

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ



นาย ธนิต อิศระเสรีพงษ์

นาย พีรพัฒน์ ทามณีวัน

นาย สถาปน วงศ์จันทร์มา

ร.พ.
ศ ๒๖๒ค
๒๕๕๐

เลขานุ.....
กลางทะเบียน..... **83050**
วัน,เดือน,ปี..... **31 ก.ค. 2551**

b. **119 ๖0๘2๖**
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC VENDING MACHINE

MR. THANIT ISSARASEREERONG

MR. PEERAPAT TAMANEewan

MR. SATAPON WONGCHANMA



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์

เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ

AUTOMATIC VENDING MACHINE

นักศึกษา

นาย ชนิต อิศระเสรีพงษ์

นาย พีรพัฒน์ ทามณีวัน

นาย สถาปน วงศ์จันทร์มา

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ลิมนรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

นักศึกษา

หลักสูตร

ปีการศึกษา

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ

นาย ธนิต อิศระเสรีพงษ์

นาย พีรพัฒน์ ทามณีวัน

นาย สถาปน วงศ์จันทร์มา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2550

ผศ.ดร.สรรพลสิทธิ์ ลิ้มนรรรัตน์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ โดยในปัจจุบันนี้เครื่องขายสินค้าที่มีอยู่ในประเทศไทยจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศในราคาแพง อีกทั้งยังขายสินค้าได้เฉพาะยี่ห้อต่างๆ ที่ได้มีการตกลงกับผู้ผลิตเครื่องไว้เท่านั้น ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงคิดสร้างเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติที่สามารถขายสินค้าได้หลายๆยี่ห้อ โดยมีขนาด 3x3 ช่องสินค้า ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์(micro-controller) และใช้โปรแกรมภาษาซี ในการสั่งงาน โดยรับคำสั่งการกดเลือกสินค้าผ่านมัลติสวิตช์(multi-switch) เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณ ไปสั่งให้สเต็ปมอเตอร์(Stepping Motor) ทั้ง 3 ตัวที่ใช้ขับเคลื่อนระบบอัตโนมัติเคลื่อนตัวไปยังช่องสินค้าที่ต้องการ โดยในแนวแกน X จะส่งกำลังด้วยสายพาน แนวแกน Z ส่งกำลังด้วยสกรูส่งกำลัง และแนวแกน Y จะเป็นตัวหมุนเกลียวลำเลียงที่ใช้ในการขับเคลื่อนสินค้าให้ออกมา

Thesis Title Automatic Vending Machine
Student Mr. Thanit Isaraserepong
Mr. Peerapat Tamaneewan
Mr. Satapon Wongchanma
Degree Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2007
Thesis Advisor Assistant Professor DR. Sunpasit Limnararat

ABSTRACT

The objective of this thesis is to design and develop the automatic vending machine. In general, the exist vending machines imported from overseas are expensive and limited to use with specific goods. Thus, the automatic machine in this study is designed by using Automation and Machine Design concepts. To operate this machine with 3x3 slots, the PIC microcontroller with C programming are used to receive ordering data from customer through multi-switch, then computed such data to control 3 stepping motors to move the selected slot. The automation system is able to move in 2 axis direction; X-axis via conveyor belt and Z-axis via screw. Thus the stepping motor in Y-axis is used to push the selected goods to the customer. This machine is generally used as the model to develop the automatic vending machine in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ สามารถสำเร็จส่งออกไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ศศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ้มบรรดิน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาบัตรฉบับนี้ รวมทั้งคำแนะนำ กำลังใจในการทำงาน การดูแลและเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ดร.อนิรุท ไชยจรรวมิช กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่กรุณาขอให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ในการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้

นายธนิต อิศระเสรีพงษ์
นายพีรพัฒน์ ทามณีวัน
นายสถาปน วงศ์จันทร์มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แลต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ของโครงการ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	2
2.1.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	2
2.1.2 โครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	4
2.2 สเต็ปปีงมอเตอร์.....	10
2.2.1 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์.....	12
2.2.2 หลักการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์.....	12
2.2.3 การสั่งงานควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์.....	12
2.3 การออกแบบเครื่องจักรกล.....	15
2.3.1 เสา.....	15
2.3.2 สกรูส่งกำลัง.....	19
2.4 การขยายสัญญาณ.....	24
บทที่ 3 การวางแผนและดำเนินการ	
3.1 การวางแผนและดำเนินการ.....	25
3.2 ออกแบบและคำนวณหาขนาดของเสา.....	26
3.3 ออกแบบและคำนวณหาขนาดของเกลิยวส่งกำลัง.....	27
3.4 การออกแบบโครงสร้างเครื่องขยายสินค้าอัตโนมัติ.....	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การออกแบบระบบอัตโนมัติ.....	28
3.6 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	29
3.7 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	30
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์.....	32
4.1.1 ระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ.....	32
4.1.2 โครงเก็บสินค้า.....	34
4.2 ผลการดำเนินงานส่วนวงจรควบคุม.....	35
4.3 ผลการดำเนินงานในส่วนของ โปรแกรม.....	38
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	39
5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน.....	39
5.3 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาในอนาคต.....	39
หนังสืออ้างอิง.....	40
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางที่ใช้ในการคำนวณและการออกแบบ.....	
ภาคผนวก ข. โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน.....	
ภาคผนวก ค. ข้อมูลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน.....	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 หน้าที่อื่นๆ ของพอร์ต A.....	6
ตารางที่ 2.2 หน้าที่อื่นๆ ของพอร์ต B.....	6
ตารางที่ 2.3 หน้าที่อื่นๆ ของพอร์ต C.....	7
ตารางที่ 2.4 หน้าที่อื่นๆ ของพอร์ต D.....	8
ตารางที่ 2.5 หน้าที่อื่นๆ ของพอร์ต E.....	8
ตารางที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน f_r และ f_c	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายใน PIC16F877A.....	4
รูปที่ 2.2 ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	5
รูปที่ 2.3 การจัดพื้นที่หน่วยความจำใน PIC16F877A.....	9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในสเต็ปปีงมอเตอร์.....	10
รูปที่ 2.5 หลักการของสเต็ปปีงมอเตอร์.....	11
รูปที่ 2.6 การควบคุมแบบพูลสเต็ป 1 เฟส.....	13
รูปที่ 2.7 การควบคุมแบบพูลสเต็ป 2 เฟส.....	14
รูปที่ 2.8 การควบคุมแบบครึ่งสเต็ป.....	15
รูปที่ 2.9 การยืดปลายเสาวิธีต่าง ๆ.....	17
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราส่วนความเพียว จากสูตรของออยเลอร์และจอห์นสัน.....	18
รูปที่ 2.11 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู.....	19
รูปที่ 2.12 มุมหัด.....	20
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง.....	21
รูปที่ 2.14 แรงปฏิกิริยาบนเกลียวเนื่องจากการยกน้ำหนัก W.....	22
รูปที่ 3.1 การคำนวณหาแรงที่เสาสามารถรับได้.....	26
รูปที่ 3.2 การออกแบบโครงเก็บสินค้า.....	28
รูปที่ 3.3 การออกแบบระบบอัตโนมัติ.....	29
รูปที่ 3.4 การออกแบบลายวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	30
รูปที่ 3.5 chart การทำงานของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ.....	31
รูปที่ 4.1 ระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ.....	32
รูปที่ 4.2 ระบบส่งกำลังของแกน X.....	33
รูปที่ 4.3 ระบบส่งกำลังของแกน Z.....	33
รูปที่ 4.4 มอเตอร์ในแนวแกน Y.....	34
รูปที่ 4.5 โครงเก็บสินค้า.....	34
รูปที่ 4.6 เกลียวลำเลียงสำหรับจับสินค้า.....	35
รูปที่ 4.7 แผงวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	36
รูปที่ 4.8 ทรานซิสเตอร์ ULN2803.....	36
รูปที่ 4.9 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	37
รูปที่ 4.10 IC 7805 พร้อมตัวระบายความร้อน.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้ ระบบอัตโนมัตินำเข้ามีบทบาทเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน เนื่องจากทำงานได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้องและแม่นยำ สามารถตัดปัญหาความผิดพลาดเมื่อเทียบกับคนได้ ซึ่งปัจจุบันมีการนำระบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้กับการค้าขายในชีวิตประจำวัน เพื่อช่วยลดปัญหาเรื่องเวลาในการซื้อขาย การทอนเงิน ทั้งยังสามารถตั้งขายไว้ได้ตลอดทั้งวัน โดยที่ไม่ต้องมีคนดูแล ดังจะเห็นได้จาก เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ หรือ เครื่องขายน้ำดื่มกระป๋องอัตโนมัติ ซึ่งมีให้เห็นอย่างแพร่หลายในประเทศไทย แต่การจะนำเครื่องให้บริการสินค้าอัตโนมัตินี้มาใช้ ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศในราคาสูง อีกทั้งยังขายสินค้าได้เฉพาะยี่ห้อต่างๆ ที่ได้มีการตกลงกับผู้ผลิตผู้ว่าเท่านั้น ดังนั้นทางกลุ่มผู้วิจัยจึงตัดสินใจที่จะสร้างเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติที่สามารถขายสินค้าประเภทสินค้าถุงและสินค้ากล่องยี่ห้อต่างๆ ได้ เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติในประเทศไทยต่อไป

ส่วนความรู้ที่ได้จากการทำโครงการเครื่องขายสินค้าอัตโนมัตินี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเบิกจ่ายวัสดุคงคลังด้วยระบบอัตโนมัติภายในโรงงาน เป็นการประหยัดเวลาในขั้นตอนของการเบิกจ่ายที่ต้องมีเจ้าหน้าที่มาคอยรับใบสั่ง จัดหาวัสดุ และเซ็นรับของ แต่ดำเนินการจ่ายวัสดุอัตโนมัติเข้าไปประยุกต์ใช้แล้ว ก็เพียงให้พนักงานป้อนชื่อผู้ใช้ (Username) และรหัสผ่าน (Password) ของตัวเองในการเบิกจ่าย ก็จะสามารถได้ว่าผู้ใดได้ทำการเบิกของไปเวลาใด จำนวนเท่าใด และหากมีการพัฒนาเชื่อมโยงสู่ระบบฐานข้อมูลภายในองค์กรได้ ก็จะสามารถบริหารระบบคลังสินค้าได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบและหลักการทำงานของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างกลไกของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติขนาด 3x3 ช่องสินค้า

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติขนาด 3x3 ช่องสินค้า โดยมีขนาดของช่อง 20x25 เซนติเมตร
2. ควบคุมการทำงานโดยใช้ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ใช้ภาษา C ในการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ตัวกลไกการเก็บและการจ่ายสินค้าของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ
2. สามารถนำไปพัฒนาต่อ เพื่อให้ได้เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติที่สามารถของสินค้าได้ทุกแบรนด์
3. สามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ในระบบเบิกจ่ายวัสดุในคลังด้วยระบบอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A)

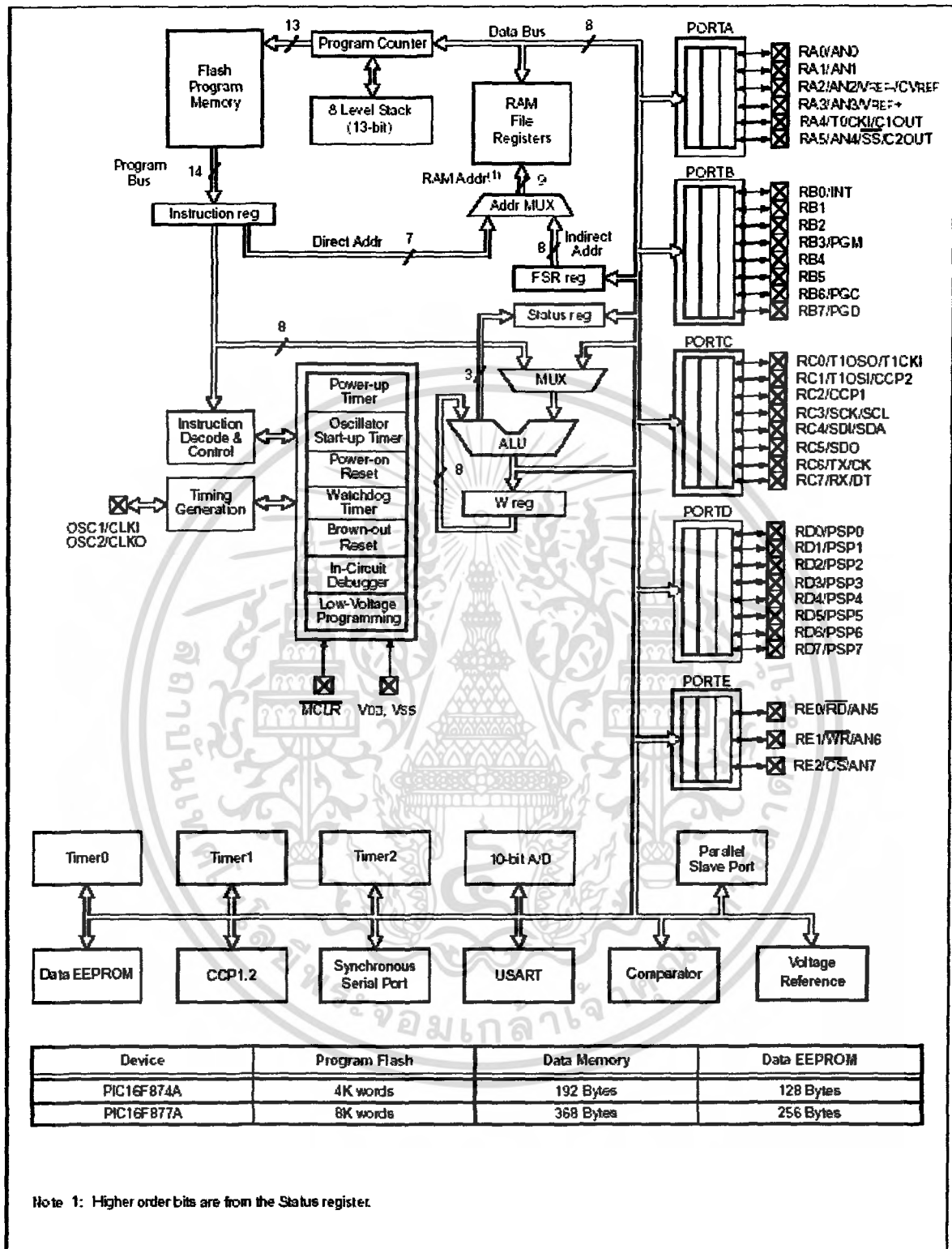
ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล (PIC16F877A) เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีอุปกรณ์สนับสนุนภายในหลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ อุปกรณ์สำหรับรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม และเป็นชิปรุ่นแรกที่หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช และมีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย และสนับสนุนการทำงานแบบอินเซอร์ทิดิบั๊กเกอร์ (In Circuit Debugger) ทำให้ไม่ต้องซื้ออีพรอมอิมูเลเตอร์ (EPROM Emulator) มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง และมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) ขนาด 10 บิตอยู่ภายในด้วย เนื่องจากโครงสร้างของ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ในนี้เอง ทำให้การใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป นอกจากนี้เรายังสามารถนำอุปกรณ์อื่นๆ มาต่อเพิ่มเติมเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อีกด้วย

2.1.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A) โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีคุณสมบัติหลักๆ ดังนี้

1. มีคำสั่งที่เป็นภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง
2. ใน 1 คำสั่งใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 ไชเคิล
3. ทำงานได้สูงสุดที่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไปตรงถึง 20 MHz
4. ทำงานแบบ Pipe-line สามารถทำงาน 2 อย่างในเวลาเดียวกันได้
5. หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8 KWord (1 word = 14 บิต)
6. มีหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory RAM) ขนาด 368 ไบท์
7. มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 256 ไบท์
8. ตอบสนองการอินเทอร์รัปต์ได้ทั้งหมด 14 แหล่ง
9. มี stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
10. มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up และ Watchdog Timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

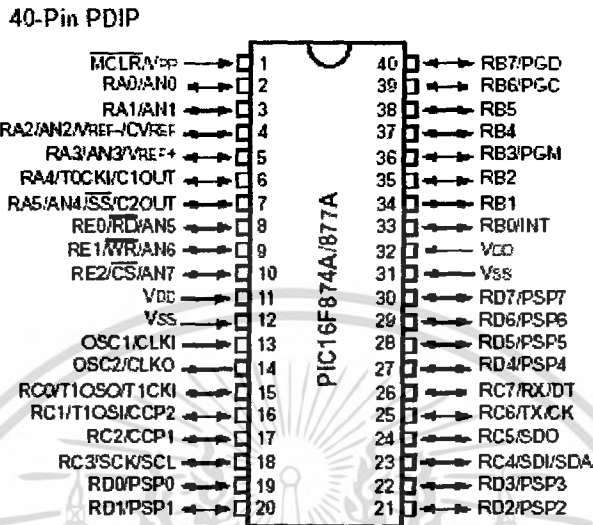
11. มีระบบ Code Protection กันการคัดลอก
12. มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
13. สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือวงจร RC ก็ได้
14. สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5 VDC ได้
15. ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming
16. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2 VDC ถึง 5.5 VDC
17. Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25 mA
18. มี Timer/Counter 3 ตัว คือ Timer 0 ขนาด 8 บิต, Timer 1 ขนาด 16 บิต และ Timer 2 ขนาด 8 บิต
19. มีโมดูล Capture/Compare/PWM (Pulse Width Modulation) 2 ชุด
20. มีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) ขนาด 10 บิต
21. มีระบบ USART สำหรับต่อการสื่อสารแบบ RS232
22. มีระบบตรวจระดับไฟเลี้ยง (Brown-out Reset)
23. มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายใน PIC16F877A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 โครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877A เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา แสดงดังภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

2.1.2.1 หน้าที่และการใช้งานของสัญญาณต่างๆ

1. MCLR/Vpp : Master Clear (Reset) Input/Programming Voltage Input ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรีเซ็ต (Reset) เมื่อขานี้ ได้รับลอจิก 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซ็ต และทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรับแรงดันขณะทำการบันทึก โปรแกรมลงหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. VDD : Positive Supply (+2.00 V ถึง +5.5 V) ทำหน้าที่เป็นขาไฟเลี้ยงของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. VSS : Ground ทำหน้าที่เป็นขากราวด์
4. OSC1/CLKIN : Oscillator Crystal Input/External Clock Source Input ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณอินพุตสำหรับต่อคริสตอล ในกรณีที่อยู่ในโหมดการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
5. OSC2/CLKOUT : Oscillator Crystal Output/External Clock Source Output ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณเอาต์พุตสำหรับต่อคริสตอล ในกรณีที่อยู่ในโหมดการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
6. RA0 - RA5 : พอร์ต A มีจำนวน 6 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง (Bi-directional I/O Port) คือเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หน้าอื่นๆของพอร์ต A

RA0/AN0 RA0 AN0	2	3	19	19	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0. Digital I/O. Analog input 1. Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output. Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input. Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output. Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	4	20	20	I/O I	TTL	
RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	5	21	21	I/O I I O	TTL	
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	6	22	22	I/O I I	TTL	
RA4/T0CKI/C1OUT RA4	6	7	23	23	I/O I O	ST	
T0CKI C1OUT					I O		
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	8	24	24	I/O I I O	TTL	

7. RB0 - RB7 : พอร์ต B มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้บางขายังทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตจากการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt) จากภายนอกด้วย แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 หน้าอื่นๆของพอร์ต B

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

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

8. RC0 - RC7 : พอร์ต C มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 หน้าที่อื่นๆของพอร์ต C

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TOFP Pin#	QFN Pin#	IOP Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSQ/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	18	20	37	37	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transml. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

9. RD0 – RD7 : พอร์ต D มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 หน้าที่อื่นๆของพอร์ต D

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TOFP Pin#	OFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus. Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.

10. RE0 – RE2 : พอร์ต E มีจำนวน 3 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 หน้าที่อื่นๆของพอร์ต E

RE0/ \overline{RD} /AN5 RE0 \overline{RD} AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/ \overline{WR} /AN6 RE1 \overline{WR} AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/ \overline{CS} /AN7 RE2 \overline{CS} AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

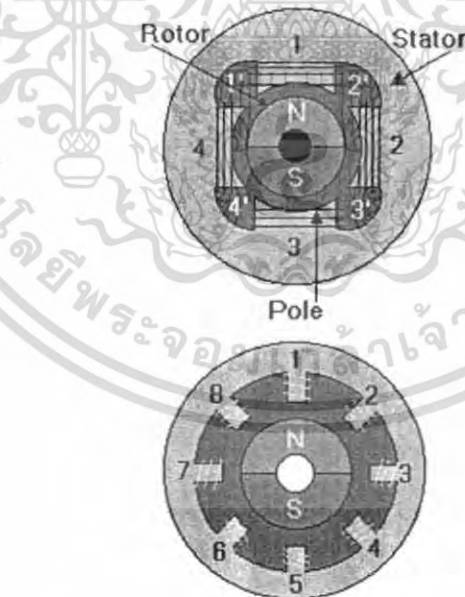
แบงก์ 0 และแบงก์ 1 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเหมือนกันคือ ส่วนที่ 1 ขนาด 32 ไบต์ เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟต์ที่เรียกว่า SFR (Special Function Register) ซึ่งใช้สำหรับกำหนดเงื่อนไขการทำงานและบันทึกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนที่ 2 ขนาด 96 ไบต์เป็นพื้นที่หน่วยความจำสำหรับใช้งานทั่วไป ซึ่งใช้สำหรับเก็บผลลัพธ์และเงื่อนไขต่างๆ ของโปรแกรม

แบงก์ 2 และแบงก์ 3 จะแบ่งออกเป็นสองส่วน แต่มีขนาดแตกต่างกับแบงก์ 0 และแบงก์ 1 คือ ส่วนที่ 1 ขนาด 16 ไบต์ เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟต์ ส่วนที่ 2 ขนาด 112 ไบต์ เป็นพื้นที่หน่วยความจำสำหรับใช้งานทั่วไป

2.2 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปป์มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเต็ปป์มอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งการหมุนด้วยตัวเลข(องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุม

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ที่มาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละซี่นั้นจะมีคอยล์(ขดลวด)พันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ดังรูปที่ 2.4 จะแสดงถึงองค์ประกอบภายในมอเตอร์

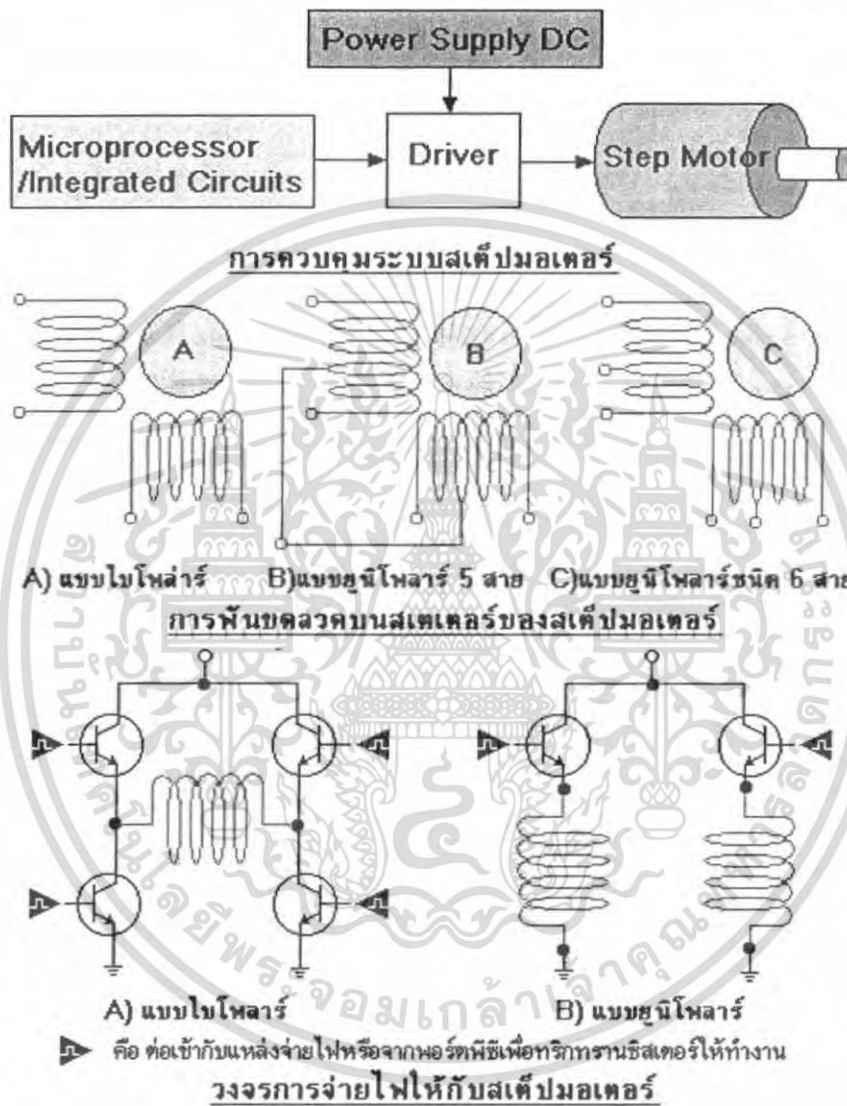


รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในสเต็ปป์มอเตอร์

ลักษณะการนำไปใช้งาน สเต็ปป์มอเตอร์ ใช้งานลักษณะ ระบบเปิด (Open Loop System) คือ สเต็ปป์มอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา (Feed Back) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นอน จะต้องการป้อนกลับไปใช้ระบบและตัวบอก ตำแหน่งว่าถูกต้องหรือผิดพลาดให้รับทราบ ดังเช่นวิธีที่ใช้กับสแต็ปปีงมอเตอร์ ก็อนาลิมิตสวิทช์ติดตามตำแหน่งที่จะตรวจจับ เมื่อสแต็ปปีงมอเตอร์ เริ่มหมุนแล้วหมุนไปจนถึงตำแหน่งของสวิทช์ตรวจจับสัญญาณ สวิทช์ทำงานก็จะป้อนกลับไปสู่ระบบ ซึ่งก็จะทำให้รู้การทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ตลอดตัววงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์เองจะมีจุดอ้างอิง ไว้ให้เริ่มต้นการทำงานและอ้างอิงตำแหน่งได้ถูกต้อง



รูปที่ 2.5 หลักการของสแต็ปปีงมอเตอร์

โดยแนวทางการสแต็ปปีงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีกรุปของไบนารีโวลต์เคตเป็นอินพุตและการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นเอาต์พุต หรือว่าหมุนทีละสแต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1 – 30 องศา อยู่ที่โครงสร้างของสแต็ปปีงมอเตอร์ โดยตามสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงผลักแก่โรเตอร์หมุนไป สแต็ปปีงมอเตอร์มีขดลวดหลายขดในที่นี้เราเรียกว่าเฟส (Phase) ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็นลำดับ (Sequence) ลักษณะของ ไบนารี (Binary) ซึ่งจะต้องไปผ่านวงจรไดรเวอร์ (Driver) ก็จะทำให้โรเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่อง ดูได้จากรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสตีปิ้งมอเตอร์

จะมีการพันด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) กับ แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar)

2.1.1.1 แบบไบโพลาร์ (Bipolar)

จะมีการพันขดลวดหนึ่งขด(จะก็รอบก็แล้วแต่สเปคใช้งาน)ในแต่ขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ที่สเตเตอร์จะถูกกำหนดโดยทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้เพียง การกลับทิศทางของการไหลในกระแสไฟฟ้า โดยมาจากการควบคุมของวงจรสวิทซ์ซึ่งให้กลับขั้วไฟฟ้า

2.1.1.2 แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar)

แบบนี้มี 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้แต่ละขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม ในการกลับทิศทางขั้วแม่เหล็กทำได้โดยใช้วงจรสวิทซ์ให้สลับขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งแทน พื้นฐานการสวิทซ์จึงดู รูปที่

2.5 การพันขดลวดทั้ง 2 แบบที่กล่าวต่างกัน แบบยูนิโพลาร์จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์ ดูจากสายไฟที่ต่อมาจากตัวสตีปิ้งมอเตอร์ซึ่งแบบไบโพลาร์จะมี 4 สาย ส่วนเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 สายหรือ 6 สาย

2.2.2 หลักการทำงานของสตีปิ้งมอเตอร์

โครงสร้างการทำงานภายในของสตีปิ้งมอเตอร์นั้นจะมีแกนตัวหมุน(Rotor) เป็นแม่เหล็กถาวรซึ่งจะควบคุมการหมุนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็ก (Stator)

สำหรับแกนหมุนนั้นจะมีลักษณะเป็นซี่ ซึ่งจำนวนสตีปิ้งที่ใช้ในการหมุน 1 รอบนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนซี่ของโรเตอร์และจำนวนของสเตเตอร์

$$\text{จำนวนสตีปิ้งที่หมุนได้ 1 รอบ} = \text{จำนวนซี่ของโรเตอร์} \times \text{จำนวนของสเตเตอร์}$$

2.2.3 การสั่งงานควบคุมการหมุนของสตีปิ้งมอเตอร์

การควบคุมและสั่งงานให้สตีปิ้งมอเตอร์ทำงาน ไปที่ละสตีปิ้งสามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟไปยังขดลวด ในแต่ละขอบบนสเตเตอร์ โดยการป้อนจะทำในลักษณะเป็นลำดับหรือเรียกว่า ซีควเอนเวียนในรูปที่ถูกต้อง ซึ่งมีรูปแบบการควบคุมการหมุนของสตีปิ้งมอเตอร์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ การควบคุมแบบฟูลสตีปป์ 1 เฟส การควบคุมแบบฟูลสตีปป์ 2 เฟส และการควบคุมแบบครึ่งสตีปป์

2.1.3.1 การควบคุมแบบฟูลสตีปป์ 1 เฟส

ในการควบคุมการหมุนของสตีปิ้งมอเตอร์นั้น จะต้องกระตุ้นให้ตัวมอเตอร์หมุนไปแต่ละสตีปป์ซึ่งทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับสตีปป์มอเตอร์ทีละ 1 เฟส (ซึ่งก็คือ จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปให้กับสเตเตอร์แต่ละตัวนั่นเอง) ตามลำดับจะทำให้มอเตอร์หมุนดังรูปที่ 2.6

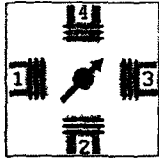
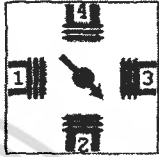
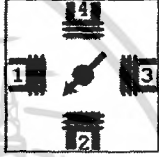

วิธีการก็คือ จะต้องจ่ายกระแสให้กับขดลวด Stator เฟสที่ 1 จากนั้นกระตุ้นเฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ตามลำดับ จากนั้นก็วนกลับไปกระตุ้นขดลวดสเตเตอร์ เฟสที่ 1 อีกครั้งและวนลูปไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้สตีปป์มอเตอร์หมุนได้และในทางตรงกันข้าม ถ้ากระตุ้นขดลวดสเตเตอร์ เฟสที่ 4 ก่อนจากนั้นกระตุ้นเฟสที่ 3 , เฟสที่ 2 และเฟสที่ 1 และวนกลับไปเฟสที่ 4 อีกครั้งก็จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทาง

สเต็ป	Coil4	Coil3	Coil2	Coil1	รูปแบบการหมุนของมอเตอร์
Data	H8	H4	H2	H1	
a.1	On	Off	Off	Off	
a.2	Off	On	Off	Off	
a.3	Off	Off	On	Off	
a.4	Off	Off	Off	On	

รูปที่ 2.6 การควบคุมแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

2.1.3.2 การควบคุมแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

ในการควบคุมมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟสนั้น เราจะต้องจ่ายกระแสไฟเพื่อกระตุ้นขดลวดของมอเตอร์ทีละ 2 เฟส ในเวลาเดียวกันเรียงลำดับกันไปตามรูปแบบที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.7 โดยมอเตอร์จะหมุนไปที่ละสเต็ปเหมือนกับลักษณะการควบคุมมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส แต่การควบคุมมอเตอร์แบบฟูลสเต็ป 2 เฟสนี้จะให้แรงบิดสูงกว่าแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ป	Coil4	Coil3	Coil2	Coil1	รูปแบบการหมุนของมอเตอร์
Data	H8	H4	H2	H1	
b.1	On	On	Off	Off	
b.2	Off	On	On	Off	
b.3	Off	Off	On	On	
b.4	On	Off	Off	On	

รูปที่ 2.7 การควบคุมแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

2.1.3.3 การควบคุมแบบครึ่งสเต็ป

การควบคุมสเต็ปปึ่งมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปนี้จะทำให้เราสามารถเพิ่มความละเอียดในการควบคุมการหมุนของสเต็ปปึ่งมอเตอร์ (มุมที่สเต็ปปึ่งมอเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเต็ป) ได้อีก 1 เท่าตัวทำให้เราสามารถควบคุมตำแหน่งในการหยุดของสเต็ปปึ่งมอเตอร์ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยดูได้จากรูปที่ 2.8

การควบคุมสเต็ปปึ่งมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปนี้เป็นการผสมผสานระหว่างการควบคุมแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส และการควบคุมแบบฟูลสเต็ป 2 เฟสเข้าไว้ด้วยกัน

สเต็มป์	Coil4	Coil3	Coil2	Coil1	รูปแบบการหมุนของมอเตอร์
Data	H8	H4	H2	H1	
a 1	On	Off	Off	Off	
b 1	On	On	Off	Off	
a 2	Off	On	Off	Off	
b.2	Off	On	On	Off	
a.3	Off	Off	On	Off	
b.3	Off	Off	On	On	
a 4	Off	Off	Off	On	
b.4	On	Off	Off	On	

รูปที่ 2.8 การควบคุมแบบครึ่งสเต็มป์

2.3 การออกแบบเครื่องจักรกล

2.3.1 เสา (Column)

เสามีลักษณะเป็นท่อนตรงและรับแรงกดในแนวแกน ถ้าแรงมีค่าไม่มากนักเสาที่เรียวยาวก็ยังคงอยู่ในสภาพที่ตรงได้ แต่ถ้าแรงเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง เสาดังกล่าวก็อาจจะเกิดการโก่งงอขึ้น (Buckling) แรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอนี้เรียกว่าแรงวิกฤติ (Critical Load) ความเค้นที่เกิดที่เสาชณะที่จะเริ่มโก่งงออาจจะต่ำกว่าความเค้นใช้งานก็ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการโก่งงอขึ้นแล้ว ชิ้นงานนั้นก็ไม่สามารถที่จะทำหน้าที่ได้ตามต้องการ ฉะนั้นการออกแบบจึงอาจจะต้องจำกัดแรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอแทนที่จะจำกัดความเค้น

ชิ้นส่วนเครื่องกลจำนวนมากที่ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเสา เช่น ก้านสูบ สุนทรที่ใช้กับเสาจะจำแนกเอาตามอัตราส่วนความเพรียว (Slenderness Ratio) โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Slenderness Ratio} = L_e/k \quad (2.1)$$

เมื่อ L_e คือความยาวสมมูล (Equivalent Length)

$$k = \left[\frac{I}{A} \right]^{1/2} \quad (2.2)$$

k คือรัศมีไจเรชัน

I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

A คือพื้นที่หน้าตัด

เนื่องจากการออกแบบเสาที่อาจจะเกิดการ โกงงจะจำกัดแรงกด แทนที่จะจำกัดความเค้น ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงกด

แรงกดใช้งานคือ

$$F = F_c N$$

เมื่อ F_c คือแรงวิกฤต

N คือค่าความปลอดภัย

สำหรับเสาที่มีขนาดยาวจะนิยมใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler) คือ

$$F = \frac{\pi^2 EA}{N(L_e/k)^2} = \frac{\pi^2 EI}{NL_e^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ F คือแรงกดใช้งาน

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น

ซึ่งถ้าเป็นหลักโครงสร้างแล้วจะใช้สูตรของออยเลอร์ เมื่ออัตราส่วนความเพียวมากกว่า 115 จากสูตรจะเห็นว่าเสาเกิดการ โกงงรอบแกน ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดหรือรัศมีไจเรชันมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับเสานี้ ในทางการออกแบบเครื่องกลแนะนำให้ใช้ประมาณ 3.5

สำหรับค่าความยาวสมมูลนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่ ดังรูปที่ 2.9 (วิริทธิ์ อังภากรณ์, ชาญ ฤณรงค์งาน, 2541)

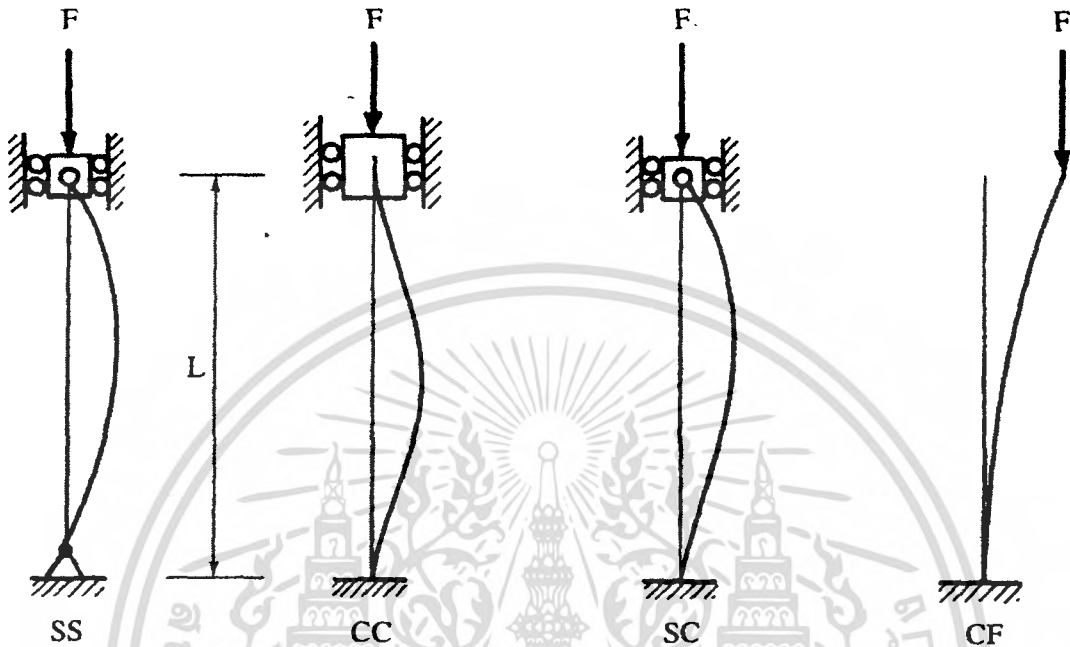
ปลายยึดแบบธรรมดา (SS: Simply Supported) $L_e = L$ (2.4)

ปลายยึดแน่นสองข้าง (CC: Clamped) $L_e = \frac{L}{2}$ (2.5)

ปลายยึดแบบธรรมดา – ยึดแน่น (SS: Simply Supported – Clamped) $L_e = 0.707L$ (2.6)

ปลายยึดแน่น – อิสระ (CF: Clamped – Free) $L_e = 2L$ (2.7)

เมื่อ L คือความยาวของเสา



รูปที่ 2.9 การยึดปลายเสาวิธีต่างๆ

จะเห็นว่าปลายแบบ CC มีความแข็งแรงสูงสุดและปลายแบบ CF รับแรงกดได้น้อยที่สุด ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเสา ปลายมักจะเป็นแบบ SS, SC หรือ CF ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะที่แท้จริงของชิ้นงานนั้น

สำหรับเสาที่มีขนาดสั้นลงมาก สูตรของออยเลอร์จะใช้งานไม่ได้คั่นก ทั้งนี้เพราะความเสียหายที่แท้จริงอาจจะเนื่องมาจากผลของการโก่งงอ และการที่ความเค้นในเสาเกินขีดจำกัดยืดหยุ่นพร้อมกันในกรณีเช่นนี้ผู้ออกแบบมักจะใช้สูตรของจอห์นสัน (Johnson's Formula) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าสูตรพาราโบลา (Parabolic Formula) คือ

$$F = \frac{\sigma_y A}{N} \left[1 - \frac{\sigma_y (L_c / k)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (2.8)$$

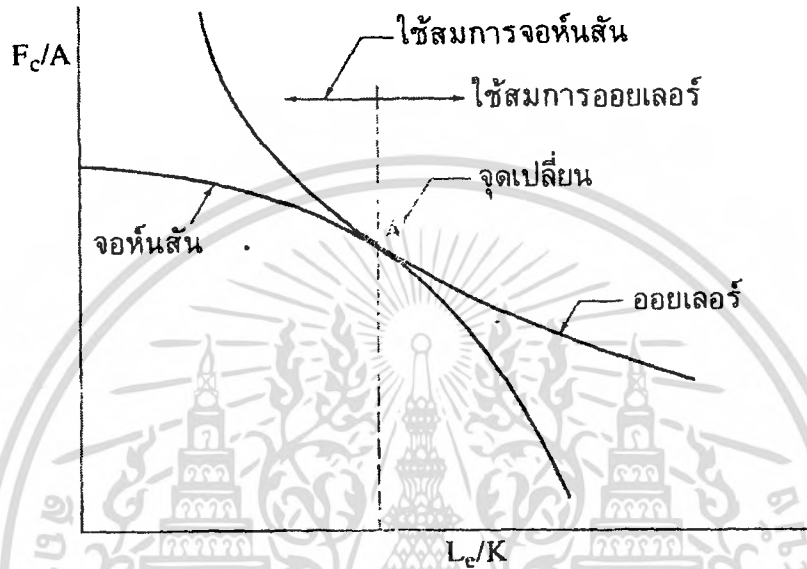
เมื่อ σ_y คือความเค้นที่จุดคราก

E คือโมดูลัสยืดหยุ่น

สำหรับเหล็กโครงสร้างแล้ว จะใช้สูตรของจอห์นสันเมื่ออัตราส่วนความเพียวมีค่าประมาณ

$$40 < L_c / k \leq 115$$

เนื่องจากเส้นกราฟจากสูตรของออยเลอร์และจอห์นสันจะสัมผัสกันที่จุด A ดังรูปที่ 2.10 (วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ ,ชาตฤ ญนังงาน , 2541) ซึ่งเรียกว่าจุดเปลี่ยน (Transition Point) และค่า คึงกล่าวมาแล้วค่าประมาณที่จุด A นี้เพราะ จะนั้นสำหรับวัสดุอื่น ๆ ที่มีค่า E แตกต่างกันไปอีกมาก ก็อาจจะหาจุดเปลี่ยนเพื่อเลือกใช้สูตรที่ถูกต้องได้โดย การหาความลาด (Slope) ของกราฟที่ได้จากสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.8 เท่ากัน คือ



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราส่วนความเพียว จากสูตรของออยเลอร์และจอห์นสัน

$$\text{สูตรของออยเลอร์ } \frac{d(F/A)}{d(L_e/k)} = \text{สูตรของจอห์นสัน } \frac{d(F/A)}{d(L_e/k)}$$

ซึ่งจะได้จุดเปลี่ยนคือ

$$\frac{L_e}{k} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \quad (2.9)$$

สำหรับสูตรของเสาอื่นๆที่มีอยู่ แต่ไม่เป็นที่ยอมรับใช้ในการออกแบบเครื่องจักรกลก็คือ สูตรเส้นตรงและสูตร ซีแคนต์ (Secant Formula) จะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ผู้อ่านที่สนใจจะหาจุดได้จากหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไป สมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.8 อาจจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\sigma_e = \alpha \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

โดยที่ $\alpha = \frac{\sigma_y (L_e/k)^2}{\pi^2 E}$ สำหรับสูตรของออยเลอร์

$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{\sigma_y (L_e/k)^2}{4\pi^2 E}}$ สำหรับสูตรของจอห์นสัน

ค่า σ_e นี้เรียกว่า ความเค้นสมมูล (Equivalent Stress) ซึ่งได้มาจากการให้

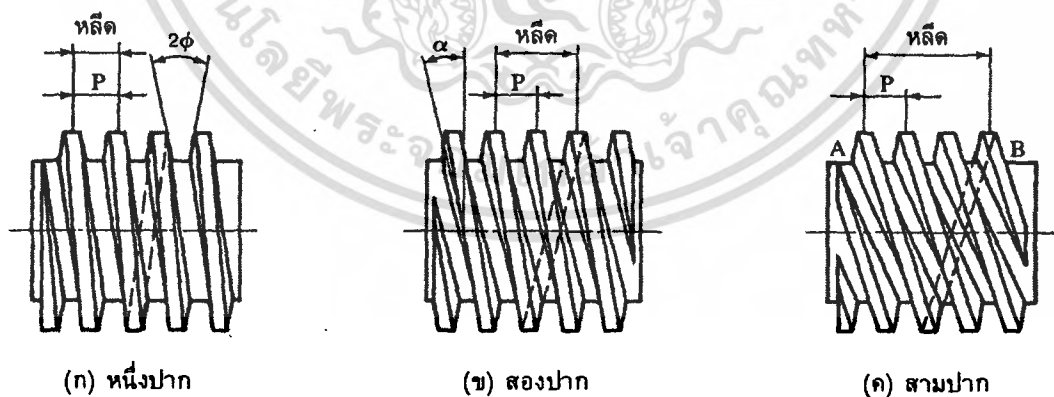
$$N = \frac{F_c}{F} = \frac{\sigma_y}{\sigma_e}$$

และเป็นการบอกถึงความปลอดภัยอีกวิธีหนึ่งว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าความต้านแรงดึงครากเท่าไร

2.3.2 สกรูส่งกำลัง

สกรูส่งกำลัง (Power Screws) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องจักรกลเพื่อเปลี่ยนการหมุนเป็นการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สกรูเลื่อน (Translation Screws) นอกจากนี้จะใช้เปลี่ยนการหมุนเป็นการเคลื่อนแล้ว สกรูส่งกำลังยังใช้ในการยกน้ำหนักที่ตัวสกรูรับอีกด้วย ตัวอย่างของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในเครื่องจักรกลต่าง ๆ ได้แก่ แม่แรง (Screw Jack) สำหรับยกน้ำหนัก สกรูเพรส (Screw Press) สำหรับใช้กดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามต้องการ

ก่อนที่จะกล่าวถึงชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง จำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจกับคำจำกัดความบางคำ ซึ่งจะต้องให้อยู่เสมอ โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.11 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู

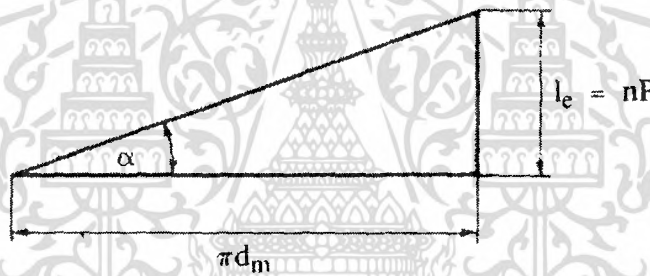
ระยะพิทช์ (Pitch) : P หมายถึงระยะทางที่วัดตามแนวแกนของสกรูจากจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่งไปยังจุดเดียวกันของเกลียวที่อยู่ถัดไป

หลิศ (Lead) : l_e คือระยะทางที่สกรูเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนของสกรู ในขณะที่สกรูหมุนไปหนึ่งรอบ ถ้าเป็นสกรูหนึ่งปาก (Single Thread) ระยะของลิตมีค่าเท่ากับระยะพิคซ์ สำหรับสกรูสองปาก (Double Thread) เกลิวจะมีปากคาบระหว่างเกลียวสองเกลียว ดังรูปที่ 2.11 (ข) ดังนั้นเมื่อสกรูหมุนไปหนึ่งรอบ การเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรูจึงเป็นสองเท่าของระยะพิคซ์ ในทำนองเดียวกันสำหรับสกรูสามปาก (Triple Thread) หลิศจะมีค่าเป็นสามเท่าของระยะพิคซ์ ถ้าสกรูเป็นแบบ n ปากระยะของหลิศคือ

$$l_e = nP \quad (2.11)$$

มุมฮิลิกซ์หรือมุมหลิศ (Helix or Lead Angle) α หมายถึงมุมระหว่างระนาบที่สัมผัสกับความเอียงของเกลียวและระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของสกรู ถ้าให้ d_m เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยกับความเอียงของเกลียว และนำส่วนที่สกรูเคลื่อนที่ไปในขณะที่หมุนหนึ่งรอบมาคลี่ออก ก็จะได้ลักษณะดังรูปที่ 2.12 และมุมหลิศคือ

$$\tan \alpha = \frac{l_e}{\pi d_m} \quad (2.12)$$

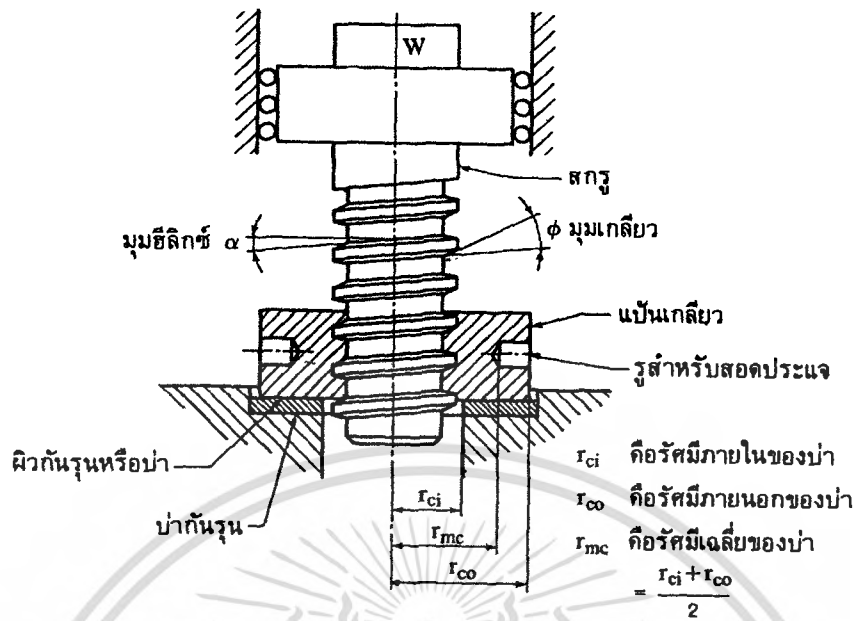


รูปที่ 2.12 มุมหลิศ

เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของสกรู ซึ่งนับรวมถึงความสูงของเกลียวด้วย ขนาดระบุ (Nominal Size) ของสกรูส่งกำลังจะบอก โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เสมอ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของสกรู

2.3.2.1 โมเมนต์บิดสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง

พิจารณาสกรูส่งกำลังดังรูปที่ 2.13 ซึ่งมีมุมฮิลิกซ์ α องศา และมุมเกลียวของสกรู ϕ องศา ในการยกน้ำหนัก W ขึ้นลง ทำได้โดยการหมุนแป้นเกลียวซึ่งตั้งอยู่บนที่รองรับ เรียกว่า ป่า (Collar) สมมติให้แรง F ที่ใช้ยกน้ำหนักขึ้นกระทำอยู่บนเกลียวที่มีรัศมีเฉลี่ยของสกรู $r_m = (r_o + r_i) / 2$ ณ ตำแหน่ง O ดังรูปที่ 2.14 ในขณะที่ยกน้ำหนักขึ้นจะมีแรงเสียดทาน F_f กระทำบนผิวหน้าของเกลียวด้านการเคลื่อนที่ของสกรู



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง

โดยที่ F_n คือแรงปฏิกิริยาซึ่งมีทิศตั้งฉากกับผิวหน้าของเกลียว

OA คือเวกเตอร์ของแรงที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนัก W แต่ทิศทางตรงข้าม

OB คือเวกเตอร์ของแรงรวมระหว่างแรง F_f และ OA

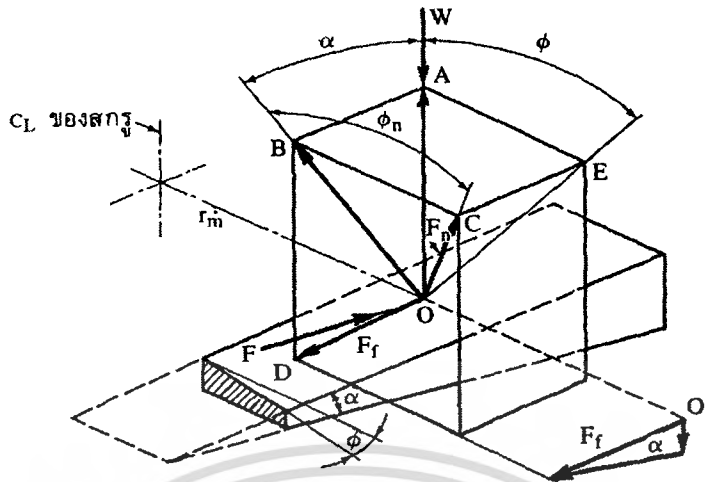
F_s คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของเกลียวและแป้นเกลียว

รวมแรงในแนวตั้งจะได้

$$F_n \cos \phi_n \cos \alpha = W + F_f \sin \alpha$$

แต่ $F_f = f_s F_n$ แทนค่าลงในสมการข้างบนนี้จะได้ว่า

$$F_n = \frac{W}{\cos \phi_n \cos \alpha - F_s \sin \alpha} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.14 แรงปฏิกิริยาบนเกลียวเนื่องจากการยกน้ำหนัก W

ในการหาโมเมนต์บิดที่เกิดจากการใช้แรง F เพื่อยกน้ำหนักขึ้น ให้รวมโมเมนต์รอบแกนกลางของสกรู

$$T_R = Fr_m = r_m [F_f \cos \alpha + \cos \phi_n \sin \alpha]$$

$$T_R = r_m [f_s F_n \cos \alpha + F_n \cos \phi_n \sin \alpha]$$

แทนค่า F_n จากสมการที่ 2.13 ลงในสมการข้างบน และให้ d_m แทนเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู จะได้โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนัก

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[\frac{f_s \cos \alpha + \cos \phi_n \sin \alpha}{\cos \phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \right]$$

หรือ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[\frac{f_s + \cos \phi_n \tan \alpha}{\cos \phi_n - f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.14)$$

ในการใช้สมการที่ 2.14 จำเป็นที่จะต้องทราบมุม ϕ_n ซึ่งสามารถหาได้โดยพิจารณารูปที่ 2.14 ดังนี้

$$\tan \phi_n = \frac{BC}{OB}$$

แต่ $BC = AE = OA \tan \phi = OB \cos \alpha \tan \phi$

เพราะฉะนั้น $\tan \phi = \cos \alpha \tan \phi$

(2.15)

โดยปกติแล้วมุมฮิลิกซ์ α จะมีค่าน้อย (ประมาณ 2° ถึง 6°) ดังนั้นค่าของ $\cos \alpha$ จึงเกือบเท่ากับ 1 ฉะนั้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณต่างๆ ไปจึงอนุญาตให้ใช้ $\phi_n = \phi$ ได้ ซึ่งทำให้เขียนสมการที่ 2.14 ใหม่ได้เป็น

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[\frac{f_s + \cos \phi \tan \alpha}{\cos \phi - f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.16)$$

ในกรณีของสกรูส่งกำลังที่มีเกลียวสี่เหลี่ยม $\mu_m = 0^\circ$ จากสมการที่ 2.16 จะได้โมเมนต์บิดที่ใช้ยกน้ำหนัก W เท่ากับ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[\frac{f_s + \tan \alpha}{1 - f_s \tan \alpha} \right] \quad (2.17)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำสกรู ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น การหล่อลื่น ความเรียบของผิวหน้าเกลียว การกระจายของแรงบนเกลียว คลอดจนพิทัดความเค้นและการตั้งศูนย์ ตารางที่ 2.6 นี้ แสดงค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สำหรับสกรูที่ผลิตที่มีคุณภาพดีก็ควรจะใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่าน้อย แต่ถ้าผลิตที่มีคุณภาพไม่ดีก็ควรจะใช้ค่ามาก

ตารางที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน f_s และ f_c

วัสดุสกรู	เหล็ก	ทองเหลือง	บรอนซ์	เหล็กหล่อ
เหล็ก (แข็ง)	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
เหล็ก (หล่อลื่น)	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
บรอนซ์	0.08-0.12	0.04-0.06	-	0.06-0.09

2.3.2.2 การลื้อคด้วยตนเอง

การลื้อคด้วยตนเอง หมายถึงสกรูที่ต้องใช้แรงภายนอกกระทำเพื่อที่จะยกน้ำหนักลง นั่นคือหลังจากยกน้ำหนักขึ้นแล้วสกรูจะลื้อคตัวเองมิให้น้ำหนักเคลื่อนที่ลงมา แต่ถ้ามีการเพิ่มมุมฮิลิกซ์ α ของสกรูขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงค่าหนึ่ง น้ำหนักที่ยกขึ้นไว้จะเลื่อนลงมาเองโดยมิต้องใช้โมเมนต์บิดมาหมุนสกรูซึ่งเรียกว่า โอเวอร์ฮอลลิ่ง (Overhauling) ในกรณีเช่นนี้จะต้องออกแรงต้านเอาไว้เพื่อมิให้ตัวสกรูหมุนกลับเอาน้ำหนักลงมา ซึ่งจะคำนวณหาโมเมนต์บิดที่ต้องการได้จากสมการที่ 2.17

ในการที่จะหาค่าจำกัดของ α เพื่อที่จะให้สกรูลื้อคด้วยตัวเอง กระทำได้โดยให้ค่าโมเมนต์บิดมีค่า เป็นศูนย์ แล้วแต่ว่าเป็นเกลียวชนิดใด ถ้าให้ละทิ้งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของบารองรับ ($f_c = 0$) สำหรับสกรูที่มีมุมเกลียว ϕ องศา สกรูจะลื้อคตัวเองได้เมื่อ

$$\frac{f_s - \cos \phi \tan \alpha}{\cos \phi + f_s \tan \alpha} > 0$$

หรือ $f_s - \cos \phi \tan \alpha > 0$

นั่นคือ $\tan \alpha < \frac{f_s}{\cos \phi}$ (2.18)

สำหรับสกรูเกลียวสี่เหลี่ยม สกรูจะล็อกตัวเองได้เมื่อ (ให้ $f_c = 0$)

$$\frac{f_s - \tan \alpha}{1 + f_s \tan \alpha} > 0$$

หรือ $\tan \alpha < f_s = \tan \beta$

นั่นคือ $\alpha < \beta$

2.4 การขยายสัญญาณ

ในการใช้งานเราไม่สามารถนำเอาสแต็ปปีงมอเตอร์มาต่อโดยตรงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เพียงพอต่อการขับให้สแต็ปปีงมอเตอร์เคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงต้องมี ic ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้เพียงพอความต้องการของสแต็ปปีงมอเตอร์โดยในที่นี้เราได้ใช้ ic เบอร์ ULN2803 โดยไอซีเบอร์ ULN2803 เป็นไอซีไดรเวอร์ โดยภายในจะบรรจุอินเวอร์เตอร์เกต แบบคอลเล็กเตอร์เปิดจำนวน 8 ตัว โดยสามารถใช้กับแรงดันสูงสุดได้ถึง 50 โวลต์ และให้กระแสเอาต์พุตได้สูงสุดในแต่ละขา 500 mA แต่ในการทำงานเราต้องการกระแสไฟฟ้าที่ 1 A ดังนั้นเราจึงทำการปรับ โดยการนำขาอินพุตและเอาต์พุตแต่ละคู่มาต่อขนานกันก็จะทำให้สามารถขับกระแสไฟฟ้าได้ที่ 1 A ตามต้องการ

นอกจากนั้นในตัว ULN2803 ยังมีไดโอดป้องกันไว้ที่ทุกขาของเอาต์พุต ทำให้สามารถต่อกับโหลดที่เป็นขดลวดได้ โดยจะทำหน้าที่ขั้วบรีลย์ ในการสั่งงานให้รีเลย์ทำงานนั้นต้องส่งลอจิก 1 ให้กับไอซี ULN2803 ที่ทางค่านินพุตของไอซี เมื่อทางอินพุตของไอซีเป็นลอจิก 1 ทางเอาต์พุตของไอซีจะเป็นลอจิก 0 เพื่อนำไปขับสแต็ปปีงมอเตอร์ให้ทำงานตามคำสั่งที่เราต้องการ

บทที่ 3

การวางแผนและดำเนินการ

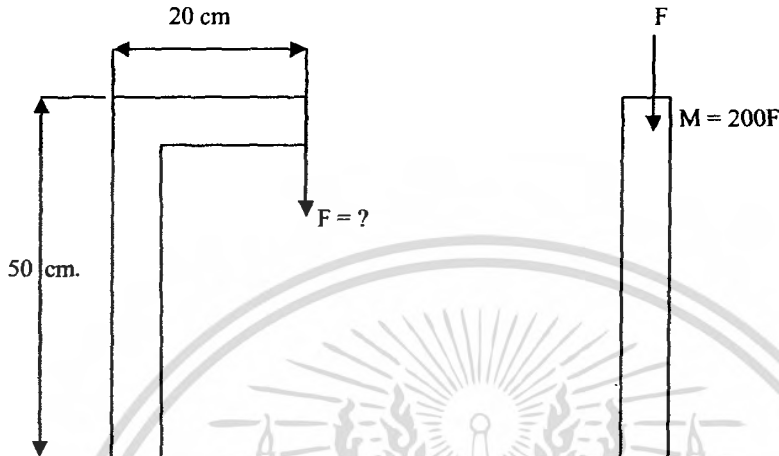
3.1 การวางแผนการดำเนินการ

แผนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 13 ขั้นตอน ได้แก่

1. วางแผนการทำงาน
2. ศึกษาหาข้อมูลของระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง
3. ทำการคำนวณและออกแบบ
4. ปรับปรุงแก้ไขในจุดที่บกพร่อง
5. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวงจรควบคุม
6. ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมภาษา C
7. วางแผนและออกแบบการสร้างฮาร์ดแวร์
8. วางแผนและออกแบบการสร้างวงจรควบคุม
9. ทำการสร้างฮาร์ดแวร์
10. ทำการสร้างวงจรควบคุม
11. ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง
12. ทำการทดสอบการทำงาน
13. สรุปและจัดทำรายงานนิพนธ์

3.2 ออกแบบและคำนวณหาขนาดของเสา

คำนวณหาแรงที่เสารับได้ด้วยทฤษฎีความเค้นผสมและทำการเขียน Free Body Diagram ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การคำนวณหาแรงที่เสาสามารถรับได้

$$\frac{\sigma_y}{N} = \sigma_M + \sigma_F \quad (3.1)$$

$$\sigma_M = \frac{Mr}{I} ; I = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$\sigma_F = \alpha \frac{F}{A}$$

คำนวณหาค่า Slenderness Ratio

เมื่อ $L = 500 \text{ mm}$. แทนในสมการที่ (2.5)

$$L_c = 250 \text{ mm}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.1)

$$\text{จะได้} \quad \text{Slenderness Ratio} = \frac{250}{3}$$

$$= 83.33$$

เนื่องจากค่า Slenderness Ratio มีค่าน้อยกว่า 115 จึงใช้สูตรของจอร์ห์นสัน

จากภาคผนวก ก ที่ AISI 1060 ได้ $\sigma_y = 68 \text{ KSI} = 468.86 \text{ N/mm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาคผนวก ก6 จะได้ $E = 207 \text{ N/mm}^2 = 207 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

และให้ $N = 3.5$ แทนค่าลงในสมการที่ (3.1)

$$F = 112.2298 \text{ N}$$

$$F = 11.44 \text{ Kg}$$

เนื่องจากมี 2 เสาจึงรับแรงได้ $= 11.4 \times 2 = 22.88 \text{ Kg}$

3.3 ออกแบบและคำนวณหาขนาดของเกลียวส่งกำลัง

คำนวณหามุมสติกซ์หรือมุมหลิศ

เมื่อ $L_c = 1.75 \text{ มม.}$, $d_m = 10.863 \text{ มม.}$ (ค่า d_m มาจากการเปิดหนังสือตารางงานโลหะที่เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มม)

แทนค่าในสมการที่ (2.12)

จะได้

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1.75}{34.12} \right)$$

$$\alpha = 2.936^\circ$$

คำนวณหาโมเมนต์บิด

จากตารางที่ 2.6 จะได้ $f_s = 0.2$

และเกลียวเป็นมุมที่เหลี่ยมกางมุมจึงมีมุม $= 15^\circ$

แทนค่าในสมการที่ (2.16)

จะได้

$$T_R = 312.3 \text{ N.mm}$$

คำนวณหาว่าเมื่อหยุดนิ่งอยู่กับที่แล้วเกลียวจะไม่ไหลลงมาโดยใช้การล็อกด้วยตนเอง

แทนค่าในสมการที่ (2.18)

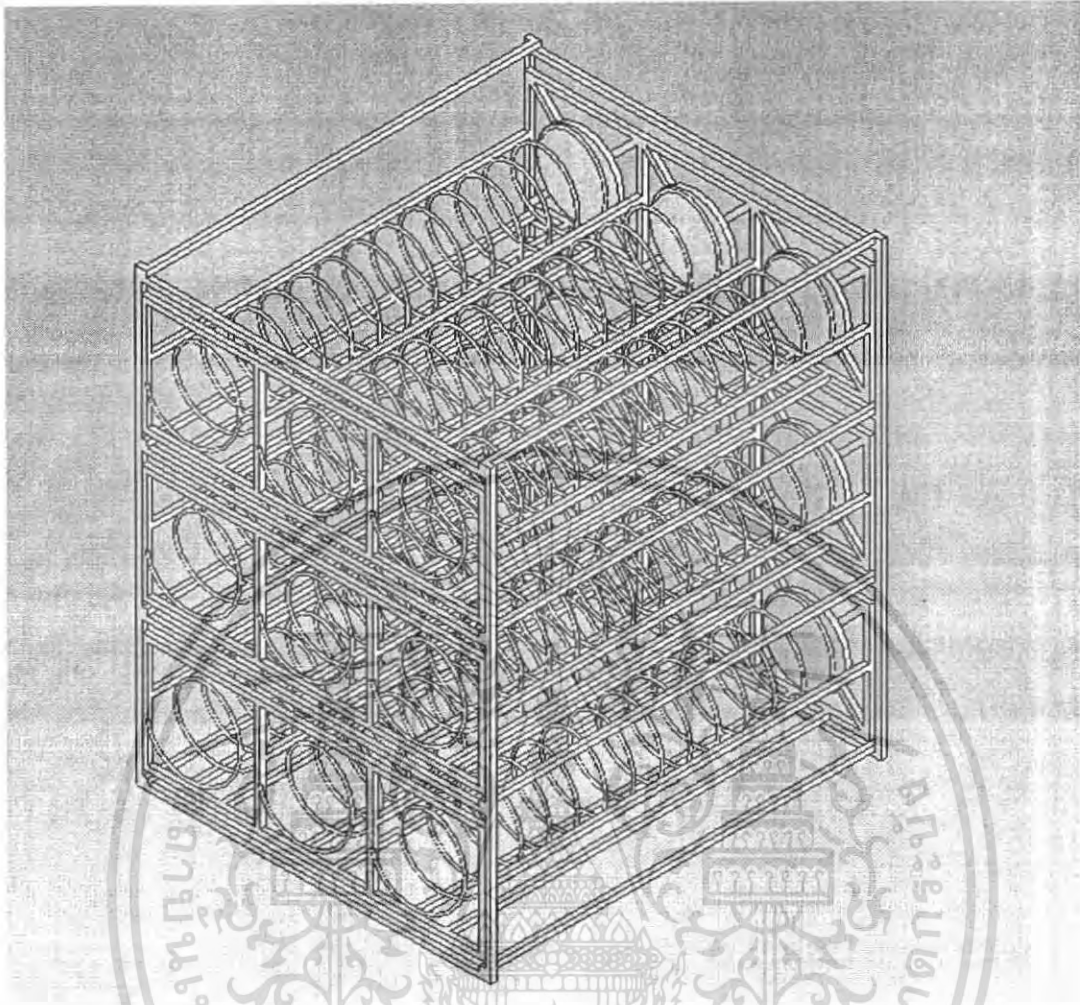
จะได้

$$0.154 > 0$$

ดังนั้นจากที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0 จึงสามารถล็อกด้วยตนเองได้

3.4 การออกแบบโครงสร้างเครื่องขยายสินค้าอัตโนมัติ

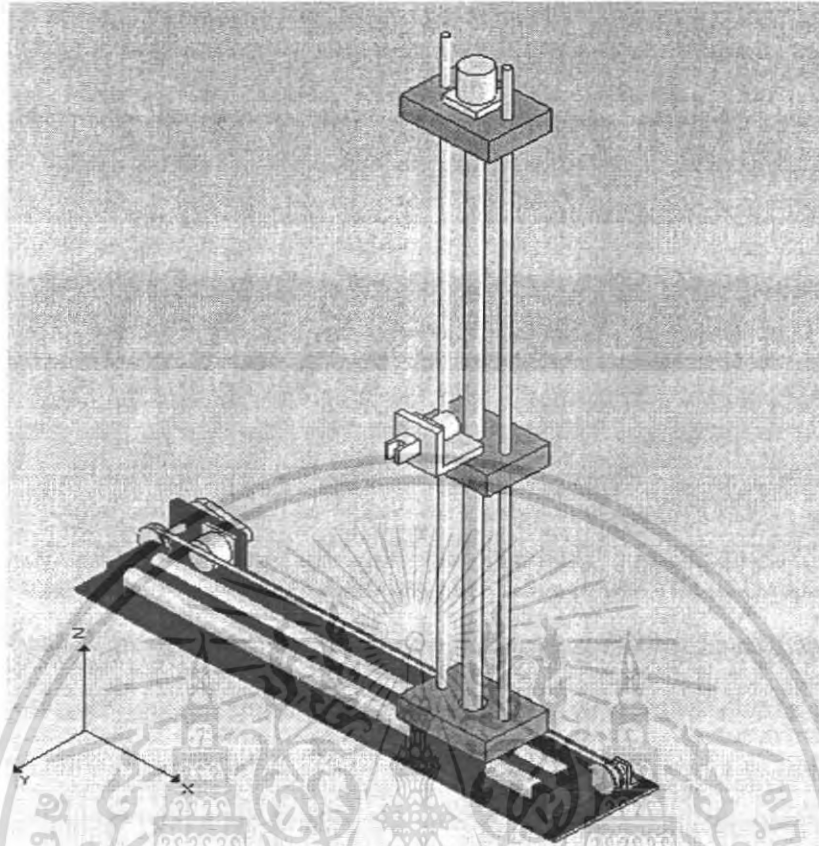
ออกแบบโครงเก็บสินค้าให้มีลักษณะเป็นบล็อกสี่เหลี่ยมขนาด 3×3 ช่องสินค้า ดังรูปที่ 3.2 โดยวางสินค้าไว้ตรงระยะห่างระหว่างเกลียวที่ติดกันของเกลียวลำเลียง ส่วนกลไกการปล่อยสินค้านั้นเป็นการหมุนเกลียวลำเลียง 1 รอบเพื่อคืนให้สินค้าตกลงมา



รูปที่ 3.2 การออกแบบโครงเก็บสินค้า

3.5 การออกแบบระบบอัตโนมัติ

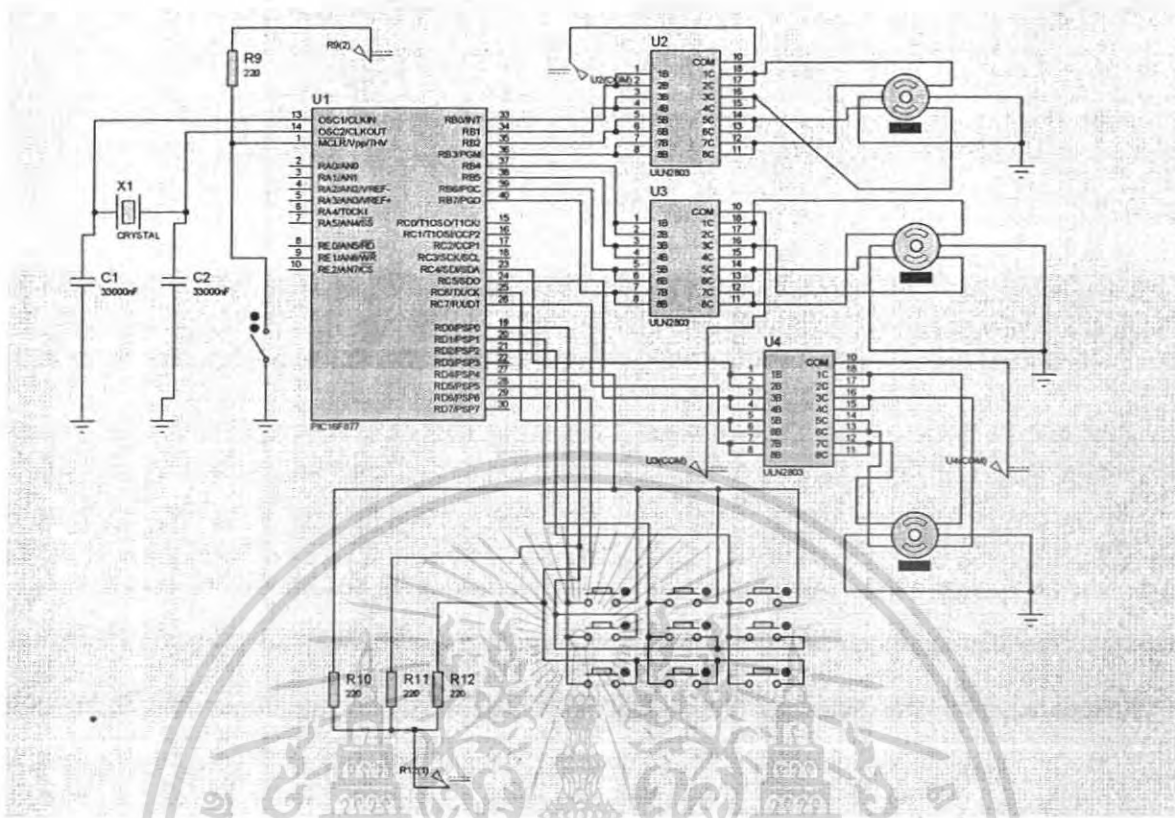
ออกแบบระบบอัตโนมัติให้มีการเคลื่อนที่ได้ 2 แกน โดยเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง โดยใช้ต้นกำลังจากสเต็ปมอเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว โดยในแนวแกน x จะส่งกำลังด้วยสายพาน แนวแกน z จะส่งกำลังด้วยสกรูส่งกำลัง และมี สเต็ปมอเตอร์อีกตัวเป็นตัวหมุนกลไกปล่อยสินค้า ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การออกแบบระบบอัตโนมัติ

3.6 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง

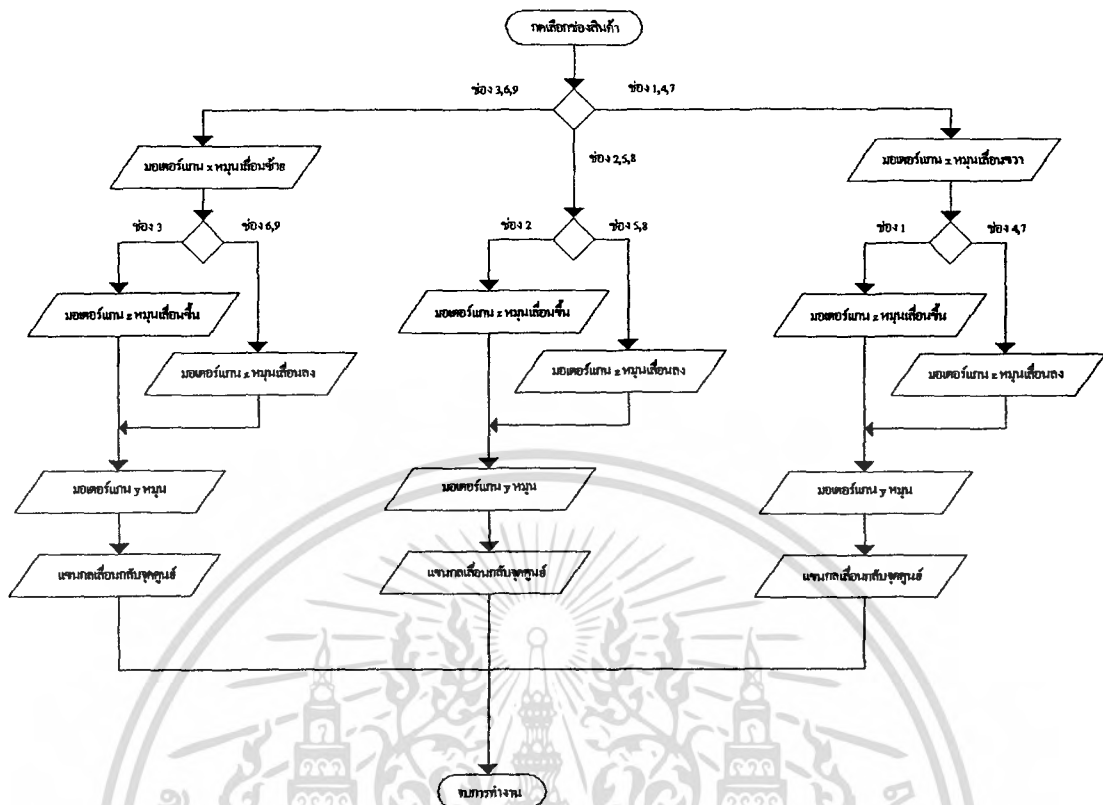
ได้ทำการออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรม Proteus ในการออกแบบ โดยได้ลายวงจรดังรูปที่ 3.4 โดยจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A 1 ตัวเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องตามคำสั่งจากโปรแกรมภาษา C IC ULN2803 3 ตัวสำหรับขยายสัญญาณให้เพียงพอกับที่มอเตอร์ต้องการเพื่อขับให้ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ มัลติสวิต 9 ตัวเพื่อใช้รับค่าการกดเลือกสินค้าตามหมายเลขของสินค้าเพื่อสั่งให้ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ไปตามหมายเลขของสินค้าที่ต้องการ และสแต็ปปีงมอเตอร์ 3 ตัวใช้ในการขับเคลื่อนระบบอัตโนมัติและการปล่อยสินค้า



รูปที่ 3.4 รูปแสดงการออกแบบลายวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง

3.7 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง

รายละเอียดของการทำงานในการออกแบบและเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติมีรายละเอียดดังรูป 3.5 โดยการทำงานจะเริ่มจากการรอรับคำสั่งการกดสวิตหลังจากมีการกดสวิตแล้วมอเตอร์ในแกน X และ Z ก็จะขับระบบอัตโนมัติให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกกดแล้วมอเตอร์ตัวสุดท้ายก็จะทำหน้าที่หมุนกลไกปล่อยสินค้าให้ตกลงมา หลังจากทำงานเสร็จแล้วระบบอัตโนมัติก็จะเคลื่อนที่กลับมาที่จุดศูนย์เพื่อรอรับคำสั่งการทำงานต่อไป



รูปที่ 3.5 chart การทำงานของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ

บทที่ 4

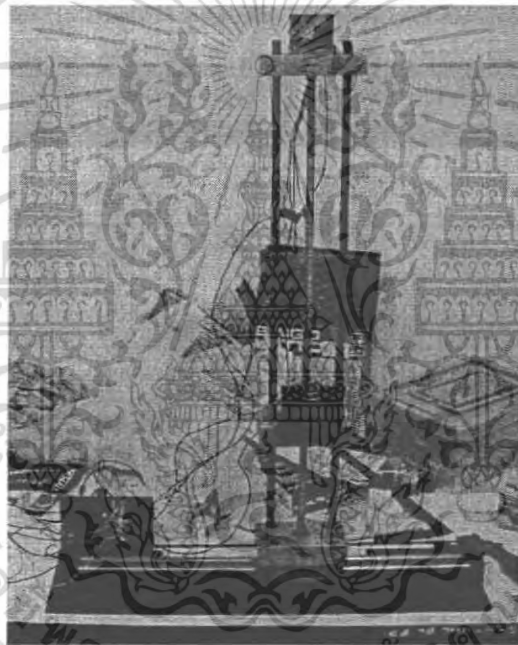
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

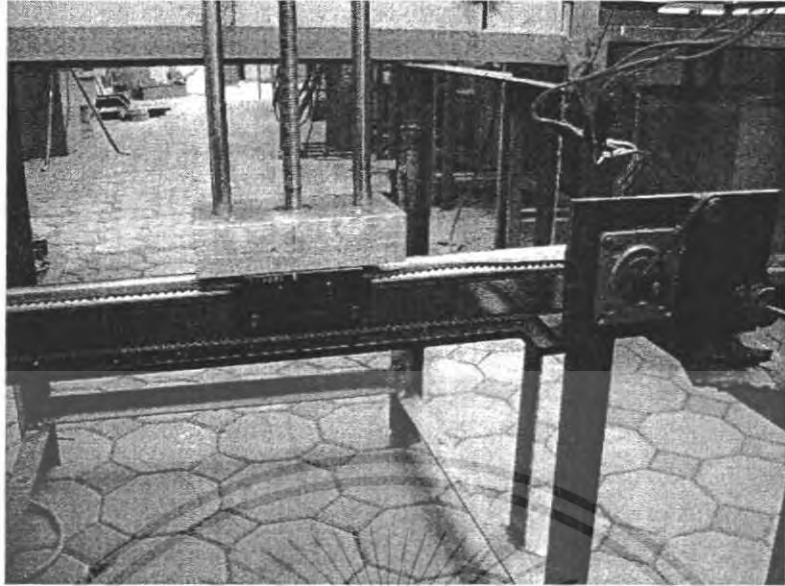
4.1.1 ระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลต่างๆ สามารถออกแบบและสร้างระบบอัตโนมัติที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขอบเขตการทำงานของแกน X เท่ากับ 490 มิลลิเมตร ใช้สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นคันท้าลังและใช้สายพานส่งกำลังเป็นตัวส่งกำลัง และแกน Z เท่ากับ 450 มิลลิเมตร ใช้สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นคันท้าลังและใช้สกรูส่งกำลังเป็นตัวส่งกำลัง ส่วนสเต็ปปีงมอเตอร์ในแกน Y จะเป็นตัวส่งกำลังให้กับเกิลียวล้อเลียงที่ใช้ขับให้สินค้าออกมา แสดงดังรูปที่ 4.1

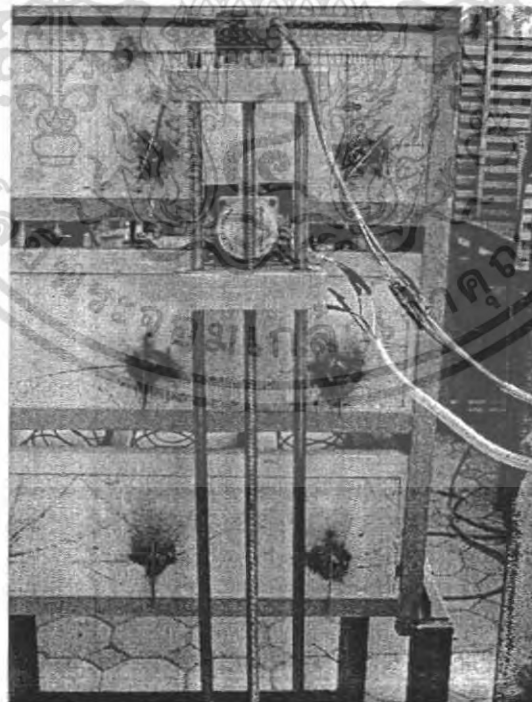


รูปที่ 4.1 ระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ



รูปที่ 4.2 ระบบส่งกำลังของแกน X

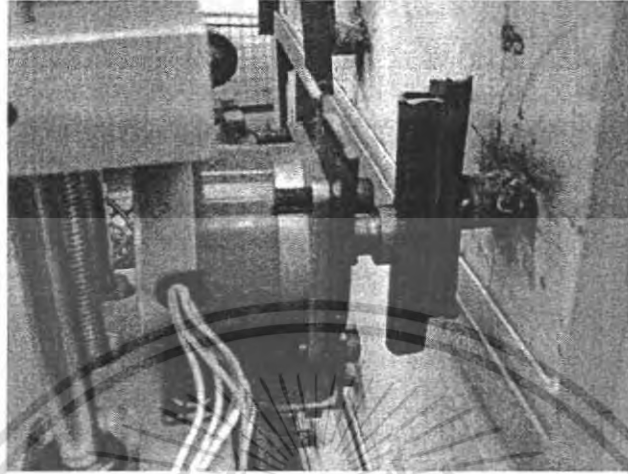
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้วาระบบส่งกำลังของแกน X เป็นการส่งกำลังโดยใช้สายพานส่งกำลัง ซึ่งสามารถเปลี่ยนร่องสายพานที่มีขนาดต่างกันเพื่อใช้ในการทศรอบ และการเคลื่อนที่จะแตกต่างจากแกน Z



รูปที่ 4.3 ระบบส่งกำลังของแกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าระบบส่งกำลังของแกน Z เป็นการส่งกำลังโดยใช้สกรูส่งกำลัง ซึ่งจะเคลื่อนที่ได้
แม่นยำกว่าการใช้สายพานส่งกำลัง



รูปที่ 4.4 มอเตอร์ในแนวแกน Y

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นมอเตอร์ในแนวแกน Y ที่ใช้ขับเคลื่อนล้อเล็ก มีแผ่นเหล็กรูปตัว U ติดอยู่ที่แกนมอเตอร์
โดยเมื่อมอเตอร์หมุนไป 360 องศา จะสามารถขยับสินค้าออกมาได้ 1 ชั้น

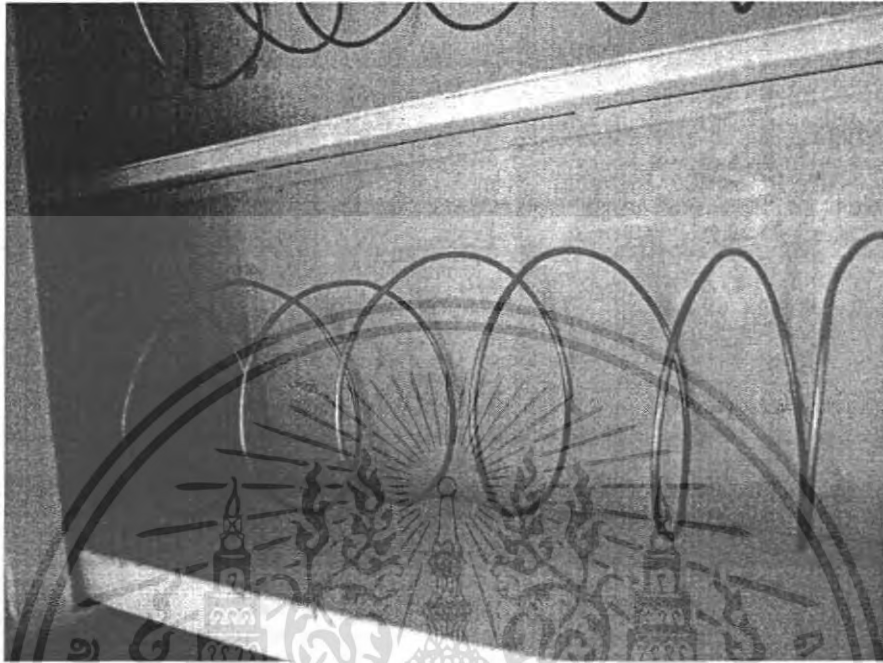
4.1.2 โครงเก็บสินค้า

ได้ทำการออกแบบและสร้างตัวโครงสำหรับเก็บสินค้าขนาด 3x3 ช่องสินค้า ซึ่งมีขนาดความกว้างด้านหน้า
60 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และสูง 80 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 โครงเก็บสินค้า

รูปที่ 4.5 แสดงโครงเก็บสินค้าซึ่งทำด้วยเหล็ก ขนาด 3x3 ช่องสินค้า โดยแต่ละช่องมีความกว้าง 20 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร

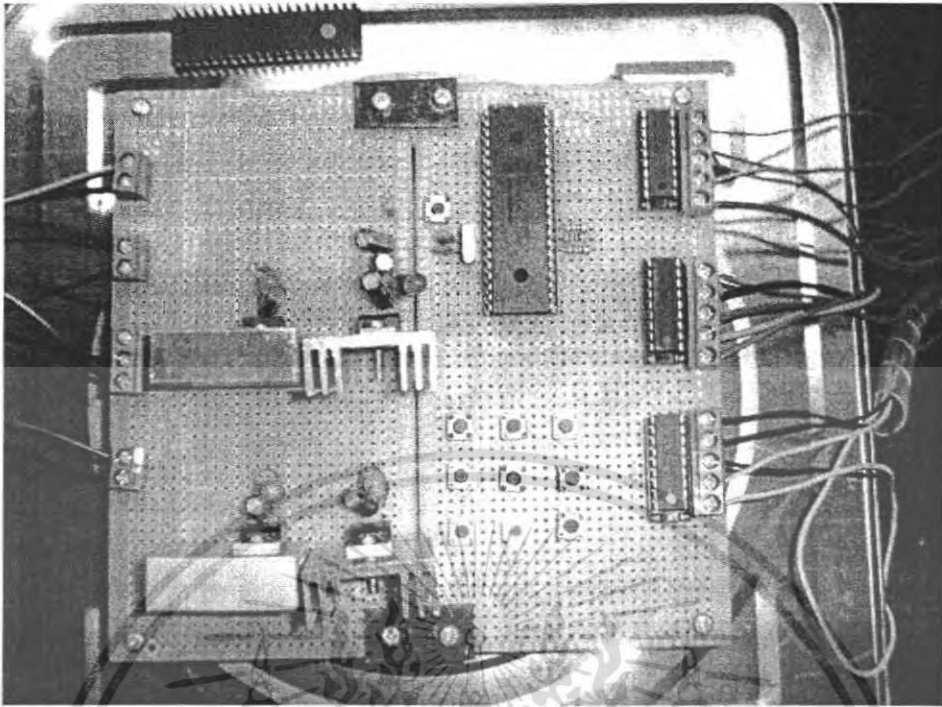


รูปที่ 4.6 เกลียวลำเลียงสำหรับขับสินค้า

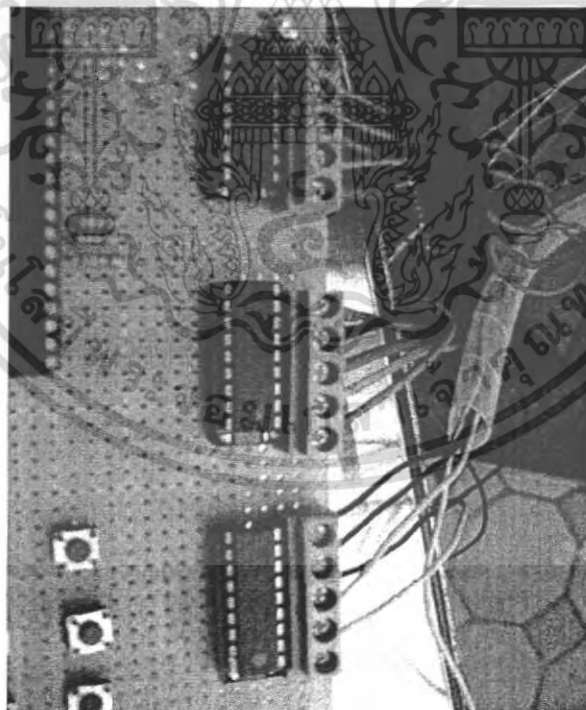
รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นเกลียวลำเลียงที่ใช้ขับเคลื่อนสินค้า โดยจำนวนรอบของเกลียวลำเลียงจะเป็นตัวกำหนดจำนวนสินค้าที่สามารถขายได้ ซึ่งเกลียวลำเลียงที่จัดทำขึ้นนี้มีจำนวนรอบคือ 10 รอบ เพราะฉะนั้น ในแต่ละช่องจะสามารถเก็บสินค้าได้ 10 ชิ้น

4.2 ผลการดำเนินงานส่วนวงจรควบคุม

จากการศึกษาและทดลองออกแบบหลายวงจร โดยใช้โปรแกรมซิมูเลชัน สามารถต่อวงจรควบคุมของ PIC16F877A ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว โดยรับสัญญาณการกดเลือกสินค้าผ่านมัลติสวิตซ์ได้ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผงวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 4.8 ทรานซิสเตอร์ ULN2803

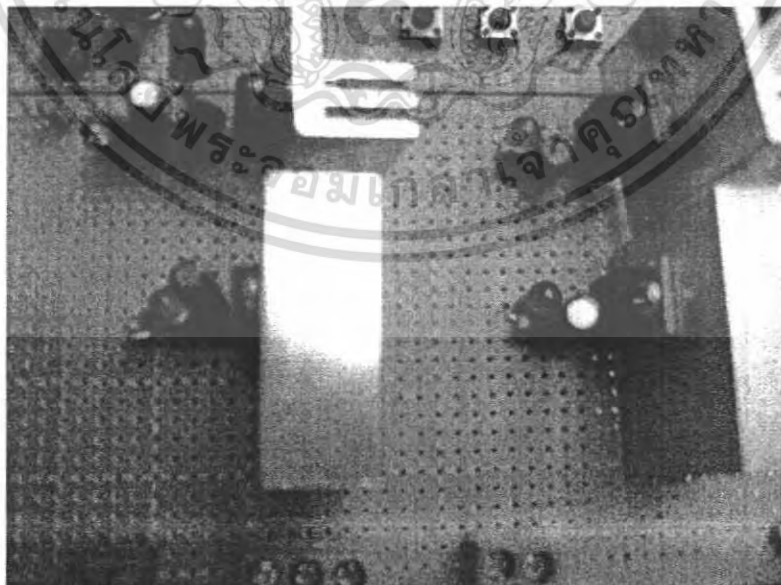
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 จะเป็นส่วนของการขยายสัญญาณไฟฟ้าด้วยทรานซิสเตอร์ ULN 2803 โดยรับสัญญาณควบคุมจาก PIC เพื่อส่งไปควบคุมการหมุนของสเตปป์มอเตอร์ทั้ง 3 ตัว

ในส่วนของการจ่ายไฟให้กับวงจรและสเตปป์มอเตอร์ทั้ง 3 ตัวนั้น จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าจากไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟกระแสตรง 12 โวลต์ โดยใช้หม้อแปลงทั้งหมด 4 ตัว ค่อยผ่าน IC 7803 เพื่อแปลงแรงดันที่ออกมาให้เหลือ 5 โวลต์ ซึ่งที่ IC 7803 ทั้ง 4 ตัวจะมีการติดตัวซิงค์เอาไว้เพื่อใช้ระบายความร้อน



รูปที่ 4.9 หม้อแปลงไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ กระแสสลับให้เป็น 12 โวลต์ กระแสตรง



รูปที่ 4.10 ตัว IC 7805 พร้อมตัวระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการดำเนินงานในส่วนของโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมจะได้โปรแกรมภาษาซีสำหรับ PIC16F877A ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสเตป มอเตอร์ ให้เคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนด้วยกำลังไปยังช่องที่ต้องการ และสามารถจับให้สินค้าออกมาได้ โดย code โปรแกรมดังกล่าว แสดงในภาคผนวก ข.



บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจัดสร้างกลไกการเก็บและจ่ายสินค้าของเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติขนาด 3x3 ช่องสินค้า ซึ่งสามารถจ่ายสินค้าประเภทสินค้าถุงหรือกล่องได้ ตามหมายเลขที่ถูกกดเลือก ตัวเครื่องมีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และสูง 80 เซนติเมตร โดยสามารถใส่สินค้าได้ช่องละ 10 ชิ้น ระบบอัตโนมัติที่ใช้จ่ายสินค้าสามารถขับเคลื่อนได้ 2 แนวแกนคือ แนวแกน X และแนวแกน Z ส่วน แกน Y จะใช้ในการส่งกำลังให้เกิดิวลัมเลียงเพื่อขับเคลื่อนสินค้า ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้จะเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงขับเคลื่อนจากสเต็ปปีงมอเตอร์ การรับคำสั่งจากลูกค้า จะรับผ่านมัลติสวิตช์ ซึ่งจะส่งสัญญาณ ไปยัง PIC Microcontroller จากนั้น PIC จะส่งสัญญาณ ไปยังตัวขยายสัญญาณคือ ULN 2803 ซึ่งจะจ่ายสัญญาณ ไฟฟ้าไปทำให้ระบบอัตโนมัติขับเคลื่อน ไปยังตำแหน่งที่ถูกกดเลือกและจ่ายสินค้าออกมาได้ โดยถ้ามีการกดสวิตช์ซ้ำๆ เครื่องจะทำการจ่ายสินค้าที่ถูกกดเลือกทีละชิ้น ตามลำดับ จนเมื่อจ่ายสินค้าครบจำนวนที่กดก็จะหยุดทำงาน

5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

เมื่อได้ทดลองป้อนคำสั่งให้เครื่องจ่ายสินค้าหลาย ๆ ตำแหน่ง สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

- 1 ระบบอัตโนมัติมีการเคลื่อนที่ที่ไม่เสถียรเนื่องจากแรงเสียดทาน และมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนมีกำลังน้อย จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของพิกัดในแต่ละแนวแกนได้
- 2 สกรูส่งกำลังที่ใช้กับแนวแกน Z มีระยะพิชชี่ที่ละเอียดและมีการ โกงงอ ทำความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ และมีการเคลื่อนที่ไม่ราบรื่น
- 3 ตัวเกลิยวลัมเลียงในบางช่องเก็บสินค้ามีรูปร่างที่ไม่สมมาตร เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ในการทำและ สเต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนมีกำลังน้อย ทำให้การหมุนขับเคลื่อนสินค้าติดขัดในบางครั้ง

5.3 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาในอนาคต

- 1 เปลี่ยนตัวมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนทั้ง 3 ตัว ให้มีกำลังมากกว่าเดิม
- 2 ใช้สกรูส่งกำลังที่มีระยะพิชชี่กว้างขึ้นเพื่อส่งกำลังในแนวแกน Z
- 3 เปลี่ยนเกลิยวลัมเลียงที่ใช้ในการขับเคลื่อนสินค้าให้หมุน ได้อย่างราบเรียบ
- 4 จัดทำตัวโครงภายนอก และติดตั้งระบบรับ – ทอนเงินที่มั่นคง แข็งแรง
- 5 ควรมีการคำนวณต้นทุนการผลิตเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในการนำเครื่องมาใช้งานจริง

หนังสืออ้างอิง

- บรรณารักษ์ ตรีนิล และ ประเสริฐ ก๊วยสมบุญรัตน์, ตารางงานโลหะ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , กรุงเทพฯ ฯ
- วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญุ ถนังงาน , การออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design) เล่ม 1 , บริษัท ซีอีค ยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ ฯ
- วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญุ ถนังงาน , การออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design) เล่ม 2 , บริษัท ซีอีค ยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ ฯ
- ดอนสัน ปงผาบ และ ทิพวัลย์ คำนำนอง , ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน (Microcontroller PIC & Application) , สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. , กรุงเทพฯ ฯ
- www.thaiio.com
- www.microchip.com



ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ใช้ในการคำนวณและการออกแบบ เครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ



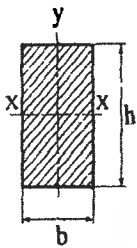
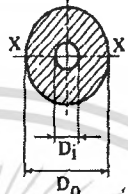
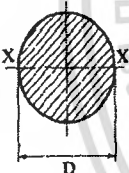
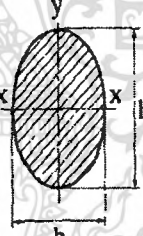
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้
(mechanical properties of carburizing and hardening grade steels)

AISI Type	Tensile Strength ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength (Izod), ft-lb	Hardness		Machining
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)	
Plain Carbon, Carburized Steels								
C1015	73	46	30	71	93	149	C62 (.048")	ไม่พอใช้
C1020	75	48	31	71	93	156	C62 (.046")	ไม่พอใช้
C1022	83	47	27	66	81	163	C62 (.046")	ดี
C1117	97	59	23	53	33	192	C65 (.045")	ดีมากถึงดีเลิศ
C1118	113	77	17	45	16	229	C61 (.065")	ดีมากถึงดีเลิศ
Plain Carbon, Hardened Steels								
C1030	122-75	93-58	18-33	48-71	8-100	495-179		พอใช้ถึงดี
C1040	113-89	86-62	19-33	48-68	36-72	262-183		พอใช้ถึงดี
C1050	143-96	108-61	10-30	42-63	16-53	321-192		พอใช้ถึงดี
C1060	160-103	112-68	12-28	40-60	14-23	321-212		ต้องแอนนีส
C1080	190-117	142-70	12-24	35-51	10-22	388-223		ต้องแอนนีส
C1095	188-190	120-74	10-26	30-53	5-6	401-229		ต้องแอนนีส
C1137	158-87	138-60	6-28	22-70	10-90	352-174		ดีถึงดีมาก
C1141	237-94	188-68	7-28	58-63	9-81	461-192		ดีถึงดีมาก
C1144	128-97	91-68	17-24	35-59	7-62	277-201		ดีถึงดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

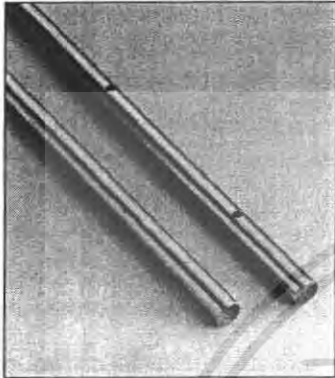
ตารางภาคผนวก ก.2 สูตรสำเร็จของคานและหน้าตัด

 $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $Z = \frac{2b^2h}{9} \text{ (สำหรับการบิด)}$	 $I_x = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z_x = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$ $k_x = \sqrt{\frac{D_o^2 + D_i^2}{16}}$ $J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z'_x = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$
 $I_x = \frac{\pi D^4}{64}$ $Z_x = \frac{\pi D^3}{32}$ $k_x = \frac{D}{4}$ $J = \frac{\pi D^4}{32}$ $Z = \frac{\pi D^3}{16}$	 $I_x = \frac{\pi bh^3}{64}$ $Z_x = \frac{\pi bh^2}{32}$ $k_x = \frac{h}{4}; k_y = \frac{b}{4}$ $J = \frac{\pi bh}{64} (h^2 + b^2)$ $Z' = \frac{\pi b^2 h}{16} \text{ (สำหรับการบิด)}$ $A = \pi bh/4$

PRECISION CASE HARDENED & GROUND SHAFTING

Inch and Metric

For Linear Motion Applications



Materials and Hardness:

AISI C-1060* steel, case hardened to Rockwell 60-65C
 440 C stainless steel, case hardened to Rockwell 50-55C
 303 stainless steel, (for use with engineered plastic bearings),
 has approximate hardness of Rockwell 75-95B.
 *C-1060 can be supplied with hard satin chrome finish at additional cost.
 (Adds .0001 to .0002 to diameter).

Finish: Normally between 10 and 16 micro-inches RMS. Other finishes can be furnished to meet special requirements.

Length Tolerances: Shafting is stocked in 6 to 10 foot lengths, and is supplied to required lengths $\pm 1/16"$ ($\pm 1.5\text{mm}$). If required, closer length tolerances can be supplied at additional cost.

Straightness: With the exception of 1/4" and 3/8" diameters, the standard straightness tolerance is .001"-.002" per foot cumulative. Straighter lengths to meet more stringent requirements can be supplied at additional cost.

Chamfered Ends: Normally, all shafts are rough cut. Precision chamfers or other dimensions are classified as a special fabrication and carry extra charges.

Maximum Lengths: The maximum lengths in stock for each diameter are shown in the tables.

HOW TO ORDER

When ordering shafts that do not require any special machining, simply add length (in inches or mm) requirement to Part Number. Example: A10-8-20".

Inch Shaft Diameters

Nominal Diameter (Inches)	Size & Tol. (Inches)	Max. Length (ft)	C-1060 Steel Hardened & Ground		440 C stainless Hardened & Ground		303 Stainless Steel Ground Part No.
			Case Depth	Part No.	Case Depth	Part No.	
1/8	2485/2490 2490/2495	6	.040	A10-4 A10L-4	—	—	A11-4 —
3/16	3735/3740 3740/3745	6	.040	A10-6 A10L-6	—	—	A11-6 —
1/2	4985/4990 4990/4995	6	.060	A10-8 A10L-8	.060	A12-8	A11-8 —
5/8	6255/6260 6260/6265	10	.060	A10-10 A10L-10	.060	A12-10	A11-10 —
3/4	7485/7490 7490/7495	10	.060	A10-12 A10L-12	.060	A12-12	A11-12 —
1	9985/9990 9990/9995	10	.080	A10-16 A10L-16	.080	A12-16	A11-16 —
1 1/4	1,2485/1,2490 1,2490/1,2495	10	.080	A10-20 A10L-20	.080	A12-20	A11-20 —
1 1/2	1,4884/1,4889 1,4889/1,4894	10	.080	A10-24 A10L-24	.080	A12-24	A11-24 —

Note: L Series shafting should be used with self-aligning linear bearings.

Metric Shaft Diameters

Nominal Diameter (mm)	Tolerance μm	Max. Length (mm)	C-1060 Steel Hardened & Ground		440C Stainless Steel* Hardened & Ground		303 Stainless Steel Ground Part No.
			Case Depth	Part No.	Case Depth	Part No.	
5	0/-10	700	1.0	MA10-05	1.0	MA12-05	MA11-05
8	0/-10	1500	1.0	MA10-08	1.0	MA12-08	MA11-08
12	0/-10	3000	1.0	MA10-12	1.0	MA12-12	MA11-12
16	0/-10	3000	1.5	MA10-16	1.5	MA12-16	MA11-16
20	0/-12	3000	1.5	MA10-20	1.5	MA12-20	MA11-20
25	0/-12	3000	1.5	MA10-25	1.5	MA12-25	MA11-25
30	0/-12	3000	2.0	MA10-30	2.0	MA12-30	MA11-30
40	0/-15	3000	2.0	MA10-40	2.0	MA12-40	MA11-40

*Special Orders Only.

SPECIAL PRECISION MACHINING

Quotations are provided after receipt of a faxed drawing, rough sketch or verbal description. Indicate quantity required.

Metric Conversion To Inches: .03937 x metric dimension
 Inch Conversion To Metric: 25.4 x inch dimension

Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
 E-Mail: info@pic-design.com

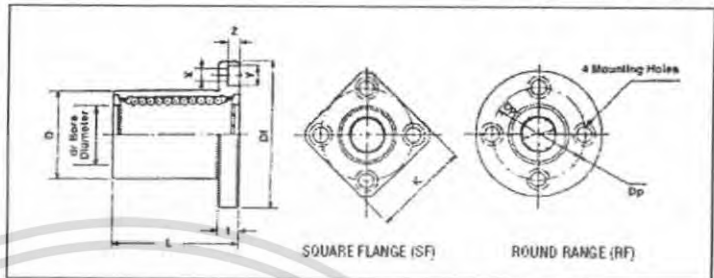
PIC DESIGN

4-3

FLANGED TYPE LINEAR BEARINGS

Inch and Metric

Recirculating Ball



- Requires no housing, thus reducing costs
- Requires little installation space
- Ensures high accuracy upon replacement
- Retains excellent rigidity

Material:

Balls: 52100 Chrome Steel
Outer Housing: 52100 Chrome Steel

Ball Retainer: Resin For Low Noise Performance
End Caps: 1018 Steel

Inch Sizes

Boundary Dimensions and Tolerances												Eccentricity (inch)	Square-ness (inch)	Basic Dynamic Load Rating (C kgf)	Basic Static Load Rating (Co kgf)	Shaft Diameter (inch)	Part No.* Add Suffix RF or SF		
dr (inch)	Tolerance (inch)	D (inch)	Tolerance (inch)	L (inch)	Tolerance (inch)	DI (inch)	K (inch)	t (inch)	Dp (inch)	X (inch)	Y (inch)							Z (inch)	
.2500	0	5000	0 - .00045	7500	0	1.2500	1.0000	0.219	8750	1660	2500	1410	.0005	.0005	21	27	2500	PL-4	
.3750		6250	.00050	8750		1.5000	1.2500	2500	10620	1875	2970	1720			23	32	3750	PL-6	
.5000		8750	.00050	1.2500		.0008	1.7500	1.3750	2500	1312	1875	2970			1720	52	79	5000	PL-8
.6250		1.1250	1.5000	2.0000		1.5000	2500	1.5620	1875	2970	1720	79			120	6250	PL-10		
.7500	0	1.2500	0	1.6250	0	2.1875	1.8875	3125	1.7180	2187	3440	2030	.0006	.0006	88	140	7500	PL-12	
1.0000	1.5625	.00065	2.2500	2.5000		2.0000	3125	2.0310	2187	3440	2030	100			160	10000	PL-16		
1.2500	0	2.0000	0	2.6250		3.1250	2.5000	3750	2.5625	2812	4060	2656			160	260	1.2500	PL-20	
1.5000	.00050	2.3750	.00075	3.0000		.012	3.7500	3.0000	5000	3.0625	3440	5000			3280	220	410	1.5000	PL-24

*Note: To order round flange type use "RF" suffix in part number.
To order square flange type use "SF" suffix in part number.

Example: PL-8RF (Round Flange)
PL-8SF (Square Flange)

Metric Sizes

Boundary Dimensions and Tolerances												Eccentricity (μm)	Square-ness (μm)	Basic Dynamic Load Rating (C kgf)	Basic Static Load Rating (Co kgf)	Shaft Diameter (mm)	Part No.* Add Suffix RF or SF	
dr (mm)	Tolerance (μm)	D (mm)	Tolerance (μm)	L (mm)	Tolerance (μm)	DI (mm)	K (mm)	t (mm)	Dp (mm)	X (mm)	Y (mm)							Z (mm)
5	+8	12	0	22	0	28	22	5	20	3.5	6	3.1	12	12	21	27	5	MPL-5
8		16	0	25		32	25	5	24	3.5	6	3.1			27	41	8	MPL-8
12		22	0	32		42	32	6	32	4.5	7.5	4.1			52	79	12	MPL-12
16	+9	28	0	36	200	46	35	6	36	4.5	7.5	4.1	15	15	59	91	16	MPL-16
20	-1	32	0	45		54	42	8	43	5.5	9	5.1			88	140	20	MPL-20
25	+11	40	0	58		62	50	8	51	5.5	9	5.1			100	160	25	MPL-25
30	-1	47	-11	68		0	76	60	10	62	6.6	11			6.1	160	280	30
40	+13 -2	62	0 -13	80	-300	98	75	13	78	9	14	8.1	17	17	220	410	40	MPL-40

*Note: To order round flange type use "RF" suffix in part number.
To order square flange type use "SF" suffix in part number.

Example: MPL-12RF (Round Flange)
MPL-12SF (Square Flange)

Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

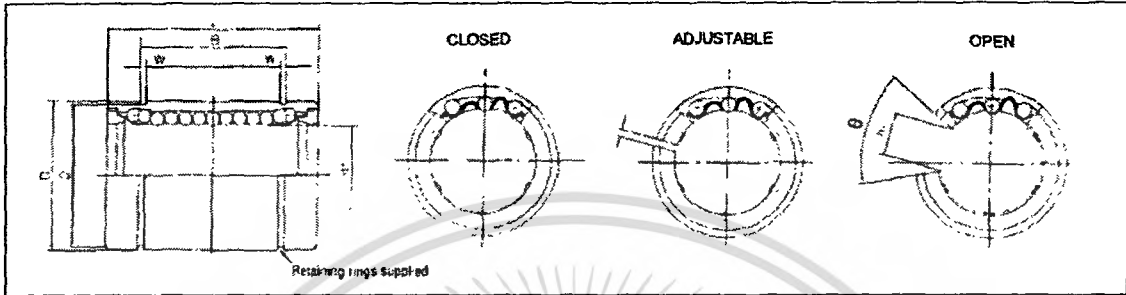


4-7

RECIRCULATING BALL LINEAR BEARINGS

Inch and Metric

Closed, Adjustable and Open Styles



Material:
 Balls: 52100 Chrome Steel
 Outer Housing: 52100 Steel
 Ball Retainer: Resin
 End Caps: 1018 Steel

Shafting:
 Select From AISI-C1060 Steel (PIC Series A10)
 or 440C Stainless Steel (PIC Series A12)

Boundary Dimensions and Tolerance (inch sizes)													Basic Dynamic Load Rating (C lbs)	Basic Static Load Rating (Co lbs)	Nominal Shaft diameter (inch)	Part No.*
d	Tolerance	D	Tolerance	L	Tolerance	B	Tolerance	W	D ₁	h	h ₁	α				
2500	0	5000	0.0045	7500	0	5000	0	0.293	0.687	—	—	—	48	60	250	PL-4**
3750	-0.0040	6250	0	8750	0	6250	0	0.380	0.860	—	—	—	51	71	375	PL-6**
5000	-0.0040	8750	-0.0050	12500	0	8750	0	0.450	1.030	0.6	0.340	80°	115	178	500	PL-8
825	0	1650	0	2475	-0.006	1650	0.008	0.659	1.050	0.6	0.375	80°	174	265	825	PL-10
7500	0	15000	0	22500	0	15000	0	0.650	1.170	0.6	0.437	80°	194	308	750	PL-12
10000	-0.0040	20000	-0.0055	30000	0	20000	0	0.720	1.450	0.6	0.582	50°	220	353	1000	PL-16
12500	0	25000	0	37500	0	25000	0	0.770	1.650	0	0.625	50°	253	416	1250	PL-20
15000	-0.0050	30000	-0.0075	45000	-0.012	30000	-0.012	0.850	2.230	1.2	0.750	50°	490	904	1500	PL-24

*To order: Adjustable bearing — Use No. PA - Size Code. Open bearing — Use No. PO - Size Code.
 **Closed Style Only

Boundary Dimensions and Tolerance (metric sizes)													Basic Dynamic Load Rating (C N)	Basic Static Load Rating (Co N)	Nominal Shaft diameter (mm)	Part No.*
d	Tolerance	D	Tolerance	L	Tolerance	B	Tolerance	W	D ₁	h	h ₁	α				
5	+0	12	0	22	0	14.5	0	11	17.5	1	—	—	206	265	5	MPL-5
8	0	16	-0.1	25	0	16.5	0	11	19.2	1	—	—	265	422	8	MPL-8
12	0	22	0	32	0	22.9	0	13	21	1.5	0.75	70°	510	784	12	MPL-12
16	-0.1	28	-0.1	36	-0.06	24.5	-0.06	13	24.9	1.5	0.70	70°	578	892	16	MPL-16
20	-0.1	32	0	45	0	31.5	0	16	30.3	2	0	60°	862	1370	20	MPL-20
25	+0.1	40	-0.1	56	0	44.1	0	18.5	30.3	2	0.25	60°	980	1570	25	MPL-25
30	-0.1	47	0	68	0	52.1	0	18.5	44.5	2	0.25	50°	1578	2740	30	MPL-30
40	+0.1 -0.2	62	0 -0.13	80	-0.06	60.6	-0.06	2.15	50	3	0.6	50°	2160	4020	40	MPL-40

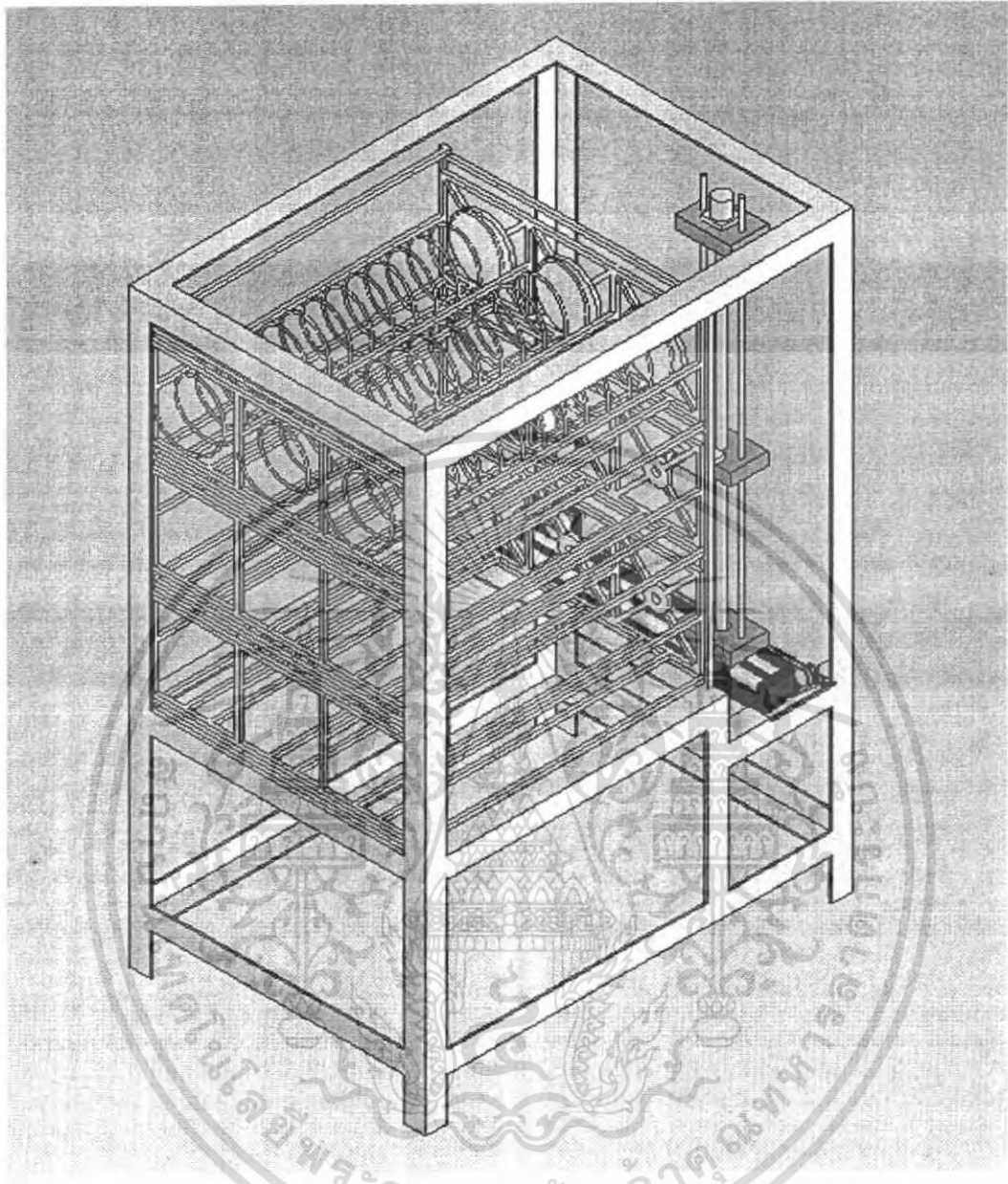
*To order: Adjustable bearing — Use No. MPA - Size Code. Open bearing — Use No. MPD - Size Code.

4-8	PIC DESIGN	Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271 E-Mail: info@pic-design.com
-----	-------------------	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก.6 ค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด

วัสดุ	โมดูลัสความยืดหยุ่น E		โมดูลัสความแข็งเกร็ง G		อัตราส่วน ปัวซอง ν	น้ำหนักจำเพาะ w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminum(all alloys)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Beryllium copper	18.0	124.0	7.00	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Brass	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Carbon steel	30.0	207.0	11.50	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Cast iron, gray	14.5	100.0	6.00	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Copper	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Douglas fir	1.6	11.0	0.60	4.1	0.330	0.016	28	4.3
Glass	6.7	46.2	2.70	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.00	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Lead	5.3	36.5	1.90	13.1	0.425	0.411	710	111.0
Magnesium	6.5	44.8	2.40	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molybdenum	46.0	331.0	17.00	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel metal	26.0	179.0	9.50	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Nickel silver	18.5	127.0	7.00	48.3	0.222	0.316	546	85.8
Nickel steel	30.0	207.0	11.50	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Phosphor bronze	16.1	111.0	6.00	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Stainless steel (18-8)	27.6	190.0	10.60	73.1	0.305	0.290	484	76.0



รูปภาคผนวก ก.1 การออกแบบเครื่องขยสินค้าอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

code โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <16F877.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPUT,NOPROTECT
#use delay (clock=4000000)
#bit col1 = 0x08.0
#bit col2 = 0x08.1
#bit col3 = 0x08.2
#bit row1 = 0x08.4
#bit row2 = 0x08.5
#bit row3 = 0x08.6

void motorz();
void main()
{ int a,b,x,i,c,d,e,f,g,h;
  int motorxl[4]={0x03,0x06,0x0c,0x09};
  int motoryd[4]={0x30,0x60,0xc0,0x90};
  int motorxr[4]={0x09,0x0c,0x06,0x03};
  int motoryu[4]={0x90,0xc0,0x60,0x30};
  set_tris_A(0x00);
  set_tris_B(0x00);
  set_tris_D(0xF0);
  set_tris_C(0x00);
  do{
    output_B(0x00);
    col1=1; col2=1; col3=0;
    if(row1==0)
      { for(x=0;x<130;x++)
        {for(i=0;i<4;i++)
          {output_B(motorxr[i]);
            delay_ms(80);}
        }
      delay_ms(200);
      for(e=0;e<15;e++)
      for(c=0;c<215;c++)
      {for(d=0;d<4;d++)
        {output_B(motoryu[d]);
          delay_ms(25);}
      }
    }
}

```

```

}

delay_ms(500);

motorz();

for(a=0;a<15;a++)
for(b=0;b<215;b++)
{for(f=0;f<4;f++)
  {output_B(motoryd[f]);
  delay_ms(25);}
}

delay_ms(500);
for(g=0;g<130;g++)
{for(h=0;h<4;h++)
  {output_B(motorxl[h]);
  delay_ms(80);}
}
}

if(row2==0)
{for(x=0;x<130;x++)
  {for(i=0;i<4;i++)
    {output_B(motorxr[i]);
    delay_ms(80);
  }
}

delay_ms(500);
for(a=0;a<15;a++)
for(b=0;b<215;b++)
{for(f=0;f<4;f++)
  {output_B(motoryd[f]);
  delay_ms(25);}
}

delay_ms(500);
motorz();
for(e=0;e<15;e++)
for(c=0;c<215;c++)

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{for(d=0;d<4;d++)
    {output_B(motoryu[d]);
      delay_ms(25);}
}
delay_ms(500);
for(g=0;g<130;g++)
{for(h=0;h<4;h++)
    {output_B(motorxl[h]);
      delay_ms(80);}
}
}
if(row3==0)
{for(x=0;x<130;x++)
  {for(i=0;i<4;i++)
    {output_B(motorxr[i]);
      delay_ms(80);}
  }
}
delay_ms(500);
for(a=0;a<45;a++)
for(b=0;b<215;b++)
  {for(f=0;f<4;f++)
    {output_B(motoryd[f]);
      delay_ms(25);}
  }
delay_ms(500);
motorz();
for(e=0;e<45;e++)
for(c=0;c<215;c++)
  {for(d=0;d<4;d++)
    {output_B(motoryu[d]);
      delay_ms(25);}
  }
}
delay_ms(500);
for(g=0;g<130;g++)

```



```

{for(h=0;h<4;h++)
    {output_B(motorx1[h]);
    delay_ms(80);}
}
}
col1=1; col2=0; col3=1;
if(row1==0)
    {for(e=0;e<15;e++)
    for(c=0;c<215;c++)
    {for(d=0;d<4;d++)
        {output_B(motoryu[d]);
        delay_ms(25);}
    }
    delay_ms(500);
    motorz();
    for(a=0;a<15;a++)
    for(b=0;b<215;b++)
    {for(f=0;f<4;f++)
        {output_B(motoryd[f]);
        delay_ms(25);}
    }
}
if(row2==0)
    {for(a=0;a<15;a++)
    for(b=0;b<215;b++)
    {for(f=0;f<4;f++)
        {output_B(motoryd[f]);
        delay_ms(25);}
    }
    delay_ms(500);
    motorz();
    for(e=0;e<15;e++)
    for(c=0;c<215;c++)
    {for(d=0;d<4;d++)
        {output_B(motoryu[d]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(25);}
    }
}
if(row3==0)
{for(a=0;a<45;a++)
for(b=0;b<215;b++)
{for(f=0;f<4;f++)
    {output_B(motoryd[f]);
    delay_ms(25);}
}
delay_ms(500);
motorz();
for(e=0;e<45;e++)
for(c=0;c<215;c++)
{for(d=0;d<4;d++)
    {output_B(motoryu[d]);
    delay_ms(25);}
}
}
coll=0; col2=1; col3=1;
if(row1==0)
{for(g=0;g<136;g++)
{for(h=0;h<4;h++)
    {output_B(motorxl[h]);
    delay_ms(80);}
}
delay_ms(500);
for(e=0;e<15;e++)
for(c=0;c<215;c++)
{for(d=0;d<4;d++)
    {output_B(motoryu[d]);
    delay_ms(25);}
}
delay_ms(500);
motorz();

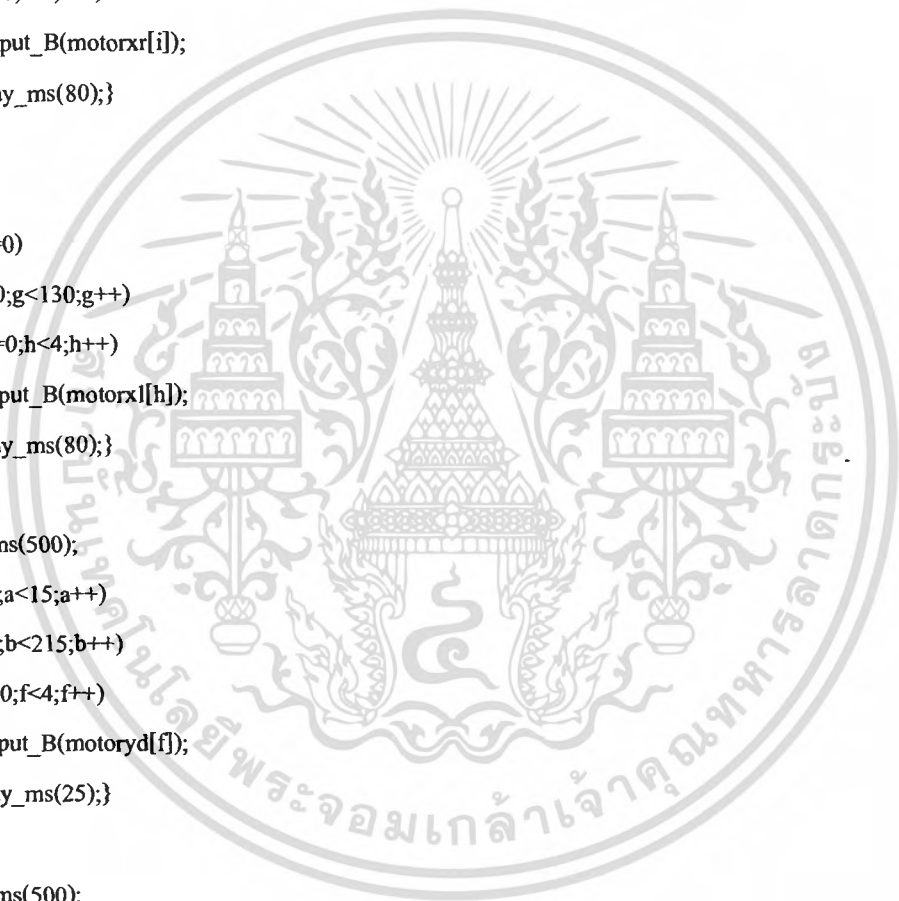
```



```

for(a=0;a<15;a++)
  for(b=0;b<215;b++)
    {for(f=0;f<4;f++)
      {output_B(motoryd[f]);
        delay_ms(25);}
    }
  delay_ms(500);
for(x=0;x<136;x++)
  {for(i=0;i<4;i++)
    {output_B(motorxr[i]);
      delay_ms(80);}
  }
}
if(row2==0)
  {for(g=0;g<130;g++)
    {for(h=0;h<4;h++)
      {output_B(motorxl[h]);
        delay_ms(80);}
    }
  delay_ms(500);
for(a=0;a<15;a++)
for(b=0;b<215;b++)
  {for(f=0;f<4;f++)
    {output_B(motoryd[f]);
      delay_ms(25);}
  }
  delay_ms(500);
  motorz();
for(e=0;e<15;e++)
for(c=0;c<215;c++)
  {for(d=0;d<4;d++)
    {output_B(motoryu[d]);
      delay_ms(25);}
  }
}
delay_ms(500);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(x=0;x<130;x++)
    {for(i=0;i<4;i++)
        {output_B(motorxr[i]);
          delay_ms(80);}
      }
    }
if(row3==0)
    {for(g=0;g<130;g++)
        {for(h=0;h<4;h++)
            {output_B(motorxl[h]);
              delay_ms(80);}
          }
      delay_ms(500);
      for(a=0;a<45;a++)
      for(b=0;b<215;b++)
      {for(f=0;f<4;f++)
          {output_B(motoryd[f]);
            delay_ms(25);}
        }
      delay_ms(500);
      motorz();
      for(e=0;e<45;e++)
      for(c=0;c<215;c++)
      {for(d=0;d<4;d++)
          {output_B(motoryu[d]);
            delay_ms(25);}
        }
      }
      delay_ms(500);
      for(x=0;x<130;x++)
          {for(i=0;i<4;i++)
              {output_B(motorxr[i]);
                delay_ms(80);}
            }
          }
    }while(1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
void motorz()
{int j,k,l;
int motor[4] = {0x90,0xc0,0x60,0x30};
for(j=0;j<50;j++)
  {for(k=0;k<4;k++)
    {output_C(motor[k]);
    delay_ms(100);}
  }
for(l=0;l<1;l++)
{output_C(motor[l]);
delay_ms(100);
}
}

```



ผจ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

**ข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องขายสินค้าอัตโนมัติ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

Order this document by ULN2803/D

Octal High Voltage, High Current Darlington Transistor Arrays

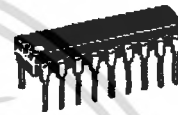
The eight NPN Darlington connected transistors in this family of arrays are ideally suited for interfacing between low logic level digital circuitry (such as TTL, CMOS or PMOS/NMOS) and the higher current/voltage requirements of lamps, relays, printer hammers or other similar loads for a broad range of computer, industrial, and consumer applications. All devices feature open-collector outputs and free wheeling clamp diodes for transient suppression.

The ULN2803 is designed to be compatible with standard TTL families while the ULN2804 is optimized for 6 to 15 volt high level CMOS or PMOS.

**ULN2803
ULN2804**

**OCTAL PERIPHERAL
DRIVER ARRAYS**

**SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA**



A SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707

MAXIMUM RATINGS (TA = 25°C and rating apply to any one device in the package, unless otherwise noted.)

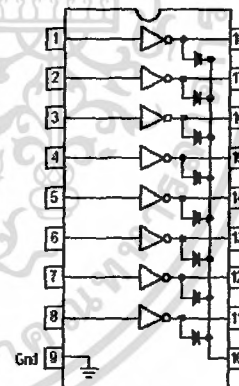
Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	V _O	50	V
Input Voltage (Except ULN2801)	V _I	30	V
Collector Current - Continuous	I _C	500	mA
Base Current - Continuous	I _B	25	mA
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +150	°C
Junction Temperature	T _J	125	°C

R_{θJA} = 55 °C/W
Do not exceed maximum current limit per driver.

ORDERING INFORMATION

Device	Characteristics		
	Input Compatibility	V _{CE} (Max)/I _C (Max)	Operating Temperature Range
ULN2803A	TTL, 5.0 V CMOS	50V/500 mA	T _A = 0 to +70°C
ULN2804A	6 to 15V CMOS, PMOS		

PIN CONNECTIONS



ULN2803 ULN2804

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Leakage Current (Figure 1) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +70^\circ\text{C}$) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +70^\circ\text{C}$, $V_I = 6.0\text{ V}$) ($V_O = 50\text{ V}$, $T_A = +70^\circ\text{C}$, $V_I = 1.0\text{ V}$)	I_{CEX}	-	-	100 50 500 500	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage (Figure 2) ($I_C = 350\text{ mA}$, $I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$) ($I_C = 200\text{ mA}$, $I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$) ($I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{CE(sat)}$	-	1.1 0.95 0.85	1.6 1.3 1.1	V
Input Current - On Condition (Figure 4) ($V_I = 17\text{ V}$) ($V_I = 3.85\text{ V}$) ($V_I = 5.0\text{ V}$) ($V_I = 12\text{ V}$)	$I_{(on)}$	-	0.82 0.93 0.35 1.0	1.25 1.35 0.5 1.45	mA
Input Voltage - On Condition (Figure 5) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 250\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 125\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 275\text{ mA}$) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$)	$V_{(on)}$	-	-	13 2.4 2.7 3.0 5.0 6.0 7.0 8.0	V
Input Current - Off Condition (Figure 3) ($I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$, $T_A = +70^\circ\text{C}$)	$I_{(off)}$	50	100	-	μA
DC Current Gain (Figure 2) ($V_{CE} = 2.0\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$)	h_{FE}	1000	-	-	-
Input Capacitance	C_I	-	15	25	pF
Turn-On Delay Time (50% E_I to 50% E_O)	t_{on}	-	0.25	1.0	μs
Turn-Off Delay Time (50% E_I to 50% E_O)	t_{off}	-	0.25	1.0	μs
Clamp Diode Leakage Current (Figure 6) ($V_R = 50\text{ V}$)	I_R	-	-	50 100	μA
Clamp Diode Forward Voltage (Figure 7) ($I_F = 350\text{ mA}$)	V_F	-	1.5	2.0	V

ULN2803 ULN2804

TEST FIGURES

(See Figure Numbers in Electrical Characteristics Table)

Figure 1.

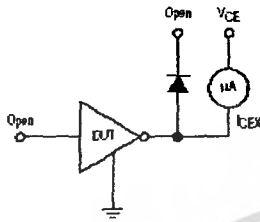


Figure 2.

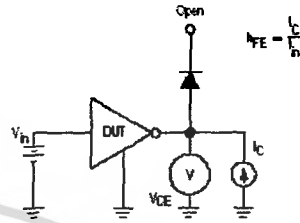


Figure 3.

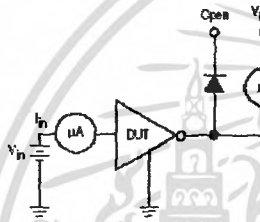


Figure 4.

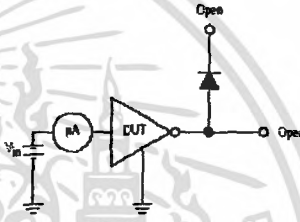


Figure 5.

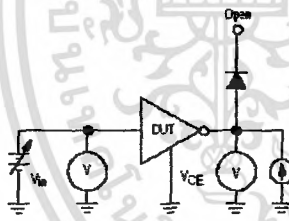


Figure 6.

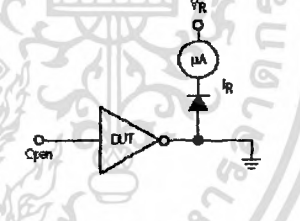
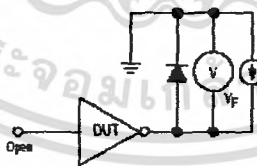


Figure 7.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2803 ULN2804

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES - $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted
Output Characteristics

Figure 8. Output Current versus Saturation Voltage

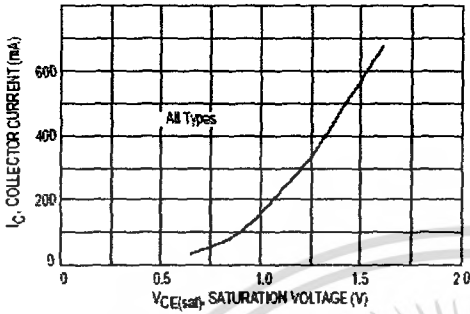
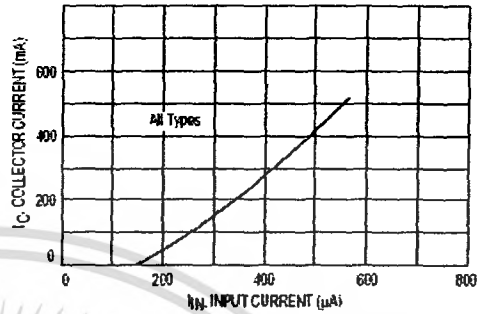


Figure 9. Output Current versus Input Current



Input Characteristics

Figure 10. ULN2803 Input Current versus Input Voltage

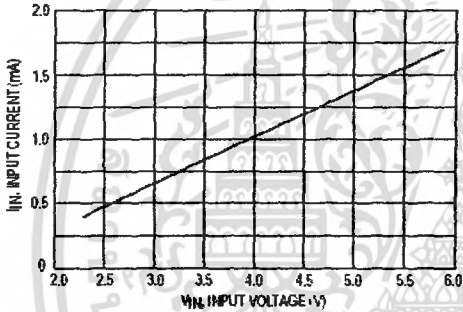


Figure 11. ULN2804 Input Current versus Input Voltage

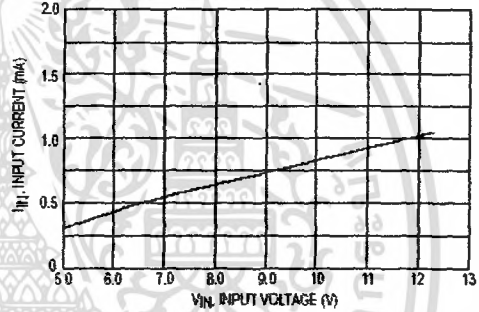
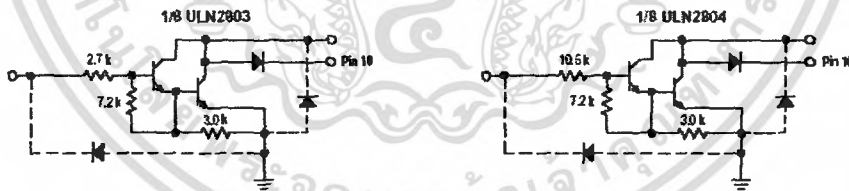


Figure 12. Representative Schematic Diagrams



KA78XX/KA78XXA

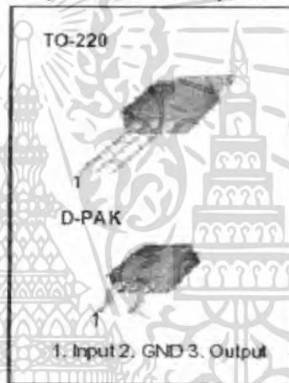
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

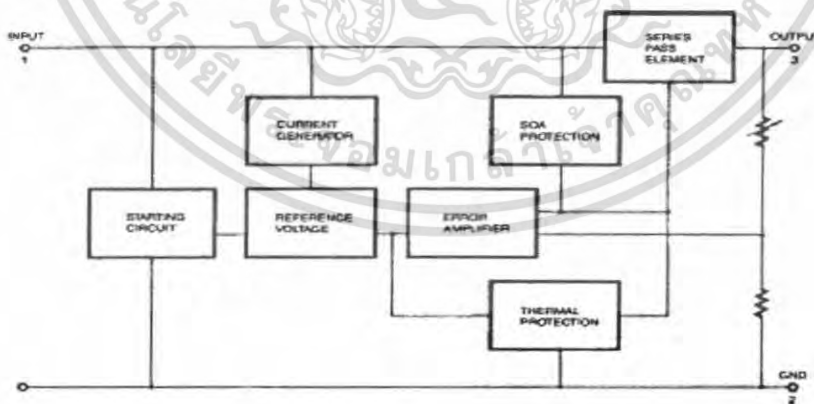
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The KA78XX/KA78XXA series of three-terminal positive regulator are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.0

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I	35	V
	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TC-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TC-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range (KA78XX/A/R)	T_{OPR}	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (KA7805/KA7805R)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$ $V_I = 7V$ to $25V$	-	0.03	0.5	mA	
			-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	$m\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Electrical Characteristics (KA7805A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5	5.1	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5	5.2		
Line Regulation (Note 1)	Regline	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	5	50	mV	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	3	50		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	-	5		50
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	1.5		25
Load Regulation (Note 1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	9	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	50		
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	-	68	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Typical Performance Characteristics

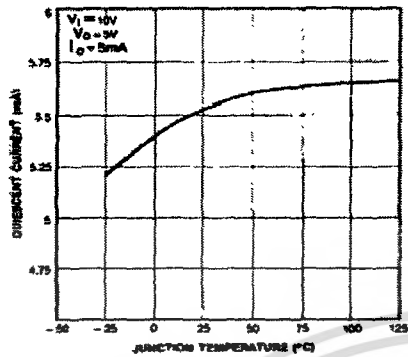


Figure 1. Quiescent Current

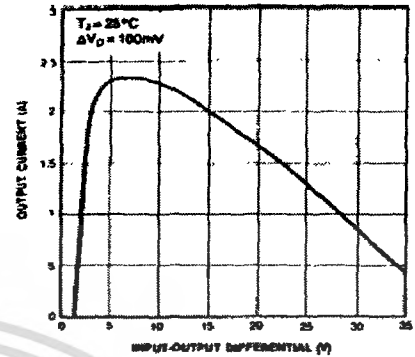


Figure 2. Peak Output Current

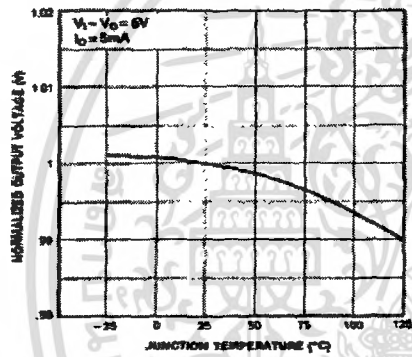


Figure 3. Output Voltage

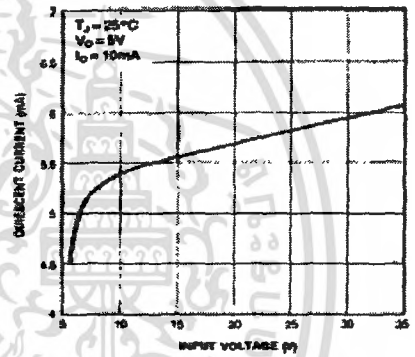


Figure 4. Quiescent Current

Typical Applications

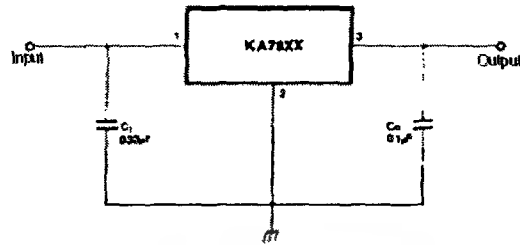


Figure 5. DC Parameters

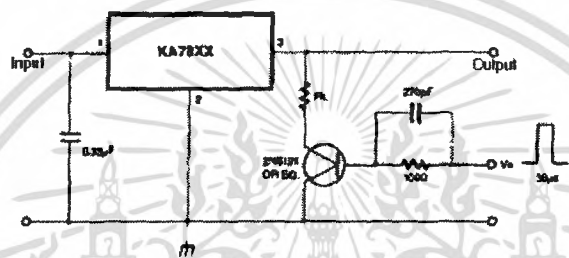


Figure 6. Load Regulation

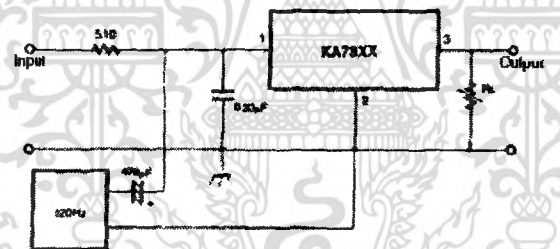


Figure 7. Ripple Rejection

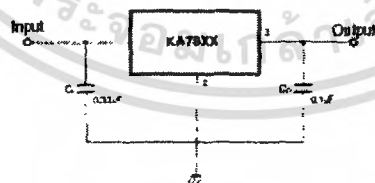


Figure 8. Fixed Output Regulator

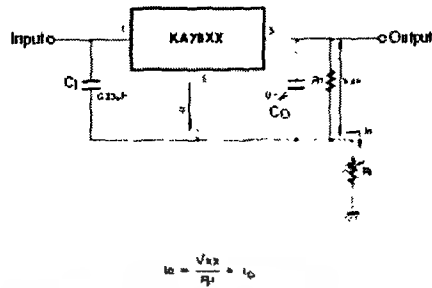


Figure 9. Constant Current Regulator

Notes:

- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power Supply filter.
- (3) C0 improves stability and transient response.

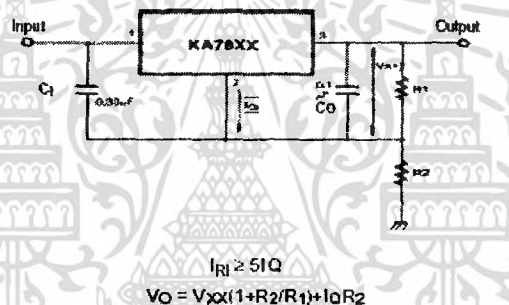


Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage

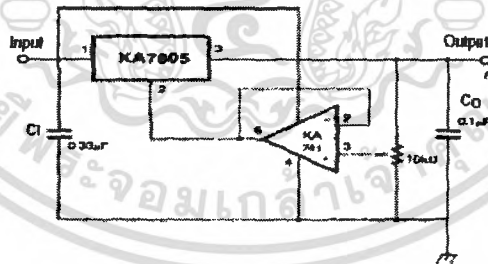


Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)

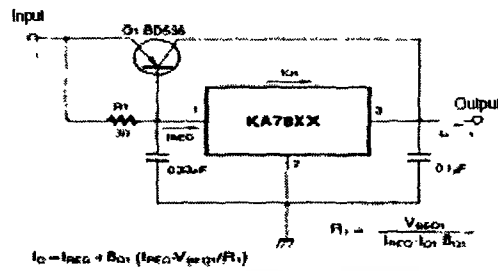


Figure 12. High Current Voltage Regulator

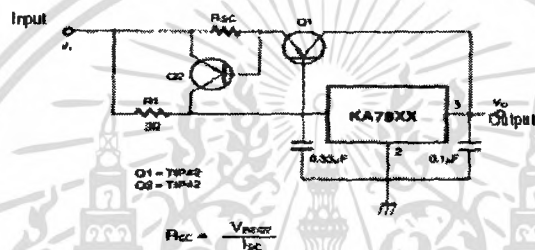


Figure 13. High Output Current with Short Circuit Protection

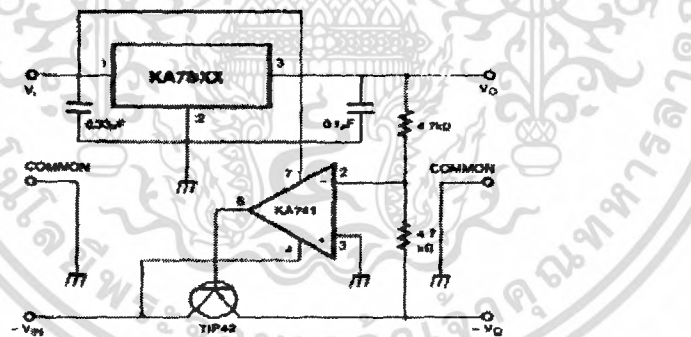


Figure 14. Tracking Voltage Regulator

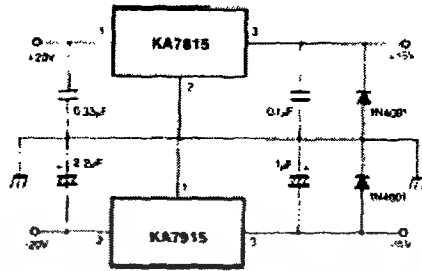


Figure 15. Split Power Supply ($\pm 15V-1A$)

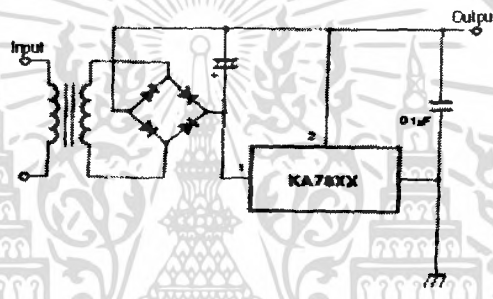


Figure 16. Negative Output Voltage Circuit

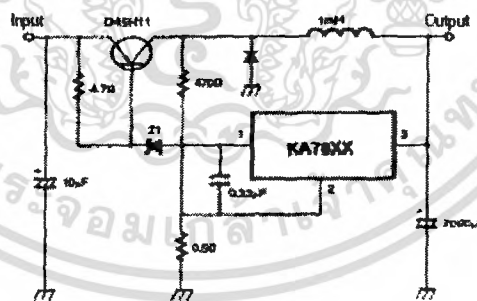
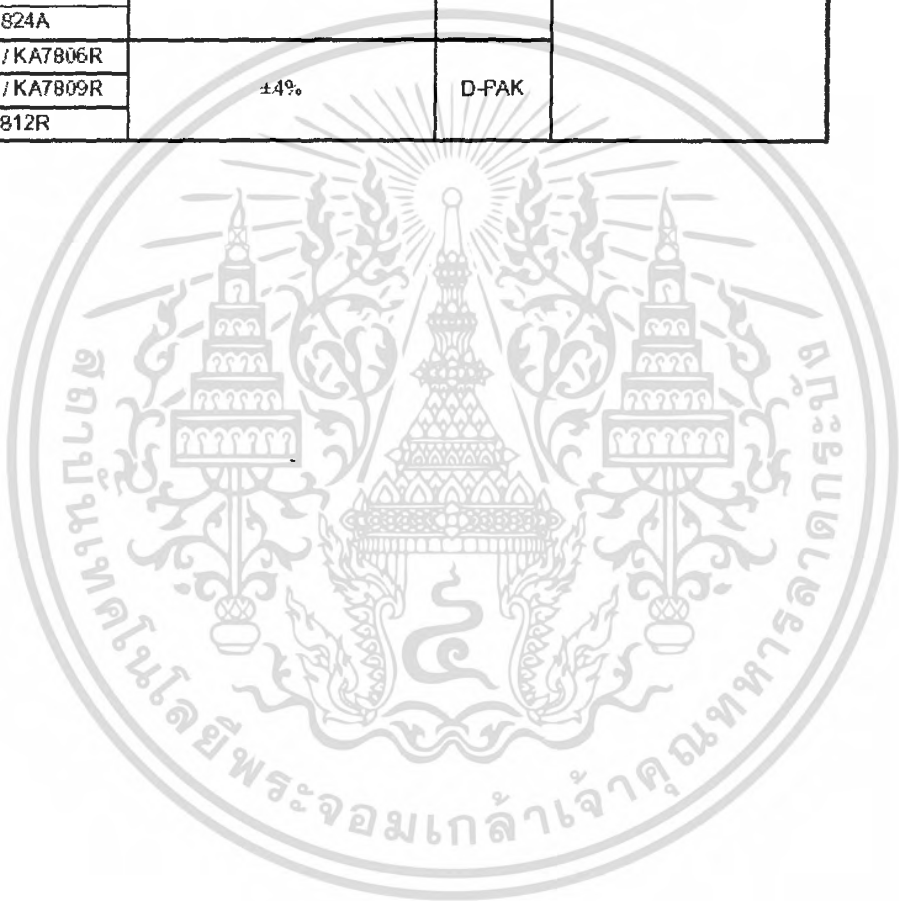


Figure 17. Switching Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
KA7805 / KA7806	±1%	TO-220	0 ~ + 125°C
KA7808 / KA7809			
KA7810			
KA7812 / KA7815			
KA7818 / KA7824			
KA7805A / KA7806A	±2%	TO-220	0 ~ + 125°C
KA7808A / KA7809A			
KA7810A / KA7812A			
KA7815A / KA7818A			
KA7824A			
KA7805R / KA7806R	±4%	D-PAK	
KA7808R / KA7809R			
KA7812R			





PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F876A
- PIC16F874A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

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

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

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

Special Microcontroller Features:

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

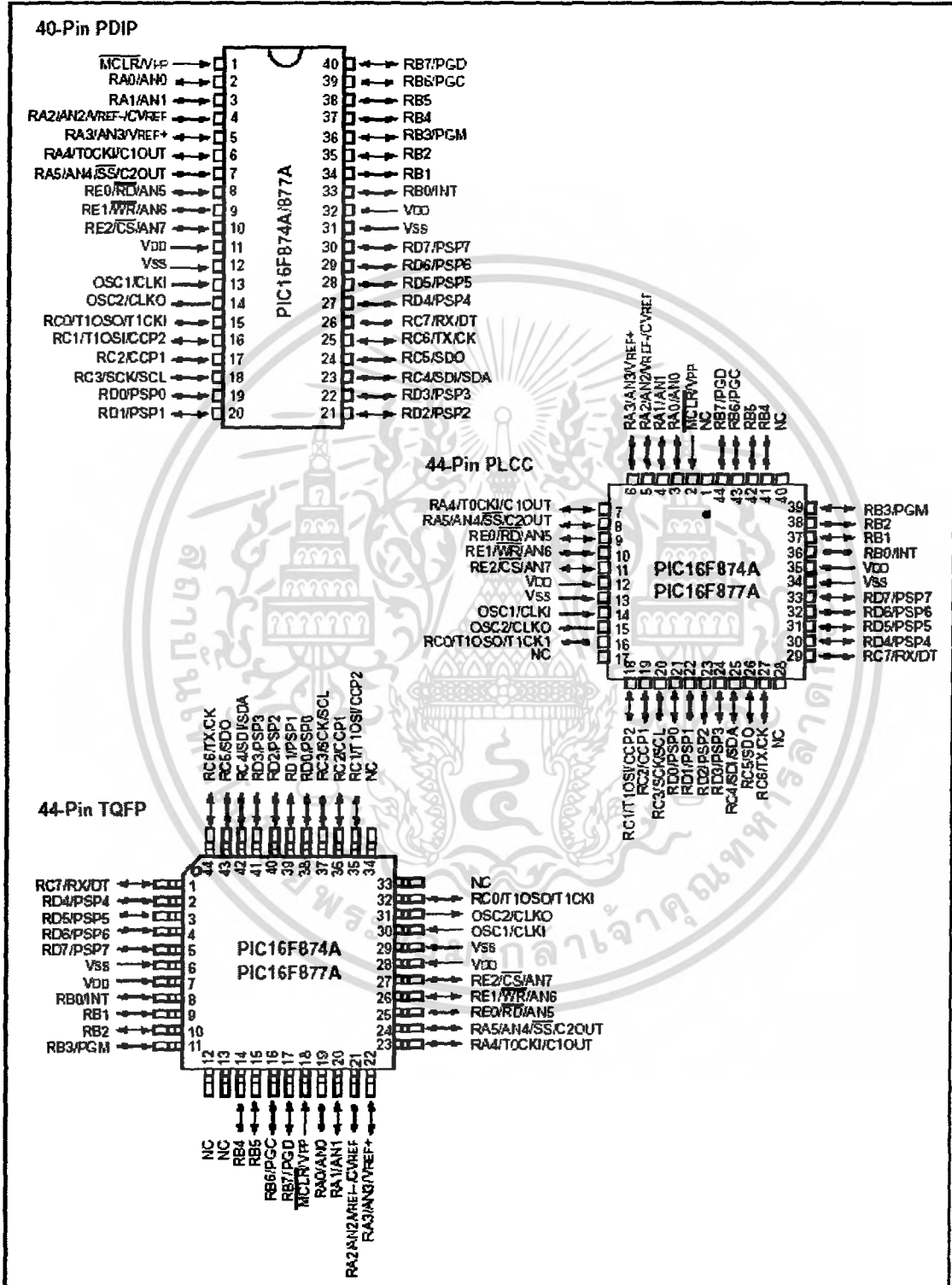
CMOS Technology:

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

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

PIC16F87XA

Pin Diagrams (Continued)



PIC16F87XA

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

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

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

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

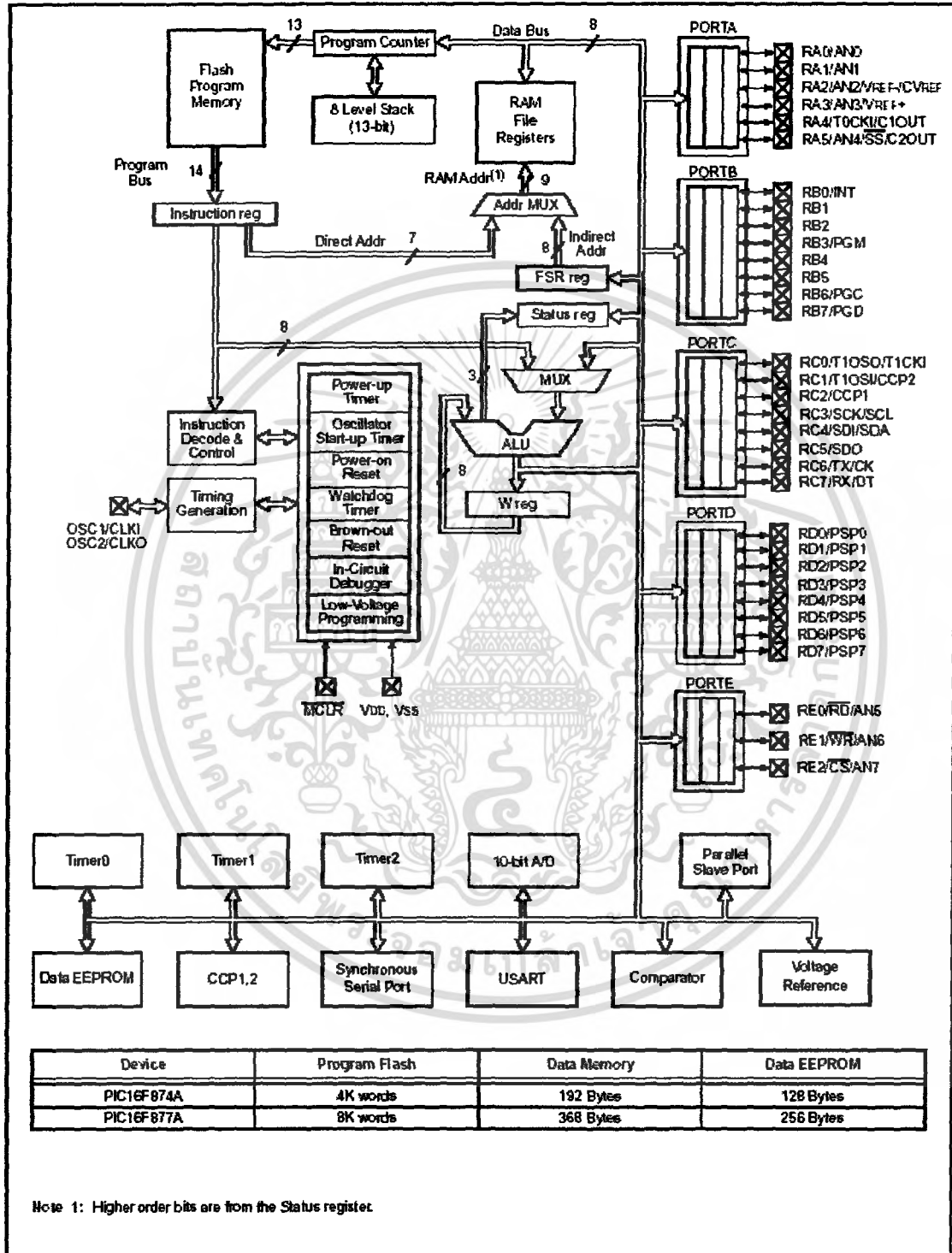
Additional information may be found in the PICmicro[®] Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly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

TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

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

PIC16F87XA

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION

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

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

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

PIC16F87XA

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

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

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

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

PIC16F87XA

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

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

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

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

PIC16F87XA

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

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

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

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

PIC16F87XA

2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87XA devices. The program memory and data memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in Section 3.0 "Data EEPROM and Flash Program Memory".

Additional information on device memory may be found in the PICmicro® Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87XA devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K word x 14 bit program memory space. The PIC16F876A/877A devices have 8K words x 14 bits of Flash program memory, while PIC16F873A/874A devices have 4K words x 14 bits. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The Reset vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PIC16F876A/877A PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

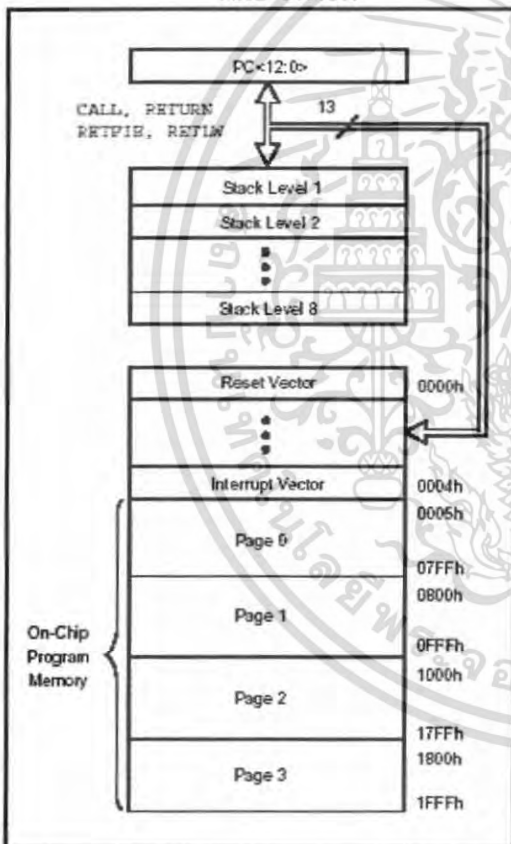
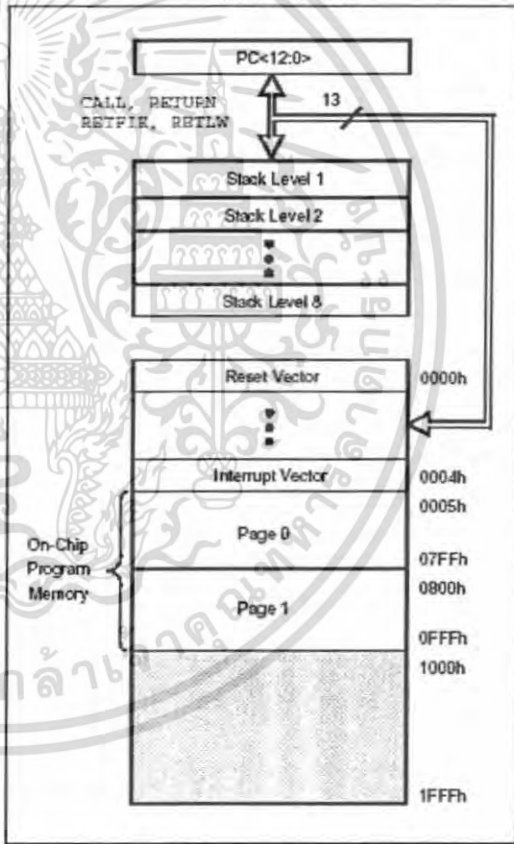


FIGURE 2-2: PIC16F873A/874A PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



PIC16F87XA

2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into multiple banks which contain the General Purpose Registers and the Special Function Registers. Bits RP1 (Status<6>) and RP0 (Status<5>) are the bank select bits.

RP1:RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3

Each bank extends up to 7Fh (128 bytes). The lower locations of each bank are reserved for the Special Function Registers. Above the Special Function Registers are General Purpose Registers, implemented as static RAM. All implemented banks contain Special Function Registers. Some frequently used Special Function Registers from one bank may be mirrored in another bank for code reduction and quicker access.

Note: The EEPROM data memory description can be found in Section 3.0 "Data EEPROM and Flash Program Memory" of this data sheet.

2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file can be accessed either directly, or indirectly, through the File Select Register (FSR).



PIC16F87XA

4.0 I/O PORTS

Some pins for these I/O ports are multiplexed with an alternate function for the peripheral features on the device. In general, when a peripheral is enabled, that pin may not be used as a general purpose I/O pin.

Additional information on I/O ports may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023).

4.1 PORTA and the TRISA Register

PORTA is a 6-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISA. Setting a TRISA bit (= 1) will make the corresponding PORTA pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a High-Impedance mode). Clearing a TRISA bit (= 0) will make the corresponding PORTA pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Reading the PORTA register reads the status of the pins, whereas writing to it will write to the port latch. All write operations are read-modify-write operations. Therefore, a write to a port implies that the port pins are read, the value is modified and then written to the port data latch.

Pin RA4 is multiplexed with the Timer0 module clock input to become the RA4/T0CKI pin. The RA4/T0CKI pin is a Schmitt Trigger input and an open-drain output. All other PORTA pins have TTL input levels and full CMOS output drivers.

Other PORTA pins are multiplexed with analog inputs and the analog VREF input for both the A/D converters and the comparators. The operation of each pin is selected by clearing/setting the appropriate control bits in the ADCON1 and/or CMCON registers.

Note: On a Power-on Reset, these pins are configured as analog inputs and read as '0'. The comparators are in the off (digital) state.

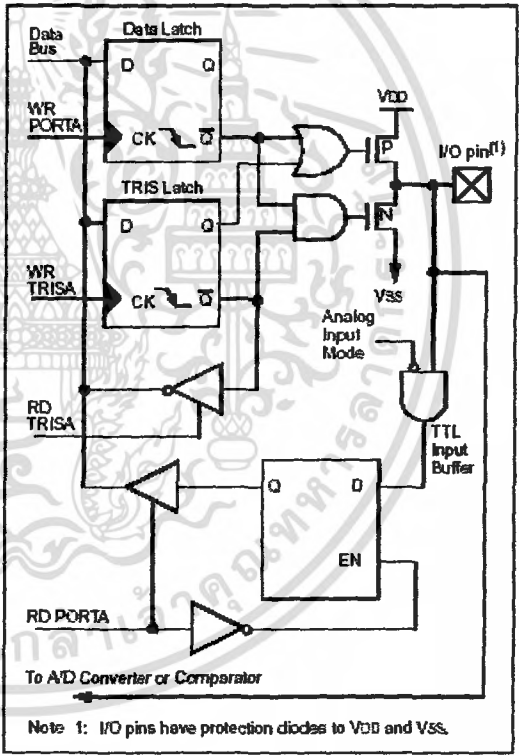
The TRISA register controls the direction of the port pins even when they are being used as analog inputs. The user must ensure the bits in the TRISA register are maintained set when using them as analog inputs.

EXAMPLE 4-1: INITIALIZING PORTA

```
BCF STATUS, RFD ;
BCF STATUS, RF1 ; Bank0
CLRF PORTA ; Initialize PORTA by
; clearing output
; data latches

BSF STATUS, RFD ; Select Bank 1
MOVLW 0x06 ; Configure all pins
MOVWF ADCON1 ; as digital inputs
MOVLW 0x0CF ; Value used to
; initialize data
; direction
MOVWF TRISA ; Set RA<3:0> as inputs
; RA<5:4> as outputs
; TRISA<7:6> are always
; read as '0'.
```

FIGURE 4-1: BLOCK DIAGRAM OF RA3:RA0 PINS



PIC16F87XA

FIGURE 4-2: BLOCK DIAGRAM OF RA4/T0CKI PIN

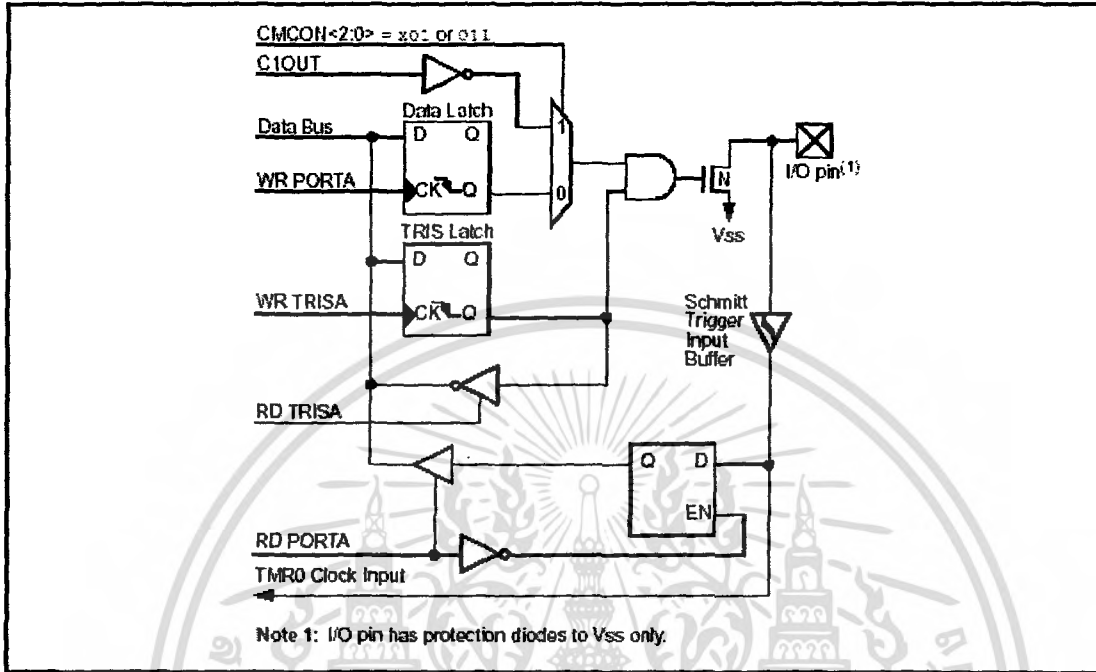
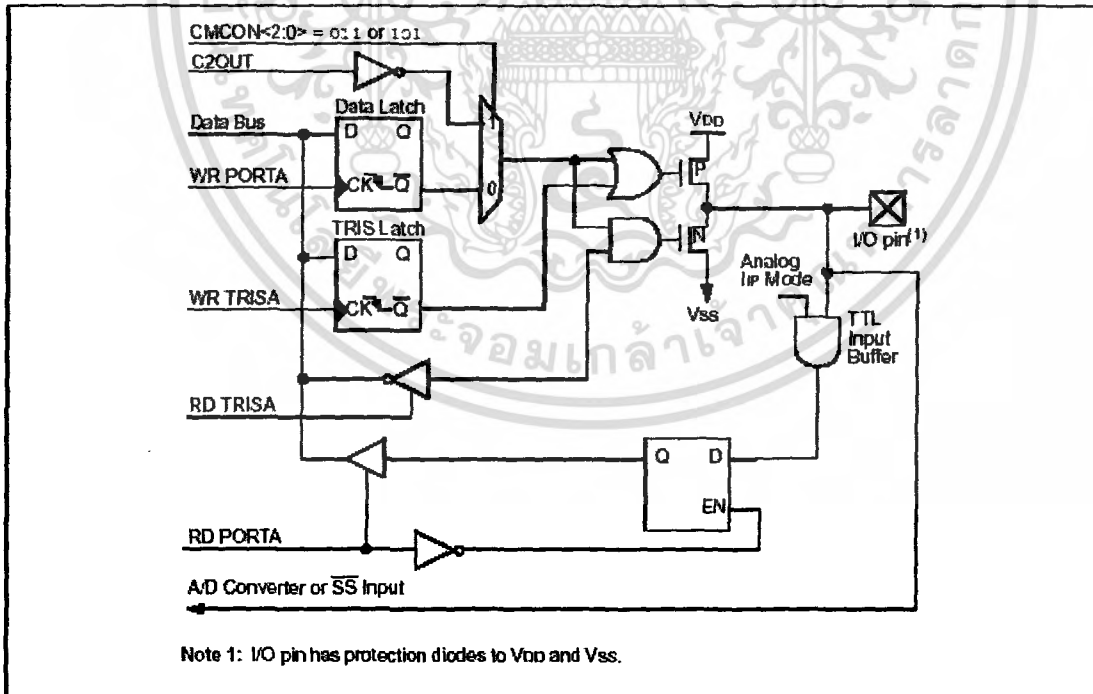


FIGURE 4-3: BLOCK DIAGRAM OF RA5 PIN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 26 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

TABLE 4-1: PORTA FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit 0	TTL	Input/output or analog input.
RA1/AN1	bit 1	TTL	Input/output or analog input.
RA2/AN2/VREF-/CVREF	bit 2	TTL	Input/output or analog input or VREF- or CVREF.
RA3/AN3/VREF+	bit 3	TTL	Input/output or analog input or VREF+.
RA4/IOCKI/C1OUT	bit 4	ST	Input/output or external clock input for Timer0 or comparator output. Output is open-drain type.
RA5/AN4/SS/C2OUT	bit 5	TTL	Input/output or analog input or slave select input for synchronous serial port or comparator output.

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

TABLE 4-2: 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, BOR	Value on all other Resets
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0x 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Ch	CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0	0000 0111	0000 0111
9Dh	CVRCON	CVREN	CVROE	CVR0	—	CVR3	CVR2	CVR1	CVR0	000- 0000	000- 0000
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	00-- 0000

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

Note: When using the SSP module in SPI Slave mode and SS enabled, the A/D converter must be set to one of the following modes, where PCFG3:PCFG0 = 0100, 0101, 011x, 1101, 1110, 1111.

PIC16F87XA

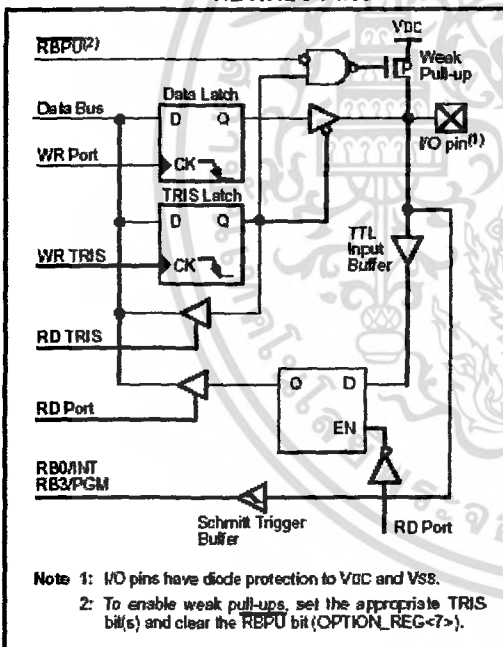
4.2 PORTB and the TRISB Register

PORTB is an 8-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISB. Setting a TRISB bit (= 1) will make the corresponding PORTB pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a High-Impedance mode). Clearing a TRISB bit (= 0) will make the corresponding PORTB pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Three pins of PORTB are multiplexed with the In-Circuit Debugger and Low-Voltage Programming function: RB3/PGM, RB6/PGC and RB7/PGD. The alternate functions of these pins are described in Section 14.0 "Special Features of the CPU".

Each of the PORTB pins has a weak internal pull-up. A single control bit can turn on all the pull-ups. This is performed by clearing bit RBPU1 (OPTION_REG<7>). The weak pull-up is automatically turned off when the port pin is configured as an output. The pull-ups are disabled on a Power-on Reset.

FIGURE 4-4: BLOCK DIAGRAM OF RB3:RB0 PINS



Four of the PORTB pins, RB7:RB4, have an interrupt-on-change feature. Only pins configured as inputs can cause this interrupt to occur (i.e., any RB7:RB4 pin configured as an output is excluded from the interrupt-on-change comparison). The input pins (of RB7:RB4) are compared with the old value latched on the last read of PORTB. The "mismatch" outputs of RB7:RB4 are OR'ed together to generate the RB port change interrupt with flag bit RBIF (INTCON<0>).

This interrupt can wake the device from Sleep. The user, in the Interrupt Service Routine, can clear the interrupt in the following manner:

- Any read or write of PORTB. This will end the mismatch condition.
- Clear flag bit RBIF.

A mismatch condition will continue to set flag bit RBIF. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow flag bit RBIF to be cleared.

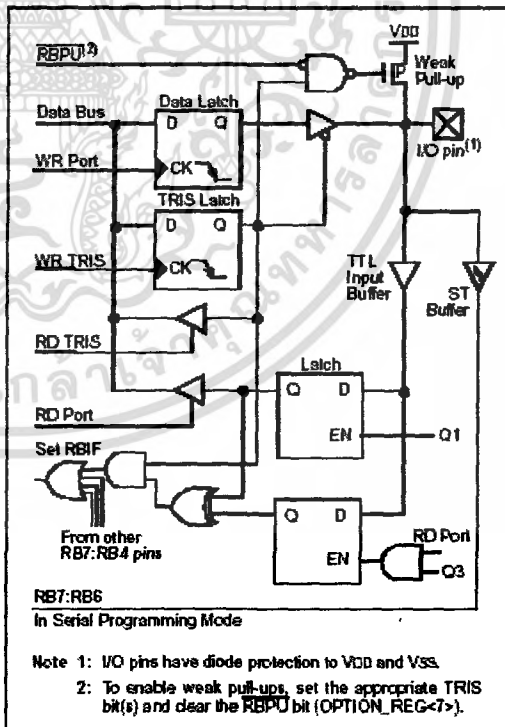
The interrupt-on-change feature is recommended for wake-up on key depression operation and operations where PORTB is only used for the interrupt-on-change feature. Polling of PORTB is not recommended while using the interrupt-on-change feature.

This interrupt-on-mismatch feature, together with software configurable pull-ups on these four pins, allow easy interface to a keypad and make it possible for wake-up on key depression. Refer to the application note, AN552, "Implementing Wake-up on Key Stroke" (DS00552).

RB0/INT is an external interrupt input pin and is configured using the INTEDG bit (OPTION_REG<6>).

RB0/INT is discussed in detail in Section 14.11.1 "INT Interrupt".

FIGURE 4-5: BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS



PIC16F87XA

TABLE 4-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit 0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit 1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit 2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM ⁽³⁾	bit 3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit 4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit 5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit 6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit 7	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

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

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

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode or in-circuit debugger.

3: Low-Voltage ICSP Programming (LVP) is enabled by default which disables the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and allow maximum compatibility to the other 28-pin and 40-pin mid-range devices.

TABLE 4-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
06h, 106h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
86h, 186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
81h, 181h	OPTION_REG	RBP	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

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

PIC16F87XA

4.3 PORTC and the TRISC Register

PORTC is an 8-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISC. Setting a TRISC bit (= 1) will make the corresponding PORTC pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a High-Impedance mode). Clearing a TRISC bit (= 0) will make the corresponding PORTC pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

PORTC is multiplexed with several peripheral functions (Table 4-5). PORTC pins have Schmitt Trigger input buffers.

When the I²C module is enabled, the PORTC<4:3> pins can be configured with normal I²C levels, or with SMBus levels, by using the CKE bit (SSPSTAT<6>).

When enabling peripheral functions, care should be taken in defining TRIS bits for each PORTC pin. Some peripherals override the TRIS bit to make a pin an output, while other peripherals override the TRIS bit to make a pin an input. Since the TRIS bit override is in effect while the peripheral is enabled, read-modify-write instructions (BSE, BCF, XORWF) with TRISC as the destination, should be avoided. The user should refer to the corresponding peripheral section for the correct TRIS bit settings.

FIGURE 4-6: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<2:0>, RC<7:5>

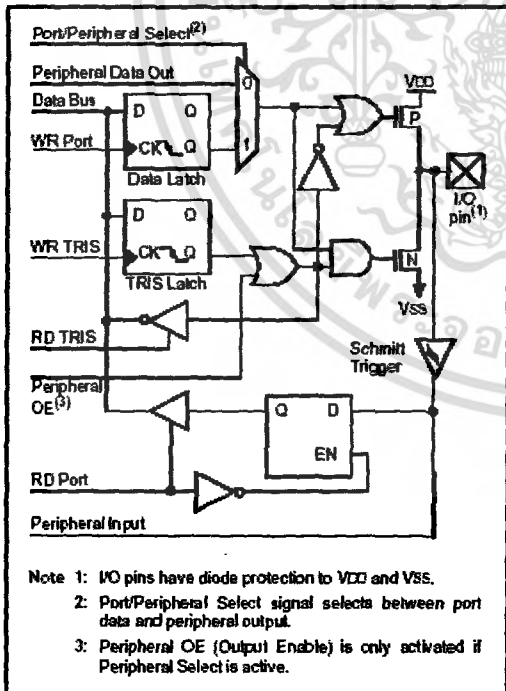
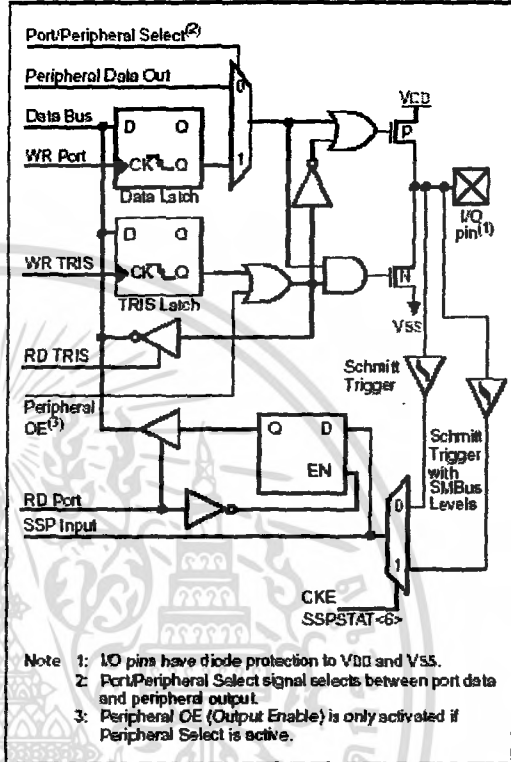


FIGURE 4-7: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<4:3>



PIC16F87XA

TABLE 4-5: PORTC FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit 0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	bit 1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	bit 2	ST	Input/output port pin or Capture 1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	bit 3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	bit 4	ST	RC4 can also be the SPI data in (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	bit 5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output.
RC6/TX/CK	bit 6	ST	Input/output port pin or USART asynchronous transmit or synchronous clock.
RC7/RX/DT	bit 7	ST	Input/output port pin or USART asynchronous receive or synchronous data.

Legend: ST = Schmitt Trigger input

TABLE 4-6: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTC

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	x000x x000x	nnnnn nnnnn
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged

PIC16F87XA

4.4 PORTD and TRISD Registers

Note: PORTD and TRISD are not implemented on the 28-pin devices.

PORTD is an 8-bit port with Schmitt Trigger input buffers. Each pin is individually configurable as an input or output.

PORTD can be configured as an 8-bit wide microprocessor port (Parallel Slave Port) by setting control bit, PSPMODE (TRISE<4>). In this mode, the input buffers are TTL.

FIGURE 4-8: PORTD BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

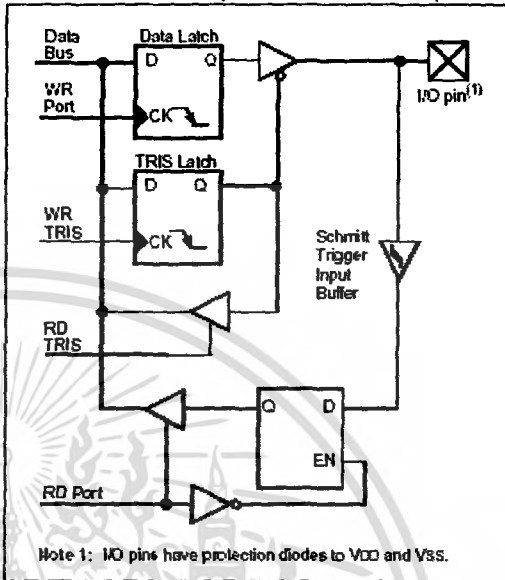


TABLE 4-7: PORTD FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RD0/PSP0	bit 0	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 0.
RD1/PSP1	bit 1	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 1.
RD2/PSP2	bit 2	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 2.
RD3/PSP3	bit 3	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 3.
RD4/PSP4	bit 4	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 4.
RD5/PSP5	bit 5	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 5.
RD6/PSP6	bit 6	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 6.
RD7/PSP7	bit 7	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 7.

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

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

TABLE 4-8: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTD

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
08h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	x000 x000	0000 0000
88h	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits		0000 -111	0000 -111	

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

PIC16F87XA

4.5 PORTE and TRISE Register

Note: PORTE and TRISE are not implemented on the 28-pin devices.

PORTE has three pins (RE0/ \overline{RD} /AN5, RE1/ \overline{WR} /AN6 and RE2/ \overline{CS} /AN7) which are individually configurable as inputs or outputs. These pins have Schmitt Trigger input buffers.

The PORTE pins become the I/O control inputs for the microprocessor port when bit PSPMODE (TRISE<4>) is set. In this mode, the user must make certain that the TRISE<2:0> bits are set and that the pins are configured as digital inputs. Also, ensure that ADCON1 is configured for digital I/O. In this mode, the input buffers are TTL.

Register 4-1 shows the TRISE register which also controls the Parallel Slave Port operation.

PORTE pins are multiplexed with analog inputs. When selected for analog input, these pins will read as '0's.

TRISE controls the direction of the RE pins, even when they are being used as analog inputs. The user must make sure to keep the pins configured as inputs when using them as analog inputs.

Note: On a Power-on Reset, these pins are configured as analog inputs and read as '0'.

FIGURE 4-9: PORTE BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

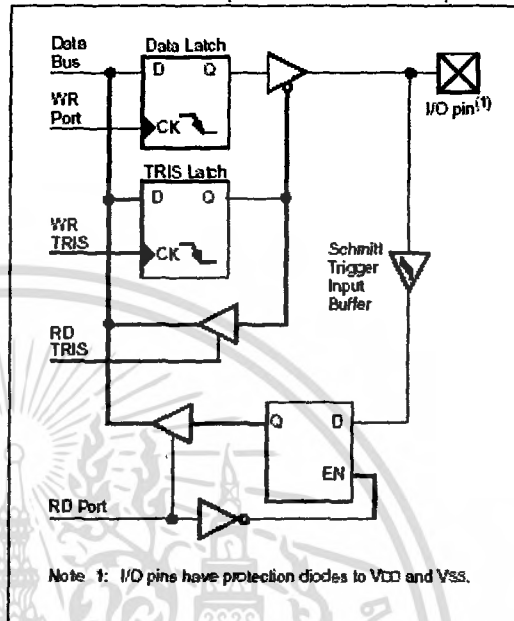


TABLE 4-9: PORTE FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RE0/ \overline{RD} /AN5	bit 0	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or read control input in Parallel Slave Port mode or analog input: \overline{RD} 1 = Idle 0 = Read operation. Contents of PORTD register are output to PORTD I/O pins (if chip selected).
RE1/ \overline{WR} /AN6	bit 1	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or write control input in Parallel Slave Port mode or analog input: \overline{WR} 1 = Idle 0 = Write operation. Value of PORTD I/O pins is latched into PORTD register (if chip selected).
RE2/ \overline{CS} /AN7	bit 2	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or chip select control input in Parallel Slave Port mode or analog input: \overline{CS} 1 = Device is not selected 0 = Device is selected

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

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

PIC16F87XA

14.2 Oscillator Configurations

14.2.1 OSCILLATOR TYPES

The PIC16F87XA can be operated in four different oscillator modes. The user can program two configuration bits (Fosc1 and Fosc0) to select one of these four modes:

- LP Low-Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- HS High-Speed Crystal/Resonator
- RC Resistor/Capacitor

14.2.2 CRYSTAL OSCILLATOR/CERAMIC RESONATORS

In XT, LP or HS modes, a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1/CLKI and OSC2/CLKO pins to establish oscillation (Figure 14-1). The PIC16F87XA oscillator design requires the use of a parallel cut crystal. Use of a series cut crystal may give a frequency out of the crystal manufacturer's specifications. When in XT, LP or HS modes, the device can have an external clock source to drive the OSC1/CLKI pin (Figure 14-2).

FIGURE 14-1: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (HS, XT OR LP OSC CONFIGURATION)

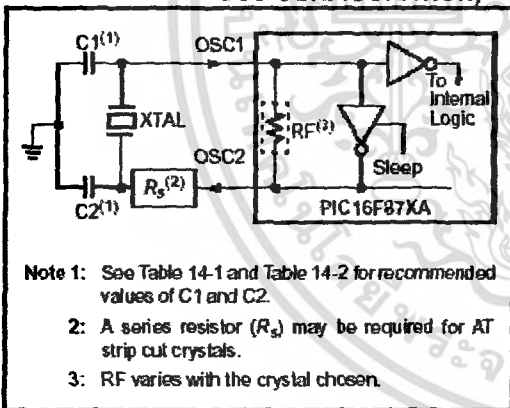


FIGURE 14-2: EXTERNAL CLOCK INPUT OPERATION (HS, XT OR LP OSC CONFIGURATION)

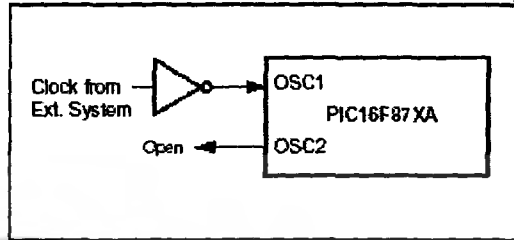


TABLE 14-1: CERAMIC RESONATORS

Ranges Tested:			
Mode	Freq.	OSC1	OSC2
XT	455 kHz	68-100 pF	68-100 pF
	2.0 MHz	15-68 pF	15-68 pF
	4.0 MHz	15-68 pF	15-68 pF
HS	8.0 MHz	10-68 pF	10-68 pF
	16.0 MHz	10-22 pF	10-22 pF

These values are for design guidance only. See notes following Table 14-2.

Resonators Used:		
2.0 MHz	Murata Erie CSA2.00MG	± 0.5%
4.0 MHz	Murata Erie CSA4.00MG	± 0.5%
8.0 MHz	Murata Erie CSA8.00MT	± 0.5%
16.0 MHz	Murata Erie CSA16.00MX	± 0.5%

All resonators used did not have built-in capacitors.

PIC16F87XA

TABLE 14-2: CAPACITOR SELECTION FOR CRYSTAL OSCILLATOR

Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

These values are for design guidance only. See notes following this table.

Crystals Used

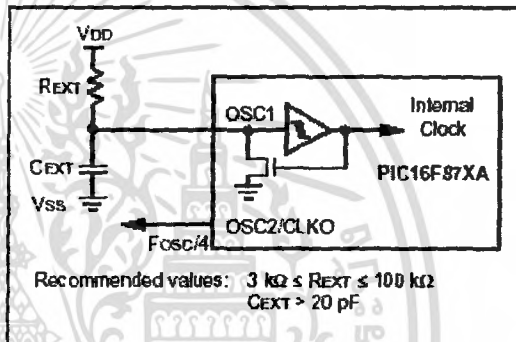
32 kHz	Epson C-001R32.768K-A	± 20 PPM
200 kHz	STD XTL 200.000KHz	± 20 PPM
1 MHz	ECS ECS-10-13-1	± 50 PPM
4 MHz	ECS ECS-40-20-1	± 50 PPM
8 MHz	EPSON CA-301 8.000M-C	± 30 PPM
20 MHz	EPSON CA-301 20.000M-C	± 30 PPM

- Note 1:** Higher capacitance increases the stability of oscillator but also increases the start-up time.
- 2:** Since each resonator/crystal has its own characteristics, the user should consult the resonator/crystal manufacturer for appropriate values of external components.
- 3:** R_s may be required in HS mode, as well as XT mode, to avoid overdriving crystals with low drive level specification.
- 4:** When migrating from other PICmicro® devices, oscillator performance should be verified.

14.2.3 RC OSCILLATOR

For timing insensitive applications, the "RC" device option offers additional cost savings. The RC oscillator frequency is a function of the supply voltage, the resistor (R_{EXT}) and capacitor (C_{EXT}) values and the operating temperature. In addition to this, the oscillator frequency will vary from unit to unit due to normal process parameter variation. Furthermore, the difference in lead frame capacitance between package types will also affect the oscillation frequency, especially for low C_{EXT} values. The user also needs to take into account variation due to tolerance of external R and C components used. Figure 14-3 shows how the R/C combination is connected to the PIC16F87XA.

FIGURE 14-3: RC OSCILLATOR MODE



PIC16F87XA

14.3 Reset

The PIC16F87XA differentiates between various kinds of Reset:

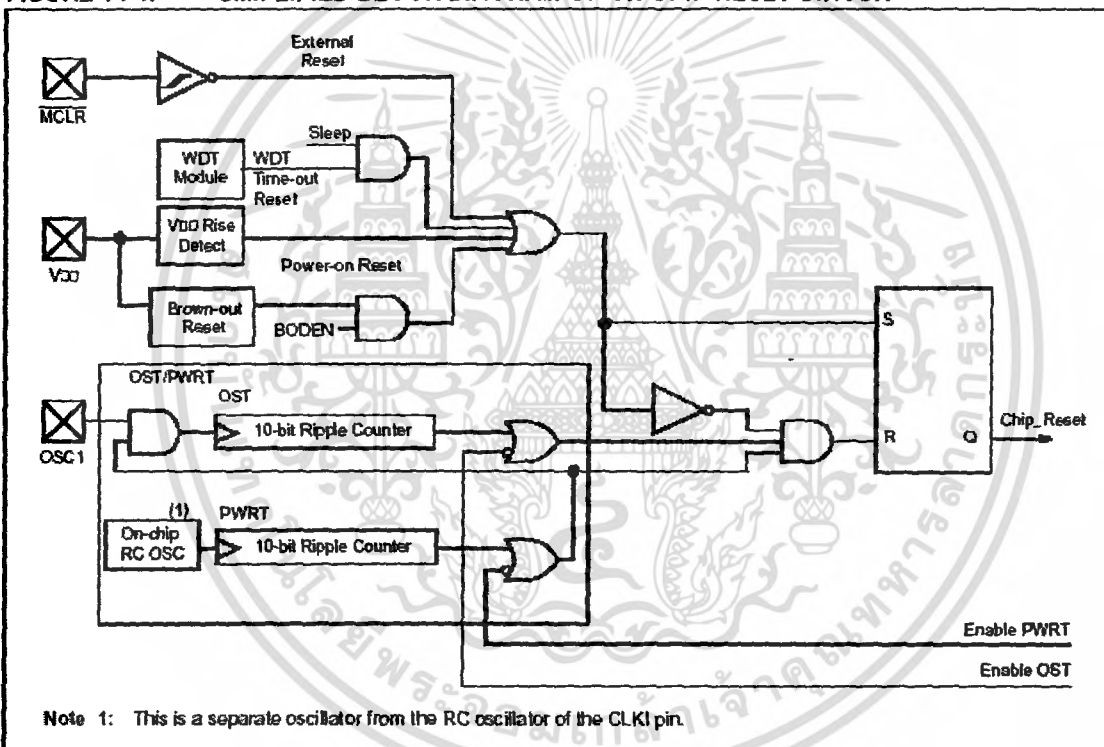
- Power-on Reset (POR)
- MCLR Reset during normal operation
- MCLR Reset during Sleep
- WDT Reset (during normal operation)
- WDT Wake-up (during Sleep)
- Brown-out Reset (BOR)

Some registers are not affected in any Reset condition. Their status is unknown on POR and unchanged in any other Reset. Most other registers are reset to a "Reset

state" on Power-on Reset (POR), on the MCLR and WDT Reset, on MCLR Reset during Sleep and Brown-out Reset (BOR). They are not affected by a WDT wake-up which is viewed as the resumption of normal operation. The TO and PD bits are set or cleared differently in different Reset situations as indicated in Table 14-4. These bits are used in software to determine the nature of the Reset. See Table 14-6 for a full description of Reset states of all registers.

A simplified block diagram of the on-chip Reset circuit is shown in Figure 14-4.

FIGURE 14-4: SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM OF ON-CHIP RESET CIRCUIT



PIC16F87XA

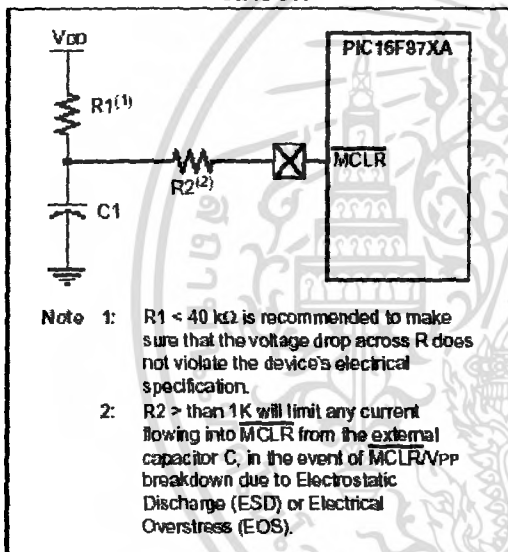
14.4 MCLR

PIC16F87XA devices have a noise filter in the MCLR Reset path. The filter will detect and ignore small pulses.

It should be noted that a WDT Reset does not drive MCLR pin low.

The behavior of the ESD protection on the MCLR pin differs from previous devices of this family. Voltages applied to the pin that exceed its specification can result in both Resets and current consumption outside of device specification during the Reset event. For this reason, Microchip recommends that the MCLR pin no longer be tied directly to VDD. The use of an RCR network, as shown in Figure 14-5, is suggested.

FIGURE 14-5: RECOMMENDED MCLR CIRCUIT



14.5 Power-on Reset (POR)

A Power-on Reset pulse is generated on-chip when VDD rise is detected (in the range of 1.2V-1.7V). To take advantage of the POR, tie the MCLR pin to VDD through an RC network, as described in Section 14.4 "MCLR". A maximum rise time for VDD is specified. See Section 17.0 "Electrical Characteristics" for details.

When the device starts normal operation (exits the Reset condition), device operating parameters (voltage, frequency, temperature, etc.) must be met to ensure operation. If these conditions are not met, the device must be held in Reset until the operating conditions are met. Brown-out Reset may be used to meet the start-up conditions. For additional information, refer to application note AN607, "Power-up Trouble Shooting" (DS00607).

14.6 Power-up Timer (PWRT)

The Power-up Timer provides a fixed 72 ms nominal time-out on power-up only from the POR. The Power-up Timer operates on an internal RC oscillator. The chip is kept in Reset as long as the PWRT is active. The PWRT's time delay allows VDD to rise to an acceptable level. A configuration bit is provided to enable or disable the PWRT.

The power-up time delay will vary from chip to chip due to VDD, temperature and process variation. See Section 17.0 "Electrical Characteristics" for details (TPWRT, parameter #33).

14.7 Oscillator Start-up Timer (OST)

The Oscillator Start-up Timer (OST) provides a delay of 1024 oscillator cycles (from OSC1 input) after the PWRT delay is over (if PWRT is enabled). This helps to ensure that the crystal oscillator or resonator has started and stabilized.

The OST time-out is invoked only for XT, LP and HS modes and only on Power-on Reset or wake-up from Sleep.

14.8 Brown-out Reset (BOR)

The configuration bit, BODEN, can enable or disable the Brown-out Reset circuit. If VDD falls below VBOR (parameter D005, about 4V) for longer than TBOR (parameter #35, about 100 μ S), the brown-out situation will reset the device. If VDD falls below VBOR for less than TBOR, a Reset may not occur.

Once the brown-out occurs, the device will remain in Brown-out Reset until VDD rises above VBOR. The Power-up Timer then keeps the device in Reset for TPWRT (parameter #33, about 72 ms). If VDD should fall below VBOR during TPWRT, the Brown-out Reset process will restart when VDD rises above VBOR with the Power-up Timer Reset. The Power-up Timer is always enabled when the Brown-out Reset circuit is enabled, regardless of the state of the PWRT configuration bit.

14.9 Time-out Sequence

On power-up, the time-out sequence is as follows: the PWRT delay starts (if enabled) when a POR Reset occurs. Then, OST starts counting 1024 oscillator cycles when PWRT ends (LP, XT, HS). When the OST ends, the device comes out of Reset.

If MCLR is kept low long enough, the time-outs will expire. Bringing MCLR high will begin execution immediately. This is useful for testing purposes or to synchronize more than one PIC16F87XA device operating in parallel.

Table 14-5 shows the Reset conditions for the Status, PCON and PC registers, while Table 14-6 shows the Reset conditions for all the registers.

PIC16F87XA

FIGURE 17-1: PIC16F87XA VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH (INDUSTRIAL, EXTENDED)

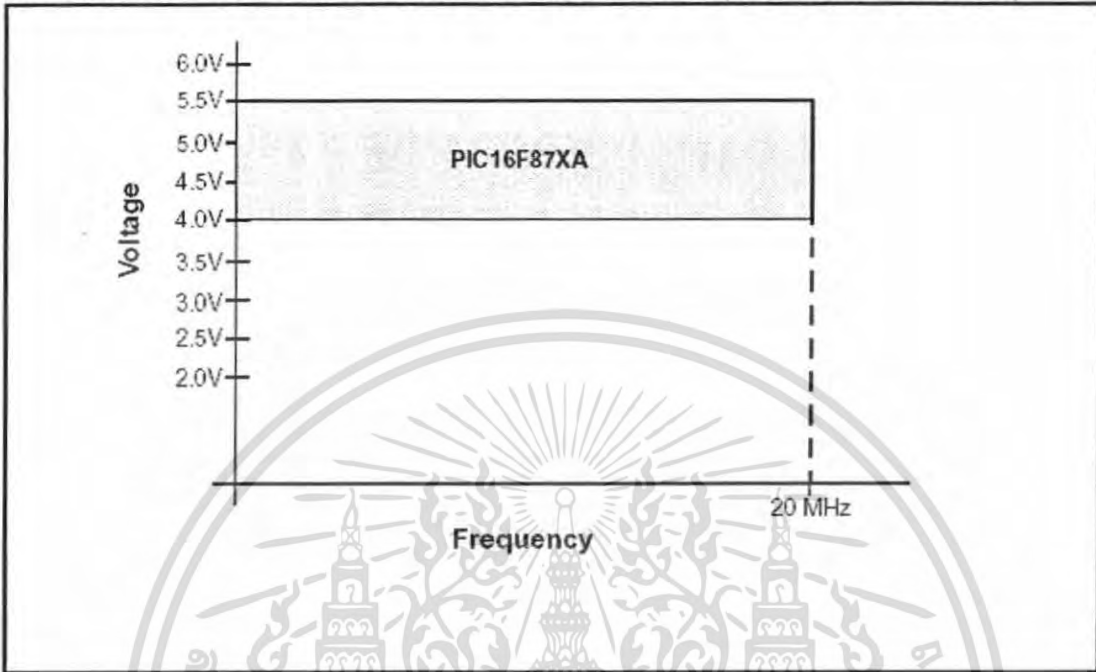
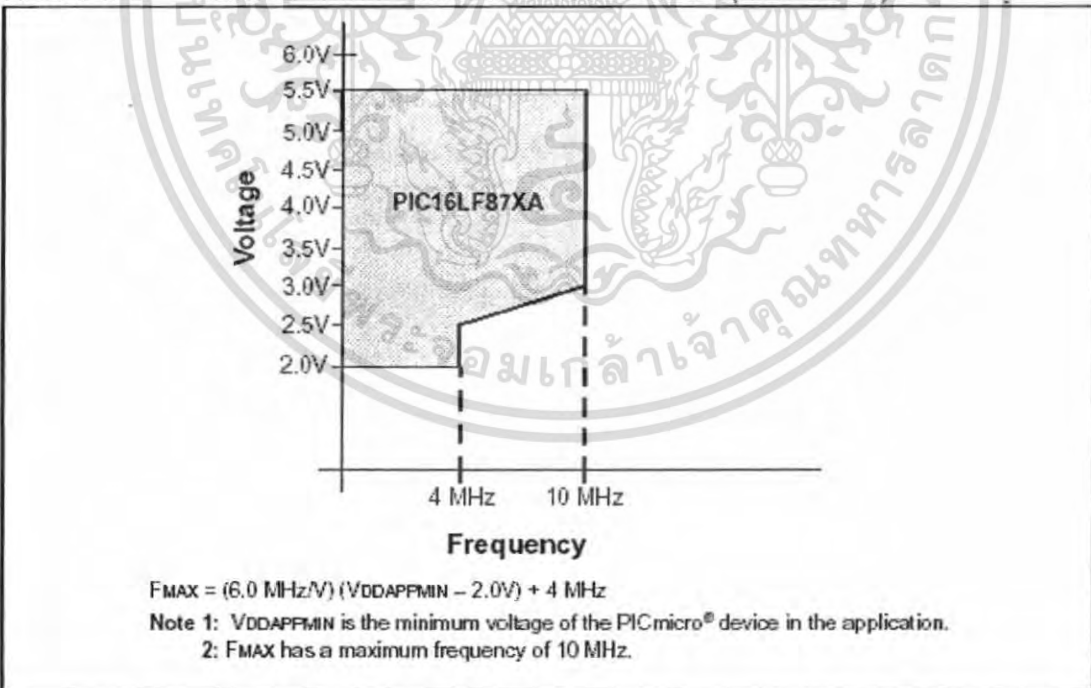


FIGURE 17-2: PIC16LF87XA VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH (INDUSTRIAL)



PIC16F87XA

17.1 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)

PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial					
PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic/ Device	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D001	VDD	Supply Voltage					
		16LF87XA	2.0	—	5.5	V	All configurations (DC to 10 MHz)
D001		16F87XA	4.0	—	5.5	V	All configurations
D001A		VBOR			5.5	V	BOR enabled, FMAX = 14 MHz ⁽⁷⁾
D002	VDR	RAM Data Retention Voltage ⁽¹⁾	—	1.5	—	V	
D003	VPOR	VDD Start Voltage to ensure internal Power-on Reset signal	—	VSS	—	V	See Section 14.5 "Power-on Reset (POR)" for details
D004	SVDD	VDD Rise Rate to ensure internal Power-on Reset signal	0.05	—	—	V/ms	See Section 14.5 "Power-on Reset (POR)" for details
D005	VBOR	Brown-out Reset Voltage	3.65	4.0	4.35	V	BODEN bit in configuration word enabled

Legend: Rows with standard voltage device data only are shaded for improved readability.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C, unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: This is the limit to which VDD can be lowered without losing RAM data.

Note 2: The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors, such as I/O pin loading, switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature, also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1 = external square wave, from rail-to-rail; all I/O pins tri-stated, pulled to VDD;
MCLR = VDD; WDT enabled/disabled as specified.

Note 3: The power-down current in Sleep mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in Sleep mode, with all I/O pins in high-impedance state and tied to VDD and VSS.

Note 4: For RC osc configuration, current through REXT is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula $I_r = \text{VDD}/2\text{REXT}$ (mA) with REXT in kΩ.

Note 5: Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20 μA to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

Note 6: The Δ current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base IDD or IPD measurement.

Note 7: When BOR is enabled, the device will operate correctly until the VBOR voltage trip point is reached.

PIC16F87XA

17.1 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial) (Continued)

PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial					
PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic/ Device	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D010	IDD	Supply Current ^(2,5)					
		16LF87XA	—	0.6	2.0	mA	XT, RC osc configurations, Fosc = 4 MHz, VDD = 3.0V
D010		16F87XA	—	1.6	4	mA	XT, RC osc configurations, Fosc = 4 MHz, VDD = 5.5V
D010A		16LF87XA	—	20	35	μA	LP osc configuration, Fosc = 32 kHz, VDD = 3.0V, WDT disabled
D013		16F87XA	—	7	15	mA	HS osc configuration, Fosc = 20 MHz, VDD = 5.5V
D015	ΔIBOR	Brown-out Reset Current ⁽⁶⁾	—	85	200	μA	BOR enabled, VDD = 5.0V

Legend: Rows with standard voltage device data only are shaded for improved readability.

† Data in 'Typ' column is at 5V, 25°C, unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: This is the limit to which VDD can be lowered without losing RAM data.

2: The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors, such as I/O pin loading, switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature, also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1 = external square wave, from rail-to-rail; all I/O pins tri-stated, pulled to VDD;

MCLR = VDD; WDT: enabled/disabled as specified.

3: The power-down current in Sleep mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in Sleep mode, with all I/O pins in high-impedance state and tied to VDD and VSS.

4: For RC osc configuration, current through REXT is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula $I_r = VDD/2REXT$ (mA) with REXT in kΩ.

5: Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20 μA to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

6: The Δ current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base IDD or IPD measurement.

7: When BOR is enabled, the device will operate correctly until the VBOR voltage trip point is reached.

PIC16F87XA

17.1 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial) (Continued)

PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial					
PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic/ Device	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D020	IPD	Power-down Current^(3,5)					
		16LF87XA	—	7.5	30	μA	$V_{DD} = 3.0\text{V}$, WDT enabled, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D020		16F87XA	—	10.5	42	μA	$V_{DD} = 4.0\text{V}$, WDT enabled, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
					60	μA	$V_{DD} = 4.0\text{V}$, WDT enabled, -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (extended)
D021		16LF87XA	—	0.9	5	μA	$V_{DD} = 3.0\text{V}$, WDT disabled, 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$
D021		16F87XA	—	1.5	16	μA	$V_{DD} = 4.0\text{V}$, WDT disabled, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
					20	μA	$V_{DD} = 4.0\text{V}$, WDT disabled, -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (extended)
D021A		16LF87XA	—	0.9	5	μA	$V_{DD} = 3.0\text{V}$, WDT disabled, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D021A		16F87XA	—	1.5	19	μA	$V_{DD} = 4.0\text{V}$, WDT disabled, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D023	ΔBOR	Brown-out Reset Current⁽⁶⁾	—	85	200	μA	BOR enabled, $V_{DD} = 5.0\text{V}$

Legend: Rows with standard voltage device data only are shaded for improved readability.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C, unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: This is the limit to which V_{DD} can be lowered without losing RAM data.

Note 2: The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors, such as I/O pin loading, switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature, also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

$\text{OSC1} =$ external square wave, from rail-to-rail; all I/O pins tri-stated, pulled to V_{DD} ;

$\text{MCLR} = V_{DD}$; WDT enabled/disabled as specified.

Note 3: The power-down current in Sleep mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in Sleep mode, with all I/O pins in high-impedance state and tied to V_{DD} and V_{SS} .

Note 4: For RC osc configuration, current through REXT is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula $I_r = V_{DD}/2\text{REXT}$ (mA) with REXT in $\text{k}\Omega$.

Note 5: Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20 μA to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

Note 6: The Δ current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base IDD or IPD measurement.

Note 7: When BOR is enabled, the device will operate correctly until the V_{BOR} voltage trip point is reached.

PIC16F87XA

17.2 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended Operating voltage V_{DD} range as described in DC specification (Section 17.1)				
Param No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
	V_{IL}	Input Low Voltage					
D030		I/O ports: with TTL buffer	V_{SS}	—	$0.15 V_{DD}$	V	For entire V_{DD} range
D030A			V_{SS}	—	0.8V	V	$4.5V \leq V_{DD} \leq 5.5V$
D031		with Schmitt Trigger buffer	V_{SS}	—	$0.2 V_{DD}$	V	
D032		MCLR, OSC1 (in RC mode)	V_{SS}	—	$0.2 V_{DD}$	V	
D033		OSC1 (in XT and LP modes)	V_{SS}	—	0.3V	V	(Note 1)
		OSC1 (in HS mode)	V_{SS}	—	$0.3 V_{DD}$	V	
D034		Ports RC3 and RC4: with Schmitt Trigger buffer	V_{SS}	—	$0.3 V_{DD}$	V	For entire V_{DD} range
D034A		with SMBus	-0.5	—	0.6	V	For $V_{DD} = 4.5$ to $5.5V$
	V_{IH}	Input High Voltage					
D040		I/O ports: with TTL buffer	2.0	—	V_{DD}	V	$4.5V \leq V_{DD} \leq 5.5V$
D040A			$0.25 V_{DD} + 0.8V$	—	V_{DD}	V	For entire V_{DD} range
D041		with Schmitt Trigger buffer	$0.8 V_{DD}$	—	V_{DD}	V	For entire V_{DD} range
D042		MCLR	$0.8 V_{DD}$	—	V_{DD}	V	
D042A		OSC1 (in XT and LP modes)	1.6V	—	V_{DD}	V	(Note 1)
		OSC1 (in HS mode)	$0.7 V_{DD}$	—	V_{DD}	V	
D043		OSC1 (in RC mode)	$0.9 V_{DD}$	—	V_{DD}	V	
D044		Ports RC3 and RC4: with Schmitt Trigger buffer	$0.7 V_{DD}$	—	V_{DD}	V	For entire V_{DD} range
D044A		with SMBus	1.4	—	5.5	V	For $V_{DD} = 4.5$ to $5.5V$
D070	IPURB	PORTB Weak Pull-up Current	50	250	400	μA	$V_{DD} = 5V$, $V_{PIN} = V_{SS}$, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
	I_{IL}	Input Leakage Current^(2,3)					
D060		I/O ports	—	—	± 1	μA	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$, pin at high-impedance
D061		MCLR, RA4/T0CKI	—	—	± 5	μA	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$
D063		OSC1	—	—	± 5	μA	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$, XT, HS and LP osc configuration

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: In RC oscillator configuration, the OSC1/CLKI pin is a Schmitt Trigger input. It is not recommended that the PIC16F87XA be driven with external clock in RC mode.

2: The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.

3: Negative current is defined as current sourced by the pin.

PIC16F87XA

17.2 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial) (Continued)

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended Operating voltage V_{DD} range as described in DC specification (Section 17.1)				
Param No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D080	VOL	Output Low Voltage					
		I/O ports	—	—	0.6	V	$I_{OL} = 8.5\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D083		OSC2/CLKO (RC osc config)	—	—	0.6	V	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D090	VOH	Output High Voltage					
		I/O ports ⁽³⁾	$V_{DD} - 0.7$	—	—	V	$I_{OH} = -3.0\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D092		OSC2/CLKO (RC osc config)	$V_{DD} - 0.7$	—	—	V	$I_{OH} = -1.3\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D150*	VOD	Open-Drain High Voltage	—	—	8.5	V	RA4 pin
Capacitive Loading Specs on Output Pins							
D100	Cosc2	OSC2 pin	—	—	15	pF	In XT, HS and LP modes when external clock is used to drive OSC1
D101	Cio	All I/O pins and OSC2 (RC mode)	—	—	50	pF	
D102	CB	SCL, SDA (I ² C mode)	—	—	400	pF	
Data EEPROM Memory							
D120	ED	Endurance	100K	1M	—	EW	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D121	VBRW	V_{DD} for read/write	V_{MIN}	—	5.5	V	Using EECON to read/write, V_{MIN} = min. operating voltage
D122	TDEW	Erase/write cycle time	—	4	8	ms	
Program Flash Memory							
D130	EP	Endurance	10K	100K	—	EW	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
D131	VPR	V_{DD} for read	V_{MIN}	—	5.5	V	V_{MIN} = min. operating voltage
D132A		V_{DD} for erase/write	V_{MIN}	—	5.5	V	Using EECON to read/write, V_{MIN} = min. operating voltage
D133	TPEW	Erase/Write cycle time	—	4	8	ms	

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

- Note 1:** In RC oscillator configuration, the OSC1/CLKI pin is a Schmitt Trigger input. It is not recommended that the PIC16F87XA be driven with external clock in RC mode.
- Note 2:** The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.
- Note 3:** Negative current is defined as current sourced by the pin.



WORLDWIDE SALES AND SERVICE

AMERICAS

Corporate Office

2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200
Fax: 480-792-7277
Technical Support: 480-792-7627
Web Address: <http://www.microchip.com>

Atlanta

3780 Mansell Road, Suite 130
Alpharetta, GA 30022
Tel: 770-640-0034
Fax: 770-640-0307

Boston

2 Lan Drive, Suite 120
Westford, MA 01886
Tel: 978-692-3848
Fax: 978-692-3821

Chicago

333 Pierce Road, Suite 180
Itasca, IL 60143
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075

Dallas

4570 Westgrove Drive, Suite 160
Addicks, TX 75001
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924

Detroit

Tri-Alpha Office Building
32255 Northwestern Highway, Suite 190
Farmington Hills, MI 48334
Tel: 248-538-2250
Fax: 248-538-2260

Kokomo

2767 S. Albright Road
Kokomo, IN 46902
Tel: 765-864-8360
Fax: 765-864-8387

Los Angeles

18201 Von Karman, Suite 1090
Irvine, CA 92612
Tel: 949-263-1888
Fax: 949-263-1338

Phoenix

2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7966
Fax: 480-792-4338

San Jose

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

Toronto

6285 Northam Drive, Suite 108
Mississauga, Ontario L4V 1X5, Canada
Tel: 905-673-0699
Fax: 905-673-6509

ASIA/PACIFIC

Australia

Suite 22, 41 Rawson Street
Epping 2121, NSW
Australia
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

China - Beijing

Unit 915
Bei Hai Wan Tai Bldg.
No. 6 Chaoyangmen Beidajie
Beijing, 100027, No. China
Tel: 86-10-85282100
Fax: 86-10-85282104

China - Chengdu

Rm. 2401-2402, 24th Floor,
Ming Xing Financial Tower
No. 88 TIDU Street
Chengdu 610016, China
Tel: 86-28-86766200
Fax: 86-28-86766599

China - Fuzhou

Unit 28F, World Trade Plaza
No. 71 Wusi Road
Fuzhou 350001, China
Tel: 86-591-7503506
Fax: 86-591-7503521

China - Hong Kong SAR

Unit 901-6, Tower 2, Metroplaza
223 Hing Fong Road
Kwai Fong, N.T., Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

China - Shanghai

Room 701, Bldg. B
Far East International Plaza
No. 317 Xian Xia Road
Shanghai, 200051
Tel: 86-21-6275-5700
Fax: 86-21-6275-5060

China - Shenzhen

Rm. 1812, 18/F, Building A, United Plaza
No. 5022 Binhe Road, Futian District
Shenzhen 518033, China
Tel: 86-755-82901380
Fax: 86-755-8295-1393

China - Shunde

Room 401, Hongjian Building
No. 2 Fengxiangnan Road, Ronggui Town
Shunde City, Guangdong 528303, China
Tel: 86-765-8395507 Fax: 86-765-8395571

China - Qingdao

Rm. B505A, Fullhope Plaza,
No. 12 Hong Kong Central Rd.
Qingdao 266071, China
Tel: 86-532-5027355 Fax: 86-532-5027205

India

Divyasree Chambers
1 Floor, Wing A (A3/A4)
No. 11, O'Shaughnessy Road
Bangalore, 560 025, India
Tel: 91-80-2290061 Fax: 91-80-2290062

Japan

Benex S-1 6F
3-13-20, Shinyokohama
Kohoku-Ku, Yokohama-shi
Kanagawa, 222-0033, Japan
Tel: 81-45-471-6166 Fax: 81-45-471-6122

Korea

168-1, Youngbo Bldg. 3 Floor
Samsung-Dong, Kangnam-Ku
Seoul, Korea 135-882
Tel: 82-2-554-7200 Fax: 82-2-558-5932 or
82-2-558-5934

Singapore

200 Middle Road
#07-02 Prime Centre
Singapore, 189980
Tel: 65-6334-8870 Fax: 65-6334-8850

Taiwan

Kaohsiung Branch
30F - 1 No. 8
Min Chuan 2nd Road
Kaohsiung 806, Taiwan
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

Taiwan

Taiwan Branch
11F-3, No. 207
Tung Hua North Road
Taipei, 105, Taiwan
Tel: 886-2-2717-7175 Fax: 886-2-2545-0139

EUROPE

Austria

Dunichstrasse 2
A-4600 Wels
Austria

Tel: 43-7242-2244-399
Fax: 43-7242-2244-393

Denmark

Regus Business Centre
Lautrup hj 1-3
Ballerup DK-2750 Denmark
Tel: 45-4420-8895 Fax: 45-4420-9910

France

Parc d'Activite du Moulin de Messy
43 Rue du Saule Trapu
Batiment A - 1er Etage
91300 Massy, France
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

Germany

Steinheilstrasse 10
D-85737 Ismaning, Germany
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

Italy

Via Quasimodo, 12
20025 Legnano (MI)

Milan, Italy
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

Netherlands

P. A. De Biesbosch 14
NL-6152 SC Drunen, Netherlands
Tel: 31-416-690398
Fax: 31-416-690340

United Kingdom

505 Eskdale Road
Wineresh Triangle
Wokingham
Berkshire, England RG41 5TU
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5829