

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องยิงลูกบอล

PITCHING MACHINE



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

วทป.
ร3๕๗๑
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **83108**
วัน,เดือน,ปี..... - 5 ส.ค. 2551

b. 119 ๒35๗8
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องขึงลูกบอล
PITCHING MACHINE

ผู้จัดทำ นายรัศกรณ์ วโรทยาศิริ 47010627
นายวงศ์กริช ไชธรรม 47010638
นางสาวสายเมธี วิมลชาติ 47010829



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยิงลูกบอล

PITCHING MACHINE

โดย

นายรัศกรณ์ วโรทยาศิริ 47010627

นายวงศ์กริช ใจธรรม 47010638

นางสาวสายเมธิ วิมลชาติ 47010829

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาและออกแบบเครื่องยิงลูกซอฟท์บอล เพื่อใช้ในการซ้อมตีลูกของนักกีฬาซอฟท์บอล โดยสามารถยิงลูกออกมาได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ ลูกตรง ลูกโค้งซ้าย และลูกโค้งขวา ซึ่งสามารถปรับระดับความเร็วได้ 3 ระดับ คือ 70, 80 และ 90 ไมล์ต่อชั่วโมง และยังสามารถปรับความเร็วได้อย่างละเอียดตั้งแต่ 40 ถึง 100 ไมล์ต่อชั่วโมง โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยิงลูกบอล
PITCHING MACHINE

โดย

นายรัศกรณ์ วโรทยาศิริ 47010627

นายวงศ์กริช ใจธรรม 47010638

นางสาวสายเมธี วิมูลชาติ 47010829

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2550

Abstract

This thesis presents study and design of Pitching Machine which use for practice hitting softball's skills. It can throw 3 styles – Fastball, Left-Hand Curveball and Right-Hand Curveball and control velocity of softball as 3 level – 70, 80 and 90 miles per hour(variable speed from 40 to 100 miles per hour). Each process is controlled microcontroller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความ ร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลงได้ก็คือ อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณชมรมซอฟต์แวร์บอลสำหรับหัวข้อโครงการและงบประมาณ

ขอขอบคุณสโมสรนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์สำหรับสถานที่ปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณพี่โจและพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลสำหรับอุปกรณ์และ เครื่องมือการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ สโมสรนักศึกษาและสมาชิกชมรมซอฟต์แวร์บอล ตลอดจนพี่ บุคลากรทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำ

และท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้พวกข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูคณะผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษา อย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกใน พระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุก ท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายรัตนกรณ์ วัชรยาศิริ

นายวงศ์กริช ใจธรรม

นางสาวสายเมธี วิมูลชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการ	1
1.4 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการคำนวณความเร็วของลูกบอล	3
2.2 มอเตอร์กระแสตรง	3
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	3
2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง	3
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.3.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)	5
2.3.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit)	6
2.3.1.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)	6
2.3.1.3 พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O port)	7
2.3.2 โมดูล Capture/Compare/PWM	8
2.4 ไดโอดกำลัง	10
2.5 มอสเฟสกำลัง	11
2.6 หลักการทำงานของวงจรวัดเชิง	12
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับกลศาสตร์	13
2.7.1 การวิเคราะห์แรง	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.1.1 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีซูเปอร์โพสิชัน	13
2.7.1.2 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีวิเคราะห์รวมแรง.....	13
2.7.2 การวิเคราะห์ความเร็ว.....	14
2.7.2.1 วิธีอาศัยจุดหมุนชั่วขณะ	14
2.7.2.2 การวิเคราะห์ความเร็วโดยวิธีคณิตวิเคราะห์.....	16
2.7.3 การวิเคราะห์ความเร่ง	17
2.7.3.1 ความเร่งในแนว n (a^n).....	18
2.7.3.2 ความเร่งในแนว t (a^t).....	18
2.8 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.....	20
2.8.1 หลักการทั่วไปในการออกแบบ	20
2.8.2 ลำดับขั้นในการออกแบบ	20
2.8.3 ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ.....	21
2.8.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	21
2.8.4.1 ความแข็งแรง (Strength).....	22
2.8.4.2 ความเค้น (Stress).....	22
2.8.4.3 ความเครียด (Strain).....	22
2.8.4.4 กฎของฮุก (Hook's Law)	23
2.8.4.5 ความเหนียวของวัสดุ (Ductility)	23
2.8.4.6 ความเหนียวนุ่ม (Toughness).....	23
2.8.4.7 ความแข็ง (Hardness).....	23
2.8.4.8 ความแข็งตึง (Stiffness).....	23
2.8.4.9 ความล้าของวัสดุ (Fatigue)	24
2.8.5 ตัวประกอบของความปลอดภัย (factor of Safety).....	24
2.8.6 คาน.....	25
2.8.7 การบิด	26
2.9 ความรู้เกี่ยวกับยางชนิดต่างๆ.....	27
2.9.1 ยาง NBR.....	27
2.9.2 ยาง CR.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9.3 ยางธรรมชาติ (NR).....	28
2.9.4 ยาง IR.....	29
2.9.5 ยาง SBR.....	29
2.9.6 ยาง BR.....	30
2.9.7 ยาง EPDM.....	30
2.9.8 ยาง (X)IIR.....	31
บทที่ 3 การออกแบบและดำเนินงาน.....	32
3.1 การออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์ทางกลศาสตร์.....	32
3.1.1 การออกแบบ.....	32
3.1.2 โครงสร้างและการออกแบบเครื่องยิงลูกซอฟท์บอล.....	32
3.1.2.1 ขาตั้ง.....	32
3.1.2.2 ข้อต่อที่ 1.....	33
3.1.2.3 ข้อต่อที่ 2.....	33
3.1.2.4 ฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์ยิงลูกบอล.....	34
3.1.2.5 ข้อต่อที่ 3.....	34
3.1.2.6 มอเตอร์.....	35
3.1.2.7 ตัวลือคมอเตอร์กับลูกกอล์ฟเหล็ก.....	36
3.1.2.8 ลูกกอล์ฟเหล็กพร้อมลูกยางแข็ง.....	36
3.1.3 การประกอบเครื่องยิงลูกซอฟท์บอล.....	37
3.1.4 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน.....	39
3.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์.....	44
3.3 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์.....	46
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	47
4.1 ผลการทดลองการตรวจวัดสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์.....	47
4.2 ผลการทดลองการตรวจวัดสัญญาณจากมอสเฟตกำลัง.....	48
4.3 ผลการทดลองการวัดความเร็วลูกที่ยิงออกมาในระยะใช้งานจริง.....	48
4.3.1 การทดลองหาความเร็วและความแม่นยำของลูกตรง (fast ball) ที่ความเร็วระดับ 1,2 และ 3.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.2 การทดลองการหาความต่างศักย์ที่คร่อมขั้วมอเตอร์ทั้งสองตัว เพื่อใช้ในการยิงลูกโค้ง.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 บทสรุป.....	54
5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางแก้ปัญหา.....	54
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	54
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องยิงลูกบอล	
ภาคผนวก ข รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (DATA SHEET)	
เอกสารอ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	3
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	5
2.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	7
2.4 สัญญาณเอาต์พุต PWM.....	9
2.5 แสดงการใช้จุดศูนย์กลางช่วงขณะในการวิเคราะห์หาความเร็ว	15
2.6 แสดง Four bar Pin Jointed Linkage	16
2.7 แสดงการหาความเร่งที่จุด P.....	17
2.8 แสดงความเร่งสมบูรณ์ของจุด P	19
3.1 แสดงชิ้นส่วนขาตั้ง.....	32
3.2 แสดงข้อต่อที่ 1.....	33
3.3 แสดงการเชื่อมประสานกันระหว่างข้อต่อที่ 1 กับ ขาตั้ง	33
3.4 แสดงข้อต่อที่ 2.....	34
3.5 แสดงฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์ขึงลูกบอล.....	34
3.6 ข้อต่อที่ 3.....	35
3.7 แสดงข้อต่อที่ 3เชื่อมประกอบกับฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์ขึงลูกบอล	35
3.8 แสดงมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ทำการยึดติดกับฝาเสื้อ.....	35
3.9 แสดงมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ทำการยึดติดกับฝาเสื้อ.....	36
3.10 ลูกกลิ้งเหล็กพร้อมลูกยางแข็ง	36
3.11 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพฉายด้านบน	37
3.12 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพฉายด้านหน้า	37
3.13 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพฉายด้านหน้า	38
3.14 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพฉายไอโซเมตริก (Isometric View)	38
3.15 แสดงการประกอบชิ้นงานที่ประกอบเรียบร้อย ด้วยภาพฉายไอโซเมตริก (Isometric View).....	39
3.16 แสดงการประกอบชิ้นงานที่ประกอบเรียบร้อย ด้วยภาพถ่ายจริง	39
3.17 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากระทำในชิ้นงานฐานสำหรับประกอบ อุปกรณ์ขึงลูกบอล	40
3.18 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์ขึงลูกบอล.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากระทำในชิ้นงานข้อต่อที่ 1	41
3.20 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานข้อต่อที่ 1	41
3.21 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากระทำในชิ้นงานข้อต่อที่ 2	42
3.22 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานข้อต่อที่ 2	42
3.23 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากระทำในชิ้นงานข้อต่อที่ 3	42
3.24 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานข้อต่อที่ 3	43
3.25 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากระทำในชิ้นงานตัวล้อคอมอเตอร์กับลูกกิ้งเหล็ก.....	43
3.26 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานตัวล้อคอมอเตอร์กับลูกกิ้งเหล็ก	44
3.27 วงจร PIC 16F877A.....	45
3.28 วงจร Drive motor	46
4.1 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็ว	47
4.2 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็ว	47
4.3 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็ว	47
4.4 สัญญาณที่วัดได้ที่ขาเกทของมอสเฟตที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์	48
4.5 สัญญาณที่วัดได้ที่ขาเกทของมอสเฟตที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์	48
4.6 เป้าที่ใช้ในการทดลองยิง	48
4.7 เครื่องวัดความเร็วลูกบอล	49
4.8 แสดงตำแหน่งของการวางอุปกรณ์ทดลอง	49
4.9 แสดงการตั้งอุปกรณ์ และ วิธีลูกที่ต้องการ	51
4.10 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกในแนวแกน X ของการทดลองที่ 1,2,3	52
4.11 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกในแนวแกน X ของการทดลองที่ 4,5,6	53
4.12 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกในแนวแกน X ของการทดลองที่ 7,8,9	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองการหาความเร็ว และความแม่นยำของลูกตรง (fast ball) ที่ระดับความเร็วที่ 1, 2 และ 3.....	50
4.2 แสดงค่าความต่างศักย์คร่อมมอเตอร์ทั้งสองที่ใช้ในทางทฤษฎีและการทดลอง.....	51
4.3 แสดงการทดลองหาค่าความต่างศักย์คร่อมขั้วมอเตอร์ทั้งสองเพื่อหาค่าความต่างศักย์ ที่เหมาะสม.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวัน เพื่ออำนวยความสะดวกของมนุษย์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค ยานพาหนะ ต่างก็อาศัยเทคโนโลยีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ ความพอใจ และความสะดวกสบายของมนุษย์ ไม่เว้นแม้แต่การกีฬา ในการเล่นกีฬานั้นจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีในการพัฒนาความสามารถของนักกีฬา ทั้งนี้เพราะว่า การจะมีนักกีฬาที่มีฝีมือดีนั้นใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานในการฝึกฝน

โดยเฉพาะ ในกีฬาซอฟท์บอลและเบสบอล การจะฝึกผู้เล่นในตำแหน่ง ผู้เล่นที่มีหน้าที่ในการโยนลูกให้ผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามตี (Pitcher) ซึ่งเป็นผู้เล่นที่มีส่วนในการแข่งขันมากที่สุดและจำเป็นต้องใช้เวลาค่อนข้างมากในการฝึกฝน ซึ่งถ้าทีมซอฟท์บอลหรือเบสบอล ทีมไหนมี Pitcher ที่เก่งก็จะส่งผลให้ เกมรุก(Offensive) ในทีมนั้นหมายถึงการตีลูก ของผู้เล่นในทีมนั้นตีไปด้วย ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงการได้เล็งเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้ศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยมาทำการสร้างเครื่องยิงลูกบอล เพื่อใช้ในการพัฒนาความสามารถของนักกีฬาซอฟท์บอลและเบสบอลได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องยิงลูกบอล(Pitching Machine) เพื่อใช้ในการซ้อมตีลูกของนักกีฬาซอฟท์บอล และเบสบอล

โดยการใช้ Microcontroller เป็นตัวควบคุมความเร็วของ DC Motor 2 ตัว เพื่อจะสามารถยิงลูกออกมาได้ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ลูกตรง(Fast Ball) ลูกโค้งซ้าย(Left-hand Curve Ball) และลูกโค้งขวา (Right-hand Curve Ball) โดยระดับความเร็วของลูกบอลที่ยิงออกมาจะอยู่ในช่วง 40-100 ไมล์ต่อชั่วโมง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาและใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบ โครงสร้างและชิ้นส่วนทาง Mechanics ของชิ้นงาน
2. ศึกษาและออกแบบการควบคุมมอเตอร์ DC โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877
3. ศึกษาและออกแบบวงจร ควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 รายละเอียดของปฏิญานិพนธ์

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 5 บท โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิจัย ขอบเขตในการวิจัย พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎี ที่มีความสำคัญต่องานวิจัยนี้เพื่อเป็นแนวทางเข้าสู่กระบวนการวิจัย

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงหลักการและขั้นตอนการออกแบบ ทางด้านแมคคานิค(Mechanic) การออกแบบวงจรการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงผลการทดลองวัดความเร็วรอบของดีซีมอเตอร์ และความเร็วลูกที่ได้จากเครื่องยิงลูกซอฟท์บอล

บทที่ 5 เป็นผลสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

เครื่องยิงลูกซอฟท์บอลเครื่องนี้สามารถเป็นประโยชน์ต่อนักกีฬาซอฟท์บอลในการพัฒนาทักษะความสามารถในกีฬาซอฟท์บอลที่ใช้ในการแข่งขัน เพื่อสร้างชื่อเสียงให้สถานศึกษาและประเทศชาติในการต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการคำนวณความเร็วของลูกบอล

ใช้วิธีการคิดความเร็วที่ผิวสัมผัส โดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

วิธีการคำนวณ

$$\text{ความเร็วที่ผิวสัมผัส(เมตร/นาที)} = \text{ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)} \times \text{ความยาวเส้นรอบวง(เมตร/นาที)}$$

2.2 มอเตอร์กระแสตรง

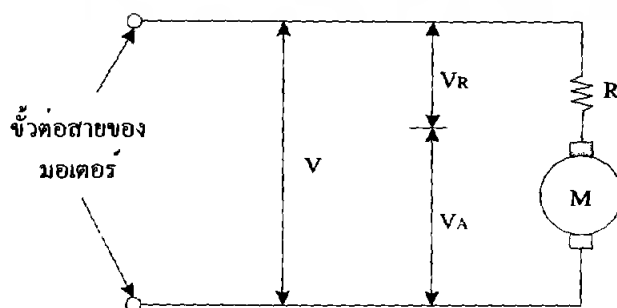
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือ เหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่ และ ขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

2.2.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 3



รูป 2.1 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมมติให้ทუნโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือ ความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่ทุนโรเตอร์ (V_A) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด (V_R)

แรงดัน V_A ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ ขณะที่หมุน แรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของ ตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ ตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และ แปรผันตรงกับ ความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่ทุนโรเตอร์ (V_A) และแรงดันตกคร่อมขดลวด (V_R) ต้อง เท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (V)

$$V = V_A + V_R \quad (V)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น $V_A = 0$, $V_R = V$ กระแสที่ ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = V_R / R \quad (A)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่า เท่ากับความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลงกระแส I ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ ยังมีความเร่งอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระ โหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร์ริง และ แรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่า V

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

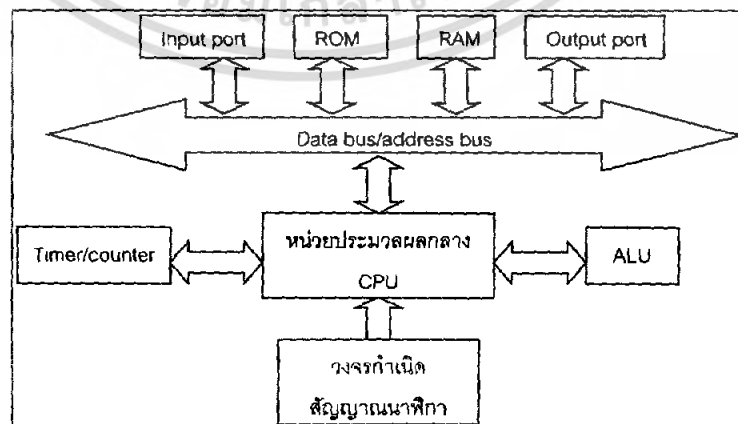
ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่งซึ่งภายในประกอบด้วยวงจร อื่นๆ หลายวงจรและทำงานร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic Logic unit) วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) หน่วยความจำ (Memory: ROM, RAM) วงจรรับสัญญาณอินพุตและขับสัญญาณ เอาท์พุต (I/O port) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ควบคุมได้ดี เนื่องจากสามารถเขียน โปรแกรมควบคุมได้อย่างอิสระ ตามความต้องการของเรา

2.3.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)

Microcontroller PIC มีโครงสร้างหลายลักษณะ ทั้ง 8 pins, 14 pins, 18 pins, 28 pins และ 40 pins ซึ่งมีให้เลือกใช้มากมายขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกใช้ขนาด Memory เท่าใดเหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำ

Microcontroller PIC16F877 มีพอร์ตใช้งานทั้งสิ้น 5 พอร์ต คือ PORTA 6 บิต, PORTB 8 บิต, PORTC 8 บิต, PORTD 8 บิต และ PORTE 3 บิต เป็นพอร์ตแบบมี 2 ทิศทาง คือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุต และยังเป็นพอร์ตที่สามารถแปลงสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ได้อีกด้วย Microcontroller PIC มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- มีพอร์ต I/O ขนาด 3 บิต, 6 บิต, 8 บิต จำนวน 5 พอร์ต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 1 ถึง 32 kwords
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม RAM 64 ถึง 1536 bytes
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม EEPROM 256 bytes
- Timer/Counter
 - Timer 0 ขนาด 8 บิต
 - Timer 1 ขนาด 16 บิต
 - Timer 2 ขนาด 8 บิต
- มีกระแสซิงก์และกระแสซอร์ส (High Sink/Source Current) 25 mA
- มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter 10 บิต
- มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมทั้ง SPI และ I²C (Master/Slave)
- มีวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ความละเอียดสูงถึง 10 บิต
- มีหน่วยความจำแบบ Flash สามารถเขียนและลบได้มากกว่า 100,000 ครั้ง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit)

CPU ประกอบด้วยวงจรต่างๆ หลายวงจร เช่น วงจรควบคุมเวลาและระบบการทำงาน (Timing and Control Unit) ซึ่งจะทำหน้าที่จัดการทั้งหมดของวงจรที่ประมวลผลและควบคุมตามคำสั่งที่ได้รับ การคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and Logic unit) โดยจะทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลทางคณิตศาสตร์และระบบลอจิก วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) จะทำหน้าที่แปลงคำสั่งทั้งหมดให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine Language) วงจรควบคุมการทำงานของ Counter (Program Counter) วงจรควบคุมสัญญาณนาฬิกา (Oscillator) ตลอดจนหน่วยความจำภายใน Register, Adder, Subtraction, Buffer และอื่นๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการประมวลผลของ CPU เป็นต้น

2.3.1.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องคำนึงถึงชนิดของหน่วยความจำและวิธีการเข้าถึงด้วย ซึ่งต่างจากการเขียนบน PC ที่สนใจเพียงชนิดของตัวแปรว่าจะใช้เก็บข้อมูลประเภทใด สำหรับหน่วยความจำในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั้น จะมีหน่วยความจำในการใช้งาน 3 ประเภท ดังนี้

1 หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (FLASH Program Memory)

หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash ROM) ในปัจจุบันหน่วยความจำชนิดนี้ได้นำมาใช้กับ Microcontroller หลายบริษัทหลายรุ่น โดยมีคุณสมบัติในการเขียนโปรแกรมและลบโปรแกรมได้มากกว่า 100,000 ครั้ง ซึ่งการทำงานจะมีความเร็วสูงมากเหมาะกับการพัฒนางานที่มีขนาดใหญ่

2 หน่วยความจำโปรแกรม (Data Memory RAM)

หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้ใช้เก็บข้อมูลขณะประมวลผลโปรแกรม สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ขณะมีไฟเลี้ยง แต่เมื่อไม่จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลต่างๆ จะสลายไป หากหน่วยความจำส่วนนี้ไม่พอใช้งานจะต้องต่อหน่วยความจำแรมภายนอกเพิ่ม (External RAM หรือ Data Memory) ปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นมากชิปบางตัวจะมีการบรรจุหน่วยความจำประเภท Data Memory เข้าไปในชิปเลย

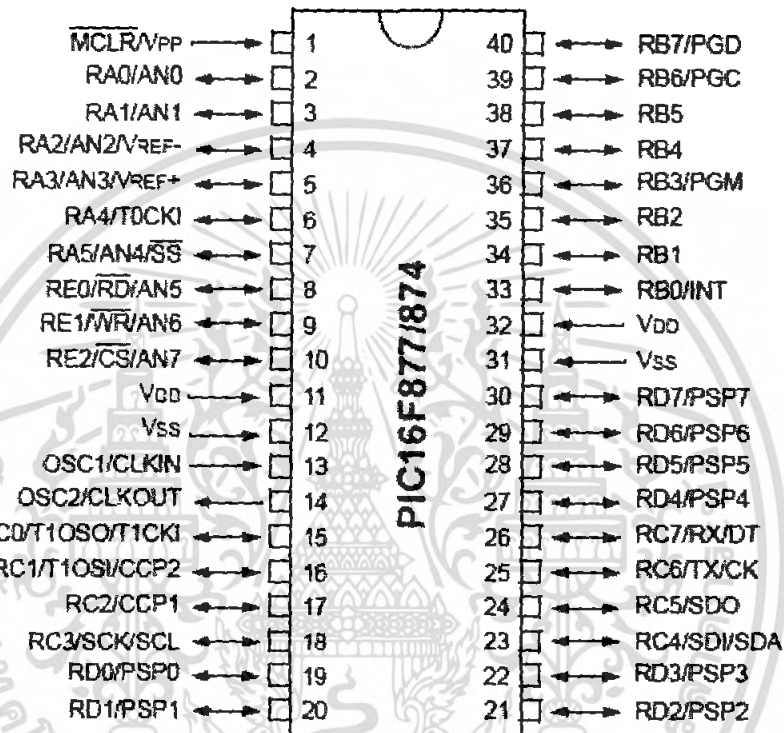
3 หน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM Data Memory)

หน่วยความจำแบบ EEPROM เป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมด้วยกระแสไฟฟ้าในหน่วยความจำถาวรของ PROM (Programmable Read Only Memory) โดยภายในมีการพัฒนาให้ RAM (Random Access Memory) ที่มีหน่วยความจำชั่วคราวให้เก็บข้อมูลได้ถาวรแบบหน่วยความจำ ROM (Read Only Memory) โดยสามารถเขียนและลบโปรแกรมจำนวนหลายๆ ครั้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O port)

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตสำหรับติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกแล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานและคุณสมบัติของพอร์ต โดยสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกทำหน้าที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตได้ เช่น Pushbutton, Keypad, Sensor, LCD, Timer/Counter ตลอดจนการแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter เป็นต้น



รูปที่ 2.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

ในตัว CPU ของ Microcontroller PIC16F877 ขนาด 40 Pins มีขาสัญญาณที่ใช้ติดต่อ Input/Output Port มีจำนวนขาสัญญาณทั้งสิ้น 33 Pins ดังนี้

1 PORTA RA0-RA5 จำนวน 6 Pins

- อินพุตอะนาลอก หรือ อินพุตเอาต์พุตดิจิทัล
- อินพุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกของไทมเมอร์ 0 ผ่านทางขา RA4/T0CK1
- เอาต์พุตเปรียบเทียบสัญญาณอะนาลอก

2 PORTB RB0-RB7 จำนวน 8 Pins

- อินพุตเอาต์พุตดิจิทัล
- สามารถพูลอัพ (pull-ups) ขาพอร์ตด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก (External Interrupt) ที่ขา RB0/INT และอินเทอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ (Interrupt-on-change) ที่ขา RB4-RB7

3 PORTC RC0-RC7 จำนวน 8 Pins

- อินพุตเอาต์พุตดิจิทัล

- ขาโมดูล CCP อินพุตตรวจจับสัญญาณ เอาต์พุตเปรียบเทียบข้อมูล และสร้างสัญญาณ PWM

- ขาโมดูล USART สื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบ SPI, I²C และ RS-232 (UART)

4 PORTD RD0-RD7 จำนวน 8 Pins

- อินพุตเอาต์พุตดิจิทัล

- ขาพอร์ตขนานเสริม (Parallel slave port)

5 PORTE RE0-RE2 จำนวน 3 Pins

- อินพุตอะนาล็อก หรือ อินพุตเอาต์พุตดิจิทัล

- ขาอ่านเขียนพอร์ตขนาน ใช้งานร่วมกับขาพอร์ต D

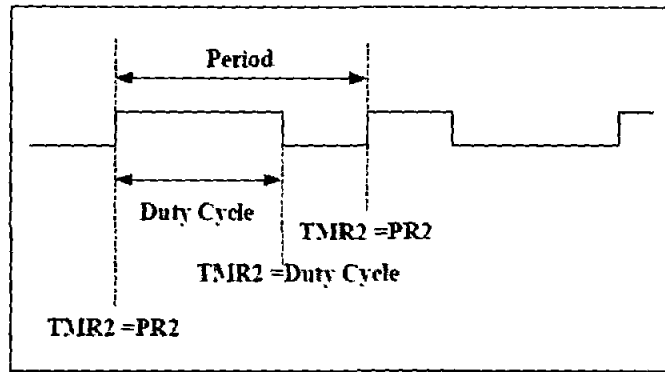
2.3.2 โมดูล Capture/Compare/PWM

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะมีโมดูล Capture/Compare/PWM หรือ CCP ให้ใช้งานได้ 2 ตัว คือ CCP1 (ขา RC2) และ CCP2 (ขา RC1) โดยโมดูล CCP แบ่งโหมดการทำงานได้ 3 โหมด คือ ตรวจจับสัญญาณ (Input Capture) เปรียบเทียบข้อมูล (Output Compare) และ สร้างสัญญาณพัลส์ PWM (Output PWM)

ตารางที่ 2.1 โหมด CCP กับการใช้งานไทมเมอร์

โหมดการทำงานของ โมดูล CCP	ไทมเมอร์ที่ใช้งาน
โหมดตรวจจับสัญญาณ (Capture mode)	ไทมเมอร์ 1
โหมดเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare mode)	ไทมเมอร์ 1
โหมดสร้างสัญญาณทางความกว้างของพัลส์ (PWM mode)	ไทมเมอร์ 2

โหมดสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) สามารถปรับค่าดีวี่ไซเคิล (duty cycle) ได้ตลอดการทำงานของโปรแกรมโหมดนี้โดยจะอาศัยไทมเมอร์ 2 ในการทำงาน เพื่อสร้างสัญญาณ Output PWM



รูปที่ 2.4 สัญญาณเอาต์พุต PWM

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณ PWM

1. กำหนดคาบเวลาที่รีจิสเตอร์ PR2 โดยการคำนวณหาได้จากสมการ

$$\text{PWM period} = \frac{[(PR2)+1] * 4 * T_{osc} * (\text{TMR2 prescale value})}{1}$$

หรือ

$$PR2 = \frac{[\text{PWM period} / (4 * T_{osc} * \text{TMR prescale value})] - 1}{1}$$

โดยที่ PR2 คือ รีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM

PWM_period คือ คาบเวลาของสัญญาณ PWM

Tosc คือ คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลัก

TMR2_prescaler คือ ค่าอัตราส่วน Prescaler ของไทมเมอร์ 2

2. กำหนดค่า Duty Cycle ที่รีจิสเตอร์ CCPR1L : CCP1CON ในบิตที่ 5 และ 4 การคำนวณค่า Duty Cycle สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{PWM_duty_cycle} = (\text{CCPR1L:CCP1CON}<5:4>) * T_{osc} * (\text{TMR2_prescaler})$$

หรือ

$$\text{CCPR1L:CCP1CON}<5:4> = \frac{\text{PWM_duty_cycle}}{(T_{osc} * \text{TMR2_prescaler})}$$

โดยที่ CCPRIL : CCPICON<5:4> คือ รีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดค่าของดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM มีค่าความละเอียด 10 บิต
PWM duty cycle คือ ความกว้างของสัญญาณ PWM ที่ต้องการ

2.4 ไดโอดกำลัง(Power Diode)

ไดโอดกำลัง (Power Diode) เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายที่สุด คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะอยู่ในสภาวะทำงานอยู่ตัว (steady-state) เมื่อไดโอดถูกไบอัสไปหน้า (forward biased) ไดโอดจะมีการนำกระแสโดยมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเล็กน้อยระดับหนึ่งโวลต์ และเมื่อไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับ (reverse biased) จะมีกระแสรั่วย้อนกลับขนาดน้อยมากจนอาจถือว่าไม่มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดจนกระทั่งถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ย้อนกลับ (reverse breakdown voltage) ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องออกแบบให้ไดโอดกำลังไม่ทำงานจนถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ย้อนกลับเพื่อความปลอดภัย

คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าสามารถพิจารณาแบบอุดมคติ เช่น ขณะไดโอดกำลังนำกระแส แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดจะมีค่าเป็นศูนย์ในแบบอุดมคติและขณะไดโอดไม่นำกระแสหรือในช่วงไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับ ไดโอดจะสามารถทนแรงไฟฟ้าย้อนกลับได้สูงมาก

สำหรับคุณลักษณะในอุดมคตินั้น เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของตัวแปลงกำลัง แต่ไม่ใช่สำหรับการออกแบบใช้งานจริง

เมื่อไดโอดเริ่มนำกระแส อาจพิจารณาได้ว่าเป็นการสวิตช์ซึ่งในอุดมคติเพราะช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (turn-on time) จะเร็วมากเมื่อเทียบกับช่วงเวลาภาวะชั่วคราว (transient) ในวงจรกำลัง แต่ในช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (turn-off time) จะมีกระแสไดโอดย้อนกลับในช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ (reverse recovery time, t_{rr}) ก่อนที่จะกลับเข้าสู่ศูนย์ โดยการฟื้นตัวย้อนกลับ (ถ้าเป็นลบ) จะกวาดล้างประจุในไดโอดให้หมดไปเพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับได้ กระแสฟื้นตัวย้อนกลับจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (overvoltage) ในวงจรที่มีความเป็นตัวเหนี่ยวนำ วงจรส่วนใหญ่ค่ากระแสฟื้นตัวย้อนกลับจะไม่ค่อยมีผลต่อคุณลักษณะด้านเข้าและด้านออกของตัวแปลงกำลัง ดังนั้นไดโอดจะอยู่พิจารณาเป็นแบบอุดมคติในช่วงที่ไม่นำกระแส และถ้าหากจะแบ่งชนิดของไดโอดออกตามความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน จะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ

1. Schottky diode มักจะใช้เมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมและเวลาย้อนกลับน้อยๆ ในปัจจุบันแรงดันขณะนำกระแสจะมีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ ในขณะที่เวลาฟื้นตัวย้อนกลับโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในหน่วยนาโนวินาที ซึ่งมักจะใช้ในวงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำๆ ไดโอดนี้จะทนแรงดันไฟฟ้าได้ระดับ 50-100 โวลต์และพิกัดกระแสไฟฟ้าประมาณ 300 แอมแปร์

2. ไดโอดฟื้นตัวเร็ว (fast-recovery diodes หรือ high speed diode) ซึ่งมักจะใช้ในวงจรสวิตช์ที่มีความถี่สูงสำหรับวงจรแปลงผันกำลังและใช้คู่กับสวิตช์แบบควบคุมได้ที่ต้องการเวลา

พื้นตัวย้อนกลับน้อยๆ ไดโอดกำลังขนาดแรงดันไฟฟ้า 6,000 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 1,100 แอมแปร์จะมีค่าพื้นตัวย้อนกลับประมาณ 0.1-5 ไมโครวินาที

3. ไดโอดความถี่ต่ำ (line-frequency diodes หรือ general purpose diode) ไดโอดชนิดนี้ถูกออกแบบสำหรับใช้งานที่ความถี่ต่ำ เช่นความถี่ไฟฟ้าในบ้าน 50 เฮิร์ตซ์และมักออกแบบแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดค่าที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผลของไดโอดใช้งานที่ความถี่ต่ำทำให้มีช่วงเวลาพื้นตัวย้อนกลับยาว แต่ช่วงเวลาพื้นตัวย้อนกลับของไดโอดดังกล่าวจะสั้นเมื่อเทียบกับคาบเวลาของความถี่ไฟฟ้าในบ้าน หรือความถี่ต่ำ ปัจจุบันไดโอดมีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 6,000 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้า 4,500 แอมแปร์

2.5 มอสเฟตกำลัง

มอสเฟตกำลัง (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) ที่ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอส (V_{GS}) อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาการสวิตช์ของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาที ถึงหลักร้อยวินาทีซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลัง

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอส $R_{DS(on)}$ จะขึ้นอยู่กับพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าหากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมีค่ามากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (conduction losses) เช่น มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลต์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมากกว่ามอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ ดังนั้นการสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแสของมอสเฟตกำลังที่ทนได้ 1,000 โวลต์ จะมีกำลังสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแสมากกว่าของมอสเฟตกำลังที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 200 โวลต์

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานก็จะเพิ่มขึ้นด้วย มอสเฟตกำลังจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการการใช้งานที่กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆเหมือนกันมากที่สุดจึงจะนำมาต่อขนานกันได้

ในปัจจุบันมอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสได้ไม่เกิน 100 แอมแปร์ แต่จุดเด่นที่สุดของมอสเฟตกำลังคือการมีค่าความถี่ของการสวิตช์มีค่ามากถึงหลักหลายร้อยกิโลเฮิร์ตซ์

2.6 หลักการทำงานของวงจรสวิตซิ่ง

อุปกรณ์สวิตซิ่ง เช่น มอสเฟต หรือ ไอจีบีที จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมดการทำงานคือ โหมดนำกระแส และหยุดนำกระแส โดยสมมติให้ มอสเฟต หรือ ไอจีบีทีที่ใช้ เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในอุดมคติหลักการทำงานคือ

เมื่อสวิตซ์นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ($V_o = V_s$) และเมื่อสวิตซ์ไม่นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ ($V_o = 0$)

ช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นพัลส์ ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยหรือค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกได้จากสมการ

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt$$

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_s dt$$

$$V_o = V_s D$$

เมื่อ $V_s =$ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

$D =$ ดิวตี้ไซเคิล

จากสมการ จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านออกจะถูกควบคุมได้จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle หรือ Duty ratio : D) ซึ่ง D หมายถึงอัตราส่วนของช่วงเวลาที่ยานำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตซิ่ง มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T}$$

$$t_{on} = DT$$

$$t_{off} = (1 - D)T$$

เมื่อ $t_{on} =$ ช่วงเวลานำกระแส

$t_{off} =$ ช่วงเวลาไม่นำกระแส

$T =$ เวลาหนึ่งคาบ

กำหนดค่า D นิยมบอกเป็นสองลักษณะ คือเป็นเลขเต็มหนึ่งและบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าต่ำสุดของ D ถ้าสูงสุดคือหนึ่งขณะที่บอกเป็นเปอร์เซ็นต์จะมีค่าต่ำสุดเป็นศูนย์เปอร์เซ็นต์และค่าสูงสุดคือหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับกลศาสตร์

2.7.1 การวิเคราะห์แรง

แรงที่เกี่ยวกับการทำงานของระบบกลไก อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. แรงสถิต (static forces) เป็นแรงที่เกิดขึ้นกับระบบต่อโยง โดยไม่รวมแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานซึ่งเป็นแรงจลน์ (dynamic forces) แรงสถิตนี้จะเป็นแรงที่ขึ้นต่อโยงแต่ละชิ้นส่งผ่านต่อกัน โดยเริ่มจากขึ้นต่อโยงด้านรับส่งผ่านแรงสถิตต่อไปยังชิ้นเชื่อมต่อต่างๆ เรื่อยๆ ไปจนถึงขึ้นต่อโยงด้านส่ง

2. แรงจลน์ (dynamic forces) เป็นแรงที่เกิดจากระบบต่อโยงมีการเคลื่อนที่ และเกิดความเร่ง เมื่อความเร่งประกอบเข้ากับมวลของขึ้นต่อโยง ก็จะทำให้เกิดแรงเฉื่อยขึ้น นอกจากแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นแล้ว เมื่อระบบมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ที่มุมหรือพื้นผิวต่างๆ ยังเกิดแรงเสียดทานขึ้นด้วย ทั้งแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานนี้ต่างเป็นแรงจลน์ การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในขึ้นต่อโยงต่างๆ ของกลไกนั้นสิ่งแรกที่จะต้องทำ คือ เขียน Free-body Diagram ของขึ้นต่อโยงแต่ละชิ้น โดยจะต้องแสดงถึงแรงทั้งหมดที่กระทำกับขึ้นต่อโยงนั้นๆ ชิ้นตอนนี้สำคัญมาก เพราะถ้าเขียนแรงที่กระทำกับขึ้นต่อโยงไม่ครบแล้ว การวิเคราะห์จะผิดพลาดไปหมด (หลักการเขียน Free-body Diagram อยู่ในเนื้อหาของวิชากลศาสตร์)

วิธีวิเคราะห์แรงมีหลายวิธี แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ

1. วิธี ซูเปอร์โพสิชัน
2. วิธีวิเคราะห์รวมแรง

2.7.1.1 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีซูเปอร์โพสิชัน (Force Analysis by Superposition)

วิธี Superposition มีหลักว่า ผลลัพธ์รวมที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับผลรวมของผลลัพธ์ย่อยๆ กลไกที่ถูกกระทำโดยแรงหลายแรงจะถูกวิเคราะห์ โดยแยกวิเคราะห์ทีละแรงหรือทีละประเภท แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทุกครั้งมารวมกัน จะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 วิธี คือ Analytic และวิธี Graphic

2.7.1.2 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีวิเคราะห์รวมแรง (Force Analysis by Combining all Forces)

วิธีวิเคราะห์โดยการรวมแรงก็คือ การวิเคราะห์โดยที่ไม่ต้องแยกวิเคราะห์ทีละแรงหรือทีละประเภท แต่วิเคราะห์พร้อมกันไปครั้งเดียวเลย ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการที่มีแรงกระทำหลายๆ แรงในขึ้นต่อโยง จะทำให้วิเคราะห์หาค่าที่ต้องการได้ยากขึ้น ทำให้ต้องใช้วิธีแก้เพิ่มขึ้น เช่น ปกติจะเขียน Free-body Diagram ของขึ้นต่อโยงเพียงชิ้นเดียว แต่ถ้าไม่สามารถแก้ปัญหาได้อาจจะต้องเปลี่ยนเป็นเขียน Free-body Diagram ของขึ้นต่อโยงสองชิ้นหรือสามชิ้น ซึ่งจะทำให้ตัวไม่รู้สึกเอกสารถนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนลง และสามารถแก้ปัญหาได้ หรืออาจจะใช้การหาโมเมนต์เทียบกับจุดต่างๆ เพื่อช่วยแก้ปัญหา เป็นต้น

2.7.2 การวิเคราะห์ความเร็ว

ความเร็วโดยทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ความเร็วสัมบูรณ์ (absolute velocity) และ ความเร็วสัมพัทธ์ (relative velocity) โดยความเร็วสัมบูรณ์ของวัตถุใดๆ หมายถึง ความเร็วของวัตถุหรือจุดนั้น วัดเทียบกับพื้นโลกหรือจุดที่หยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหว ส่วนความเร็วสัมพัทธ์จะเป็นความเร็วของวัตถุหรือจุดใดๆ วัดเทียบกับวัตถุอีกวัตถุหนึ่งหรือจุดอีกจุดหนึ่ง ซึ่งวัตถุหรือจุดนั้น อาจมีการเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่งก็ได้ หรือการสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วของจุด 2 จุด หรือวัตถุ 2 ชิ้นนั่นเอง

การวิเคราะห์ความเร็ว นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีอาศัยจุดหมุนชั่วขณะ
2. วิธีวิเคราะห์ความเร็วด้วยวิธีคณิตวิเคราะห์

2.7.2.1 วิธีอาศัยจุดหมุนชั่วขณะ

ในขณะที่ชิ้นต่อ โยงมีการเคลื่อนที่ ชิ้นต่อโยงจะมีการหมุนรอบจุดหมุนจุดหนึ่งด้วยเสมอ และความเร็วของทุกๆ จุดบนชิ้นต่อ โยงนั้นจะ “มีแนวทิศทางตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุดหมุนมายังจุดของความเร็วนั้น” ซึ่งหากชิ้นต่อ โยงนั้นเป็นชิ้นเชื่อมต่อ กล่าวคือไม่ได้เชื่อมต่อกับจุดหมุนที่อยู่กับที่ จุดหมุนของชิ้นเชื่อมต่อก็จะเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยๆ จุดหมุนชั่วขณะระหว่างชิ้นต่อ โยง 2 ชิ้น เป็นจุดที่ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชิ้นต่อ โยง 2 ชิ้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือกล่าวโดยอีกนัยหนึ่ง ณ ที่จุดหมุนชั่วขณะ ความเร็วสัมบูรณ์ของชิ้นต่อ โยง 2 ชิ้นมีค่าเท่ากัน

สำหรับการหาจุดหมุนชั่วขณะของชิ้นต่อ โยงนั้น สามารถหาจาก “จุดหมุนชั่วขณะของชิ้นเชื่อมต่อยังจะอยู่ ณ จุดตัดของเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับแนวทิศทางความเร็วของจุดบนชิ้นเชื่อมต่อกับ” เมื่อเราได้จุดหมุนชั่วขณะแล้ว ก็สามารถหาแนวทิศทางความเร็ว ณ จุดใดๆบนชิ้นเชื่อมต่อกับได้ โดยความเร็วของจุดที่สนใจ จะตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดหมุนชั่วขณะ และจุดที่สนใจบนชิ้นเชื่อมต่อกับ

ส่วนการหาความเร็วของจุดต่างๆ บนชิ้นเชื่อมต่อกับ สามารถกระทำได้โดยอาศัยความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ที่ชิ้นเชื่อมต่อกับหมุนอยู่รอบจุดหมุนชั่วขณะ

ในช่วงท้ายศตวรรษที่ 19 Kennedy (England) และ Aronhold (Germany) ต่างก็ได้ค้นพบทฤษฎีจุดศูนย์กลางสามจุด ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “ถ้ามีวัตถุสามชิ้นเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันอยู่บนระนาบ จะปรากฏจุดศูนย์กลางชั่วขณะสัมพัทธ์สามจุด และจุดทั้งสามจะอยู่ในแนวเดียวกัน”

ถ้ามีวัตถุ n ชิ้นเคลื่อนที่อยู่บนระนาบ จำนวนจุดศูนย์กลางชั่วขณะทั้งหมดจะสามารถหาได้

จากสูตร

$$N_{IC} = \frac{n(n-1)}{2}$$

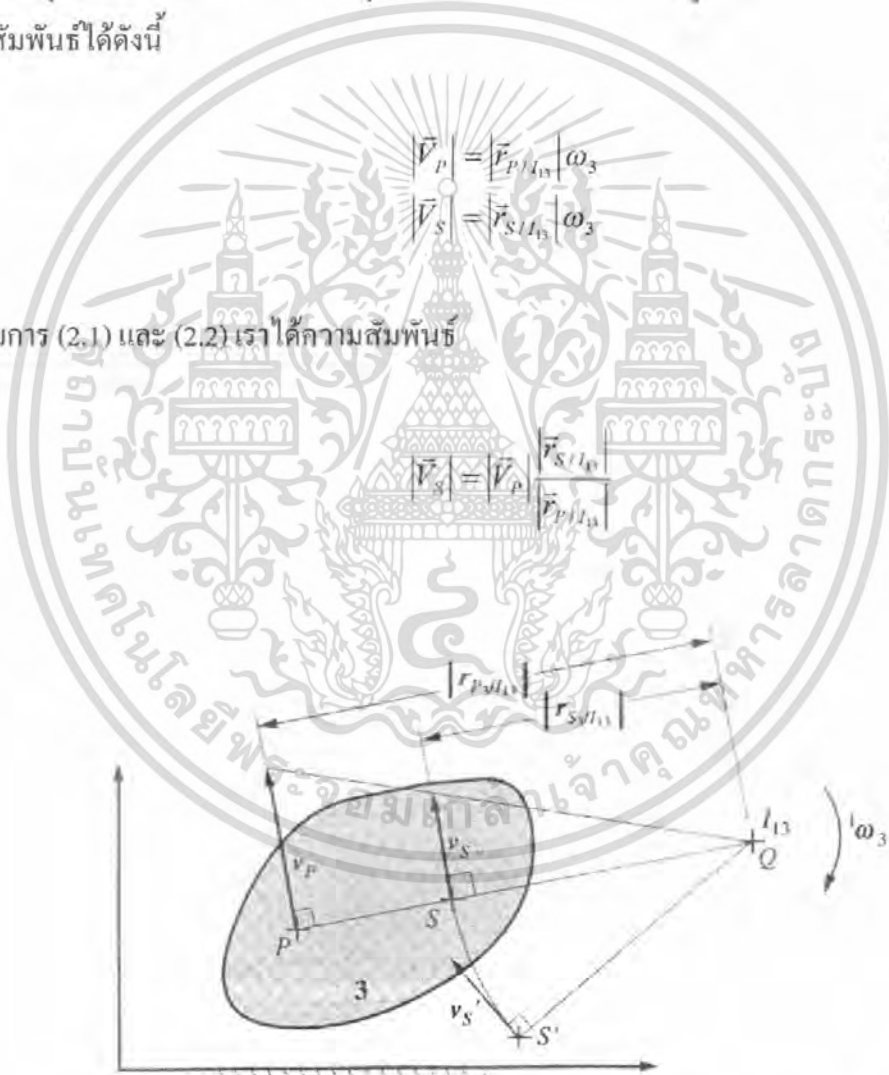
การใช้จุดศูนย์กลางช่วงขณะในการวิเคราะห์หาความเร็วในกลไก

จากรูปแสดงวัตถุชิ้นที่ 1 และ 3 เคลื่อนที่บนระนาบ โดยที่ชิ้นที่ 1 หยุดนิ่ง จากรูปเราสามารถหาจุด I_{13} ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางช่วงขณะบนชิ้นที่ 1 กับ 3 มีความเร็วเท่ากันคือศูนย์ ดังนั้นจุดนี้เป็นจุดศูนย์กลางการหมุนของชิ้นที่ 3 ซึ่งความเร็วที่จุด P และ S สามารถหาได้ดังรูป โดยเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$|\vec{V}_P| = |\vec{r}_{P/I_{13}}| \omega_3 \tag{2.1}$$

$$|\vec{V}_S| = |\vec{r}_{S/I_{13}}| \omega_3 \tag{2.2}$$

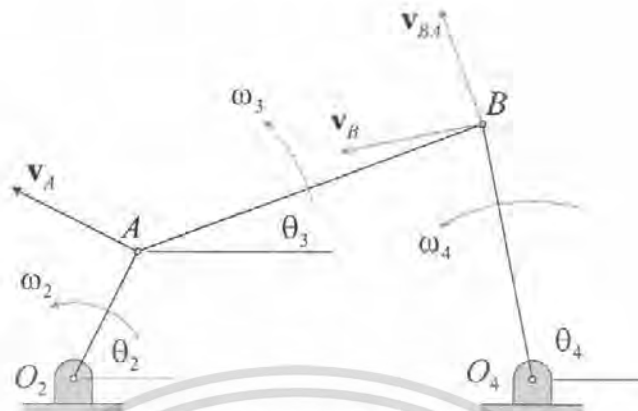
จากสมการ (2.1) และ (2.2) เราได้ความสัมพันธ์



รูปที่ 2.5 แสดงการใช้จุดศูนย์กลางช่วงขณะในการวิเคราะห์หาความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 การวิเคราะห์ความเร็วโดยวิธีคณิตวิเคราะห์



รูปที่ 2.6 แสดง Four bar Pin Jointed Linkage

จากรูปเราสามารถหาความเร็วที่จุด B ได้จากสมการความเร็วสัมพัทธ์

$$\begin{aligned}
 \mathbf{v}_B &= \mathbf{v}_A + \mathbf{v}_{BA} \\
 \mathbf{v}_B &= \frac{d}{dt} (c(\cos \theta_4 \mathbf{i} + \sin \theta_4 \mathbf{j})) \\
 &= c\omega_4 (-\sin \theta_4 \mathbf{i} + \cos \theta_4 \mathbf{j}) \\
 \mathbf{v}_A &= \frac{d}{dt} (a(\cos \theta_2 \mathbf{i} + \sin \theta_2 \mathbf{j})) \\
 &= a\omega_2 (-\sin \theta_2 \mathbf{i} + \cos \theta_2 \mathbf{j}) \\
 \mathbf{v}_{BA} &= \frac{d}{dt} (b(\cos \theta_3 \mathbf{i} + \sin \theta_3 \mathbf{j})) \\
 &= b\omega_3 (-\sin \theta_3 \mathbf{i} + \cos \theta_3 \mathbf{j})
 \end{aligned}$$

จากนั้นทำการแยกองค์ประกอบของความเร็วตามทิศทางของยูนิทเวกเตอร์ \mathbf{i} และ \mathbf{j}

$$\begin{aligned}
 -c\omega_4 \sin \theta_4 &= -a\omega_2 \sin \theta_2 - b\omega_3 \sin \theta_3 \\
 c\omega_4 \cos \theta_4 &= a\omega_2 \cos \theta_2 + b\omega_3 \cos \theta_3
 \end{aligned}$$

จากนั้นเราสามารถแก้สมการทั้งสองหา ω_3 และ ω_4 (เรารู้ค่าของ $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ แล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_1 - \theta_2)}{b \sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{c \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

2.7.3 การวิเคราะห์ความเร่ง

ความเร่งเชิงเส้นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ความเร็วต่อหนึ่งหน่วยเวลา คุณสมบัติของมันเป็นปริมาณเวกเตอร์และสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของเวกเตอร์ความเร็ว

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

ความเร่งเชิงมุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุมต่อหนึ่งหน่วยเวลา คุณสมบัติของมันเป็นปริมาณเวกเตอร์และสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุม

$$\vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \text{ หรือ } \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

เราสามารถพิจารณามันเป็นสมการสเกลาร์เพราะมันจะหมุนรอบแกน z เท่านั้นในบทเรียนนี้



รูปที่ 2.7 แสดงการหาความเร่งที่จุด P

ถ้าเราพิจารณาจากรูปที่จุดเราสามารถเขียนได้ว่า

$$\vec{r}_p = p(\cos\theta \vec{i} + \sin\theta \vec{j})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\vec{a}_p &= \frac{d\vec{v}_p}{dt} \\ &= p\alpha(-\sin\theta\vec{i} + \cos\theta\vec{j}) - p\omega^2(\cos\theta\vec{i} + \sin\theta\vec{j}) \\ \vec{a}_p &= \vec{a}'_p + \vec{a}''_p\end{aligned}$$

จะเห็นว่าความเร่งที่จุด P สามารถแยกองค์ประกอบออกได้เป็น 2 ทิศทางคือทิศทางพุ่งสู่จุดศูนย์กลางการหมุน(จุด A) และทิศทางตั้งฉากกับแนวเส้นสู่ศูนย์กลาง

2.7.3.1 ความเร่งในแนว n (a^n)

ความเร่งในแนว n จะเกิดขึ้นกับชิ้นต่อโยงที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมค่าหนึ่งรอบจุดหมุนอ้างอิงใดๆ จุดหนึ่ง (หรือจุดหมุนชั่วขณะ) ขนาดของความเร่งในแนว n จะมีค่าตามสมการต่อไปนี้ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร่งในแนว n (a^n) กับความเร็วเชิงเส้น และความเร็วเชิงมุม

$$a^n = r\omega^2 = \frac{V^2}{r}$$

โดยที่ r เป็นระยะทางจากจุดของความเร่ง ถึงจุดหมุนอ้างอิง ω เป็นความเร็วเชิงมุมของชิ้นต่อโยงรอบจุดหมุนอ้างอิง และ V เป็นความเร็วเชิงเส้นที่จุดของความเร่ง โดย ทิศทางของ V และ r จะตั้งฉากซึ่งกันและกันเสมอ

จากสมการข้างต้น จะสามารถสังเกตได้ว่า หาก ω มีค่าเท่ากับศูนย์แล้ว (กล่าวคือ ชิ้นต่อโยงไม่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน) ชิ้นต่อโยงจะไม่มี ความเร่งในแนว n หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ω จะมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอสำหรับ ชิ้นต่อโยงที่มีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

อีกกรณีหนึ่งที่ชิ้นต่อโยงจะไม่มี ความเร่งในแนว n ก็คือ กรณีที่ r มีค่ามากเข้าสู่นันต์ (Infinity) ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ชิ้นต่อโยงมีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง เช่นเดียวกัน

เพราะฉะนั้น สามารถสรุปได้ว่า “ หากชิ้นต่อโยงมีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงแล้ว ชิ้นต่อโยงจะไม่มี ความเร่งในแนว n หรือ a^n มีค่าเท่ากับศูนย์ ”

ส่วนทิศทางของ a^n นั้นจะมีทิศจากจุดของความเร่งเข้าสู่จุดหมุนอ้างอิงเสมอ

2.7.3.2 ความเร่งในแนว t (a^t)

ความเร่งในแนว t นี้ เป็นความเร่งที่มีทิศทางตามแนวการเคลื่อนที่ของจุดของความเร่ง แต่อาจจะมีทิศทางตามหรือสวนทางกับทิศของการเคลื่อนที่ก็ได้ กล่าวคือ ถ้าจุดของความเร่งมีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและมีความเร็วไม่คงที่ จุดของความเร่งนั้นก็จะมี ความเร่งในแนว t เกิดขึ้นในแนวเส้นตรงทับกันกับทิศทางของความเร็ว แต่ถ้าหากจุดของความเร่งมีการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีความเร่งเชิงมุมเกิดขึ้นประกอบกับความเร็วเชิงมุม จุดของความเร่งนั้นจะมี a' เกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุดของความเร่งเข้าสู่จุดหมุน หรือตั้งฉากกับ a'' และมีทิศทางตามทิศของความเร่งเชิงมุม ส่วนขนาดของ a' ก็จะสัมพันธ์กับขนาดของความเร่งเชิงมุม α ตามสมการ

$$a' = r\alpha$$

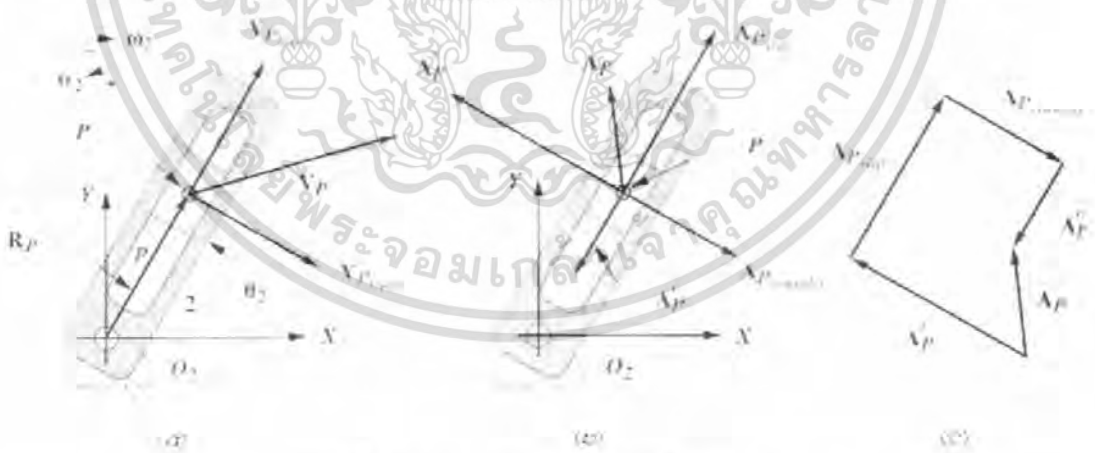
ความเร่ง Coriolis (a')

ความเร่ง Coriolis เป็นความเร่งสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นต่อ โยง 2 ชั้น โดยที่ชั้นต่อ โยงชั้นหนึ่งมีลักษณะเป็นตัวเลื่อน ไกลที่กำลังเลื่อน ไกลบนชั้นต่อ โยงอีกชั้นหนึ่ง ที่มีลักษณะเป็นรางเลื่อนที่กำลังหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดหมุนจุดหนึ่ง ดังรูปข้างล่าง ชั้นส่วนสไลเดอร์เคลื่อนที่บนชั้นส่วนที่มีรางซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบหมุนในขณะเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความเร่ง Coriolis ของจุด P ($A_{P, coriolis}$)

ความเร่ง Coriolis ของจุด P ($A_{P, coriolis}$)

ความเร่งสมบูรณ์ของจุด P จะประกอบไปด้วย

$$\vec{A}_P = \vec{A}'_P + \vec{A}''_P + \vec{A}_{P, slip} + \vec{A}_{P, coriolis}$$



รูปที่ 2.8 แสดงความเร่งสมบูรณ์ของจุด P

โดยที่

$$\vec{A}'_P = \vec{\alpha}_2 \times \vec{R}_P$$

$$\vec{A}''_P = \vec{\omega}_2 \times (\vec{\omega}_2 \times \vec{R}_P)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{A}_{P_{stip}} = \ddot{\vec{R}}_P$$

$$\vec{A}_{P_{coriolis}} = 2\vec{\omega}_2 \times \vec{V}_{P_{stip}}$$

2.8 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

2.8.1 หลักการทั่วไปในการออกแบบ

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล หมายถึง การออกแบบสิ่งต่างๆ ระบบต่างๆ ของเครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ โครงสร้าง อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่วนใหญ่แล้วจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์วัสดุ และวิทยาศาสตร์ทางวิศวกรรมเครื่องกล

การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องรู้ เข้าใจเกี่ยวกับการจำแนกชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ตั้งแต่การคำนวณจากข้อมูลที่ทราบ เช่น งานที่ทำได้ กำลังงานที่ใช้ แล้วคำนวณหาแรงในแต่ละส่วนตามลำดับหน้าที่ในการทำงานของเครื่อง โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ แล้วทำการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ ตามหน้าที่โดยไม่พังหรือเสียหาย

ผู้ออกแบบจำเป็นจะต้องใช้หลักการของความแข็งแรงของวัสดุ来帮助แก้ปัญหา ทางวิศวกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะให้ขนาดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความถูกต้องเหมาะสม ในวิธีการนั้นผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น เพื่อตัดสินใจที่จะให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถรับความเค้นสูงสุดแต่ละชนิดได้

2.8.2 ลำดับขั้นในการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีลำดับขั้นดังนี้

1. รับรู้ความต้องการ คือการรับรู้ความต้องการของลูกค้าที่เกี่ยวข้องในด้านการใช้งาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรงทนทาน
2. กำหนดลักษณะจำเพาะและศึกษารายละเอียด คือการรวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุด รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ วิธีการผลิต
3. สังเคราะห์ความคิดในการออกแบบ คือ การวิเคราะห์และหล่อหลอมความคิดเก่าและใหม่เข้าด้วยกัน จนทำให้เกิดสิ่งใหม่ขึ้น ซึ่งดีกว่า มีคุณค่ากว่า และอำนวยความสะดวกได้มากที่สุด
4. วิเคราะห์ ออกแบบ และปรับปรุง คือ การวิเคราะห์รายละเอียดของสิ่งที่ จะออกแบบ ส่วนประกอบ หน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน วิธีการผลิตที่ทำให้เป็นไปได้ในการทำการผลิตจำนวนมาก ความสะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ แล้วจึงทำการออกแบบส่วนประกอบใหญ่ๆ และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนให้มีความสัมพันธ์กันและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ขนาด ลักษณะรูปร่างที่เหมาะสม และทำการปรับปรุงเป็นไปตามความต้องการและการใช้งานให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทดสอบและประเมิน เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จก็ทำการทดสอบและปรับปรุงจนกระทั่งชิ้นงานมีคุณภาพ สามารถทำงานได้ตามความต้องการ

6. นำเสนอ

2.8.3 ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบ คือ ความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการครากหรือแตกหักได้ และสิ่งอื่นๆอีกหลายอย่าง ที่จะต้องพิจารณาซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อการออกแบบชิ้นส่วน ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูปเกินขนาดหรือโก่งงอได้ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ ซึ่งนั่นก็หมายถึงชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรกลที่ได้ออกแบบมีความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบไว้

ข้อพิจารณาในการออกแบบที่ใช้อยู่บ่อยๆ ได้แก่

- | | |
|----------------------------------|------------------|
| 1.ความแข็งแรง | 12.เสียง |
| 2.ความเชื่อมั่น | 13.รูปร่าง |
| 3.การพิจารณาที่เกี่ยวกับความร้อน | 14.รูปทรง |
| 4.การกัดกร่อน | 15.ขนาด |
| 5.การสึกหรอ | 16.ความยืดหยุ่น |
| 6.ความเสียดทาน | 17.การควบคุม |
| 7.กระบวนการ | 18.ความแข็งแรง |
| 8.ประโยชน์ | 19.ผิวสำเร็จ |
| 9.ราคา | 20.การหล่อขึ้น |
| 10.ความปลอดภัย | 21.การบำรุงรักษา |
| 11.น้ำหนัก | 22.จำนวน |

2.8.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

คุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถช่วยให้ตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของวัสดุตามความต้องการในการออกแบบได้ถูกต้อง คุณสมบัติทางกลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบมีดังนี้

2.8.4.1 ความแข็งแรง (Strength)

เมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อวัสดุ ก็จะเกิดแรงต้านภายในวัสดุขึ้น เพื่อต้านแรงที่มากระทำนั้น ถ้าแรงที่มากระทำมีค่าเกินค่าแรงภายในวัสดุที่จะต้านทานได้ วัสดุนั้นจะเสียรูป ขาดหรือแตกหักได้ ความสามารถในการต้านทานแรงของวัสดุนี้คือความแข็งแรง ที่เรียกว่า Strength of Materials ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ มีอยู่ 2 ชนิด คือ

- ความต้านแรงดึงจุดคราก (Yield strength S_y) การออกแบบจะนิยมเลือกใช้ค่านี้นี้มากเพราะเป็นค่าที่วัสดุยังไม่เปลี่ยนรูปร่าง
- ความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate strength S_u) วัสดุส่วนมากจะกำหนดรายละเอียดของความแข็งแรงนี้เป็นค่านี้นี้แทนค่า S_y ซึ่งก็นำไปใช้ในการออกแบบได้แต่ต้องใช้ความปลอดภัยสูงกว่า

2.8.4.2 ความเค้น (Stress)

งานจะมีขนาดเปลี่ยนไปเนื่องจากแรงกระทำจากภายนอกซึ่งจะมีผลทำให้เกิดแรงต้านภายในเนื้อวัสดุของชิ้นงานนั้นในทางกลศาสตร์ของแข็งนิยมใช้แรงต้านภายในต่อหน่วยของพื้นที่หน้าตัด ซึ่งก็คือความเค้น(Stress) นั่นเอง

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

ความเค้นอาจจะแบ่งเป็นชนิดใหญ่ได้ 2 ชนิด คือ ความเค้นดึง(ความเค้นดึงและความเค้นอัด) และความเค้นเฉือน

2.8.4.3 ความเครียด (Strain)

งานที่อยู่ภายใต้แรงดึง จะยืดออก δ ขนาดของชิ้นงานที่ยืดออกต่อขนาดเดิมคือ δ / l เรียกว่าความเครียดดึง ϵ_t (Tensile Strain) เป็นปริมาณที่ไร้มิติ (Dimensionless) ความเครียดมีสามชนิด ตามความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานคือ

1. ความเครียดดึง (Tensile Strain) ชิ้นงานที่ยาว l ถูกดึงด้วยแรง F จะยืดออก δ ความเครียดดึง ϵ_t มีค่าเป็น

$$\epsilon_t = \frac{\delta_t}{l}$$

2. ความเครียดอัด (Compressive Strain) ชิ้นงานที่ยาว l ถูกกดด้วยแรง F จะหดลง δ ความเครียดอัด ϵ_c มีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_c = \frac{\delta_c}{l}$$

3. ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ชิ้นงานเมื่ออยู่ภายใต้แรงเฉือน F มุมจะเล็กลง γ อกจากเดิม 90 องศา จะได้ว่า

$$\gamma = \frac{\delta}{l}$$

2.8.4.4 กฎของฮุก (Hook's Law)

ฮุกได้ทำการทดลองพบคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุแข็ง ซึ่งจะมีคุณสมบัติเหมือนกับสปริง นั่นคือ เมื่อมีแรงดึงชิ้นงาน F ชิ้นงานจะยืดออก δ แต่เมื่อเอาแรง F ออกชิ้นงานจะมีความยาว l เท่าเดิม คุณสมบัตินี้เป็นจริงจนถึงค่า F สูงสุดค่าหนึ่งเท่านั้น (ถ้าเลขค่า F สูงสุดไปแล้วเมื่อเอาแรงดึงออกชิ้นงานจะมีขนาดยาวกว่าเดิม) วัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่า วัสดุยืดหยุ่น (elastic material) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง F กับ δ ของวัสดุนี้จะเป็นเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของวัสดุยืดหยุ่นจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sigma = E\varepsilon$$

เมื่อ E คือค่าคงที่ของความยืดหยุ่น หรือค่าคงที่ของ Young (Modulus of Elasticity or Young's Modulus)

2.8.4.5 ความเหนียวของวัสดุ (Ductility) ความเหนียวเป็นคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด เป็นค่าที่เปรียบเทียบความยากง่ายในการแปรรูปโลหะ โลหะที่มีความเหนียวมากจะแปรรูปได้ง่าย และมีการเสียรูปได้มาก

2.8.4.6 ความเหนียวนุ่ม (Toughness) หมายถึงคุณสมบัติในการสะสมพลังงานและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ก่อนการแตกหัก

2.8.4.7 ความแข็ง (Hardness) เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านการกดอัด การขูดขีด การสึกกร่อน และยากต่อการเสียรูป

2.8.4.8 ความแข็งตึง (Stiffness) คือ ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4.9 ความล้าของวัสดุ (Fatigue) หมายถึงการที่วัสดุรับแรงกระทำที่มีขนาดสูงๆต่ำๆ เป็นจังหวะหรือรอบๆ และถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก วัสดุจะสามารถทนแรงกระทำเช่นนี้ได้ ระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงแตกหักแม้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุก็ตาม

2.8.5 ตัวประกอบของความปลอดภัย (factor of Safety)

Factor of Safety คือตัวเลขที่ใช้หารค่า Strength ของวัสดุที่จะให้ได้ค่า Design stress ที่จะใช้ออกแบบ ในความหมายที่แท้จริงของคำว่า Factor of Safety หมายถึงตัวประกอบที่จะทำให้เกิดการออกแบบเกิดความปลอดภัย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่ง Design factor ซึ่งจะต้องน้อยกว่าคำว่า Factor of Safety

ให้ค่า Design factor เขียนแทนด้วย n Design Stress เขียนแทนด้วย σ_d สำหรับ Ultimate Strength เขียนแทนด้วย S_u และ Yield Strength เขียนแทนด้วย S_y จะได้สมการ Design Stress คือ

$$\sigma_d = \frac{S_u}{n_u} \quad \sigma_d = \frac{S_y}{n_y}$$

สำหรับค่า Shear ถ้าให้ค่า Design Stress เขียนแทนด้วย τ_d Ultimate Shear Strength เขียนแทนด้วย S_{su} และ Yield Shear Strength เขียนแทนด้วย S_{sy} จะได้สมการ Design Stress คือ

$$\tau_d = \frac{S_{su}}{n_u} \quad \tau_d = \frac{S_{sy}}{n_y}$$

ค่า σ_d และ τ_d ที่ได้เป็นค่า Design Stress ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย เมื่อผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งหมายถึงเรทราบ Strength ของวัสดุที่ทำชิ้นส่วน และขนาดของ Load ที่ชิ้นส่วนต้องรับแล้ว เราสามารถคำนวณหา Design factor ที่จะระบุว่าจะชิ้นส่วนนั้นมีค่าความปลอดภัยนั้นมีค่าความปลอดภัยเท่าใด

$$n_u = \frac{S_u}{\sigma_d} \quad \text{หรือ} \quad n_y = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

สำหรับค่า Shear

$$n_u = \frac{S_{su}}{\tau_d} \quad \text{หรือ} \quad n_y = \frac{S_{sy}}{\tau_d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร τ_d ซึ่งงานเพื่อการศึกษา τ_d เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้ Factor of Safety กับ Load หรือ Stress ที่เกิดขึ้นจาก load นั้น ถ้าให้ F_p เป็น permissible หรือ allowable load และ σ_p เป็น permissible หรือ allowable stress เมื่อ stress ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ load แล้ว สมการหาค่า F_p และ σ_p ก็จะเป็นดังนี้

$$F_p = nF \text{ และ } \sigma_p = n\sigma$$

สมการนี้จะใช้สำหรับการออกแบบและคำนวณหาขนาด รูปร่างของชิ้นส่วน ซึ่งค่า σ_p นี้จะต้องมีค่าไม่เกิน Strength S_u หรือ S_y ของวัสดุ

Total Factor หรือ Overall Factor คือ ตัวประกอบของส่วนประกอบต่างๆและเป็นการแยกตัวประกอบที่ใช้สำหรับ Strength และ Load หรือ Stresses ที่เกิดจาก Load ต่างๆ นั้น ถ้ามี load กระทำอยู่ 2 load Total Factor of Safety ก็จะเป็นดังนี้

$$n = n_1 n_2$$

เมื่อ n_1 คือ ตัวประกอบสำหรับค่าที่ไม่แน่นอนของ Strength n_1 และ n_2 คือ ตัวประกอบสำหรับสำหรับค่าที่ไม่แน่นอนของ load ที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ

การเลือกใช้ค่าความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

1. ชนิดของแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน ซึ่งจัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่งหรือเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขณะใช้งาน
2. ลักษณะการใช้งานที่จะก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นสูญเสียชีวิตหรือไม่
3. น้ำหนักของชิ้นงานมีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่
4. เนื้อวัสดุที่นำมาออกแบบชิ้นส่วนอาจไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้สามารถรับแรงได้ต่างกัน

2.8.6 คาน

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวตั้งลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดัด (Bending stress) และการยุบตัว (Deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของคาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (Bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{M_c}{I}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ M คือโมเมนต์ตัด
 C คือระยะจากแกนสะเทิน (Neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด ดังรูป
 I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

โดยทั่วไปแล้วความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าน้อยมาก จนกระทั่งไม่ต้องนำมาคิดในการออกแบบก็ได้ แต่ถ้าคานสั้นและมีหน้าตัดสูงมาก ความเค้นเฉือนก็อาจจะมีค่ามากได้ สำหรับคานที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดที่แกนสะเทิน และมีค่า 1.5 เท่าของความเค้นเฉือนเฉลี่ยหรือเท่ากับ

สำหรับหน้าตัดกลม

$$\tau = \frac{3V}{2A}$$

$$\tau = \frac{4V}{3A}$$

- โดยที่ V คือแรงเฉือนสูงสุด
 A คือพื้นที่หน้าตัด

2.8.7 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (Torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

- โดยที่ T คือโมเมนต์บิด
 L คือความยาว
 J คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (Polar area moment of inertia)

$$= \frac{\pi}{32} d^4 \quad \text{สำหรับท่อนกลมตัน}$$

$$= \frac{\pi}{32} (d^4 - d_i^4) \quad \text{สำหรับท่อนกลมกลวง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

โดยที่ r รัศมีนอกของท่อนกลม

ในการที่จะใช้สมการ ... มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งผ่านกำลังมาตามเพลลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = T\omega = 2\pi nT$$

โดยที่ W_p คือกำลังงานเป็น W

T คือโมเมนต์บิดเป็น Nm

ω คืออัตราเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

n คือความเร็วรอบเป็น rev/s

สำหรับในระบบหน่วยอังกฤษซึ่งยังมีใช้กันอยู่จะบอกกำลังงานเป็นแรงม้า และคำนวณโมเมนต์บิดได้จาก

$$hp = \frac{Tn}{63000}$$

โดยที่ T คือโมเมนต์บิดเป็น in-lb

n คือความเร็วรอบเป็น rev/min

2.9 ความรู้เกี่ยวกับยางชนิดต่างๆ

2.9.1 ยาง NBR

ยาง NBR เป็นโคพอลิเมอร์ของ อะโครโลไนไตรล์ และบิวตาไดอีน ยางชนิดนี้มีความเป็นขั้วสูง ยางชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติเด่นคือทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ ได้ดี เนื่องจากยางชนิดนี้ประกอบด้วยสองส่วนคือสังที่ เป็น บิวตาไดอีน ซึ่งจะให้ความยืดหยุ่น และส่วนที่เรียกว่าอะไครโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนไตรล์ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำให้คุณสมบัติของยาง NBR เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ หากยังเพิ่มปริมาณ อะคริโลไนไทรล์ จะทำให้มีความทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น การกระเด็งกระดอนต่ำลง compression set น้อยลง อัตราการซึมผ่านก๊าซลดลง สมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำลดลง ความทนทานต่อความร้อนและโอโซนสูงขึ้น ความต้านทานการขูดขีดสูงขึ้น ความแข็งและความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ความหนาแน่นสูงขึ้น

คุณสมบัติทั่วไปของยาง NBR คือมีความยืดหยุ่น และความทนต่อแรงดึง และความเป็นฉนวนไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณภาพดังกล่าว คุณสมบัติเด่นหลายๆ ข้อ เช่น ความต้านทานต่อการขูดขีด ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ความทนทานต่อน้ำมันและสารเคมี นอกจากนี้ NBR ยังมีการซึมผ่านของก๊าซต่ำมาก อุณหภูมิการใช้งานอยู่ในช่วงประมาณ -40 - 100 องศาเซลเซียส

การใช้งานส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานที่ต้องสัมผัสน้ำมัน ทนทานต่อความร้อน และต้านทานต่อการขูดขีด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ประเก็นน้ำมัน ยางโอริง ยางซีล ยางเชื่อมข้อต่อ สายพานลำเลียง ท่อดูดหรือส่งน้ำมัน ท่อยางเสริมแรง ยางบุภาชนะ ยางเคลือบลูกกลิ้ง รองเท้าบูท พื้นและส้นรองเท้า เป็นต้น

2.9.2 ยาง CR

ยาง CR มีชื่อทางการค้าว่า นิโอพรีน เป็นยางที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีน ยางชนิดนี้มีการตกผลึกได้ ทำให้มีความทนทานต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขูดขีดสูง ยางชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 เกรด คือเกรดทั่วไป G, W และ T ยางเกรดพิเศษ คือ AC AD AG แลพ FB ใช้ทำกาวยาง ยางใช้เคลือบ และวัสดุอุดรอยรั่ว เป็นต้น

ยาง CR มีคุณสมบัติด้านการเหนียวติดดี มีการทนต่อแรงดึงและการฉีกขาดค่อนข้างสูง และเนื่องจากการมีคลอรีนอยู่ในโครงสร้างทำให้มีคุณสมบัติการดับไฟได้เอง (self-extinguish) การทนต่อสภาพอากาศ และความร้อน โอโซน และแสงแดดได้ดี ทนต่อการบวมพองในน้ำมันได้ปานกลางถึงดี ทนต่อการกรดหรือต่างเจือจางได้ดีกว่ายางธรรมชาติและยาง SBR แต่จะไม่ทนต่อน้ำมันเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ฟอสเฟตเอสเทอร์ ดีโตน อัลดีไฮด์ และตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน ที่มีวงแหวนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ การซึมผ่านของก๊าซต่ำกว่ายางธรรมชาติและยาง SBR แต่สูงกว่ายาง NBR และ ยาง IIR อุณหภูมิการใช้งานอยู่ระหว่าง -40 - 100 องศาเซลเซียส

เนื่องจากสมบัติการทนต่อการติดไฟ ทนต่อน้ำมัน สภาพอากาศ และโอโซน บางชนิดนี้จึงถูกนำมาใช้ในการผลิต ยางซีล ท่อยางเสริมแรง ยางพันลูกกลิ้ง สายพานลำเลียงในเหมืองแร่ สายพานรูปตัววี ยางกันกระแทก ยางบุพื้นรองเท้า ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา ยางรองคอสะพาน และยางปลอกสายเคเบิล

2.9.3 ยางธรรมชาติ (NR)

ยางธรรมชาติ (NR) หรือยางพาราได้จากการกรีดยางต้นยางพาราสายพันธุ์ *Hevea Braziliensis* ลักษณะของน้ำยางที่ได้เป็นสีขาวขุ่น มีเนื้อยางแห้งประมาณ 30% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นจะถูกนำไปปั่น

เหยียง ให้ได้เนื้อยางแห้ง 60% โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเรียกว่าน้ำยางข้น และมีการเติมแอมโมเนีย และสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้น หลังจากนั้นจะส่งออกสู่ตลาดเพื่อนำไปผลิต เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง จุกหัวนม เป็นต้น ส่วนยางแห้ง ได้จากการนำน้ำยางสดมาเติมกรด (กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดซัลฟูริก) ทำให้เกิดการจับตัวของน้ำยางเป็นก้อนแข็ง และแยกตัวออกจากน้ำ นำไปรีดด้วยลูกกลิ้ง อบรมควั่น เป็นเวลา 2-3 วัน ยางที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ยางแผ่นรมควั่น นอกจากนี้ยังมียางเครฟ ซึ่งได้จากการนำเศษยาง ไปรีดในเครื่องเครฟ และนำสิ่งสกปรกต่างๆ ออก ยางชนิดนี้จะมีสีเข้มจำเป็นต้องใส่สารฟอกสี เพื่อให้ยางมีสีขาวขึ้น ยางแท่ง เป็นยางแผ่นรมควั่น และยางเครฟ ที่ถูกนำมาจัดแบ่งเกรดจาก ปริมาณเถ้า คำนึงความอ่อนตัว ตามมาตรฐานยางแท่ง

คุณสมบัติของยางธรรมชาติ คือ มีความยืดหยุ่นสูง มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการเหนียวติดกัน มีความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องเติมสารเสริมแรง มีความทนต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง มีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง มีความต้านทานต่อการขูดสูง มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก ยางดิบละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เนื่องจากตัวยางดิบไม่มีขี้ และไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม แต่จะทนต่อของเหลวที่มีขี้ เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังทนต่อกรด และด่างอ่อน แต่จะไม่ทนต่อกรดและด่างเข้มข้น ไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ไม่ทนต่อโอโซน การกระเด็งกระดอนสูง อุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -55 - 70 องศาเซลเซียส แต่หากเก็บไว้นานๆ จะทำให้ยางสูญเสียความยืดหยุ่นลง

2.9.4 ยาง IR

ยาง IR เป็นยางสังเคราะห์ จากมอนอเมอร์ของไอโซพรีน โดยใช้ตัวเร่ง Ziegler-Natta โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ยางชนิดนี้ถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "Synthetic natural rubber" เนื่องจากยางนี้มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ไม่แตกต่างจากยางธรรมชาติมากนัก แต่คุณสมบัติความทนต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดต่ำกว่าเล็กน้อย ข้อดีของยาง IR คือ มีสีขาว สิ่งเจือปนน้อย คุณภาพคงที่ ส่วนมากใช้ผลิตจุกนม และอุปกรณ์การแพทย์

2.9.5 ยาง SBR

ยาง SBR เกิดจากการโคพอลิเมอไรเซชัน ระหว่าง สไตรีน และบิวตาไดอีน แบบอิมัลชัน เป็นยางสังเคราะห์ที่สำคัญ และใช้กันแพร่หลายที่สุดในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากยางชนิดนี้ราคาไม่แพง และมีคุณสมบัติเด่นในด้านต่าง ๆ นอกจากนี้ยาง SBR มีการหดตัวน้อย ง่ายต่อการขึ้นรูปในวิธีต่างๆ เช่น การขึ้นรูปด้วยคาเลนเดอร์ หรือการเอ็กทรูด ทำให้ผิวเรียบ ยาง SBR ยังแบ่งเป็น 5 เกรด ตามน้ำหนักโมเลกุล และกระบวนการผลิต ตามมาตรฐานสากล ซึ่งทำให้ยาง SBR มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป

ยาง SBR มีสมบัติความเหนียวติดกัน จำเป็นต้องใช้สารทำให้เพิ่มการเหนียวติดในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดเช่น ยางรถยนต์ ความยืดหยุ่นต่ำกว่ายางธรรมชาติ และถ้ายาง SBR มีเปอร์เซ็นต์ styrene สูงจะยิ่งทำให้ความยืดหยุ่นต่ำลง ความทนทานต่อแรงดึงต่ำ ความทนทานต่อแรงฉีกขาด การต้านทานต่อการขูดฉุด ความทนต่อการเสื่อมสภาพ เมื่อโดนความร้อน แสงแดด ออกซิเจน และโอโซน ต่ำกว่ายางธรรมชาติ แต่หากเติมสารเสริมแรงหรือ สารเสริมประสิทธิภาพจะทำให้คุณสมบัติต่างดีเทียบเท่ากับยางธรรมชาติ ยาง SBR ทนน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนต่ำ เนื่องจากเป็นยางที่ไม่มีขี้ผึ้ง แต่จะทนต่อกรด และด่างเจือจาง แอลกอฮอล์ น้ำ ไกลคอล เกลือ และน้ำมันซิลิโคนได้เป็นอย่างดี ยางชนิดนี้มีความเป็นฉนวนสูงแต่จะมีการกระเด็นกระดอนต่ำกว่ายางธรรมชาติ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งาน ตั้งแต่ -50 - 100 องศาเซลเซียส

SBR ถูกนำไปผลิตเป็น สายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น

2.9.6 ยาง BR

ยาง BR เกิดจากการทำ พอลิเมอร์ไรเซชันของ บิวตาไดอีนทำให้มีการจัดตัวหลายแบบ ยางชนิดนี้มีความยืดหยุ่นสูงมาก ทำให้มีการกระเด็นกระดอนสูงที่สุดในบรรดาทั้งหมด นอกจากนี้ยาง BR ยังมีคุณสมบัติดีมากในด้านความต้านทานต่อการขูดฉุด ความทนทานต่อแรงดึง การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ และสมบัติเชิงพลวัตหมายถึงเกิดการสะสมความร้อนขณะใช้งานต่ำ แต่จุดด้อยของยางชนิดนี้คือ ไม่ทนต่อสถานะที่มีออกซิเจน โอโซน หรือแสงแดด ต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกันการการเสื่อมสภาพ ส่วนการทนทานต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้งใกล้เคียงกับ SBR อุณหภูมิการใช้งานอยู่ที่ -70 - 75 องศาเซลเซียส

กว่าร้อยละ 90 ของ ยาง BR จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยางล้อสายพานลำเลียง ยางกันกระแทก สายพานส่งกำลัง ยางกันสะเทือน

2.9.7 ยาง EPDM

ยาง EPDM ได้จากการทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างมอนอเมอร์ของเอทิลีนกับโพรพิลีน จะได้เป็น EPM ซึ่งไม่มีส่วนที่ไม่อิ่มตัว (ไม่มีพันธะคู่) หลังจากนั้นมีการทำปฏิกิริยาเติมไดอีนลงไปเล็กน้อยเพื่อให้มีส่วนที่ไม่อิ่มตัวอยู่ในโมเลกุล ยางชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติเด่นในด้านความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพจาก แสงแดด ออกซิเจน ความร้อน โอโซน และสารเคมี

ยาง EPDM มีความยืดหยุ่นสูง แต่มีการทนต่อแรงดึงค่อนข้างต่ำ ต้องเติมสารเสริมแรง มีการทนต่อการฉีกขาดสูงโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง compression set ต่ำมาก มีสมบัติเชิงพลวัตดีมาก มีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง การทนต่อการเสื่อมสภาพอากาศ เช่น ออกซิเจน โอโซน แสงแดด ความร้อนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังทนต่อสารเคมี กรด และด่าง ได้ดีอีกด้วย แต่ EPDM เป็นยางที่ไม่มีขี้ผึ้ง จึงไม่ทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้ง แต่ทนทานต่อน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ได้ปานกลาง แต่ไม่ทนต่อตัวทำ

ละลายที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงมาก ดังนั้นจึงมีความเป็นฉนวนสูง การหักงอที่อุณหภูมิต่ำคือ อุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -40 - 150 องศาเซลเซียส

ยาง EPDM ส่วนมากใช้ในการผลิตยางชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ยางขอบหน้าต่าง ยางขอบประตู แก้มยางรถยนต์ ท่อยางของหม้อน้ำรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้เป็นท่อยางของเครื่องซักผ้า สายพานลำเลียง แผ่นยางกันน้ำ แผ่นยางมุงหลังคา ฉนวนหุ้มสายเคเบิล เป็นต้น

2.9.8 ยาง (X)IIR

ยาง XIIR เกิดจากการทำปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน ระหว่างยางอีวีทีลกับก๊าซคลอรีน หรือก๊าซโบรมีน ยางชนิดนี้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำกว่า มีความทนทานต่อโอโซน ความร้อน สภาพอากาศ และสารเคมีต่างๆ ได้ดี

ยางฮาโลอีวีทีลนิยมใช้ในการผลิตยางโอริงหรือปะเก็น ท่อไอน้ำ ยางบุด้านในของยางล้อแบบที่ไม่มียางใน สายพาน ยางบุต่างๆ และลูกบิดภาชนะทางเภสัชกรรม เช่น ลูกบิดขวดยา แต่ยางนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นยางปลอกหุ้มสายไฟฟ้าเนื่องจากยางชนิดนี้มีความเป็นฉนวนต่ำ



บทที่ 3

การออกแบบและดำเนินงาน

3.1 การออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์ทางกลศาสตร์

3.1.1 การออกแบบ

ในส่วนของการออกแบบนั้น ได้เลือกใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) เพราะสามารถสร้างแบบภาพ 3 มิติและสามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน โดยใช้คอสมอส เอ็กซ์เพรส (Cosmos Express)

3.1.2 โครงสร้างและการออกแบบเครื่องยิงลูกซอฟต์บอล

โครงสร้างหลักของเครื่องยิงลูกซอฟต์บอลถูกออกแบบโดยใช้ท่อเหล็กกลางหนา 4 มิลลิเมตร ในการเชื่อมประกอบเป็นขาตั้งเพื่อรับน้ำหนักในส่วนของอุปกรณ์ยิงลูก ในส่วนของอุปกรณ์ยิงลูกนั้น ใช้เหล็กเหนียวหนา 6 มิลลิเมตร ในการเชื่อมประกอบเป็นฐานยิงและในส่วนของข้อต่อต่าง ๆ นั้น ใช้แผ่นเหล็กหนา 4 มิลลิเมตร และเหล็กตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตร โดยแบ่งชิ้นงาน เป็น 8 ส่วน ดังนี้

3.1.2.1 ขาตั้ง

ขาตั้ง สร้างจากท่อเหล็กกลางหนา 4 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54, 30 และ 24 มิลลิเมตร เชื่อมประกอบกัน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นส่วนขาตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 ข้อต่อที่ 1

ข้อต่อที่ 1 ขึ้นรูปด้วยท่อเหล็กกลวงหนา 4 มิลลิเมตรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตรและแผ่นเหล็กหนา 4 มิลลิเมตร เชื่อมประกอบกัน แสดงดังรูปที่ 3.2 และเชื่อมประกอบกับชิ้นส่วนขาตั้ง แสดงดังรูป 3.3



รูปที่ 3.2 แสดงข้อต่อที่ 1

รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมประสานกันระหว่างข้อต่อที่ 1 กับ ขาตั้ง

3.1.2.3 ข้อต่อที่ 2

ข้อต่อที่ 2 ขึ้นรูปด้วยท่อเหล็กกลวงหนา 4 มิลลิเมตรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตรและแผ่นเหล็กหนา 4 มิลลิเมตร และเหล็กตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตรเชื่อมประกอบกัน แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังรูปที่ 3.4 การออกแบบ ข้อต่อที่ 2 ในรูปแบบนี้เพื่อให้เครื่องยิงลูกซอฟท์บอล สามารถยิงรูปใน รูปแบบลูกมุด (Drops Ball) ได้

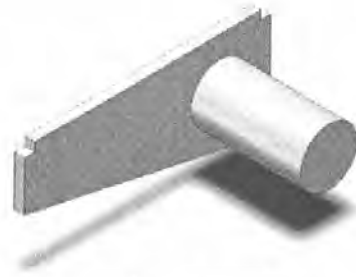


รูปที่ 3.5 แสดงฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์ยิงลูกบอล

3.1.2.5 ข้อต่อที่ 3

ข้อต่อที่ 3 ประกอบขึ้นโดยแผ่นเหล็กหนา 6 มิลลิเมตร และท่อเหล็กตันขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตร เชื่อมประกอบกัน แสดงผังรูปที่ 3.6 และเชื่อมประกอบกับฐานสำหรับประกอบ อุปกรณ์ยิงลูกบอล แสดงผังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ข้อต่อที่ 3



รูปที่ 3.7 แสดงข้อต่อที่ 3 เชื่อมประกอบกับฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์เชิงกลบอล

3.1.2.6 มอเตอร์

มอเตอร์เป็นมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ จำนวนรอบสูงสุด 2500 รอบต่อนาที กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ทำการยึดติดกับแผ่นเหล็กเหนียวหนา 6 มิลลิเมตรทำเป็นฝาเสื้อสำหรับเลื่อนซ้าย-ขวา บนฐานสำหรับประกอบอุปกรณ์เชิงกลบอล แสดงดังรูป 3.8

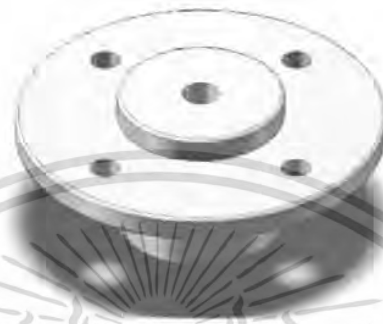


รูปที่ 3.8 แสดงมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ทำการยึดติดกับฝาเสื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.7 ตัวล๊อคมอเตอร์กับลูกกลิ้งเหล็ก

ตัวล๊อคมอเตอร์กับลูกกลิ้งเหล็ก กลิ้งจากเหล็กตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยาว 42 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงมอเตอร์ดีซี 24 โวลต์ทำการยึดติดกับฝาเสื้อ

3.1.2.8 ลูกกลิ้งเหล็กพร้อมลูกยางแข็ง

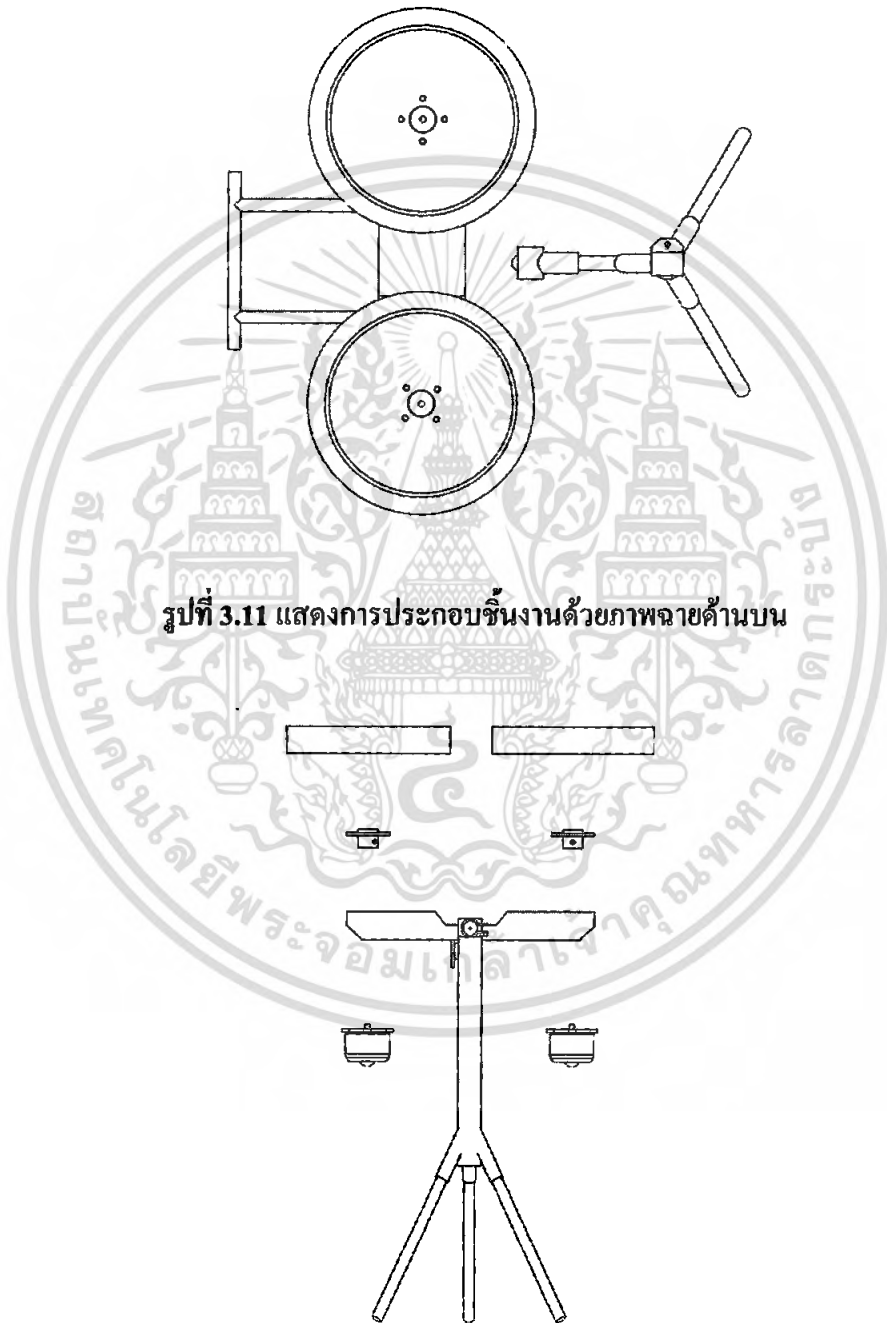
ลูกกลิ้งเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 320 มิลลิเมตร หนา 7 มิลลิเมตร สูง 60 มิลลิเมตร ยึดด้วยยางไนไตรล์ (NBR) สีดำหนา 30 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.10 เหตุผลที่เลือกใช้ยางไนไตรล์ (NBR) เพราะว่า มีความทนทานต่อความร้อนสูง ความต้านทานการขัดถูสูง ความหนาแน่นสูง ความแข็งและความทนทานต่อแรงดึงสูง



รูปที่ 3.10 ลูกกลิ้งเหล็กพร้อมลูกยางแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 การประกอบเครื่องยิงลูกซอฟต์บอล
 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ให้เป็นชิ้นงานนั้น ทำโดยการนำชิ้นส่วนทั้ง 8 มาประกอบกัน
 แสดงดังรูปที่ 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 และ 3.15



รูปที่ 3.11 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพฉายด้านบน

รูปที่ 3.12 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพฉายด้านหน้า

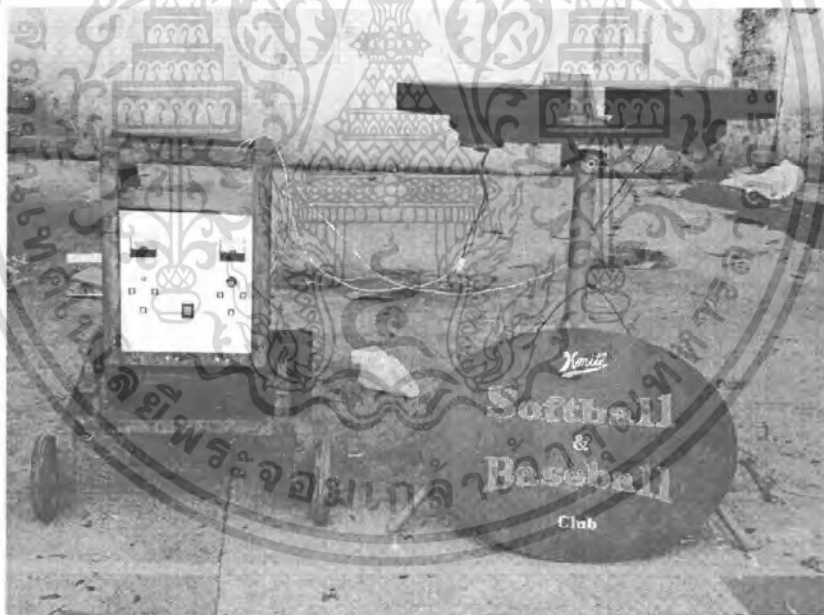
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 แสดงการประกอบชิ้นงานด้วยภาพไอโซเมตริก (Isometric View)





รูปที่ 3.15 แสดงการประกอบชิ้นงานที่ประกอบเรียบร้อย ด้วยภาพถ่ายไอโซเมตริก (Isometric View)



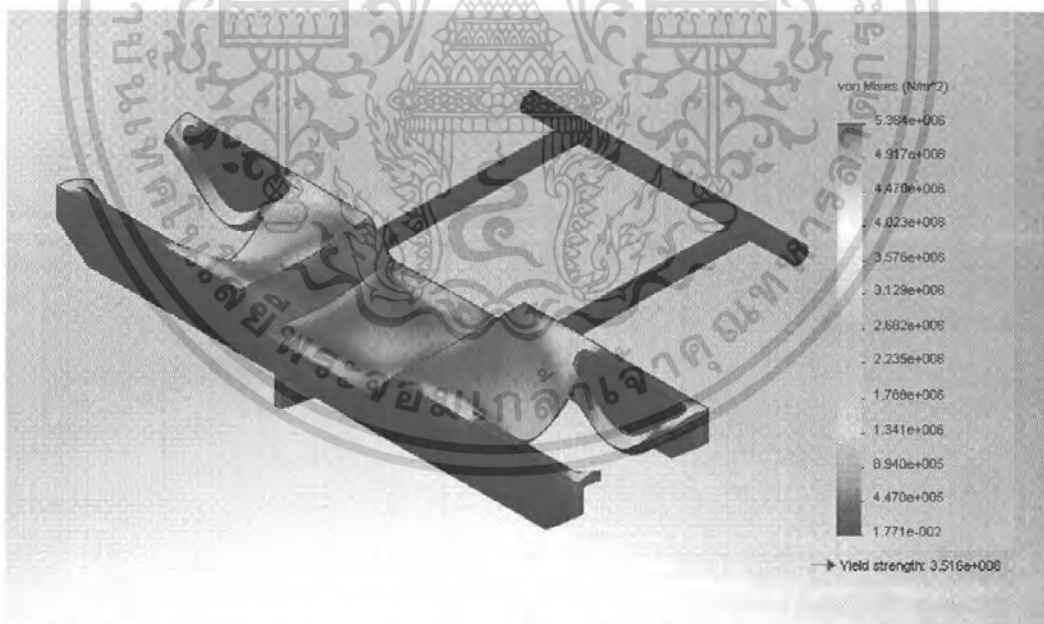
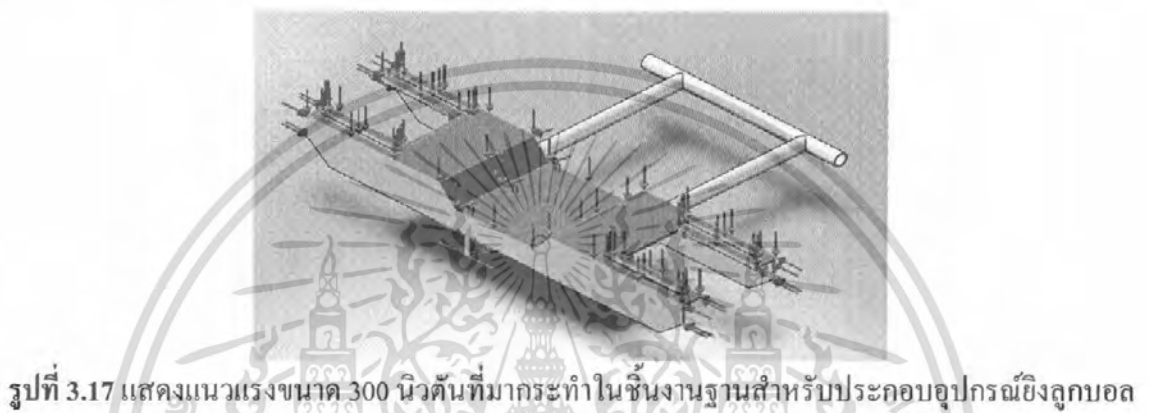
รูปที่ 3.16 แสดงการประกอบชิ้นงานที่ประกอบเรียบร้อย ด้วยภาพถ่ายจริง

3.1.4 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน

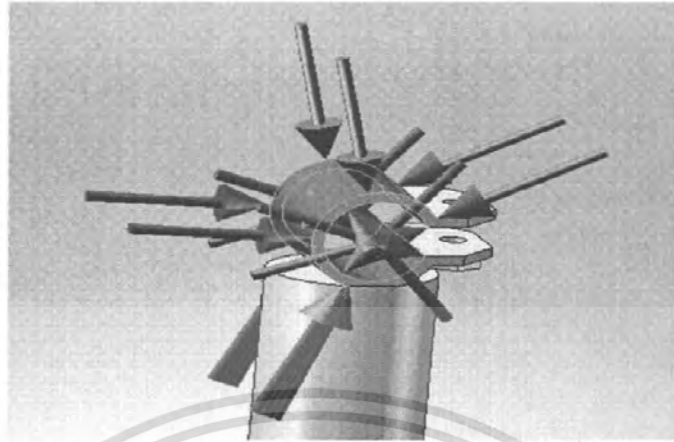
ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงานนั้น ทำโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เอ็กซ์เพรส (Cosmos Express) ซึ่งสามารถแสดงค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการกำหนดแรงที่จะมากระทำกับชิ้นงาน นั้นได้กำหนดให้มีแรงมากระทำกับชิ้นงานในตำแหน่งต่างๆ เท่ากับ 300 นิวตัน เพราะว่ามีน้ำหนักสูงสุดที่ชิ้นงานจะได้รับ คือในส่วนของ ข้อต่อที่ 1 และ ข้อต่อที่ 3 เท่ากับ 15 กิโลกรัม โดยชิ้นงานที่นำมาทดสอบโดย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เอ็กซ์เพรส (Cosmos Express) นั้นจะแสดงแนวแรงที่มากระทำต่อชิ้นงาน และความกระจายของค่าความเค้น แสดงดังรูปที่ 3.16 ถึงรูปที่ 3.26



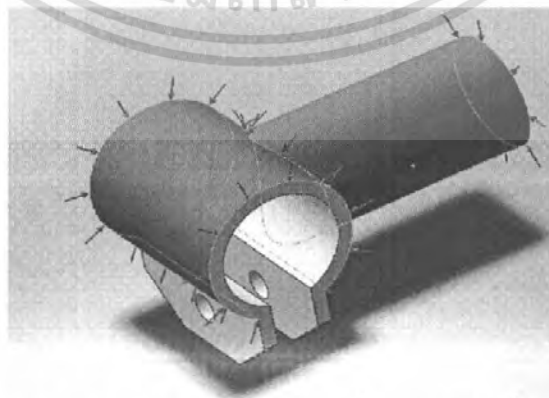
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากกระทำในชิ้นงานข้อต่อที่ 1

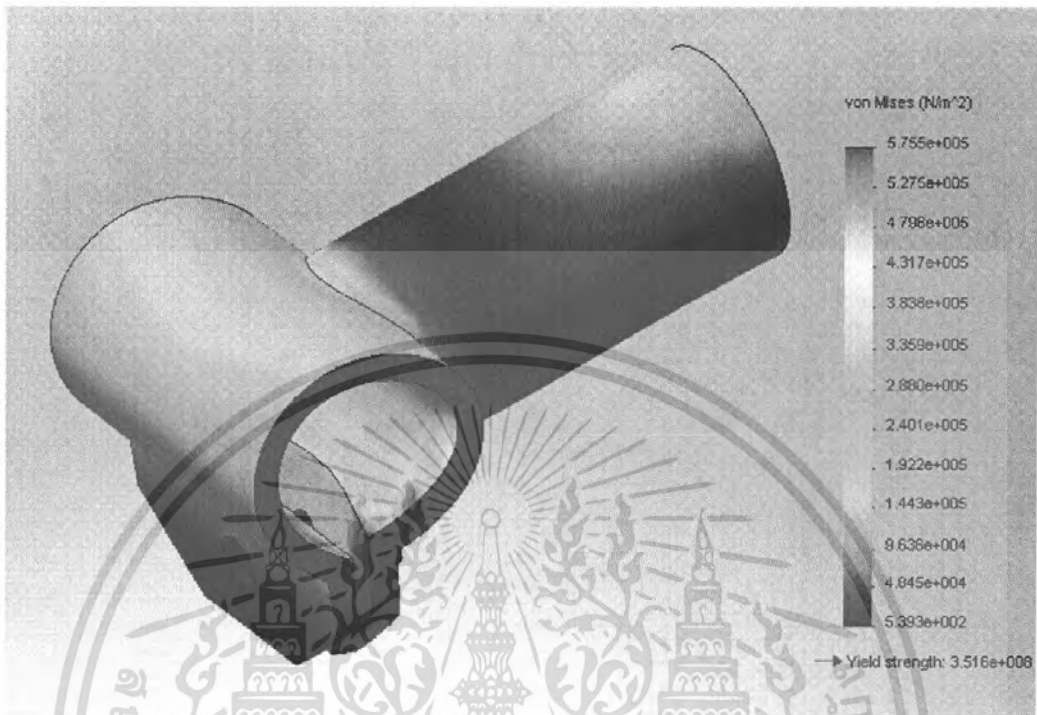


รูปที่ 3.20 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานข้อต่อที่ 1

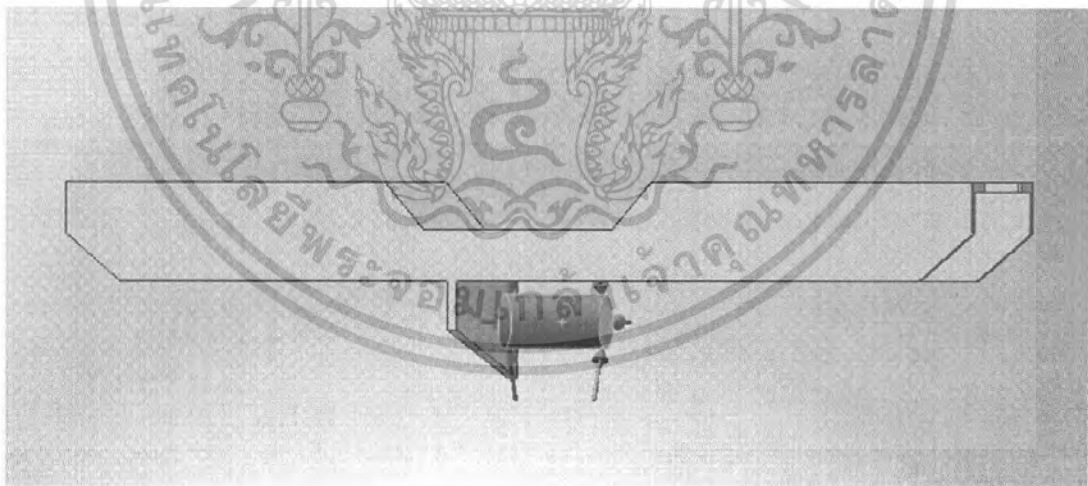


รูปที่ 3.21 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากกระทำในชิ้นงานข้อต่อที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

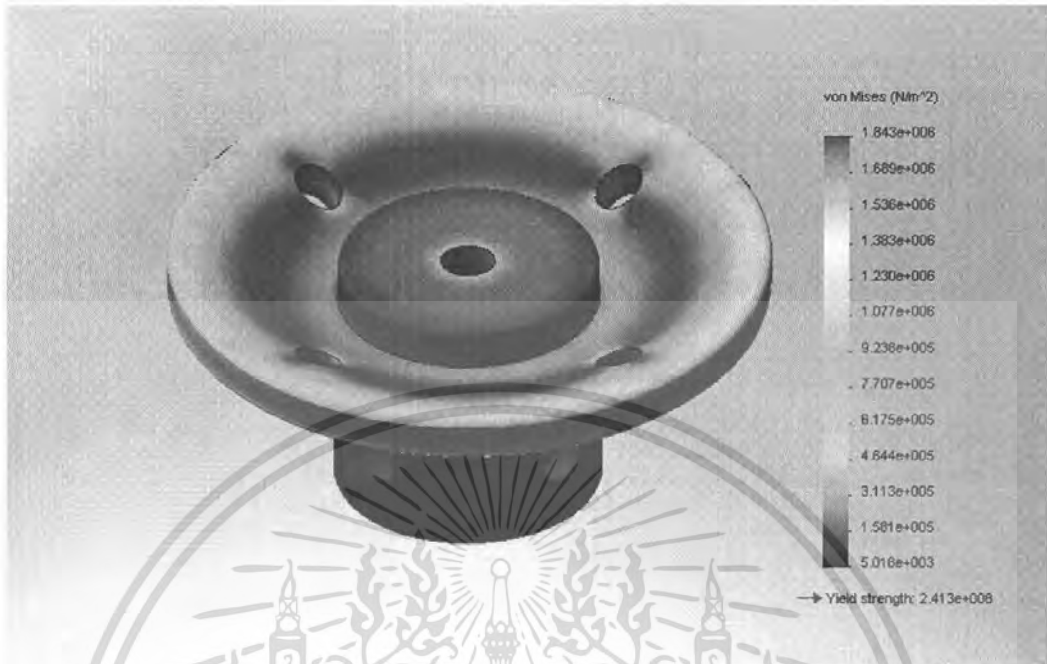


รูปที่ 3.22 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานข้อต่อที่ 2



รูปที่ 3.23 แสดงแนวแรงขนาด 300 นิวตันที่มากกระทำในชิ้นงานข้อต่อที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แสดงการกระจายของความเค้นบนชิ้นงานตัวล๊อคมอเตอร์กับลูกกลิ้งเหล็ก

3.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ใช้การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse width modulation (PWM) คือ เป็นเทคนิคการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ เช่น การนำไปใช้ในการควบคุมความเร็ว DC motor โดยการให้สัญญาณพัลส์ แล้วปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์เพื่อปรับความเร็วการหมุนของตัวมอเตอร์ โดยความถี่ของสัญญาณจะคงที่ตลอด

เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ซึ่งมีโมดูลสำหรับสร้างสัญญาณ PWM คือ โมดูล Capture/Compare/PWM หรือ โมดูล CCP 2 ชุด คือ CCP1(ขา RC2) และ CCP2 (ขา RC1) โดยโมดูล CCP แบ่งโหมดการทำงานได้ 3 โหมด คือ โหมดตรวจจับสัญญาณ Input Capture(เปรียบเทียบข้อมูล) Output Compare (และสร้างสัญญาณพัลส์ PWM) Output PWM(

การกำหนดหาความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ จากสมการ

$$\text{ความเร็วที่ผิวสัมผัส} = \text{ความเร็วรอบ} \times \text{ความยาวเส้นรอบวง}$$

$$\text{ตัวอย่าง ที่ความเร็ว } 80 \text{ MPH (128 km/Hour)} = (128 \times 1000) / 60$$

$$= 2133 \text{ m/min}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

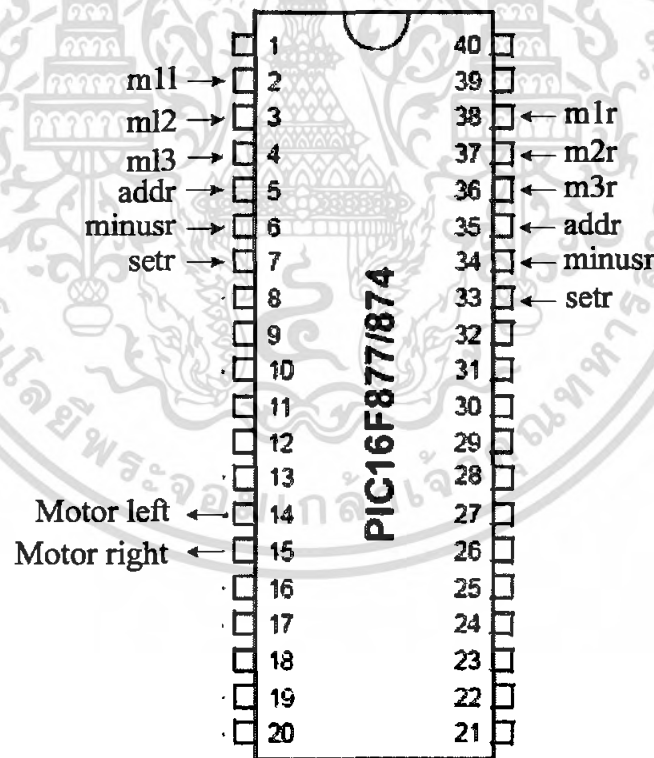
$$\begin{aligned}
 \text{Motor หมุน 1 รอบ ได้ระยะทาง เท่ากับ } \pi D &= \pi (0.38) \\
 &= 1.19 \text{ m} \\
 \text{ความเร็วของ motor} &= 2133/1.19 \text{ m/(minxm)} \\
 &= 1792 \text{ rpm} \\
 &= 1800 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Motor หมุน 2500 rpm ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 volt

$$\begin{aligned}
 \text{Motor หมุน 1800 rpm ใช้แรงดันไฟฟ้า } (24 \times 1800) / 2500 \\
 &= 17.28 \text{ volt} \\
 &= 17 \text{ volt}
 \end{aligned}$$

จากนั้นจึงนำไปคำนวณหา duty cycle คิดเป็น $(17 \times 100) / 24 = 70.83\%$

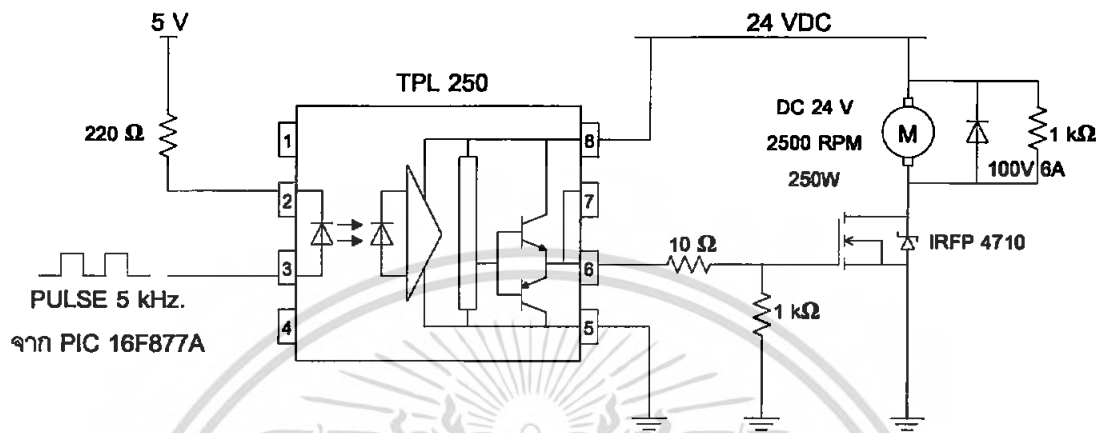
จากนั้นจึงนำไปเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้โมดูล CCP



รูปที่ 3.27 วงจร PIC 16F877A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 3.28 วงจร Drive motor

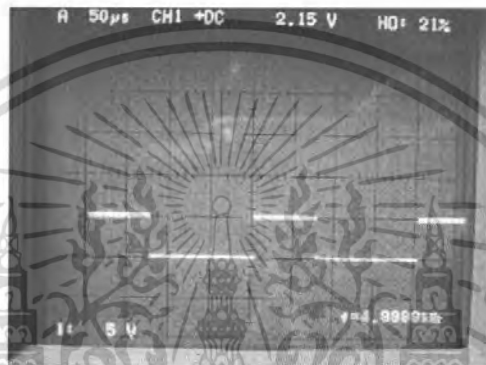
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

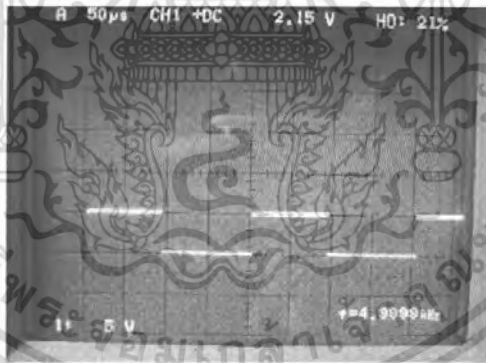
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการตรวจวัดสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์

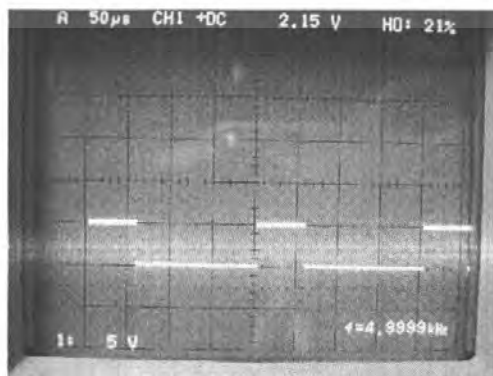
ได้ทำการวัดสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยการใช้ออสซิลอโคปได้สัญญาณดังรูป



รูปที่ 4.1 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็ว



รูปที่ 4.2 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็ว

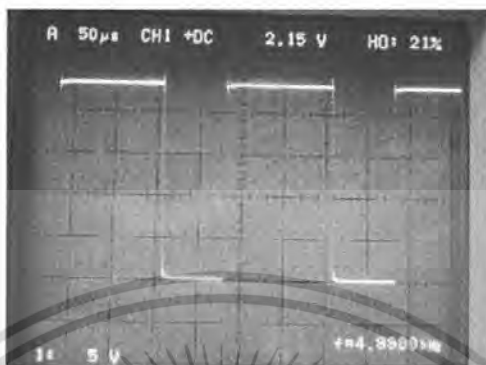


รูปที่ 4.3 สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็ว

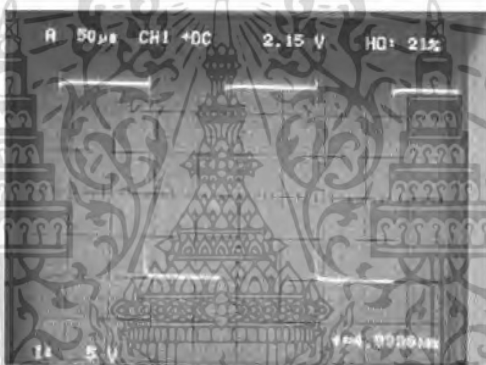
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขและระเบียบข้อบังคับด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการตรวจวัดสัญญาณจากมอสเฟตกำลัง

ได้ทำการวัดสัญญาณที่ขาเกทของมอสเฟตด้วยการใช้ออสซิลโลสโคปได้สัญญาณดังรูป



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่วัดได้ที่ขาเกทของมอสเฟตที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่วัดได้ที่ขาเกทของมอสเฟตที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

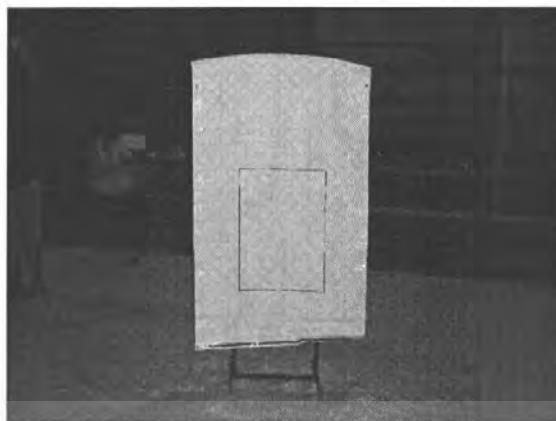
4.3 ผลการทดลองการวัดความเร็วลูกที่ยิงออกมาในระยะใช้งานจริง

4.3.1 การทดลองหาความเร็วและความแม่นยำของลูกตรง (fast ball) ที่ความเร็วระดับ 1, 2 และ 3

ทดสอบโดยการยิงลูกบอลจากเครื่องยิงลูกบอลไปที่เป้าหมายจำนวน 20 ลูก โดยเป้าหมายลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร โดยเป้าสูงจากพื้นดิน 60 เซนติเมตร (ขนาดของสไตรค์โซนตามกติกาการแข่งขันซอฟท์บอล) โดยระยะห่างระหว่างเครื่องยิงลูกบอล กับ เป้าคือ 5.4 เมตร ซึ่งคือระยะห่างระหว่างพิชเชอร์ และ ผู้ตีลูก ตามกติกาการแข่งขันซอฟท์บอล

การวัดความเร็วของลูกบอลนั้น วัดโดยใช้เครื่องวัดความเร็วแบบเรดาร์ของ JUGG ที่ใช้ในการวัดความเร็วของบอลในการแข่งกีฬาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เป้าที่ใช้ในการทดลองยิง



รูปที่ 4.7 เครื่องวัดความเร็วลูกบด



รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของการวางอุปกรณ์ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหาความเร็ว และความแม่นยำของลูกตรง (fast ball) ที่ระดับความเร็ว
ที่ 1, 2 และ 3

ครั้งที่	ความเร็วระดับ 1		ความเร็วระดับ 2		ความเร็วระดับ 3	
	ความเร็ว (ไมล์/ชม.)	ความ แม่นยำ (เข้า/ไม่เข้า)	ความเร็ว (ไมล์/ชม.)	ความ แม่นยำ (เข้า/ไม่เข้า)	ความเร็ว (ไมล์/ชม.)	ความ แม่นยำ (เข้า/ไม่เข้า)
1	54	เข้า	56	เข้า	58	เข้า
2	52	เข้า	57	เข้า	58	เข้า
3	52	เข้า	56	เข้า	57	เข้า
4	53	เข้า	54	เข้า	56	เข้า
5	54	ไม่เข้า	55	เข้า	58	ไม่เข้า
6	53	เข้า	55	เข้า	57	เข้า
7	53	เข้า	54	เข้า	57	เข้า
8	54	เข้า	55	เข้า	59	เข้า
9	54	เข้า	54	เข้า	55	เข้า
10	54	เข้า	54	เข้า	56	เข้า
11	52	เข้า	57	เข้า	57	เข้า
12	54	เข้า	55	เข้า	57	เข้า
13	53	เข้า	56	เข้า	56	เข้า
14	53	เข้า	56	เข้า	56	เข้า
15	52	เข้า	57	เข้า	57	เข้า
16	52	เข้า	54	เข้า	58	เข้า
17	53	เข้า	55	เข้า	58	เข้า
18	52	เข้า	54	เข้า	57	เข้า
19	54	เข้า	56	เข้า	57	เข้า
20	53	เข้า	54	เข้า	58	เข้า
เฉลี่ย	53.05	95%	55.20	100%	57.10	95%

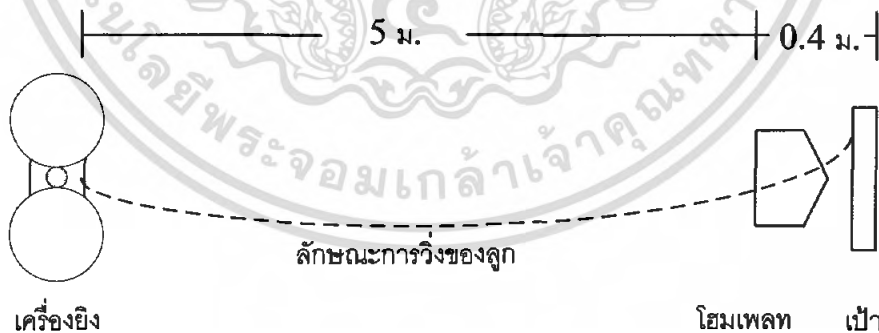
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต่างศักย์คร่อมมอเตอร์ทั้งสองที่ใช้ในทางทฤษฎีและการทดลอง

ระดับ ความเร็ว	มอเตอร์ซ้าย		มอเตอร์ขวา	
	ความต่างศักย์ที่ได้ จากการคำนวณ (โวลต์)	ความต่างศักย์ที่ได้ จากการทดลอง (โวลต์)	ความต่างศักย์ที่ได้ จากการคำนวณ (โวลต์)	ความต่างศักย์ที่ได้ จากการทดลอง (โวลต์)
ระดับที่ 1	15.06	13.4	15.06	13.4
ระดับที่ 2	17.21	15.0	17.21	15.0
ระดับที่ 3	19.36	16.5	19.36	16.5

โดยความต่างศักย์ที่ได้จากการคำนวณนั้นคำนวณโดยไม่คิดแรงเสียดทานและน้ำหนักของอุปกรณ์ และความต่างศักย์ที่ได้จากการทดลองนั้นวัดจากขั้วบวกและขั้วลบของมอเตอร์ในการทดลองที่ 4.3.1

4.3.2 การทดลองการหาความต่างศักย์ที่คร่อมขั้วมอเตอร์ทั้งสองตัว เพื่อให้ในการยิงลูกโค้ง การจะให้เครื่องยิงยิงลูกออกมาในลักษณะลูกโค้งนั้นทำได้โดยการยิงลูกบอลออกมาจากเครื่องยิงโดยมอเตอร์ทั้งสองมีความเร็วไม่เท่ากัน ดังนั้นเราจึงทำการทดลองเพื่อหาความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองข้าง เพื่อให้ได้ลูกที่ยิงออกมาเป็นวิถีโค้งและเข้าเป้าตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยการทดลองนี้กำหนดให้เป็นลูกโค้งซ้าย มอเตอร์ขวาต้องหมุนเร็วกว่า



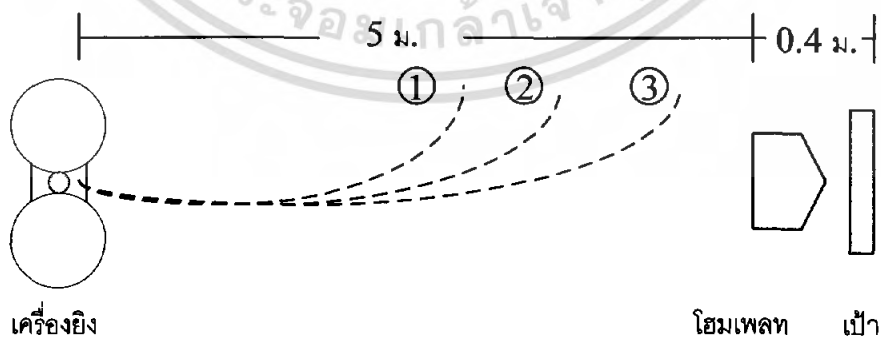
รูปที่ 4.9 แสดงการตั้งอุปกรณ์ และ วิถีลูกที่ต้องการ

รายละเอียด ยิงลูกบอลจากเครื่องยิงไปกระทบครึ่งซีกซ้ายของเป้า จำนวน 10 ลูก ดังรูปที่ 4.10 โดยลูกที่จะยิงออกมาต้องเป็นลูกวิถีโค้งซ้าย และวิ่งผ่าน โคมเพลทก่อนกระทบเป้า ซึ่งการกำหนดความเร็วมอเตอร์นั้นกำหนดจากค่าความต่างศักย์คร่อมขั้วมอเตอร์ขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

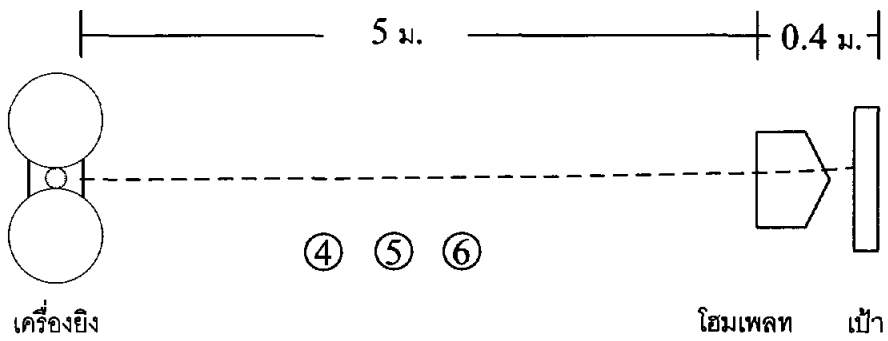
ตารางที่ 4.3 แสดงการทดลองหาค่าความต่างศักย์คร่อมขั้วมอเตอร์ทั้งสองเพื่อหาค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสม

การทดลองที่	ความต่างศักย์คร่อมมอเตอร์ ขวา	ความต่างศักย์คร่อมมอเตอร์ ซ้าย	ผลการทดลอง
1	13.4	0	ลูกเลื่อนไปทางซ้ายมาก ไปตกพื้นที่ระยะห่างจากเครื่องยิงประมาณ 3 เมตร
2	15.0	0	ลูกเลื่อนไปทางซ้ายมาก ไปตกพื้นที่ระยะห่างจากเครื่องยิงประมาณ 3.7 เมตร
3	16.5	0	ลูกเลื่อนไปทางซ้ายมาก ไปตกพื้นที่ระยะห่างจากเครื่องยิงประมาณ 4.5 เมตร
4	13.4	15.0	ลูกยิงเข้าเป้าเป็นแนวตรง แต่ลักษณะการหมุนเป็นแบบลูกโค้ง
5	13.4	16.5	ลูกยิงเข้าเป้าเป็นแนวตรง แต่ลักษณะการหมุนเป็นแบบลูกโค้ง
6	15.0	16.5	ลูกยิงเข้าเป้าเป็นแนวตรง แต่ลักษณะการหมุนเป็นแบบลูกโค้ง
7	13.4	7.5	ลูกโค้งซ้ายเข้าเป้า อยู่ในแนวโฮมเฟลต
8	15.0	7.5	ลูกโค้งซ้ายเข้าเป้า อยู่ในแนวโฮมเฟลต
9	16.5	7.5	ลูกโค้งซ้ายเข้าเป้า อยู่ในแนวโฮมเฟลต

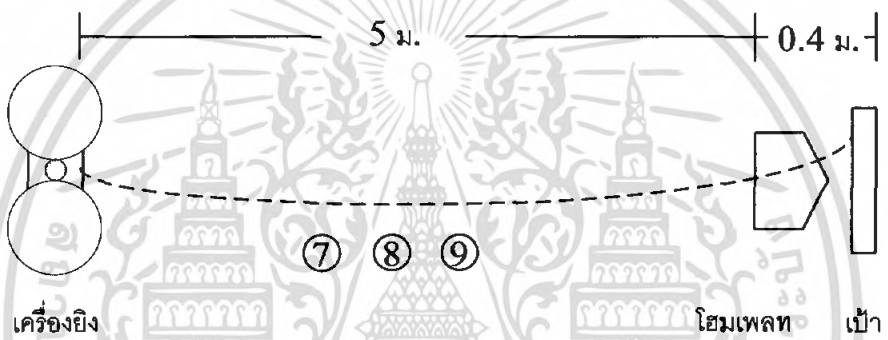


รูปที่ 4.10 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกในแนวแกน X ของการทดลองที่ 1,2,3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกในแนวแกน X ของการทดลองที่ 4,5,6



รูปที่ 4.12 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกในแนวแกน X ของการทดลองที่ 7,8,9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบเครื่องยิงลูกซอฟท์บอล ที่ใช้สำหรับทำการฝึกซ้อมจริงที่มีการควบคุมโดยใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเครื่องยิงลูกซอฟท์บอลสามารถยิงลูกบอลออกมาในลักษณะลูกตรง ลูกโค้ง ที่ความเร็ว 3 ระดับ

การทดลองเพื่อศึกษาหาความสามารถของเครื่องยิงลูกซอฟท์บอล ได้แบ่งออกเป็นสองการทดลอง โดยการทดลองแรกได้ทดลองวัดความเร็วลูกจากความเร็วทั้งสามระดับ ซึ่งทดลองโดยการยิงจริงซ้ำหลายๆครั้งเพื่อหาผลเฉลี่ย การทดลองที่สองเป็นการทดลองยิงลูกโค้ง โดยทำการทดลองโดยจ่ายความต่างศักย์คร่อมขั้วมอเตอร์ทั้งสองข้างมีขนาดต่างกันและทำการยิงลูกออกมา

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องยิงลูกซอฟท์บอลสามารถที่จะยิงลูกบอล ออกมาได้ทั้งสองลักษณะคือ ลูกโค้งและลูกตรง ตามที่ต้องการ

5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางแก้ปัญหา

ความเร็วของลูกบอลที่ออกมานั้น ได้ไม่เท่ากับที่คำนวณตามทฤษฎี เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างจะมีน้ำหนักมากซึ่งทำให้มอเตอร์ที่ใช้รับโหลดสูง ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมมอเตอร์จึงลดลงน้อยกว่าที่คำนวณไว้ทำให้ได้ความเร็วไม่ตามที่ต้องการ

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. เปลี่ยนลูกกอล์ฟเหล็กพร้อมยางแข็ง มาเป็นยางรมอเตอร์ไซด์เวสป้า เนื่องจากมีขนาดเบากว่า ลูกกอล์ฟเหล็กแบบเดิม และยางมีความเสียดทานมากกว่า ทำให้สามารถปล่อยลูกได้ดีกว่า
2. ออกแบบในส่วนของข้อต่อที่ 3 ให้มีความแข็งแรงมากกว่านี้
3. ออกแบบที่ปล่อยลูกบอลอัตโนมัติ
4. ออกแบบหน้าจอบอกแสดงผลความเร็วของลูกที่ยิงออกมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราชีรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. 2549
- [2] ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร. เอกสารประกอบวิชา กลศาสตร์เครื่องจักรกล. 2546
- [3] ประจัน พลังสันติกุล. PIC Works Examples and C Source Code. กรุงเทพมหานคร : บริษัท แอปซอพท์เทค จำกัด. 2537
- [4] เศรษฐี มณีธรรม, สำเริง เต็มราม. คัมภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Microcontroller PIC). กรุงเทพมหานคร : เกทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์. 2549



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <16F877A.h>

#use delay(clock=4000000)

#fuses XT,NOWDT

#define m1l  PIN_A0
#define m2l  PIN_A1
#define m3l  PIN_A2
#define addl  PIN_A3
#define minl  PIN_A4
#define setl  PIN_A5

#define m1r  PIN_B0
#define m2r  PIN_B1
#define m3r  PIN_B2
#define addr  PIN_B3
#define minr  PIN_B4
#define setr  PIN_B5

#define motor_left  PIN_C1
#define motor_right  PIN_C2

int8 mphl,mphr;
int8 check_setl,check_setr;
int8 check_speedl,check_speedr;

void dutyr()
{
    switch(mphr)
    {
        case 60 : set_pwm2_duty(91); break;
        case 61 : set_pwm2_duty(90); break;
        case 62 : set_pwm2_duty(88); break;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 63 : set_pwm2_duty(86); break;
case 64 : set_pwm2_duty(84); break;
case 65 : set_pwm2_duty(82); break;
case 66 : set_pwm2_duty(81); break;
case 67 : set_pwm2_duty(79); break;
case 68 : set_pwm2_duty(77); break;
case 69 : set_pwm2_duty(75); break;
case 70 : set_pwm2_duty(74); break;
case 71 : set_pwm2_duty(72); break;
case 72 : set_pwm2_duty(70); break;
case 73 : set_pwm2_duty(68); break;
case 74 : set_pwm2_duty(66); break;
case 75 : set_pwm2_duty(65); break;
case 76 : set_pwm2_duty(63); break;
case 77 : set_pwm2_duty(61); break;
case 78 : set_pwm2_duty(59); break;
case 79 : set_pwm2_duty(57); break;
case 80 : set_pwm2_duty(56); break;
case 81 : set_pwm2_duty(54); break;
case 82 : set_pwm2_duty(52); break;
case 83 : set_pwm2_duty(50); break;
case 84 : set_pwm2_duty(48); break;
case 85 : set_pwm2_duty(47); break;
case 86 : set_pwm2_duty(45); break;
case 87 : set_pwm2_duty(43); break;
case 88 : set_pwm2_duty(41); break;
case 89 : set_pwm2_duty(39); break;
case 90 : set_pwm2_duty(38); break;
case 91 : set_pwm2_duty(36); break;
case 92 : set_pwm2_duty(34); break;
case 93 : set_pwm2_duty(32); break;
```

```
case 94 : set_pwm2_duty(30); break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 95 : set_pwm2_duty(29); break;
case 96 : set_pwm2_duty(27); break;
case 97 : set_pwm2_duty(25); break;
case 98 : set_pwm2_duty(23); break;
case 99 : set_pwm2_duty(22); break;
case 100 : set_pwm2_duty(20); break;
case 0 : set_pwm2_duty(199); break;
}
}

```

```

void duty1()
{
switch(mph1)
{
case 60 : set_pwm1_duty(91); break;
case 61 : set_pwm1_duty(90); break;
case 62 : set_pwm1_duty(88); break;
case 63 : set_pwm1_duty(86); break;
case 64 : set_pwm1_duty(84); break;
case 65 : set_pwm1_duty(82); break;
case 66 : set_pwm1_duty(81); break;
case 67 : set_pwm1_duty(79); break;
case 68 : set_pwm1_duty(77); break;
case 69 : set_pwm1_duty(75); break;
case 70 : set_pwm1_duty(74); break;
case 71 : set_pwm1_duty(72); break;
case 72 : set_pwm1_duty(70); break;
case 73 : set_pwm1_duty(68); break;
case 74 : set_pwm1_duty(66); break;
case 75 : set_pwm1_duty(65); break;
case 76 : set_pwm1_duty(63); break;
case 77 : set_pwm1_duty(61); break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 78 : set_pwm1_duty(59); break;
case 79 : set_pwm1_duty(57); break;
case 80 : set_pwm1_duty(56); break;
case 81 : set_pwm1_duty(54); break;
case 82 : set_pwm1_duty(52); break;
case 83 : set_pwm1_duty(50); break;
case 84 : set_pwm1_duty(48); break;
case 85 : set_pwm1_duty(47); break;
case 86 : set_pwm1_duty(45); break;
case 87 : set_pwm1_duty(43); break;
case 88 : set_pwm1_duty(41); break;
case 89 : set_pwm1_duty(39); break;
case 90 : set_pwm1_duty(38); break;
case 91 : set_pwm1_duty(36); break;
case 92 : set_pwm1_duty(34); break;
case 93 : set_pwm1_duty(32); break;
case 94 : set_pwm1_duty(30); break;
case 95 : set_pwm1_duty(29); break;
case 96 : set_pwm1_duty(27); break;
case 97 : set_pwm1_duty(25); break;
case 98 : set_pwm1_duty(23); break;
case 99 : set_pwm1_duty(22); break;
case 100 : set_pwm1_duty(20); break;
case 0 : set_pwm1_duty(199); break;
}
}

```

```

void speedr()
{
    check_speedr = (input_b() & 0x07);
    switch(check_speedr)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    case 0x07 : mphr = 0;
                dutyr();
                break;
    case 0x06 : mphr = 70;
                dutyr();
                break;
    case 0x05 : mphr = 80;
                dutyr();
                break;
    case 0x03 : mphr = 90;
                dutyr();
                break;
    case 0x00 : mphr = 0;
                dutyr();
                break;
    case 0x01 : mphr = 0;
                dutyr();
                break;
    case 0x02 : mphr = 0;
                dutyr();
                break;
    case 0x04 : mphr = 0;
                dutyr();
                break;
}
}

void speedl()
{
    check_speedl = (input_a() & 0x07);
    switch(check_speedl)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    case 0x07 : mphl = 0;
                dutyl();
                break;

    case 0x06 : mphl = 70;
                dutyl();
                break;

    case 0x05 : mphl = 80;
                dutyl();
                break;

    case 0x03 : mphl = 90;
                dutyl();
                break;

    case 0x00 : mphl = 0;
                dutyl();
                break;

    case 0x01 : mphl = 0;
                dutyl();
                break;

    case 0x02 : mphl = 0;
                dutyl();
                break;

    case 0x04 : mphl = 0;
                dutyl();
                break;

}
}

```

```

void manualr()

```

```

{

```

```

    int8 temp_setr,check_amr;

```

```

    temp_setr = input(setr);

```

```

    check_amr = (input_b() & 0x18);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงไว้ในเว็บไซต์หรือการปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (temp_setr == 1)
{
    switch(check_amr)
    {
        case 0x18 : break;

        case 0x10 : mphr = mphr+1;
                    if (mphr > 100)
                    { mphr = 100; }
                    dutyr();
                    break;

        case 0x08 : mphr = mphr-1;
                    if (mphr < 60)
                    { mphr = 60; }
                    dutyr();
                    break;

        case 0x00 : break;
    }
}
if (temp_setr == 0)
{
    check_setr = 1;
}
}

```

```

void manuell()
{
    int8 temp_setl,check_aml;
    temp_setl = input(setl);
    check_aml = (input_a() & 0x18);
    if (temp_setl == 1)
    {

```

```

        switch(check_aml)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    case 0x18 : break;
    case 0x10 : mphl = mphl+1;
                if (mphl > 100)
                    { mphl = 100; }
                duty1();
                break;
    case 0x08 : mphl = mphl-1;
                if (mphl < 60)
                    { mphl = 60; }
                duty1();
                break;
    case 0x00 : break;
}
}
if (temp_setl == 0)
{
    check_setl = 1;
}
}

```

```

void autor()
{
    int8 check_amr;
    check_amr = (input_b() & 0x18);
    switch(check_amr)
    {
        case 0x18 : speedr();
                    break;
        case 0x10 : check_setr = 0;
                    mphr = mphr+1;
                    if (mphr > 100)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        { mphr = 100; }
        dutyr();
        break;
    case 0x08 : check_setr = 0;
        mphr = mphr-1;
        if (mphr < 60)
            { mphr = 60; }
        dutyr();
        break;
    case 0x00 : check_setr = 0;
        break;
}
}

void autol()
{
    int8 check_aml;
    check_aml = (input_a() & 0x18);
    switch(check_aml)
    {
        case 0x18 : speedl();
            break;
        case 0x10 : check_setl = 0;
            mphl = mphl+1;
            if (mphl > 100)
                { mphl = 100; }
            dutyl();
            break;
        case 0x08 : check_setl = 0;
            mphl = mphl-1;
            if (mphl < 60)
                { mphl = 60; }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        duty1();
        break;
    case 0x00 : check_set1 = 0;
        break;
}
}

```

```

void main() {

```

```

    port_b_pullups(TRUE);
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(FALSE);
    setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_2);
    setup_timer_1(T1_INTERNAL,T1_DIV_BY_1);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,199,1);
    setup_ccp1(CCP_PWM);
    setup_ccp2(CCP_PWM);

```

```

    set_tris_A(0x3f);
    set_tris_B(0xff);
    set_tris_C(0x00);

```

```

    output_c(0x00);

```

```

    check_set1 = 1;

```

```

    check_setr = 1;

```

```

    while (true)

```

```

    {

```

```

        if ((check_setr==0) & (check_set1==0))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    manualr();
    manuell();
}
if((check_setr==0) & (check_setl==1))
{
    manualr();
    autol();
}
if((check_setr==1) & (check_setl==0))
{
    autor();
    manuell();
}
if((check_setr==1) & (check_setl==1))
{
    autor();
    autol();
}
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FR601 THRU FR607

6.0 AMPS. Fast Recovery Rectifiers



Voltage Range
50 to 1000 Volts
Current
6.0 Amperes

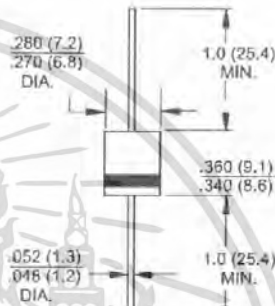
R-6

Features

- ✦ Low forward voltage drop
- ✦ High current capability
- ✦ High reliability
- ✦ High surge current capability

Mechanical Data

- ✦ Cases: Molded plastic
- ✦ Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- ✦ Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- ✦ Polarity: Color band denotes cathode end
- ✦ High temperature soldering guaranteed: 260°C/10 seconds/.375" (9.5mm) lead lengths at 5 lbs. (2.3kg) tension
- ✦ Weight: 1.65 grams



Dimensions in inches and (millimeters)

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	Symbol	FR601	FR602	FR603	FR604	FR605	FR606	FR607	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current .375" (9.5mm) Lead Length @ $T_A = 55^\circ C$	$I_{(AV)}$	6.0							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)	I_{FSM}	200							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 6.0A	V_F	1.2							V
Maximum DC Reverse Current @ $T_A = 25^\circ C$ at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 100^\circ C$	I_R	10 200							 uA
Maximum Reverse Recovery Time (Note 1)	T_{rr}	150				250	500		nS
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_j	80							pF
Typical Thermal Resistance (Note 3)	$R_{\theta JA}$	30							$^\circ C/W$
Operating Temperature Range	T_J	-65 to +150							$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 to +150							$^\circ C$

- Notes: 1. Reverse Recovery Test Conditions: $I_F = 0.5A$, $I_R = 1.0A$, $I_{RR} = 0.25A$
 2. Measured at 1 MHz and Applied Reverse Voltage of 4.0 Volts D.C.
 3. Mount on Cu-Pad Size 16mm x 16mm on P.C.B.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน - 416 - ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (FR601 THRU FR607)

FIG.1- MAXIMUM FORWARD CURRENT DERATING CURVE

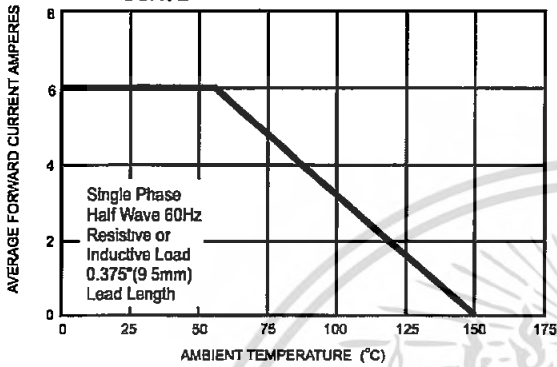


FIG.2- MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

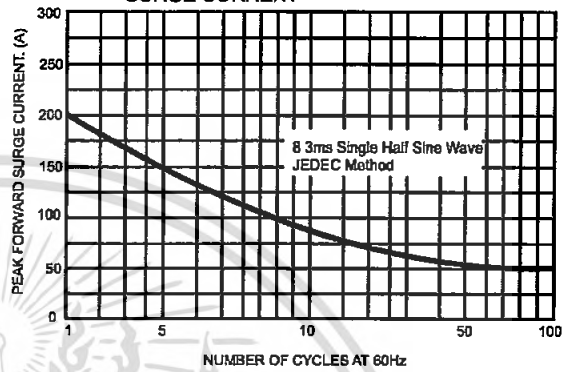


FIG.3- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

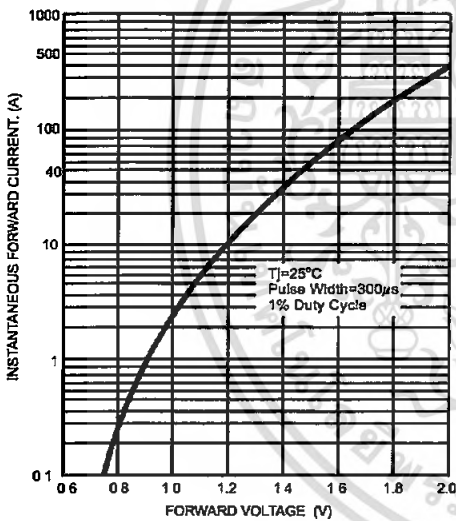


FIG.4- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

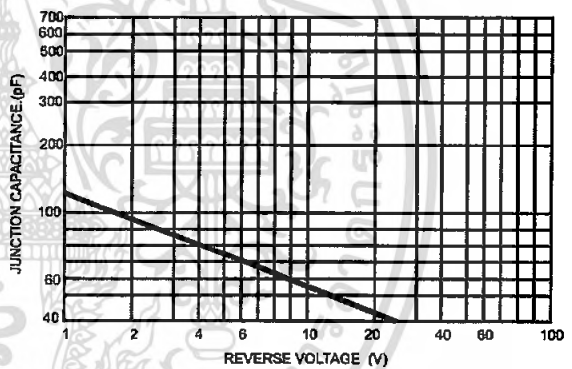
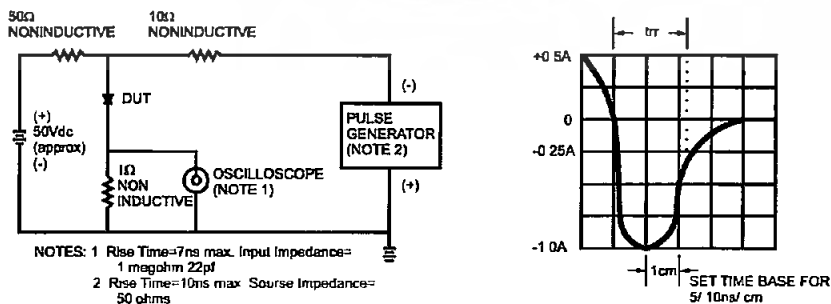


FIG.5- REVERSE RECOVERY TIME CHARACTERISTIC AND TEST CIRCUIT DIAGRAM



IRFP4710

HEXFET® Power MOSFET

Applications

- High frequency DC-DC converters
- Motor Control
- Uninterruptible Power Supplies

V_{DSS}	$R_{DS(on) \text{ max}}$	I_D
100V	0.014 Ω	72A

Benefits

- Low Gate-to-Drain Charge to Reduce Switching Losses
- Fully Characterized Capacitance Including Effective C_{OSS} to Simplify Design, (See App. Note AN1001)
- Fully Characterized Avalanche Voltage and Current



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	72	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	51	
I_{DM}	Pulsed Drain Current Φ	300	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	190	W
	Linear Derating Factor	1.2	W/ $^\circ\text{C}$
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt Φ	8.2	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.81	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

Notes ① through ⑤ are on page 8

www.irf.com

1

01/08/02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Static @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{(BR)DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 250μA
ΔV _{(BR)DSS/ΔT_J}	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1mA
R _{Ds(on)}	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	0.011	0.014	Ω	V _{GS} = 10V, I _D = 45A ⊕
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	3.5	—	5.5	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
I _{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	1.0	μA	V _{DS} = 95V, V _{GS} = 0V
		—	—	250		V _{DS} = 80V, V _{GS} = 0V, T _J = 150°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V _{GS} = -20V

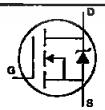
Dynamic @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
g _{fs}	Forward Transconductance	35	—	—	S	V _{DS} = 50V, I _D = 45A
Q _g	Total Gate Charge	—	110	170	nC	I _D = 45A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	—	43	—		V _{DS} = 50V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	40	—		V _{GS} = 10V,
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	35	—	ns	V _{DD} = 50V
t _r	Rise Time	—	130	—		I _D = 45A
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	41	—		R _G = 4.5Ω
t _f	Fall Time	—	38	—		V _{GS} = 10V ⊕
C _{iss}	Input Capacitance	—	6160	—	pF	V _{GS} = 0V
C _{oss}	Output Capacitance	—	440	—		V _{DS} = 25V
C _{riss}	Reverse Transfer Capacitance	—	250	—		f = 1.0MHz
C _{oss}	Output Capacitance	—	1580	—		V _{GS} = 0V, V _{DS} = 1.0V, f = 1.0MHz
C _{oss}	Output Capacitance	—	280	—		V _{GS} = 0V, V _{DS} = 80V, f = 1.0MHz
C _{oss eff.}	Effective Output Capacitance	—	430	—		V _{GS} = 0V, V _{DS} = 0V to 80V ⊕

Avalanche Characteristics

	Parameter	Typ.	Max.	Units
E _{AS}	Single Pulse Avalanche Energy⊕	—	190	mJ
I _{AR}	Avalanche Current⊕	—	45	A
E _{AR}	Repetitive Avalanche Energy⊕	—	20	mJ

Diode Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	72	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I _{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ⊕	—	—	300		
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T _J = 25°C, I _S = 45A, V _{GS} = 0V ⊕
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	74	110	ns	T _J = 25°C, I _F = 45A
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	—	180	260	nC	dI/dt = 100A/μs ⊕
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _S +L _D)				

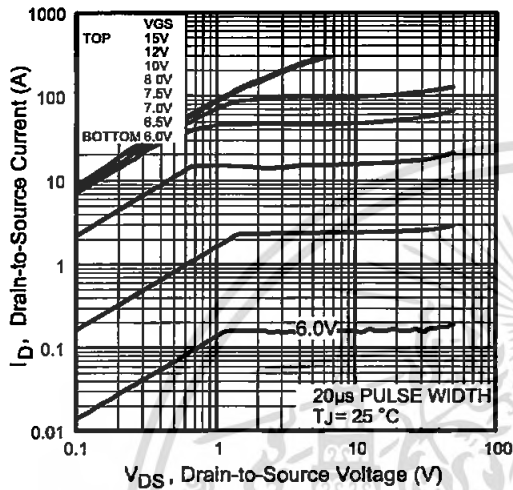


Fig 1. Typical Output Characteristics

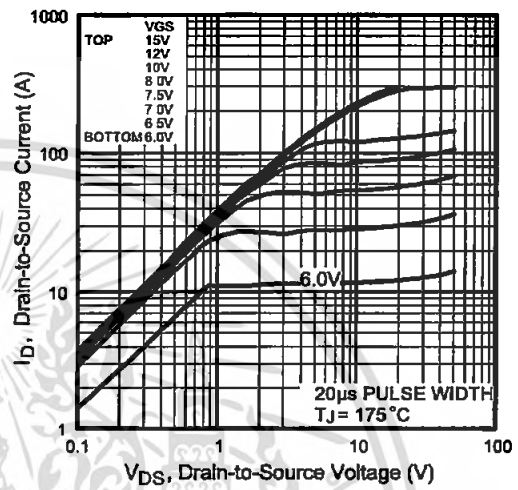


Fig 2. Typical Output Characteristics

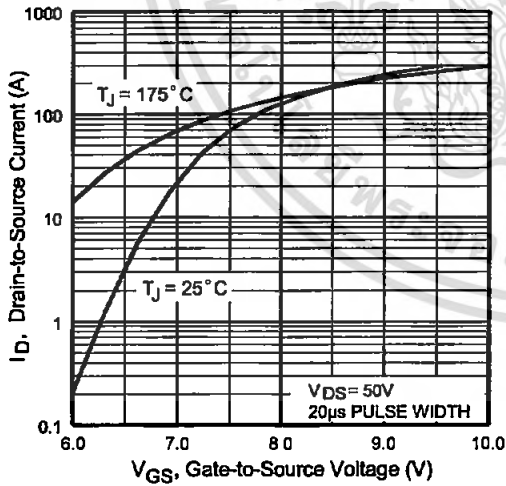


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

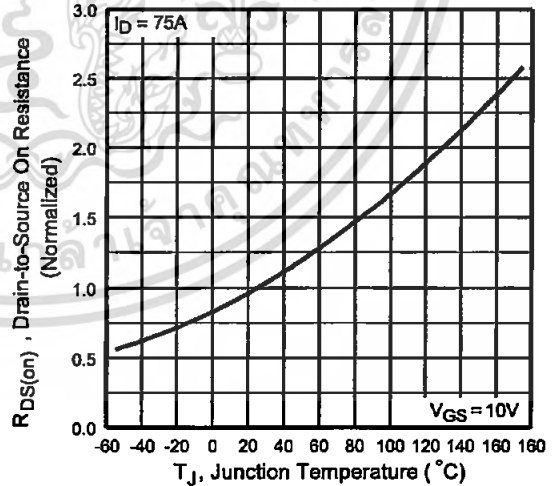


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

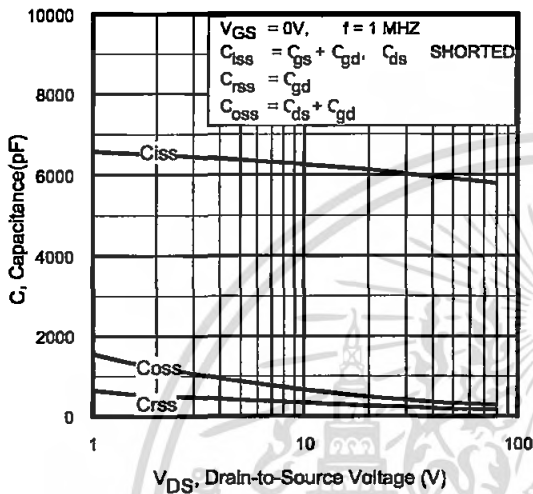


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

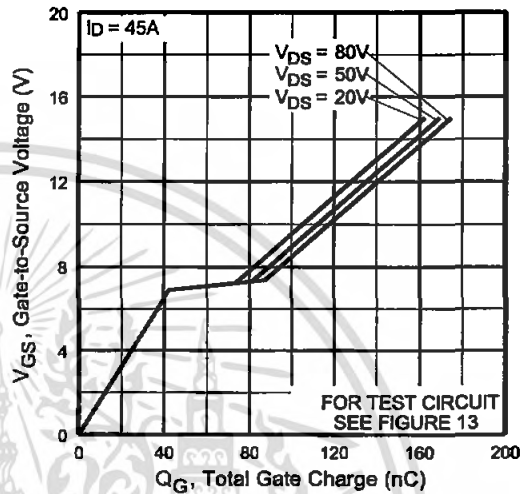


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

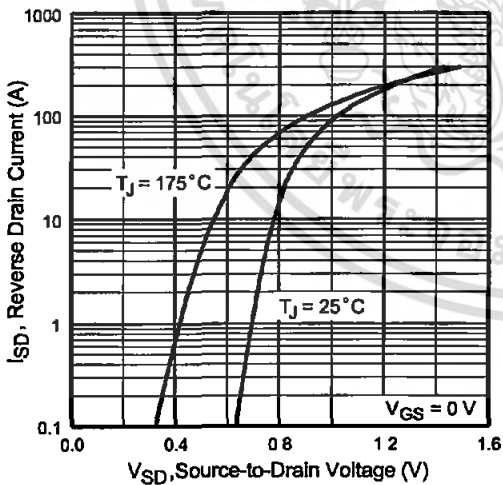


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

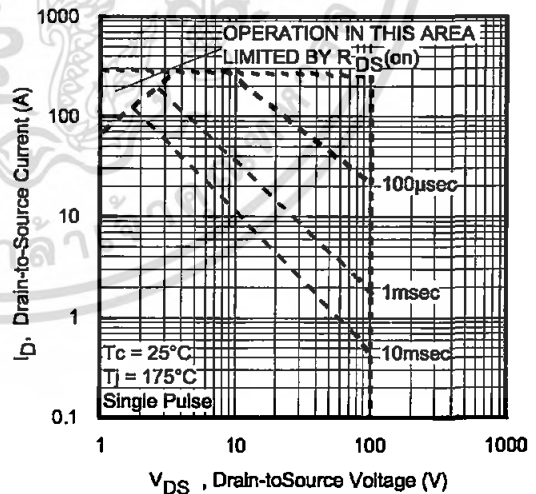


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

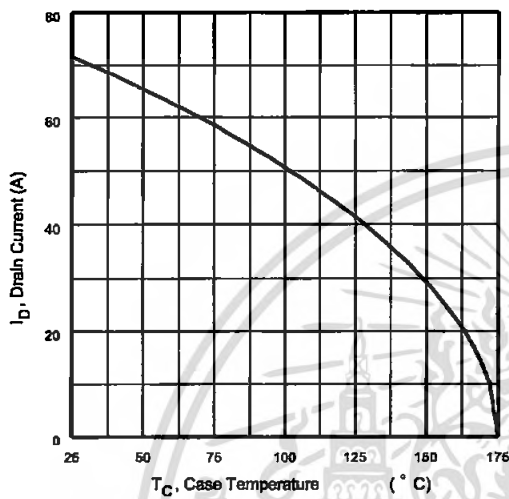


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

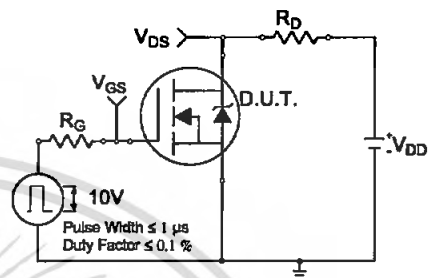


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

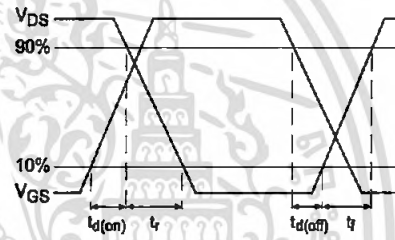


Fig 10b. Switching Time Waveforms

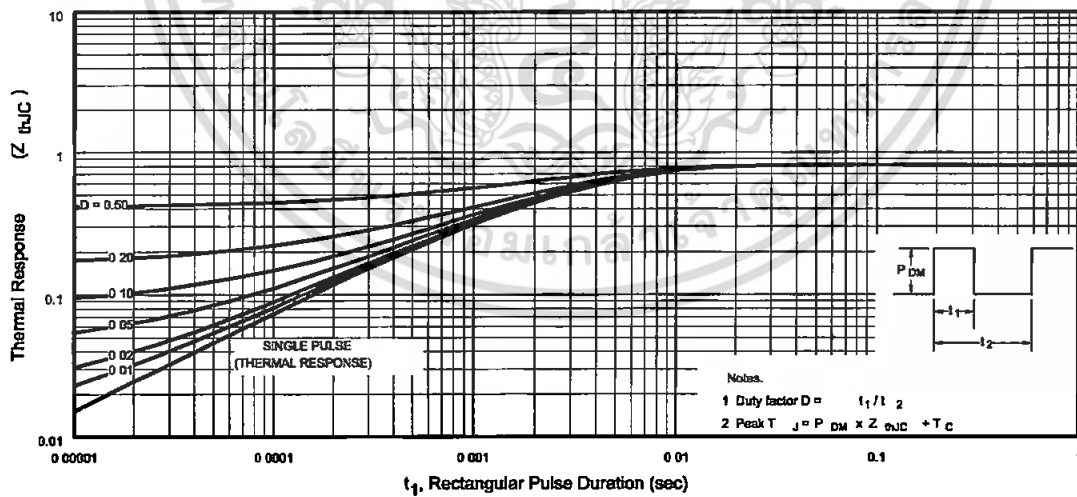


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

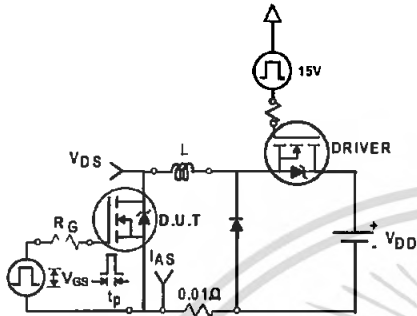


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

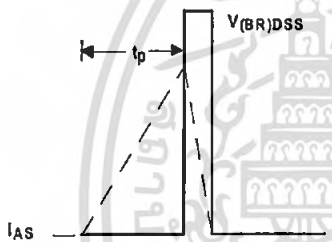


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

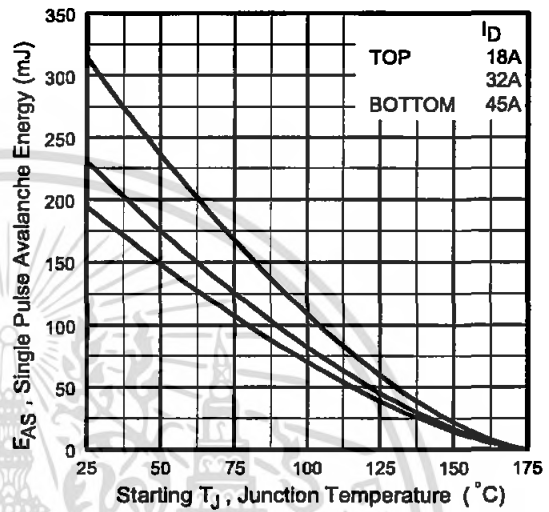


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

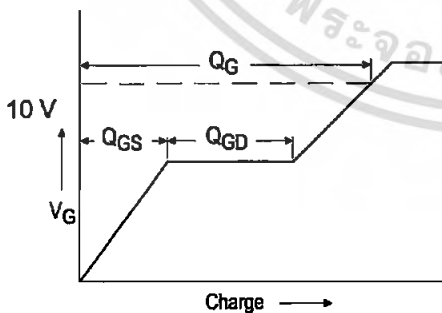


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

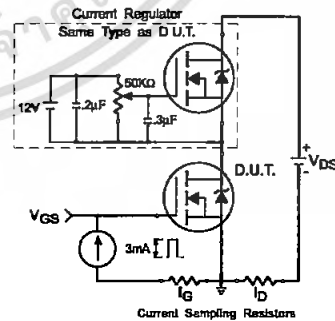


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

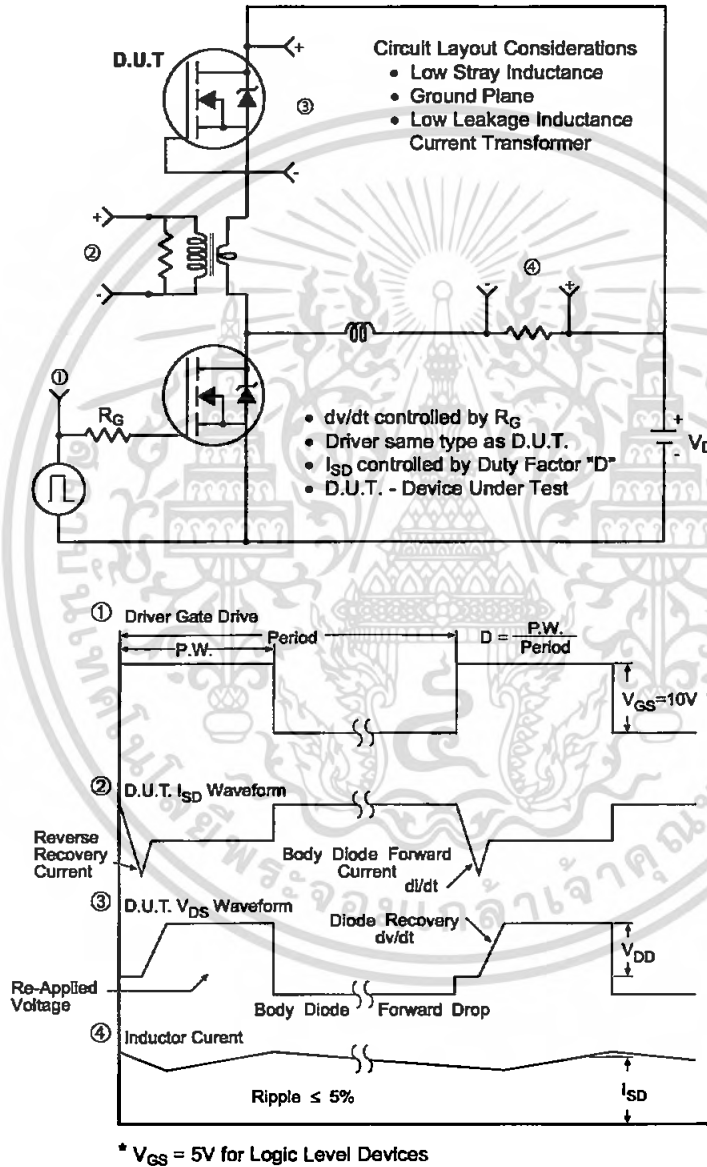


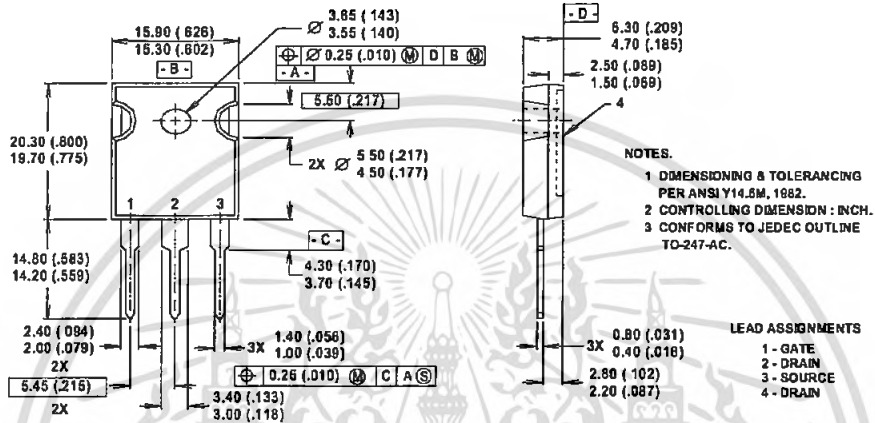
Fig 14. For N-Channel HEXFET® Power MOSFETs

IRFP4710

International
IR Rectifier

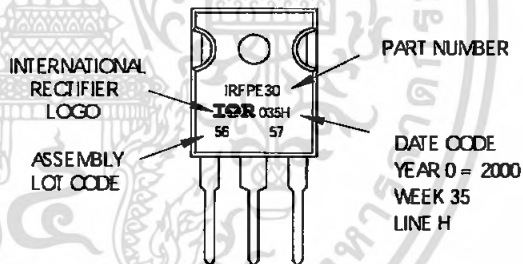
TO-247AC Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



TO-247AC Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRFPE30 WITH ASSEMBLY LOT CODE 5657 ASSEMBLED ON WW35, 2000 IN THE ASSEMBLY LINE "H"



Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 190\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 45\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$.
- ③ $I_{SD} \leq 45\text{A}$, $di/dt \leq 420\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$, $T_J \leq 175^\circ\text{C}$.
- ④ Pulse width $\leq 400\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ C_{oss} eff. is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .

Data and specifications subject to change without notice.

This product has been designed and qualified for the Industrial market. Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information. 01/02

www.irf.com

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250

Transistor Inverter
 Inverter For Air Conditionor
 IGBT Gate Drive
 Power MOS FET Gate Drive

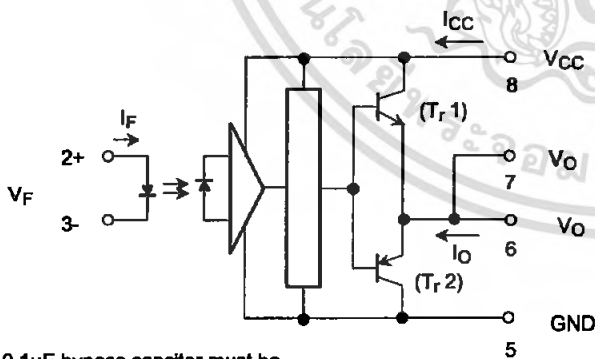
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA(max.)}$
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A (max.)}$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s(max.)}$
- Isolation voltage: $2500V_{rms(min.)}$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

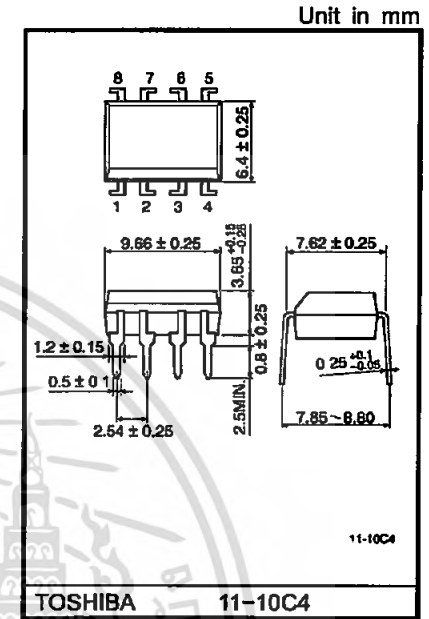
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: 6.4mm(min.)
 Clearance: 6.4mm(min.)

Schmatic

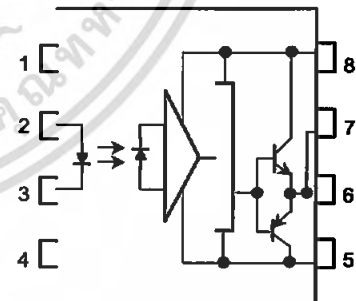


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6: V_O (Output)
- 7: V_O
- 8: V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I_F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V_R	5	V	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Detector	"H" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
Junction temperature	T_J	125	°C		
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T_{opr}	-20~85	°C		
Storage temperature range	T_{stg}	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s)	T_{sol}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)	BV_S	2500	Vrms		

(Note 1) Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

(Note 2) Exponential waveform

(Note 3) Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$, $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

(Note 4) Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30 20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	70 85	°C

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V _{B-6} = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}	2		I _F = 0 V _{B-5} = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

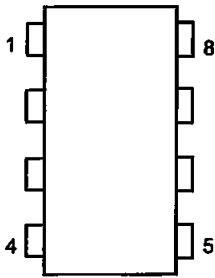
Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	$I_F = 8mA$ $V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = -15V$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}		—	0.15	0.5	
Output rise time	t_r	6		—	—	—	
Output fall time	t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C_{MH}	7	$V_{CM} = 600V, I_F = 8mA$ $V_{CC} = 30V, T_a = 25^\circ C$	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C_{ML}	7	$V_{CM} = 600V, I_F = 0mA$ $V_{CC} = 30V, T_a = 25^\circ C$	5000	—	—	V / μs

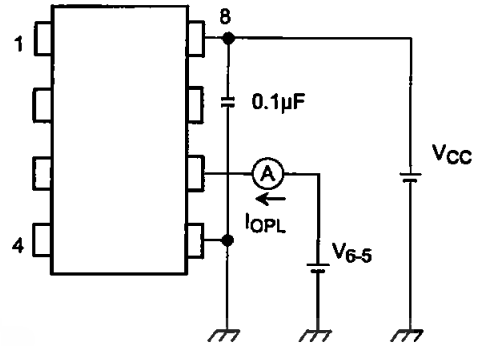
* All typical values are at Ta = 25°C



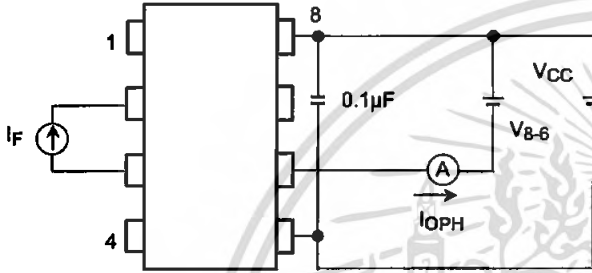
Test Circuit 1 :



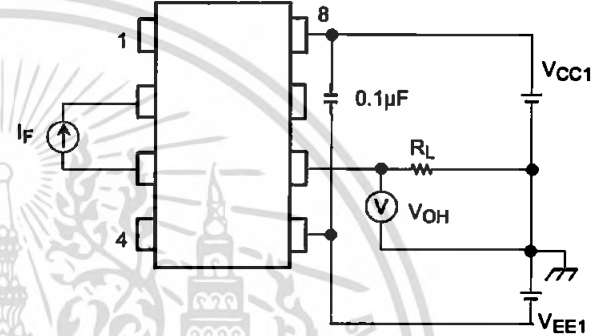
Test Circuit 2 : IOPL



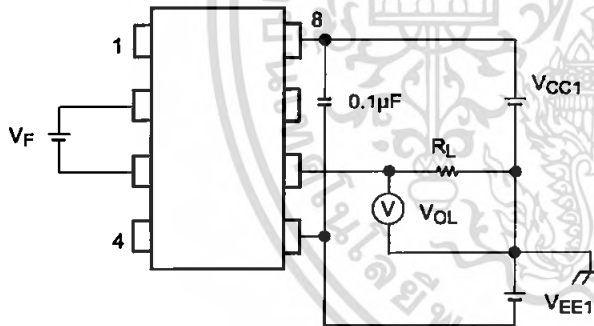
Test Circuit 3 : IOPH



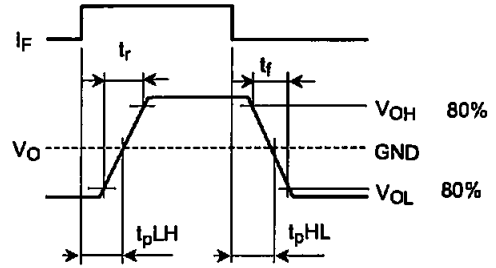
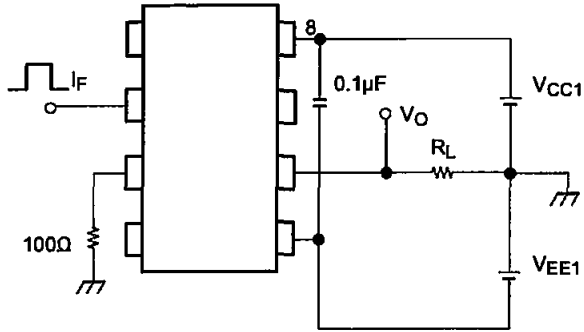
Test Circuit 4 : VOH



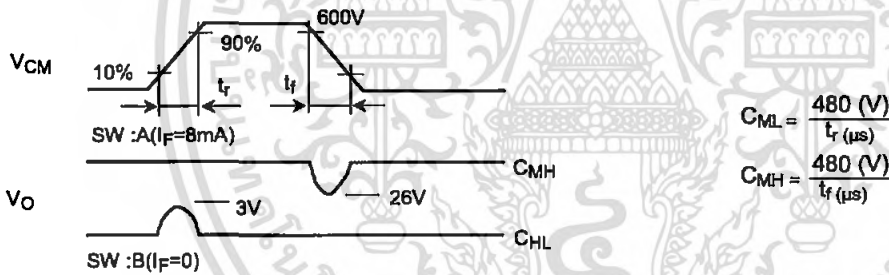
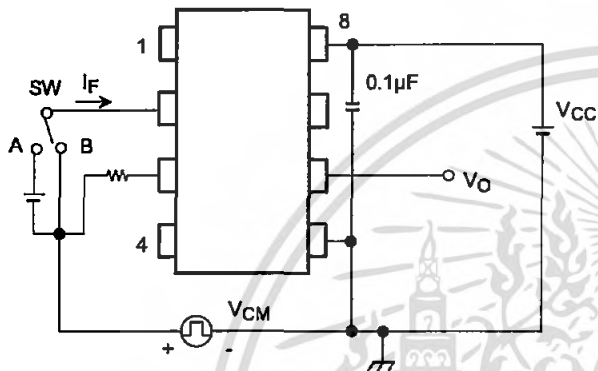
Test Circuit 5 : VOL



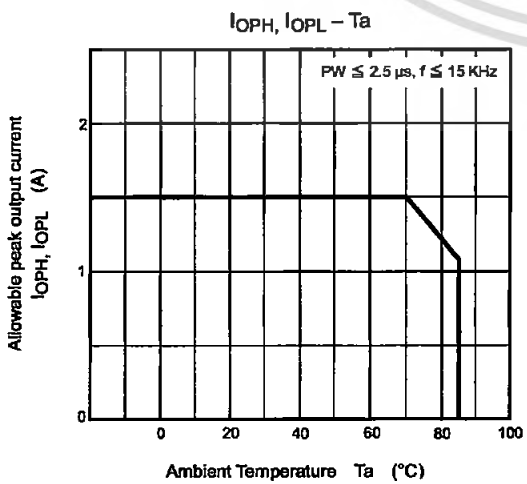
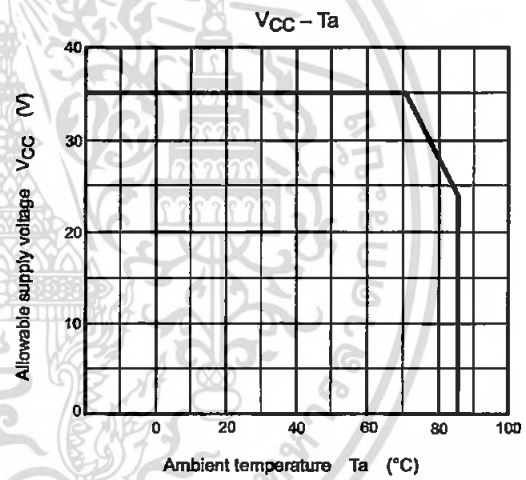
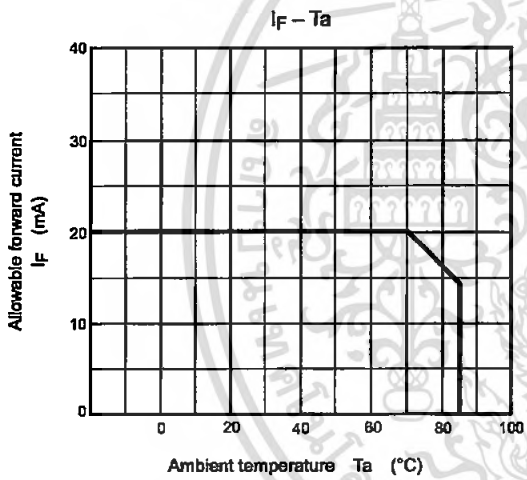
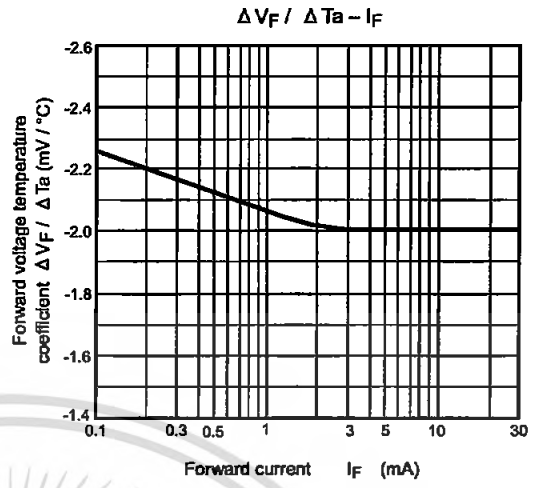
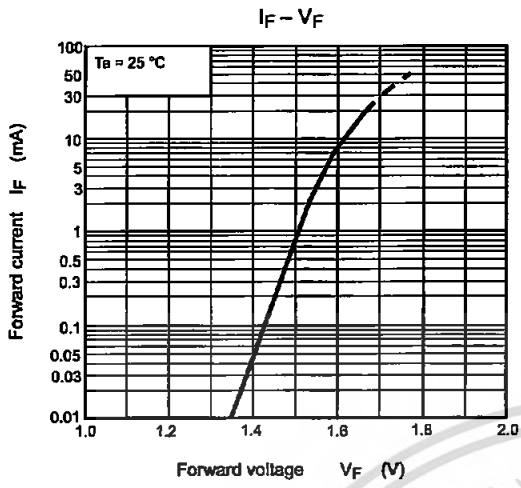
Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EBC

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87X Data Sheet

**28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH
Microcontrollers**

"All rights reserved. Copyright © 2001, Microchip Technology Incorporated, USA. Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All rights reserved. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights."

Trademarks

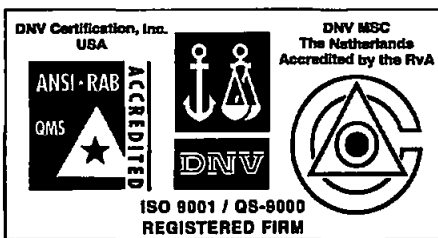
The Microchip name, logo, PIC, PICmicro, PICMASTER, PIC-START, PRO MATE, KEELoC, SEEVAL, MPLAB and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Total Endurance, ICSP, In-Circuit Serial Programming, Filter-Lab, MXDEV, microID, FlexROM, fuzzyLAB, MPASM, MPLINK, MPLIB, PICDEM, ICEPIC, Migratable Memory, FanSense, ECONOMONITOR and SelectMode are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

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

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

© 2001, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.



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



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

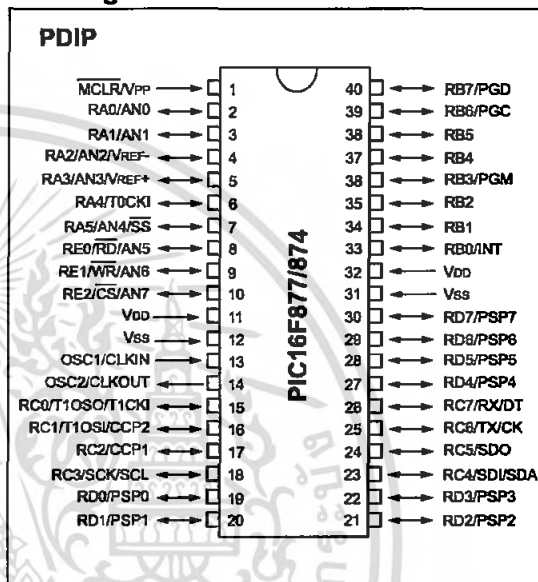
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- 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 the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

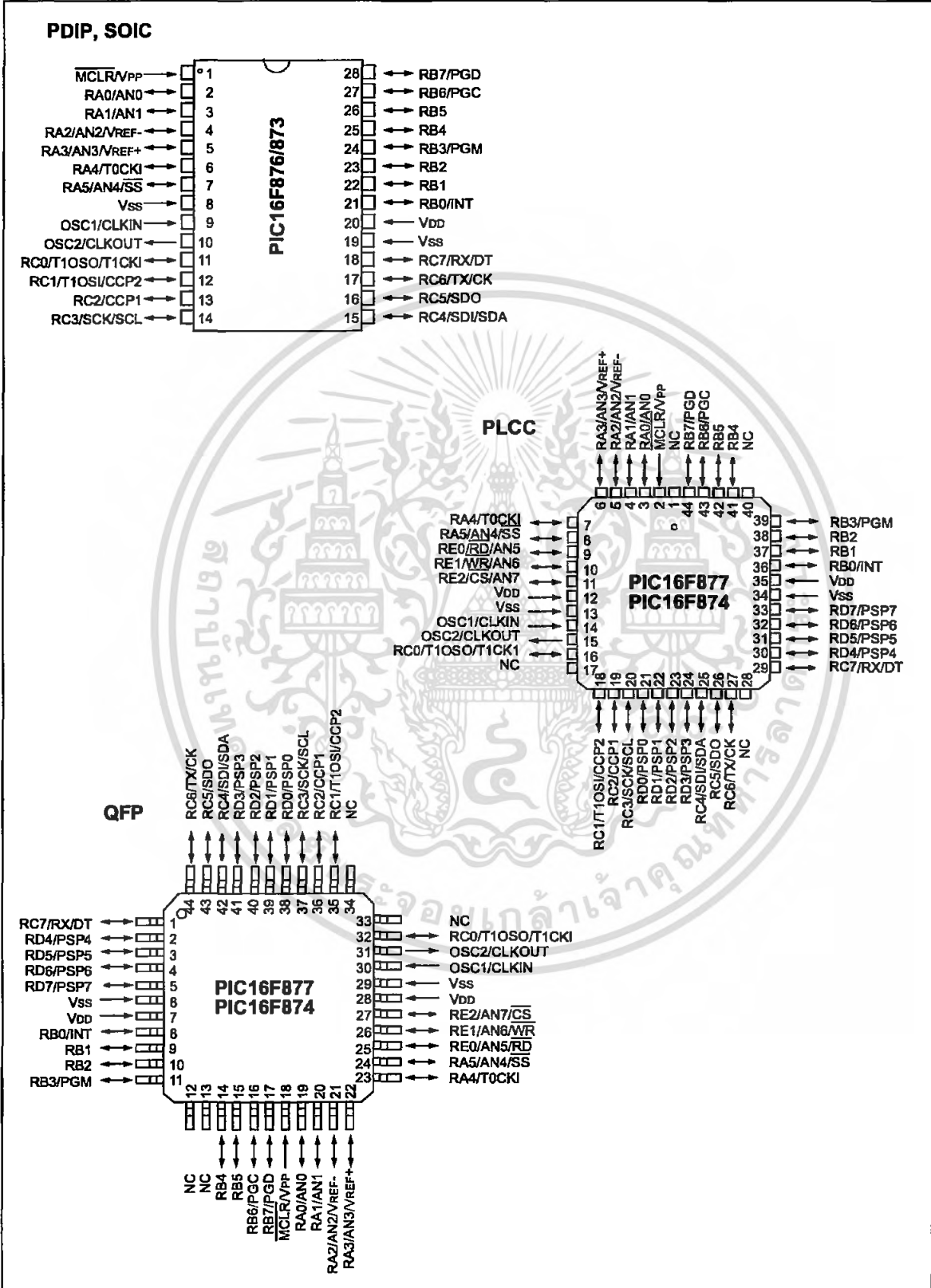


Peripheral Features:

- 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
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- 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)

PIC16F87X

Pin Diagrams



PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
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	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
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
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions



PIC16F87X

Table of Contents

1.0 Device Overview	5
2.0 Memory Organization	11
3.0 I/O Ports	29
4.0 Data EEPROM and FLASH Program Memory	41
5.0 Timer0 Module	47
6.0 Timer1 Module	51
7.0 Timer2 Module	55
8.0 Capture/Compare/PWM Modules	57
9.0 Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module	65
10.0 Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART)	95
11.0 Analog-to-Digital Converter (A/D) Module	111
12.0 Special Features of the CPU	119
13.0 Instruction Set Summary	135
14.0 Development Support	143
15.0 Electrical Characteristics	149
16.0 DC and AC Characteristics Graphs and Tables	177
17.0 Packaging Information	189
Appendix A: Revision History	197
Appendix B: Device Differences	197
Appendix C: Conversion Considerations	198
Index	199
On-Line Support	207
Reader Response	208
PIC16F87X Product Identification System	209

TO OUR VALUED CUSTOMERS

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

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

Most Current Data Sheet

To obtain the most up-to-date version of this data sheet, please register at our Worldwide Web site at:
<http://www.microchip.com>

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

Errata

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

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

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

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

Customer Notification System

Register on our web site at www.microchip.com/cn to receive the most current information on all of our products.

PIC16F87X

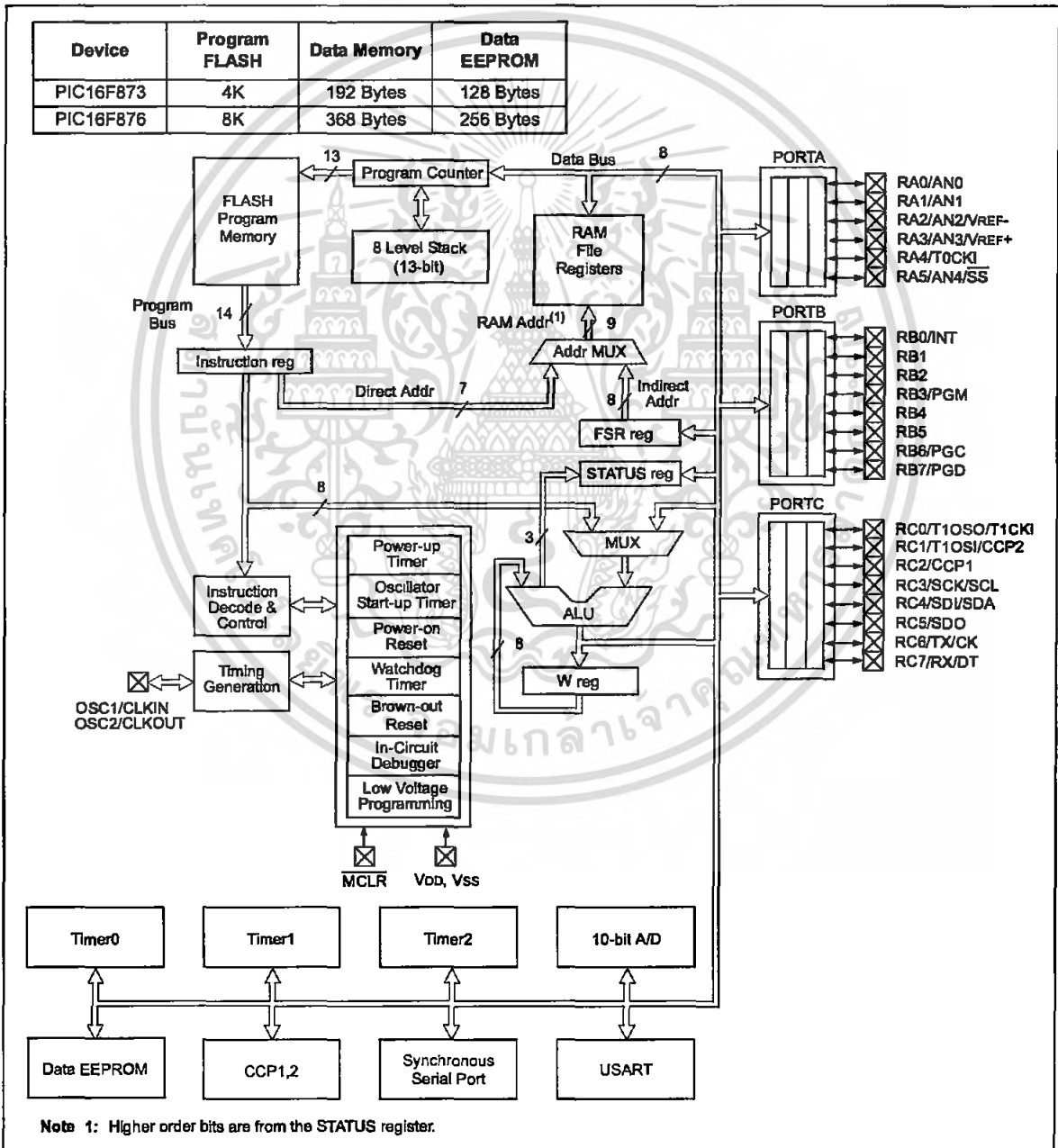
1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. 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 website. 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.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

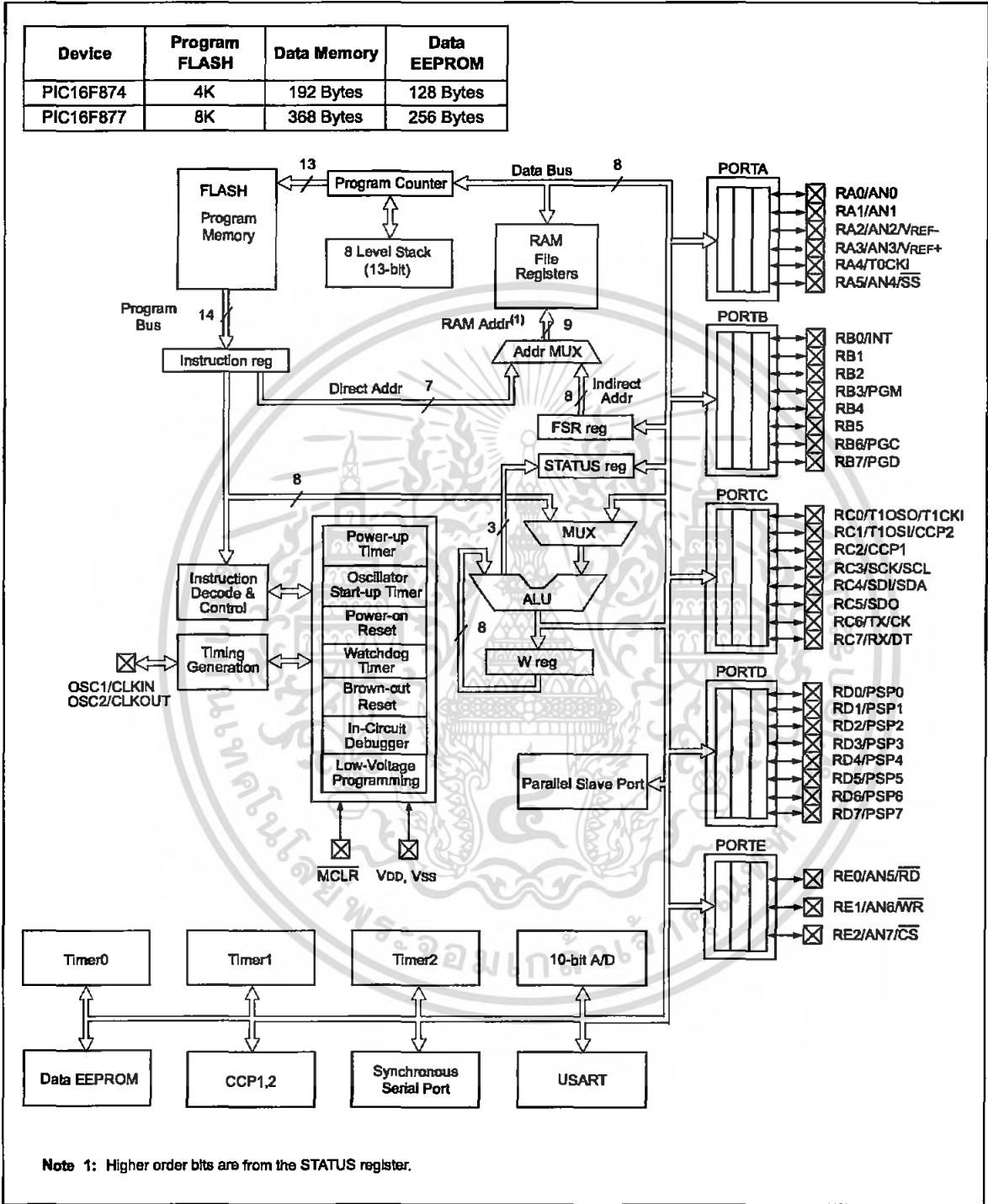
The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

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

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

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	<p>PORTA is a bi-directional I/O port.</p> <p>RA0 can also be analog input0.</p> <p>RA1 can also be analog input1.</p> <p>RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.</p> <p>RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.</p> <p>RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type.</p> <p>RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.</p>
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	<p>PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.</p> <p>RB0 can also be the external interrupt pin.</p> <p>RB3 can also be the low voltage programming input.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.</p>
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	40	44	17	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

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
Note 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE0/RD/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/WR/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE2/CS/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34	—	—	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 an 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 as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
 - 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

NOTES:



PIC16F87X

2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87X MCUs. 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 4.0.

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

2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87X devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. The PIC16F877/876 devices have 8K x 14 words of FLASH program memory, and the PIC16F873/874 devices have 4K x 14. 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: PIC16F877/876 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

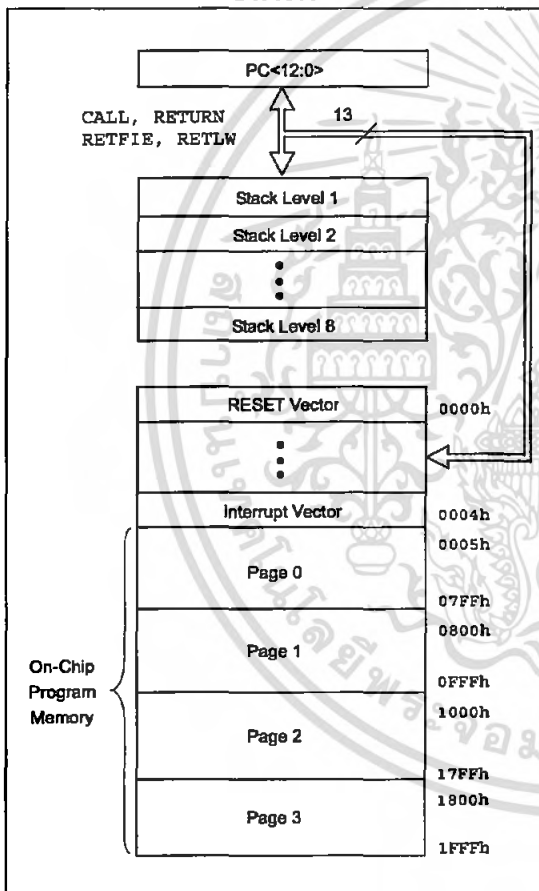
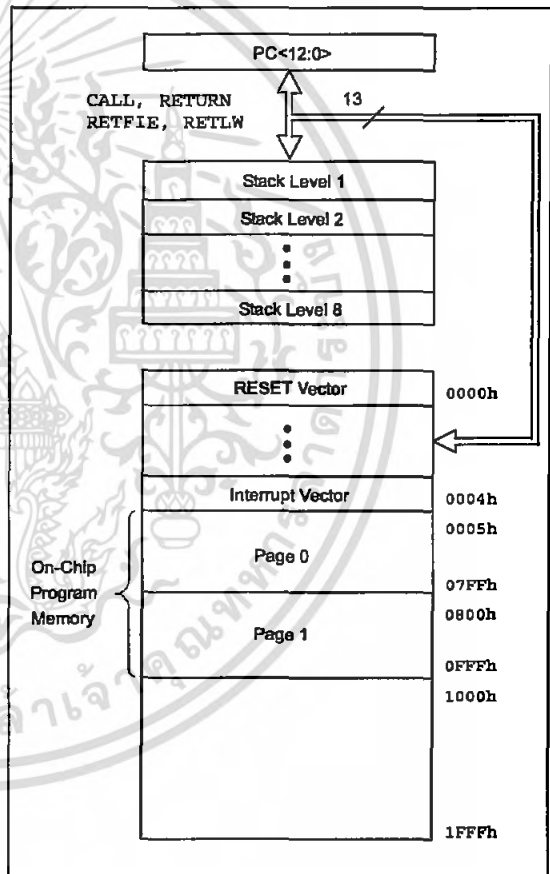


FIGURE 2-2: PIC16F874/873 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



PIC16F87X

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: EEPROM Data Memory description can be found in Section 4.0 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).



FIGURE 2-3: PIC16F877/876 REGISTER FILE MAP

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. ^(*)	00h	Indirect addr. ^(*)	80h	Indirect addr. ^(*)	100h	Indirect addr. ^(*)	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD ⁽¹⁾	08h	TRISD ⁽¹⁾	88h		108h		188h
PORTE ⁽¹⁾	09h	TRISE ⁽¹⁾	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved ⁽²⁾	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved ⁽²⁾	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h		95h		115h		195h
CCPR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register	117h	General Purpose Register	197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h	16 Bytes	118h	16 Bytes	198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch		9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh		9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register		General Purpose Register		General Purpose Register		General Purpose Register	
96 Bytes		80 Bytes		80 Bytes		80 Bytes	
		accesses		accesses		accesses	
		70h-7Fh		70h-7Fh		70h - 7Fh	
Bank 0	7Fh	Bank 1	FFh	Bank 2	17Fh	Bank 3	1FFh
			EFh		16Fh		1EFh
			F0h		170h		1F0h

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

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876.
Note 2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

PIC16F87X

2.2.2 SPECIAL FUNCTION REGISTERS

The Special Function Registers are registers used by the CPU and peripheral modules for controlling the desired operation of the device. These registers are implemented as static RAM. A list of these registers is given in Table 2-1.

The Special Function Registers can be classified into two sets: core (CPU) and peripheral. Those registers associated with the core functions are described in detail in this section. Those related to the operation of the peripheral features are described in detail in the peripheral features section.

TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:	
Bank 0												
00h ⁽³⁾	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	27	
01h	TMR0	Timer0 Module Register								xxxx xxxx	47	
02h ⁽³⁾	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte								0000 0000	26	
03h ⁽³⁾	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	0001 1xxx	18	
04h ⁽³⁾	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	27	
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read						--0x 0000	29	
06h	PORTB	PORTB Data Latch when written: PORTB pins when read								xxxx xxxx	31	
07h	PORTC	PORTC Data Latch when written: PORTC pins when read								xxxx xxxx	33	
08h ⁽⁴⁾	PORTD	PORTD Data Latch when written: PORTD pins when read								xxxx xxxx	35	
09h ⁽⁴⁾	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	36	
0Ah ^(1,3)	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter						---0 0000	26
0Bh ⁽³⁾	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	20	
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽³⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	22	
0Dh	PIR2	—	(5)	—	EEIF	BCLIF	—	—	CCP2IF	-x-0 0--0	24	
0Eh	TMR1L	Holding register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	52	
0Fh	TMR1H	Holding register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	52	
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	51	
11h	TMR2	Timer2 Module Register								0000 0000	55	
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	55	
13h	SSPBUF	Synchronous Serial Port Receive Buffer/Transmit Register								xxxx xxxx	70, 73	
14h	SSPCON	WCOL	SSPOV	SSPEN	CKP	SSPM3	SSPM2	SSPM1	SSPM0	0000 0000	67	
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register1 (LSB)								xxxx xxxx	57	
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register1 (MSB)								xxxx xxxx	57	
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	58	
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	95	
19h	TXREG	USART Transmit Data Register								0000 0000	99	
1Ah	RCREG	USART Receive Data Register								0000 0000	101	
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register2 (LSB)								xxxx xxxx	57	
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register2 (MSB)								xxxx xxxx	57	
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	58	
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	116	
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	111	

Legend: x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved. Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note 1:** The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8> whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- Note 2:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873/876 devices; always maintain these bits clear.
- Note 3:** These registers can be addressed from any bank.
- Note 4:** PORTD, PORTE, TRISD, and TRISE are not physically implemented on PIC16F873/876 devices; read as '0'.
- Note 5:** PIR2<6> and PIE2<6> are reserved on these devices; always maintain these bits clear.

PIC16F87X

TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY (CONTINUED)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:
Bank 1											
80h ⁽²⁾	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	27
81h	OPTION_REG	RBPJ	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	19
82h ⁽²⁾	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte								0000 0000	26
83h ⁽²⁾	STATUS	IRP	RP1	RP0	T0	PD	Z	DC	C	0001 1xxx	18
84h ⁽²⁾	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	27
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	29
86h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	31
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	33
88h ⁽⁴⁾	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	35
89h ⁽⁴⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	37
8Ah ^(1,3)	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	26
8Bh ⁽²⁾	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	20
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽²⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	21
8Dh	PIE2	—	(5)	—	EEIE	BCLIE	—	—	CCP2IE	-x-0 0--0	23
8Eh	PCON	—	—	—	—	—	—	POR	BOR	---- -ggg	25
8Fh	—	Unimplemented								—	—
90h	—	Unimplemented								—	—
91h	SSPCON2	GGEN	ACKSTAT	ACKDT	ACKEN	RCEN	PEN	RSEN	SEN	0000 0000	68
92h	PR2	Timer2 Period Register								1111 1111	55
93h	SSPADD	Synchronous Serial Port (I ² C mode) Address Register								0000 0000	73, 74
94h	SSPSTAT	SMP	CKE	D/A	P	S	R/W	UA	BF	0000 0000	66
95h	—	Unimplemented								—	—
96h	—	Unimplemented								—	—
97h	—	Unimplemented								—	—
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	95
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	97
9Ah	—	Unimplemented								—	—
9Bh	—	Unimplemented								—	—
9Ch	—	Unimplemented								—	—
9Dh	—	Unimplemented								—	—
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	116
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	0--- 0000	112

Legend. x = unknown, u = unchanged, c = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved. Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note 1:** The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8> whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- 2:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873/876 devices; always maintain these bits clear
- 3:** These registers can be addressed from any bank.
- 4:** PORTD, PORTE, TRISD, and TRISE are not physically implemented on PIC16F873/876 devices; read as '0'.
- 5:** PIR2<6> and PIE2<6> are reserved on these devices; always maintain these bits clear

PIC16F87X

TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY (CONTINUED)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:
Bank 2											
100h ⁽³⁾	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	27
101h	TMR0	Timer0 Module Register								xxxx xxxx	47
102h ⁽³⁾	PCL	Program Counter's (PC) Least Significant Byte								0000 0000	26
103h ⁽³⁾	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	0001 1xxxx	18
104h ⁽³⁾	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	27
105h	—	Unimplemented								—	—
106h	PORTB	PORTB Data Latch when written: PORTB pins when read								xxxx xxxx	31
107h	—	Unimplemented								—	—
108h	—	Unimplemented								—	—
109h	—	Unimplemented								—	—
10Ah ^(1,3)	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	26
10Bh ⁽³⁾	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	20
10Ch	EEDATA	EEPROM Data Register Low Byte								xxxx xxxx	41
10Dh	EEADR	EEPROM Address Register Low Byte								xxxx xxxx	41
10Eh	EEDATH	—	—	EEPROM Data Register High Byte					xxxx xxxx	41	
10Fh	EEADRH	—	—	EEPROM Address Register High Byte					xxxx xxxx	41	
Bank 3											
180h ⁽³⁾	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	27
181h	OPTION_REG	RBPV	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	19
182h ⁽³⁾	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte								0000 0000	26
183h ⁽³⁾	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	0001 1xxxx	18
184h ⁽³⁾	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	27
185h	—	Unimplemented								—	—
186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	31
187h	—	Unimplemented								—	—
188h	—	Unimplemented								—	—
189h	—	Unimplemented								—	—
18Ah ^(1,3)	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	26
18Bh ⁽³⁾	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	20
18Ch	EECON1	EEPGD	—	—	—	WRERR	WREN	WR	RD	x--- x000	41, 42
18Dh	EECON2	EEPROM Control Register2 (not a physical register)								---- ----	41
18Eh	—	Reserved maintain clear								0000 0000	—
18Fh	—	Reserved maintain clear								0000 0000	—

Legend: x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved.
Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note**
- 1: The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8> whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
 - 2: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873/876 devices; always maintain these bits clear.
 - 3: These registers can be addressed from any bank
 - 4: PORTD, PORTE, TRISD, and TRISE are not physically implemented on PIC16F873/876 devices; read as '0'.
 - 5: PIR2<6> and PIE2<6> are reserved on these devices; always maintain these bits clear.

PIC16F87X

2.2.2.1 STATUS Register

The STATUS register contains the arithmetic status of the ALU, the RESET status and the bank select bits for data memory.

The STATUS register can be the destination for any instruction, as with any other register. If the STATUS register is the destination for an instruction that affects the Z, DC or C bits, then the write to these three bits is disabled. These bits are set or cleared according to the device logic. Furthermore, the \overline{TO} and \overline{PD} bits are not writable, therefore, the result of an instruction with the STATUS register as destination may be different than intended.

For example, `CLRF STATUS` will clear the upper three bits and set the Z bit. This leaves the STATUS register as `000u u1uu` (where u = unchanged).

It is recommended, therefore, that only `BCF`, `BSF`, `SWAPF` and `MOVWF` instructions are used to alter the STATUS register, because these instructions do not affect the Z, C or DC bits from the STATUS register. For other instructions not affecting any status bits, see the "Instruction Set Summary."

Note: The C and DC bits operate as a borrow and digit borrow bit, respectively, in subtraction. See the `SUBLW` and `SUBWF` instructions for examples.

REGISTER 2-1: STATUS REGISTER (ADDRESS 03h, 83h, 103h, 183h)

	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
	IRP	RP1	RP0	\overline{TO}	\overline{PD}	Z	DC	C
	bit 7							bit 0
bit 7	IRP: Register Bank Select bit (used for indirect addressing) 1 = Bank 2, 3 (100h - 1FFh) 0 = Bank 0, 1 (00h - FFh)							
bit 6-5	RP1:RP0: Register Bank Select bits (used for direct addressing) 11 = Bank 3 (180h - 1FFh) 10 = Bank 2 (100h - 17Fh) 01 = Bank 1 (80h - FFh) 00 = Bank 0 (00h - 7Fh) Each bank is 128 bytes							
bit 4	\overline{TO}: Time-out bit 1 = After power-up, <code>CLRWDT</code> instruction, or <code>SLEEP</code> instruction 0 = A WDT time-out occurred							
bit 3	\overline{PD}: Power-down bit 1 = After power-up or by the <code>CLRWDT</code> instruction 0 = By execution of the <code>SLEEP</code> instruction							
bit 2	Z: Zero bit 1 = The result of an arithmetic or logic operation is zero 0 = The result of an arithmetic or logic operation is not zero							
bit 1	DC: Digit carry/borrow bit (<code>ADDWF</code> , <code>ADDLW</code> , <code>SUBLW</code> , <code>SUBWF</code> instructions) (for borrow, the polarity is reversed) 1 = A carry-out from the 4th low order bit of the result occurred 0 = No carry-out from the 4th low order bit of the result							
bit 0	C: Carry/borrow bit (<code>ADDWF</code> , <code>ADDLW</code> , <code>SUBLW</code> , <code>SUBWF</code> instructions) 1 = A carry-out from the Most Significant bit of the result occurred 0 = No carry-out from the Most Significant bit of the result occurred							
	Note: For borrow, the polarity is reversed. A subtraction is executed by adding the two's complement of the second operand. For rotate (<code>RRF</code> , <code>RLF</code>) instructions, this bit is loaded with either the high, or low order bit of the source register.							

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

2.2.2.2 OPTION_REG Register

The OPTION_REG Register is a readable and writable register, which contains various control bits to configure the TMR0 prescaler/WDT postscaler (single assignable register known also as the prescaler), the External INT Interrupt, TMR0 and the weak pull-ups on PORTB.

Note: To achieve a 1:1 prescaler assignment for the TMR0 register, assign the prescaler to the Watchdog Timer.

REGISTER 2-2: OPTION_REG REGISTER (ADDRESS 81h, 181h)

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7						bit 0	

- bit 7 **RBPU:** PORTB Pull-up Enable bit
1 = PORTB pull-ups are disabled
0 = PORTB pull-ups are enabled by individual port latch values
- bit 6 **INTEDG:** Interrupt Edge Select bit
1 = Interrupt on rising edge of RB0/INT pin
0 = Interrupt on falling edge of RB0/INT pin
- bit 5 **T0CS:** TMR0 Clock Source Select bit
1 = Transition on RA4/T0CKI pin
0 = Internal instruction cycle clock (CLKOUT)
- bit 4 **T0SE:** TMR0 Source Edge Select bit
1 = Increment on high-to-low transition on RA4/T0CKI pin
0 = Increment on low-to-high transition on RA4/T0CKI pin
- bit 3 **PSA:** Prescaler Assignment bit
1 = Prescaler is assigned to the WDT
0 = Prescaler is assigned to the Timer0 module
- bit 2-0 **PS2:PS0:** Prescaler Rate Select bits

Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

Note: When using low voltage ICSP programming (LVP) and the pull-ups on PORTB are enabled, bit 3 in the TRISB register must be cleared to disable the pull-up on RB3 and ensure the proper operation of the device

PIC16F87X

2.2.2.3 INTCON Register

The INTCON Register is a readable and writable register, which contains various enable and flag bits for the TMR0 register overflow, RB Port change and External RB0/INT pin interrupts.

Note: Interrupt flag bits are set when an interrupt condition occurs, regardless of the state of its corresponding enable bit or the global enable bit, GIE (INTCON<7>). User software should ensure the appropriate interrupt flag bits are clear prior to enabling an interrupt.

REGISTER 2-3: INTCON REGISTER (ADDRESS 0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x	
GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	
bit 7								bit 0

- bit 7 **GIE:** Global Interrupt Enable bit
1 = Enables all unmasked interrupts
0 = Disables all interrupts
- bit 6 **PEIE:** Peripheral Interrupt Enable bit
1 = Enables all unmasked peripheral interrupts
0 = Disables all peripheral interrupts
- bit 5 **TOIE:** TMR0 Overflow Interrupt Enable bit
1 = Enables the TMR0 interrupt
0 = Disables the TMR0 interrupt
- bit 4 **INTE:** RB0/INT External Interrupt Enable bit
1 = Enables the RB0/INT external interrupt
0 = Disables the RB0/INT external interrupt
- bit 3 **RBIE:** RB Port Change Interrupt Enable bit
1 = Enables the RB port change interrupt
0 = Disables the RB port change interrupt
- bit 2 **TOIF:** TMR0 Overflow Interrupt Flag bit
1 = TMR0 register has overflowed (must be cleared in software)
0 = TMR0 register did not overflow
- bit 1 **INTF:** RB0/INT External Interrupt Flag bit
1 = The RB0/INT external interrupt occurred (must be cleared in software)
0 = The RB0/INT external interrupt did not occur
- bit 0 **RBIF:** RB Port Change Interrupt Flag bit
1 = At least one of the RB7:RB4 pins changed state; a mismatch condition will continue to set the bit. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow the bit to be cleared (must be cleared in software).
0 = None of the RB7:RB4 pins have changed state

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

2.2.2.4 PIE1 Register

The PIE1 register contains the individual enable bits for the peripheral interrupts.

Note: Bit PEIE (INTCON<6>) must be set to enable any peripheral interrupt.

REGISTER 2-4: PIE1 REGISTER (ADDRESS 8Ch)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
bit 7				bit 0			

- bit 7 **PSPIE⁽¹⁾:** Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Enable bit
1 = Enables the PSP read/write interrupt
0 = Disables the PSP read/write interrupt
- bit 6 **ADIE:** A/D Converter Interrupt Enable bit
1 = Enables the A/D converter interrupt
0 = Disables the A/D converter interrupt
- bit 5 **RCIE:** USART Receive Interrupt Enable bit
1 = Enables the USART receive interrupt
0 = Disables the USART receive interrupt
- bit 4 **TXIE:** USART Transmit Interrupt Enable bit
1 = Enables the USART transmit interrupt
0 = Disables the USART transmit interrupt
- bit 3 **SSPIE:** Synchronous Serial Port Interrupt Enable bit
1 = Enables the SSP interrupt
0 = Disables the SSP interrupt
- bit 2 **CCP1IE:** CCP1 Interrupt Enable bit
1 = Enables the CCP1 interrupt
0 = Disables the CCP1 interrupt
- bit 1 **TMR2IE:** TMR2 to PR2 Match Interrupt Enable bit
1 = Enables the TMR2 to PR2 match interrupt
0 = Disables the TMR2 to PR2 match interrupt
- bit 0 **TMR1IE:** TMR1 Overflow Interrupt Enable bit
1 = Enables the TMR1 overflow interrupt
0 = Disables the TMR1 overflow interrupt

Note 1: PSPIE is reserved on PIC16F873/876 devices; always maintain this bit clear.

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
 - n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

PIC16F87X

2.2.2.5 PIR1 Register

The PIR1 register contains the individual flag bits for the peripheral interrupts.

Note: Interrupt flag bits are set when an interrupt condition occurs, regardless of the state of its corresponding enable bit or the global enable bit, GIE (INTCON<7>). User software should ensure the appropriate interrupt bits are clear prior to enabling an interrupt.

REGISTER 2-5: PIR1 REGISTER (ADDRESS 0Ch)

	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF
								bit 0
bit 7								bit 0

- bit 7 **PSPIF⁽¹⁾:** Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Flag bit
1 = A read or a write operation has taken place (must be cleared in software)
0 = No read or write has occurred
- bit 6 **ADIF:** A/D Converter Interrupt Flag bit
1 = An A/D conversion completed
0 = The A/D conversion is not complete
- bit 5 **RCIF:** USART Receive Interrupt Flag bit
1 = The USART receive buffer is full
0 = The USART receive buffer is empty
- bit 4 **TXIF:** USART Transmit Interrupt Flag bit
1 = The USART transmit buffer is empty
0 = The USART transmit buffer is full
- bit 3 **SSPIF:** Synchronous Serial Port (SSP) Interrupt Flag
1 = The SSP interrupt condition has occurred, and must be cleared in software before returning from the Interrupt Service Routine. The conditions that will set this bit are:
 - SPI
 - A transmission/reception has taken place.
 - I²C Slave
 - A transmission/reception has taken place.
 - I²C Master
 - A transmission/reception has taken place.
 - The initiated START condition was completed by the SSP module.
 - The initiated STOP condition was completed by the SSP module.
 - The initiated Restart condition was completed by the SSP module.
 - The initiated Acknowledge condition was completed by the SSP module.
 - A START condition occurred while the SSP module was idle (Multi-Master system).
 - A STOP condition occurred while the SSP module was idle (Multi-Master system).
- 0 = No SSP interrupt condition has occurred.
- bit 2 **CCP1IF:** CCP1 Interrupt Flag bit
Capture mode:
1 = A TMR1 register capture occurred (must be cleared in software)
0 = No TMR1 register capture occurred
Compare mode:
1 = A TMR1 register compare match occurred (must be cleared in software)
0 = No TMR1 register compare match occurred
PWM mode:
Unused in this mode
- bit 1 **TMR2IF:** TMR2 to PR2 Match Interrupt Flag bit
1 = TMR2 to PR2 match occurred (must be cleared in software)
0 = No TMR2 to PR2 match occurred
- bit 0 **TMR1IF:** TMR1 Overflow Interrupt Flag bit
1 = TMR1 register overflowed (must be cleared in software)
0 = TMR1 register did not overflow

Note 1: PSPIF is reserved on PIC16F873/876 devices; always maintain this bit clear.

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

2.2.2.6 PIE2 Register

The PIE2 register contains the individual enable bits for the CCP2 peripheral interrupt, the SSP bus collision interrupt, and the EEPROM write operation interrupt.

REGISTER 2-6: PIE2 REGISTER (ADDRESS 8Dh)

U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0
—	Reserved	—	EEIE	BCLIE	—	—	CCP2IE
bit 7							bit 0

- bit 7 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 6 **Reserved:** Always maintain this bit clear
- bit 5 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 4 **EEIE:** EEPROM Write Operation Interrupt Enable
1 = Enable EE Write Interrupt
0 = Disable EE Write Interrupt
- bit 3 **BCLIE:** Bus Collision Interrupt Enable
1 = Enable Bus Collision Interrupt
0 = Disable Bus Collision Interrupt
- bit 2-1 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 0 **CCP2IE:** CCP2 Interrupt Enable bit
1 = Enables the CCP2 interrupt
0 = Disables the CCP2 interrupt

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

PIC16F87X

2.2.2.7 PIR2 Register

The PIR2 register contains the flag bits for the CCP2 interrupt, the SSP bus collision interrupt and the EEPROM write operation interrupt.

Note: Interrupt flag bits are set when an interrupt condition occurs, regardless of the state of its corresponding enable bit or the global enable bit, GIE (INTCON<7>). User software should ensure the appropriate interrupt flag bits are clear prior to enabling an interrupt.

REGISTER 2-7: PIR2 REGISTER (ADDRESS 0Dh)

U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	
—	Reserved	—	EEIF	BCLIF	—	—	CCP2IF	
bit 7								bit 0

- bit 7 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 6 **Reserved:** Always maintain this bit clear
- bit 5 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 4 **EEIF:** EEPROM Write Operation Interrupt Flag bit
1 = The write operation completed (must be cleared in software)
0 = The write operation is not complete or has not been started
- bit 3 **BCLIF:** Bus Collision Interrupt Flag bit
1 = A bus collision has occurred in the SSP, when configured for I2C Master mode
0 = No bus collision has occurred
- bit 2-1 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 0 **CCP2IF:** CCP2 Interrupt Flag bit
Capture mode:
1 = A TMR1 register capture occurred (must be cleared in software)
0 = No TMR1 register capture occurred
Compare mode:
1 = A TMR1 register compare match occurred (must be cleared in software)
0 = No TMR1 register compare match occurred
PWM mode:
Unused

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

PIC16F87X

2.2.2.8 PCON Register

The Power Control (PCON) Register contains flag bits to allow differentiation between a Power-on Reset (POR), a Brown-out Reset (BOR), a Watchdog Reset (WDT), and an external MCLR Reset.

Note: $\overline{\text{BOR}}$ is unknown on POR. It must be set by the user and checked on subsequent RESETS to see if BOR is clear, indicating a brown-out has occurred. The BOR status bit is a "don't care" and is not predictable if the brown-out circuit is disabled (by clearing the BODEN bit in the configuration word).

REGISTER 2-8: PCON REGISTER (ADDRESS 8Eh)

	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-1	
	—	—	—	—	—	—	POR	$\overline{\text{BOR}}$	
	bit 7							bit 0	
bit 7-2	Unimplemented: Read as '0'								
bit 1	POR: Power-on Reset Status bit								
	1 = No Power-on Reset occurred								
	0 = A Power-on Reset occurred (must be set in software after a Power-on Reset occurs)								
bit 0	BOR: Brown-out Reset Status bit								
	1 = No Brown-out Reset occurred								
	0 = A Brown-out Reset occurred (must be set in software after a Brown-out Reset occurs)								

Legend:

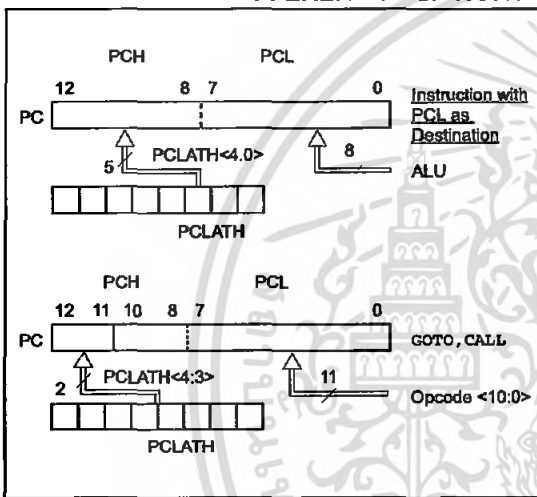
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

PIC16F87X

2.3 PCL and PCLATH

The program counter (PC) is 13-bits wide. The low byte comes from the PCL register, which is a readable and writable register. The upper bits (PC<12:8>) are not readable, but are indirectly writable through the PCLATH register. On any RESET, the upper bits of the PC will be cleared. Figure 2-5 shows the two situations for the loading of the PC. The upper example in the figure shows how the PC is loaded on a write to PCL (PCLATH<4:0> → PCH). The lower example in the figure shows how the PC is loaded during a CALL or GOTO instruction (PCLATH<4:3> → PCH).

FIGURE 2-5: LOADING OF PC IN DIFFERENT SITUATIONS



2.3.1 COMPUTED GOTO

A computed GOTO is accomplished by adding an offset to the program counter (ADDWF PCL). When doing a table read using a computed GOTO method, care should be exercised if the table location crosses a PCL memory boundary (each 256 byte block). Refer to the application note, "Implementing a Table Read" (AN556).

2.3.2 STACK

The PIC16F87X family has an 8-level deep x 13-bit wide hardware stack. The stack space is not part of either program or data space and the stack pointer is not readable or writable. The PC is PUSHed onto the stack when a CALL instruction is executed, or an interrupt causes a branch. The stack is POPed in the event of a RETURN, RETLW or a RETFIE instruction execution. PCLATH is not affected by a PUSH or POP operation.

The stack operates as a circular buffer. This means that after the stack has been PUSHed eight times, the ninth push overwrites the value that was stored from the first push. The tenth push overwrites the second push (and so on).

Note 1: There are no status bits to indicate stack overflow or stack underflow conditions.

2: There are no instructions/mnemonics called PUSH or POP. These are actions that occur from the execution of the CALL, RETURN, RETLW and RETFIE instructions, or the vectoring to an interrupt address.

2.4 Program Memory Paging

All PIC16F87X devices are capable of addressing a continuous 8K word block of program memory. The CALL and GOTO instructions provide only 11 bits of address to allow branching within any 2K program memory page. When doing a CALL or GOTO instruction, the upper 2 bits of the address are provided by PCLATH<4:3>. When doing a CALL or GOTO instruction, the user must ensure that the page select bits are programmed so that the desired program memory page is addressed. If a return from a CALL instruction (or interrupt) is executed, the entire 13-bit PC is popped off the stack. Therefore, manipulation of the PCLATH<4:3> bits is not required for the return instructions (which POPs the address from the stack).

Note: The contents of the PCLATH register are unchanged after a RETURN or RETFIE instruction is executed. The user must rewrite the contents of the PCLATH register for any subsequent subroutine calls or GOTO instructions.

Example 2-1 shows the calling of a subroutine in page 1 of the program memory. This example assumes that PCLATH is saved and restored by the Interrupt Service Routine (if interrupts are used).

EXAMPLE 2-1: CALL OF A SUBROUTINE IN PAGE 1 FROM PAGE 0

```

ORG 0x500
BCF PCLATH, 4
BSF PCLATH, 3 ;Select page 1
                ; (800h-FFFh)
CALL SUB1_P1 ;Call subroutine in
                ;page 1 (800h-FFFh)
                ;
                ;page 1 (800h-FFFh)
SUB1_P1
                ;called subroutine
                ;page 1 (800h-FFFh)
                ;
RETURN          ;return to
                ;Call subroutine
                ;in page 0
                ; (000h-7FFh)
    
```

2.5 Indirect Addressing, INDF and FSR Registers

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

Indirect addressing is possible by using the INDF register. Any instruction using the INDF register actually accesses the register pointed to by the File Select Register, FSR. Reading the INDF register itself, indirectly (FSR = '0') will read 00h. Writing to the INDF register indirectly results in a no operation (although status bits may be affected). An effective 9-bit address is obtained by concatenating the 8-bit FSR register and the IRP bit (STATUS<7>), as shown in Figure 2-6.

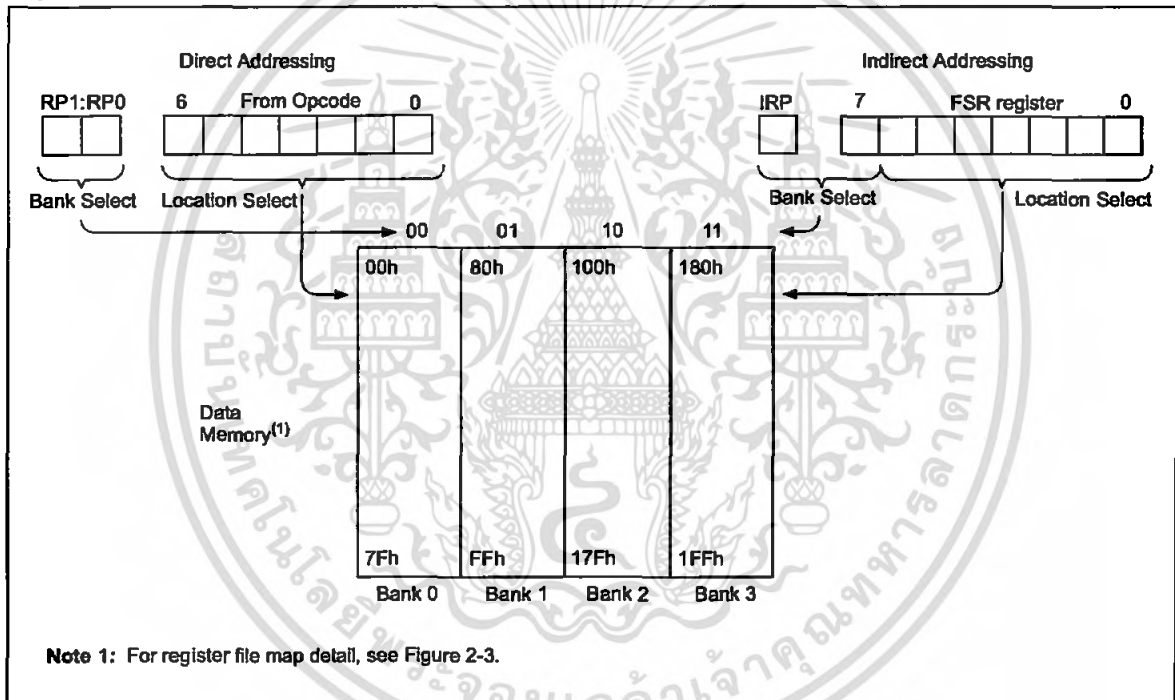
A simple program to clear RAM locations 20h-2Fh using indirect addressing is shown in Example 2-2.

EXAMPLE 2-2: INDIRECT ADDRESSING

```

MOV LW 0x20 ;initialize pointer
MOV WF FSR ;to RAM
NEXT   CLR F INDF ;clear INDF register
      INC F FSR,F ;inc pointer
      BT FSS FSR,4 ;all done?
      GOTO NEXT ;no clear next
CONTINUE
      : ;yes continue
    
```

FIGURE 2-6: DIRECT/INDIRECT ADDRESSING



PIC16F87X

NOTES:



3.0 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).

3.1 PORTA and the TRISA Register

PORTA is a 6-bit wide, bi-directional 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 Hi-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 analog VREF input. The operation of each pin is selected by clearing/setting the control bits in the ADCON1 register (A/D Control Register1).

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

The TRISA register controls the direction of the RA 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 3-1: INITIALIZING PORTA

```
BCF STATUS, RP0 ;
BCF STATUS, RP1 ; Bank0
CLRF PORTA ; Initialize PORTA by
; clearing output
; data latches
BSF STATUS, RP0 ; Select Bank 1
MOVLW 0x06 ; Configure all pins
MOVWF ADCON1 ; as digital inputs
MOVLW 0xCF ; 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 3-1: BLOCK DIAGRAM OF RA3:RA0 AND RA5 PINS

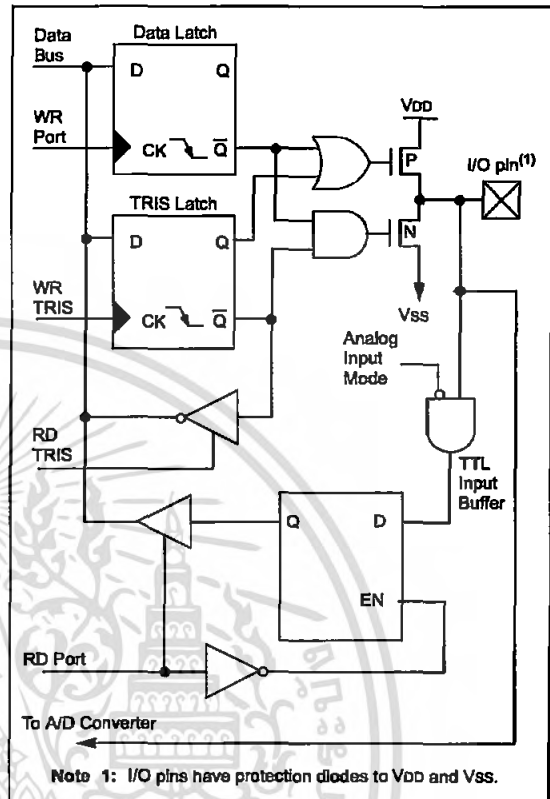
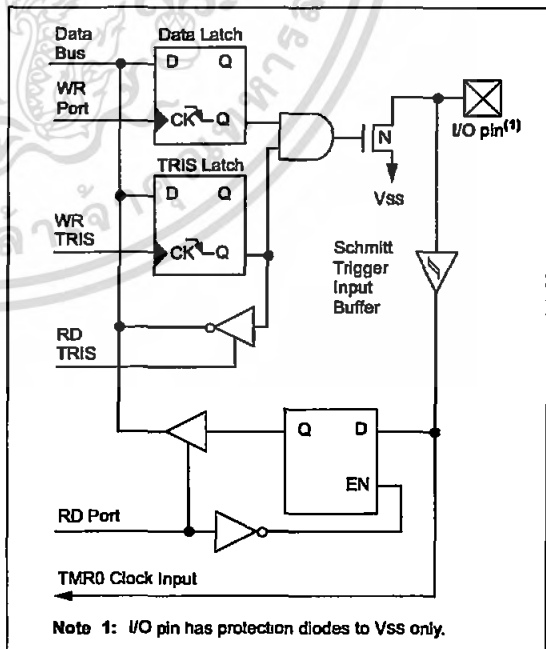


FIGURE 3-2: BLOCK DIAGRAM OF RA4/T0CKI PIN



PIC16F87X

TABLE 3-1: PORTA FUNCTIONS

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

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

TABLE 3-2: 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	--0u 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

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

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.

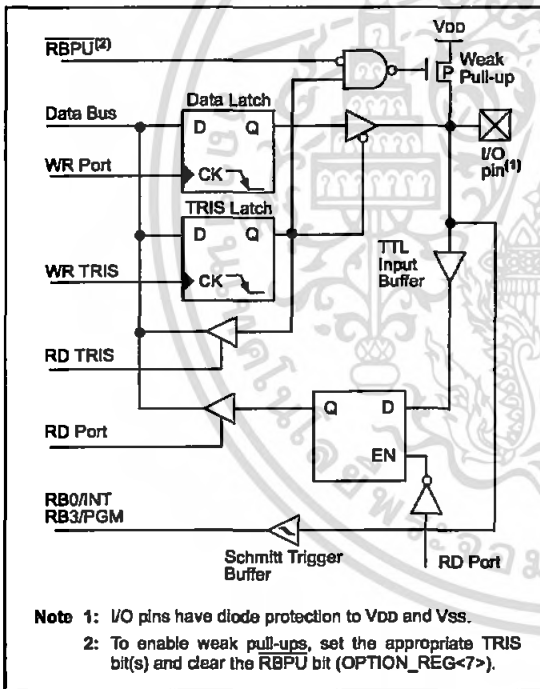
3.2 PORTB and the TRISB Register

PORTB is an 8-bit wide, bi-directional 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 Hi-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 Low Voltage Programming function: RB3/PGM, RB6/PGC and RB7/PGD. The alternate functions of these pins are described in the Special Features Section.

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 RBP_U (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 3-3: 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.

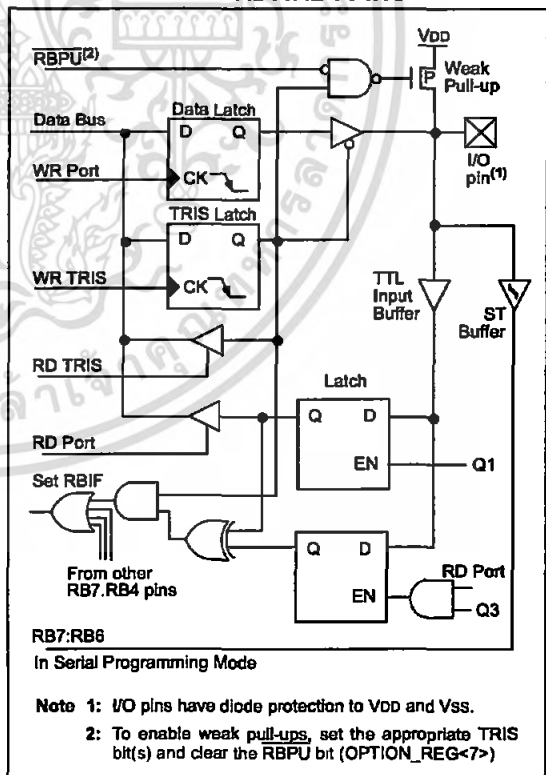
The interrupt-on-change feature is recommended for wake-up on key depression operation and operations where PORTB is only used for the interrupt-on-change feature. Polling of PORTB is not recommended while using the interrupt-on-change feature.

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 Embedded Control Handbook, "Implementing Wake-up on Key Strokes" (AN552).

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 12.10.1.

FIGURE 3-4: BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS



PIC16F87X

TABLE 3-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM ⁽³⁾	bit3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit7	TTL/ST ⁽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.

Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.

Note 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 3-4: 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	nnnn nnnn
86h, 186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
81h, 181h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

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

3.3 PORTC and the TRISC Register

PORTC is an 8-bit wide, bi-directional 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 Hi-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 3-5). 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 (BSF, BCF, XORWF) with TRISC as destination, should be avoided. The user should refer to the corresponding peripheral section for the correct TRIS bit settings.

FIGURE 3-5: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<2:0>, RC<7:5>

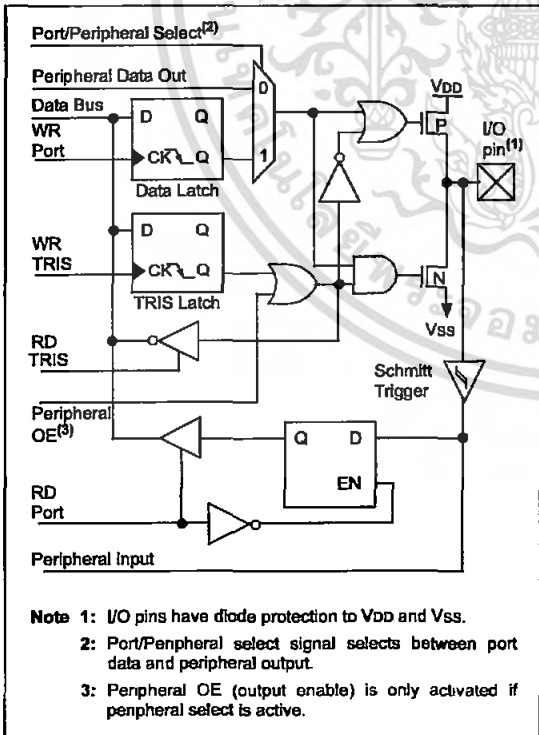
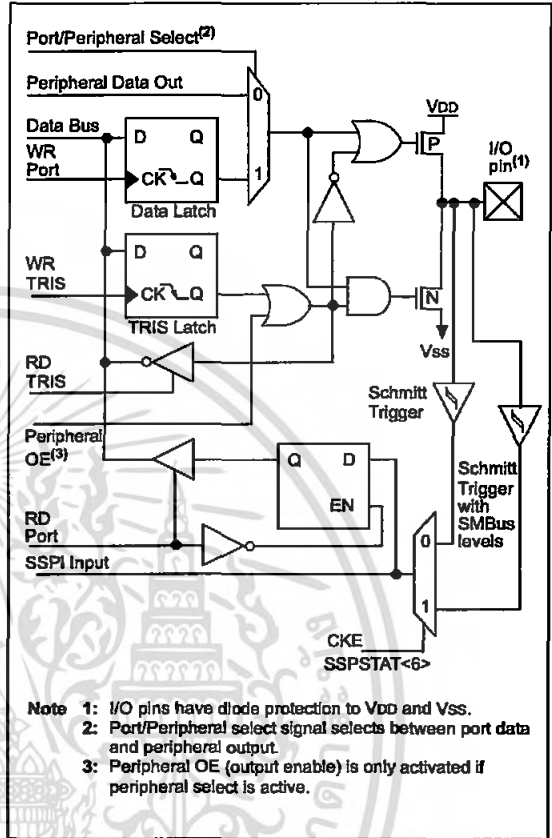


FIGURE 3-6: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<4:3>



PIC16F87X

TABLE 3-5: PORTC FUNCTIONS

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

Legend: ST = Schmitt Trigger input

TABLE 3-6: 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	xxxx xxxx	nnnn nnnn
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged

PIC16F87X

3.4 PORTD and TRISD Registers

PORTD and TRISD are not implemented on the PIC16F873 or PIC16F876.

PORTD is an 8-bit port with Schmitt Trigger input buffers. Each pin is individually configureable 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 3-7: PORTD BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

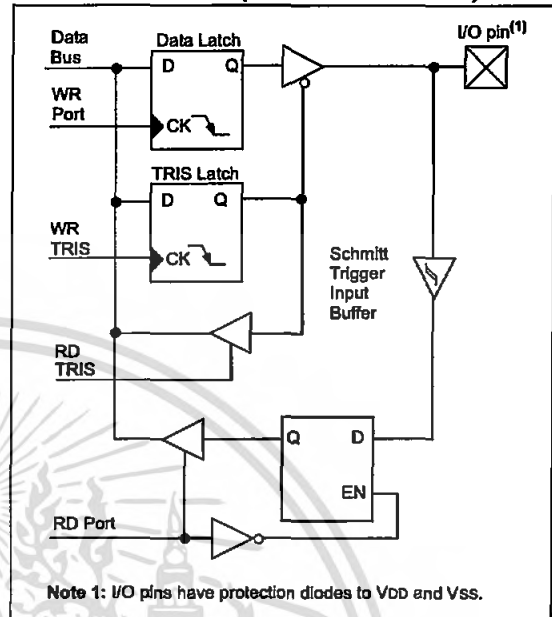


TABLE 3-7: PORTD FUNCTIONS

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

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

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

TABLE 3-8: 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	xxxx xxxx	uuuu uuuu
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.

PIC16F87X

3.5 PORTE and TRISE Register

PORTE and TRISE are not implemented on the PIC16F873 or PIC16F876.

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 3-1 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 3-8: PORTE BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

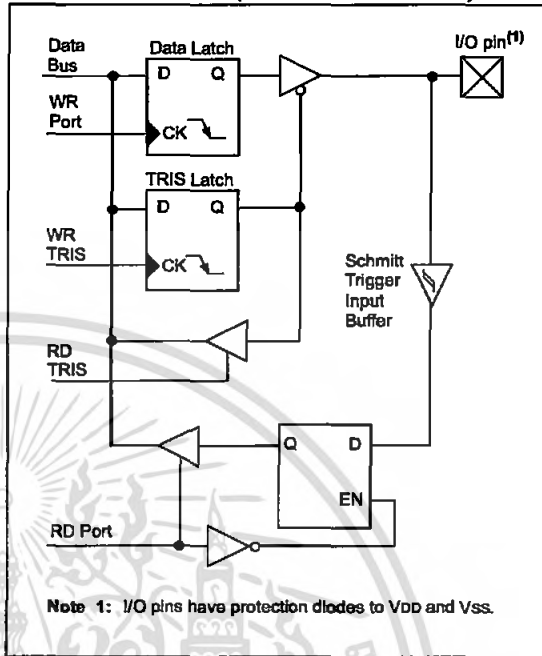


TABLE 3-9: PORTE FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RE0/ \overline{RD} /AN5	bit0	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or read control input in Parallel Slave Port mode or analog input: RD 1 = Idle 0 = Read operation. Contents of PORTD register are output to PORTD I/O pins (if chip selected)
RE1/ \overline{WR} /AN6	bit1	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or write control input in Parallel Slave Port mode or analog input: WR 1 = Idle 0 = Write operation. Value of PORTD I/O pins is latched into PORTD register (if chip selected)
RE2/ \overline{CS} /AN7	bit2	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or chip select control input in Parallel Slave Port mode or analog input: CS 1 = Device is not selected 0 = Device is selected

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

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

TABLE 3-10: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTE

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

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

REGISTER 3-1: TRISE REGISTER (ADDRESS 89h)

R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1
IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	Bit2	Bit1	Bit0
bit 7							bit 0

Parallel Slave Port Status/Control Bits:

- bit 7 **IBF:** Input Buffer Full Status bit
 1 = A word has been received and is waiting to be read by the CPU
 0 = No word has been received
- bit 6 **OBF:** Output Buffer Full Status bit
 1 = The output buffer still holds a previously written word
 0 = The output buffer has been read
- bit 5 **IBOV:** Input Buffer Overflow Detect bit (in Microprocessor mode)
 1 = A write occurred when a previously input word has not been read (must be cleared in software)
 0 = No overflow occurred
- bit 4 **PSPMODE:** Parallel Slave Port Mode Select bit
 1 = PORTD functions in Parallel Slave Port mode
 0 = PORTD functions in general purpose I/O mode
- bit 3 **Unimplemented:** Read as '0'
- PORTE Data Direction Bits:**
- bit 2 **Bit2:** Direction Control bit for pin RE2/ \overline{CS} /AN7
 1 = Input
 0 = Output
- bit 1 **Bit1:** Direction Control bit for pin RE1/ \overline{WR} /AN6
 1 = Input
 0 = Output
- bit 0 **Bit0:** Direction Control bit for pin RE0/ \overline{RD} /AN5
 1 = Input
 0 = Output

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

8.0 CAPTURE/COMPARE/PWM MODULES

Each Capture/Compare/PWM (CCP) module contains a 16-bit register which can operate as a:

- 16-bit Capture register
- 16-bit Compare register
- PWM Master/Slave Duty Cycle register

Both the CCP1 and CCP2 modules are identical in operation, with the exception being the operation of the special event trigger. Table 8-1 and Table 8-2 show the resources and interactions of the CCP module(s). In the following sections, the operation of a CCP module is described with respect to CCP1. CCP2 operates the same as CCP1, except where noted.

CCP1 Module:

Capture/Compare/PWM Register1 (CCPR1) is comprised of two 8-bit registers: CCPR1L (low byte) and CCPR1H (high byte). The CCP1CON register controls the operation of CCP1. The special event trigger is generated by a compare match and will reset Timer1.

CCP2 Module:

Capture/Compare/PWM Register2 (CCPR2) is comprised of two 8-bit registers: CCPR2L (low byte) and CCPR2H (high byte). The CCP2CON register controls the operation of CCP2. The special event trigger is generated by a compare match and will reset Timer1 and start an A/D conversion (if the A/D module is enabled).

Additional information on CCP modules is available in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023) and in application note AN594, "Using the CCP Modules" (DS00594).

TABLE 8-1: CCP MODE - TIMER RESOURCES REQUIRED

CCP Mode	Timer Resource
Capture	Timer1
Compare	Timer1
PWM	Timer2

TABLE 8-2: INTERACTION OF TWO CCP MODULES

CCPx Mode	CCPy Mode	Interaction
Capture	Capture	Same TMR1 time-base
Capture	Compare	The compare should be configured for the special event trigger, which clears TMR1
Compare	Compare	The compare(s) should be configured for the special event trigger, which clears TMR1
PWM	PWM	The PWMs will have the same frequency and update rate (TMR2 interrupt)
PWM	Capture	None
PWM	Compare	None

PIC16F87X

REGISTER 8-1: CCP1CON REGISTER/CCP2CON REGISTER (ADDRESS: 17h/1Dh)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
—	—	CCPxX	CCPxY	CCPxM3	CCPxM2	CCPxM1	CCPxM0	
bit 7								bit 0

- bit 7-6 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 5-4 **CCPxX:CCPxY:** PWM Least Significant bits
Capture mode:
 Unused
Compare mode:
 Unused
PWM mode:
 These bits are the two LSbs of the PWM duty cycle. The eight MSbs are found in CCPRxL.
- bit 3-0 **CCPxM3:CCPxM0:** CCPx Mode Select bits
 0000 = Capture/Compare/PWM disabled (resets CCPx module)
 0100 = Capture mode, every falling edge
 0101 = Capture mode, every rising edge
 0110 = Capture mode, every 4th rising edge
 0111 = Capture mode, every 16th rising edge
 1000 = Compare mode, set output on match (CCPxIF bit is set)
 1001 = Compare mode, clear output on match (CCPxIF bit is set)
 1010 = Compare mode, generate software interrupt on match (CCPxIF bit is set, CCPx pin is unaffected)
 1011 = Compare mode, trigger special event (CCPxIF bit is set, CCPx pin is unaffected); CCP1 resets TMR1; CCP2 resets TMR1 and starts an A/D conversion (if A/D module is enabled)
 11xx = PWM mode

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

8.1 Capture Mode

In Capture mode, CCPR1H:CCPR1L captures the 16-bit value of the TMR1 register when an event occurs on pin RC2/CCP1. An event is defined as one of the following:

- Every falling edge
- Every rising edge
- Every 4th rising edge
- Every 16th rising edge

The type of event is configured by control bits CCP1M3:CCP1M0 (CCPxCON<3:0>). When a capture is made, the interrupt request flag bit CCP1IF (PIR1<2>) is set. The interrupt flag must be cleared in software. If another capture occurs before the value in register CCPR1 is read, the old captured value is overwritten by the new value.

8.1.1 CCP PIN CONFIGURATION

In Capture mode, the RC2/CCP1 pin should be configured as an input by setting the TRISC<2> bit.

Note: If the RC2/CCP1 pin is configured as an output, a write to the port can cause a capture condition.

8.1.2 TIMER1 MODE SELECTION

Timer1 must be running in Timer mode, or Synchronized Counter mode, for the CCP module to use the capture feature. In Asynchronous Counter mode, the capture operation may not work.

8.1.3 SOFTWARE INTERRUPT

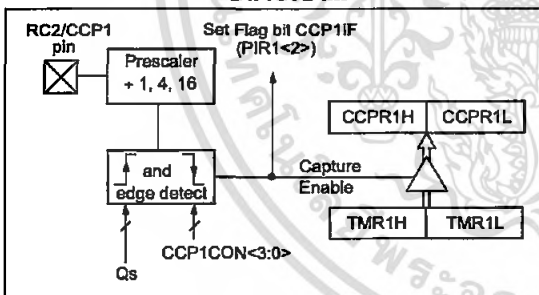
When the Capture mode is changed, a false capture interrupt may be generated. The user should keep bit CCP1IE (PIE1<2>) clear to avoid false interrupts and should clear the flag bit CCP1IF, following any such change in operating mode.

8.1.4 CCP PRESCALER

There are four prescaler settings, specified by bits CCP1M3:CCP1M0. Whenever the CCP module is turned off, or the CCP module is not in Capture mode, the prescaler counter is cleared. Any RESET will clear the prescaler counter.

Switching from one capture prescaler to another may generate an interrupt. Also, the prescaler counter will not be cleared, therefore, the first capture may be from a non-zero prescaler. Example 8-1 shows the recommended method for switching between capture prescalers. This example also clears the prescaler counter and will not generate the "false" interrupt.

FIGURE 8-1: CAPTURE MODE OPERATION BLOCK DIAGRAM



EXAMPLE 8-1: CHANGING BETWEEN CAPTURE PRESCALERS

```

CLRf  CCP1CON    ; Turn CCP module off
MOVLW  NEW_CAPT_PS ; Load the W reg with
                    ; the new prescaler
MOVWF  CCP1CON    ; move value and CCP ON
MOVWF  CCP1CON    ; Load CCP1CON with this
                    ; value
    
```

PIC16F87X

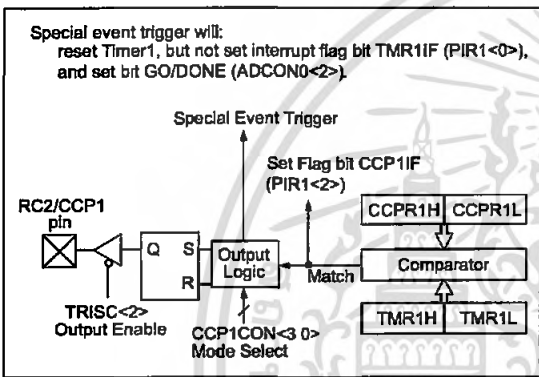
8.2 Compare Mode

In Compare mode, the 16-bit CCPR1 register value is constantly compared against the TMR1 register pair value. When a match occurs, the RC2/CCP1 pin is:

- Driven high
- Driven low
- Remains unchanged

The action on the pin is based on the value of control bits CCP1M3:CCP1M0 (CCP1CON<3:0>). At the same time, interrupt flag bit CCP1IF is set.

FIGURE 8-2: COMPARE MODE OPERATION BLOCK DIAGRAM



8.2.1 CCP PIN CONFIGURATION

The user must configure the RC2/CCP1 pin as an output by clearing the TRISC<2> bit.

Note: Clearing the CCP1CON register will force the RC2/CCP1 compare output latch to the default low level. This is not the PORTC I/O data latch.

8.2.2 TIMER1 MODE SELECTION

Timer1 must be running in Timer mode, or Synchronized Counter mode, if the CCP module is using the compare feature. In Asynchronous Counter mode, the compare operation may not work.

8.2.3 SOFTWARE INTERRUPT MODE

When Generate Software Interrupt mode is chosen, the CCP1 pin is not affected. The CCP1F bit is set, causing a CCP interrupt (if enabled).

8.2.4 SPECIAL EVENT TRIGGER

In this mode, an internal hardware trigger is generated, which may be used to initiate an action.

The special event trigger output of CCP1 resets the TMR1 register pair. This allows the CCPR1 register to effectively be a 16-bit programmable period register for Timer1.

The special event trigger output of CCP2 resets the TMR1 register pair and starts an A/D conversion (if the A/D module is enabled).

Note: The special event trigger from the CCP1 and CCP2 modules will not set interrupt flag bit TMR1IF (PIR1<0>).

8.3 PWM Mode (PWM)

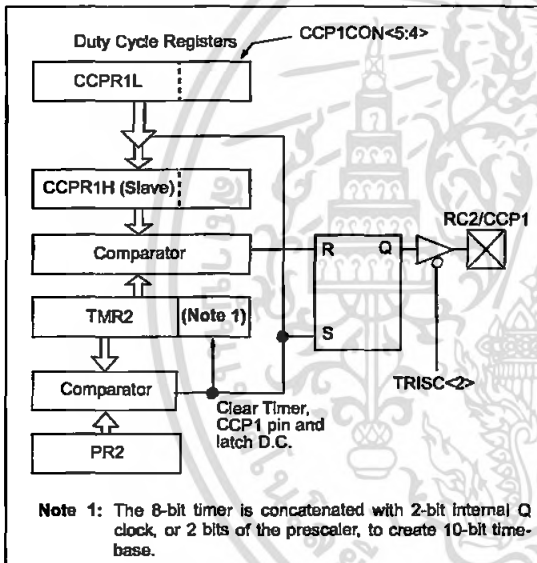
In Pulse Width Modulation mode, the CCPx pin produces up to a 10-bit resolution PWM output. Since the CCP1 pin is multiplexed with the PORTC data latch, the TRISC<2> bit must be cleared to make the CCP1 pin an output.

Note: Clearing the CCP1CON register will force the CCP1 PWM output latch to the default low level. This is not the PORTC I/O data latch.

Figure 8-3 shows a simplified block diagram of the CCP module in PWM mode.

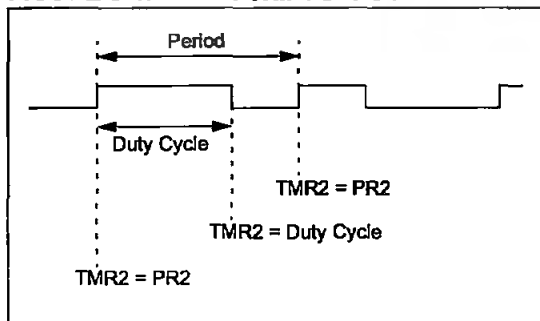
For a step-by-step procedure on how to set up the CCP module for PWM operation, see Section 8.3.3.

FIGURE 8-3: SIMPLIFIED PWM BLOCK DIAGRAM



A PWM output (Figure 8-4) has a time-base (period) and a time that the output stays high (duty cycle). The frequency of the PWM is the inverse of the period (1/period).

FIGURE 8-4: PWM OUTPUT



8.3.1 PWM PERIOD

The PWM period is specified by writing to the PR2 register. The PWM period can be calculated using the following formula:

$$\text{PWM period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 prescale value})$$

PWM frequency is defined as $1 / [\text{PWM period}]$.

When TMR2 is equal to PR2, the following three events occur on the next increment cycle:

- TMR2 is cleared
- The CCP1 pin is set (exception: if PWM duty cycle = 0%, the CCP1 pin will not be set)
- The PWM duty cycle is latched from CCPR1L into CCPR1H

Note: The Timer2 postscaler (see Section 7.1) is not used in the determination of the PWM frequency. The postscaler could be used to have a servo update rate at a different frequency than the PWM output.

8.3.2 PWM DUTY CYCLE

The PWM duty cycle is specified by writing to the CCPR1L register and to the CCP1CON<5:4> bits. Up to 10-bit resolution is available. The CCPR1L contains the eight MSBs and the CCP1CON<5:4> contains the two LSbs. This 10-bit value is represented by CCPR1L:CCP1CON<5:4>. The following equation is used to calculate the PWM duty cycle in time:

$$\text{PWM duty cycle} = (\text{CCPR1L} : \text{CCP1CON} \langle 5:4 \rangle) \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 prescale value})$$

CCPR1L and CCP1CON<5:4> can be written to at any time, but the duty cycle value is not latched into CCPR1H until after a match between PR2 and TMR2 occurs (i.e., the period is complete). In PWM mode, CCPR1H is a read-only register.

The CCPR1H register and a 2-bit internal latch are used to double buffer the PWM duty cycle. This double buffering is essential for glitch-free PWM operation.

When the CCPR1H and 2-bit latch match TMR2, concatenated with an internal 2-bit Q clock, or 2 bits of the TMR2 prescaler, the CCP1 pin is cleared.

The maximum PWM resolution (bits) for a given PWM frequency is given by the formula:

$$\text{Resolution} = \frac{\log\left(\frac{F_{osc}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

Note: If the PWM duty cycle value is longer than the PWM period, the CCP1 pin will not be cleared.

PIC16F87X

8.3.3 SETUP FOR PWM OPERATION

The following steps should be taken when configuring the CCP module for PWM operation:

1. Set the PWM period by writing to the PR2 register.
2. Set the PWM duty cycle by writing to the CCPR1L register and CCP1CON<5:4> bits.
3. Make the CCP1 pin an output by clearing the TRISC<2> bit.
4. Set the TMR2 prescale value and enable Timer2 by writing to T2CON.
5. Configure the CCP1 module for PWM operation.

TABLE 8-3: EXAMPLE PWM FREQUENCIES AND RESOLUTIONS AT 20 MHz

PWM Frequency	1.22 kHz	4.88 kHz	19.53 kHz	78.12kHz	156.3 kHz	208.3 kHz
Timer Prescaler (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
PR2 Value	0xFFh	0xFFh	0xFFh	0x3Fh	0x1Fh	0x17h
Maximum Resolution (bits)	10	10	10	8	7	5.5

TABLE 8-4: REGISTERS ASSOCIATED WITH CAPTURE, COMPARE, AND TIMER1

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
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
0Dh	PIR2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IF	---- --0	---- --0
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
8Dh	PIE2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IE	---- --0	---- --0
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
0Eh	TMR1L	Holding Register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	nnnn nnnn
0Fh	TMR1H	Holding Register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	nnnn nnnn
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	--nn nnnn
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register1 (LSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register1 (MSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register2 (LSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register2 (MSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	--00 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by Capture and Timer1.

Note 1: The PSP is not implemented on the PIC16F873/876; always maintain these bits clear.

PIC16F87X

TABLE 8-5: REGISTERS ASSOCIATED WITH PWM AND TIMER2

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
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
0Dh	PIR2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IF	---- --0	---- --0
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
8Dh	PIE2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IE	---- --0	---- --0
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
11h	TMR2	Timer2 Module's Register								0000 0000	0000 0000
92h	PR2	Timer2 Module's Period Register								1111 1111	1111 1111
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	-000 0000
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register1 (LSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register1 (MSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000
18h	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register2 (LSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register2 (MSB)								xxxx xxxx	nnnn nnnn
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	--00 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PWM and Timer2.

Note 1: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on the PIC16F873/876; always maintain these bits clear.

