความดันเป็นค่าตัวแปรที่สำคัญมากตัวหนึ่งของตัวแปรอื่น ในระบบสามารถวัดได้ในรูปของความดันทั้งสิ้น

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำลงอย่างสม่ำเสมอในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ที่กำหนดถ้ากระทำที่ F คือ แรงที่กระทำ A คือ พื้นที่ที่ถูกกระทำ P คือ ความดันที่เกิดขึ้น จะได้

$$P = F / A \quad (2.1)$$

แรงที่กระทำอาจเกิดจาก ของเหลว ก๊าซ หรือของแข็งก็ได้

หน่วยมาตรฐานสากลของความดัน (S.I Units)

แรงที่กระทำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton) 1 N = 1 kgm/s² กระทำลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ได้ความดัน เท่ากับ 1 ปาสกาล

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad (2.2)$$

ผู้ที่กำหนดหน่วยความดันนี้ขึ้นมาคือ Blaise Pascal แต่ปาสกาลเป็นหน่วยเล็ก ต่อมา Bar จึงกำหนดหน่วยในทางปฏิบัติขึ้น

$$1 \text{ Bar} = 100,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa} \quad (2.3)$$

ค่าความดัน 1 bar นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความดัน 1 บรรยากาศ และ 1 kg/cm^2 มาก ดังนั้น หน่วยความดัน “bar” นี้ ค่อยไปจะเป็นหน่วยมาตรฐานสากลของทุกประเทศ

ค่าเปรียบเทียบกับที่มีอยู่เดิม ค่าความดัน โดยประมาณ (Technical Atmosphere)

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 0.981 \text{ bar} \quad (2.4)$$

ค่าความดันบรรยากาศทางฟิสิกส์ (Physical Atmosphere)

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar} \quad (2.5)$$

หน่วยอังกฤษ

$$1 \text{ psi} = 0.068947 \text{ bar} \quad (2.6)$$

ในรูปความสูงของน้ำและปรอท

$$1 \text{ mH}_2\text{O} = 0.09806 \text{ bar} \quad (2.7)$$

$$1 \text{ inH}_2\text{O} = 0.002489 \text{ bar} \quad (2.8)$$

$$1 \text{ inHg} = 0.034531 \text{ bar} \quad (2.9)$$

โดยกำหนดให้ 1 บรรยากาศ เท่ากับ 760 mmHg ที่ปรอท 0 องศาเซลเซียส และมีความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงเท่ากับ 9.80665 m/s^2

1 mmHg เท่ากับความดันที่เกิดจากความสูงของปรอท 1 mm ที่ปรอท 0 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 13.591 g/cm^3 และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง 9.80665 m/s^2

1 mmH₂O เท่ากับ ความดันอันเกิดจากความสูงของน้ำ 1 มมรมีค่าความหนาแน่นคงที่ 1 g/cm^3 และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วงเท่ากับ 9.80665 m/s^2

2.2.1 ความดันที่เกิดจากก๊าซ (Pressure of Gases)

โมเลกุลของก๊าซแต่ละตัวจะเปรียบเสมือนลูกบอลเล็กๆ ที่เคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาในภาชนะปิด ระหว่างที่เคลื่อนอยู่นั้น มันจะชนกันเองและชนกับพื้นที่ผิวภายในภาชนะ การเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา การเกิดการปะทะกันเองและปะทะกับพื้นที่ผิวภายในของภาชนะเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้

m เป็นมวลของโมเลกุลก๊าซ มีหน่วยเป็น kg

v เป็นความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ มีหน่วยเป็น m/s

n เป็นจำนวนของโมเลกุลก๊าซที่บรรจุอยู่ในภาชนะปริมาตร $1 m^3$ จะได้

$$P = (1/3) nmv^2 \quad (2.10)$$

เมื่อก๊าซได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วเฉลี่ย ของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซจะสูงขึ้น หรือเมื่อก๊าซถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้มีจำนวน โมเลกุลของก๊าซต่อ $1 m^3$ สูงขึ้นผลที่ได้ คือ จะทำให้มีความดันสูงขึ้น

2.3 ทฤษฎีทางด้านฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

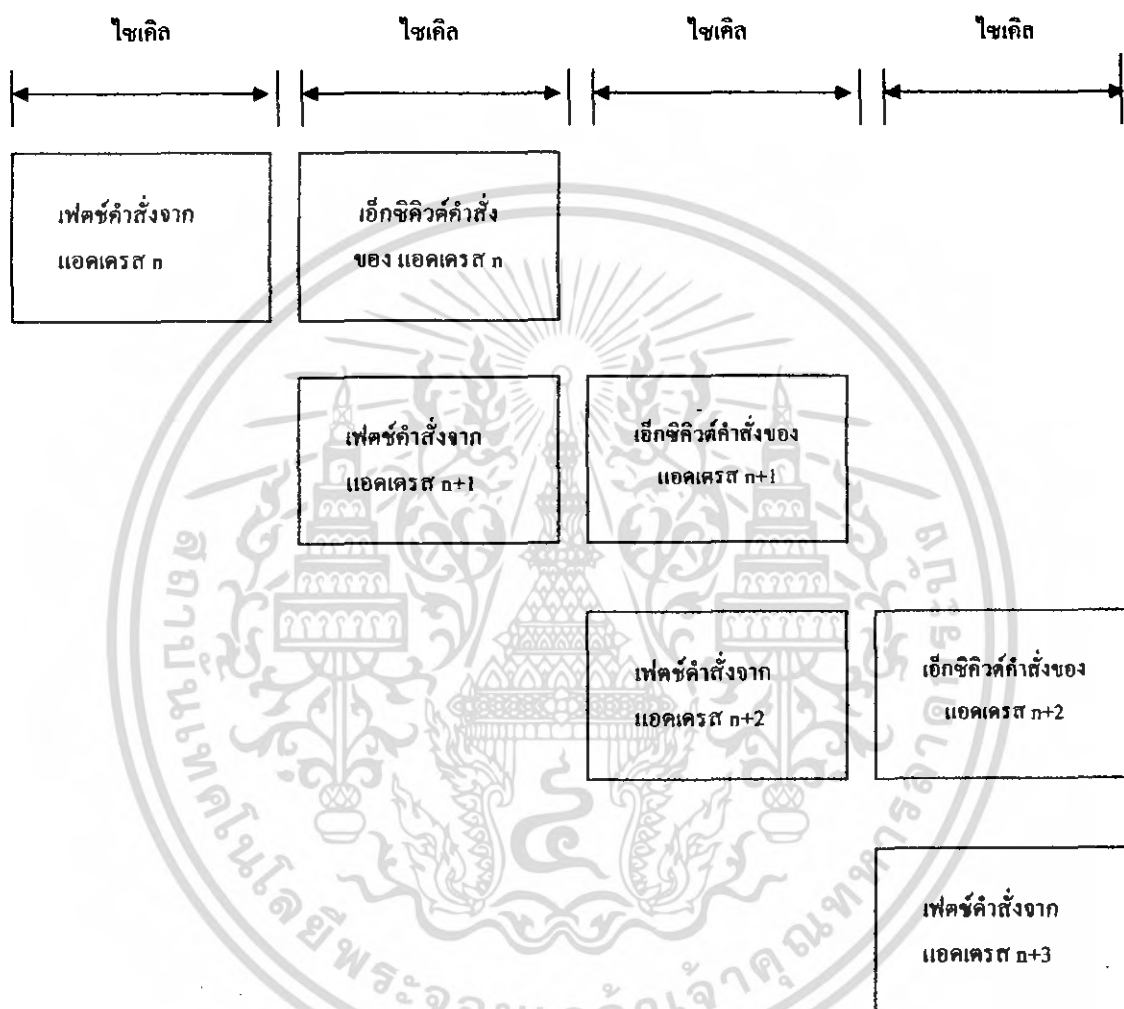
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการจัดแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน มีบัสสำหรับติดต่อแยกออกจากกันดังในรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าซีพียูที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสของแอดเดรส 13 บิต และบัสของข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสติดต่อหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต



ภาพที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

อีกทั้งการกระทำทางคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่าไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตซ์คำสั่งถัดไปในขณะที่กำลังเอ็กคิวต์คำสั่งปัจจุบันส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของการทำงานใน 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (กระบวนการเฟตซ์ เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจาก

หน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลคำสั่งนั้นให้เป็นรหัสเลขฐาน 16 เพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซิวคิต์ เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นกำหนด) สำหรับกระบวนการไปป์ไลน์ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โค้ดแอมแสดงกระบวนการไปป์ไลน์ที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 โครงสร้างของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 เป็นของบริษัท Microchip Technology ซึ่งเป็นผู้ผลิต CPU ตระกูล PIC โคนในเบอร์นี้เป็นเบอร์ที่มีความสามารถสูงพอสมควรประกอบไปด้วยฟังก์ชันการทำงานต่างๆมากมายพอจะสรุปคุณสมบัติคร่าวๆได้ดังนี้

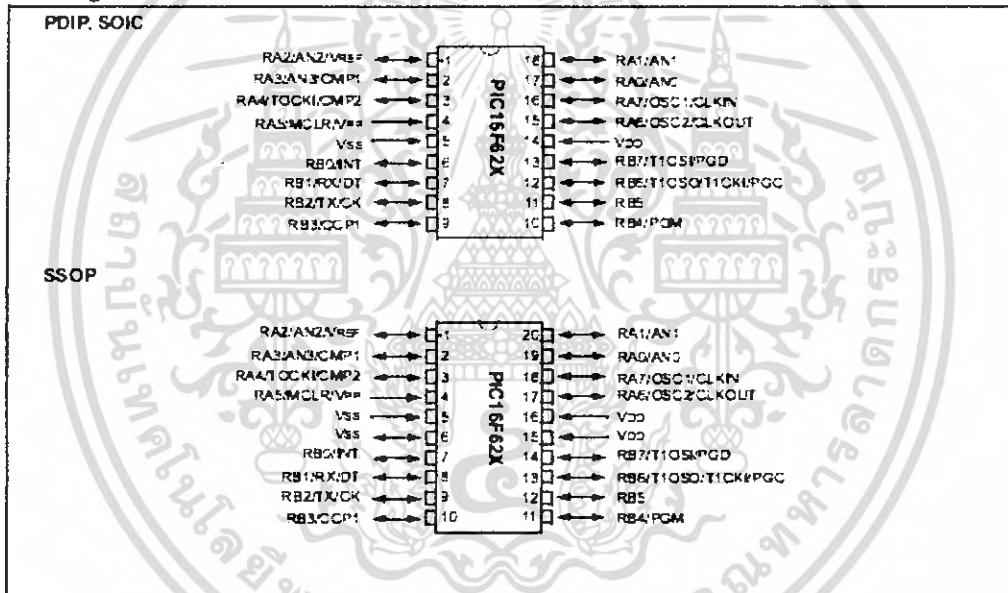
1. ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduce Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
2. ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20MHz (สูงสุด)
3. ขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 2 กิโลเวิร์ด
4. หน่วยความจำแรมข้อมูล 224 ไบต์
5. หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม 128 ไบต์
6. ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 10 แหล่ง
7. มีสเต็ป 8 ระดับ
8. มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
9. มีวอตช์ดีด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
10. เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
11. เลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 6 โหมดหลัก
 - a. โหมด EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
 - b. โหมด ER ใช้ตัวต้านทานภายนอก
 - c. โหมด INTRC ใช้วงจร RC ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ มี 2 ความถี่ให้เลือก
 - d. โหมด LP ใช้คริสตอลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200kHz
 - e. โหมด XT ใช้คริสตอล ความถี่ตั้งแต่ 100kHz สูงสุดไม่เกิน 4MHz
 - f. โหมด HS ใช้คริสตอลความถี่สูง สูงสุดไม่เกิน 20MHz
12. สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
13. สามารถโปรแกรมในวงจรได้
14. ไฟเลี้ยง +3 ถึง +5.5V
15. กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
16. ขาพอร์ตปกติ 15 บิต สูงสุด 16 บิต เมื่อทำงานในโหมด INTRC
17. ไทเมอร์ 3 ตัว (ไทเมอร์ 0, ไทเมอร์ 1 และ ไทเมอร์ 2)
18. มีโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) 1 ชุด
19. มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. มีโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง
21. มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART
22. มีวงจรตรวจจ็กระดับแรงดันไฟเลี้ยงหรือบราวเอาต์ดีเทกชัน (Brown-out detection) เพื่อสร้างสัญญาณรีเซ็ตซีพียูหรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซ็ต (Brown-out reset : BOR)
23. การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด
 - a. น้อยกว่า 2mA ที่ +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz, 15µA ที่ +3V และสัญญาณนาฬิกา 32kHz
 - b. น้อยกว่า 1µA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บายที่ไฟเลี้ยง +3V

PIC16F62X

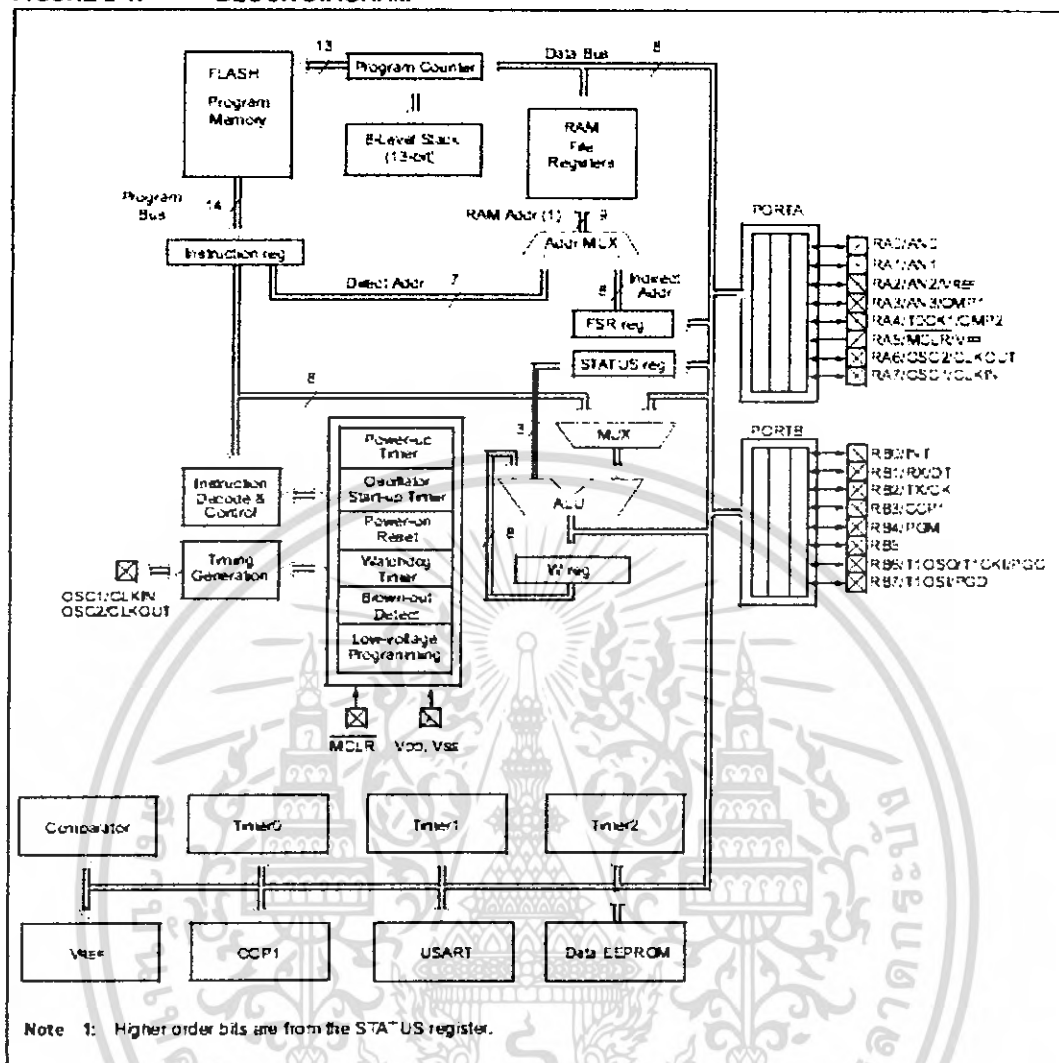
Pin Diagrams



ภาพที่ 2.3 แสดงไดอะแกรมของขา PIC 16F628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 2-1: BLOCK DIAGRAM



ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงโคแอมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

2.3.3 การทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จะสามารถทำงานได้ เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงและต้องจรงกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่มั่นจากนั้นซีพียูภายในก็จะทำการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม เพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งแล้วทำงานตามคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำ นั้นหมายความว่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้จะทำงานได้ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมเข้าไปยังหน่วยความจำโปรแกรมก่อนโดยไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์จะมีรูปแบบของข้อมูลคำสั่งที่แตกต่างกันซึ่งจะต้องอาศัยกระบวนการในเรื่องของการเขียนโปรแกรม ซึ่งภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมสามารถแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ภาษาสูง และภาษาแอสเซมบลี เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลคำสั่งเพียง 1 ขั้นตอน คือ แปลงจากข้อมูลภาษาแอสเซมบลีเป็นข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขฐานสิบหกหรือที่เรียกว่าออปโค้ด แต่ข้อเสียของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีคือ ผู้เขียนจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะใช้ให้เข้าใจเสียก่อน

2.3.4 หน่วยความจำของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 มีหน่วยความจำให้ใช้งาน 3 ประเภทคือ หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล(RAM)และสุดท้ายคือหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม (EEPROM)

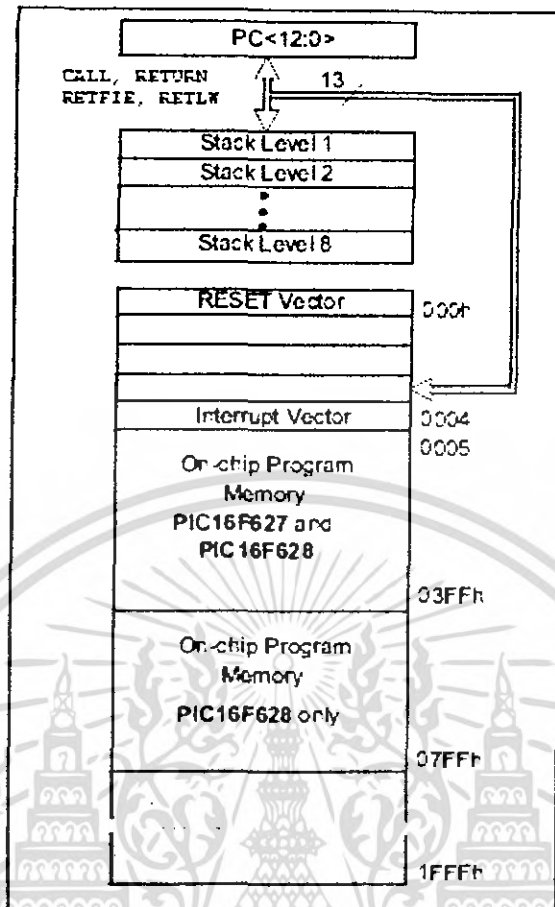
2.3.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากต่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะจะเป็นที่เก็บข้อมูลของคำสั่งทั้งหมด ซึ่งจะใช้ในการกำหนดให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำงาน โดยที่หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC 16F628 นั้นจะเป็นแบบแฟลช (flash memory) ซึ่งจะทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติหน่วยความจำโปรแกรมหลังจากที่ทำการเขียนในขั้นตอนของการโปรแกรมแล้ว ก็จะมีไว้สำหรับอ่านออกมาได้เพียงทางเดียว

PIC16F628 มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิต เพื่อกำหนดการเข้าถึง หน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F628 จะมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 2K x 14 บิต หรือ 2 กิโลเวิร์ด

ในภาพที่ 2.5 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F628 มีการสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้ คืออาจกล่าวได้ว่าเป็นรูปแบบมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้

นอกจากนั้นใน PIC16F628 ยังมีพื้นที่หน่วยความจำพิเศษสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวขนาด 13 บิต เรียกว่า สแต็ก (stack) ซึ่งจะมีบทบาทมากในการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยของ PIC16F628 โดยเมื่อกระทำคำสั่งให้กระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย ซีพียูจะทำการเก็บค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์หรือ PC ในขณะนั้นไว้ในสแต็ก จากนั้นจึงกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย เมื่อทำงานเรียบร้อยแล้ว ซีพียูจะไปอ่านค่า PC จากสแต็กกลับมา แล้วทำงานตามกระบวนการในโปรแกรมหลักต่อไป สำหรับสแต็กใน PIC16F628 มีขนาด 13 บิต สามารถเก็บค่าของ PC ได้ 8 ระดับ



ภาพที่ 2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

2.3.4.2 หน่วยความจำข้อมูล

ใน PIC16F628 มีหน่วยความจำข้อมูลแรม มากกว่า PIC16F84 พอสมควรทั้งนี้ เนื่องจากความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้มีมากกว่า โดยใน PIC16F628 มีการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลแรมออกเป็น 4 ช่วง แต่ละช่วงเรียกว่า แบนก์ (bank) แต่ละแบนก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่จะมีการใช้งานได้จริงในแต่ละแบนก์แตกต่างกันดังในภาพที่ 2.6 โดยในแต่ละแบนก์มีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบนก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0x7F

แอดเดรส 0x00-0x01F เป็นพื้นที่รีจิสเตอร์ไฟล์ (บางพื้นที่สงวนไว้แสดงเป็นสีเทา)

แอดเดรส 0x20-0x07F เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แบนก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x80-0xFF

แอดเดรส 0x80-0x9F เป็นพื้นที่รีจิสเตอร์ไฟล์ (บางพื้นที่สงวนไว้แสดงเป็นสีเทา)

แอดเดรส 0xA0-0xEF เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรส 0xF0-0xFF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

Bank 0		Bank 1		Bank 2		Bank 3	
Indirect addr. ⁽¹⁾	30h	Indirect addr. ⁽¹⁾	80h	Indirect addr. ⁽¹⁾	100h	Indirect addr. ⁽¹⁾	180h
TMR3	01h	OPTION	81h	TMR3	101h	OPTION	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
	07h		87h		107h		187h
	08h		88h		108h		188h
	09h		89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch		10Ch		18Ch
	0Dh		8Dh		10Dh		18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh		10Eh		18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh		10Fh		18Fh
T1CON	10h		90h				
TMR2	11h		91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
	13h		93h				
	14h		94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah	EEDATA	9Ah				
	1Bh	EEADR	9Bh				
	1Ch	EECON1	9Ch				
	1Dh	EECON2 ⁽¹⁾	9Dh				
	1Eh		9Eh				
CMCON	1Fh	VRCON	9Fh				
	20h		A0h	General Purpose Register 48 Bytes	11Fh-150h		
General Purpose Register 80 Bytes	20h-6Fh	General Purpose Register 80 Bytes	A0h-EFh				
	6Fh		EFh				
16 Bytes	70h	accesses 70h-7Fh	F0h	accesses 70h-7Fh	16Fh-170h		1EFh-1F0h
	7Fh		FFh		17Fh		1FFh

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
Note 1: Not a physical register.

ภาพที่ 2.6 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ทั้งหมดของ PIC16F628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F

แอดเดรส 0x100-0x10F เป็นพื้นที่รีจิสเตอร์ไฟล์

แอดเดรส 0x110-0x11F ไม่มีการใช้งาน

แอดเดรส 0x120-0x14F เป็นพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานมี 48 ไบต์

แอดเดรส 0x150-0x16F ไม่มีการใช้งาน

แอดเดรส 0x170-0x17F บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้อ้างอิงข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF

แอดเดรส 0x180-0x18B เป็นพื้นที่รีจิสเตอร์ไฟล์

แอดเดรส 0x18C-0x1EE ไม่มีการใช้งาน

แอดเดรส 0x1F0-0x1FF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้อ้างอิงข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

2.3.4.3 หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม (EEPROM)

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่มีในไมโครคอนโทรลเลอร์มิไ่ว์สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการรักษาไว้ เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลแบบอีพรอมนี้นี้จะมีขนาดของหน่วยความจำนั้นเท่ากับ 8 บิตและการติดต่อเพื่ออ่านเขียนจะมีลักษณะเป็นพิเศษขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการอ่านและการเขียนหน่วยความจำชนิดนี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้าทั้งหมด โดยจะสามารถเก็บรักษาข้อมูลทั้งหมดไว้ได้ โดยจะสามารถทำการเขียนได้นับล้านครั้งในตัวเอง

2.3.5 สาเหตุที่เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628

สาเหตุที่เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 นั้น เนื่องจาก เบอร์ PIC16F628 นี้เป็นเบอร์ที่มีความสามารถสูงสุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้ (PIC16F62x) และยังมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่สามารถลบได้นับแสนครั้ง หน่วยความจำข้อมูลอีพรอมที่สามารถลบได้นับล้านครั้ง ซีพียูแบบ RISC ที่มีจำนวนชุดคำสั่งน้อยแต่ทรงประสิทธิภาพ ทั้งยังมีขีดความสามารถสูง มีฟังก์ชันพิเศษให้เลือกใช้อย่างมากมาย โดยเฉพาะการได้บรรจุโมดูลพิเศษที่ช่วยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้มีความสามารถสูงในขนาดที่เล็กเพียง 18 ขา แต่มีขาพอร์ตใช้งานมากถึง 16 ขา อีก 2 ขาที่เหลือมีไว้สำหรับต่อไฟเลี้ยงและกราวด์เท่านั้น สำหรับโมดูลพิเศษที่มีได้แก่ โมดูล USART สำหรับสื่อสารข้อมูลกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นที่ต้องการสื่อสารแบบอนุกรม ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว โมดูลสร้างสัญญาณ PWM โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก และเสริมด้วยหน่วยความจำขนาด 2 กิโลไบต์ มีวงจรบราวเอาต์ซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงลดต่ำกว่าที่กำหนด และวอตซ์คือกโทเมอร์ที่ช่วยแก้ไขการหยุดทำงานอย่างทราบสาเหตุของไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อเป็นเช่นนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 จึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในโครงการสถานีเติมลมยางนี้

2.3.6 เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor)

การวัดความดันที่มีค่าต่างๆ จะให้ผลค่อนข้างคลาดเคลื่อน ซึ่งต้องปรับปรุงขอบเขตความสามารถในการวัด รวมไปถึงผลตอบสนองต่อความถี่สูง (high frequency response) และความทนทาน ซึ่งทั้งหมดที่ขึ้นอยู่กับขั้นตอนและกรรมวิธีในการผลิตส่วนที่ใช้วัดความดัน ซึ่งไม่มีส่วนเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ส่วนอื่น

2.3.6.1 หลักการทำงานของ Pressure Sensor

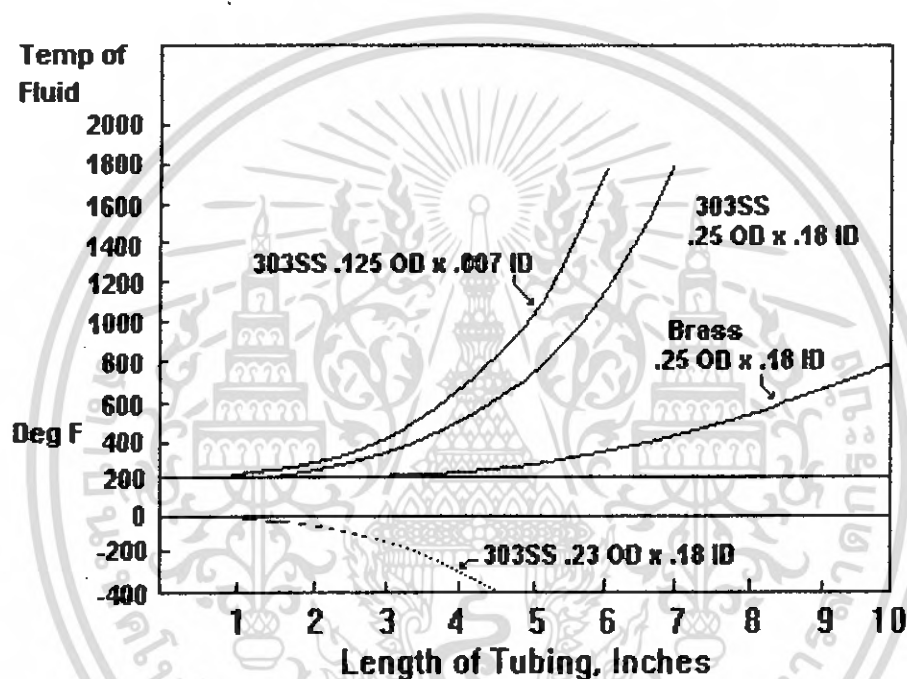
ตัวแปรที่ใช้วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของความดันอธิบายได้โดยดูจากการนำไฟฟ้าของส่วนที่เป็นไดอะแฟรมวัดความดันกับขดลวดทั้ง 2 ขดลวดถูกพันกันและติดตั้งโดยมีแนวแกนทั้ง 2 ซัดกับระนาบของไดอะแฟรมและขดลวดทั้ง 2 ต่อกันส่วนไดอะแฟรมจะสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระเพื่อตอบสนองผลของการเปลี่ยนแปลงความดัน

ขดลวดได้รับกระแสสลับขนาด 5 Vrms ที่มีความถี่ 3 หรือ 4 KHz ขดลวดทั้ง 2 ค่อเข้าสายสัญญาณสายเดียวกันจึงทำให้ถือว่าไม่มีความต้านทานความดันไดอะแฟรมจะเคลื่อนจากขดลวดอันใดอันหนึ่งเมื่อ sensor ได้รับการเปลี่ยนแปลงของความดันไดอะแฟรมนั้นจะเลื่อนจากที่ขดลวดหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง โดยที่ไดอะแฟรมนั้นจัดว่าเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางด้านของสนามแม่เหล็กเมื่ออยู่ใกล้แล้วนั้นขดลวดนั้นจะสามารถทำให้ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กรอบๆขดลวดสูงขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กรอบขดลวดสูงขึ้นแล้วจะส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าในขณะที่ขดลวดอีกอันก็ลดความต้านทานลงเป็นผลให้ขดลวดทั้ง 2 มีคุณสมบัติที่ไม่สมดุลกันส่งผลให้มีสัญญาณขนาดเล็กส่งมาจากสายสัญญาณ

การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของขดลวดนั้น ทำให้มีผลเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวไดอะแฟรมดังนั้นแอมพลิจูดของสัญญาณซึ่งเป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของความดัน เฟสของสัญญาณจะบอกให้รู้ถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรมดังนั้นแอมพลิจูดของสัญญาณจึงเป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของความดัน เฟสของสัญญาณจะบอกให้รู้ถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรม เอาท์พุทที่ได้จากวงจรวัดการเปลี่ยนแปลง มีขนาดเต็มสเกลได้ 20 mV/V หรืออาจมากกว่า

เนื่องจากเอาชุดที่ได้ขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของไคอะแฟรม สเตลของค่าความดันที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับความกว้างของพื้นที่ที่ไคอะแฟรมเคลื่อนที่

ในบางครั้งจำเป็นต้องวัดแรงดันของของไหล ณ ที่อุณหภูมิซึ่งค่าต่างไปจากปกติ อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าปกติ เราหลีกเลี่ยงวิธีการที่จะสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดพิเศษที่ทนต่ออุณหภูมิได้โดยการที่แยก sensor วัดความดันนั้นออกห่างจากจุดที่ต้องการวัด โดยให้แรงดันผ่านหลอดหรือท่อสั้นๆ



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของขนาดความยาวของท่อกับอุณหภูมิเมื่อต้องการวัดความดันที่อุณหภูมิต่างกัน

2.4 ทฤษฎีทางด้านซอร์ฟแวร์ที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงการสถานีเคมิลมขางนั้นซอร์ฟแวร์ที่จะนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะการเลือกซอร์ฟแวร์ที่จะนำมาใช้นั้นต้องสามารถทำการศึกษาได้ง่ายและต้องมีความสามารถที่ดี ทั้งนี้จึงจะกล่าวถึงซอร์ฟแวร์ที่จะนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมโดยจะกล่าวถึงคุณสมบัติตลอดจนสาเหตุที่เลือกนำซอร์ฟแวร์นี้มาใช้ในโครงการสถานีเคมิลมขาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โปรแกรมภาษา BASIC

ภาษาเบสิก (BASIC) เป็นภาษาอีกหนึ่งภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมสูงมากจากผู้เริ่มต้นและผู้ทำงานในระดับมืออาชีพเพราะนอกจากที่จะง่ายต่อการเริ่มต้นเรียนรู้แล้วนั้นยังง่ายต่อการพัฒนางานตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้พัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้รวมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC แต่จะต้องมีตัวโปรแกรมที่จะรองรับภาษาเบสิก โดย โปรแกรม PIC BASIC PRO จึงถูกนำมาเลือกใช้ในโครงการสถานีเดิมลงดังนี้

PIC BASIC PRO คอมไพเลอร์ จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการทั้งหมด โดยตัวของซอฟต์แวร์นี้สามารถรองรับชุดคำสั่งอย่างมากมายตั้งแต่คำสั่งพื้นฐานของคำสั่งเบสิกทั่วไป คำสั่งจัดการฮาร์ดแวร์ที่ซับซ้อนเพื่อให้ผู้พัฒนาใช้งานได้ง่ายขึ้น อีกทั้งรวมถึงคำสั่งของการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกเฉพาะอย่าง โมดูล LCD หรือ ไอซีฟังก์ชันพิเศษ PIC BASIC PRO คอมไพเลอร์ทำหน้าที่แปลภาษาเบสิก (ไฟล์ .bas) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เป็นภาษาเครื่องหรือแมชชีนโค้ด (machine code, ไฟล์ .hex) เมื่อได้ไฟล์งานในนามสกุล .hex ผู้พัฒนางานก็สามารถนำไฟล์นั้นไปทำการโปรแกรมลงในหน่วยของความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ต่อไปนับว่าเป็นเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่อำนวยความสะดวกอย่างมากต่อการพัฒนาโปรแกรมโดยเป็นผลงานของ Microengineering Labs, Inc. สหรัฐอเมริกา

2.4.2 จุดเด่นของโปรแกรม PICBASIC PRO คอมไพเลอร์

1. รองรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ของ Microchip ทั้งในอนุกรม 12 บิต, 14 บิตและ 16 บิตได้
2. มีไลบรารีคำสั่งสำหรับรองรับคำสั่งของเบสิกแอสเซมบลีของ Parallax โดยสามารถทำงานได้ใกล้เคียงถึง 99 เปอร์เซ็นต์
3. เป็นตัวแปลโปรแกรมภาษาเบสิกหรือเบสิกคอมไพเลอร์ที่รองรับโปรแกรมขนาดใหญ่ได้
4. บรรจุไลบรารีช่วยในการเขียนโปรแกรมภาษาเบสิกสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ไว้มากมาย แต่ละไลบรารีสามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์และขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง
5. สามารถจัดการเชื่อมโยงการทำงานของคำสั่งที่มีการกระโดดข้ามเพจขนาด 2 กิโลเวิร์ดได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ผู้พัฒนาโปรแกรมไม่จำเป็นต้องพะวงในเรื่องการกระโดดข้ามเพจของโปรแกรม
6. รองรับตัวแปรในระดับบิต
7. สามารถแทรกคำสั่งหรือโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีลงในโปรแกรมภาษาเบสิกได้
8. รองรับการอินเทอร์รัปต์ทั้งในโปรแกรมภาษาเบสิกและแอสเซมบลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง 71961 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. มีชุดคำสั่งรองรับการทำงานกับโมดูล LCD อย่างสมบูรณ์แบบ
10. มีชุดคำสั่งรองรับการทำงานกับการสื่อสารข้อมูลอนุกรมในระบบบัส I²C
11. สามารถเข้ากันได้กับซอฟต์แวร์ MPLAB และแอสเซมเบลเลอร์ MPASM
12. สามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการคอสมอสและวินโดวส์

2.4.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์

หน้าที่สำคัญของ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ คือการแปลโปรแกรมภาษาเบสิก(.bas) เป็นภาษาเครื่อง (.hex) หรือแมชีนโค้ด กระบวนการทำงานของ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งแมชีนโค้ดมีดังนี้

1. นำโปรแกรมภาษาเบสิกมาแปลงเป็นภาษาแอสเซมบลี ได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ .asm
2. ทำการแอสเซมเบลอร์โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ .hex

ดังนั้นส่วนประกอบที่สำคัญมากของ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ คือ ส่วนแปลภาษาเบสิกเป็นภาษาแอสเซมบลีโดยภายใน PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ จะมีตัวแปลภาษาของภาษาแอสเซมบลี 2 ตัว คือ PM (PICmicro Macro assembler) ซึ่งเป็นของ Microengineering Labs เอง กับ MPASM ของ Microchip โดยปกติหรือค่าตั้งต้นที่กำหนดมากับตัวคอมไพเลอร์จะเลือกใช้ PM เป็นหลัก สำหรับ MPASM จะถูกเลือกใช้ก็ต่อเมื่อเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ในอนุกรม 16 บิต (PIC 18xxxx) ทั้งนี้เนื่องจาก PM ยังไม่รองรับกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ในอนุกรม 16 บิต

กระบวนการแปลหรือคอมไพล์ของ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์จะดำเนินการไปในคราวเดียวกันตั้งแต่แปลภาษาเบสิกออกมาเป็นแอสเซมบลี และจากแอสเซมบลีเป็นแมชีนโค้ด ได้เป็นไฟล์ .hex เพื่อนำไปโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

2.4.4 โปรแกรมระบบ Microcode Studio

ก่อนที่จะพูดถึงโปรแกรมระบบ Microcode Studio โดยแท้จริงแล้ว PICBASIC PRO คอมไพเลอร์เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการคอสมอสและยังสามารถเรียกใช้งานในแบบเขียนคำสั่งเรียงบรรทัดหรือ command line นั่นคือผู้ใช้งานต้องจดจำพารามิเตอร์ประกอบให้ได้ด้วย ซึ่งอาจไม่สะดวกนัก

เนื่องจากปัจจุบันเราใช้ระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่เป็นวินโดวส์ดังนั้นในการใช้งาน PICBASIC PRO คอมไพเลอร์กับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ให้ได้รับความสะดวกจึงต้องใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์จัดการติดต่อกับผู้ใช้งานที่มีหน้าตาในแบบกราฟิกหรือบางที่เรียกว่า IDE (Integrated Development) สำหรับ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์โรงงานสถานีเดิมลมขางจึงเลือกที่จะนำโปรแกรมระบบ Microcode Studio มาใช้ในการทำโครงการวิจัยนี้เนื่องจากสามารถ

ความโหลตมาใช้งานได้ฟรีและสามารถใช้ได้กับ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ทั้งในรุ่นสมบูรณ์ และรุ่นทดลองใช้นอกจากนั้น Microcode Studio ยังมีหน้าต่างและวิธีการใช้งาน คลอจนเมนูคำสั่ง ที่ใช้งานง่าย เป็นมิตรกับผู้ใช้งานสูง (friendly user) แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในการทำคิบัคเกอร์ซึ่ง จะต้องจัดซื้อในรุ่น Plus ก็ตามแต่สำหรับ Microcode Studio รุ่นมาตรฐานก็สามารถใช้งานได้ดี Microcode Studio สามารถค้นไฟล์เคอร์ที่ติดตั้ง PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ได้เอง

Microcode Studio เป็นซอฟต์แวร์ของ Mecanique จากประเทศอังกฤษโดยการใช้งานเพื่อ พัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกจะต้องใช้ร่วมกับ PICVASIC PRO คอมไพเลอร์ ในรุ่นสมบูรณ์และรุ่นทดลองใช้ก็ได้

2.4.5 จุดเด่นของโปรแกรมระบบ Microcode Studio

Microcode Studio เป็น โปรแกรมสร้างสภาวะแวดล้อมการเขียน โปรแกรมด้วยภาษาเบสิก สำหรับ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ ทำให้การเขียน โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยภาษาเบสิกนั้นเป็นเรื่องง่าย โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. พื้นที่เขียนโปรแกรมจะใช้สีและความหนาของตัวอักษรเป็นตัวแบ่งแยกคำสั่ง ลาเบล คอมเมนต์ และข้อมูลต่างๆ ออกจากกัน ทำให้การทำความเข้าใจกับโปรแกรมทำได้ง่าย
2. หน้าต่าง Code Explorer เพื่อกระโดดไปยังตำแหน่งลาเบล ตัวแปร ค่าคงที่ต่างๆ ได้ อย่างรวดเร็ว ทั้งยังสามารถแจกแจงการกำหนดค่าตำแหน่งลาเบลหรือตัวแปรต่างๆ ได้ง่ายอีกด้วย
3. หน้าต่างแสดงข้อผิดพลาด เมื่อคอมไพล์โปรแกรมอาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้น ได้หน้าต่างนี้ จะแสดงข้อผิดพลาดต่างๆ ขึ้นมาทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้เมาส์คลิกที่บรรทัดเหล่านั้น โปรแกรมจะ แสดงแถบขึ้นที่บรรทัดที่ผิดพลาด ทำให้สามารถเข้าไปแก้ไขโปรแกรมได้ง่าย
4. แถบแสดงสถานะ แสดงด้วยสัญลักษณ์ รูป LED สีเขียวและแดง เพื่อให้สังเกตได้ง่าย
5. แถบเครื่องมือ รวมคำสั่งแก้ไขและคอมไพล์โปรแกรมไว้ ทำให้ผู้เริ่มต้นสามารถใช้งาน โปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว
6. หน้าต่างสื่อสารข้อมูลอนุกรม (Serial Communications Window) ใช้แสดงผลข้อมูล อนุกรมที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านคำสั่ง DEBUG หรือ SEROUT สามารถกำหนดค่าได้ อย่างอิสระ
7. เปิดหน้าต่างซอร์สโปรแกรมได้หลายหน้าต่างเพื่อแก้ไขและดูรายละเอียดพร้อมกันได้
8. เลือกรูปแบบการคอมไพล์ไปจนถึงการ โปรแกรมข้อมูลลงใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อย่างหลากหลายและหลังจากกำหนดค่าแล้วยัง สามารถสั่งงานจากคำสั่งเดียวเพื่อคอมไพล์และ โปรแกรม

2.4.6 สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรมภาษา PICBASIC PRO คอมไพเลอร์

เนื่องจากโปรแกรมภาษา PICBASIC PRO คอมไพเลอร์เป็นซอฟต์แวร์ที่มีไว้สำหรับเขียนโปรแกรมและเป็นที่ยอมรับกันมากในหมู่โปรแกรมเมอร์โดยสาเหตุที่เลือกใช้ PICBASIC PRO คอมไพเลอร์ ก็เนื่องจาก เป็นภาษาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้และศึกษาทำความเข้าใจทั้งยังเป็นตัวแปลโปรแกรมภาษาเบสิกหรือเบสิกคอมไพเลอร์ที่สามารถรองรับโปรแกรมขนาดใหญ่ได้

ซึ่งจากคุณสมบัติและข้อดีดังกล่าวที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้ดำเนินโครงการเลือกที่จะให้ซอฟต์แวร์นี้ ในการเขียนโปรแกรมการประมวลผลและการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงการสถานีเคมิลม



บทที่ 3

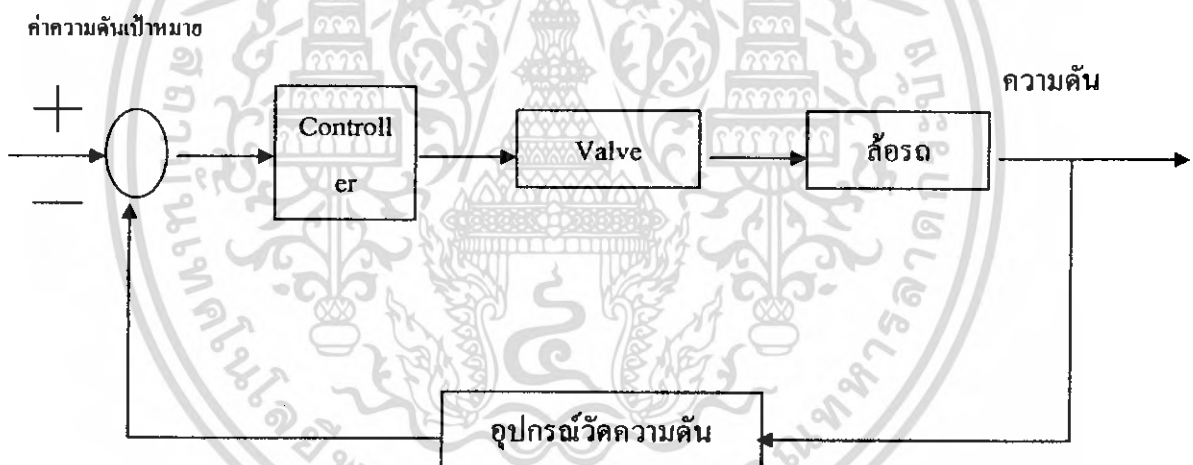
การสร้างและการออกแบบ

3.1 กล่าวนำ

โครงการสถานีเต็มขยงนี้ได้ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลายๆ ส่วนด้วยกันจึงจะทำให้ระบบการเต็มขยงนั้นมีความสมบูรณ์แบบและพร้อมที่จะใช้งาน ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงเนื้อหาในเรื่องของ โครงสร้างของระบบการเต็มขยงว่ามีโครงสร้างและกระบวนการทำงานอย่างไรบ้างในที่นี้จะขอธิบายในเรื่องของ โครงสร้างพื้นฐานของระบบการเต็มขยงรวมถึง โครงสร้างทางด้าน Hardware และ Software ที่ใช้ในระบบการเต็มขยง

3.2 โครงสร้างพื้นฐานของสถานีเต็มขยง

ในระบบการเต็มขยงสามารถออกแบบ โครงสร้างพื้นฐานของระบบได้ดังภาพที่ 3.1



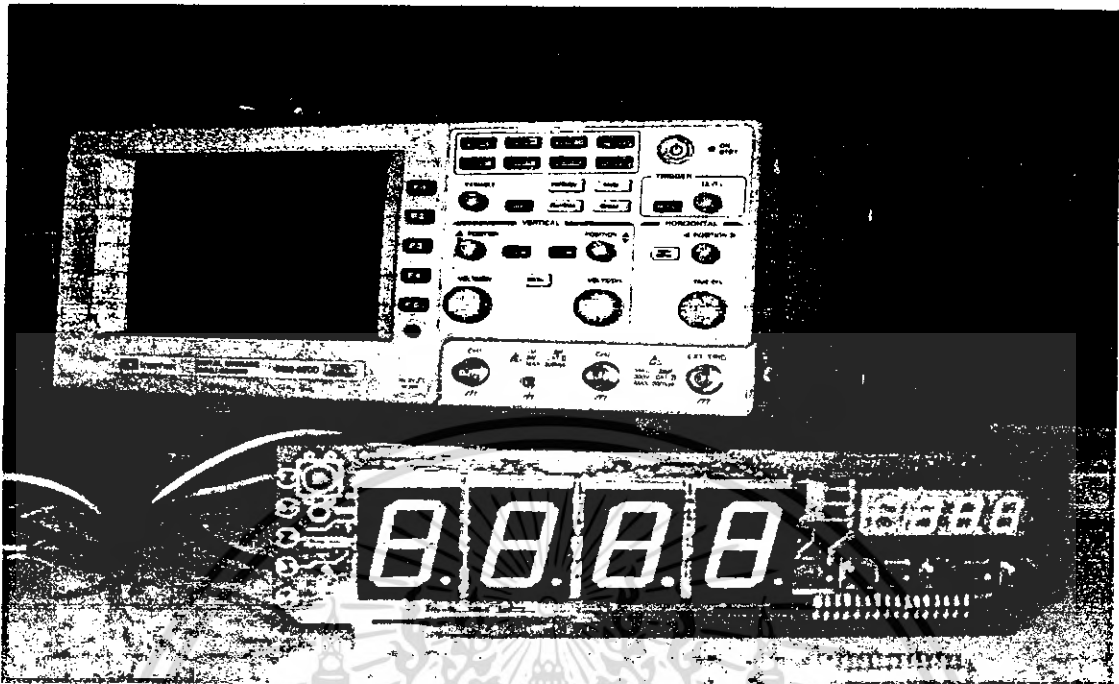
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของระบบการเต็มขยง

จากนั้นจะเห็นว่ามีส่วนการทำงานอยู่ 4 ส่วนด้วยกันที่ทำงานสัมพันธ์กันคือ

1. ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์หรือภาคการควบคุมระบบการเต็มแรงดันลม ประกอบด้วยอีก 4 ส่วนด้วยกันคือ

1.1 ประกอบด้วยวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งทำหน้าที่ในการเป็นตัวรับค่าเป้าหมายจากตัว KEY

1.2 ตัว DISPLAY เป็นตัวแสดงผลของการวัด หรือค่าของแรงดัน



ภาพที่ 3.2 แสดงตัว Display ขณะที่กำลังเขตแสดงค่าเป้าหมาย

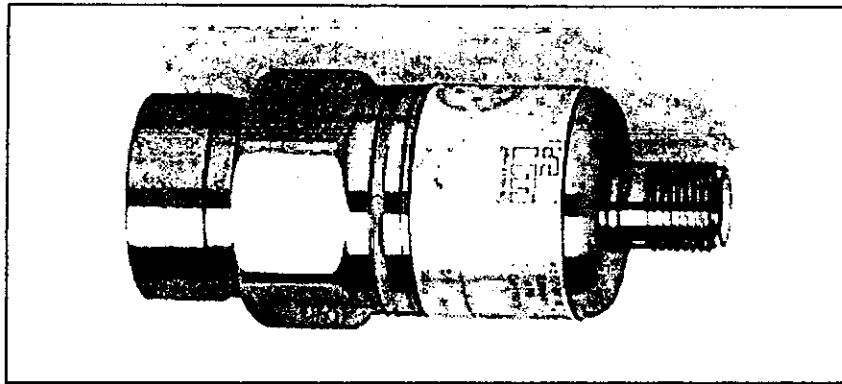
1.3 KEY เป็นตัวที่ไว้สำหรับกดเลขค่า SP ที่ต้องการจะเดิม

1.4 ADC หรือตัว(MAX192 Converter)เป็นตัวแปลงสัญญาณหรือเปลี่ยนสัญญาณจาก Analog ไปเป็นสัญญาณ Digital เพื่อแสดงผลหรือค่าเป้าหมายในตัว Display

2. ภาคของตัว Control Valve ในที่นี้เราจะใช้ตัว Solenoid Valve ซึ่งเป็นอุปกรณ์สวิทช์ที่จะอาศัยหลักในการทำงานร่วมกันของ แม่เหล็กไฟฟ้า มาทำงานร่วมกับ กลไก โดยจะใช้การป้อนแรงดันไฟเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในการทำงานควบคุมให้ลิ้นกลไกปิดหรือเปิดได้

3. ภาคของขงยงล้อรถ เป็นอุปกรณ์ที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์การทดลองการวิจัยนี้โดยตัวขงยงนั้นต้องไม่มีรูหรือรอยร้าวของลมอย่างเด็ดขาดเพื่อการวัดค่า Pressure ที่แน่นอน เทียงตรง

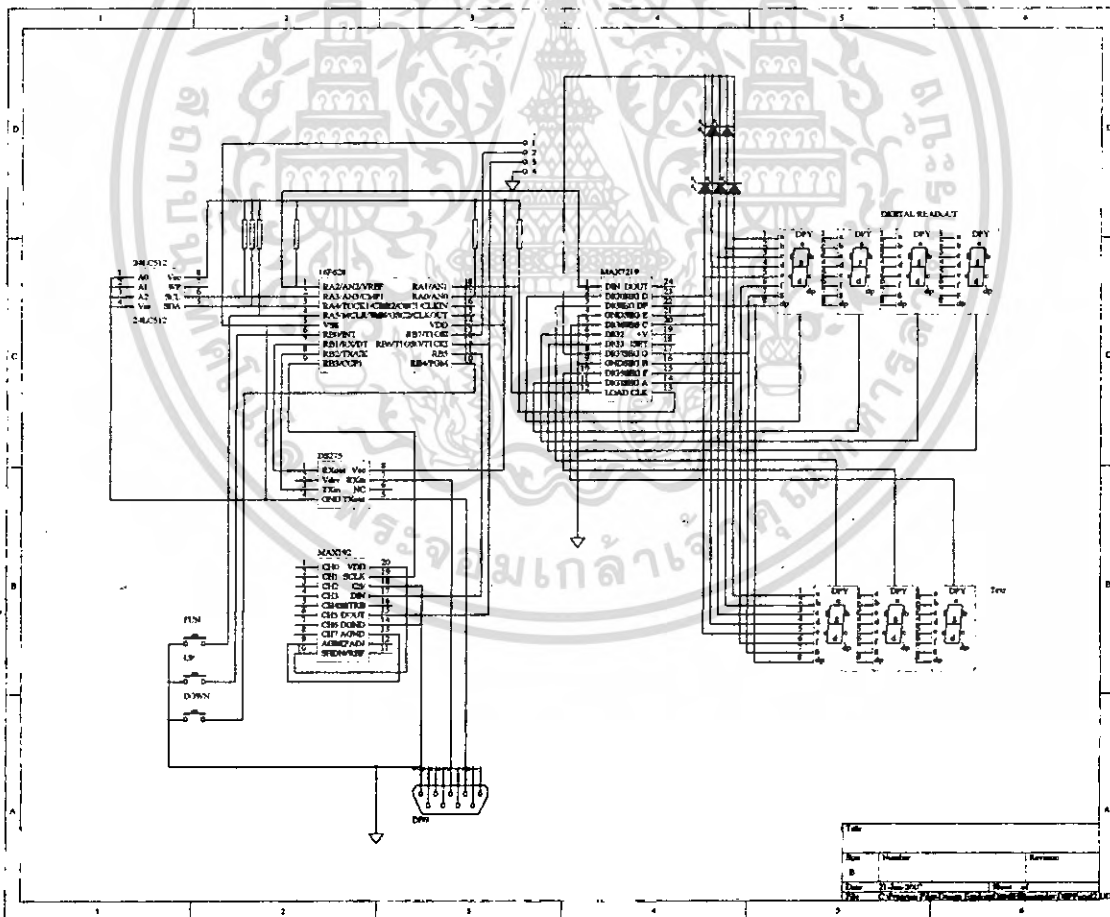
4. ภาคของอุปกรณ์วัดความดันหรือ Pressure Sensor เป็นตัวที่จะคอย sensor ค่าแรงดันลมหรือเป็นตัวที่บอกถึงค่า SP (Set Point) ที่ตั้งไว้กับตัว DISPLAY แก๊วไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไปสั่งโซลินอยด์ว่าลวให้ทำการจ่ายหรือปล่อยแรงดันลมอีกทีหนึ่ง



ภาพที่ 3.3 แสดงตัว Pressure Sensor ที่ใช้ในการวิจัยระบบการเค็มแรงดันลม

3.3 โครงสร้างทางด้าน Hardware

ชุดวงจรในการควบคุมระบบการเค็มแรงดันลม



ภาพที่ 3.4 ชุดวงจรในการควบคุมระบบการเค็มแรงดันลม

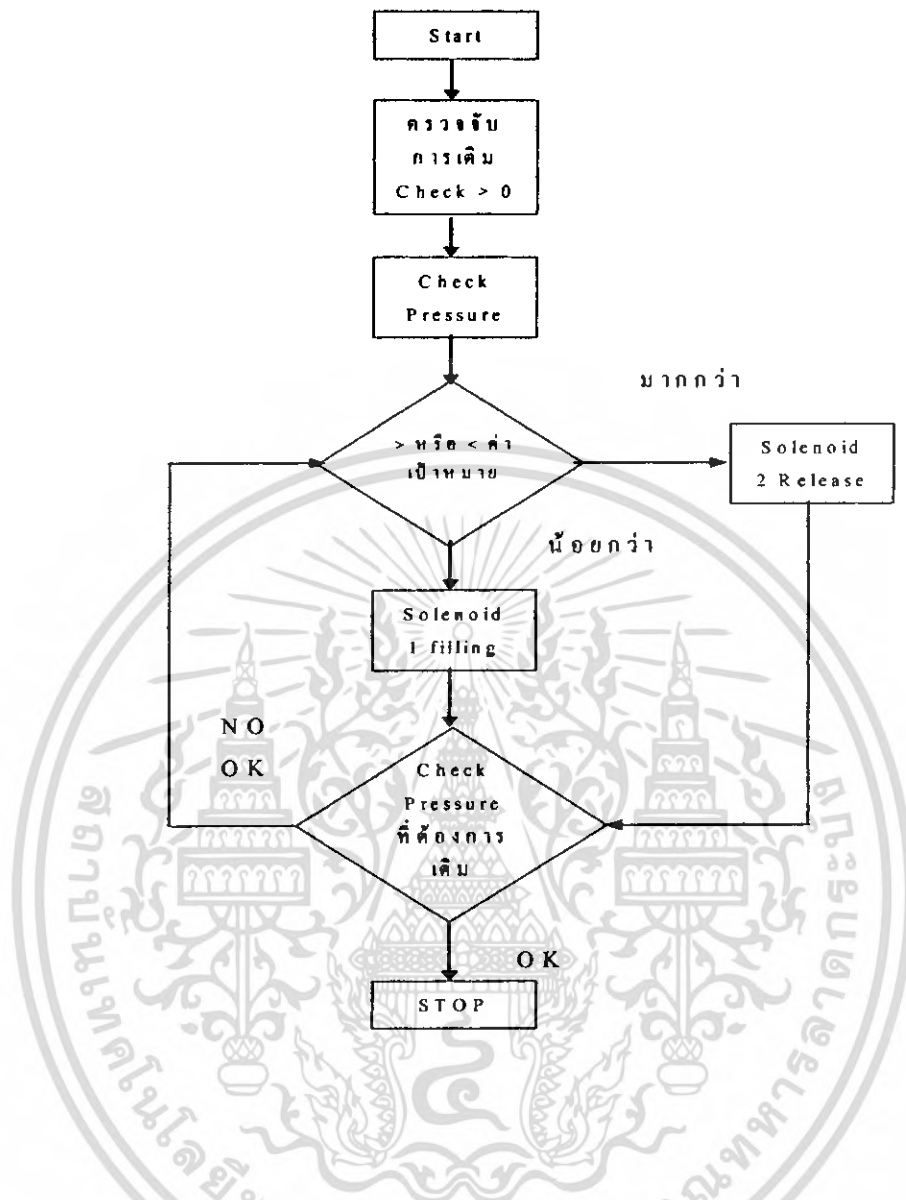
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับชุดวงจรที่ใช้ในการควบคุมระบบแรงดันลมนั้น จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบควบคุมทั้งหมด โดยที่ในโครงการนี้ผู้ดำเนินโครงการได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไอซี PIC16F628 ในการรับส่งข้อมูลทั้งหมดซึ่งสาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้ PIC16F628 นั้นเนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณสมบัติที่สามารถเขียนโปรแกรมและลบโปรแกรมได้หลายครั้งโดยในระบบนี้จะมีตัว ไอซี MAX7219 เป็นตัวขับ 7 Segment แสดงผลบนตัว DISPLAY โดยที่เลือกใช้ตัว MAX 7219 มีข้อดีคือเนื่องจากตัว MAX 7219 นั้นจะมีวงจรภายในที่สามารถเก็บค่าที่แสดงใน DISPLAY ล่าสุดไว้ได้เมื่อมีการไฟดับ หรือมีการ shutdown ของระบบ

3.4 โครงสร้างทางด้าน Software

ในการเขียนโปรแกรมนั้นจะเริ่มจากการกำหนดพัลส์ซาร์ทการทำงานของระบบการเติมแรงดันลมก่อนดังแสดงในภาพที่ 3.5

จากพัลส์ซาร์ทจะเห็นว่าตั้งแต่เราเริ่มกดค่า Setpoint ที่ตัว KEY ระบบจะทำการเซตค่าไว้แล้วเมื่อเราเริ่มนำหัวจุกของสายลมต่อเข้ากับหัวจุกของล้อรถยนต์ ระบบจะเริ่มทำการตรวจจับ Check ค่าว่าค่านั้นมีค่าเท่าไรหรือมากกว่า 0 หรือไม่ถ้ามากกว่า 0 ระบบก็จะมาเซตค่าอีกทีหนึ่งว่าความดันในลมขงมีค่าเท่าไรแล้วระบบจะนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่า Setpoint ที่ตั้งไว้โดยถ้ามีค่ามากกว่าค่า Setpoint ระบบก็จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 ทำงาน โดยการเปิดลิ้นวาล์วเพื่อปล่อยลมออกแล้วปิดลิ้นวาล์วเมื่อได้ค่าของแรงดันที่เท่ากับค่า Setpoint หรือถ้าแรงดันลมในขงมีค่าน้อยกว่าค่า Setpoint ระบบก็จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วที่ 1 ทำงาน โดยการเปิดลิ้นวาล์วเพื่อรับลมเข้ามาแล้วปิดเมื่อได้ค่าของแรงดันที่เท่ากับค่า Setpoint จากนั้นระบบก็จะทำการ Check ค่าอีกทีถ้ามีค่าเท่ากันระบบก็จะหยุดการทำงาน หรือถ้าแรงดันลมทั้งสองมีค่าที่ไม่เท่ากันระบบก็เริ่มทำการตรวจเช็คใหม่อีกครั้งจะเป็นยังไงไปเรื่อยๆจนกว่าค่าของแรงดันลมทั้งสองที่ได้จะเท่ากัน แต่ถ้าด้วยบังเอิญมีรอยรั่วระบบก็จะเซตค่าว่ามากกว่า 0 มากน้อยแค่ไหนถ้ามีน้อยมากจนเกินไปเช่นถ้า DISPLAY แสดงค่าประมาณ 0.1-0.5 ระบบก็จะไม่สามารถทำงานต่อได้โดยระบบจะแสดงคำว่า "ERROR" ที่ตัว DISPLAY



ภาพที่ 3.5 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการเติมแรงดันลม

ส่วนของโปรแกรมในการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบการเติมแรงดันลม นั้น ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมการควบคุมตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ของปริญญาบัตรเล่มนี้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

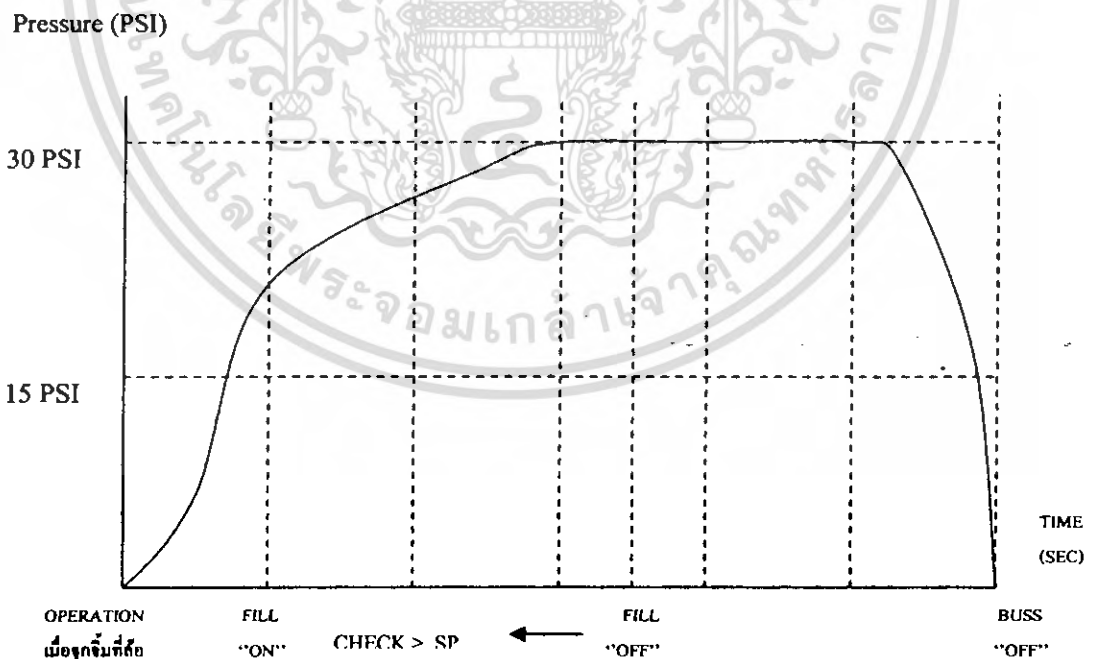
4.1 กล่าวนำ

แน่นอนว่าเมื่อมีการทำงานใดๆขึ้นก็จะต้องมีการทดลองและผลการทดลอง ออกมาให้เห็นเพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในการทำงาน สำหรับในบทนี้ก็จะเป็นการกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของโครงการสถานีเติมลมยางซึ่งทางผู้ดำเนินงานได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน เพื่อที่จะง่ายต่อการแก้ไข และการดำเนินงาน โดยการทดลองในทางอุดมคติจะเป็นดังภาพที่ 4.1 คือ ไม่มีการแกว่งหรือผิดเพี้ยนของสัญญาณ หรือ แรงดันลมที่มากหรือน้อยจนเกินไปเลย ซึ่งการทดลอง 3 ส่วน มีดังต่อไปนี้

การทดลองส่วนที่ 1 ทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะปกติ

การทดลองส่วนที่ 2 ทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมมากเกินไป

การทดลองส่วนที่ 3 ทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมน้อยเกินไป หรือ ไม่มีลม



ภาพที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

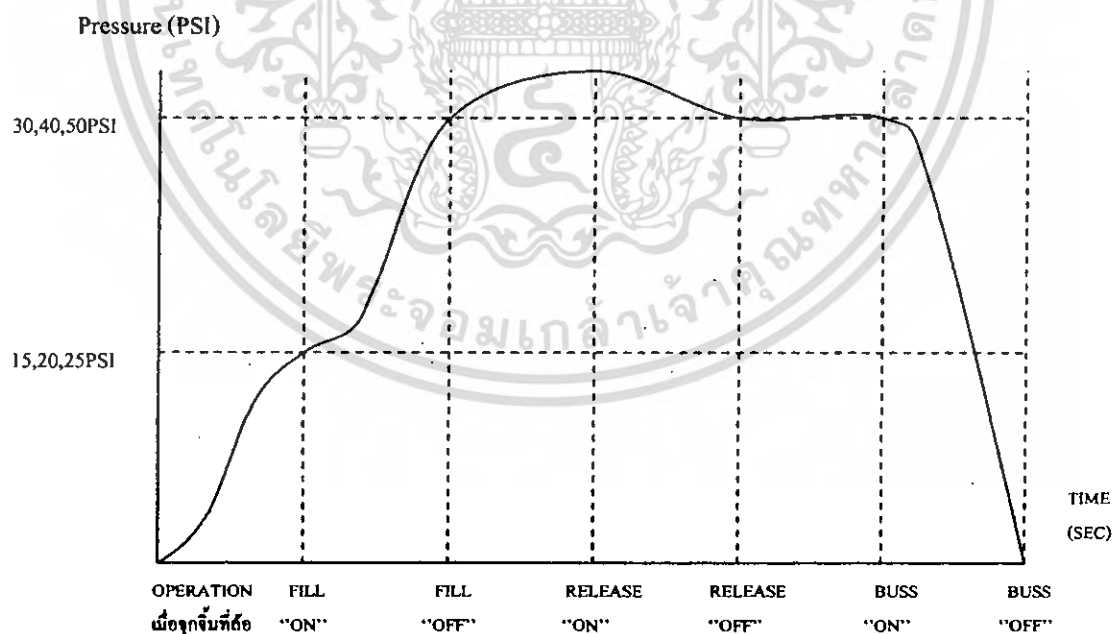
4.2 ทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะปกติ

การทดลอง ณ สภาวะปกติ คือ ค่าแรงดันลมในยางก่อนเติมมีค่าประมาณ 10-30 PSI

ตารางที่ 4.1 แสดงตารางผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะปกติ

ครั้งที่	PRESSURE (PSI)		
	30	40	50
1	29.02	38.60	49.50
2	28.50	39.45	48.65
3	29.50	39.00	48.02
4	29.20	39.80	49.25
5	29.80	38.05	49.80

โดยจากตารางเมื่อเรากดค่าที่ 30 PSI สามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 4.2 โดย ณ ที่นี้เราไม่ได้คิดค่าที่ 40,50 ออกมาเป็นกราฟเพราะว่ากราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกับค่ากราฟที่ 30 เหมือนกันหมด



ภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะปกติ

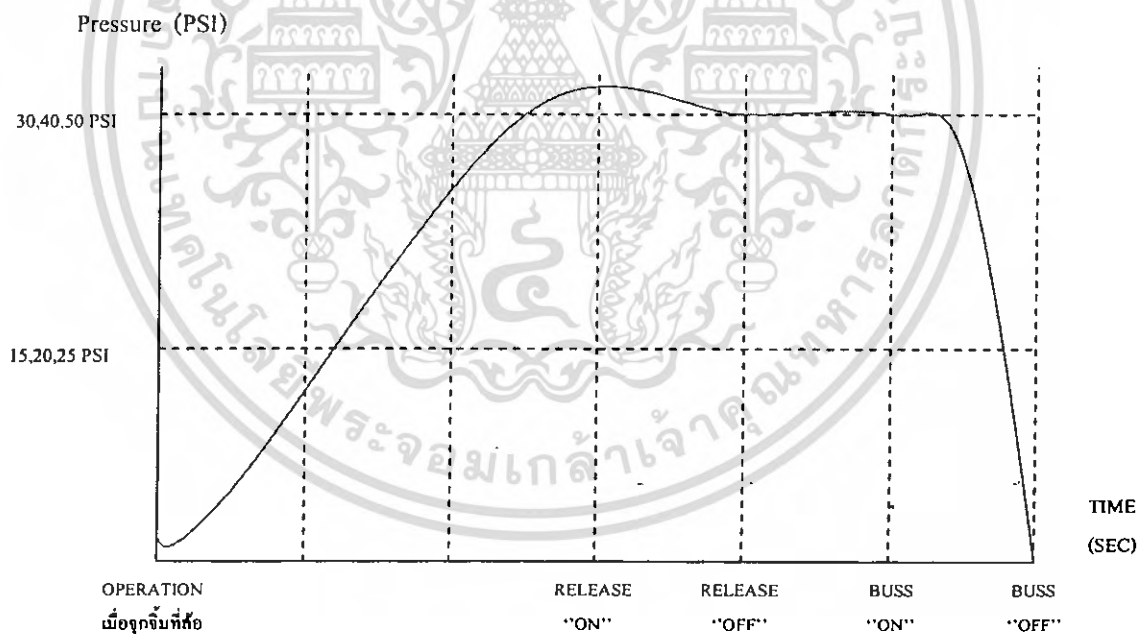
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมมากเกินไป

การทดลอง ณ สภาวะแรงดันลมมากเกินไป คือ ค่าแรงดันลมในยางก่อนเติมนั้น มากกว่า 30 PSI โดยจากตารางเมื่อเรากดค่าที่ 30,40,50 PSI สามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมมากเกินไป

ครั้งที่	PRESSURE (PSI)		
	30	40	50
1	29.50	38.02	49.75
2	28.08	39.10	48.85
3	29.45	39.50	48.55
4	29.80	39.05	49.35
5	29.00	38.70	49.02



ภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสภาวะเริ่มต้นแรงดันลมมากเกินไป

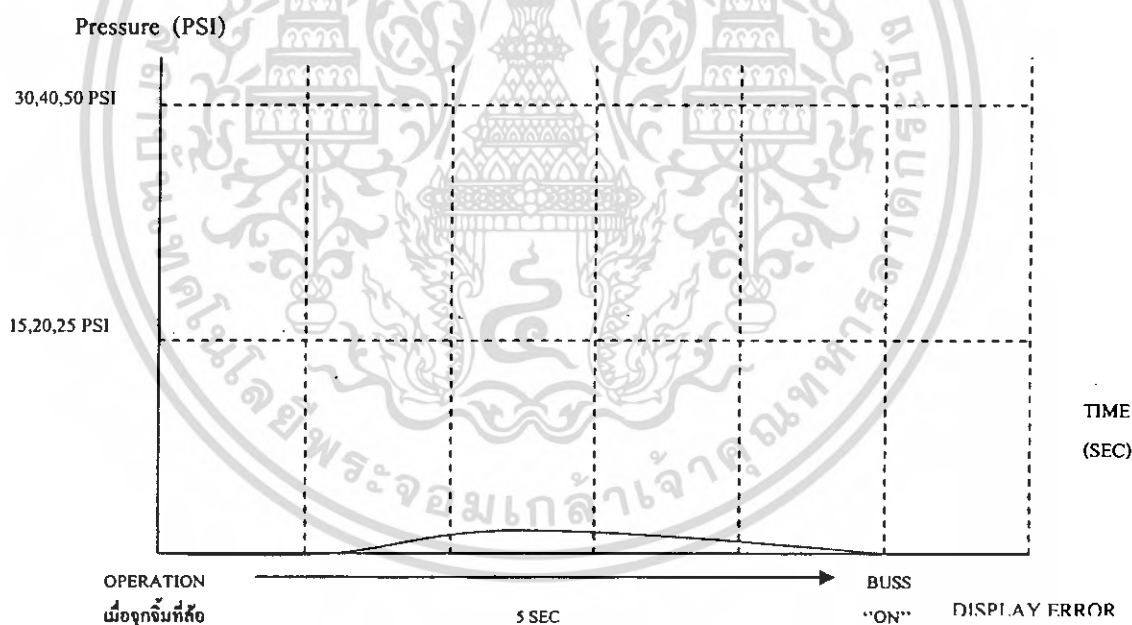
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสถานะเริ่มต้นแรงดันลมน้อยเกินไปหรือไม่มีลม

การทดลอง ณ สถานะแรงดันลมน้อยเกินไปหรือไม่มีลมคือค่าแรงดันลมในยางก่อนเติมนั้นมีค่าน้อยกว่า 10 PSI ณ สถานะนี้ตัว DISPLAY จะแสดงค่า ERROR ออกมาให้เห็น

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสถานะเริ่มต้นแรงดันลมน้อยเกินไปหรือไม่มีลม

ครั้งที่	PRESSURE (PSI)		
	30	40	50
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0



ภาพที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการทำงานของระบบเติมลมยางในสถานะเริ่มต้นแรงดันลมน้อยเกินไป หรือไม่มีลม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโครงการสถานีเติมลมยางที่ผ่านมานั้นพบว่าเมื่อทำการทดลองอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวกับระบบ โดยการแยกการทดลองออกเป็นส่วนๆนั้น สามารถทำงานได้ดีและสัมพันธ์กัน ส่วนในเรื่องของการทดลองการทำงานของโปรแกรมนั้น จากการทดลองไม่ว่าการจะเติมลมในรูปแบบต่างๆ 3 แบบนั้น ล้วนสามารถทำงานได้อย่างดี การประมวลผลของโปรแกรมนั้นสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

จากการทำวิจัยในหัวข้อเรื่องการเติมแรงดันลมนี้ยังมีปัญหาและอุปสรรคอยู่ เช่น การเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิในบรรยากาศ ซึ่งมีผลต่อการวัดความดันเป็นอย่างมาก และถ้าจะต้องการนำไปประยุกต์ใช้กับงานเกี่ยวกับความดันที่ต้องการความละเอียดสูงเครื่องนี้ยังไม่สามารถใช้งานได้ เพราะการตรวจวัดความดันแตกต่างของ pressure sensor ทั้ง 2 ตัวนั้นและการเปิดปิดของโซลินอยด์วาล์วทั้ง 2 ตัวยังไม่มีความละเอียดสูงพอ แต่ถ้าจะให้ระบบการเติมแรงดันลมมีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทำโครงการสถานีเติมลมยางนี้ยังมีการเกิดการผิดพลาดเล็กน้อยอยู่ทำให้โครงการยังไม่มียุทธศาสตร์เท่าที่ควรดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นควรมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งทางด้าน โปรแกรมและส่วนประกอบอื่นๆ ด้วยเพราะเพียงแค่การดำเนินงานครั้งเดียวนั้นยังไม่สามารถบอกได้ว่าสิ่งที่ออกมานั้นเป็นสิ่งที่ดีเสมอไปแต่เป็นเพียงแค่การเริ่มต้นที่จะพัฒนาเท่านั้นซึ่งการทำงานทุกอย่างนั้นจะต้องอาศัยการพัฒนาต่อไปเรื่อยๆขึ้นไป ดังนั้นทางคณะผู้ดำเนินโครงการและการทำวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าระบบการเติมแรงดันลมนี้จะได้รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DSPPOI    VAR BYTE
DSPPAT    VAR BYTE
MODE      VAR BYTE
FILLRDY   VAR BYTE
PRESSRDY  VAR BYTE
```

'Constant

```
SYMBOL    LOAD  = PORTA.0  'MAX7912
SYMBOL    CLK   = PORTA.1
SYMBOL    DIN   = PORTA.2

SYMBOL    UPKEY = PORTB.4
SYMBOL    DWKEY = PORTB.0
SYMBOL    KEYFUN = PORTB.7

SYMBOL    FILL  = PORTB.1  'FILL PORT
SYMBOL    RELS  = PORTB.2  'RELEASE PORT

SYMBOL    ACLK  = PORTB.3  'MAX192
SYMBOL    ADIN  = PORTB.5
SYMBOL    ADOUT = PORTB.6
SYMBOL    ACS   = PORTA.4

SYMBOL    SETVAL_HI = 0
SYMBOL    SETVAL_LO = 1

'SYMBOL    SCL   = PORTA.3
'SYMBOL    SDA   = PORTA.4

DEFINE    SHIFT_PAUSEUS 100
```

```
INCLUDE "modedefs.bas"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INITIAL: option_reg.7 = 0

CMCON = %00000111

VRCON = 0

TRISA = %11011000

TRISB = %10010111

HIGH FILL

HIGH RELS

Low LOAD

Pause 100

ShiftOut DIN,CLK,1,[\$0F,\$00] 'TEST

High LOAD

Pause 5

Low LOAD

ShiftOut DIN,CLK,1,[\$0C,\$01] 'SHUT DOWN

High LOAD

Pause 5

Low LOAD

ShiftOut DIN,CLK,1,[\$09,\$00] 'DECODE MODE

High LOAD

Pause 5

Low LOAD

ShiftOut DIN,CLK,1,[\$0A,\$0F] 'INTENSITY

High LOAD

Pause 5

Low LOAD

ShiftOut DIN,CLK,1,[\$0B,\$07] 'SCAN LIMIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High LOAD

Pause 5

Low LOAD

For I = 1 TO 16

ANABUF1[I] = 0

Next I

TIMER = 0

OPR_FLG = 0

FILL_FLG = 0

SAVE_FLG = 0

MODE = 0 '0 = AUTO 1 = MANUAL

FILLRDY = 0

PRESSRDY = 0

READ SETVAL_HI,SETVAL.BYTE1

READ SETVAL_LO,SETVAL.BYTE0

GoTo START

SCANDSP: For I = 1 TO 8

ShiftOut DIN,CLK,1,[I,DISPBUF[I]]

High LOAD

Pause 5

Low LOAD

Next I

Return

GETPAT: LookUp

DSPPOI,[$\$7E,\$30,\$6D,\$79,\$33,\$5B,\$5F,\$70,\$7F,\$7B,\$77,\$1F,\$4E,\$3D,\$4F,\47],DSPPAT

Return

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GETADC: Low ACS

ShiftOut ADIN,ACLK,1,[%10001111]

Pause 5

ShiftIn ADOUT,ACLK,2,[ANAFILT.BYTE1,ANAFILT.BYTE0]

High ACS

ANAFILT = ANAFILT >> 6

For I = 1 TO 15

ANABUF1[I] = ANABUF1[I+1]

Next I

ANABUF1[16] = ANAFILT

ANAFILT = 0

For I = 1 TO 16

ANAFILT = ANAFILT + ANABUF1[I]

Next I

ANAFILT = ANAFILT / 16

IF ANAFILT < 200 THEN ANAFILT = 200

ANAFILT = ((ANAFILT * 10)/8) - 250

ANALOG1 = (ANAFILT * 15)/10

Return

PVCONV: DISPBUF[7] = 0

DISPBUF[2] = 0

DISPBUF[4] = 0

DISPBUF[3] = 0

ANACONV1 = ANALOG1

IF ANACONV1 >= 1000 THEN

DSPPOI = ANACONV1 DIG 3

Call GETPAT

DISPBUF[7] = DSPPAT

ENDIF

IF ANACONV1 >= 100 THEN

DSPPOI = ANACONV1 DIG 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call GETPAT
DISPBUF[2] = DSPPAT
ENDIF
```

```
DSPPOI = ANACONV1 DIG 1
Call GETPAT
DISPBUF[4] = DSPPAT | $80 'BITWISE OR DOT
DSPPOI = ANACONV1 DIG 0
Call GETPAT
DISPBUF[3] = DSPPAT
Return
```

```
SVCONV: IF MODE = I THEN SVMANUAL
```

```
DISPBUF[8] = 0
DISPBUF[1] = 0
DISPBUF[5] = 0
DISPBUF[6] = 0
IF SETVAL >= 1000 THEN
  DSPPOI = SETVAL DIG 3
  Call GETPAT
  DISPBUF[8] = DSPPAT
```

```
ENDIF
```

```
IF SETVAL >= 100 THEN
  DSPPOI = SETVAL DIG 2
  Call GETPAT
  DISPBUF[1] = DSPPAT
```

```
ENDIF
```

```
DSPPOI = SETVAL DIG 1
Call GETPAT
DISPBUF[5] = DSPPAT | $80 'BITWISE OR DOT
DSPPOI = SETVAL DIG 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call GETPAT
DISPBUF[6] = DSPPAT
Return
```

```
SVMANUAL:  DISPBUF[8] = $01
            DISPBUF[1] = $01
            DISPBUF[5] = $01
            DISPBUF[6] = $01
            RETURN
```

```
GETKEY:    High UPKEY
           High DWKEY
           High KEYFUN

IF SAVE_FLG = 1 THEN
  TIMER = TIMER - 1
  IF TIMER = 0 THEN
    WRITE SETVAL_HI,SETVAL.BYTE1
    WRITE SETVAL_LO,SETVAL.BYTE0
    SAVE_FLG = 0
  ENDIF
ENDIF

IF UPKEY = 0 Then INCSETVAL
IF DWKEY = 0 THEN DECSETVAL
IF KEYFUN = 0 THEN FUNKEYOPR
RETURN
```

```
INCSETVAL:  IF MODE = 1 THEN INCMANUAL
            SETVAL = SETVAL + 1
            IF SETVAL > 1470 THEN SETVAL = 1470
            DELAY = 5
```

```
INCSVLP:   HIGH UPKEY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Call GETADC
Call PVCONV
CALL SVCONV
Call SCANDSP
DELAY = DELAY - 1
IF UPKEY = 0 AND DELAY > 0 THEN INCSVLP

INCRLOOP: IF UPKEY = 1 THEN INCRSKP

SETVAL = SETVAL + 1
IF SETVAL > 1470 THEN SETVAL = 1470
HIGH UPKEY
Call GETADC
Call PVCONV
CALL SVCONV
Call SCANDSP
PAUSE 10
GOTO INCRLOOP

INCRSKP: TIMER = 200
SAVE_FLG = 1
RETURN

INCMANUAL: IF UPKEY = 1 THEN INCMANSKP

LOW FILL
HIGH RELS
HIGH UPKEY
Call GETADC
Call PVCONV
CALL SVCONV
Call SCANDSP
PAUSE 10
GOTO INCMANUAL

INCMANSKP: HIGH FILL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RETURN

DECSETVAL: IF MODE = 1 THEN DECMANUAL

SETVAL = SETVAL - 1

IF SETVAL > 1470 THEN SETVAL = 0

DELAY = 5

DECSVLP: HIGH DWKEY

Call GETADC

Call PVCONV

CALL SVCONV

Call SCANDSP

DELAY = DELAY - 1

IF DWKEY = 0 AND DELAY > 0 THEN DECSVLP

DECRLOOP: IF DWKEY = 1 THEN DECRSKP

SETVAL = SETVAL - 1

IF SETVAL > 1470 THEN SETVAL = 0

HIGH DWKEY

Call GETADC

Call PVCONV

CALL SVCONV

Call SCANDSP

PAUSE 10

GOTO DECRLOOP

DECRSKP: TIMER = 200

SAVE_FLG = 1

RETURN

DECMANUAL: IF DWKEY = 1 THEN DECMANSKP

LOW RELS

HIGH FILL

HIGH DWKEY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call GETADC
Call PVCONV
CALL SVCONV
Call SCANDSP
PAUSE 10
GOTO DECMANUAL
DECMANSKP:  HIGH RELS
RETURN
```

```
FUNKEYOPR:  IF MODE = 0 THEN
```

```
MODE = 1
```

```
ELSE
```

```
MODE = 0
```

```
ENDIF
```

```
HIGH KEYFUN
```

```
PAUSE (500)
```

```
FUNKYLOOP:  IF KEYFUN = 1 THEN FUNKYSKP
```

```
Call GETADC
```

```
Call PVCONV
```

```
CALL SVCONV
```

```
Call SCANDSP
```

```
PAUSE 10
```

```
GOTO FUNKYLOOP
```

```
FUNKYSKP:  RETURN
```

```
CONTROL:  IF MODE = 1 THEN CONTRSKP
```

```
IF OPR_FLG = 0 THEN
```

```
HIGH FILL
```

```
HIGH RELS
```

```
IF ANALOG1 > 10 AND FILLRDY = 0 AND PRESSRDY = 0 THEN OPR_FLG =
```

```
1 'OPERATION ON AND CHECK
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENDIF

IF OPR_FLG = 1 THEN

IF ANALOG1 < SETVAL AND PRESSRDY = 0 THEN

FILLLOOP: LOW FILL

HIGH RELS

PAUSE (3000)

HIGH FILL

pause (3000)

for J = 1 to 20

CALL GETADC

next J

Call PVCONV

Call SCANDSP

IF ANALOG1 < SETVAL THEN FILLLOOP

PRESSRDY = 1

ENDIF

IF ANALOG1 > SETVAL AND FILLRDY = 0 THEN

LOW RELS

HIGH FILL

ENDIF

IF ANALOG1 = SETVAL OR ABS(ANALOG1 - SETVAL) <= 2 AND FILLRDY =

0 THEN

PAUSE (1000)

HIGH FILL

HIGH RELS

FILLRDY = 1

ENDIF

IF ANALOG1 < 10 THEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
OPR_FLG = 0
FILLRDY = 0
PRESSRDY = 0
ENDIF
```

```
ENDIF
RETURN
```

```
CONTRSKP: OPR_FLG = 0
RETURN
```

```
START: Call GETKEY
Call GETADC
Call PVCONV
CALL SVCONV
Call SCANDSP
CALL CONTROL
GoTo START
```

End

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure sensors

PA3024

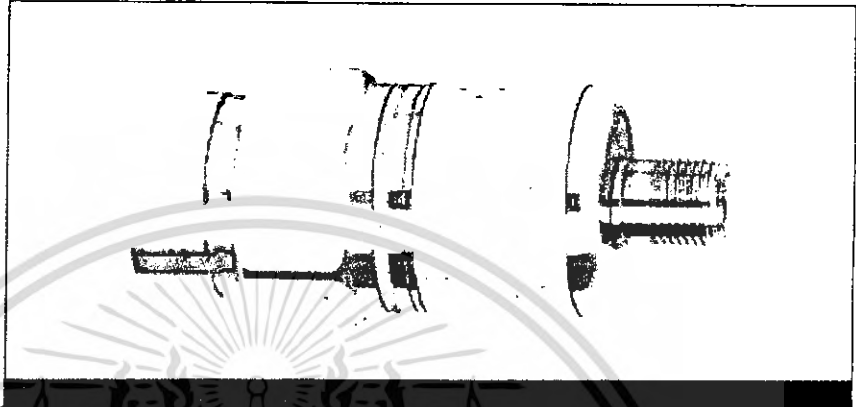
Electronic pressure sensor
PA30

G $\frac{1}{4}$ I

UL compliant¹⁾


Analog output

Measuring range
0...10 bar



Application	Type of pressure: relative pressure Liquids and gases
Electrical design	DC
Output	4...20 mA analog
Operating voltage [V]	9.6...32
Reverse polarity protection	yes
overload protection	yes
Analog output	4...20 mA
Load for analog output [ohms]	max. (U _b - 9.6 V) x 50; 720 at U _b = 24 V
Permissible overl. pressure [bar]	75
Bursting pressure min. [bar]	150
Accuracy / deviations (in % of the span)	
Characteristics deviation *)	
Repeatability **)	
Temperature coefficients (TEMPCO) in the temperature range -25...80 °C (in% of the span per 10 K)	< ± 0.5 < 0.1
- greatest TEMPCO of the zero point	0.1
- greatest TEMPCO of the span	0.2
Response time analog output [ms]	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating temperature [°C]	-25...80
Medium temperature [°C]	-25...90 ****)
Storage temperature [°C]	-40...100
Protection	IP 65, III
Insulation resistance [MΩ]	> 100 (500 V DC)
Shock resistance [g]	50 (DIN / IEC 68-2-27, 11ms)
Vibration resistance [g]	20 (DIN / IEC 68-2-6, 10 - 2000 Hz)
Min. pressure cycles	100 million
EMC	EN 61000-4-2 ESD: 4 kV CD / 8 kV AD EN 61000-4-3 HF radiated: 30 V/m EN 61000-4-4 Burst: 2 kV EN 61000-4-6 HF conducted: 10 V
Housing material	stainless steel (316S12); FPM (Viton); PA; EPDM/X (Santoprene)
Materials (wetted parts)	stainless steel (303S22); ceramics; FPM (Viton)
Connection	M12 connector
Wiring	
Remarks	<p>1) approval applied for</p> <p>*) incl. linearity, zero and span error</p> <p>***) with temperature fluctuations < 10 K</p> <p>****) -40...90 °C upon request</p>

ifm efector, inc. 782 Springdale Drive, Exton, PA 19341

— We reserve the right to make technical alterations without prior notice. — US — PA3024 — 26.09.2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

General Description

The MAX192 is a low-cost, 10-bit data-acquisition system that combines an 8-channel multiplexer, high-bandwidth track/hold, and serial interface with high conversion speed and ultra-low power consumption. The device operates with a single +5V supply. The analog inputs are software configurable for single-ended and differential (unipolar/bipolar) operation.

The 4-wire serial interface connects directly to SPI™, QSPI™, and Microwire™ devices, without using external logic. A serial strobe output allows direct connection to TMS320 family digital signal processors. The MAX192 uses either the internal clock or an external serial-interface clock to perform successive approximation A/D conversions. The serial interface can operate beyond 4MHz when the internal clock is used. The MAX192 has an internal 4.096V reference with a drift of ±30ppm typical. A reference-buffer amplifier simplifies gain trim and two sub-LSBs reduce quantization errors.

The MAX192 provides a hardwired SHDN pin and two software-selectable power-down modes. Accessing the serial interface automatically powers up the device, and the quick turn-on time allows the MAX192 to be shut down between conversions. By powering down between conversions, supply current can be cut to under 10µA at reduced sampling rates.

The MAX192 is available in 20-pin DIP and SO packages, and in a shrink-small-outline package (SSOP) that occupies 30% less area than an 8-pin DIP. The data format provides hardware and software compatibility with the MAX186/MAX188. For anti-aliasing filters, consult the data sheets for the MAX291–MAX297.

Applications

- Automotive
- Pen-Entry Systems
- Consumer Electronics
- Portable Data Logging
- Robotics
- Battery-Powered Instruments, Battery Management
- Medical Instruments

Features

See last page for Typical Operating Circuit.

SPI and QSPI are trademarks of Motorola Corp.
Microwire is a trademark of National Semiconductor Corp.

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800.
For small orders, phone 408-737-7600 ext. 3468.

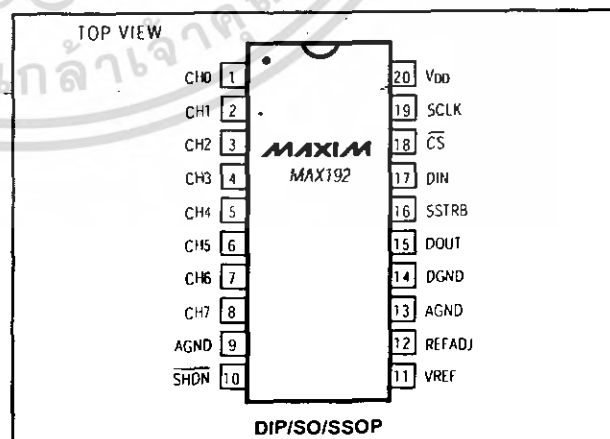
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ♦ 8-Channel Single-Ended or 4-Channel Differential Inputs
- ♦ Single +5V Operation
- ♦ Low Power: 1.5mA (operating)
2µA (power-down)
- ♦ Internal Track/Hold, 133kHz Sampling Rate
- ♦ Internal 4.096V Reference
- ♦ 4-Wire Serial Interface is Compatible with SPI, QSPI, Microwire, and TMS320
- ♦ 20-Pin DIP, SO, SSOP Packages
- ♦ Pin-Compatible 12-Bit Upgrade (MAX186/MAX188)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE	INL (LSB)
MAX192ACPP	0°C to +70°C	20 Plastic DIP	±1/2
MAX192BCPP	0°C to +70°C	20 Plastic DIP	±1
MAX192ACWP	0°C to +70°C	20 Wide SO	±1/2
MAX192BCWP	0°C to +70°C	20 Wide SO	±1
MAX192ACAP	0°C to +70°C	20 SSOP	±1/2
MAX192BCAP	0°C to +70°C	20 SSOP	±1
MAX192AEPP	-40°C to +85°C	20 Plastic DIP	±1/2
MAX192BEPP	-40°C to +85°C	20 Plastic DIP	±1
MAX192AEWP	-40°C to +85°C	20 Wide SO	±1/2
MAX192BEWP	-40°C to +85°C	20 Wide SO	±1
MAX192AEAP	-40°C to +85°C	20 SSOP	±1/2
MAX192BEAP	-40°C to +85°C	20 SSOP	±1
MAX192AMJP	-55°C to +125°C	20 CERDIP	±1/2
MAX192BMJP	-55°C to +125°C	20 CERDIP	±1

Pin Configuration



Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V _{DD} to AGND	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation (T _A = -70°C)	
AGND to DGND	-0.3V to +0.3V	Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
CH0-CH7 to AGND, DGND	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)	SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
CH0-CH7 Total Input Current	±20mA	SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	640mW
VREF to AGND	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)	CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW
REFADJ to AGND	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)	Operating Temperature Ranges	
Digital Inputs to DGND	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)	MAX192_C_P	0°C to +70°C
Digital Outputs to DGND	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)	MAX192_E_P	-40°C to +85°C
Digital Output Sink Current	25mA	MAX192_MJP	-55°C to +125°C
		Storage Temperature Range	-60°C to +150°C
		Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{DD} = 5V ±5%, f_{CLK} = 2.0MHz, external clock (50% duty cycle), 15 clocks/conversion cycle (133ksp/s), 4.7µF capacitor at VREF pin, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
DC ACCURACY (Note 1)						
Resolution			10			Bits
Relative Accuracy (Note 2)		MAX192A			±1/2	LSB
		MAX192B			±1	
Differential Nonlinearity	DNL	No missing codes over temperature			±1	LSB
Offset Error					±2	LSB
Gain Error		External reference, 4.096V			±2	LSB
Gain Temperature Coefficient		External reference, 4.096V		±0.8		ppm/°C
Channel-to-Channel Offset Matching				±0.1		LSB
DYNAMIC SPECIFICATIONS (10kHz sine-wave input, 4.096Vp-p, 133ksp/s, 2.0MHz external clock)						
Signal-to-Noise + Distortion Ratio	SINAD			66		dB
Total Harmonic Distortion (up to the 5th harmonic)	THD			-70		dB
Spurious-Free Dynamic Range	SFDR			70		dB
Channel-to-Channel Crosstalk		65kHz, V _{IN} = 4.096Vp-p (Note 3)		-75		dB
Small-Signal Bandwidth		-3dB rolloff		4.5		MHz
Full-Power Bandwidth				800		kHz
CONVERSION RATE						
Conversion Time (Note 4)	t _{CONV}	Internal clock	5.5		10	µs
		External clock, 2MHz, 12 clocks/conversion	6			
Track/Hold Acquisition Time	t _{AZ}				1.5	µs
Aperture Delay				10		ns
Aperture Jitter				<50		ps
Internal Clock Frequency				1.7		MHz

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{DD} = 5V \pm 5\%$, $f_{CLK} = 2.0MHz$, external clock (50% duty cycle), 15 clocks/conversion cycle (133ksps), 4.7 μF capacitor at VREF pin, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = -25^\circ C$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
External Clock Frequency		External compensation, 4.7 μF	0.1		2.0	MHz	
		Internal compensation (Note 5)	0.1		0.4		
		Used for data transfer only		10			
ANALOG INPUT							
Analog Input Voltage (Note 6)		Common-mode range (any input)	0		V_{DD}	V	
		Single-ended range (unipolar only)	0		V_{REF}		
		Differential range	Unipolar	0			V_{REF}
			Bipolar	$-\frac{V_{REF}}{2}$			$+\frac{V_{REF}}{2}$
Multiplexer Leakage Current		On/off leakage current; $V_{IN} = 0V, 5V$		± 0.01	± 1	μA	
Input Capacitance		(Note 5)		16		pF	
INTERNAL REFERENCE (reference buffer enabled)							
VREF Output Voltage		$T_A = +25^\circ C$ (Note 7)	4.066	4.096	4.126	V	
VREF Short-Circuit Current					30	mA	
VREF Tempco				± 30		ppm/ $^\circ C$	
Load Regulation (Note 8)		0mA to 0.5mA output load		2.5		mV	
Capacitive Bypass at VREF		Internal compensation	0			μF	
		External compensation	4.7				
Capacitive Bypass at REFADJ		Internal compensation	0.01			μF	
		External compensation	0.01				
REFADJ Adjustment Range				± 1.5		%	
EXTERNAL REFERENCE AT VREF (buffer disabled, $V_{REF} = 4.096V$)							
Input Voltage Range			2.5		$V_{DD} + 50mV$	V	
Input Current				200	350	μA	
Input Resistance			12	20		k Ω	
Shutdown VREF Input Current				1.5	10	μA	
Buffer Disable Threshold REFADJ			$V_{DD} - 50mV$			V	
EXTERNAL REFERENCE AT REFADJ							
Capacitive Bypass at VREF		Internal compensation mode	0			μF	
		External compensation mode	4.7				
Reference-Buffer Gain				1.678		V/V	
REFADJ Input Current					± 50	μA	

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{DD} = 5V \pm 5%$, $f_{CLK} = 2.0MHz$, external clock (50% duty cycle), 15 clocks/conversion cycle (133ksps), 4.7 μF capacitor at VREF pin, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = -25^\circ C$.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
DIGITAL INPUTS (DIN, SCLK, \overline{CS}, \overline{SHDN})						
DIN, SCLK, \overline{CS} Input High Voltage	V_{INH}		2.4			V
DIN, SCLK, \overline{CS} Input Low Voltage	V_{INL}				0.8	V
DIN, SCLK, \overline{CS} Input Hysteresis	V_{HYST}			0.15		V
DIN, SCLK, \overline{CS} Input Leakage	I_{IN}	$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}			± 1	μA
DIN, SCLK, \overline{CS} Input Capacitance	C_{IN}	(Note 5)			15	pF
\overline{SHDN} Input High Voltage	V_{INH}		$V_{DD} - 0.5$			V
\overline{SHDN} Input Low Voltage	V_{INL}				0.5	V
\overline{SHDN} Input Current, High	I_{INH}	$\overline{SHDN} = V_{DD}$			4.0	μA
\overline{SHDN} Input Current, Low	I_{INL}	$\overline{SHDN} = 0V$	-4.0			μA
\overline{SHDN} Input Mid Voltage	V_{IM}		1.5		$V_{DD} - 1.5$	V
\overline{SHDN} Voltage, Floating	V_{FLT}	$\overline{SHDN} = \text{open}$		2.75		V
\overline{SHDN} Max Allowed Leakage, Mid Input		$\overline{SHDN} = \text{open}$	-100		100	nA
DIGITAL OUTPUTS (DOUT, \overline{SSTRB})						
Output Voltage Low	V_{OL}	$I_{SINK} = 5mA$			0.4	V
		$I_{SINK} = 16mA$		0.3		
Output Voltage High	V_{OH}	$I_{SOURCE} = 1mA$	4			V
Three-State Leakage Current	I_L	$\overline{CS} = 5V$			± 10	μA
Three-State Leakage Capacitance	C_{OUT}	$\overline{CS} = 5V$ (Note 5)			15	pF
POWER REQUIREMENTS						
Positive Supply Voltage	V_{DD}			$5 \pm 5\%$		V
Positive Supply Current	I_{DD}	Operating mode		1.5	2.5	μA
		Fast power-down		30	70	
		Full power-down		2	10	
Positive Supply Rejection (Note 9)	PSR	$V_{DD} = 5V \pm 5\%$, external reference, 4.096V, full-scale input		± 0.06	± 0.5	mV

Note 1: Tested at $V_{DD} = 5.0V$; single-ended, unipolar.

Note 2: Relative accuracy is the deviation of the analog value at any code from its theoretical value after the full-scale range has been calibrated.

Note 3: Grounded on-channel; sine wave applied to all off channels.

Note 4: Conversion time defined as the number of clock cycles times the clock period; clock has 50% duty cycle.

Note 5: Guaranteed by design. Not subject to production testing.

Note 6: The common-mode range for the analog inputs is from AGND to V_{DD} .

Note 7: Sample tested to 0.1% AQL.

Note 8: External load should not change during conversion for specified accuracy.

Note 9: Measured at $V_{SUPPLY} \pm 5\%$ and $V_{SUPPLY} - 5\%$ only.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

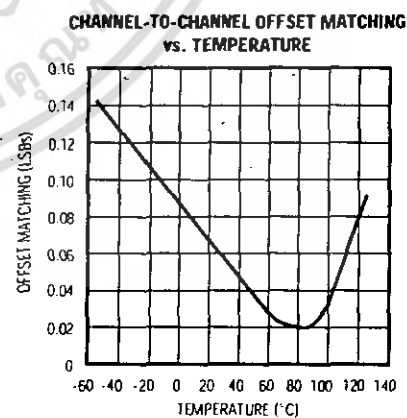
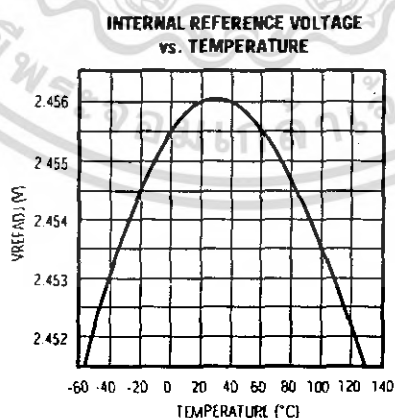
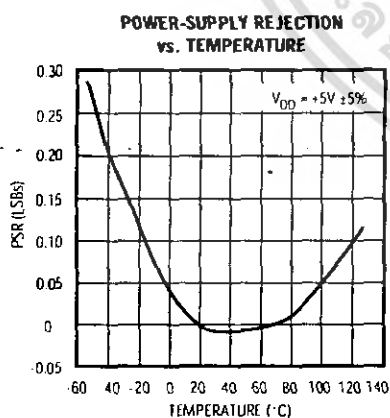
TIMING CHARACTERISTICS

($V_{DD} = 5V \pm 5\%$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Acquisition Time	tAZ		1.5			μ s
DIN to SCLK Setup	tDS		100			ns
DIN to SCLK Hold	tDH				0	ns
SCLK Fall to Output Data Valid	tDO	$C_{LOAD} = 100\text{pF}$	20		150	ns
\overline{CS} Fall to Output Enable	tDV	$C_{LOAD} = 100\text{pF}$			100	ns
\overline{CS} Rise to Output Disable	tDR	$C_{LOAD} = 100\text{pF}$			100	ns
\overline{CS} to SCLK Rise Setup	tCSS		100			ns
\overline{CS} to SCLK Rise Hold	tCSH		0			ns
SCLK Pulse Width High	tCH		200			ns
SCLK Pulse Width Low	tCL		200			ns
SCLK Fall to SSTRB	tSSTRB	$C_{LOAD} = 100\text{pF}$			200	ns
\overline{CS} Fall to SSTRB Output Enable (Note 5)	tSDV	External clock mode only, $C_{LOAD} = 100\text{pF}$			200	ns
\overline{CS} Rise to SSTRB Output Disable (Note 5)	tSTR	External clock mode only, $C_{LOAD} = 100\text{pF}$			200	ns
SSTRB Rise to SCLK Rise (Note 5)	tSCK	Internal clock mode only	0			ns

Note 5: Guaranteed by design. Not subject to production testing.

Typical Operating Characteristics



Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADCs

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1-8	CH0-CH7	Sampling Analog Inputs
9, 13	AGND	Analog Ground. Also IN- Input for single-enabled conversions. Connect both AGND pins to analog ground.
10	SHDN	Three-Level Shutdown Input. Pulling SHDN low shuts the MAX192 down to 10 μ A (max) supply current, otherwise the MAX192 is fully operational. Pulling SHDN high puts the reference-buffer amplifier in internal compensation mode. Letting SHDN float puts the reference-buffer amplifier in external compensation mode.
11	VREF	Reference Voltage for analog-to-digital conversion. Also, Output of the Reference Buffer Amplifier. Add a 4.7 μ F capacitor to ground when using external compensation mode. Also functions as an input when used with a precision external reference.
12	REFADJ	Reference-Buffer Amplifier Input. To disable the reference-buffer amplifier, tie REFADJ to VDD.
14	DGND	Digital Ground
15	DOUT	Serial Data Output. Data is clocked out at the falling edge of SCLK. High impedance when CS is high.
16	SSTRB	Serial Strobe Output. In internal clock mode, SSTRB goes low when the MAX192 begins the A/D conversion and goes high when the conversion is done. In external clock mode, SSTRB pulses high for one clock period before the MSB decision. SSTRB is high impedance when CS is high (external mode).
17	DIN	Serial Data Input. Data is clocked in at the rising edge of SCLK.
18	CS	Active-Low Chip Select. Data will not be clocked into DIN unless CS is low. When CS is high, DOUT is high impedance.
19	SCLK	Serial Clock Input. Clocks data in and out of serial interface. In external clock mode, SCLK also sets the conversion speed. (Duty cycle must be 40% to 60% in external clock mode.)
20	VDD	Positive Supply Voltage, +5V \pm 5%

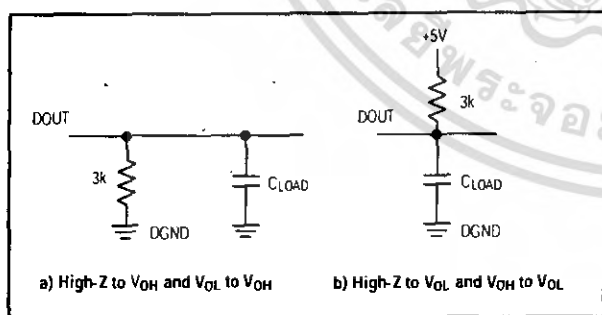


Figure 1. Load Circuits for Enable Time

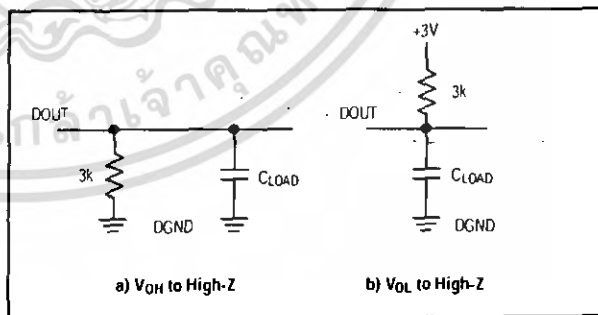


Figure 2. Load Circuits for Disabled Time

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

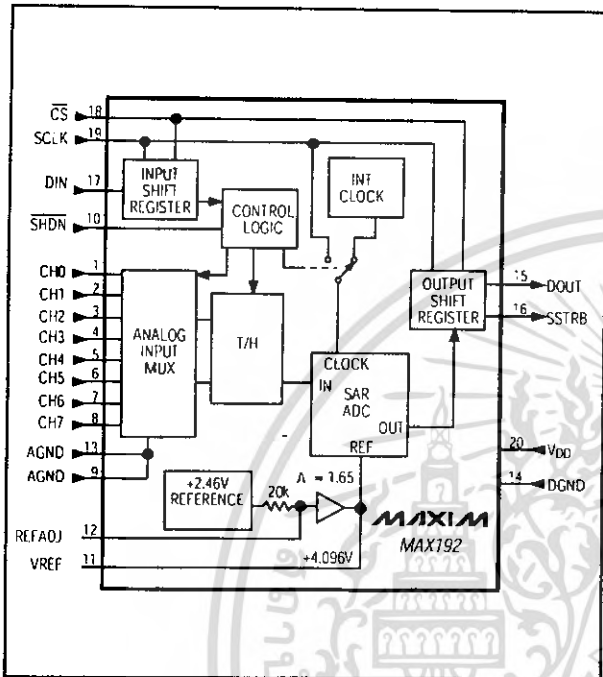


Figure 3. Block Diagram

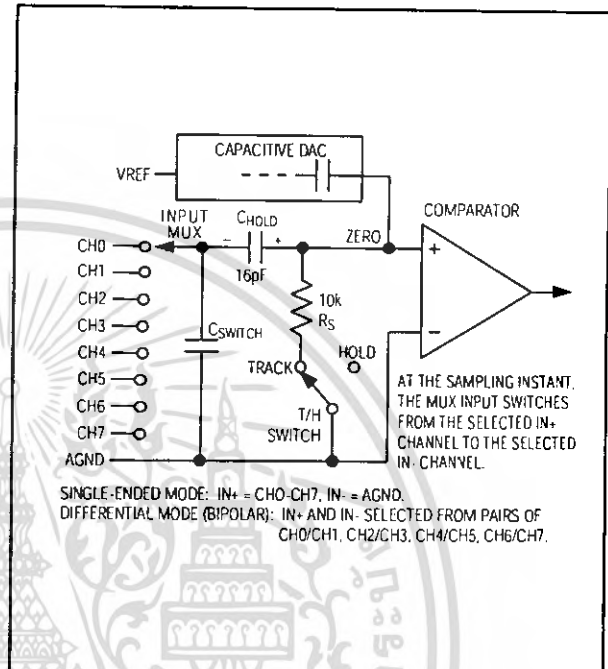


Figure 4. Equivalent Input Circuit

Detailed Description

The MAX192 uses a successive-approximation conversion technique and input track/hold (T/H) circuitry to convert an analog signal to a 10-bit digital output. A flexible serial interface provides easy interface to microprocessors. No external hold capacitors are required. Figure 3 shows the block diagram for the MAX192.

Pseudo-Differential Input

The sampling architecture of the ADC's analog comparator is illustrated in the Equivalent Input Circuit (Figure 4). In single-ended mode, IN+ is internally switched to CH0-CH7 and IN- is switched to AGND. In differential mode, IN+ and IN- are selected from pairs of CH0/CH1, CH2/CH3, CH4/CH5, and CH6/CH7. Refer to Tables 1 and 2 to configure the channels.

In differential mode, IN- and IN+ are internally switched to either one of the analog inputs. This configuration is pseudo-differential to the effect that only the signal at IN+ is sampled. The return side (IN-) must remain stable within $\pm 0.5\text{LSB}$ ($\pm 0.1\text{LSB}$ for best results) with

respect to AGND during a conversion. Accomplish this by connecting a $0.1\mu\text{F}$ capacitor from AIN- (the selected analog input, respectively) to AGND.

During the acquisition interval, the channel selected as the positive input (IN+) charges capacitor CHOLD. The acquisition interval spans three SCLK cycles and ends on the falling SCLK edge after the last bit of the input control word has been entered. At the end of the acquisition interval, the T/H switch opens, retaining charge on CHOLD as a sample of the signal at IN+.

The conversion interval begins with the input multiplexer switching CHOLD from the positive input (IN+) to the negative input (IN-). In single-ended mode, IN- is simply AGND. This unbalances node ZERO at the input of the comparator. The capacitive DAC adjusts during the remainder of the conversion cycle to restore its node ZERO to 0V within the limits of its resolution. This action is equivalent to transferring a charge of $16\text{pF} \times (V_{\text{IN}+} - V_{\text{IN}-})$ from CHOLD to the binary-weighted capacitive DAC, which in turn forms a digital representation of the analog input signal.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

Track/Hold

The T/H enters its tracking mode on the falling clock edge after the fifth bit of the 8-bit control word has been shifted in. The T/H enters its hold mode on the falling clock edge after the eighth bit of the control word has been shifted in. If the converter is set up for single-ended inputs, IN- is connected to AGND, and the converter samples the "+" input. If the converter is set up for differential inputs, IN- connects to the "-" input, and the difference of $|IN+ - IN-|$ is sampled. At the end of the conversion, the positive input connects back to IN+, and CHOLD charges to the input signal.

The time required for the T/H to acquire an input signal is a function of how quickly its input capacitance is charged. If the input signal's source impedance is high, the acquisition time lengthens and more time must be allowed between conversions. Acquisition time is calculated by:

$$t_{AZ} = 9 (R_S + R_{IN}) 16pF$$

where $R_{IN} = 5k\Omega$, R_S = the source impedance of the input signal, and t_{AZ} is never less than $1.5\mu s$. Note that source impedances below $5k\Omega$ do not significantly affect the AC performance of the ADC. Higher source impedances can be used if an input capacitor is connected to the analog inputs, as shown in Figure 5. Note that the input capacitor forms an RC filter with the input source impedance, limiting the ADC's signal bandwidth.

Input Bandwidth

The ADC's input tracking circuitry has a 4.5MHz small-signal bandwidth, so it is possible to digitize high-speed transient events and measure periodic signals with bandwidths exceeding the ADC's sampling rate by using undersampling techniques. To avoid high-frequency signals being aliased into the frequency

band of interest, anti-alias filtering is recommended. See the data sheets for the MAX291-MAX297 filters.

Analog Input Range and Input Protection

Internal protection diodes, which clamp the analog input to V_{DD} and AGND, allow the channel input pins to swing from $AGND - 0.3V$ to $V_{DD} + 0.3V$ without damage. However, for accurate conversions near full scale, the inputs must not exceed V_{DD} by more than 50mV, or be lower than AGND by 50mV.

If the analog input exceeds 50mV beyond the supplies, do not forward bias the protection diodes of off channels over 2mA.

The MAX192 can be configured for differential (unipolar or bipolar) or single-ended (unipolar only) inputs, as selected by bits 2 and 3 of the control byte (Table 3).

In the single-ended mode, set the UNI/BIP bit to unipolar. In this mode, analog inputs are internally referenced to AGND, with a full-scale input range from 0V to V_{REF} .

In differential mode, both unipolar and bipolar settings can be used. Choosing unipolar mode sets the differential input range at 0V to V_{REF} . The output code is invalid (code zero) when a negative differential input voltage is applied. Bipolar mode sets the differential input range to $\pm V_{REF} / 2$. Note that in this differential mode, the common-mode input range includes both supply rails. Refer to Tables 4a and 4b for input voltage ranges.

Quick Look

To evaluate the analog performance of the MAX192 quickly, use Figure 5's circuit. The MAX192 requires a control byte to be written to DIN before each conversion. Tying DIN to +5V feeds in control bytes of

Table 1. Channel Selection in Single-Ended Mode (SGL/DIF = 1)

SEL2	SEL1	SEL0	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	AGND
0	0	0	+								-
1	0	0		+							-
0	0	1			+						-
1	0	1				+					-
0	1	0					+				-
1	1	0						+			-
0	1	1							+		-
1	1	1								+	-

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

Table 2. Channel Selection in Differential Mode (SGL/DIF = 0)

SEL2	SEL1	SEL0	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7
0	0	0	+	-						
0	0	1			+	-				
0	1	0					+	-		
0	1	1							+	-
1	0	0	-	+						
1	0	1			-	+				
1	1	0					-	+		
1	1	1							-	+

Table 3. Control-Byte Format

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0 (LSB)
START	SEL2	SEL1	SEL0	UNI/BIP	SGL/DIF	PD1	PD0
Bit	Name	Description					
7(MSB)	START	The first logic "1" bit after \overline{CS} goes low defines the beginning of the control byte.					
6	SEL2	These three bits select which of the eight channels are used for the conversion. See Tables 1 and 2.					
5	SEL1						
4	SEL0						
3	UNI/BIP	1 = unipolar, 0 = bipolar. Selects unipolar or bipolar conversion mode. In unipolar mode, an analog input signal from 0V to VREF can be converted; in differential bipolar mode, the differential signal can range from $-VREF / 2$ to $+VREF / 2$. Select differential operation if bipolar mode is used.					
2	SGL/DIF	1 = single ended, 0 = differential. Selects single-ended or differential conversions. In single-ended mode, input signal voltages are referred to AGND. In differential mode, the voltage difference between two channels is measured. Select unipolar operation if single-ended mode is used. See Tables 1 and 2.					
1	PD1	Selects clock and power-down modes.					
0(LSB)	PD0		PD1	PD0	Mode		
			0	0	Full power-down ($I_Q = 2\mu A$)		
			0	1	Fast power-down ($I_Q = 30\mu A$)		
			1	0	Internal clock mode		
		1	1	External clock mode			

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

Table 4a. Unipolar Full Scale and Zero Scale

REFERENCE		ZERO SCALE	FULL SCALE
Internal Reference		0V	-4.096V
External Reference	at REFADJ	0V	VREFADJ (1.678)
	at VREF	0V	VREF

Table 4b. Differential Bipolar Full Scale, Zero Scale, and Negative Full Scale

REFERENCE		NEGATIVE FULL SCALE	ZERO SCALE	FULL SCALE
Internal Reference		-4.096V / 2	0V	+4.096V / 2
External Reference	at REFADJ	-1/2VREFADJ (1.678)	0V	+1/2VREFADJ (1.678)
	at VREF	-1/2VREF	0V	+1/2VREF

\$FF (HEX), which trigger single-ended conversions on CH7 in external clock mode without powering down between conversions. In external clock mode, the SSTRB output pulses high for one clock period before the most significant bit of the conversion result comes out of DOUT. Varying the analog input to CH7 should alter the sequence of bits from DOUT. A total of 15 clock cycles is required per conversion. All transitions of the SSTRB and DOUT outputs occur on the falling edge of SCLK.

How to Start a Conversion

A conversion is started on the MAX192 by clocking a control byte into DIN. Each rising edge on SCLK, with CS low, clocks a bit from DIN into the MAX192's internal shift register. After CS falls, the first arriving logic "1" bit defines the MSB of the control byte. Until this first "start" bit arrives, any number of logic "0" bits can be clocked into DIN with no effect. Table 3 shows the control-byte format.

The MAX192 is compatible with Microwire, SPI, and QSPI devices. For SPI, select the correct clock polarity and sampling edge in the SPI control registers: set CPOL = 0 and CPHA = 0. Microwire and SPI both transmit a byte and receive a byte at the same time. Using the *Typical Operating Circuit*, the simplest software interface requires only three 8-bit transfers to perform a conversion (one 8-bit transfer to configure the ADC, and two more 8-bit transfers to clock out the 12-bit conversion result).

Example: Simple Software Interface

Make sure the CPU's serial interface runs in master mode so the CPU generates the serial clock. Choose a clock frequency from 100kHz to 2MHz.

- 1) Set up the control byte for external clock mode, call it TB1. TB1 should be of the format: 1XXXXX11 binary, where the Xs denote the particular channel and conversion-mode selected.
- 2) Use a general-purpose I/O line on the CPU to pull CS on the MAX192 low.
- 3) Transmit TB1 and simultaneously receive a byte and call it RB1. Ignore RB1.
- 4) Transmit a byte of all zeros (\$00 HEX) and simultaneously receive byte RB2.
- 5) Transmit a byte of all zeros (\$00 HEX) and simultaneously receive byte RB3.
- 6) Pull CS on the MAX192 high.

Figure 6 shows the timing for this sequence. Bytes RB2 and RB3 will contain the result of the conversion padded with one leading zero, two sub-LSB bits, and three trailing zeros. The total conversion time is a function of the serial clock frequency and the amount of dead time between 8-bit transfers. Make sure that the total conversion time does not exceed 120µs, to avoid excessive T/H droop.

Digital Output

In unipolar input mode, the output is straight binary (Figure 15). For bipolar inputs in differential mode, the output is two's-complement (Figure 16). Data is clocked out at the falling edge of SCLK in MSB-first format.

Internal and External Clock Modes

The MAX192 may use either an external serial clock or the internal clock to perform the successive-approximation conversion. In both clock modes, the external clock shifts data in and out of the MAX192. The T/H acquires the input signal as the last three bits of the control byte are clocked into DIN. Bits PD1 and PD0 of the control byte program the clock mode. Figures 7 through 10 show the timing characteristics common to both modes.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

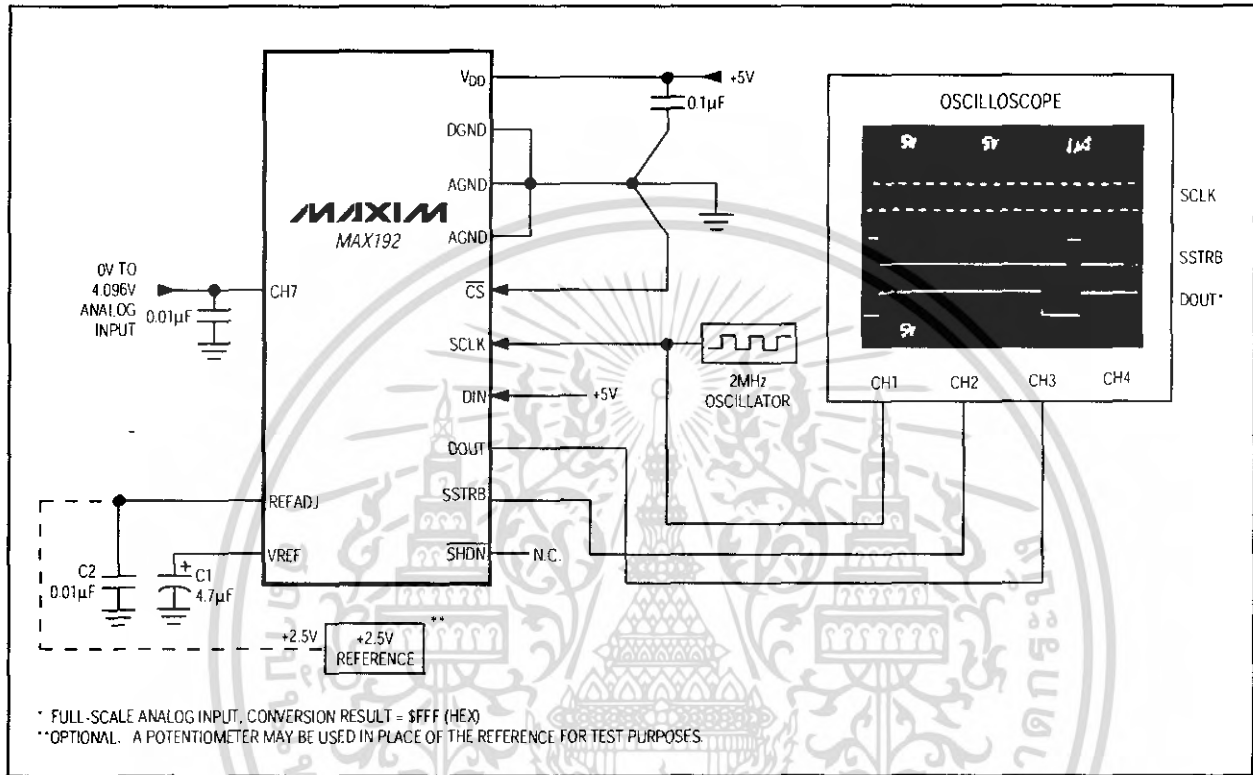


Figure 5. Quick-Look Circuit

External Clock

In external clock mode, the external clock not only shifts data in and out, it also drives the analog-to-digital conversion steps. SSTRB pulses high for one clock period after the last bit of the control byte. Successive-approximation bit decisions are made and appear at DOUT on each of the next 12 SCLK falling edges (see Figure 6). The first 10 bits are the true data bits, and the last two are sub-LSB bits.

SSTRB and DOUT go into a high-impedance state when CS goes high; after the next CS falling edge, SSTRB will output a logic low. Figure 8 shows the SSTRB timing in external clock mode.

The conversion must complete in some minimum time, or else droop on the sample-and-hold capacitors may degrade conversion results. Use internal clock mode if the clock period exceeds 10µs, or if serial-clock interruptions could cause the conversion interval to exceed 120µs.

Internal Clock

In internal clock mode, the MAX192 generates its own conversion clock internally. This frees the microprocessor from the burden of running the SAR conversion clock, and allows the conversion results to be read back at the processor's convenience, at any clock rate from zero to typically 10MHz. SSTRB goes low at the start of the conversion and then goes high when the conversion is complete. SSTRB will be low for a maximum of 10µs, during which time SCLK should remain low for best noise performance. An internal register stores data when the conversion is in progress. SCLK clocks the data out at this register at any time after the conversion is complete. After SSTRB goes high, the next falling clock edge will produce the MSB of the conversion at DOUT, followed by the remaining bits in MSB-first format (Figure 9). CS does not need to be held low once a conversion is started.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

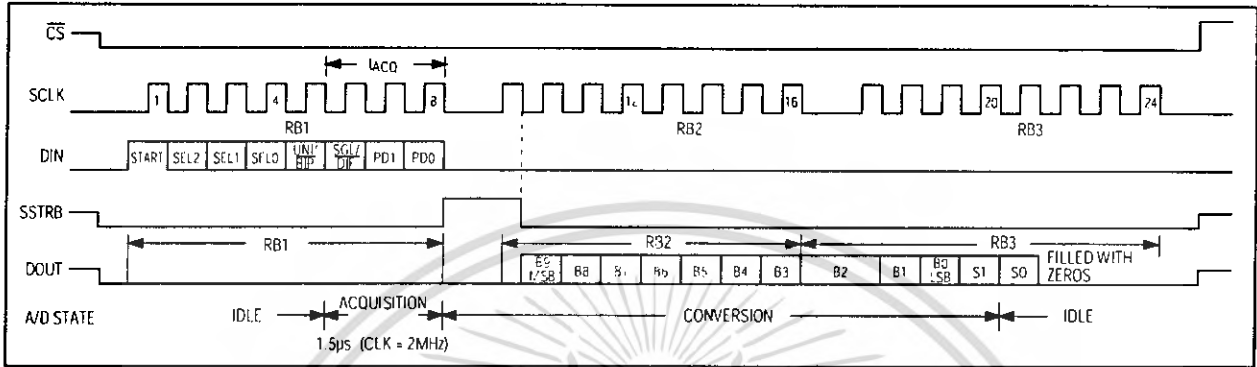


Figure 6. 24-Bit External Clock Mode Conversion Timing (SPI, QSPI and Microwire Compatible)

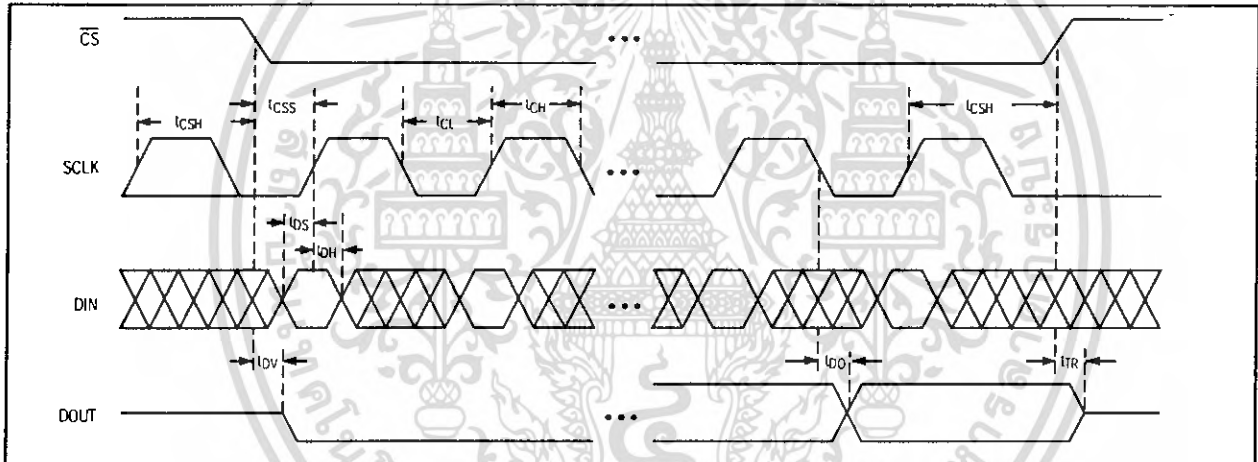


Figure 7. Detailed Serial-Interface Timing

Pulling \overline{CS} high prevents data from being clocked into the MAX192 and three-states DOUT, but it does not adversely affect an internal clock-mode conversion already in progress. When internal clock mode is selected, SSTRB does not go into a high-impedance state when \overline{CS} goes high.

Figure 10 shows the SSTRB timing in internal clock mode. In internal clock mode, data can be shifted in and out of the MAX192 at clock rates exceeding 4.0MHz, provided that the minimum acquisition time, t_{AZ} , is kept above 1.5µs.

Data Framing

The falling edge of \overline{CS} does **not** start a conversion on the MAX192. The first logic high clocked into DIN is interpreted as a start bit and defines the first bit of the control byte. A conversion starts on the falling edge of SCLK,

after the eighth bit of the control byte (the PDD bit) is clocked into DIN. The start bit is defined as:

- The first high bit clocked into DIN with \overline{CS} low any-time the converter is idle, e.g. after V_{DD} is applied.

OR

- The first high bit clocked into DIN after bit 3 of a conversion in progress is clocked onto the DOUT pin.

If a falling edge on \overline{CS} forces a start bit before bit 3 (B3) becomes available, then the current conversion will be terminated and a new one started. Thus, the fastest the MAX192 can run is 15 clocks per conversion. Figure 11a shows the serial-interface timing necessary to perform a conversion every 15 SCLK cycles in external clock mode. If \overline{CS} is low and SCLK is continuous, guarantee a start bit by first clocking in 16 zeros.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

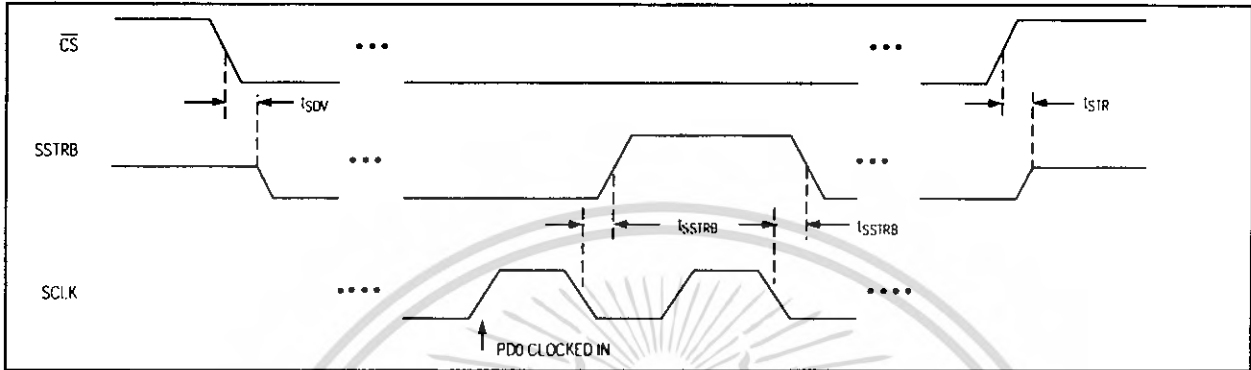


Figure 8. External Clock Mode SSTRB Detailed Timing

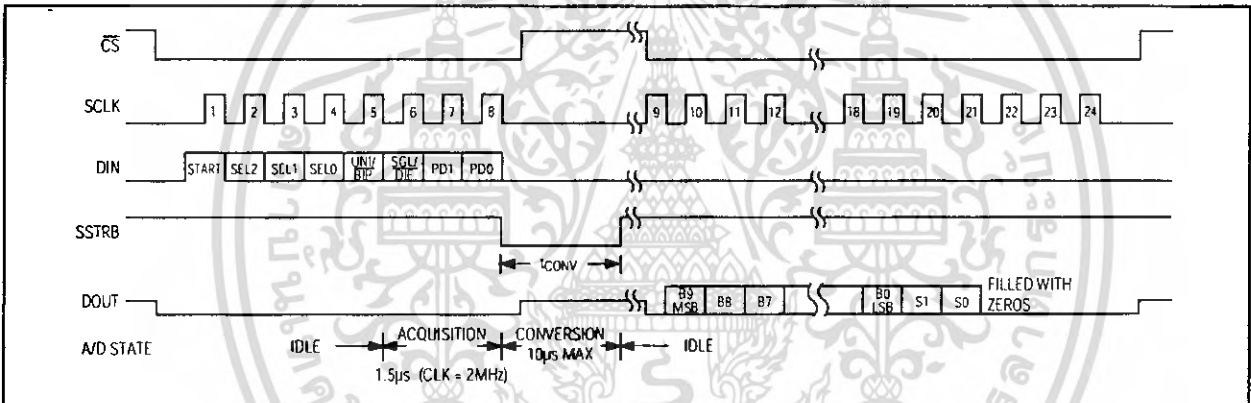


Figure 9. Internal Clock Mode Timing

Most microcontrollers require that conversions occur in multiples of 8 SCLK clocks; 16 clocks per conversion will typically be the fastest that a microcontroller can drive the MAX192. Figure 11b shows the serial-interface timing necessary to perform a conversion every 16 SCLK cycles in external clock mode.

Applications Information

Power-On Reset

When power is first applied and if SHDN is not pulled low, internal power-on reset circuitry will activate the MAX192 in internal clock mode, ready to convert with SSTRB = high. After the power supplies have been stabilized, the internal reset time is 100µs and no conversions should be performed during this phase. SSTRB is high on power-up and, if CS is low, the first logical 1 on DIN will be interpreted as a start bit. Until a conversion takes place, DOUT will shift out zeros.

Reference-Buffer Compensation

In addition to its shutdown function, the SHDN pin also selects internal or external compensation. The compensation affects both power-up time and maximum conversion speed. Compensated or not, the minimum clock rate is 100kHz due to droop on the sample-and-hold.

To select external compensation, float SHDN. See the *Typical Operating Circuit*, which uses a 4.7µF capacitor at VREF. A value of 4.7µF or greater ensures stability and allows operation of the converter at the full clock speed of 2MHz. External compensation increases power-up time (see the *Choosing Power-Down Mode* section, and Table 5).

Internal compensation requires no external capacitor at VREF, and is selected by pulling SHDN high. Internal compensation allows for shortest power-up times, but is only available using an external clock and reduces the maximum clock rate to 400kHz.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

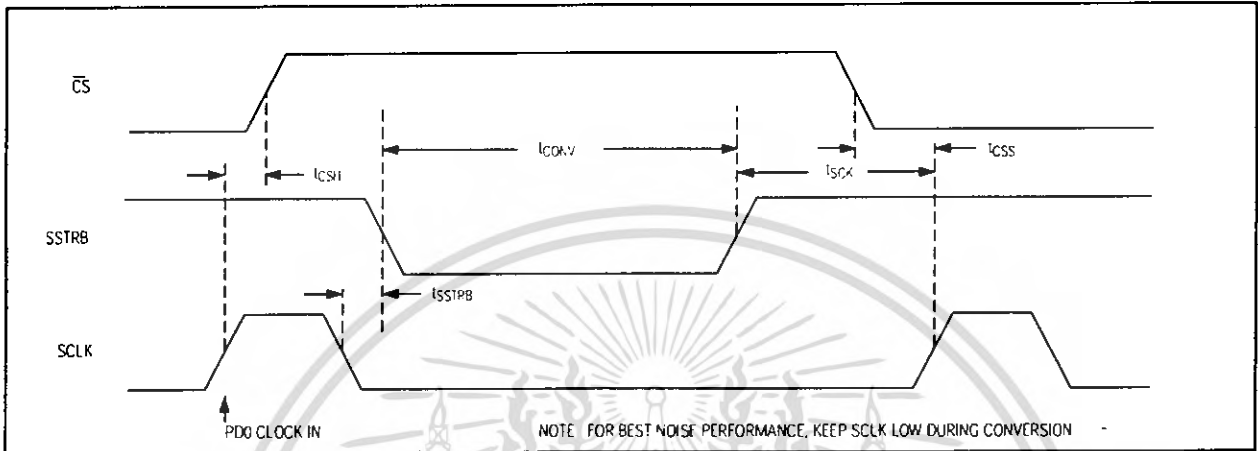


Figure 10. Internal Clock Mode SSTRB Detailed Timing

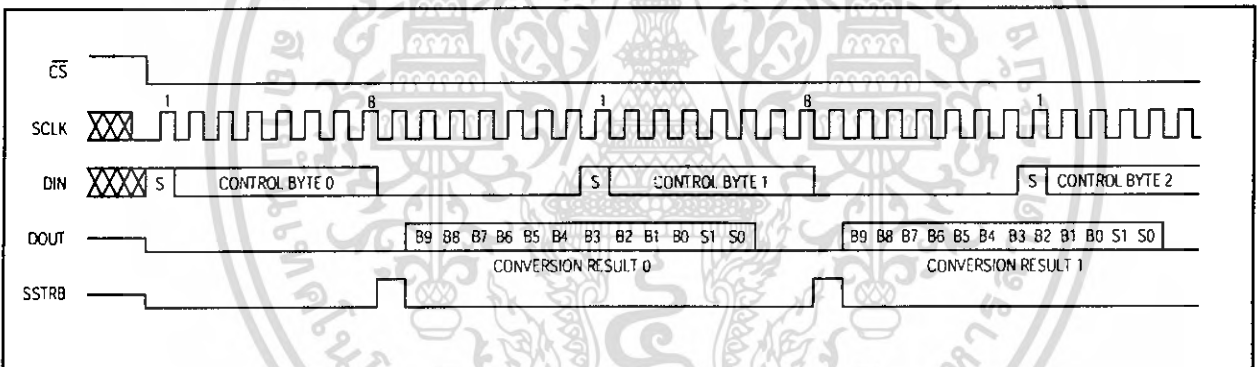


Figure 11a. External Clock Mode, 15 Clocks/Conversion Timing

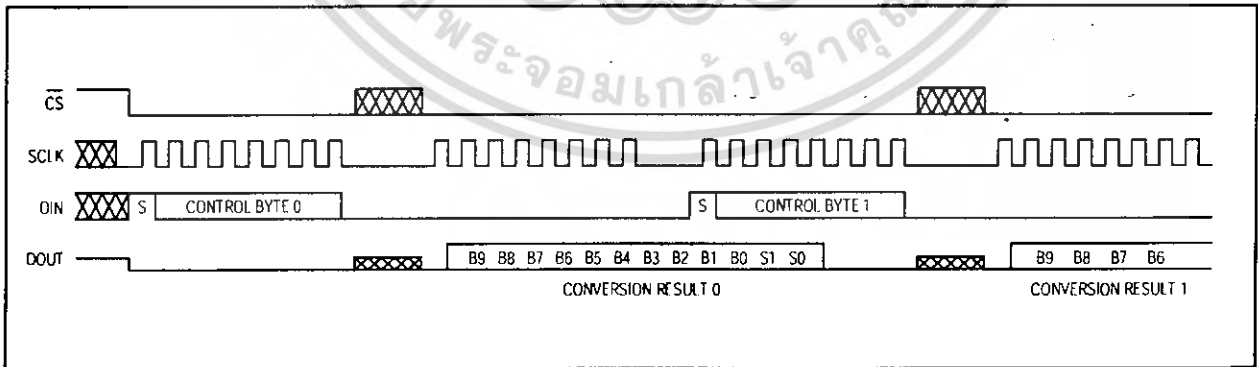


Figure 11b. External Clock Mode, 16 Clocks/Conversion Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

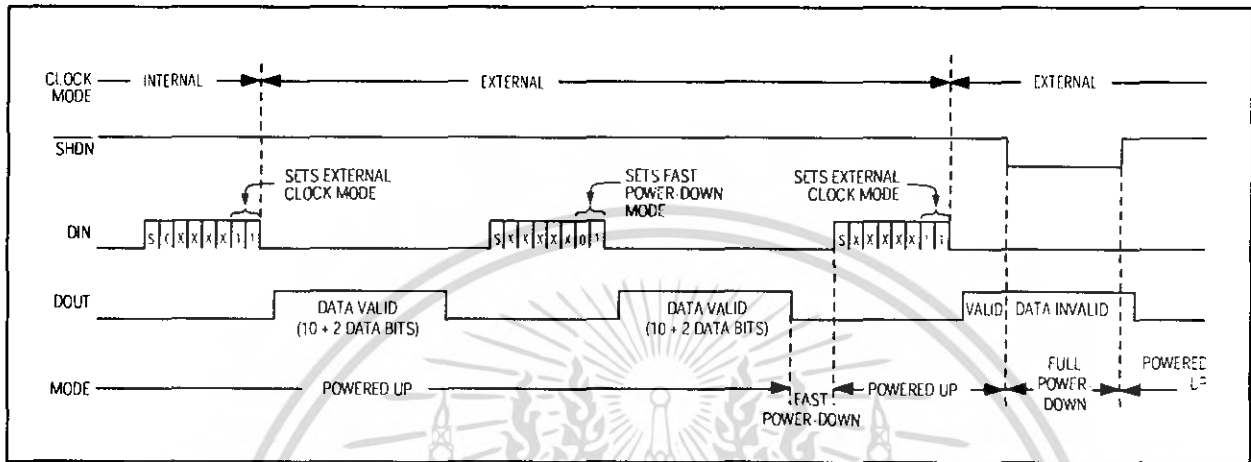


Figure 12a. Timing Diagram Power-Down Modes, External Clock

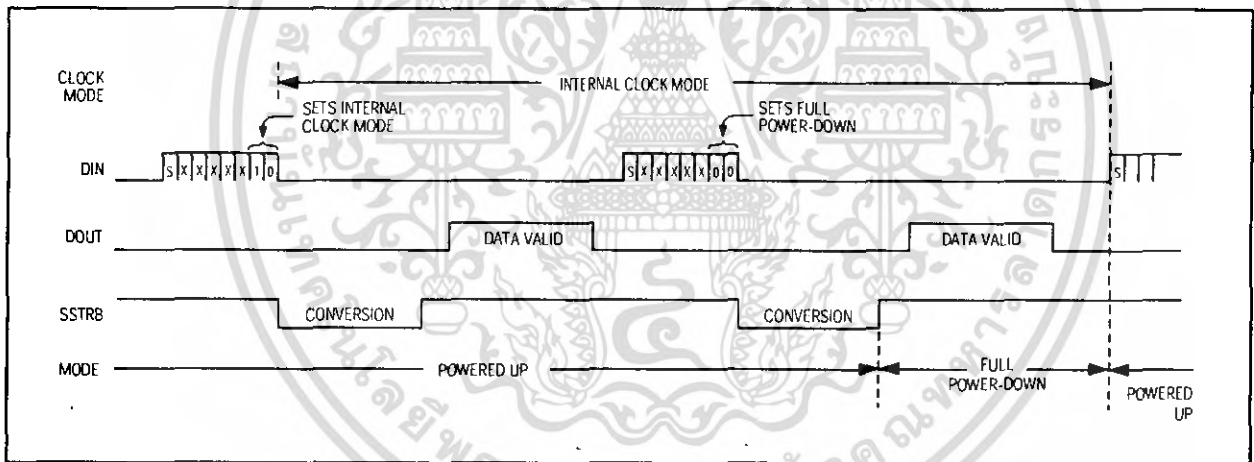


Figure 12b. Timing Diagram Power-Down Modes, Internal Clock

Power-Down

Choosing Power-Down Mode

You can save power by placing the converter in a low-current shutdown state between conversions. Select full power-down or fast power-down mode via bits 1 and 0 of the DIN control byte with $\overline{\text{SHDN}}$ either high or floating (see Tables 3 and 6). Pull $\overline{\text{SHDN}}$ low at any time to shut down the converter completely. $\overline{\text{SHDN}}$ overrides bits 1 and 0 of DIN word (see Table 7).

Full power-down mode turns off all chip functions that draw quiescent current, typically reducing I_{DD} to 2 μA .

Fast power-down mode turns off all circuitry except the bandgap reference. With the fast power-down mode, the supply current is 30 μA . Power-up time can be shortened to 5 μs in internal compensation mode.

In both software shutdown modes, the serial interface remains operational, however, the ADC will not convert. Table 5 illustrates how the choice of reference-buffer compensation and power-down mode affects both power-up delay and maximum sample rate.

In external compensation mode, the power-up time is 20ms with a 4.7 μF compensation capacitor when the capacitor is fully discharged. In fast power-down, you can eliminate start-up time by using low-leakage capaci-

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

Table 5. Worst-Case Power-Up Delay Times

Reference Buffer	Reference-Buffer Compensation Mode	VREF Capacitor (μF)	Power-Down Mode	Power-Up Delay (sec)	Maximum Sampling Rate (ksps)
Enabled	Internal		Fast	5 μ	26
Enabled	Internal		Full	300 μ	26
Enabled	External	4.7	Fast	See Figure 14c	133
Enabled	External	4.7	Full	See Figure 14c	133
Disabled			Fast	2 μ	133
Disabled			Full	2 μ	133

Table 6. Software Shutdown and Clock Mode

PD1	PD0	Device Mode
1	1	External Clock Mode
1	0	Internal Clock Mode
0	1	Fast Power-Down Mode
0	0	Full Power-Down Mode

Table 7. Hard-Wired Shutdown and Compensation Mode

SHDN State	Device Mode	Reference-Buffer Compensation
1	Enabled	Internal Compensation
Floating	Enabled	External Compensation
0	Full Power-Down	N/A

tors that will not discharge more than 1/2LSB while shut down. In shutdown, the capacitor has to supply the current into the reference (1.5 μA typ) and the transient currents at power-up.

Figures 12a and 12b illustrate the various power-down sequences in both external and internal clock modes.

Software Power-Down

Software power-down is activated using bits PD1 and PD0 of the control byte. As shown in Table 6, PD1 and PD0 also specify the clock mode. When software shutdown is asserted, the ADC will continue to operate in the last specified clock mode until the conversion is complete. Then the ADC powers down into a low quiescent-current state. In internal clock mode, the interface remains active and conversion results may be clocked out while the MAX192 has already entered a software power-down.

The first logical 1 on DIN will be interpreted as a start bit, and powers up the MAX192. Following the start bit, the data input word or control byte also determines clock and power-down modes. For example, if the DIN word contains PD1 = 1, then the chip will remain powered up. If PD1 = 0, a power-down will resume after one conversion.

Hardware Power-Down

The SHDN pin places the converter into the full power-down mode. Unlike with the software shutdown modes, conversion is not completed. It stops coincidentally with SHDN being brought low. There is no power-up delay if an external reference is used and is not shut down. The SHDN pin also selects internal or external reference compensation (see Table 7).

Power-Down Sequencing

The MAX192 auto power-down modes can save considerable power when operating at less than maximum sample rates. The following discussion illustrates the various power-down sequences.

Lowest Power at up to 500 Conversions/Channel/Second

The following examples illustrate two different power-down sequences. Other combinations of clock rates, compensation modes, and power-down modes may give lowest power consumption in other applications.

Figure 14a depicts the MAX192 power consumption for one or eight channel conversions utilizing full power-down mode and internal reference compensation. A 0.01 μF bypass capacitor at REFADJ forms an

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

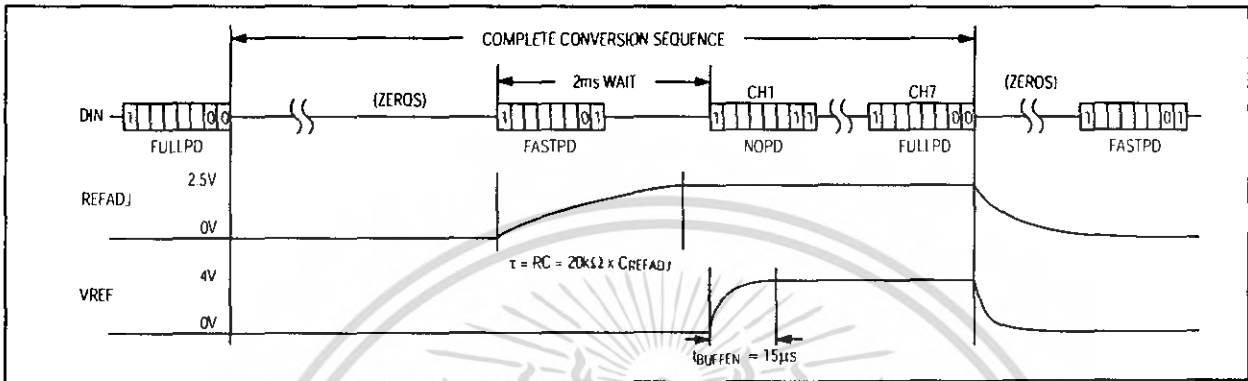


Figure 13. FULLPD/FASTPD Power-Up Sequence

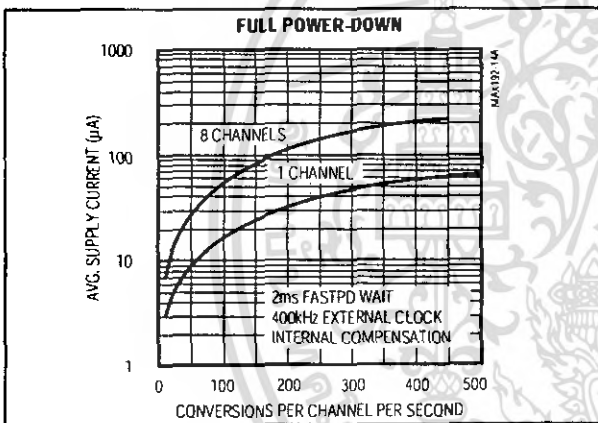


Figure 14a. Supply Current vs. Sample Rate/Second, FULLPD, 400kHz Clock

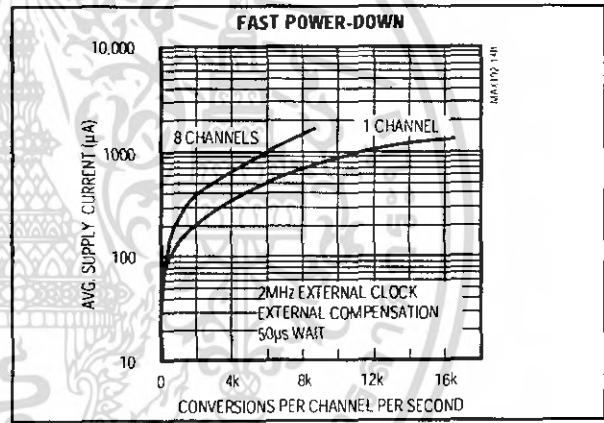


Figure 14b. Supply Current vs. Sample Rate/Second, FASTPD, 2MHz Clock

RC filter with the internal 20kΩ reference resistor with a 0.2ms time constant. To achieve full 10-bit accuracy, 10 time constants or 2ms are required after power-up. Waiting 2ms in FASTPD mode instead of full power-up will reduce the power consumption by a factor of 10 or more. This is achieved by using the sequence shown in Figure 13.

Lowest Power at Higher Throughputs

Figure 14b shows the power consumption with external-reference compensation in fast power-down, with one and eight channels converted. The external 4.7μF compensation requires a 50μs wait after power-up, accomplished by 75 idle clocks after a dummy conversion. This circuit combines fast multi-channel conversion with lowest power consumption possible. Full power-down mode may provide increased power savings in applications where the

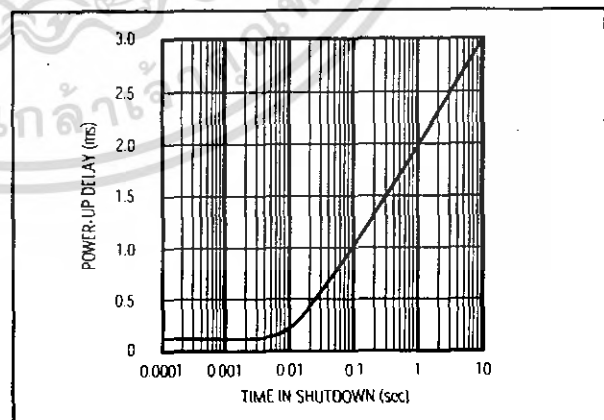


Figure 14c. Typical Power-Up Delay vs. Time in Shutdown

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

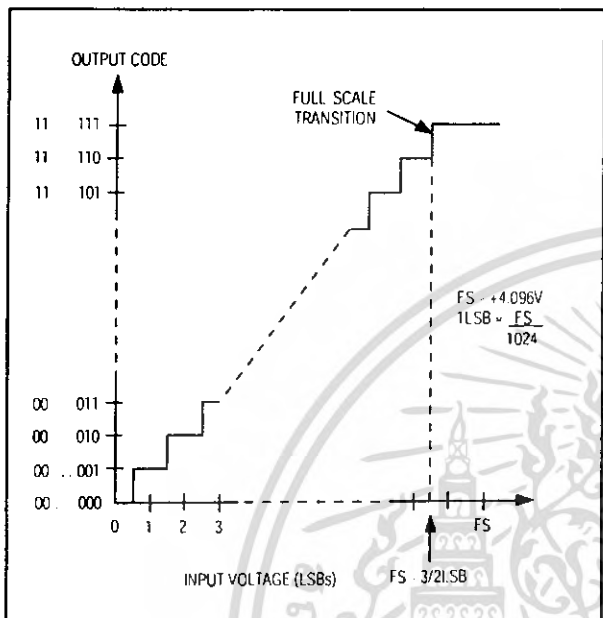


Figure 15. Unipolar Transfer Function. 4.096V = Full Scale

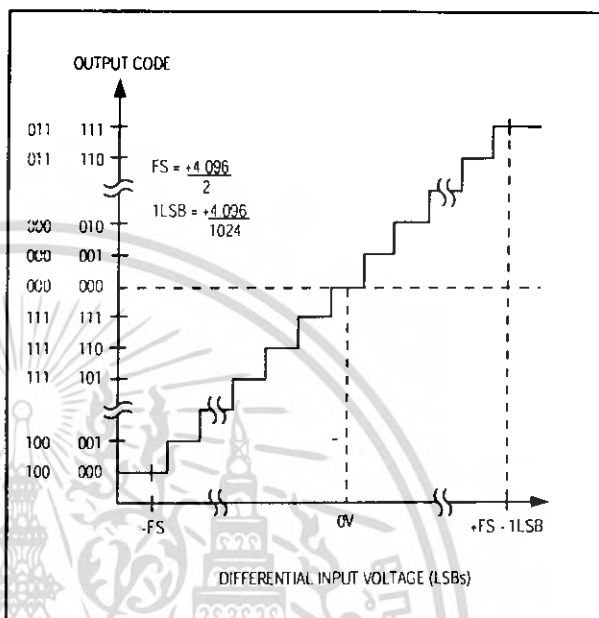


Figure 16. Differential Bipolar Transfer Function. $\pm 4.096V/2 = \text{Full Scale}$

MAX192 is inactive for long periods of time, but where intermittent bursts of high-speed conversions are required.

External and Internal References

The MAX192 can be used with an internal or external reference. Diode D1 shown in the *Typical Operating Circuit* ensures correct start-up. Any standard signal diode can be used. An external reference can either be connected directly at the VREF terminal or at the REFADJ pin.

The MAX192's internally trimmed 2.46V reference is buffered with a gain of 1.678 to scale an external 2.5V reference at REFADJ to 4.096V at VREF.

Internal Reference

The full-scale range of the MAX192 with internal reference is 4.096V with unipolar inputs, and $\pm 2.048V$ with differential bipolar inputs. The internal reference voltage is adjustable to $\pm 1.5\%$ with the Reference-Adjust Circuit of Figure 17.

External Reference

An external reference can be placed at either the input (REFADJ) or the output (VREF) of the internal buffer amplifier. The REFADJ input impedance is

typically 20k Ω . At VREF, the input impedance is a minimum of 12k Ω for DC currents. During conversion, an external reference at VREF must be able to deliver up to 350 μA DC load current and have an output impedance of 10 Ω or less. If the reference has higher output impedance or is noisy, bypass it close to the VREF pin with a 4.7 μF capacitor.

Using the buffered REFADJ input avoids external buffering of the reference. To use the direct VREF input, disable the internal buffer by tying REFADJ to V_{DD}.

Transfer Function and Gain Adjust

Figure 15 depicts the nominal, unipolar input/output (I/O) transfer function, and Figure 16 shows the differential bipolar input/output transfer function. Code transitions occur halfway between successive integer LSB values. Output coding is binary with $1LSB = 4.00mV$ ($4.096V / 1024$) for unipolar operation and $1LSB = 4.00mV$ [$(4.096V / 2 - -4.096V / 2) / 1024$] for bipolar operation.

Figure 17, the Reference-Adjust Circuit, shows how to adjust the ADC gain in applications that use the internal reference. The circuit provides $\pm 1.5\%$ ($\pm 15LSBs$) of gain adjustment range.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

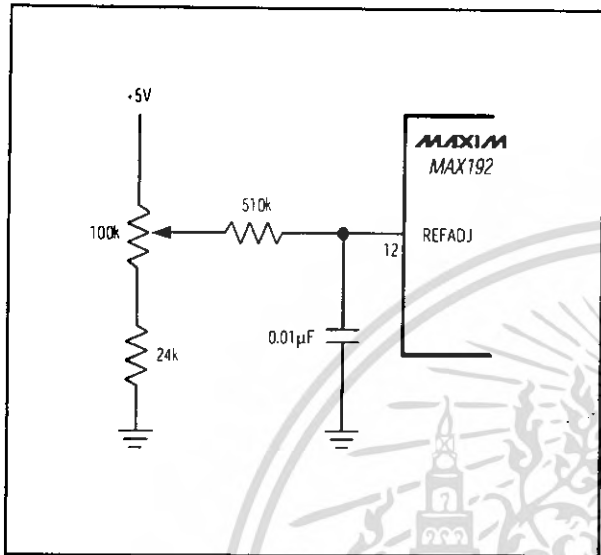


Figure 17. Reference-Adjust Circuit

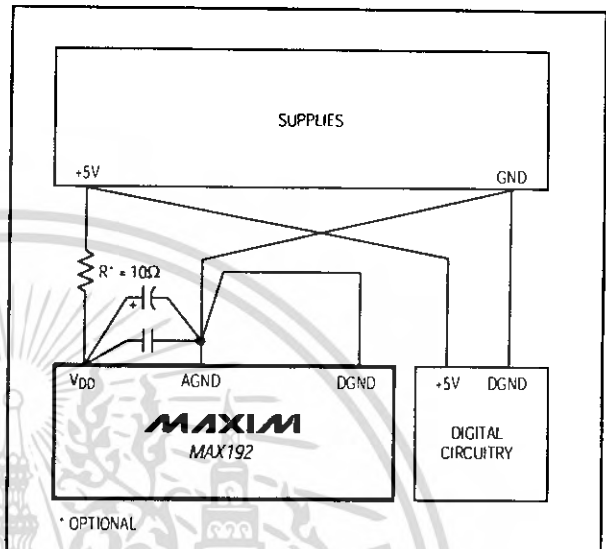


Figure 18. Power-Supply Grounding Connection

Layout, Grounding, Bypassing

For best performance, use printed circuit boards. Wire-wrap boards are not recommended. Board layout should ensure that digital and analog signal lines are separated from each other. Do not run analog and digital (especially clock) lines parallel to one another, or digital lines underneath the ADC package.

Figure 18 shows the recommended system ground connections. A single-point analog ground ("star" ground point) should be established at AGND, separate from the logic ground. All other analog grounds and DGND should be connected to this ground. No other digital system ground should be connected to this single-point analog ground. The ground return to the power supply for this ground should be low impedance and as short as possible for noise-free operation.

High-frequency noise in the V_{DD} power supply may affect the high-speed comparator in the ADC. Bypass these supplies to the single-point analog ground with $0.1\mu\text{F}$ and $4.7\mu\text{F}$ bypass capacitors close to the MAX192. Minimize capacitor lead lengths for best supply-noise rejection. If the +5V power supply is very noisy, a 10Ω resistor can be connected as a lowpass filter, as shown in Figure 18.

High-Speed Digital Interfacing

The MAX192 can interface with QSPI at high throughput rates using the circuit in Figure 19. This QSPI circuit can be programmed to do a conversion on each of the eight channels. The result is stored in memory without taxing the CPU since QSPI incorporates its own micro-sequencer.

Figure 20 details the code that sets up QSPI for autonomous operation. In external clock mode, the MAX192 performs a single-ended, unipolar conversion on each of the eight analog input channels. Figure 21 shows the timing associated with the assembly code of Figure 20. The first byte clocked into the MAX192 is the control byte, which triggers the first conversion on CH0. The last two bytes clocked into the MAX192 are all zero, and clock out the results of the CH7 conversion.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

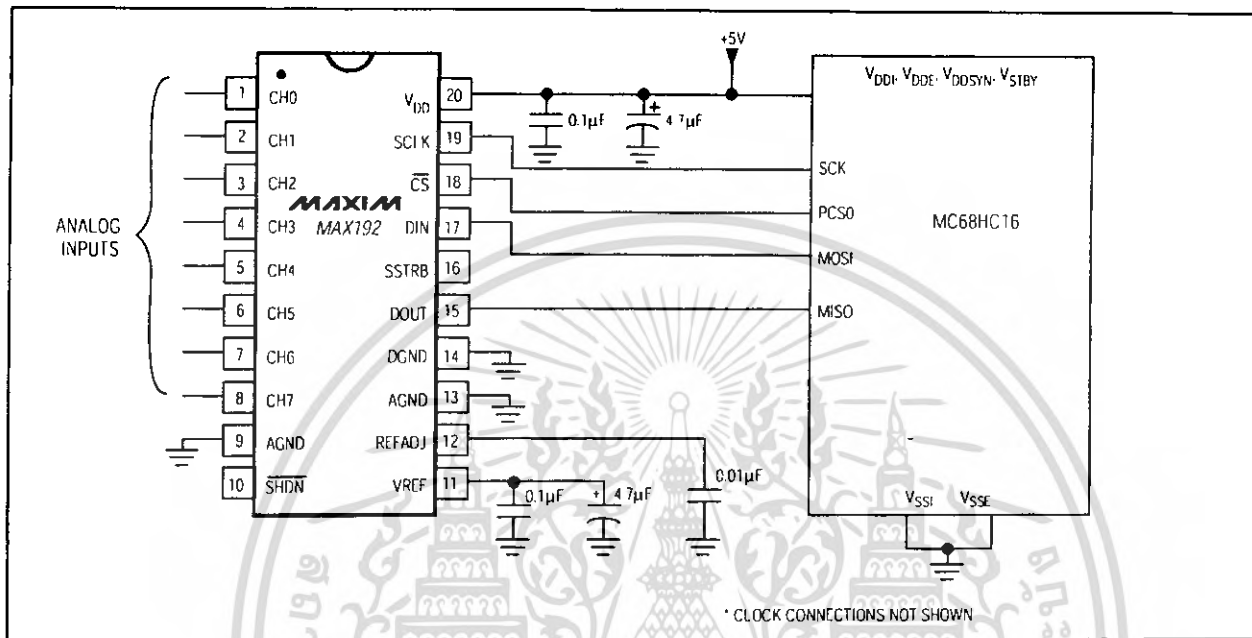


Figure 19. MAX192 QSPI Connection

TMS320 to MAX192 Interface

Figure 22 shows an application circuit to interface the MAX192 to the TMS320 in external clock mode. The timing diagram for this interface circuit is shown in Figure 23.

Use the following steps to initiate a conversion in the MAX192 and to read the results:

- 1) The TMS320 should be configured with CLKX (transmit clock) as an active-high output clock and CLKR (TMS320 receive clock) as an active-high input clock. CLKX and CLKR of the TMS320 are tied together with the SCLK input of the MAX192.
- 2) The MAX192 CS is driven low by the XF₁ I/O port of the TMS320 to enable data to be clocked into DIN of the MAX192.
- 3) An 8-bit word (1XXXXX11) should be written to the MAX192 to initiate a conversion and place the device into external clock mode. Refer to Table 3 to select the proper XXXXX bit values for your specific application.

- 4) The SSTRB output of the MAX192 is monitored via the FSR input of the TMS320. A falling edge on the SSTRB output indicates that the conversion is in progress and data is ready to be received from the MAX192.
- 5) The TMS320 reads in one data bit on each of the next 16 rising edges of SCLK. These data bits represent the 10-bit conversion result and two sub-LSBs, followed by four trailing bits, which should be ignored.
- 6) Pull CS high to disable the MAX192 until the next conversion is initiated.

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

```

* Description :
*   This is a shell program for using a stand-alone 68HC16 without any external memory. The internal 1K RAM
*   is put into bank $0F to maintain 68HC11 code compatibility. This program was written with software
*   provided in the Motorola 68HC16 Evaluation Kit
*
* Roger J.A. Chen, Applications Engineer
* MAXIM Integrated Products
* November 20, 1992
*
-----
INCLUDE 'EQUATES.ASM' ;Equates for common reg addr
INCLUDE 'ORG00000.ASM' ;initialize reset vector
INCLUDE 'ORG00008.ASM' ;initialize interrupt vectors
ORG $0200 ;start program after interrupt vectors
INCLUDE 'INITSYS.ASM' ;set EK=F,XK=0,YK=0,ZK=0
;set sys clock at 16.78 MHz, COP off
INCLUDE 'INITRAM.ASM' ;turn on internal SRAM at $10000
;set stack (SK=1, SP=03FE)

MAIN:
JSR INITQSPI
MAINLOOP:
JSR READ192
WAIT:
LDAA SPSR
ANDA #$80
BEQ WAIT ;wait for QSPI to finish
BRA MAINLOOP
ENDPROGRAM:

INITQSPI:
;This routine sets up the QSPI microsequencer to operate on its own.
;The sequencer will read all eight channels of a MAX192 each time
;it is triggered. The A/D converter results will be left in the
;receive data RAM. Each 16 bit receive data RAM location will
;have a leading zero, 10 + 2 bits of conversion result and three zeros.
;
;Receive RAM Bits 15 14 13 12 11 10 09 08 07 06 05 04 03 02 01 00
;A/D Result 0 MSB LSB 0 0 0
***** Initialize the QSPI Registers *****
PSHA
PSHB
LDAA #%01111000
STAA QPDR ;idle state for PCS0-3 = high
LDAA #%01111011
STAA QPAR ;assign port D to be QSPI
LDAA #%01111110
STAA QDDR ;only MISO is an input
LDD #$8008
STD SPCR0 ;master mode, 16 bits/transfer,
;CPOL=CPHA=0, 1MHz Ser Clock

LDD #$0000
STD SPCR1 ;set delay between PCS0 and SCK,
;set delay between transfers

```

Figure 20. MAX192 Assembly-Code Listing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

MAX192

```

LDD  #50800
SFD  SPCR2      ;set ENDQP to S8 for 9 transfers
***** Initialize QSPI Command RAM *****

LDAA #580      ;CONT=1,BITSE=0,DT=0,DSCK=0,PCSO=ACTIVE
STAA $FD40    ;store first byte in COMMAND RAM
LDAA #5C0      ;CONT=1,BITSE=1,DT=0,DSCK=0,PCSO=ACTIVE
STAA $FD41
STAA $FD42
STAA $FD43
STAA $FD44
STAA $FD45
STAA $FD46
STAA $FD47
LDAA #540      ;CONT=0,BITSE=1,DT=0,DSCK=0,PCSO=ACTIVE
STAA $FD48
***** Initialize QSPI Transmit RAM *****

LDD  #5008F
        STD  $FD20
LDD  #500CF
        STD  $FD22
LDD  #5009F
        STD  $FD24
LDD  #500DF
        STD  $FD26
LDD  #500AF
        STD  $FD28
LDD  #500EF
        STD  $FD2A
LDD  #500BF
        STD  $FD2C
LDD  #500FF
        STD  $FD2E
LDD  #50000
        STD  $FD30

PULB
PULA
RTS

READ192:
;This routine triggers the QSPI microsequencer to autonomously
;trigger conversions on all 8 channels of the MAX192. Each
;conversion result is stored in the receive data RAM.
PSHA
LDAA #580
ORAA SPCR1
STAA SPCR1      ;just set SPE
PULA
RTS

***** Interrupts/Exceptions *****

BDM: BGND      ;exception vectors point here
              ;and put the user in background debug mode
    
```

Figure 20. MAX192 Assembly-Code Listing (continued)

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

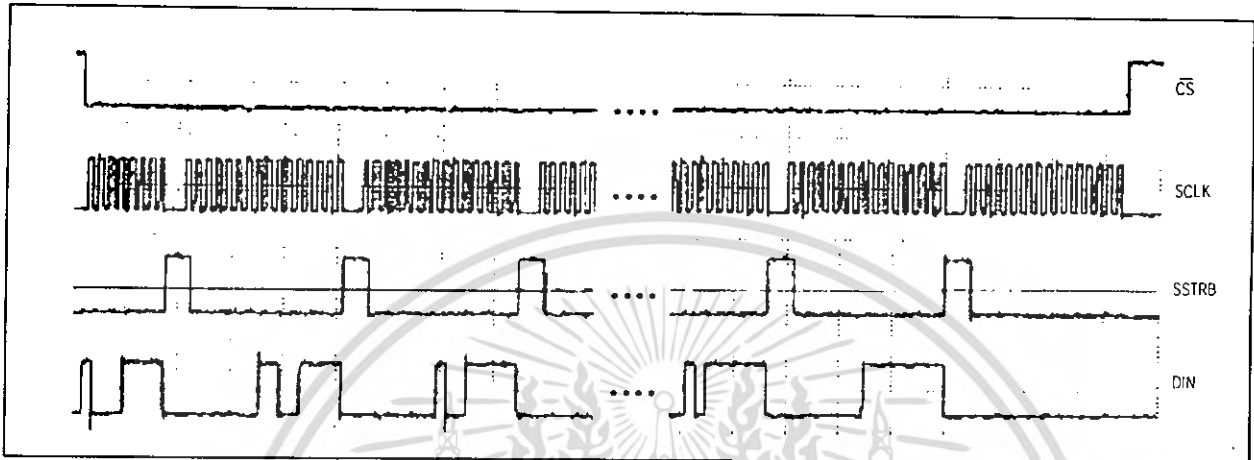


Figure 21. QSPI Assembly-Code Timing

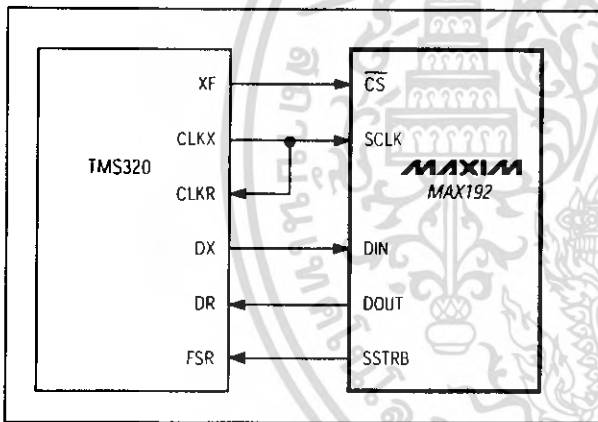


Figure 22. MAX192 to TMS320 Serial Interface

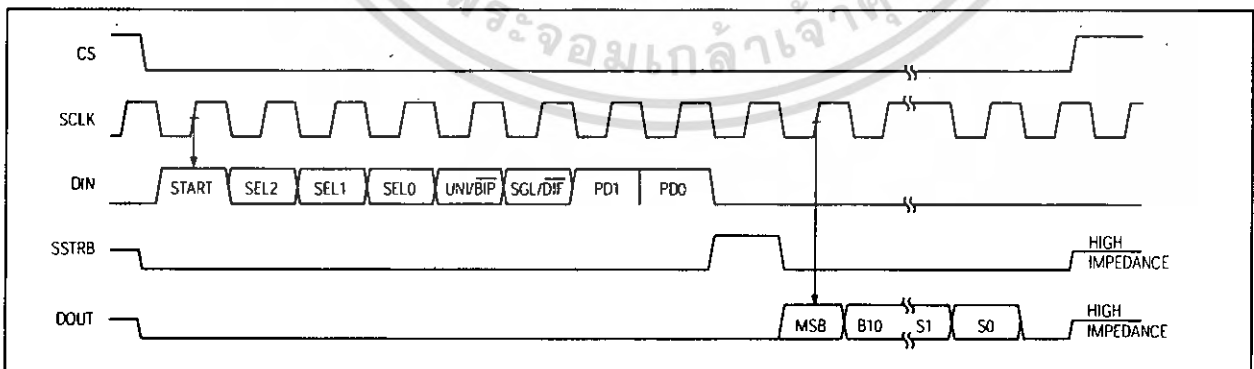


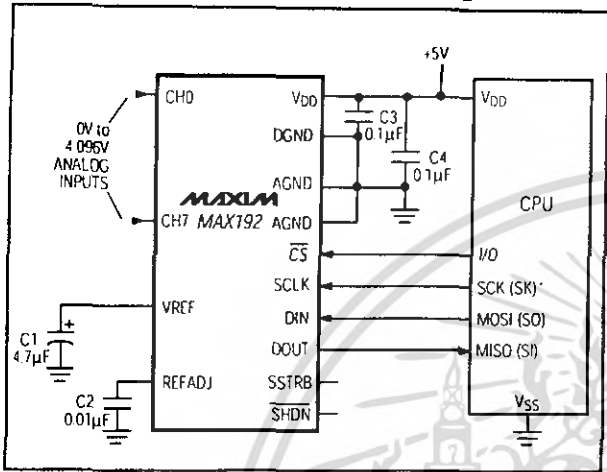
Figure 23. TMS320 Serial-Interface Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX192

Low-Power, 8-Channel, Serial 10-Bit ADC

Typical Operating Circuit



Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 2278

Package Information

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.068	0.078	1.73	1.99
A1	0.002	0.008	0.05	0.21
B	0.010	0.015	0.25	0.38
C	0.004	0.008	0.09	0.20
D	SEE VARIATIONS			
E	0.205	0.209	5.20	5.38
e	0.0256	BSC	0.65	BSC
H	0.301	0.311	7.65	7.90
L	0.025	0.037	0.63	0.95
α	0°	8°	0°	8°

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
D	0.239	0.249	6.07	6.33
D	0.239	0.249	6.07	6.33
D	0.278	0.289	7.07	7.33
D	0.317	0.328	8.07	8.33
D	0.397	0.407	10.07	10.33

NOTES:
 1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH.
 2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED .15mm (.006")
 3. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER

MAXIM

PROPRIETARY INFORMATION

TITLE: PACKAGE OUTLINE, SSOP, 5.3X.65mm

APPROVAL: _____ REQUIR CONTROL NO: 21-0056 REV: A

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

24 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600

© 1997 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

General Description

The MAX7219/MAX7221 are compact, serial input/output common-cathode display drivers that interface microprocessors (μ Ps) to 7-segment numeric LED displays of up to 8 digits, bar-graph displays, or 64 individual LEDs. Included on-chip are a BCD code-B decoder, multiplex scan circuitry, segment and digit drivers, and an 8x8 static RAM that stores each digit. Only one external resistor is required to set the segment current for all LEDs. The MAX7221 is compatible with SPI™, QSPI™, and MICROWIRE™, and has slew-rate-limited segment drivers to reduce EMI.

A convenient 4-wire serial interface connects to all common μ Ps. Individual digits may be addressed and updated without rewriting the entire display. The MAX7219/MAX7221 also allow the user to select code-B decoding or no-decode for each digit.

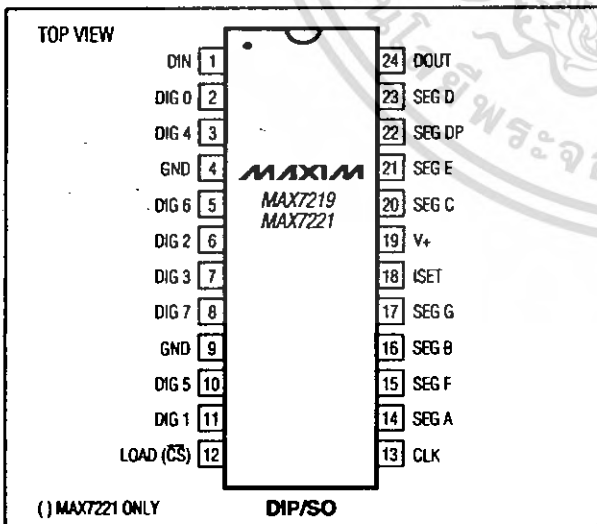
The devices include a 150 μ A low-power shutdown mode, analog and digital brightness control, a scan-limit register that allows the user to display from 1 to 8 digits, and a test mode that forces all LEDs on.

For applications requiring 3V operation or segment blinking, refer to the MAX6951 data sheet.

Applications

- Bar-Graph Displays
- Industrial Controllers
- Panel Meters
- LED Matrix Displays

Pin Configuration



Features

- ◆ 10MHz Serial Interface
- ◆ Individual LED Segment Control
- ◆ Decode/No-Decode Digit Selection
- ◆ 150 μ A Low-Power Shutdown (Data Retained)
- ◆ Digital and Analog Brightness Control
- ◆ Display Blanked on Power-Up
- ◆ Drive Common-Cathode LED Display
- ◆ Slew-Rate Limited Segment Drivers for Lower EMI (MAX7221)
- ◆ SPI, QSPI, MICROWIRE Serial Interface (MAX7221)
- ◆ 24-Pin DIP and SO Packages

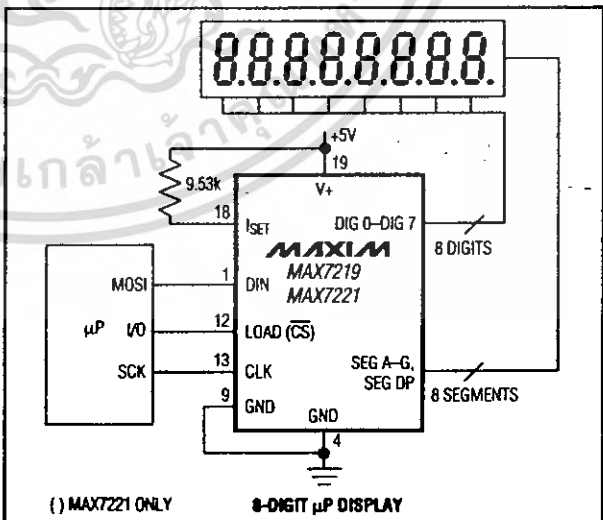
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7219CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7219C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7219ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7219ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

*Dice are specified at $T_A = +25^\circ\text{C}$.

Typical Application Circuit



SPI and QSPI are trademarks of Motorola Inc. MICROWIRE is a trademark of National Semiconductor Corp.



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage (with respect to GND)

V+	-0.3V to 6V
DIN, CLK, LOAD, \overline{CS}	-0.3V to 6V
All Other Pins	-0.3V to (V+ + 0.3V)

Current

DIG0-DIG7 Sink Current	500mA
SEGA-G, DP Source Current	100mA

Continuous Power Dissipation (T_A = +85°C)

Narrow Plastic DIP (derate 13.3mW/°C above +70°C)	1066mW
Wide SO (derate 11.8mW/°C above +70°C)	941mW
Narrow CERDIP (derate 12.5mW/°C above +70°C)	1000mW

Operating Temperature Ranges (T_{MIN} to T_{MAX})

MAX7219C_G/MAX7221C_G	0°C to +70°C
MAX7219E_G/MAX7221E_G	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V+ = 5V ± 10%, R_{SET} = 9.53kΩ ± 1%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage	V+		4.0		5.5	V
Shutdown Supply Current	I+	All digital inputs at V+ or GND, T _A = +25°C			150	μA
Operating Supply Current	I+	R _{SET} = open circuit			8	mA
		All segments and decimal point on, I _{SEG-} = -40mA		330		
Display Scan Rate	f _{OSC}	8 digits scanned	500	800	1300	Hz
Digit Drive Sink Current	I _{DIGIT}	V+ = 5V, V _{OUT} = 0.65V	320			mA
Segment Drive Source Current	I _{SEG}	T _A = +25°C, V+ = 5V, V _{OUT} = (V+ - 1V)	-30	-40	-45	mA
Segment Current Slew Rate (MAX7221 only)	ΔI _{SEG} /Δt	T _A = +25°C, V+ = 5V, V _{OUT} = (V+ - 1V)	10	20	50	mA/μs
Segment Drive Current Matching	ΔI _{SEG}			3.0		%
Digit Drive Leakage (MAX7221 only)	I _{DIGIT}	Digit off, V _{DIGIT} = V+			-10	μA
Segment Drive Leakage (MAX7221 only)	I _{SEG}	Segment off, V _{SEG} = 0V			1	μA
Digit Drive Source Current (MAX7219 only)	I _{DIGIT}	Digit off, V _{DIGIT} = (V+ - 0.3V)	-2			mA
Segment Drive Sink Current (MAX7219 only)	I _{SEG}	Segment off, V _{SEG} = 0.3V	5			mA

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V+ = 5V ± 10%, RSET = 9.53kΩ ± 1%, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted.)

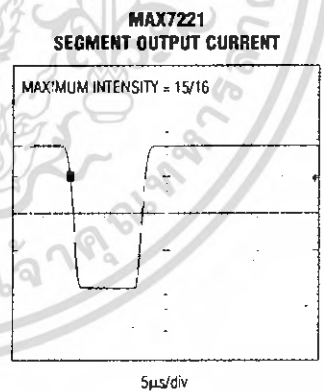
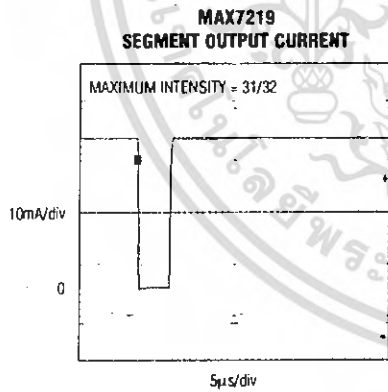
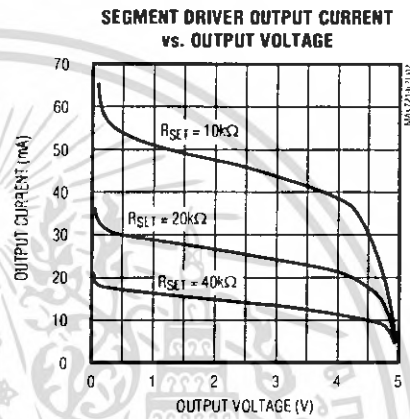
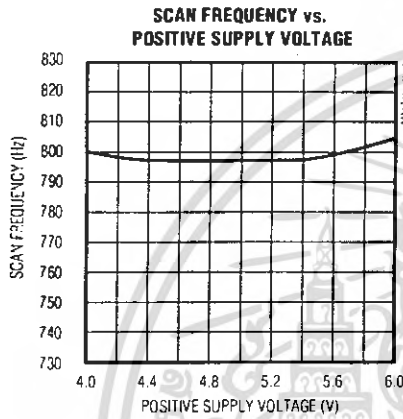
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
LOGIC INPUTS						
Input Current DIN, CLK, LOAD, \overline{CS}	I _{IH} , I _{IL}	V _{IN} = 0V or V+	-1		1	μA
Logic High Input Voltage	V _{IH}		3.5			V
Logic Low Input Voltage	V _{IL}				0.8	V
Output High Voltage	V _{OH}	DOUT, I _{SOURCE} = -1mA	V+ - 1			V
Output Low Voltage	V _{OL}	DOUT, I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
Hysteresis Voltage	ΔV _I	DIN, CLK, LOAD, \overline{CS}		1		V
TIMING CHARACTERISTICS						
CLK Clock Period	t _{CP}		100			ns
CLK Pulse Width High	t _{CH}		50			ns
CLK Pulse Width Low	t _{CL}		50			ns
\overline{CS} Fall to SCLK Rise Setup Time (MAX7221 only)	t _{CSS}		25			ns
CLK Rise to \overline{CS} or LOAD Rise Hold Time	t _{CSH}		0			ns
DIN Setup Time	t _{DS}		25			ns
DIN Hold Time	t _{DH}		0			ns
Output Data Propagation Delay	t _{DO}	C _{LOAD} = 50pF			25	ns
Load-Rising Edge to Next Clock Rising Edge (MAX7219 only)	t _{LDCK}		50			ns
Minimum \overline{CS} or LOAD Pulse High	t _{CSW}		50			ns
Data-to-Segment Delay	t _{DSPD}				2.25	ms

MAX7219/MAX7221

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Typical Operating Characteristics

(V+ = +5V, TA = +25°C, unless otherwise noted.)



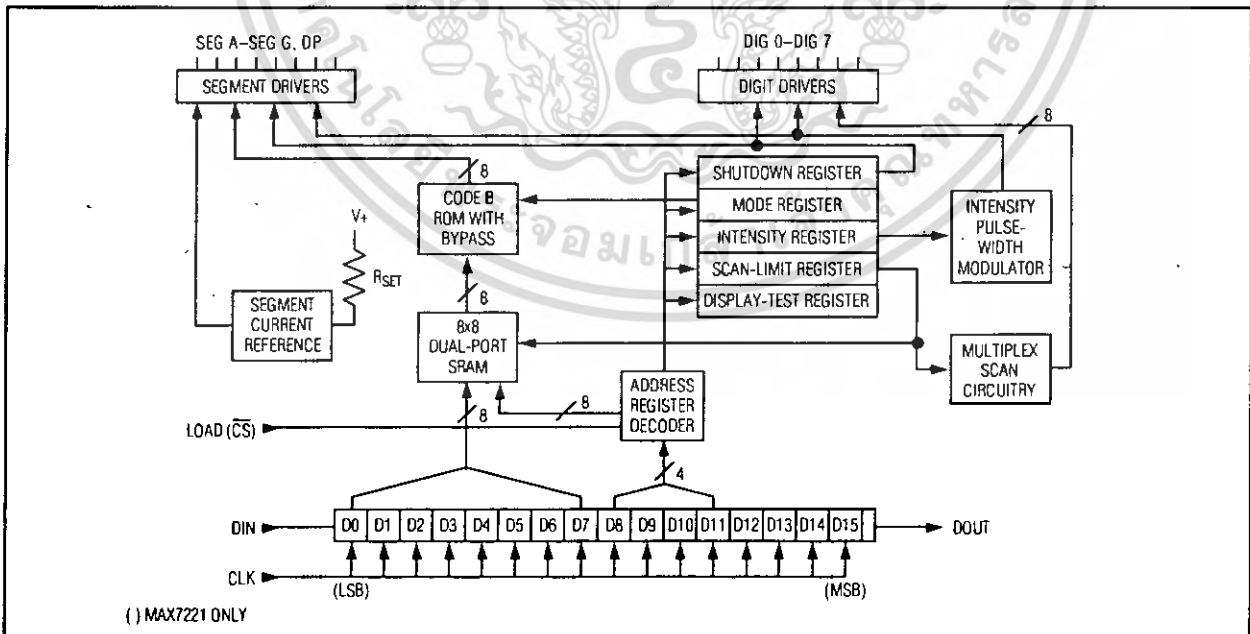
Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	DIN	Serial-Data Input. Data is loaded into the internal 16-bit shift register on CLK's rising edge.
2, 3, 5-8, 10, 11	DIG 0-DIG 7	Eight-Digit Drive Lines that sink current from the display common cathode. The MAX7219 pulls the digit outputs to V+ when turned off. The MAX7221's digit drivers are high-impedance when turned off.
4, 9	GND	Ground (both GND pins must be connected)
12	LOAD (MAX7219)	Load-Data Input. The last 16 bits of serial data are latched on LOAD's rising edge.
	\overline{CS} (MAX7221)	Chip-Select Input. Serial data is loaded into the shift register while \overline{CS} is low. The last 16 bits of serial data are latched on \overline{CS} 's rising edge.
13	CLK	Serial-Clock Input. 10MHz maximum rate. On CLK's rising edge, data is shifted into the internal shift register. On CLK's falling edge, data is clocked out of DOUT. On the MAX7221, the CLK input is active only while \overline{CS} is low.
14-17, 20-23	SEG A-SEG G, DP	Seven Segment Drives and Decimal Point Drive that source current to the display. On the MAX7219, when a segment driver is turned off it is pulled to GND. The MAX7221 segment drivers are high-impedance when turned off.
18	ISET	Connect to VDD through a resistor (RSET) to set the peak segment current (Refer to <i>Selecting RSET Resistor</i> section).
19	V+	Positive Supply Voltage. Connect to +5V
24	DOUT	Serial-Data Output. The data into DIN is valid at DOUT 16.5 clock cycles later. This pin is used to daisy-chain several MAX7219/MAX7221's and is never high-impedance.

MAX7219/MAX7221

Functional Diagram



Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

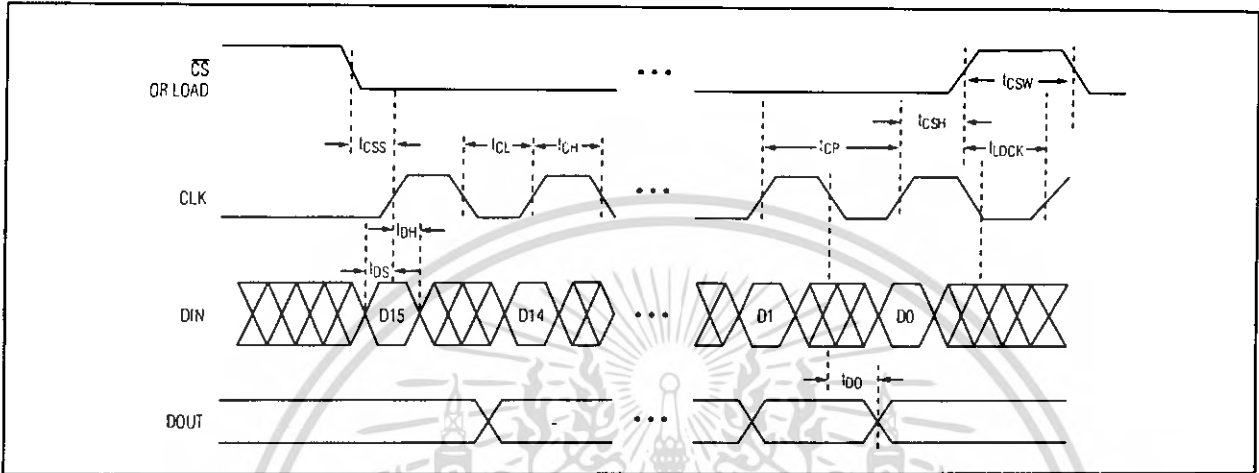


Figure 1. Timing Diagram

Table 1. Serial-Data Format (16 Bits)

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	X	X	X	ADDRESS				MSB	DATA						LSB

Detailed Description

MAX7219/MAX7221 Differences

The MAX7219 and MAX7221 are identical except for two parameters: the MAX7221 segment drivers are slew-rate limited to reduce electromagnetic interference (EMI), and its serial interface is fully SPI compatible.

Serial-Addressing Modes

For the MAX7219, serial data at DIN, sent in 16-bit packets, is shifted into the internal 16-bit shift register with each rising edge of CLK regardless of the state of LOAD. For the MAX7221, CS must be low to clock data in or out. The data is then latched into either the digit or control registers on the rising edge of LOAD/CS. LOAD/CS must go high concurrently with or after the 16th rising clock edge, but before the next rising clock edge or data will be lost. Data at DIN is propagated through the shift register and appears at DOUT 16.5 clock cycles later. Data is clocked out on the falling edge of CLK. Data bits are labeled D0-D15 (Table 1). D8-D11 contain the register address. D0-D7 contain the data, and D12-D15 are "don't care" bits. The first received is D15, the most significant bit (MSB).

Digit and Control Registers

Table 2 lists the 14 addressable digit and control registers. The digit registers are realized with an on-chip, 8x8 dual-port SRAM. They are addressed directly so that individual digits can be updated and retain data as long as V+ typically exceeds 2V. The control registers consist of decode mode, display intensity, scan limit (number of scanned digits), shutdown, and display test (all LEDs on).

Shutdown Mode

When the MAX7219 is in shutdown mode, the scan oscillator is halted, all segment current sources are pulled to ground, and all digit drivers are pulled to V+, thereby blanking the display. The MAX7221 is identical, except the drivers are high-impedance. Data in the digit and control registers remains unaltered. Shutdown can be used to save power or as an alarm to flash the display by successively entering and leaving shutdown mode. For minimum supply current in shutdown mode, logic inputs should be at ground or V+ (CMOS-logic levels).

Typically, it takes less than 250µs for the MAX7219/MAX7221 to leave shutdown mode. The display driver can be programmed while in shutdown mode, and shutdown mode can be overridden by the display-test function.

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

Table 2. Register Address Map

REGISTER	ADDRESS					HEX CODE
	D15-D12	D11	D10	D9	D8	
No-Op	X	0	0	0	0	0xX0
Digit 0	X	0	0	0	1	0xX1
Digit 1	X	0	0	1	0	0xX2
Digit 2	X	0	0	1	1	0xX3
Digit 3	X	0	1	0	0	0xX4
Digit 4	X	0	1	0	1	0xX5
Digit 5	X	0	1	1	0	0xX6
Digit 6	X	0	1	1	1	0xX7
Digit 7	X	1	0	0	0	0xX8
Decode Mode	X	1	0	0	1	0xX9
Intensity	X	1	0	1	0	0xXA
Scan Limit	X	1	0	1	1	0xXB
Shutdown	X	1	1	0	0	0xXC
Display Test	X	1	1	1	1	0xFF

Initial Power-Up

On initial power-up, all control registers are reset, the display is blanked, and the MAX7219/MAX7221 enter shutdown mode. Program the display driver prior to display use. Otherwise, it will initially be set to scan one digit, it will not decode data in the data registers, and the intensity register will be set to its minimum value.

Decode-Mode Register

The decode-mode register sets BCD code B (0-9, E, H, L, P, and -) or no-decode operation for each digit. Each bit in the register corresponds to one digit. A logic high selects code B decoding while logic low bypasses the decoder. Examples of the decode mode control-register format are shown in Table 4.

When the code B decode mode is used, the decoder looks only at the lower nibble of the data in the digit registers (D3-D0), disregarding bits D4-D6. D7, which sets the decimal point (SEG DP), is independent of the decoder and is positive logic (D7 = 1 turns the decimal point on). Table 5 lists the code B font.

When no-decode is selected, data bits D7-D0 correspond to the segment lines of the MAX7219/MAX7221. Table 6 shows the one-to-one pairing of each data bit to the appropriate segment line.

Table 3. Shutdown Register Format (Address (Hex) = 0xXC)

MODE	ADDRESS CODE (HEX)	REGISTER DATA							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Shutdown Mode	0xXC	X	X	X	X	X	X	X	0
Normal Operation	0xXC	X	X	X	X	X	X	X	1

Table 4. Decode-Mode Register Examples (Address (Hex) = 0xX9)

DECODE MODE	REGISTER DATA								HEX CODE
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
No decode for digits 7-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00
Code B decode for digit 0 No decode for digits 7-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0x01
Code B decode for digits 3-0 No decode for digits 7-4	0	0	0	0	1	1	1	1	0x0F
Code B decode for digits 7-0	1	1	1	1	1	1	1	1	0xFF

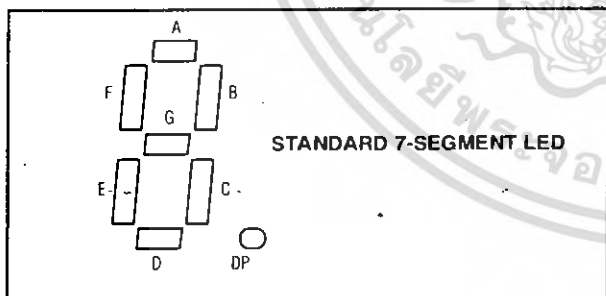
Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Table 5. Code B Font

7-SEGMENT CHARACTER	REGISTER DATA						ON SEGMENTS = 1							
	D7*	D6-D4	D3	D2	D1	D0	DP*	A	B	C	D	E	F	G
0		X	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	0
1		X	0	0	0	1		0	1	1	0	0	0	0
2		X	0	0	1	0		1	1	0	1	1	0	1
3		X	0	0	1	1		1	1	1	1	0	0	1
4		X	0	1	0	0		0	1	1	0	0	1	1
5		X	0	1	0	1		1	0	1	1	0	1	1
6		X	0	1	1	0		1	0	1	1	1	1	1
7		X	0	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0
8		X	1	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1
9		X	1	0	0	1		1	1	1	1	0	1	1
—		X	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	1
E		X	1	0	1	1		1	0	0	1	1	1	1
H		X	1	1	0	0		0	1	1	0	1	1	1
L		X	1	1	0	1		0	0	0	1	1	1	0
P		X	1	1	1	0		1	1	0	0	1	1	1
blank		X	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0

*The decimal point is set by bit D7 = 1

Table 6. No-Decode Mode Data Bits and Corresponding Segment Lines



	REGISTER DATA							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Corresponding Segment Line	DP	A	B	C	D	E	F	G

Intensity Control and Interdigit Blanking

The MAX7219/MAX7221 allow display brightness to be controlled with an external resistor (RSET) connected between V+ and ISET. The peak current sourced from the segment drivers is nominally 100 times the current entering ISET. This resistor can either be fixed or variable to allow brightness adjustment from the front panel. Its minimum value should be 9.53kΩ, which typically sets the segment current at 40mA. Display brightness can also be controlled digitally by using the intensity register.

Digital control of display brightness is provided by an internal pulse-width modulator, which is controlled by the lower nibble of the intensity register. The modulator scales the average segment current in 16 steps from a maximum of 31/32 down to 1/32 of the peak current set by RSET (15/16 to 1/16 on MAX7221). Table 7 lists the intensity register format. The minimum interdigit blanking time is set to 1/32 of a cycle.

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

Table 7. Intensity Register Format (Address (Hex) = 0xA)

DUTY CYCLE		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	HEX CODE
MAX7219	MAX7221									
1/32 (min on)	1/16 (min on)	X	X	X	X	0	0	0	0	0xX0
3/32	2/16	X	X	X	X	0	0	0	1	0xX1
5/32	3/16	X	X	X	X	0	0	1	0	0xX2
7/32	4/16	X	X	X	X	0	0	1	1	0xX3
9/32	5/16	X	X	X	X	0	1	0	0	0xX4
11/32	6/16	X	X	X	X	0	1	0	1	0xX5
13/32	7/16	X	X	X	X	0	1	1	0	0xX6
15/32	8/16	X	X	X	X	0	1	1	1	0xX7
17/32	9/16	X	X	X	X	1	0	0	0	0xX8
19/32	10/16	X	X	X	X	1	0	0	1	0xX9
21/32	11/16	X	X	X	X	1	0	1	0	0xXA
23/32	12/16	X	X	X	X	1	0	1	1	0xXB
25/32	13/16	X	X	X	X	1	1	0	0	0xXC
27/32	14/16	X	X	X	X	1	1	0	1	0xXD
29/32	15/16	X	X	X	X	1	1	1	0	0xXE
31/32	15/16 (max on)	X	X	X	X	1	1	1	1	0xFF

Table 8. Scan-Limit Register Format (Address (Hex) = 0xB)

SCAN LIMIT	REGISTER DATA									HEX CODE
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
Display digit 0 only*	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0xX0
Display digits 0 & 1*	X	X	X	X	X	0	0	1	0	0xX1
Display digits 0 1 2*	X	X	X	X	X	0	1	0	0	0xX2
Display digits 0 1 2 3	X	X	X	X	X	0	1	1	0	0xX3
Display digits 0 1 2 3 4	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0xX4
Display digits 0 1 2 3 4 5	X	X	X	X	X	1	0	1	0	0xX5
Display digits 0 1 2 3 4 5 6	X	X	X	X	X	1	1	0	0	0xX6
Display digits 0 1 2 3 4 5 6 7	X	X	X	X	X	1	1	1	0	0xX7

*See Scan-Limit Register section for application.

Scan-Limit Register

The scan-limit register sets how many digits are displayed, from 1 to 8. They are displayed in a multiplexed manner with a typical display scan rate of 800Hz with 8 digits displayed. If fewer digits are displayed, the scan rate is $8f_{OSC}/N$, where N is the number of digits

scanned. Since the number of scanned digits affects the display brightness, the scan-limit register should not be used to blank portions of the display (such as leading zero suppression). Table 8 lists the scan-limit register format.

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

If the scan-limit register is set for three digits or less, individual digit drivers will dissipate excessive amounts of power. Consequently, the value of the RSET resistor must be adjusted according to the number of digits displayed, to limit individual digit driver power dissipation. Table 9 lists the number of digits displayed and the corresponding maximum recommended segment current when the digit drivers are used.

Display-Test Register

The display-test register operates in two modes: normal and display test. Display-test mode turns all LEDs on by overriding, but not altering, all controls and digit registers (including the shutdown register). In display-test mode, 8 digits are scanned and the duty cycle is 31/32 (15/16 for MAX7221). Table 10 lists the display-test register format.

Table 9. Maximum Segment Current for 1-, 2-, or 3-Digit Displays

NUMBER OF DIGITS DISPLAYED	MAXIMUM SEGMENT CURRENT (mA)
1	10
2	20
3	30

Table 10. Display-Test Register Format (Address (Hex) = 0xXF)

MODE	REGISTER DATA							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Normal Operation	X	X	X	X	X	X	X	0
Display Test Mode	X	X	X	X	X	X	X	1

Note: The MAX7219/MAX7221 remain in display-test mode (all LEDs on) until the display-test register is reconfigured for normal operation.

No-Op Register

The no-op register is used when cascading MAX7219s or MAX7221s. Connect all devices' LOAD/CS inputs together and connect DOUT to DIN on adjacent devices. DOUT is a CMOS logic-level output that easily drives DIN of successively cascaded parts. (Refer to the *Serial Addressing Modes* section for detailed information on serial input/output timing.) For example, if four MAX7219s are cascaded, then to write to the

fourth chip, sent the desired 16-bit word, followed by three no-op codes (hex 0xXX0X, see Table 2). When LOAD/CS goes high, data is latched in all devices. The first three chips receive no-op commands, and the fourth receives the intended data.

Applications Information

Supply Bypassing and Wiring

To minimize power-supply ripple due to the peak digit driver currents, connect a 10µF electrolytic and a 0.1µF ceramic capacitor between V+ and GND as close to the device as possible. The MAX7219/MAX7221 should be placed in close proximity to the LED display, and connections should be kept as short as possible to minimize the effects of wiring inductance and electromagnetic interference. Also, both GND pins must be connected to ground.

Selecting RSET Resistor and Using External Drivers

The current per segment is approximately 100 times the current in ISET. To select RSET, see Table 11. The MAX7219/MAX7221's maximum recommended segment current is 40mA. For segment current levels above these levels, external digit drivers will be needed. In this application, the MAX7219/MAX7221 serve only as controllers for other high-current drivers or transistors. Therefore, to conserve power, use RSET = 47kΩ when using external current sources as segment drivers.

The example in Figure 2 uses the MAX7219/MAX7221's segment drivers, a MAX394 single-pole double-throw analog switch, and external transistors to drive 2.3" AND2307SLC common-cathode displays. The 5.6V zener diode has been added in series with the decimal point LED because the decimal point LED forward voltage is typically 4.2V. For all other segments the LED forward voltage is typically 8V. Since external transistors are used to sink current (DIG 0 and DIG 1 are used as logic switches), peak segment currents of 45mA are allowed even though only two digits are displayed. In applications where the MAX7219/MAX7221's digit drivers are used to sink current and fewer than four digits are displayed, Table 9 specifies the maximum allowable segment current. RSET must be selected accordingly (Table 11).

Refer to the Power Dissipation section of the Absolute Maximum Ratings to calculate acceptable limits for ambient temperature, segment current, and the LED forward-voltage drop.

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Table 11. RSET vs. Segment Current and LED Forward Voltage

ISEG (mA)	VLED (V)				
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
40	12.2	11.8	11.0	10.6	9.69
30	17.8	17.1	15.8	15.0	14.0
20	29.8	28.0	25.9	24.5	22.6
10	66.7	63.7	59.3	55.4	51.2

Table 12. Package Thermal Resistance Data

PACKAGE	THERMAL RESISTANCE (θJA)
24 Narrow DIP	+75°C/W
24 Wide SO	+85°C/W
24 CERDIP	+80°C/W
Maximum Junction Temperature (T _J) = +150°C	
Maximum Ambient Temperature (T _A) = +85°C	

Computing Power Dissipation

The upper limit for power dissipation (PD) for the MAX7219/MAX7221 is determined from the following equation:

$$PD = (V_+ \times I_{SEG}) + (V_+ - V_{LED})(DUTY \times I_{SEG} \times N)$$

where:

V₊ = supply voltage

DUTY = duty cycle set by intensity register

N = number of segments driven (worst case is 8)

V_{LED} = LED forward voltage

I_{SEG} = segment current set by RSET

Dissipation Example:

I_{SEG} = 40mA, N = 8, DUTY = 31/32, V_{LED} = 1.8V at 40mA, V₊ = 5.25V

$$PD = 5.25V(40mA) + (5.25V - 1.8V)(31/32 \times 40mA \times 8) = 1.11W$$

Thus, for a CERDIP package (θ_{JA} = +80°C/W from Table 12), the maximum allowed ambient temperature T_A is given by:

$$T_{J(MAX)} = T_A + PD \times \theta_{JA} + 150^\circ C = T_A + 1.11W \times 80^\circ C/W$$

where T_A = +61.2°C.

The T_A limits for PDIP and SO Packages in the dissipation example above are +66.7°C and +55.6°C, respectively.

Cascading Drivers

The example in Figure 3 drives 16 digits using a 3-wire μP interface. If the number of digits is not a multiple of 8, set both drivers' scan limit registers to the same number so one display will not appear brighter than the other. For example, if 12 digits are needed, use 6 digits per display with both scan-limit registers set for 6 digits so that both displays have a 1/6 duty cycle per digit. If 11 digits are needed, set both scan-limit registers for 6 digits and leave one digit driver unconnected. If one display for 6 digits and the other for 5 digits, the second display will appear brighter because its duty cycle per digit will be 1/5 while the first display's will be 1/6. Refer to the *No-Op Register* section for additional information.

MAX7219/MAX7221

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

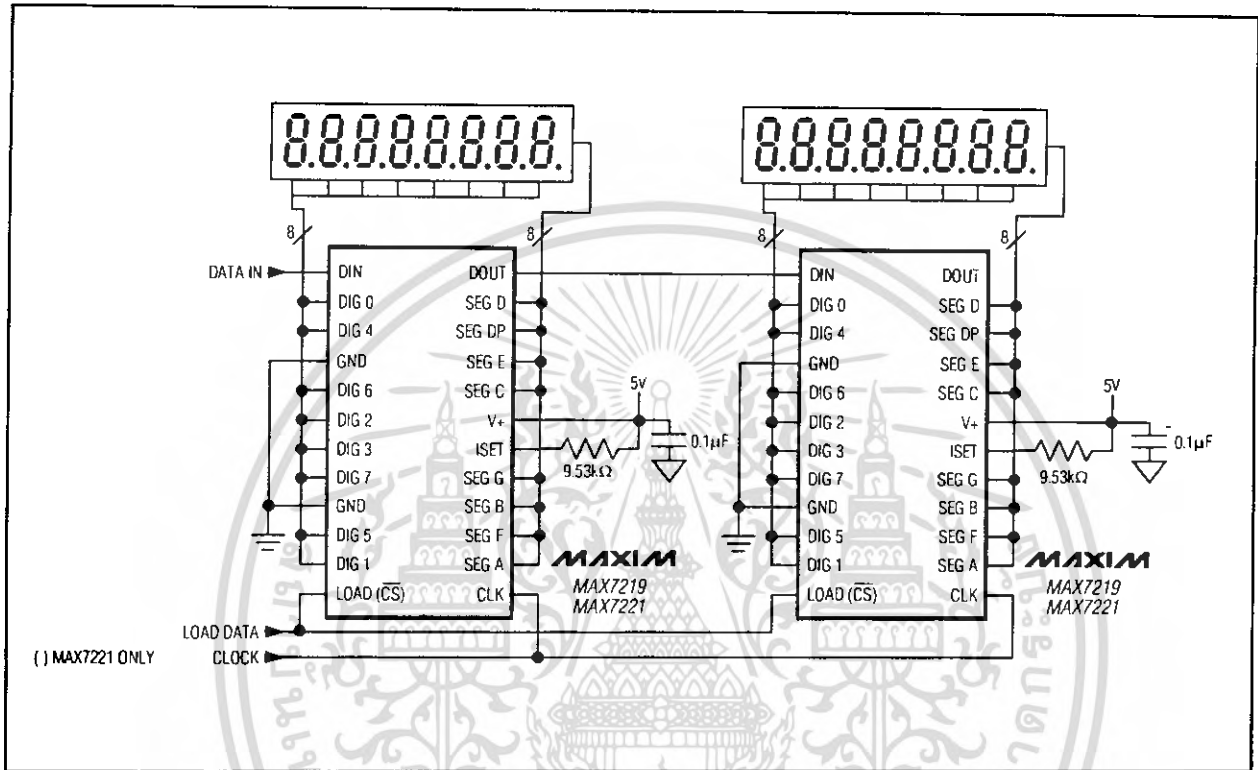


Figure 3. Cascading MAX7219/MAX7221s to Drive 16 Seven-Segment LED Digits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

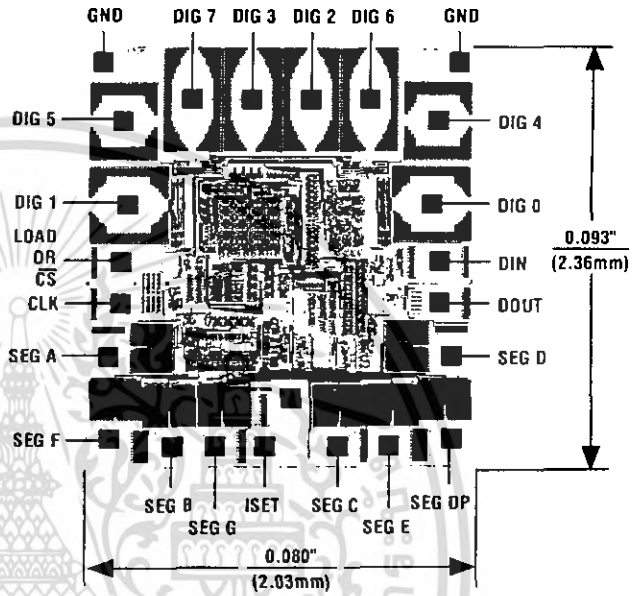
Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Ordering Information (continued)

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7221CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7221CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7221C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7221ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7221EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7221ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP

*Dice are specified at $T_A = +25^\circ\text{C}$.

Chip Topography



TRANSISTOR COUNT: 5267
SUBSTRATE CONNECTED TO GND

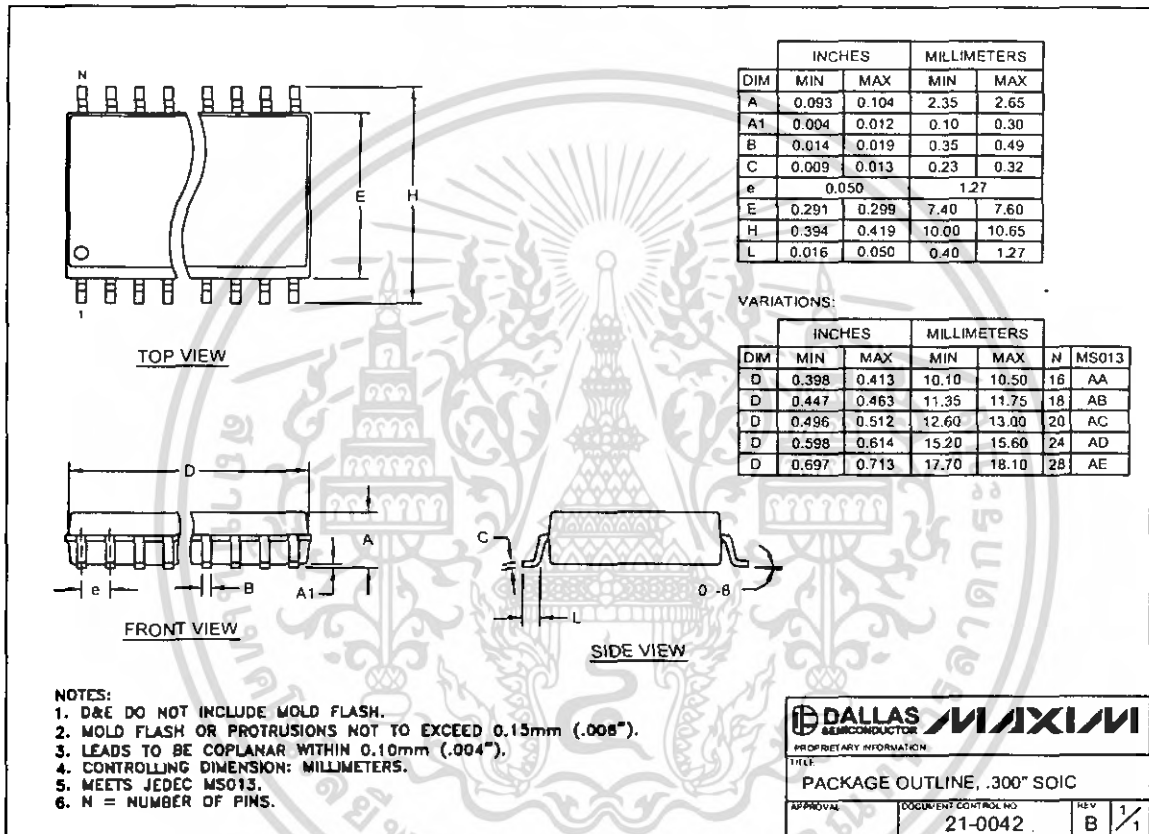
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Package Information

(The package drawing(s) in this data sheet may not reflect the most current specifications. For the latest package outline information go to www.maxim-ic.com/packages.)

MAX7219/MAX7221



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Package Information (continued)

(The package drawing(s) in this data sheet may not reflect the most current specifications. For the latest package outline information go to www.maxim-ic.com/packages.)

INCHES				MILLIMETERS			
	MIN	MAX	MIN	MAX			
A	---	0.180	---	4.572	D	0.348	0.390
A1	0.015	---	0.38	---	D	0.735	0.765
A2	0.125	0.175	3.18	4.45	D	0.745	0.765
A3	0.055	0.080	1.40	2.03	D	0.885	0.915
B	0.015	0.022	0.381	0.56	D	1.015	1.045
B1	0.045	0.065	1.14	1.65	D	1.14	1.265
C	0.008	0.014	0.2	0.355	D	1.360	1.380
D1	0.005	0.080	0.13	2.03			
E	0.300	0.325	7.62	8.26			
E1	0.240	0.310	6.10	7.87			
e	0.100 BSC.		2.54 BSC.				
eA	0.300 BSC.		7.62 BSC.				
eB	0.400 BSC.		10.16 BSC.				
L	0.115	0.150	2.921	3.81			

INCHES				MILLIMETERS			
	MIN	MAX	MIN	MAX	N	MS001	
D	0.348	0.390	8.84	9.91	8	AB	
D	0.735	0.765	18.67	19.43	14	AC	
D	0.745	0.765	18.92	19.43	16	AA	
D	0.885	0.915	22.48	23.24	18	AD	
D	1.015	1.045	25.78	26.54	20	AE	
D	1.14	1.265	28.96	32.13	24	AF	
D	1.360	1.380	34.54	35.05	28	*5	

NOTES:
 1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH
 2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 15µm (0.06mil)
 3. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
 4. MEETS JEDEC HS001-XX AS SHOWN IN ABOVE TABLE
 5. SIMILAR TO JEDEC MO-058AB
 6. N = NUMBER OF PINS

MAXIM PACKAGE FAMILY OUTLINE: PDIP .300" 1/1 21-0043 D

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

16 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7600

© 2003 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PIC16F62X

FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers

Devices included in this data sheet:

- PIC16F627
- PIC16F628

Referred to collectively as PIC16F62X.

High Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn
- All single-cycle instructions (200 ns), except for program branches which are two-cycle
- Operating speed:
 - DC - 20 MHz clock input
 - DC - 200 ns instruction cycle

Device	Memory		
	FLASH Program	RAM Data	EEPROM Data
PIC16F627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16F628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8

- Interrupt capability
- 16 special function hardware registers
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative addressing modes

Peripheral Features:

- 15 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI
- 16 Bytes of common RAM

Special Microcontroller Features:

- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Detect (BOD)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Multiplexed MCLR-pin
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Programmable code protection
- Low voltage programming
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
 - FLASH configuration bits for oscillator options
 - ER (External Resistor) oscillator
 - Reduced part count
 - Dual speed INTRC
 - Lower current consumption
 - EC External Clock input
 - XT oscillator mode
 - HS oscillator mode
 - LP oscillator mode
- Serial in-circuit programming (via two pins)
- Four user programmable ID locations

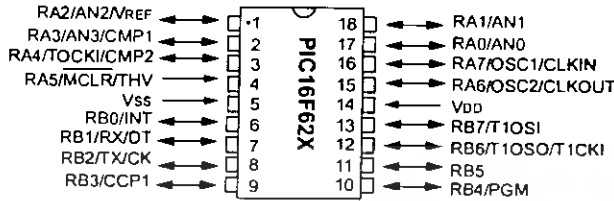
CMOS Technology:

- Low-power, high-speed CMOS FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range
 - PIC16F627 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16F628 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16LF627 - 2.0V to 5.5V
 - PIC16LF628 - 2.0V to 5.5V
- Commercial, industrial and extended temperature range
- Low power consumption
 - < 2.0 mA @ 5.0V, 4.0 MHz
 - 15 μ A typical @ 3.0V, 32 kHz
 - < 1.0 μ A typical standby current @ 3.0V

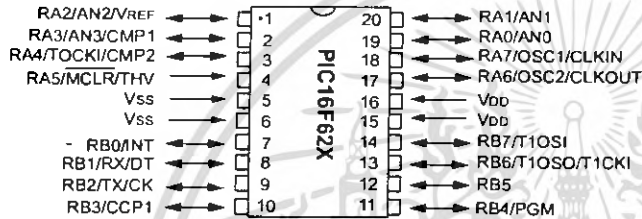
PIC16F62X

Pin Diagrams

PDIP, SOIC



SSOP



Device Differences

Device	Voltage Range	Oscillator	Process Technology (Microns)
PIC16F627	3.0 - 5.5	See Note 1	0.7
PIC16F628	3.0 - 5.5	See Note 1	0.7
PIC16LF627	2.0 - 5.5	See Note 1	0.7
PIC16LF628	2.0 - 5.5	See Note 1	0.7

Note 1: If you change from this device to another device, please verify oscillator characteristics in your application.

PIC16F62X

FIGURE 3-1: BLOCK DIAGRAM

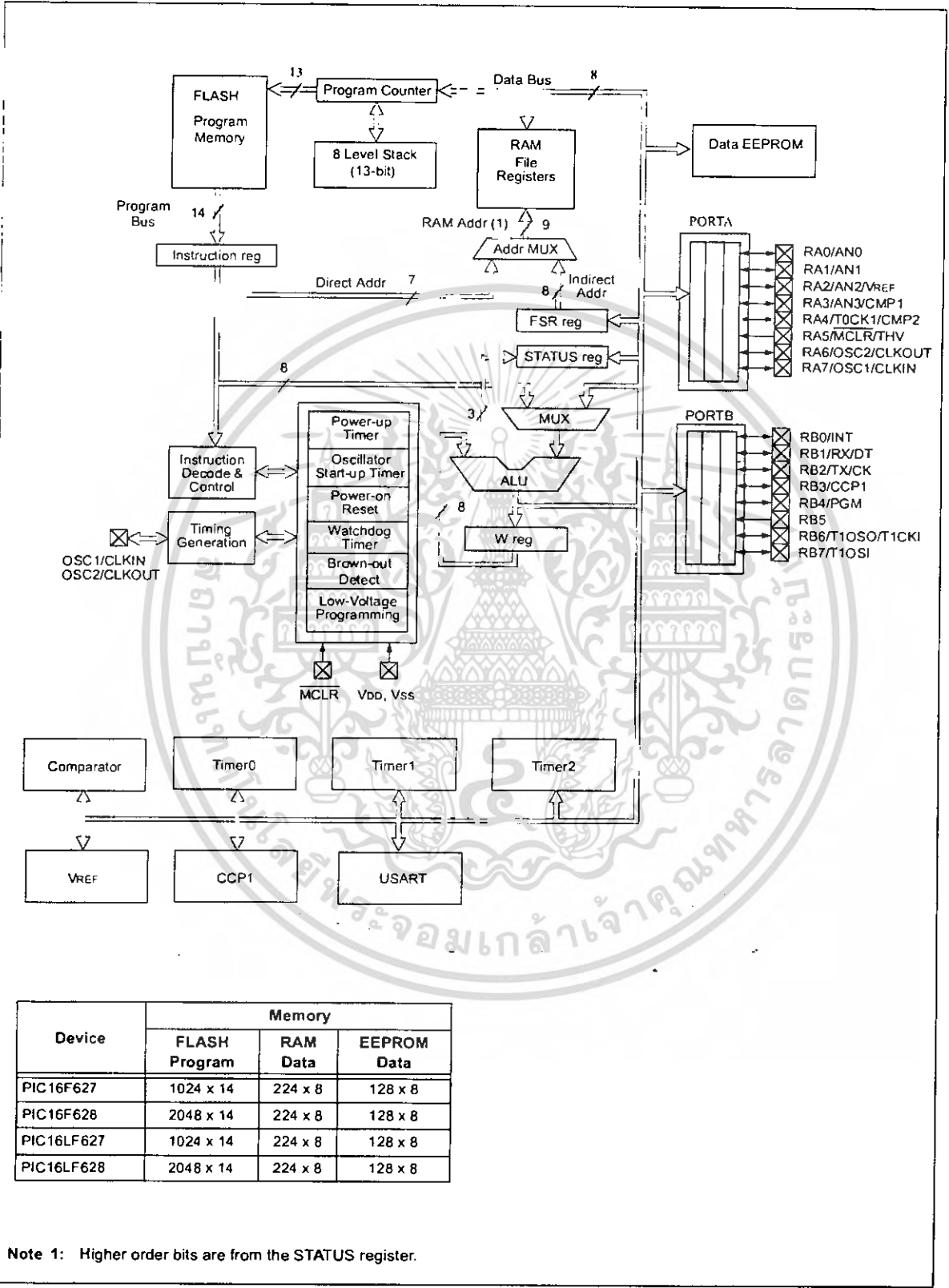


TABLE 3-1: PIC16F62X PINOUT DESCRIPTION

Name	DIP/ SOIC Pin #	SSOP Pin #	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RA0/AN0	17	19	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Analog comparator input
RA1/AN1	18	20	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	1	1	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Analog comparator input/VREF output
RA3/AN3/CMP1	2	2	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Analog comparator input/comparator output
RA4/T0CKI/CMP2	3	3	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Can be configured as T0CKI/comparator output
RA5/MCLR/THV	4	4	I	ST	Input port/master clear (reset input/programming voltage input. When configured as MCLR, this pin is an active low reset to the device. Voltage on MCLR/THV must not exceed VDD during normal device operation.
RA6/OSC2/CLKOUT	15	17	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In ER mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
RA7/OSC1/CLKIN	16	18	I/O	ST	Bi-directional I/O port/Oscillator crystal input/external clock source input. ER biasing pin.
RB0/INT	6	7	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	Bi-directional I/O port/external interrupt. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB1/RX/DT	7	8	I/O	TTL/ST ⁽³⁾	Bi-directional I/O port/ USART receive pin/synchronous data I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB2/TX/CK	8	9	I/O	TTL/ST ⁽³⁾	Bi-directional I/O port/ USART transmit pin/synchronous clock I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB3/CCP1	9	10	I/O	TTL/ST ⁽⁴⁾	Bi-directional I/O port/Capture/Compare/PWM I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB4/PGM	10	11	I/O	TTL/ST ⁽⁵⁾	Bi-directional I/O port/Low voltage programming input pin. Wake-up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up. When low voltage programming is enabled, the interrupt on pin change and weak pull-up resistor are disabled.
RB5	11	12	I/O	TTL	Bi-directional I/O port/Wake-up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB6/T1OSO/T1CKI	12	13	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Bi-directional I/O port/Timer1 oscillator output/Timer1 clock input. Wake up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB7/T1OSI	13	14	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Bi-directional I/O port/Timer1 oscillator input. Wake up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
Vss	5	5,6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	14	15,16	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used I = Input ST = Schmitt Trigger input
 TTL = TTL input I/OD = input/open drain output

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger I/O when used in USART/Synchronous mode.
Note 4: This buffer is a Schmitt Trigger I/O when used in CCP mode.
Note 5: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in low voltage program mode.

4.0 MEMORY ORGANIZATION

4.1 Program Memory Organization

The PIC16F62X has a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. Only the first 1K x 14 (0000h - 03FFh) for the PIC16F627 and 2K x 14 (0000h - 07FFh) for the PIC16F628 are physically implemented. Accessing a location above these boundaries will cause a wrap-around within the first 1K x 14 space (PIC16F627) or 2K x 14 space (PIC16F628). The reset vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h (Figure 4-1 and Figure 4-2).

FIGURE 4-1: PROGRAM MEMORY MAP AND STACK FOR THE PIC16F627

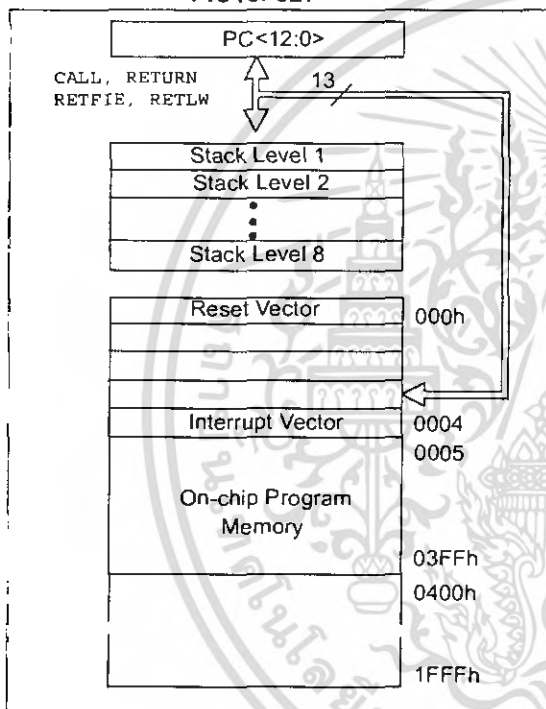
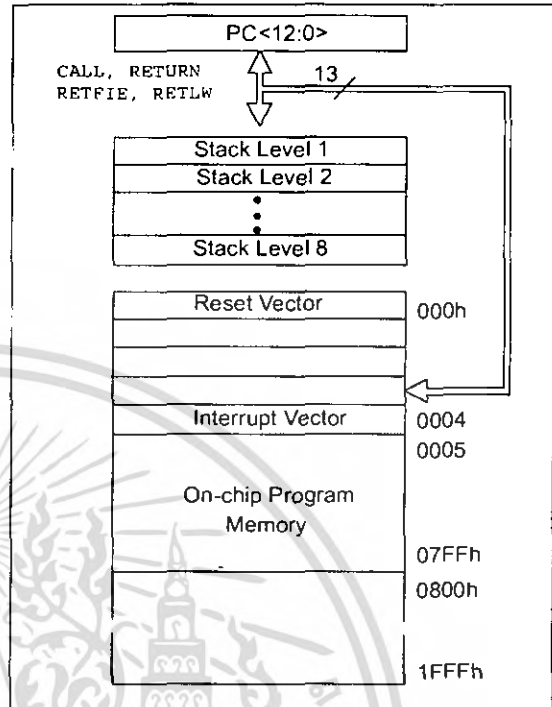


FIGURE 4-2: PROGRAM MEMORY MAP AND STACK FOR THE PIC16F628



4.2 Data Memory Organization

The data memory (Figure 4-3) is partitioned into four Banks which contain the general purpose registers and the special function registers. The Special Function Registers are located in the first 32 locations of each Bank. Register locations 20h-7Fh, A0h-FFh, 120h-14Fh, 170h-17Fh and 1F0h-1FFh are general purpose registers implemented as static RAM.

The Table below lists how to access the four banks of registers:

	RP1	RP0
Bank0	0	0
Bank1	0	1
Bank2	1	0
Bank3	1	1

Addresses F0h-FFh, 170h-17Fh and 1F0h-1FFh are implemented as common RAM and mapped back to addresses 70h-7Fh.

4.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file is organized as 224 x 8 in the PIC16F62X. Each is accessed either directly or indirectly through the File Select Register FSR (Section 4.4).

PIC16F62X

FIGURE 4-3: DATA MEMORY MAP OF THE PIC16F627 AND PIC16F628

						File Address	
Indirect addr.(*)	00h	Indirect addr.(*)	80h	Indirect addr.(*)	100h	Indirect addr.(*)	180h
TMR0	01h	OPTION	81h	TMR0	101h	OPTION	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
	07h		87h		107h		187h
	08h		88h		108h		188h
	09h		89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch		10Ch		18Ch
	0Dh		8Dh		10Dh		18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh		10Eh		18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh		10Fh		18Fh
T1CON	10h		90h				
TMR2	11h		91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
	13h		93h				
	14h		94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah	EEDATA	9Ah				
	1Bh	EEADR	9Bh				
	1Ch	EECON1	9Ch				
	1Dh	EECON2*	9Dh				
	1Eh		9Eh				
CMCON	1Fh	VRCON	9Fh		11Fh		
General Purpose Register 96 Bytes	20h	General Purpose Register 80 Bytes	A0h	General Purpose Register 48 Bytes	120h		
					14Fh		
					150h		
					16Fh		
			EFh		170h		1EFh
		accesses 70h-7Fh	F0h	accesses 70h-7Fh		accesses 70h - 7Fh	1F0h
			FFh		17Fh		1FFh
Bank 0		Bank 1		Bank 2		Bank 3	

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
* Not a physical register.

PIC16F62X

4.4 Indirect Addressing, INDF and FSR Registers

The INDF register is not a physical register. Addressing the INDF register will cause indirect addressing.

Indirect addressing is possible by using the INDF register. Any instruction using the INDF register actually accesses data pointed to by the file select register (FSR). Reading INDF itself indirectly will produce 00h. Writing to the INDF register indirectly results in a no-operation (although status bits may be affected). An effective 9-bit address is obtained by concatenating the 8-bit FSR register and the IRP bit (STATUS<7>), as shown in Figure 4-8.

A simple program to clear RAM location 20h-2Fh using indirect addressing is shown in Example 4-1.

EXAMPLE 4-1: INDIRECT ADDRESSING

```

movlw 0x20 ;initialize pointer
movwf FSR ;to RAM
NEXT   clrf INDF ;clear INDF register
       incf FSR ;inc pointer
       btfss FSR,4 ;all done?
       goto NEXT ;no clear next
                               ;yes continue
    
```

CONTINUE:

FIGURE 4-8: DIRECT/INDIRECT ADDRESSING PIC16F62X

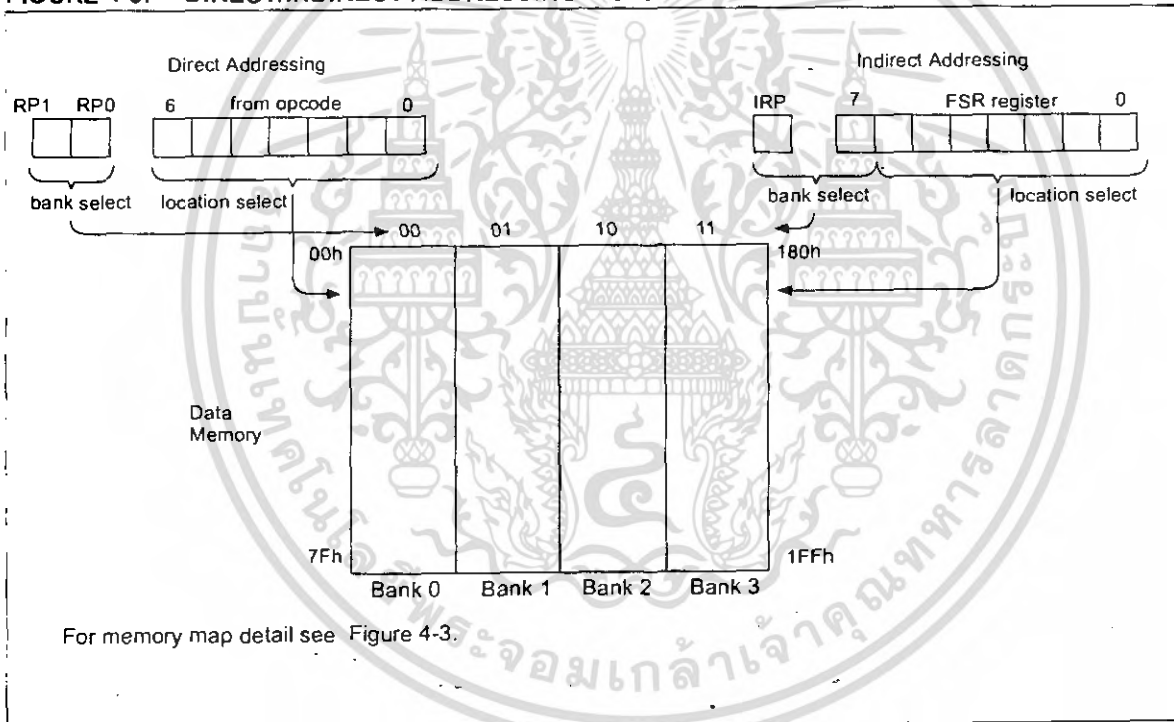


TABLE 5-1: PORTA FUNCTIONS

Name	Bit #	Buffer Type	Function
RA0/AN0	bit0	ST	Bi-directional I/O port/comparator input
RA1/AN1	bit1	ST	Bi-directional I/O port/comparator input
RA2/AN2/VREF	bit2	ST	Bi-directional I/O port/analog/comparator input or VREF output
RA3/AN3	bit3	ST	Bi-directional I/O port/analog/comparator input/comparator output
RA4/T0CKI	bit4	ST	Bi-directional I/O port/external clock input for TMR0 or comparator output. Output is open drain type.
RA5/MCLR/THV	bit5	ST	Input port/master clear (reset input/programming voltage input. When configured as MCLR, this pin is an active low reset to the device. Voltage on MCLR/THV must not exceed VDD during normal device operation.
RA6/OSC2/CLK-OUT	bit6	ST	Bi-directional I/O port/Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In ER mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
RA7/OSC1/CLKIN	bit7	ST	Bi-directional I/O port/oscillator crystal input/external clock source input.

Legend: ST = Schmitt Trigger input

TABLE 5-2: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR	Value on All Other Resets
05h	PORTA	RA7	RA6	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	xxxx 0000	xxxx 0000
85h	TRISA	TRISA7	TRISA6	—	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0	11-1 1111	11-1 1111
1Fh	CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0	0000 0000	0000 0000
9Fh	VRCON	VREN	VROE	VRR	—	VR3	VR2	VR1	VR0	000- 0000	000- 0000

Legend: — = Unimplemented locations, read as '0', u = unchanged, x = unknown

Note: Shaded bits are not used by PORTA.

TABLE 5-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit #	Buffer Type	Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST ⁽¹⁾	Bi-directional I/O port/external interrupt. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB1/RX/DT	bit1	TTL/ST ⁽³⁾	Bi-directional I/O port/ USART receive pin/synchronous data I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB2/TX/CK	bit2	TTL/ST ⁽³⁾	Bi-directional I/O port/ USART transmit pin/synchronous clock I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB3/CCP1	bit3	TTL/ST ⁽⁴⁾	Bi-directional I/O port/Capture/Compare/PWM I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB4/PGM	bit4	TTL/ST ⁽⁵⁾	Bi-directional I/O port/Low voltage programming input pin. Wake-up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up. When low voltage programming is enabled, the interrupt on pin change and weak pull-up resistor are disabled.
RB5	bit5	TTL	Bi-directional I/O port/Wake-up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB6/T1OSO/T1CKI	bit6	TTL/ST ⁽²⁾	Bi-directional I/O port/Timer1 oscillator output/Timer1 clock input. Wake up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB7/T1OSI	bit7	TTL/ST ⁽²⁾	Bi-directional I/O port/Timer1 oscillator input. Wake up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.

Legend: ST = Schmitt Trigger, TTL = TTL input

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

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

Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger I/O when used in USART/synchronous mode.

Note 4: This buffer is a Schmitt Trigger I/O when used in CCP mode.

Note 5: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in low voltage program mode.

TABLE 5-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORT

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR	Value on All Other Resets
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx	nnnn nnnn
86h	TRISB	TRISB7	TRISB6	TRISB5	TRISB4	TRISB3	TRISB2	TRISB1	TRISB0	1111 1111	1111 1111
81h	OPTION	RBPU	INTEDEG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: u = unchanged, x = unknown

Note: Shaded bits are not used by PORTB.

PIC16F62X

5.3 I/O Programming Considerations

5.3.1 BI-DIRECTIONAL I/O PORTS

Any instruction which writes, operates internally as a read followed by a write operation. The BCF and BSF instructions, for example, read the register into the CPU, execute the bit operation and write the result back to the register. Caution must be used when these instructions are applied to a port with both inputs and outputs defined. For example, a BSF operation on bit5 of PORTB will cause all eight bits of PORTB to be read into the CPU. Then the BSF operation takes place on bit5 and PORTB is written to the output latches. If another bit of PORTB is used as a bidirectional I/O pin (e.g., bit0) and it is defined as an input at this time, the input signal present on the pin itself would be read into the CPU and re-written to the data latch of this particular pin, overwriting the previous content. As long as the pin stays in the input mode, no problem occurs. However, if bit0 is switched into output mode later on, the content of the data latch may now be unknown.

Reading a port register, reads the values of the port pins. Writing to the port register writes the value to the port latch. When using read modify write instructions (ex. BCF, BSF, etc.) on a port, the value of the port pins is read, the desired operation is done to this value, and this value is then written to the port latch.

Example 5-2 shows the effect of two sequential read-modify-write instructions (ex., BCF, BSF, etc.) on an I/O port.

A pin actively outputting a Low or High should not be driven from external devices at the same time in order to change the level on this pin ("wired-or", "wired-and"). The resulting high output currents may damage the chip.

EXAMPLE 5-2: READ-MODIFY-WRITE INSTRUCTIONS ON AN I/O PORT

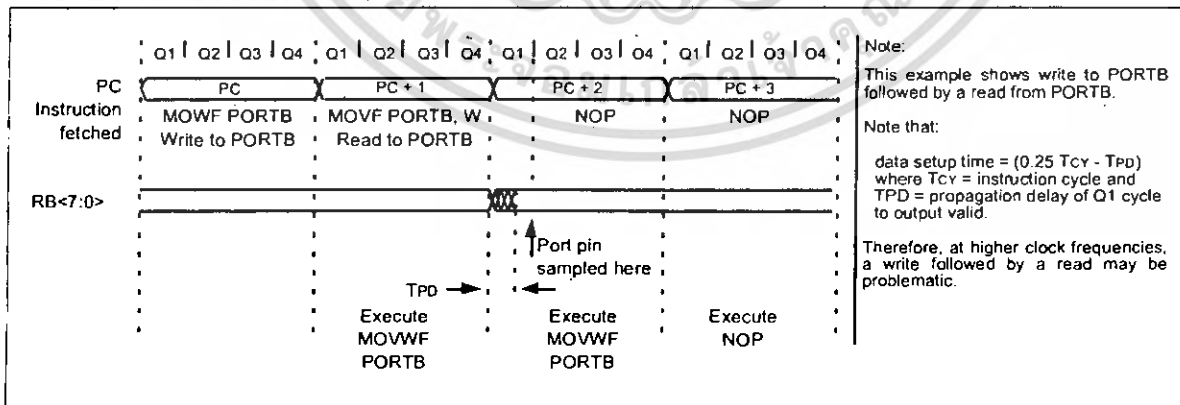
```

; Initial PORT settings:  PORTB<7:4> Inputs
;
;                          PORTB<3:0> Outputs
; PORTB<7:6> have external pull-up and are not
; connected to other circuitry
;
;                          PORT latch  PORT pins
;                          -----  -----
BDF STATUS,RPO           ;
BCF PORTB, 7             ; 01pp pppp   11pp pppp
BCF PORTB, 6             ; 10pp pppp   11pp pppp
BSF STATUS,RPO           ;
BCF TRISB, 7             ; 10pp pppp   11pp pppp
BCF TRISB, 6             ; 10pp pppp   10pp pppp
;
; Note that the user may have expected the pin
; values to be 00pp pppp. The 2nd BCF caused
; RB7 to be latched as the pin value (High).
    
```

5.3.2 SUCCESSIVE OPERATIONS ON I/O PORTS

The actual write to an I/O port happens at the end of an instruction cycle, whereas for reading, the data must be valid at the beginning of the instruction cycle (Figure 5-16). Therefore, care must be exercised if a write followed by a read operation is carried out on the same I/O port. The sequence of instructions should be such to allow the pin voltage to stabilize (load dependent) before the next instruction which causes that file to be read into the CPU is executed. Otherwise, the previous state of that pin may be read into the CPU rather than the new state. When in doubt, it is better to separate these instructions with a NOP or another instruction not accessing this I/O port.

FIGURE 5-16: SUCCESSIVE I/O OPERATION



6.0 TIMER0 MODULE

The Timer0 module timer/counter has the following features:

- 8-bit timer/counter
- Readable and writable
- 8-bit software programmable prescaler
- Internal or external clock select
- Interrupt on overflow from FFh to 00h
- Edge select for external clock

Figure 6-1 is a simplified block diagram of the Timer0 module.

Timer mode is selected by clearing the T0CS bit (OPTION<5>). In timer mode, the TMR0 will increment every instruction cycle (without prescaler). If Timer0 is written, the increment is inhibited for the following two cycles (Figure 6-2 and Figure 6-3). The user can work around this by writing an adjusted value to TMR0.

Counter mode is selected by setting the T0CS bit. In this mode Timer0 will increment either on every rising or falling edge of pin RA4/T0CKI. The incrementing edge is determined by the source edge (T0SE) control

bit (OPTION<4>). Clearing the T0SE bit selects the rising edge. Restrictions on the external clock input are discussed in detail in Section 6.2.

The prescaler is shared between the Timer0 module and the Watchdog Timer. The prescaler assignment is controlled in software by the control bit PSA (OPTION<3>). Clearing the PSA bit will assign the prescaler to Timer0. The prescaler is not readable or writable. When the prescaler is assigned to the Timer0 module, prescale value of 1:2, 1:4, ..., 1:256 are selectable. Section 6.3 details the operation of the prescaler.

6.1 TIMER0 Interrupt

Timer0 interrupt is generated when the TMR0 register timer/counter overflows from FFh to 00h. This overflow sets the TOIF bit. The interrupt can be masked by clearing the TOIE bit (INTCON<5>). The TOIF bit (INTCON<2>) must be cleared in software by the Timer0 module interrupt service routine before re-enabling this interrupt. The Timer0 interrupt cannot wake the processor from SLEEP since the timer is shut off during SLEEP. See Figure 6-4 for Timer0 interrupt timing.

FIGURE 6-1: TIMER0 BLOCK DIAGRAM

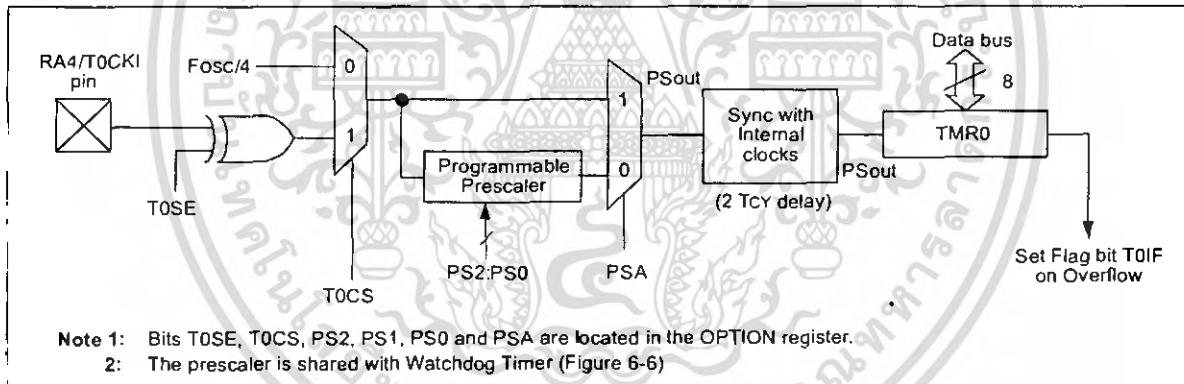
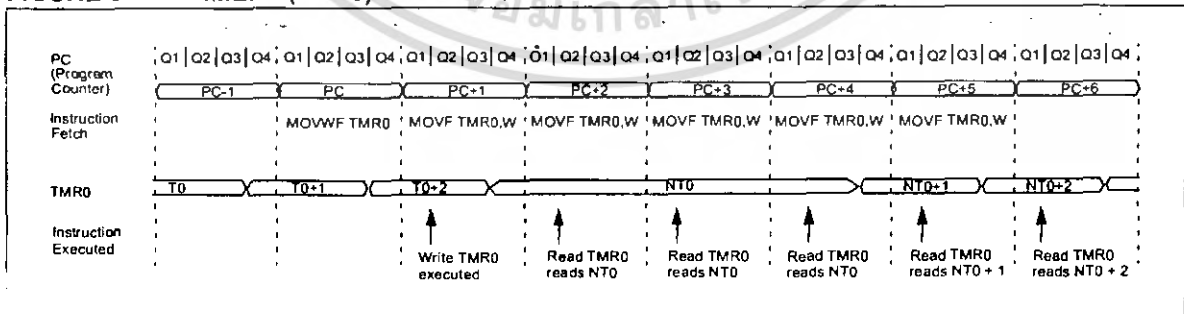


FIGURE 6-2: TIMER0 (TMR0) TIMING: INTERNAL CLOCK/NO PRESCALER



PIC16F62X

FIGURE 6-3: TIMER0 TIMING: INTERNAL CLOCK/PRESCALE 1:2

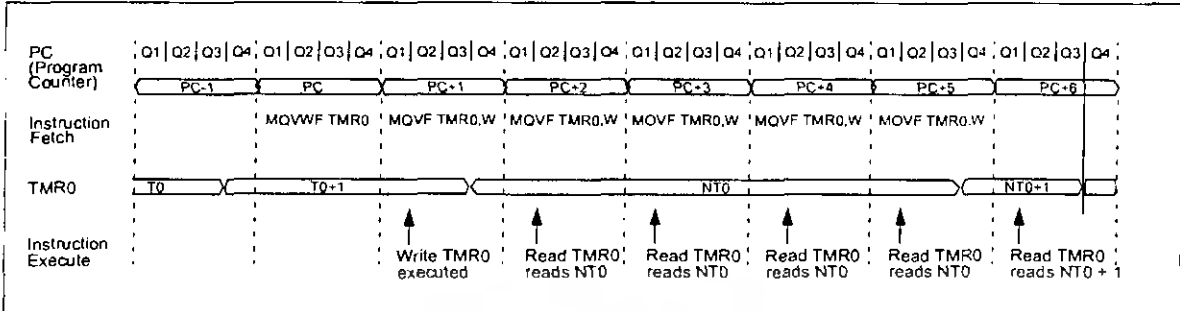


FIGURE 6-4: TIMER0 INTERRUPT TIMING

