

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดความเร็ววัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

SPEED METER BASED ON ULTRASONIC WAVE



โดย
นาย เกษมสันต์ หลายเกิดผล รหัส 44015276
นาย สุริยัน รังขันธ์ รหัส 44015311

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....55663

วัน,เดือน,ปี 2.4...พ.ค. 2548

b.....
i.....

เครื่องวัดความเร็ววัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
SPEED METER BASED ON ULTRASONIC WAVE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความเร็ววัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

Speed Meter Based on Ultrasonic Wave

ผู้จัดทำ

1.นาย เกษมสันต์ หลายเกิดผล

2.นาย สุริยัน รังษันท์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความเร็ววัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

นายเกษมสันต์ หลายเกิดผล 44015276

นายสุริยัน รังสรรค์ 44015311

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองและทำการสร้างเครื่องวัดความเร็วโดยชุดรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่อัลตราโซนิก ความถี่ 40 kHz โดยการนำคุณสมบัติของคลื่นที่มีการสะท้อนกลับเมื่อส่งไปกระทบเป้าหมาย (ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์) มาประยุกต์ใช้ หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้รับต่อเข้าวงจรนับความถี่และต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงคำนวณความเร็วแสดงผลออกทางตัวแสดงผล 7 ส่วน

Abstract

This project learns, tests and constructs "Speed Meter Based on Ultrasonic Wave" that the transmitter and receiver are in Ultrasonic frequency range 40 kHz by using the property of reflection when signal against the objects, (Doppler effect). After that transmits signal to frequency counter circuit and then connects to Microcontroller, finally calculates speed by program and displays the speed output on 7 - segment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 แนวทางในการทำโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 คลื่นอัลตราโซนิก	2
2.2 ปฏิกิริยาการแผ่กระจายของคลื่น	6
2.3 เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	10
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877A	21
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	34
3.1 วงจรเครื่องส่งอัลตราโซนิก	34
3.2 วงจรเครื่องรับอัลตราโซนิก	37
3.3 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง	39
3.4 วงจรนับความถี่	41
3.5 การประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	46
4.1 การทดลองภาคเครื่องส่งคลื่นอัลตราโซนิก	46
4.2 การทดลองภาคเครื่องรับคลื่นอัลตราโซนิก	47
4.3 การทดลองวงจรกรองความถี่เป็นช่วง	49
4.4 การทดลองวงจรกำเนิดความถี่ 50 เฮิร์ตซ์	50
4.5 การทดลองภาควงจรนับความถี่และภาคแสดงผล	51
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล	55
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	55
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา	56
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แพทเทิร์นของการอัดและการเบางของคลื่นเสียงที่อยู่รอบ ๆ แหล่งกำเนิดเสียง	4
รูปที่ 2.2 ผู้สังเกตเคลื่อนที่แต่ต้นทางนิ่ง	8
รูปที่ 2.3 แหล่งต้นทางคลื่นเคลื่อนที่แต่ผู้สังเกตนิ่ง	9
รูปที่ 2.4 แสดงผลของเปียโซอิเล็กทริก	11
รูปที่ 2.5 แสดงผลึกควอตซ์ และลักษณะการตัดผลึก	15
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของแรงที่มากระทำกับแผ่นฉิมเปลเพลงในทิศทางต่าง ๆ กันจนทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป	16
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกแบบ ไบเมอร์ฟ หรือเบนเคอร์ โดยมีแรงมากระทำกับวัสดุ	17
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกในโหมดของ (a) คอมเพรสชัน – เอ็กซ์แพนชัน (b) ทวิสเตอร์ (twister)	17
รูปที่ 2.9 แสดงการต่อเปียโซอิเล็กทริกเป็นแบบสแต็ก ในลักษณะของทวิสเตอร์	18
รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่าง ๆ	12
รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสลายการรบกวนของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอาร์วาร์ด	22
รูปที่ 2.12 โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x รุ่น 40 ขา เบอร์ PIC16F874(A)/877(A)	23
รูปที่ 2.13 การจัดขาและคุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F874/874A/877/877A	24
รูปที่ 2.14 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)	27
รูปที่ 2.15 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)	30
รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม	34
รูปที่ 3.2 แสดงการซาร์จประจุของตัวเก็บประจุในวงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม	35
รูปที่ 3.3 วงจรเครื่องส่งอัลตราโซนิก 40 kHz	37
รูปที่ 3.4 วงจรขยายไม่กลับเฟส	37
รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องรับอัลตราโซนิก	39
รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง	39

รูปที่ 3.7 วงจรนับความถี่	43
รูปที่ 3.8 การประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877	44
รูปที่ 3.9 โฟร์ซาร์ทแสดงลำดับการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877	45
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ตัวส่งกับค่าความต้านทานปรับค่าได้	47
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ตัวรับกับค่าแรงดันเอาต์พุต	48
รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดความถี่ 50 Hz	50
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ที่ป้อนจากอินพุตกับค่าความถี่ที่วัดได้	53
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ที่วัดได้และค่าความเร็วที่วัดได้	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความไวของประจุและค่าความไวของโวลเตจของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก ที่ต่างชนิดกัน และผลที่เกิดจากแนวการตัดที่ไม่เหมือนกัน	14
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของวงจรเครื่องส่งอัลตราโซนิก แสดงความสัมพันธ์เมื่อ ปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ และ ค่าความถี่ของตัวส่งที่เปลี่ยนไป	46
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของวงจรเครื่องรับคลื่นอัลตราโซนิก และความสัมพันธ์ ระหว่างค่าแรงดันที่เอาต์พุตและค่าความถี่ของตัวรับที่เปลี่ยนไป	48
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองวงจรกรองความถี่เป็นช่วง โดยการป้อนแรงดัน 1 V_{p-p} ที่ ความถี่ต่าง ๆ และได้ค่าแรงดันที่เอาต์พุตดังนี้	49
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจรกำเนิดความถี่ 50 Hz เมื่อ $R = 100\text{ k}\Omega (\pm 1\%)$ และ ตัวเก็บประจุ ชนิดต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ $0.1\text{ }\mu\text{F}$	51
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองจากวงจรนับความถี่ เทียบกับค่าความถี่อินพุตค่าต่าง ๆ	52
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองระหว่างค่าความถี่ที่วัดได้และค่าความเร็วที่วัดได้	53

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้งานในวงการต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น เครื่องทำความสะอาดโดยใช้อัลตราโซนิก เครื่องโซนาร์ และ เครื่องอัลตราซาวด์ เป็นต้น

โครงการนี้ได้นำเอาแนวความคิด จากที่อัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงชนิดหนึ่ง โดยได้นำเอาคุณสมบัติของคลื่นมาทำการศึกษา เพื่อทำการสร้างโครงการนี้ขึ้นมา

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาและสร้างเครื่องมือวัดความเร็วของวัตถุโดยใช้หลักการของปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นอัลตราโซนิก

1.2 แนวทางในการทำโครงการ

1.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 40 kHz เพื่อนำสัญญาณมาใช้สำหรับป้อนให้กับตัวส่งอัลตราโซนิก

1.2.2 วงจรขยายภาครับ เพื่อที่จะขยายสัญญาณจากตัวรับอัลตราโซนิกให้มีขนาดแรงขึ้นและนำสัญญาณที่ได้ส่งให้วงจรรองความถี่เป็นช่วงต่อไป

1.2.3 วงจรรองความถี่เป็นช่วง เพื่อทำการตัดสัญญาณรบกวนภายนอกออกและให้ความถี่ผ่านได้เฉพาะค่าความถี่ที่รับมาจากภาคเครื่องรับ

1.2.4 วงจรนับและแสดงผล เพื่อทำการนำสัญญาณที่ได้จากภาครองความถี่เป็นช่วงเพื่อทำการนับค่าความถี่และสัญญาณอีกส่วนก็จะถูกป้อนให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วทำการคำนวณและแสดงผลเป็นความเร็วออกมาทางตัวแสดงผลเจ็ดส่วน

1.3 โครงสร้างของรายงาน

สำหรับรายงานฉบับนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงเนื้อหาทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการนี้ ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงการสร้างและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่ใช้ประกอบโครงการพร้อมกับคำอธิบายการทำงานของวงจรอย่างละเอียด ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองและผลการทดลองของโครงการ และในบทที่ 5 จะเป็นบทสรุปของโครงการ ปัญหาที่พบในการทำโครงการพร้อมทั้งแนวทางการแก้ไขปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic wave)

2.1.1 ความหมายของคลื่นอัลตราโซนิก

อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้ว หูของมนุษย์จะได้ยินเสียงในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz อัลตราโซนิกที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป

2.1.2 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก ที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ในตัวกลางนั้น ๆ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

คลื่นตามยาว (longitudinal wave) เป็นลักษณะของคลื่นซึ่งทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นและเบาบางสลับกันไป และจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นนี้ในแต่ละปริมาตรของอนุภาค คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลวและก๊าซได้ โดยมาก ถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ ใต้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

คลื่นตามขวาง (transverse wave) คือ คลื่นที่ทุก ๆ จุดบนคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางซึ่งคลื่นเดินทางไปในทิศทางหนึ่ง ๆ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซได้

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไปเพียงทิศทางเดียวเช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอื่นเนื่องมาจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวางความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

คลื่นผิวหน้า (surface wave) เป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่านั้น แต่ยังมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้ คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

2.1.3 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก

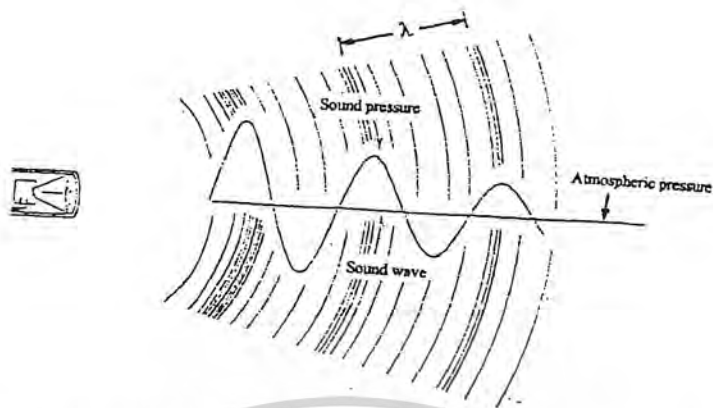
อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นย่านอัลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical wave) คลื่นอัลตราโซนิก สามารถถูกสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในที่นี้จะใช้ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric transducer) โดยจะทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล และมีความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) คงที่อยู่ค่าหนึ่ง สำหรับเพียโซอิเล็กทริกนี้ เป็นแบบที่นิยมเพราะราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลทหรือการแกว่งที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายใน 1 วินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกันนี้ เช่น อัลตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 kHz มันก็จะมีความถี่เดียวกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทาง 1 รอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive compression) หรือการเบาบางของอากาศ (rarefaction)

การอัด คือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของการอัดและการเบาบางรอบ ๆ แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงและแสดงความยาวคลื่นที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.1 แพทเทอร์นของการอัดและการเบาบางของคลื่นเสียงที่อยู่รอบ ๆ แหล่งกำเนิดเสียง

ระยะระหว่างการอัดที่สมบูรณ์และระยะระหว่างการเบาบางของคลื่น จะแสดงถึงความยาวคลื่นของคลื่น (λ)
ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$v = f\lambda$$

(2.1)

v = ความเร็วที่คลื่นสามารถเดินทางได้ในตัวกลาง (m/s)

f = ความถี่ของคลื่น (Hz)

2.1.5 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่น ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นภายในเวลา 1 วินาที

2.1.6 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อคลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มไป เนื่องจากการลู่ออกของลำคลื่น หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เพราะไม่ต่อเนื่องภายในตัวกลาง (non homogeneous) และอาจเกิดการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ถูกดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนการดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของตัวกลาง ความยืดหยุ่นและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้งาน ยิ่งมีความถี่สูงพลังงานก็ถูกดูดซับไปมาก ดังนั้นคลื่นอัลตราโซนิกที่นำมาใช้งาน โดยมากจะมีความถี่จำกัดอยู่ไม่เกิน 50 kHz หากความถี่สูงกว่านี้แล้ว เมื่อคลื่นเดินทางไปในอากาศในระยะทางไกลๆ ความแรงของคลื่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสาเหตุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ความแรงของคลื่นสะท้อนกลับมีขนาดแรงพอที่จะทำให้เครื่องรับทำงานได้ หมายถึง ยิ่งคลื่นอัลตราโซนิกมีความถี่สูงขึ้นเพียงใด รัศมีการทำงานก็จะยิ่งสั้นลง

2.1.7 การแยกแยะ

การแยกแยะหรือ รีโซลูชัน (resolution) ของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อน สามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกแยะความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อน 2 ตัว ที่อยู่ใกล้กันการแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด

การแยกแยะทางด้านข้าง (azimuth resolution) หรือการแยกแยะตามแนวอาซิมุทเป็นการแยกแยะความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อัน ซึ่งวางในแนวนอนและตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่นในระยะที่เท่ากัน และขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นที่ใช้ส่ง ซึ่งก็คือคลื่นอัลตราโซนิกนั่นเอง

การแยกแยะตามแนวแกนของลำคลื่น (range resolution) เป็นการวัดความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อันตามแนวแกนของลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนดโดยความยาวของพัลส์คลื่นสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิกจากเป้าเล็ก ๆ ในทางอุดมคติ ซึ่งพัลส์ต้องสั้น เพราะถ้าพัลส์ยาวเกินไป พัลส์คลื่นสะท้อนจากเป้าที่ระยะสั้น ๆ จะมาถึงตัวรับก่อนที่พัลส์ของตัวมันจะหมดไป ซึ่งทำให้คลื่นสะท้อนเกิดการชนกัน

2.1.8 ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถกำหนดจุดที่คลื่นจะเดินทางไปยังเป้าหมายได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็ยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นออกมาของตัวที่กำหนดให้คลื่นเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดคลื่นเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นที่หักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดคลื่นนั้น ๆ แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก เช่น 40 kHz ซึ่งจะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น และจะเล็กกว่าช่องเปิดที่ให้เสียงลวดออกมา ที่ความถี่นี้ คลื่นจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือเราเรียกว่า มีทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านอัลตราโซนิกก่อให้เกิดประโยชน์ที่เราจะสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control), เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner), เครื่องวัดความหนาของวัตถุ, เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้น้ำ (sonar), เครื่องหาตำแหน่งอวัยวะภายในร่างกาย หรือใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้จะขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าการใช้งานจำเป็นต้องใช้คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านอากาศแล้วความถี่ที่ใช้ก็จะถูกจำกัดอยู่ที่ความถี่ไม่เกิน 50 kHz เพราะที่ความสูงกว่านี้ อากาศจะกลืนคลื่นได้มากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำงานสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz - 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz ก็มีการนำไปใช้ในหลาย ๆ ด้าน โดยตัวกลางที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านตัวกลางที่ไม่ใช่

2.2 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect)

ถ้าต้นกำเนิดคลื่นและผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์ต่อกัน เมื่อเทียบให้ตัวกลางที่คลื่นผ่านนั้นอยู่นิ่ง ความถี่ของคลื่นที่ปรากฏต่อผู้สังเกตจะต่างไปจากความถี่ของคลื่นที่ส่งออกมาจากต้นกำเนิด เช่น ในเรื่องเสียง ถ้าต้นกำเนิดเสียงและผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหากัน ผู้ฟังจะได้ยินเสียงมีระดับสูงกว่าเมื่อต่างก็อยู่นิ่ง เพราะความถี่เสียงที่ปรากฏต่อผู้ฟังนั้นสูงขึ้น และถ้าทั้งคู่เคลื่อนที่ออกห่างจากกันความถี่ปรากฏของเสียง จะต่ำลง เป็นต้น ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

นักฟิสิกส์ชาวออสเตรียชื่อ ดอปเปลอร์ ซึ่งมีชีวิตอยู่ระหว่างปี พ.ศ. 2346 ถึง 2396 ได้ศึกษาถึงความถี่ปรากฏของเสียงเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นเขาได้เขียนรายงานว่ามีปรากฏการณ์เช่นนี้ในแสงด้วย ได้มีการศึกษาถึงเรื่องนี้กันต่อมาและพบว่า ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ในแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงและคลื่นวิทยุ นั้นเกิดได้ในสุญญากาศจึงไม่ต้องเทียบความเร็วของต้นกำเนิดคลื่นและผู้สังเกตกับตัวกลางอื่นใดเลย คงเทียบระหว่างความเร็วของคลื่นกับความเร็วของผู้สังเกตเท่านั้น ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ในแสงก่อให้เกิดประโยชน์มากในวิชาดาราศาสตร์ โดยการศึกษาเส้นสเปกตรัมของแสงจากดวงดาวต่าง ๆ แล้วหาความถี่ที่เปลี่ยนไปอันเกิดจากดวงดาวเหล่านั้นเคลื่อนที่ ทำให้พบความจริงหลายประการ เช่น พบดาวคู่บนท้องฟ้า พบว่า วงแหวนที่เห็นรอบ ๆ ดาวเสาร์นั้นคือดาวเล็ก ๆ เป็นจำนวนมากเคลื่อนที่รอบดาวนี้ และพบว่าดวงอาทิตย์หมุนรอบแกนที่ผ่านขั้วเหนือได้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความถี่ปรากฏเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะคลื่นเสียงเท่านั้น จะพิจารณาหาความสัมพันธ์เพื่อใช้คำนวณหาค่าความถี่ของคลื่นที่ผู้สังเกตได้รับตามกรณีต่าง ๆ ดังนี้

สมมติ v แทนอัตราเร็วคลื่น

f แทนความถี่คลื่น

λ แทนความยาวคลื่น

v_0 แทนอัตราเร็วของผู้สังเกตหรือผู้รับคลื่น (O)

v_s แทนอัตราเร็วของแหล่งต้นทางคลื่น (S)

และ f' แทนความถี่คลื่นที่ปรากฏต่อผู้สังเกต

2.2.1 ผู้สังเกตเคลื่อนที่แต่ต้นทางนิ่ง

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของผู้สังเกตตามที่กล่าวนี้ มีทั้งกรณีเคลื่อนที่เข้าหาและการเคลื่อนที่ออกจากแหล่งต้นทางคลื่น เราจึงต้องหาความสัมพันธ์ที่ครอบคลุมอย่างครบถ้วนอย่างไรก็ตาม เมื่อคำนึงถึงหลักทางเวกเตอร์แล้ว ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v_0 การเคลื่อนที่จากแหล่งต้นทางคลื่น ก็เป็นการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับกรณีเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งต้นทางคลื่น ซึ่งอยู่นิ่ง ($v_s = 0$) เทียบกับอากาศที่สมมติว่านิ่ง เช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงสามารถพิจารณาเพียงกรณีเดียวแล้วสรุปให้ครอบคลุมได้

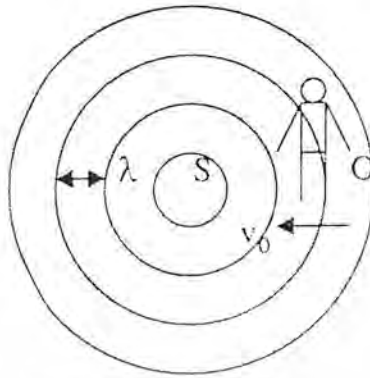
สมมติ พิจารณากรณีที่ผู้สังเกตกำลังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งต้นทางคลื่นซึ่งอยู่นิ่ง ($v_s = 0$) ด้วยอัตราเร็ว v_0

กรณีดังกล่าวนี้ อัตราเร็วคลื่นเทียบกับผู้สังเกต คือ $v' = v + v_0$ ในขณะที่ ความยาวคลื่น (λ) ไม่เปลี่ยน ดังรูปที่ 2.2

$$\text{จะได้ } f' = v'/\lambda = (v+v_0)/\lambda = f\{(v+v_0)/v\} = f\{1+(v_0/v)\} \quad (2.2)$$

$$v_0 = \{f'/f - 1\}v \quad (2.3)$$

โดยปรากฏว่า ความถี่คลื่นที่ผู้สังเกตได้รับ สูงกว่าค่าความถี่ของแหล่งต้นทาง (f) จริง



รูปที่ 2.2 ผู้สังเกตเคลื่อนที่แต่ต้นทางนิ่ง

อนึ่ง ถ้าเป็นกรณีที่ผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งต้นทางคลื่นซึ่งอยู่นิ่ง ด้วยอัตราเร็ว (v_o) ความถี่คลื่นที่ผู้สังเกตได้รับ (f') ย่อมจะต่ำกว่าความถี่คลื่น (f)

$$\text{จะได้ } f' = f(v - v_o)/v = f\{1 - (v_o/v)\} \quad (2.4)$$

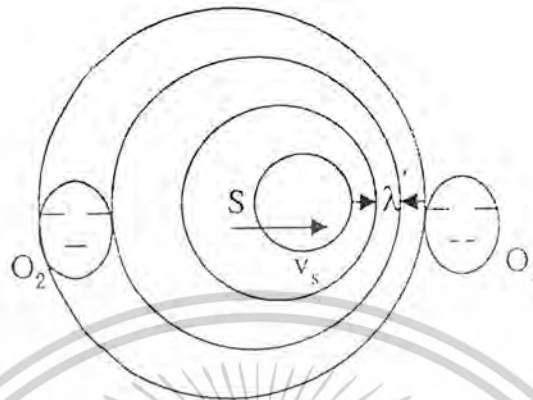
$$V_o = \{1 - (f'/f)\}v \quad (2.5)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (2.2) และ (2.4) ประกอบกัน

$$\text{จะได้ } f' = f(v \pm v_o)/v = f\{1 \pm (v_o/v)\} \quad (2.6)$$

โดยที่เครื่องหมายบวกเป็นกรณีที่ผู้สังเกตกำลังเคลื่อนที่เข้าหา ส่วนเครื่องหมายลบก็เป็นกรณีที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากแหล่งต้นทางคลื่นซึ่งอยู่นิ่งนั้น

2.2.2 แหล่งต้นทางคลื่นเคลื่อนที่แต่ผู้สังเกตนิ่ง



รูปที่ 2.3 แหล่งต้นทางคลื่นเคลื่อนที่แต่ผู้สังเกตนิ่ง

จากรูป สมมติ แหล่งต้นทางคลื่น (S) กำลังเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต (O_1) แต่คลื่นที่ออกจากผู้สังเกต (O_2) ซึ่งค้างก็อยู่นิ่ง ด้วยอัตราเร็ว v_s

ปรากฏว่า ระยะห่างหน้าคลื่นสู่ O_1 จะอยู่ใกล้กับความยาวคลื่น (λ) ในขณะที่หน้าคลื่นที่ O_2 ได้รับนั้น จะอยู่ห่างกันมากกว่า λ กล่าวคือ ผู้สังเกต O_1 ได้รับคลื่นมีความยาวคลื่น (λ') สั้นลง หรือมีความถี่คลื่น (f') สูงขึ้น ส่วนคลื่นที่ผู้สังเกต O_2 ได้รับนั้นจะตรงกันข้ามคือ $\lambda' > \lambda$ และ $f' < f$ แสดงว่า กรณีดังกล่าวนี้ ความยาวคลื่นเปลี่ยนเมื่อเป็นกรณีที่แหล่งต้นทางคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต (O_1) ความยาวคลื่นที่ลดลง ($\Delta\lambda$) ย่อมเป็นผลจากระยะทางที่แหล่งต้นทางคลื่นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v_s แสดงว่า $\Delta\lambda = v_s/f$

$$\text{จะได้ } \lambda' = \lambda - \Delta\lambda = v/f - v_s/f = 1/f(v - v_s) \quad (2.7)$$

$$\text{และ } f' = v/\lambda' = f\{v/(v - v_s)\} = f\{1/(1 - v_s/v)\} \quad (2.8)$$

ตรงกันข้าม ถ้าเป็นกรณีที่แหล่งต้นทางคลื่นเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต (O_2)

$$\text{จะได้ } \lambda' = \lambda + \Delta\lambda = 1/f(v + v_s) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{และ } f' = v/\lambda' = f\{v/(v+v_s)\} = f\{1/(1+v_s/v)\} \quad (2.10)$$

เราจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์รวมของสมการ (2.8) และ (2.10) ได้ดังนี้

$$f' = f\{v/(v+v_s)\} = f\{1/(1+v_s/v)\} \quad (2.11)$$

โดยที่เครื่องหมายลบและบวก แทนกรณีการเคลื่อนที่ของแหล่งต้นทางคลื่น เข้าหาและออกจากผู้สังเกตตามลำดับ

2.2.3 ทั้งผู้สังเกตและแหล่งต้นทางเคลื่อนที่

กรณีนี้ถือได้ว่าเป็นกรณีผสมของ 2 กรณีที่พิจารณามาแล้วนั่นเอง เราจึงสามารถนำเอาผลที่ได้ดังสมการ (2.6) และ (2.11) มาเขียนเป็นความสัมพันธ์ทั่วไปได้ดังนี้

$$f' = f(v \pm v_o)/(v \mp v_s) \quad (2.12)$$

โดยที่ $+v_o$ และ $-v_s$ เป็นกรณีของการเคลื่อนที่เข้าหากัน ส่วน $-v_o$ และ $+v_s$ ก็เป็นกรณีของการเคลื่อนที่ออกจากกัน อย่างไรก็ตาม ถ้าคำนึงถึงความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ตามที่กล่าวไว้แล้ว ก็จะไม่ต้องจำให้ยุ่งยากอะไร

อนึ่ง ถึงแม้จากประสบการณ์และหลักการพิจารณา เรามักจะคำนึงถึงคลื่นเสียงเป็นประการสำคัญ แต่ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ตามที่ได้พิจารณามาแล้วนี้ ก็ใช้ได้ดีสำหรับคลื่นฮาร์มอนิกโดยส่วนรวม เช่น กรณีคลื่นแสง ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปรากฏว่า เส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ตลอดจนดาราจักร (galaxy) และวัตถุอื่น ๆ ที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากเรา จะปรากฏเลื่อนไปทางสีแดง (red shift) ซึ่งมีความถี่ต่ำลง สอดคล้องกันเป็นอย่างดี

2.3 เปียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (piezo-electric transducer)

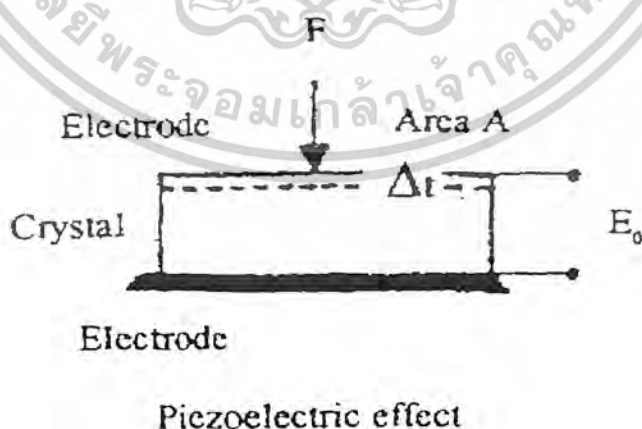
ทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียง และก็เป็นอุปกรณ์ทำการรับคลื่นเสียงที่เข้ามาแล้วแปลงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ดังนั้นในการทำงานจึงมีทรานสดิวเซอร์ 2 ตัว โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งและตัวรับอย่างละตัว ในระบบเดียวกัน ซึ่งทรานสดิวเซอร์จะมีความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) อยู่ค่าหนึ่งและจะต้องใช้คู่กันเสมอ ทรานสดิวเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะมีรูปร่างและลักษณะเหมือนกันทุกประการนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก เราสามารถจะรู้ได้ว่าตัวไหนเป็นตัวส่งหรือตัวรับได้ โดยดูจากอักษรท้ายเบอร์ เช่น MA40A5S คือ ตัวส่ง “S” หมายถึง Sender MA40A5R คือตัวรับ “R” หมายถึง Receiver แต่ในวงจร สัญลักษณ์ของตัวส่งจะเหมือนเป็นรูปลำโพง หรือเขียนว่า Tx ซึ่งหมายถึง Transmitter และตัวรับจะเขียนในรูปลำโพง หรือเขียนว่า Rx ซึ่งหมายถึง Receiver

ทรานสดิวเซอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยมากจะมีความถี่เรโซแนนท์ให้เลือกใช้ตั้งแต่ค่า 23 kHz จนถึง 40 kHz แต่ส่วนมากที่นำมาใช้และพบเห็นบ่อย คือ ค่า 23 kHz , 25 kHz และ 40 kHz โดยที่ค่าความถี่ 40 kHz เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่ในเฉพาะทรานสดิวเซอร์ที่เป็นแบบเพียโซอิเล็กทริก เพราะเป็นแบบที่นำมาใช้ในการดำเนินงานจริงในโครงการนี้

2.3.1 ปฏิกิริยาของเพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ไดอิเล็กทริกแบบ คริสตัล (solid crystalline dielectric) ดังรูปที่ (2.4) ซึ่งจะเกิดความเค้นภายในคริสตัลและทำให้แลตทิซของคริสตัลผิดรูปไป เช่น พวกควอตซ์ เป็นต้น ผลก็คือ ประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลตทิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระจัด (displacement) ของประจุบวกและลบเปลี่ยนทิศทางไป การกระจัดของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามของคริสตัล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก



รูปที่ 2.4 แสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอก แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองขนาด (magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ แสดงได้ตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q = dF \quad (\text{coulomb}) \quad (2.13)$$

Q = ขนาดของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (coulomb)

d = ค่าความไวของประจุ (charge sensitivity)(coulomb / newton)

F = ขนาดของแรงที่ทำให้คริสตัลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt

ค่าความเค้นและความเครียดภายในคริสตัลสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\zeta = Y\sigma \quad (2.14)$$

Y = ค่ายังส์โมดูลัส (Young's modulus)(Newton/m²)

σ = ความเครียด ($\sigma = \Delta l/l$)

ζ = ความเค้น ($\zeta = F/A$)

Δl = ระยะที่เกิดจากการสั่นของแท่งคริสตัล (m)

l = ความหนาของแท่งคริสตัล (ระยะระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด)(m)

A = พื้นที่ของคริสตัลบนด้านที่เป็นอิเล็กโทรด (m²)

จากความสำคัญดังสมการที่ (2.14) เราสามารถสร้างความสัมพันธ์แบบใหม่ได้

คือ

$$F = \Delta l Y A / l \quad (\text{Newton}) \quad (2.15)$$

และจากความสำคัญดังสมการที่ (2.15) เมื่อนำไปแทนกลับลงในความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.13) จะได้ว่าค่าประจุบนผิวของคริสตัลที่ถูกเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับระยะที่เกิดจากการสั่นของแท่งคริสตัล ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = d A Y \Delta t / t \quad (\text{coulomb}) \quad (2.16)$$

ประจุบนผิวอิเล็กโทรดที่ถูกเหนี่ยวนำ จะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้ ซึ่งก็หมายความว่าถ้าประจุบนผิวของคริสตัลที่ถูกเหนี่ยวนำมากขึ้น โวลเตจคร่อมก็จะมากตามไปด้วย

$$E_0 = Q / C \quad (\text{volt}) \quad (2.17)$$

E_0 = โวลเตจคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด (volt)

C = ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด (farad)

ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดนี้ เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิดของสารกึ่งตัวนำ หรือวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้ วัสดุต่างชนิดกันก็จะมีค่า C ต่างกัน

$$C = \epsilon A / T \quad (\text{farad}) \quad (2.18)$$

ϵ = ค่าสัมบูรณ์ของการซึมซาบของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก
(absolute permittivity)(farad/m)

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.13),(2.17) และ (2.18) เราสามารถแสดงค่าโวลเตจคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดได้ใหม่ดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้

$$E_0 = d Ft / \epsilon A \quad (\text{volt}) \quad (2.19)$$

$$\text{หรือ } E_0 = g Ft / A = g t P \quad (\text{volt}) \quad (2.20)$$

g = ค่าความไวของโวลเตจ (voltage sensitivity ; $g = d / \epsilon$)(volt - m/newton)

P = ความดันที่กระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก;

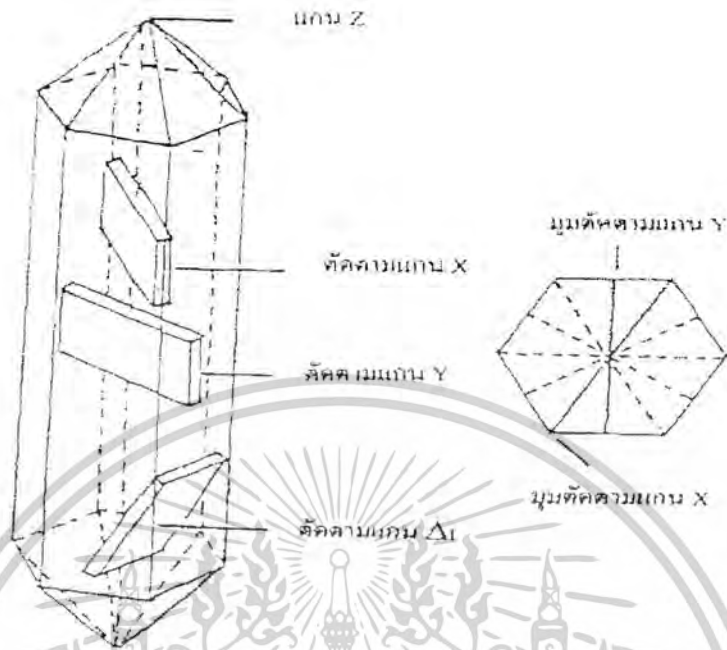
$$P = F / A \quad (\text{newton/m}^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL	ORIENTATION	CHARGE SENSITIVITY (d) (Coulomb/Newton)	VOLTAGE SENSITIVITY (g)(Volt- m/Newton)
1. Quartz	X cut : length along Y length longitudinal	2.25×10^{-12}	0.055
	X cut : thickness longitudinal	-2.04	-0.050
	Y cut : thickness shear	4.4	0.108
2. Rochelle salt	X cut 45° : length longitudinal	435	0.098
	Y cut 45° : length longitudinal	-78.4	-0.29
3. Ammonium Dihydrogen Phosphate	Z cut 0° : face shear	48	0.354
	Z cut 45° : length longitudinal	24	0.177
4. Commercial Barium Titanate Ceramic	Parallel to polarization	130-160	0.0106
	Perpendicular to polarization	-56	0.0042-0.0053

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความไวของประจุและค่าความไวของโวลเตจของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ต่างชนิดกัน และผลที่เกิดจากแนวการตัดที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงผลึกควอทซ์ และลักษณะการตัดผลึก

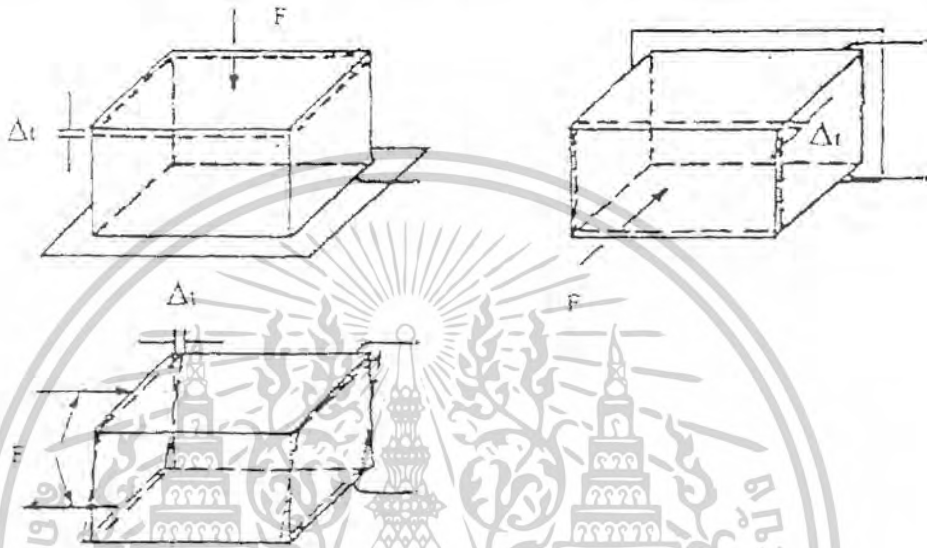
ชิ้นส่วนของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric element) จะมีการตัดแบบต่าง ๆ เพื่อผลทางด้านความไวของประจุโวลเตจ โดยการตัดก็ถือตามวิธีตัดตามแนวแกนต่าง ๆ ดังรูปที่ (2.5)

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ควอทซ์ (Quartz), ทัวร์มาลีน โรเชลล์ซอลท์ (Tourmaline Rochelle Salt), แอมโมเนียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ammonium Dihydrogen Phosphate ;ADP) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตัลที่เป็นเพียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไตทาเนท หรือ เซรามิก เป็นต้น จะต้องนำมาทำรอบคริสตัลภายใต้แรงดัน และวัสดุที่ได้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟ DC หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าแล้ว ก็จะมีขั้วตามแนวทิศทางของสนามและประพฤติกรรมตามคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตัล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ รวมไปถึงทิศทางของขั้วที่จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.3.2 ลักษณะการปฏิบัติของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

สามารถแยกโหมดการทำงาน (mode of operation) ได้เป็นดังนี้

ซิมเปิลเพลท (simple plate) เป็นวัสดุเปียโซอิเล็กทริกชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำกับแผ่นเพลทในทิศทางต่างๆ กันทำให้เกิดการขยุ้มตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปได้ ดังรูปที่ 2.6

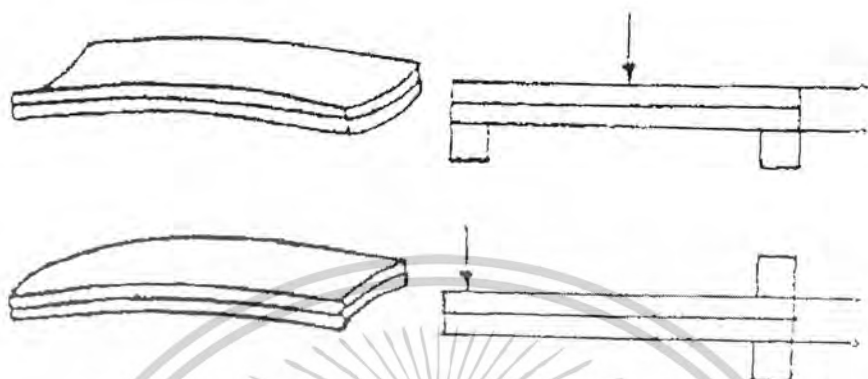


รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของแรงที่มากระทำกับแผ่นซิมเปิลเพลทในทิศทางต่างๆ กัน จนทำให้เกิดการขยุ้มตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป

สแต็ก (stack หรือ multiple arrangement) เป็นนำเอาชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกมาต่อกันในลักษณะโหมดของคอมเพรสชั่น – เอ็กซ์แพนชั่น (compression – expansion mode) ดังแสดงในรูปที่ (2.7) โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้อาตพุทโวลเตจ (output voltage) ออกมาสูงที่แรงกดดันเดียวกัน หรือถ้าเอามาต่อขนานกันก็จะได้อาตพุทอิมพีแดนซ์ (output impedance) ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะต่าง ๆ ได้ ดังนี้คือ ไบมอร์ฟ หรือ เบนเดอร์ (bimorphs, bender) : ประกอบด้วยเพลทแบบ ทรานสเวอร์ส เอ็กซ์แพนดิง 2 อัน (transverse expanding) ติดกันไว้อย่างแน่นหนา ซึ่งเมื่อป้อนแรงดันให้แก่มันก็จะเกิดการโค้งงอ และการโค้งงอของชิ้นส่วนนี้ เป็นสาเหตุก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด ดังแสดงในรูป (2.8a) และ (2.8b) ซึ่งรูป (2.7a) เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกไว้บนขาตั้งที่อยู่กับที่และมีแรง F มากระทำที่ตรงกลางแผ่น ส่วนในรูปที่ (2.8b) จะเป็นการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริก โดยที่มีการยึด

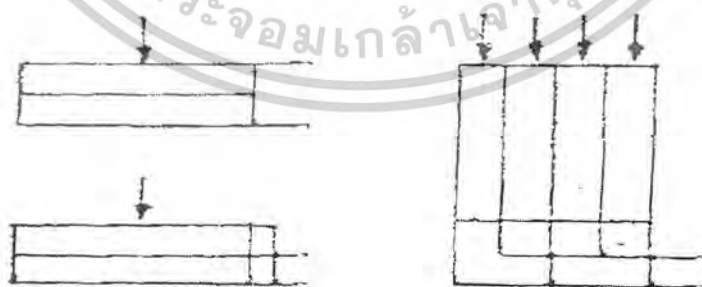
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายของวัสดุเพียงด้านเดียวในลักษณะที่เท่าแขน ระบบนี้เป็นที่ใช้บ่อยในโฟโนกราฟฟิคอัล
คาทริคส์ (phonographic pickup cartridge)



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบไบมอร์ฟ หรือเบนเดอร์ โดยที่มีแรงมา
กระทำกับวัสดุ

- (a) แสดงการติดตั้งวัสดุบนขาตั้งที่อยู่กับที่ โดยแรง F ใดๆ มากระทำกับวัสดุ ณ
จุดกึ่งกลางของวัสดุ และผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากระทำ
- (b) แสดงการติดตั้งวัสดุที่มีจุดยึดที่ปลายข้างหนึ่ง โดยมีแรงมากระทำที่ปลายอีก
ด้านหนึ่ง และผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากระทำ

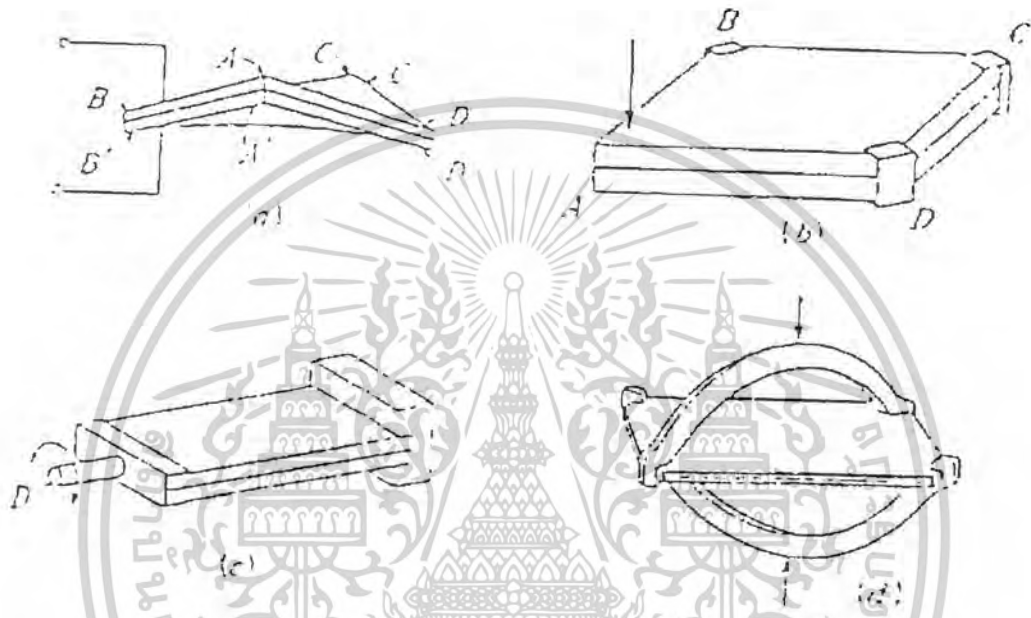


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในโหมดของ (a) คอมเพรสชั่น – เอ็กซ์แพนชั่น

(b) ทวิสเตอร์ (twister):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.9 แสดงเพลทแบบเฟสซีเรีย (face - hear plate) 2 อัน วางประกบกันอย่างแน่นหนา ถ้าแรงคลื่นไฟฟ้าให้แผ่นเพลททั้งสองแล้ว มันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระ การขยายตัวจะมีมาก การขยายตัวก็จะไปในแนวเส้นทแยงมุม AC โดยที่ A'C' ขยายตัว ทำนองเดียวกันกับเส้นทแยงมุม BD ขยายตัวและ B'D' ประกบกันอยู่



รูปที่ 2.9 แสดงการต่อเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบสแต็ค ในลักษณะของทวิสเตอร์

2.3.3 ชนิดของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ทรานสดิวเซอร์แบบเจเนอเรชัน แอกชัน (generation-action transducer) ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ทรานสดิวเซอร์แบบมอเตอร์ แอกชัน (motor-action transducer) ใช้เป็นตัวส่ง โดยเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงไฟฟ้าที่ป้อนให้ ในทั้ง 2 กรณี ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับขนาดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

สำหรับทางด้านตัวส่งเมื่อทรานสดิวเซอร์ได้รับสัญญาณแรงดันมาครบคร่อม จะทำให้ชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกโก้งงอ ทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้น ถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วง ๆ (pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชิ้นสาร โกงงอมากน้อยหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้น โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เอาท์พุทที่สูงที่ค่านี้ โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงยิ่งกว่านี้

ส่วนการทำงานของทางด้านรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับทางด้านการส่ง คือ เมื่อคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชิ้นสารเข้ามา ก็จะทำให้ชิ้นสาร โกงงอตัวไปมาและเกิดสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้ากร่อมข้าวทั้งสองของชิ้นสารตัวรับ

คุณสมบัติโดยทั่วไปอย่างหนึ่งของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก คือ มีความต้านทานต่อไฟตรงสูงมากและอาจจะสูงถึง 100 M-ohm เลยก็ได้ เรียกว่าถ้านำเอามัลติมิเตอร์ (multimeter) ธรรมดา มาตวัดสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เติมจะไม่กระดิกเลย แต่อย่างไรก็ตาม ในขณะที่มันทำงานความต้านทานต่อไฟฟ้าสลับจะลดลง

2.3.5 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

ซึ่งพอจะสรุปเป็นแนวทางการใช้งานได้ดังนี้

- ไม่ควรใช้ทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบกระเทือนหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
- ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ที่อยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้
- ความถี่เรโซแนนท์ หรือความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดของทรานสดิวเซอร์แบบ 40 kHz ที่มีขายกัน โดยทั่วไป จะผิดพลาดไม่เกิน บวกหรือลบ 1 kHz และมีแถบความถี่ (bandwidth) ประมาณ 4.5 kHz สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 kHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้
- อุณหภูมิใช้งานของทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจาก

แนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวเบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวของตัวรับหรือขนาดแรงดันที่ออกมา ก็จะลดลงไปประมาณ 10 dB เช่นกัน ดังนั้นการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องคลื่นอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นอัลตราโซนิกนี้ สามารถสะท้อนกลับกับกำแพงและวัตถุที่อยู่ภายในห้องได้ ทำให้คลื่นเข้าไปหาตัวรับได้หลายทิศทาง

คลื่นอัลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้ โดยการใช้เลนส์ที่เรียกว่า พลาโนคอนเคฟเลนส์ (plano-concave lens) วางข้างหน้าทรานสดิวเซอร์แต่การทำให้เป็นแบบลำแคบนี้จะทำให้ระยะการทำงานสั้นลง การทำให้คลื่นเป็นลำแคบนี้ เหมาะสำหรับทรานสดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นที่มีความถี่สูงและเหมาะสำหรับใช้ในทางการแพทย์ (ultrasound) โดยใช้ความถี่ตั้งแต่ 1 - 10 MHz

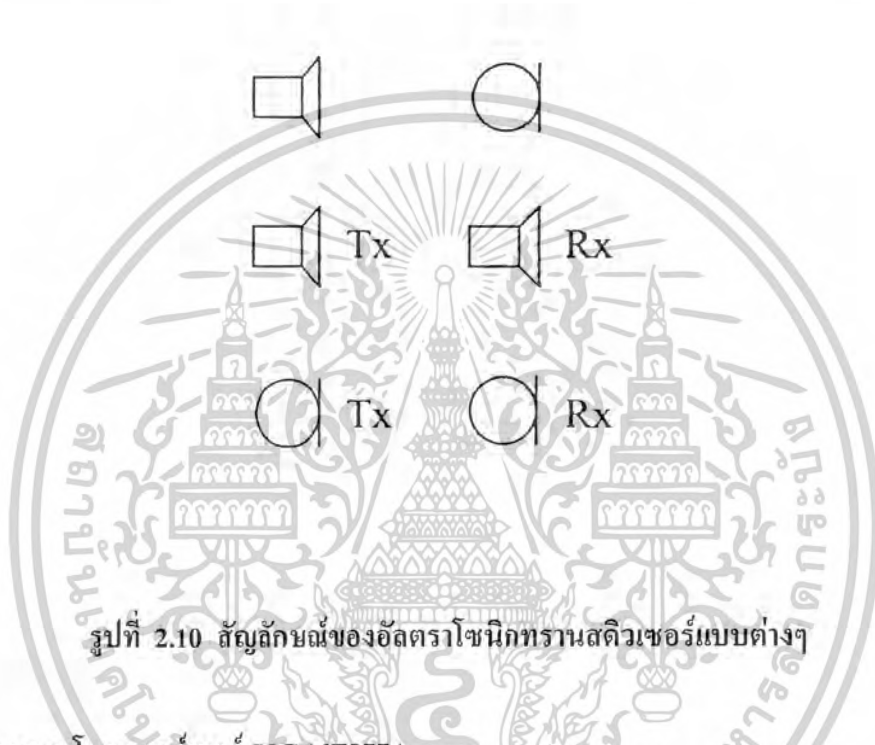
- ในกรณีใช้งานตัวรับ จำเป็นต้องมีตัวต้านทานต่อขาเข้ากับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง $10\text{ k}\Omega$ ถึง $100\text{ k}\Omega$ จากการทดลองว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก $100\text{ k}\Omega$ มาเป็น $10\text{ k}\Omega$ ความไวของตัวรับจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีกความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ถ้าการใช้งานมรสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวรับมีความไวสูงและมีตัวความถี่แคบ

- ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่และตัวส่งหรือตัวรับของอีห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ ขอเพียงให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมบรูณ์ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อลักษณะผลตอบแทนของทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

2.3.6 สัญลักษณะของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เนื่องจากทรานสดิวเซอร์ตัวส่งถูกออกแบบให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ตัวมันออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก หน้าที่ของมันจึงคล้ายๆ เป็นลำโพง ส่วนตัวรับถูกออกแบบเจาะจงให้แปลงคลื่นเสียงในย่านความถี่อัลตราโซนิกที่มาตกกระทบที่ตัวมันให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้ายๆ กับไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันดังแบบที่ 1 ในรูปที่ (2.10) แต่ก็มีหนังสือบางเล่มเขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับตัวส่งเป็นลำโพงหรือไมโครโฟนอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 3 แต่เขียนอักษรย่อว่า Tx (Transmitter), Rx (receiver) กำกับอยู่ด้วยหรืออาจจะใช้คำพูดกำกับให้ชัดเจนไปเลย ที่ต้องใช้สัญลักษณ์เหมือนกันก็เพราะว่า หน้าตาของตัวส่งและตัวรับที่ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานคู่กันนั้นเหมือนกัน แต่มีเบอร์กำกับมาให้รู้ที่ด้านข้างว่าตัวใดเป็นตัวส่งตัวใดเป็นตัวรับ และคุณสมบัติของทั้งสองตัวนั้นคล้ายคลึงกันมากจนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลายประเภทการใช้งาน



รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ

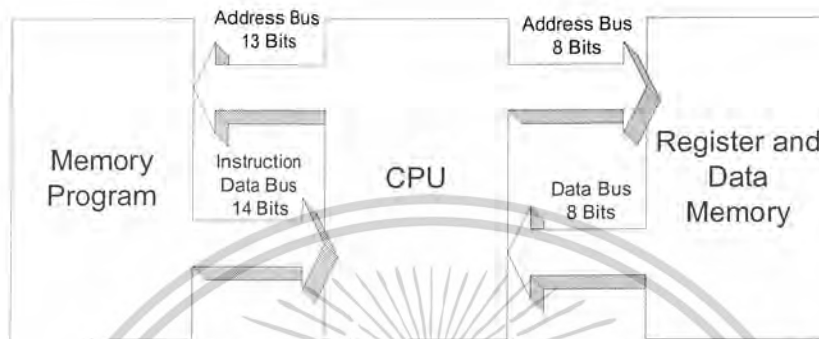
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877A

2.4.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต ทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้วการกระทำคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่าไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เฟตช์ : fetch เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วแปลเป็นเลขฐานสิบหาเพื่อให้ซีพียูเข้าใจส่วนกระบวนการเอ็กซีคิวต์ (execute) เป็นการกระคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามคำสั่งนั้น ๆ กำหนด)

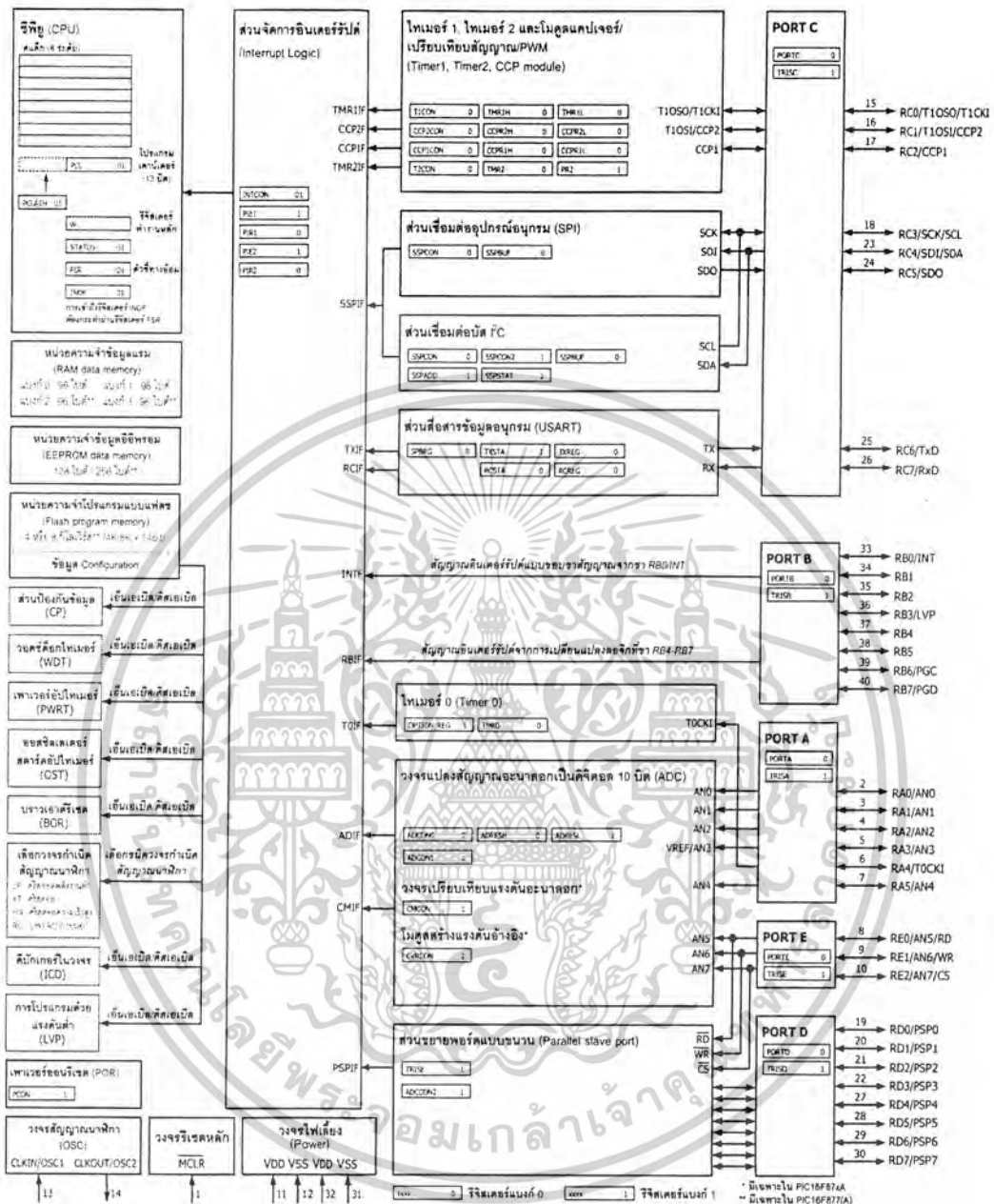


รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์ดแวร์

2.4.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877A

แสดงดังในรูปที่ 2.12 ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F84 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกพอควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (brown-out reset), ส่วนแก้ไขข้อมูลในวงจรหรือดีบั๊กเกอร์ (In-circuit debugger), วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (low-voltage programming), ไทมเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว, วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต, วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI : Serial Peripheral Interfacing), วงจรเชื่อมต่อระบบบัส I2C, วงจรสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และ โมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ-ตรวจจับสัญญาณ-วงจรมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (CCP : Compare Capture Pulse-width modulation) นอกจากนั้นในอนุกรม PIC16F87xA จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกและ โมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมเข้ามาอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

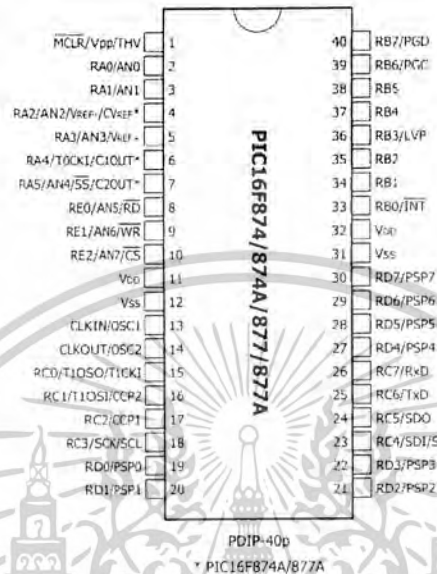


รูปที่ 2.12 โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x รุ่น 40 ขา เบอร์

PIC16F874(A)/877(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA



รูปที่ 2.13 การจัดขาและคุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC16F874/874A/877/877A

2.4.3.1 คุณสมบัติหลัก

- ชิปเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีพროม
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นกับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีเพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทมเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทมเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกกระดัดการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด
 - น้อยกว่า 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz
 - 20uA ที่ไฟเลี้ยง +3V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz
 - น้อยกว่า 1 uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

2.4.3.2 คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทมเมอร์ 3 ตัว คือ ไทมเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว , ไทมเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์ และไทมเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์, โพสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุดโดย
 - ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต (5 ช่องสำหรับ PIC16F873(A)/876(A)) และ 8 ช่องสำหรับ PIC16F874(A)/877(A)
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I²C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเท็กชัน : Brown-out detection) เพื่อการรีเซ็ตชิพ หรือ เรียกว่า บราวเอาต์รีเซ็ต (Brown-out reset : BOR)

2.4.4 การจัดสรรหน่วยความจำและรีจิสเตอร์ควบคุมของ PIC

2.4.4.1 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นที่เก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดซึ่งใช้ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F87x เป็นแบบแฟลช (flash memory) ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับแสนครั้ง แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติ หน่วยความจำโปรแกรมหลังจากที่ทำการเขียนในขั้นตอนของการโปรแกรมแล้วก็จะมิไว้สำหรับอ่านออกมาได้เพียงทางเดียว สำหรับในหนังสือเล่มนี้จะเน้นไปที่เบอร์ PIC16F873/874/876/877 ทั้งในแบบมาตรฐานและแบบลงท้ายด้วย A

PIC16F87x มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิตเพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F873/874 จะมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 4K x 14 บิต (หรือ 4 กิโลเวิร์ด โดย 1 เวิร์ดมีขนาด 14 บิต) ส่วน PIC16F876/877 จะมีขนาด 8K x 14 บิต (หรือ 8 กิโลเวิร์ด) เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้มีขนาดหน่วยความจำโปรแกรมที่ค่อนข้างใหญ่จึงต้องมีการจัดสรรเป็นดเฟจ (page) หรือเป็นหน้า โดยในดเฟจจามีขนาด 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้เนื่องจากชุดคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำได้สูงสุด 2,048 ตำแหน่ง

สำหรับ PIC16F876/877 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด มีการจัดสรรพื้นที่ดังในรูปที่ 2.14 มีการสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้เช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นรูปแบบมาตรฐานของการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ สำหรับ PIC16F876/877 มีการแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 4 เฟจ ดังนี้

เฟจ 0 มีแอดเดรสในช่วง 0x0000-0x07FF (โดยควรสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้)

เฟจ 1 มีแอดเดรสในช่วง 0x0800-0x0FFF

เฟจ 2 มีแอดเดรสในช่วง 0x1000-0x17FF

เฟจ 3 มีแอดเดรสในช่วง 0x1800-1x1FFF

ย่อย ซีพียูจะทำการเก็บค่าโปรแกรมเคอร์เตอร์หรือ PC ในขณะนั้นไว้ในสแต็ก จากสแต็กกลับมา แล้วทำงานตามกระบวนการในโปรแกรมหลักต่อไป สำหรับสแต็กใน PIC16F87x มีขนาด 13 บิต สามารถเก็บค่าของ PC ได้ 8 ระดับ

2.4.4.2 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของ PIC16F876/877

ใน PIC16F876/877 มีหน่วยความจำข้อมูลแรมสำหรับใช้งานทั่วไป 368 ไบต์ และมีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 บิต 57 ตัว หรือ 59 ตัวในเบอร์ PIC16F876/877A ดังนั้นในรูปที่ 2.15 แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่มีการใช้งานได้จริงในแต่ละแบงก์ต่างกัน โดยในแต่ละแบงก์มีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบงก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0x7F

แอดเดรส 0x00-0x1F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์

แอดเดรส 0x00-0x7F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แบงก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x80-0xFF

แอดเดรส 0x80-0x9F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0xA0-0xEF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

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

แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F

แอดเดรส 0x100-0x10F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x110-0x11F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x120-0x16F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF

แอดเดรส 0x180-0x18F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟต์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x190-0x19F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x1A0-0x1EF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDF*	0x00	INDF*	0x80	INDF*	0x100	INDF*	0x180
TMR0	0x01	OPTION_REG	0x81	TMR0	0x101	OPTION_REG	0x181
PCL	0x02	PCL	0x82	PCL	0x102	PCL	0x182
STATUS	0x03	STATUS	0x83	STATUS	0x103	STATUS	0x183
FSR	0x04	FSR	0x84	FSR	0x104	FSR	0x184
PORTA	0x05	TRISA	0x85		0x105		0x185
PORTB	0x06	TRISB	0x86	PORTB	0x106	TRISB	0x186
PORTC	0x07	TRISC	0x87		0x107		0x187
PORTD	0x08	TRISD	0x88		0x108		0x188
PORTE	0x09	TRISE	0x89		0x109		0x189
PCLATH	0x0A	PCLATH	0x8A	PCLATH	0x10A	PCLATH	0x18A
INTCON	0x0B	INTCON	0x8B	INTCON	0x10B	INTCON	0x18B
PIR1	0x0C	PIE1	0x8C	EEDATA	0x10C	EECON1	0x18C
PIR2	0x0D	PIE2	0x8D	EEADR	0x10D	EECON2	0x18D
TMR1L	0x0E	PCON	0x8E	EEDATH	0x10E	คำสั่งไว้	0x18E...
TMR1H	0x0F		0x8F	EEADRH	0x10F	คำสั่งไว้	0x18F...
TICON	0x10		0x90		0x110		0x190
TMR2	0x11	SSPCON2	0x91				
TZCON	0x12	PR2	0x92				
SSPBUF	0x13	SSPADD	0x93				
SSPCON	0x14	SSPSTAT	0x94				
CCPR1L	0x15		0x95				
CCPR1H	0x16		0x96	รีจิสเตอร์		รีจิสเตอร์	
CCP1CON	0x17		0x97	สำหรับ		สำหรับ	
RCSTA	0x18	TXSTA	0x98	ใช้งานทั่วไป		ใช้งานทั่วไป	
TXREG	0x19	SPBRG	0x99	8 บิต		8 บิต	
RCREG	0x1A		0x9A				
CCPR2L	0x1B		0x9B				
CCPR2H	0x1C	CMCON**	0x9C				
CCP2CON	0x1D	CVRCON**	0x9D				
ADRESH	0x1E	ADRESL	0x9E				
ADCON0	0x1F	ADCON1	0x9F		0x11F		0x19F
	0x20		0xA0	รีจิสเตอร์	0x120	รีจิสเตอร์	0x1A0
รีจิสเตอร์		รีจิสเตอร์		สำหรับ		สำหรับ	
สำหรับ		ใช้งานทั่วไป		ใช้งานทั่วไป		ใช้งานทั่วไป	
ใช้งานทั่วไป		8 บิต		8 บิต		8 บิต	
96 บิต					0x16F		0x1EF
		รีจิสเตอร์		รีจิสเตอร์	0x170	รีจิสเตอร์	0x1F0
		0x70-0x7F		0x70-0x7F	0x17F	0x70-0x7F	0x1FF
	0x7F	0xFF					
แบงก์ 0		แบงก์ 1		แบงก์ 2		แบงก์ 3	

* ไม่ใช้รีจิสเตอร์หลัก ต้องใช้การเข้าถึงแบบโดยอ้อม

** มีเฉพาะใน PIC16F876A/877A

*** ใช้กับการดีบักในวงจร (In-Circuit Debugger)

ไม่มีการใช้งาน อ่านค่าเป็น "0"

รูปที่ 2.15 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

คำสั่งหลักในโปรแกรมพีเอสิกของเบสิกแอสเอ็มปี 2 มีทั้งสิ้น 36 คำสั่ง สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มลักษณะการทำงานได้ 11 กลุ่ม ดังนี้

2.4.5.1. กลุ่มคำสั่งการกระโดด มีทั้งสิ้น 5 คำสั่ง คือ

IF...THEN	เปรียบเทียบเงื่อนไขก่อนกระโดด
BRANCH	กระโดดไปยังตำแหน่งที่กำหนดตามค่าของตัวแปร
GOTO	กระโดดไปยังแอดเดรสใด ๆ
GOSUB	กระโดดไปยังโปรแกรมย่อย
RETURN	กระโดดออกจากโปรแกรมย่อย

2.4.5.2. กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับลูป มี 1 คำสั่ง คือ

FOR...NEXT	กำหนดจำนวนรอบที่ต้องการวนลูปตามค่าของตัวแปร
------------	---

2.4.5.3. กลุ่มคำสั่งเลือกข้อมูล มี 3 คำสั่ง คือ

LOOKUP	เปิดตารางข้อมูล
LOOKDOWN	ค้นหาตัวเลขที่เหมือนกัน แล้วเก็บค่าไว้ในตัวแปร
RANDOM	สุ่มตัวเลข

2.4.5.4. กลุ่มคำสั่งควบคุมการทำงานของขาพอร์ท มี 13 คำสั่ง คือ

INPUT	กำหนดให้ทำงานเป็นอินพุต
OUTPUT	กำหนดให้ทำงานเป็นเอาต์พุต
REVERSE	เปลี่ยนจากขาอินพุตเป็นเอาต์พุตหรือจากเอาต์พุตเป็นอินพุต
LOW	ทำให้ขาเอาต์พุตเป็นลอจิก “ 0 ”
HIGH	ทำให้ขาเอาต์พุตเป็นลอจิก “ 1 ”
TOGGLE	ทำให้ขาเอาต์พุตกลับสถานะลอจิก
PULSIN	วัดสัญญาณพัลส์อินพุต (ความละเอียด 2 ไมโครวินาที)
PULSOUT	ส่งสัญญาณพัลส์ออก (ความละเอียด 2 ไมโครวินาที)
BUTTON	แก้การเบ้าซ์ของสวิตช์
SHIFTIN	เลื่อนข้อมูลเข้าจากแบบขนานเป็นแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHIFOUT ส่งข้อมูลออกจากแบบอนุกรม
 COUNT นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณอินพุต (มีค่า 0 – 125 kHz)
 XOUT กำหนดรหัสควบคุมสำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงอนุกรม X-10

2.4.5.5. กลุ่มคำสั่งติดต่อพอร์ตอนุกรม มี 2 คำสั่ง คือ

SERIN รับข้อมูลอนุกรมเข้า มีรูปแบบข้อมูลแบบ N81 หรือ E71
 SERTROUT ส่งข้อมูลอนุกรมในรูปแบบ N81 หรือ E71 ออกไปทางขา
 SOUTของเบสิกแอสตมป์

2.4.5.6. กลุ่มคำสั่งควบคุมขาพอร์ตอนุกรมเอาต์พุตแบบอนาล็อก มี 2 คำสั่ง คือ

PEM สร้างสัญญาณ PWM ขนาด 0-5 V ออกไปทางขาพอร์ต
 RCTIME วัดค่าเวลาการประจุและคายประจุของวงจร RC สามารถนำไปใช้
 ในการวัดค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้

2.4.5.7. กลุ่มคำสั่งจัดการด้านเสียง มี 2 คำสั่ง คือ

FREQOUT กำหนดสัญญาณไซน์หนึ่งหรือสองความถี่ ตั้งแต่ 0 - 32.76 kHz
 DTMFOUT กำหนดสัญญาณ DTMF ของระบบโทรศัพท์

2.4.5.8. กลุ่มคำสั่งเข้าถึงหน่วยความจำอีอีพรอมภายในเบสิกแอสตมป์ มี 3 คำสั่ง คือ

DATA เก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมก่อนทำการโหลด
 โปรแกรมพีเบสิก
 READ อ่านข้อมูลระดับไบต์จากหน่วยความจำอีอีพรอมมาเก็บไว้ในตัว
 แปรร
 WRITE เขียนข้อมูลระดับไบต์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำอีอีพรอม

2.4.5.9. กลุ่มคำสั่งจัดการด้านเวลา มี 1 คำสั่ง คือ

PAUSE หน่วงเวลา 0 - 65,536 มิลลิวินาที

2.4.5.10. กลุ่มคำสั่งควบคุมพลังงาน มี 3 คำสั่ง คือ

NAP หยุดทำงานในช่วงเวลาสั้น ๆ การกินพลังงานจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SLEEP กำหนดให้หยุดทำงานได้นาน 1 - 65,536 วินาที เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมดสลีปนี้ เบสสิกแอสตมป์ 2 กินกระแสไฟฟ้าลดลงเหลือเพียง 50 μ A
- END ทำงานในโหมดสลีปจนกว่าจะมีการจ่ายไฟหรือต่อเบสสิกแอสตมป์ 2 เข้ากับคอมพิวเตอร์ เมื่อกระทำคำสั่งนี้เบสสิกแอสตมป์ 2 จะกินกระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 50 μ A

2.4.5.11. กลุ่มคำสั่งแก้ไขโปรแกรม มี 1 คำสั่ง

- DEBUG แสดงค่าของตัวแปรผ่านทางคอมพิวเตอร์



บทที่ 3

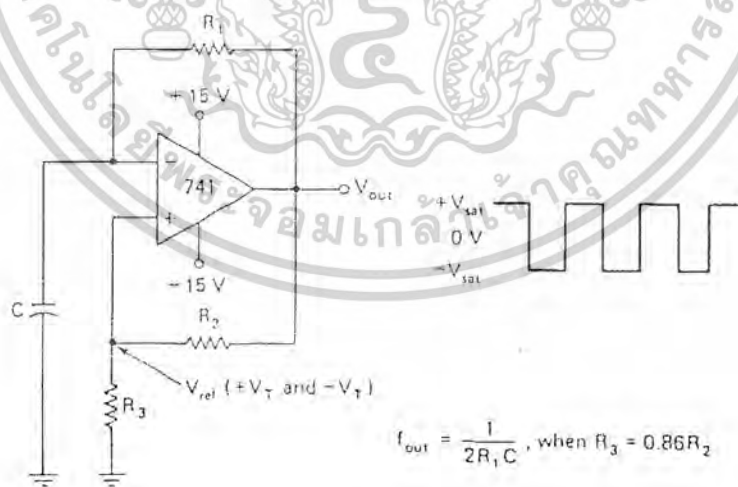
การคำนวณและการสร้าง

3.1 วงจรเครื่องส่งอัลตราโซนิก

เป็นวงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งอยู่ในตระกูลของวงจรมัลติไวเบรเตอร์ ชนิด ออสเตเบิล (astable) นั่นคือ สัญญาณที่นำออกจากวงจรนี้จะไม่คงที่ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะตลอดเวลา (ระดับสูงหรือต่ำ) โดยปราศจากสัญญาณอินพุตใด ๆ ในรูป 3.1 วงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยมแบบพื้นฐาน จะเห็นได้ว่าการนำสัญญาณจากเอาต์พุตมาป้อนกลับสองทาง สัญญาณเอาต์พุตที่ถูกนำออกมาผ่านตัวต้านทาน R_1 เข้าสู่ขั้วอินพุตลบและต่อกับตัวเก็บประจุ(C) จะเป็นภาคที่กำหนดความถี่ของคลื่นสี่เหลี่ยม ส่วนตัวต้านทาน R_2 และ R_3 เป็นภาคที่ใช้กำหนดแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ให้กับขั้วอินพุตบวก จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ถ้าเลือกใช้ R_3 ที่มีค่าเป็น 86 % ของ R_2 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตรูปคลื่นสี่เหลี่ยม จะหาได้จากสมการ

$$F_{out} =$$

$$\frac{1}{2R_1C} \quad (\text{Hz})$$

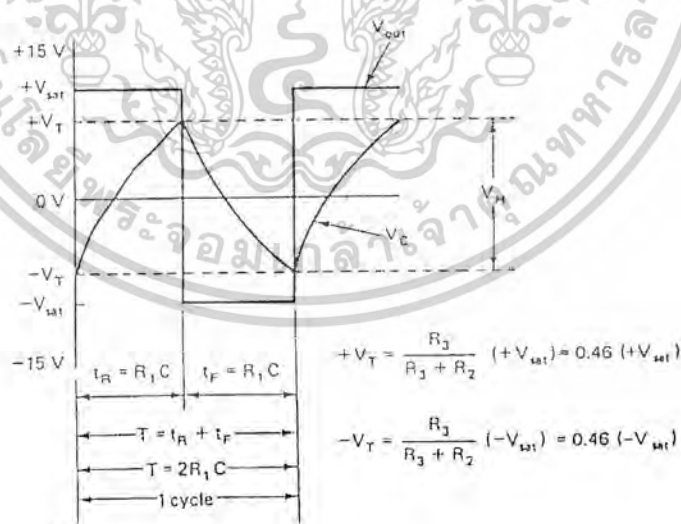


$$f_{out} = \frac{1}{2R_1C}, \text{ when } R_3 = 0.86R_2$$

รูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราสามารถวิเคราะห์การทำงานของวงจรทั่ว ๆ ได้ดังนี้ เมื่อป้อนไฟเลี้ยงให้แก่ ออปแอมป์จะมีแรงดันค่าน้อย ๆ ต่อกักรวมขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ (แรงดันออฟเซต) แรงดันนี้จะมีผลทำให้แรงดันที่เอาต์พุตมีขนาดเท่ากับ $+V_{sat}$ (แรงดันอิ่มตัวที่เอาต์พุต V_{sat} มีค่าประมาณ 90 % ของ $+V_{cc}$) และการนำตัวเก็บประจุมาต่อในลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีการชาร์จตัวเก็บประจุตลอดเวลา และแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ(V_C) จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นสู่แรงดัน $+V_{sat}$ เป็นผลให้แรงดันที่ขั้วอินพุตลบมีค่าสูงขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันที่ขั้วอินพุตบวกนั้นจะมีศักดาเท่ากับการแบ่งแรงดัน $+V_{sat}$ ระหว่าง R_2 และ R_3 ซึ่งแรงดันอ้างอิง V_{ref} จะมีค่าเท่ากับ $+V_T$ (ในขณะที่ $V_{out} = +V_{sat}$ V_{ref} จะเท่ากับ $+V_T$ เมื่อ $V_{out} = -V_{sat}$ $V_{ref} = -V_T$) จากการศึกษาเรื่องของคอมพาราเตอ์รก่อนหน้าที่จะทราบว่าแรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนสถานะทันทีเมื่อตัวเก็บประจุ (ถูกชาร์จให้มีแรงดันสูงกว่า $+V_T$ ที่ขั้วอินพุตบวกเป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนสถานะจาก $+V_{sat}$ เป็น $-V_{sat}$ ในทันที การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุตจะเป็นผลให้ V_{ref} เปลี่ยนจาก $+V_T$ เป็น $-V_T$ และยังเปลี่ยนทิศทางการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุอีกด้วย นั่นคือตัวเก็บประจุจะค่อย ๆ ลดค่าจาก $+V_T$ สู่ $-V_{sat}$ แต่ก่อนที่จะมีค่าเท่ากับ $-V_{sat}$ นั้นศักดาที่ขั้วอินพุตลบ (ศักดา รวมตัวเก็บประจุ) จะมีค่าต่ำกว่า $-V_T$ แล้วจะเป็นผลให้ขั้วอินพุตบวกมีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้วอินพุตลบ นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนสถานะจาก $-V_{sat}$ เป็น $+V_{sat}$ อีกและขั้นตอนการชาร์จตัวเก็บประจุก็จะเริ่มต้นใหม่ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุในวงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถคำนวณแรงดัน $+V_T$ ได้จากสมการ

$$+V_T = \frac{R_3}{R_3 + R_2} (+V_{sat}) = 0.46 (+V_{sat})$$

และ
$$-V_T = \frac{R_3}{R_3 + R_2} (-V_{sat}) = 0.46 (-V_{sat})$$

เมื่อเอาที่พุดของวงจรสร้างความถี่ขนาด 40 kHz ออกมา สัญญาณความถี่ 40 kHz จะถูกส่งไปขยายเพื่อให้สัญญาณแรงขึ้น โดยวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ซึ่งออกแบบโดยใช้อปแอมป์ 741 เมื่อสัญญาณถูกขยายแล้ววงจรขยายแบบไม่กลับเฟสจะส่งสัญญาณความถี่ 40 kHz ให้กับตัวส่งสัญญาณอัลตราโซนิก เพื่อทำการส่งสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก กระจายออกไปให้กับวงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิกต่อไป

การออกแบบวงจร

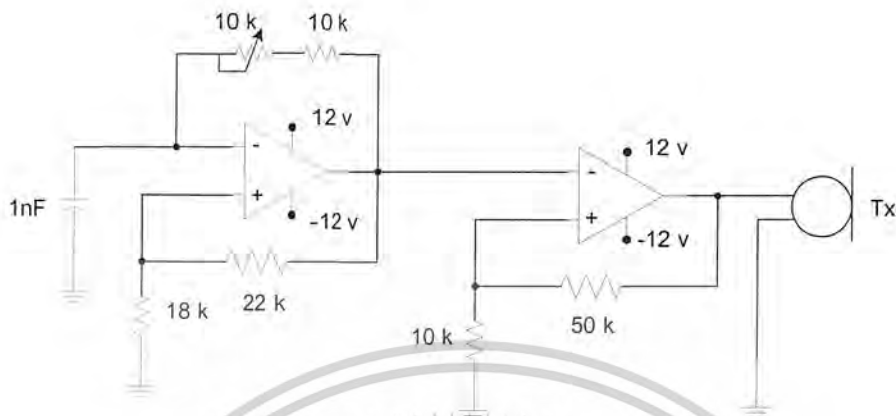
จาก
$$f_{out} = \frac{10}{2R_1 C} \text{ (Hz)}$$

ต้องการกำเนิดสัญญาณความถี่ 40 kHz เลือกค่า $C = 1 \text{ nf}$

จะได้ค่า R_1 คือ

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{2f_{out} C} \\ &= \frac{1}{2(40\text{kHz})(10^{-9})} \\ &= 12.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

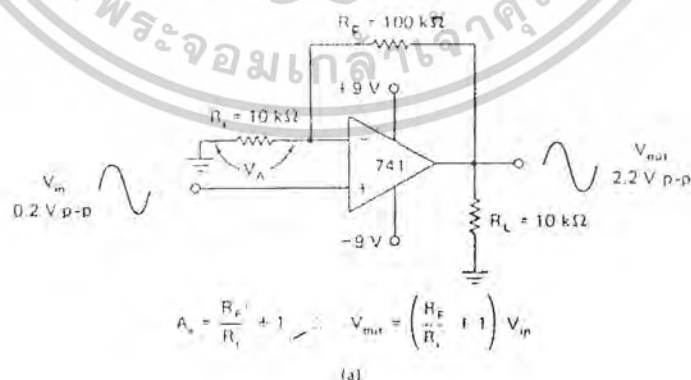
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรเครื่องส่งอัลตราโซนิก 40kHz

3.2 วงจรเครื่องรับอัลตราโซนิก

เมื่อตัวรับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก (Rx) รับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกที่เกิดจากการที่มีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก ค่าความถี่นี้จะเลื่อนออกไป เนื่องจากผลของปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ในคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุนั้น ๆ ตัวรับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก ก็จะส่งสัญญาณค่าความถี่นี้ไปให้กับวงจรขยายเพื่อทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นอีกที และส่งสัญญาณไปวงจรขยายไม่กลับเฟสหรือนันอินเวอร์ตติ้งแอมป์ จะแตกต่างกับอินเวอร์ตติ้งแอมป์ ในแง่ของอัตราขยายและเฟสของเอาต์พุต แต่อย่างไรก็ตามอัตราขยายแรงดันของวงจรมันอินเวอร์ตติ้งก็ยังถูกควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรขยายไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราจะวิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าขยายสำหรับวงจรชนิดนี้ แรงดันอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วบวก (ในขณะที่สัญญาณอินพุตในวงจรชนิดอินเวอร์ตติ้งจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ) และมีแรงดัน V_A ซึ่งเกิดจากการแบ่งแรงดันของเอาต์พุตที่หุ้ตคกร้อมตัวต้านทาง R_f จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า สักดาที่ขั้วอินพุตลบจะถูกบังคับให้มีขนาดเข้าใกล้สักดาที่ขั้วอินพุตบวกเสมอ จะได้ว่า

$$V_{in} = V_A$$

ดังนั้น เราสามารถเขียนค่าขยายแรงดัน A_v ได้เท่ากับ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_A}$$

และเนื่องจาก V_A เกิดการแบ่งแรงดันของ V_{out} จะได้

$$V_A = \frac{R_{in}}{R_f + R_{in}} V_{out}$$

เมื่อจัดสมการใหม่ จะได้

$$\frac{V_{out}}{V_A} = \frac{R_f + R_{in}}{R_{in}}$$

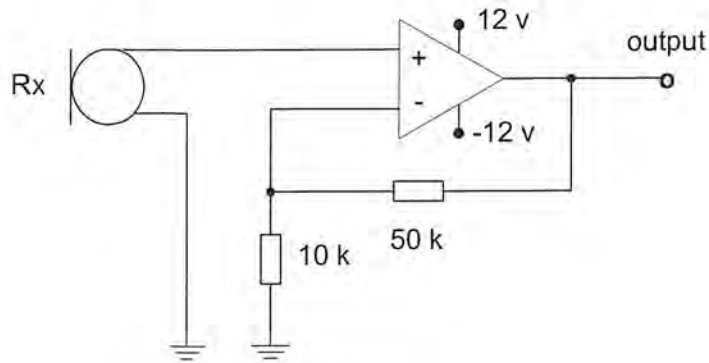
หรือ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_A} = \frac{R_f}{R_{in}} + 1$$

นั่นคือ

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right) V_{in}$$

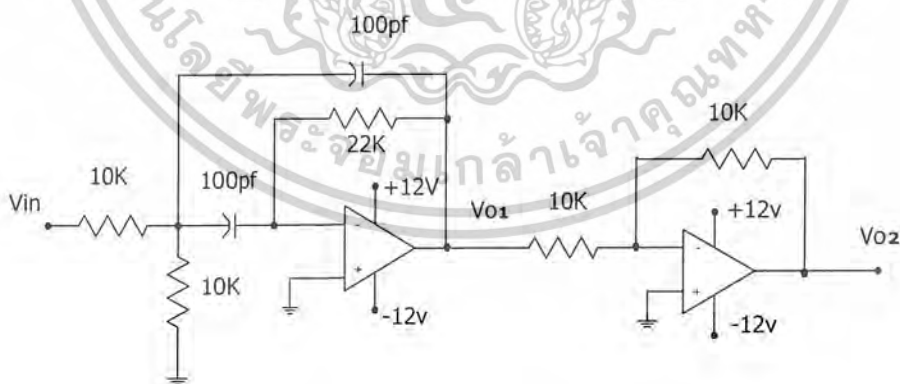
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องรับอัลตราโซนิก

3.3 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง (Band Pass Filter)

วงจรกรองความถี่เป็นช่วง คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณผ่านบางช่วงเท่านั้น โดยความถี่ที่มีขนาดเอาต์พุตสูงสุด เรียกว่า ความถี่รีโซแนนท์ (resonant frequency) และที่ความถี่ซึ่งแรงดันเอาต์พุตลดลงเหลือ 70.7 % ทั้งด้านที่ความถี่สูงขึ้นและที่ความถี่ลดลงเรียกว่าความถี่ f_H และ f_L ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของความถี่ทั้งสองนี้ ($f_H - f_L$) จะแสดงแบนด์วิดท์ (BW) ของวงจร ถ้าแบนด์วิดท์มีขนาดต่ำกว่า 10 % ของความถี่รีโซแนนท์ (f_R) จะเรียกววงจรนี้ว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงแคบ แต่จะเรียกว่า วงจรฟิลเตอร์ช่วงกว้าง หากแบนด์วิดท์มีค่าสูงกว่า 10 % ของ f_R



รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ node A

$$(SC_1 + SC_2 + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})V_A - \frac{V_{IN}}{R_1} - V_O SC_1 - SC_2 V_O = 0 \quad (3.1)$$

ที่ node B

$$-SC_1 V_A - \frac{V_O}{R_3} = 0$$

$$V_A = -\frac{V_O}{SC_1 R_3}$$

แทนค่า V_A ในสมการ (3.1)

$$-\left(\frac{R_2 + SC_2 R_1 R_2 + SC_1 R_1 R_2 + R_1}{R_1 R_2 SC_1 SC_2}\right)V_O - SC_2 V_O = \frac{V_{IN}}{R_1}$$

$$-\left(\frac{(S^2 C_1 C_2 R_1 R_2 R_3 + SC_2 R_1 R_2 + SC_1 R_1 R_2 + R_1) + R_2}{SR_2 R_3 C_1}\right)V_O = \frac{V_{IN}}{V_O}$$

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{SR_2 R_3 C_1}{S^2 C_1 C_2 R_1 R_2 R_3 + SC_2 R_1 R_2 + SC_1 R_1 R_2 + R_1 + R_2}$$

$$= -\left[\frac{\frac{S}{R_1 C_2}}{S^2 + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)\frac{S}{R_3} + \frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3} + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_3}}\right]$$

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = -\left[\frac{\frac{S}{R_1 C_2}}{S^2 + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)\frac{S}{R_3} + \frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}\right]$$

จาก Transfer function จะได้ค่า ω_0 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_0 = \left[\frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right]^{1/2}$$

และ จะได้ค่าความถี่รีโซแนนท์(f_R) คือ

$$(f_R) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right]^{1/2}$$

$$\frac{V_{O2}}{V_{IN}} = \left[\frac{\frac{S}{R_1 C_2}}{S^2 + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \frac{S}{R_3} + \frac{1}{C_1 C_2 R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \right]$$

3.4 วงจรรับความถี่ (frequency counter)

วงจรรับความถี่ซึ่งเริ่มต้นภาคกำเนิดสัญญาณและฐานเวลาโดยใช้ออปแอมป์ 741 กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz ซึ่งค่าความถี่นี้ สามารถหาได้จากสมการ $f_{out} = 1/(R_1 C)$ แล้วนำไปผ่านวงจรถิไวเดอร์เพื่อลดระดับแรงดันและป้อนให้วงจรหาร 10 เพื่อนำสัญญาณ 5 Hz ป้อนให้ IC 6/1 และ IC 6/2 ซึ่งใช้ IC 74LS221 ซึ่งต่อเป็นวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ผลิตพัลส์ในการทริก IC 74C926 ให้ทำหน้าที่เก็บข้อมูล (latch) และทำหน้าที่รีเซ็ตข้อมูล (reset) ต่อไป ในส่วนภาคนับและแสดงผล การทำงานในส่วนของวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ IC 5 ใช้เบอร์ 74C926 ซึ่งเป็นไอซีชนิดซีมอส ภายในประกอบด้วยวงจรรับสิบ (0-9) จำนวน 4 ชุด, วงจรเก็บข้อมูล, วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ และวงจรถอดรหัสสำหรับตัวแสดงผล 7 ส่วน จำนวน 4 หลัก

เมื่อสัญญาณอินพุตที่ได้จากวงจรรีโอมพลิไฟเออร์เข้ามาผ่าน C_8 เพื่อกรองสัญญาณส่งผ่านเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ BC558 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรมัลติไฟเออร์

การนับของไอซี 74C926 จะนับในช่วงสัญญาณคาบเวลาเป็นลอจิก “ 1 ” เท่านั้น การนับแต่ละครั้งจะต้องมีการเก็บข้อมูลชั่วคราว(latch) ในช่วงเวลาที่สัญญาณคาบเวลาเป็นลอจิก “ 0 ” จะต้องมีการรีเซ็ต (reset) ข้อมูลทุกทีก่อนที่จะเริ่มนับใหม่ โดยสัญญาณควบคุมนี้จะได้จาก IC 6/1 และ IC 6/2 ซึ่งใช้เบอร์ 74LS221 ผลิตพัลส์ในการทริก IC 5 ให้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวและทำหน้าที่รีเซ็ตข้อมูล IC 6/1 และ IC 6/2 จะต่อวงจรในแบบมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เมื่อสัญญาณฐานเวลาในช่วงขอบขาลง ผ่านเข้ามาทางขา A ของ IC 6/1 ที่เอาต์พุตขา Q ของ IC 6/1 จะเกิดพัลส์ขึ้นมา

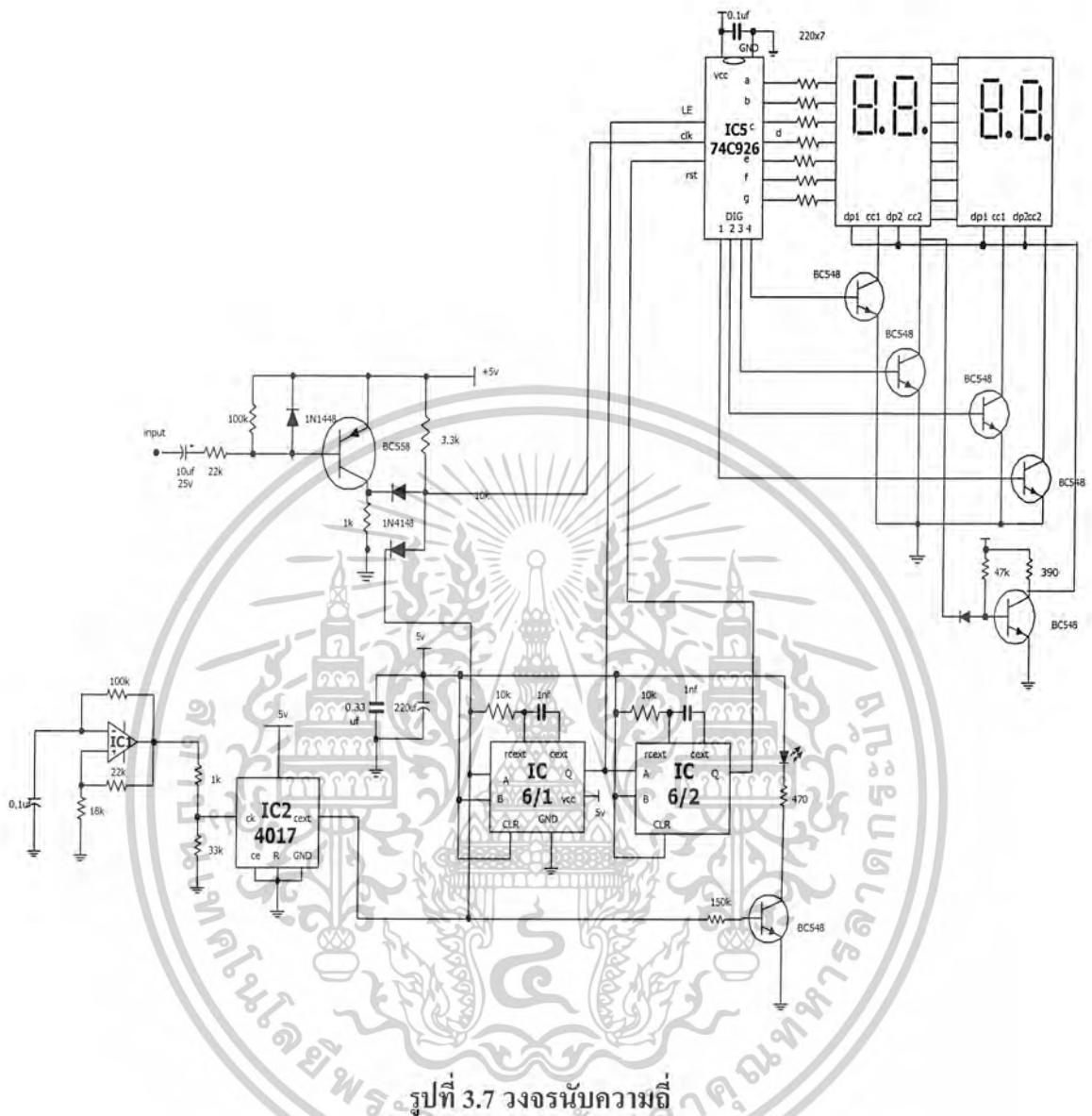
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ลูกขนาด $7\ \mu\text{s}$ ซึ่งสัญญาณนี้จะไปทริก IC 5 ให้เก็บข้อมูลไว้ชั่วคราว จากวงจร จะเห็นว่าสัญญาณ $7\ \mu\text{s}$ ดังกล่าวต่อเข้ากับขา A ของ IC 6/2 ด้วย ดังนั้นช่วงขอบขาของพัลส์ $7\ \mu\text{s}$ นี้จะทำให้เกิดพัลส์ขึ้นมาอีก 1 ลูก ขนาด $7\ \mu\text{s}$ เช่นเดียวกัน และสัญญาณนี้จะไปรีเซท IC 5 เพื่อให้ IC 5 เริ่มต้นนับจาก 0 ใหม่ทุกครั้งไป

IC 5 จะทำงานด้วยความเร็วสูง จึงทำให้เรามองเห็นตัวเลขแสดงผลตลอดเวลา สำหรับ Q_{10} ทำหน้าที่ขั้วจุดทศนิยมของตัวแสดงผล 7 ส่วน โดยทำงานร่วมกับ $Q_6 - Q_8$ โดยผ่านสวิตช์ S_2 เพื่อเลือกว่าจะแสดงที่ตำแหน่งใดของตำแหน่งเลขทั้ง 4 หลัก ซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กับ IC 5

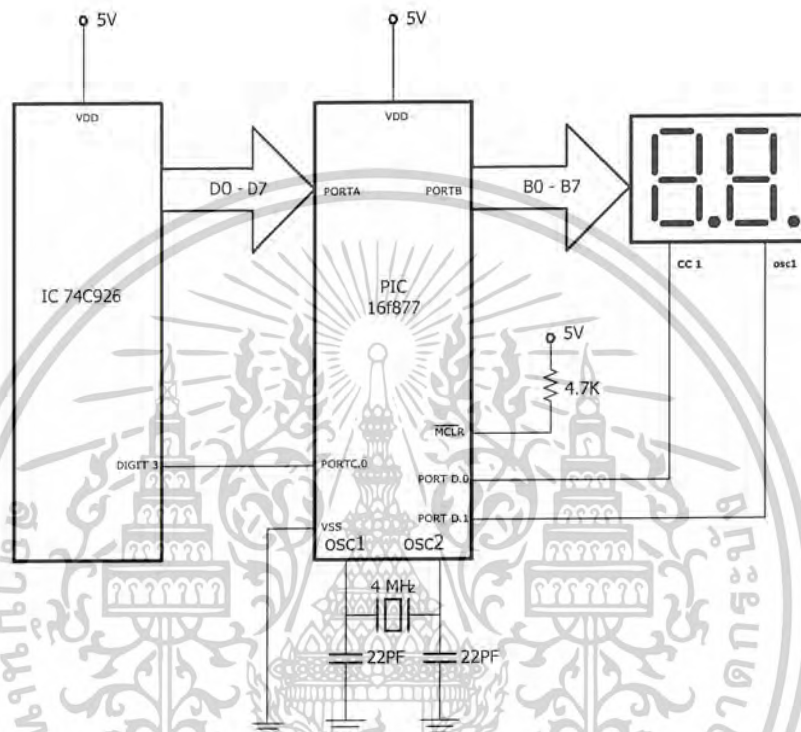
สัญญาณเวลาฐานเวลาอีกส่วนจะแสดงตัวเลขที่นับได้ออกมาทางขา a,b,c,d,e,f และ g สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณข้อมูลของตัวแสดงผล 7 ส่วน ทั้ง 4 หลัก ซึ่งถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกัน โดยผ่าน $R_{24} - R_{30}$ เพื่อควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน LED ภายในตัวแสดงผล 7 ส่วน

ทรานซิสเตอร์ $Q_6 - Q_9$ ทำหน้าที่ขับตัวเลข 7 ส่วน แต่ละตัว โดยที่ IC 5 จะให้สัญญาณ $\text{Digit}_1 - \text{Digit}_4$ ในการควบคุมการแสดงผล ตัวอย่างเช่น เมื่อ IC 5 กำลังจะส่งข้อมูลของตัวเลขหลักที่ 1 ออกมา ขา Digit_1 ก็จะเป็นลอจิก “1” ทำให้ Q_6 ทำงาน เมื่อ IC 5 ส่งสัญญาณข้อมูลออกมา ตัวแสดงผล 7 ส่วนหลักที่ 1 ก็จะแสดงผล และเมื่อ IC 5 ส่งข้อมูลของตัวแสดงผล 7 ส่วนหลักที่ 2 ออกมา Q_6 ก็จะได้รับลอจิก “0” ทำให้ Q_6 หยุดทำงานและ IC 5 ก็จะส่งสัญญาณลอจิก “1” ออกมาทางขา Digit_2 ส่งผลให้ Q_7 ทำงาน เมื่อ IC 5 ส่งข้อมูลออกมา ตัวแสดงผล 7 ส่วน หลักที่ 2 ก็จะแสดงผล และในทำนองเดียวกันเมื่อ IC 5 จะส่งสัญญาณข้อมูลตัวแสดงผล 7 ส่วน หลักที่ 3 และ 4 ก็ จะส่งสัญญาณลอจิก “1” ไปที่ Q_8 และ Q_9 ตามลำดับ เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานขับข้อมูลแสดงผลออกมามีการทำงานดังกล่าว ลอจิก “1” จะถูกส่งผ่าน R_{20} เข้าที่ขาเบสของ Q_{11} เพื่อขับสัญญาณเวลา หรือสัญญาณเปิดเกจให้ LED ติดสว่าง เพื่อแสดงสถานะลอจิกของสัญญาณฐานเวลาที่ป้อนเข้ามา



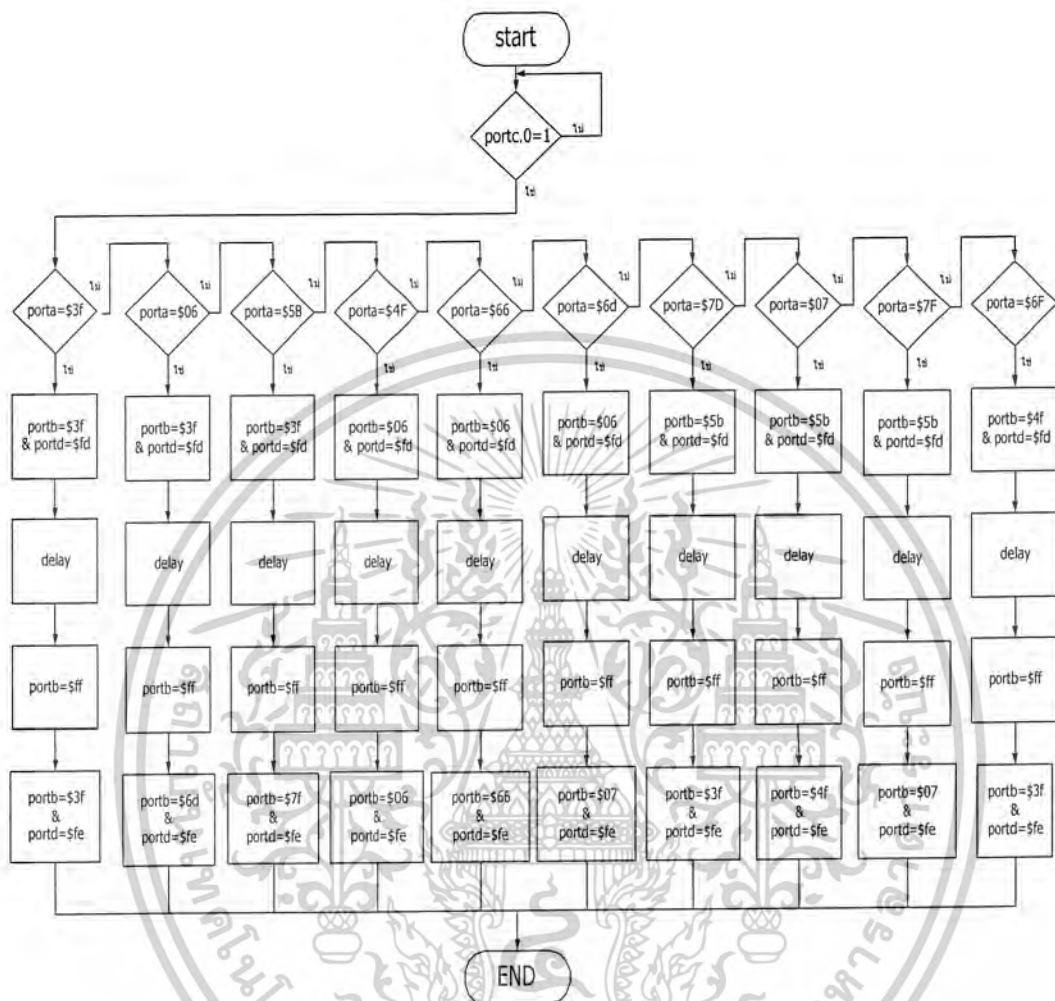
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877



รูปที่ 3.8 การประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877

การประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877 เริ่มต้นการรับข้อมูลจากขา D0 - D7 ของ IC 74C926 เข้ามาทางพอร์ต A ของ IC 16F877 และทำการตรวจสอบที่ขาพอร์ต C₀ ว่าเป็นลอจิก " 1 " หรือไม่ แล้วกำหนดค่าต่าง ๆ ออกทางพอร์ต B เพื่อส่งไปแสดงผล ออกตัวแสดงผล 7 ส่วน เพื่อแสดงผลเป็นความเร็ว และกำหนดลอจิก " 0 " ออกทางพอร์ต D₀ และพอร์ต D₁ ตามลำดับ เพราะตัวแสดงผล 7 ส่วน เป็นแบบคอมมอนแคโอด โดยการประมวลผลและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877 จะมีลำดับการทำงานตามโฟลว์ชาร์ตดังนี้



รูปที่ 3.9 โปรแกรมแสดงลำดับการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองภาคเครื่องส่งคลื่นอัลตราโซนิก 40 kHz

4.1.1 วัตถุประสงค์ เพื่อกำหนดสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 kHz ให้กับตัวส่งอัลตราโซนิก แล้วส่งกระจายคลื่นออกไปในอากาศเพื่อให้กระทบกับวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่าน

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

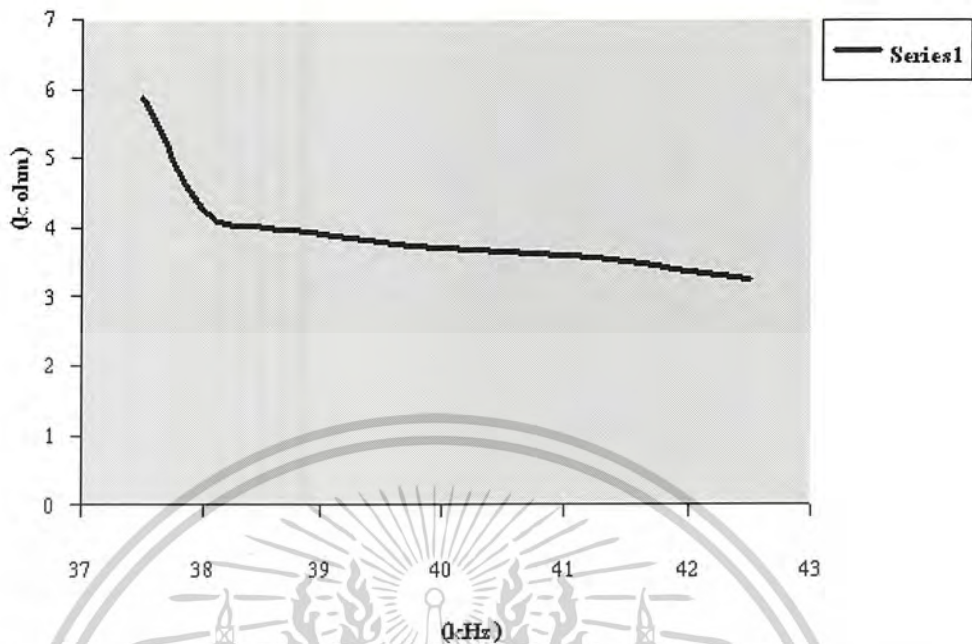
1. ต่อดังรูป 3.3 ดังแสดงในบทที่ 3
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟตรงให้ ± 12 โวลต์ กับวงจร
3. ใช้เครื่องวัดความถี่(Frequency counter) วัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร
4. ปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้(VR 10 $k\Omega$)ที่ค่าต่าง ๆ แล้วบันทึกค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป

4.1.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของวงจรเครื่องส่งอัลตราโซนิก แสดงความสัมพันธ์เมื่อปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ และ ค่าความถี่ของตัวส่งที่เปลี่ยนไป

ความต้านทานปรับค่าได้ ($k\Omega$)	ค่าความถี่ของตัวส่ง (kHz)
5.88	37.5
4.26	38
4.01	38.5
3.92	39
3.79	39.5
3.71	40
3.65	40.5
3.59	41
3.51	41.5
3.37	42
3.25	42.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ตัวส่งกับค่าความต้านทานปรับค่าได้

4.2 การทดลองภาคเครื่องรับคลื่นอัลตราโซนิก 40 kHz

4.2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อทำการรับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านตัวส่งแล้วทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น โดยวงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟส แล้วทำการส่งสัญญาณที่ได้ไปยังวงจรกรองความถี่เป็นช่วงต่อไป

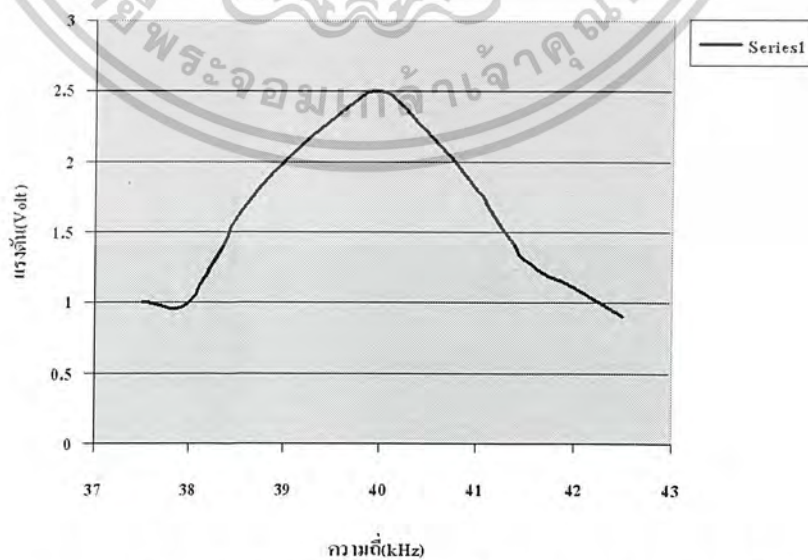
4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูป 3.5 ดังแสดงในบทที่ 3
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟตรง ± 12 โวลต์ ให้กับวงจร
3. จัดตัวส่งและตัวรับหันเข้าหากันโดยให้ตรงกัน
4. ปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ ($VR\ 10\ k\Omega$) ที่วงจรเครื่องส่งดังข้อ 4.1.3
3. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรเครื่องรับแล้วบันทึกผล

4.2.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของวงจรเครื่องรับคลื่นอัลตราโซนิก และความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่เอาต์พุตและค่าความถี่ของตัวรับที่เปลี่ยนไป

ค่าความถี่ของตัวรับ (kHz)	แรงดันที่เอาต์พุต (volt)
37.5	1
38	1
38.5	1.6
39	2
39.5	2.3
40	2.5
40.5	2.2
41	1.8
41.5	1.3
42	1.1
42.5	0.9



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ตัวรับกับค่าแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวงจรกรองความถี่เป็นช่วง

4.3.1 วัตถุประสงค์ เพื่อตัดสัญญาณรบกวนจากภายนอกออกโดยยอมให้ค่าความถี่ประมาณ 35 kHz – 45 kHz จากวงจรเครื่องรับผ่านได้เท่านั้นแล้วทำการกลับเฟสสัญญาณเพื่อให้สัญญาณที่ได้เป็นบวก

4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดังรูป 3.6 ดังแสดงในบทที่ 3
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟตรง ± 12 โวลต์ ให้กับวงจร
3. ป้อนสัญญาณพัลส์ค่าความถี่ต่าง ๆ ขนาด $1 V_{pp}$ เข้าที่อินพุตของวงจร
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร (V_{o2}) และบันทึกผล

4.3.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองวงจรกรองความถี่เป็นช่วง โดยการป้อนแรงดัน $1 V_{pp}$ ที่ความถี่ต่าง ๆ และได้ค่าแรงดันที่เอาต์พุตดังนี้

ความถี่อินพุต (kHz)	ความถี่เอาต์พุต (kHz)	แรงดันที่เอาต์พุต (V_{pp})
20	-	0
22	22	0.1
24	24	0.1
26	26	0.1
28	28	0.1
30	30	0.2
32	32	0.4
34	34	0.5
36	36	0.4
38	38	0.6
40	40	0.6
42	42	0.8
44	44	0.7
46	46	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

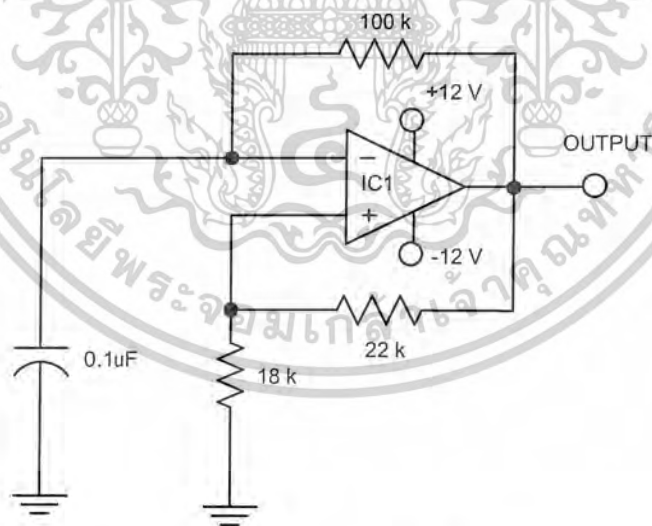
48	48	0.6
50	50	0.4
52	52	0.4
54	54	0.2

4.4 การทดลองวงจรกำเนิดความถี่ 50 Hz

4.4.1 วัตถุประสงค์ เพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์ 50 Hz แล้วส่งผ่านวงจรหารสิบเพื่อให้ได้สัญญาณความถี่ 5 Hz ออกมาแล้วส่งสัญญาณให้วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เพื่อเป็นตัวกำหนดคาบเวลาในการเก็บข้อมูล (latch) และ รีเซ็ต ให้กับวงจรนับความถี่

4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูป 4.3
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟตรง ± 12 โวลต์ ให้กับวงจร
3. ทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ $0.1 \mu\text{F}$ ชนิดต่าง ๆ แล้วบันทึกค่าความถี่ที่ได้เทียบกับค่าความถี่ที่ได้จากการคำนวณจาก $f = \frac{1}{2(R_1 C)}$; $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$



รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจรกำเนิดความถี่ 50 Hz เมื่อ $R = 100 \text{ k}\Omega$ ($\pm 1\%$) และ ตัวเก็บประจุ ชนิดต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ $0.1 \text{ }\mu\text{F}$

ชนิดของตัวเก็บประจุ (C)	ค่าความถี่จากการทดลอง (Hz)	ค่าความถี่จากการคำนวณ (Hz)
เซรามิก	45 - 54	50
ไมลาร์	48 - 53	
โพลีเอสเตอร์	50 - 51	

4.5 การทดลองภาควงจรนับความถี่และภาคแสดงผล

4.5.1 วัตถุประสงค์ เพื่อทำการวัดความถี่ที่ได้จากวงจรกรองความถี่เป็นช่วงแล้วแสดงผลค่าความถี่ที่ได้ออกมาทางตัวแสดงผล 7 ส่วน และจะนำค่าความถี่ที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ภาคกำเนิดสัญญาณของตัวส่งแล้วทำการคำนวณผลเป็นความเร็ว

4.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำวงจรส่วนต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันดังรูป 3.7 ดังแสดงในบทที่ 3
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟตรง ± 12 โวลต์ และ 5 โวลต์ให้กับวงจร
3. จัดตัวส่งและตัวรับเข้าหาตำแหน่งที่ต้องการวัดความเร็ววัตถุ
4. ส่งวัตถุที่มีความเร็วผ่านตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก
5. สังเกตดูตัวแสดงผลความถี่และความเร็วแล้วบันทึกค่า

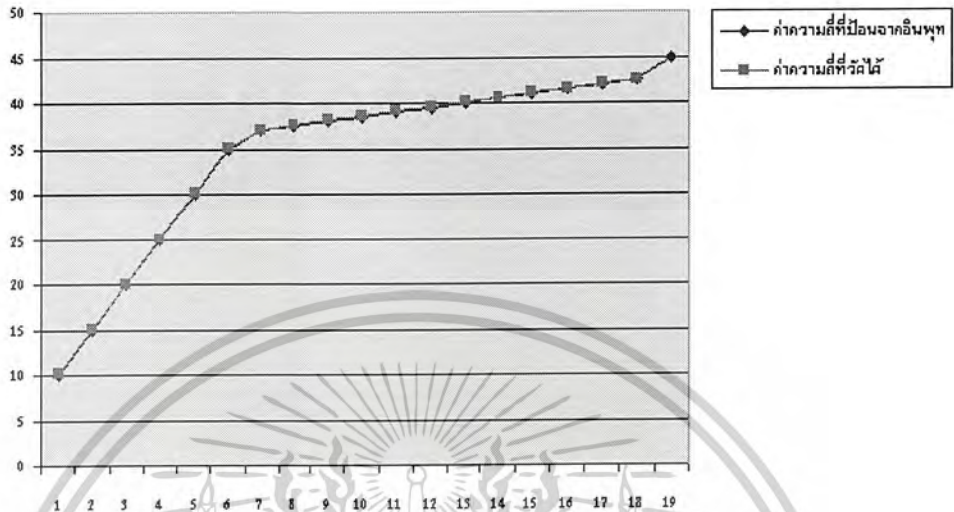
4.5.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองจากวงจรนับความถี่ เทียบกับค่าความถี่อินพุตค่าต่างๆ

ความถี่อินพุต (kHz)	ความถี่เอาต์พุต (kHz)
10	10.18
15	15.11
20	20.07
25	25.08
30	30.11
35	35.15
37	37.14
37.5	37.66
38	38.17
38.5	38.61
39	39.12
39.5	39.62
40	40.15
40.5	40.62
41	41.13
41.5	41.63
42	42.16
42.5	42.58
45	45.18
50	50.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ที่ป้อนจากอินพุตกับค่าความถี่ที่วัดได้

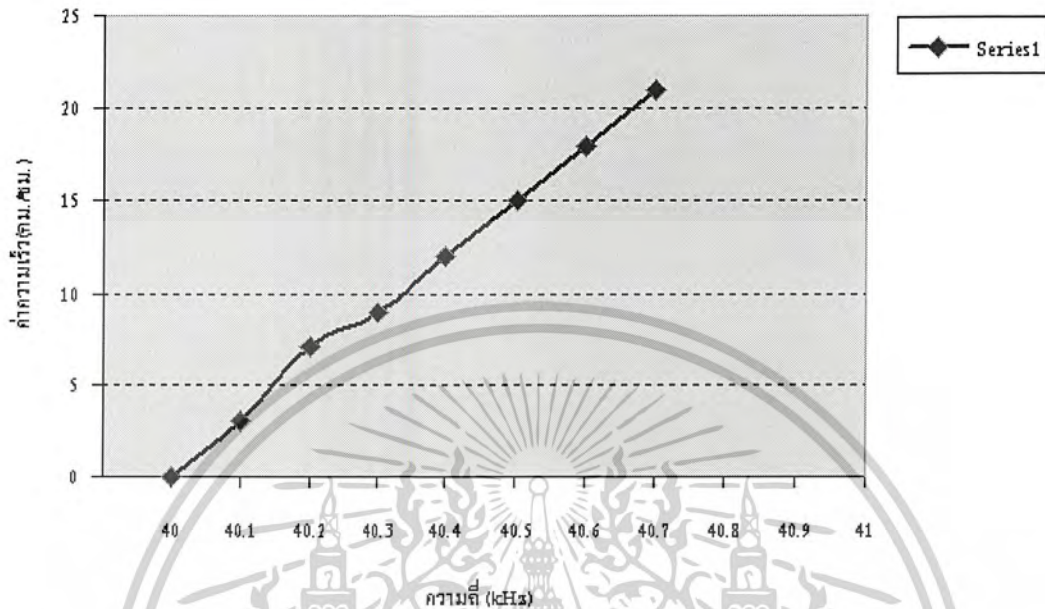


ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองระหว่างค่าความถี่ที่วัดได้และค่าความเร็วที่วัดได้

ค่าความถี่ที่วัดได้ (kHz)	ค่าความเร็วที่วัดได้ (km/h)
40.0	0
40.1	3
40.2	7
40.3	9
40.4	12
40.5	15
40.6	18
40.7	21
40.8	24
40.9	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ที่วัดได้และค่าความเร็วที่วัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยการทดสอบคุณสมบัติที่วงจรต่าง ๆ ซึ่งซึ่งประกอบกันเป็น โครงการงานชิ้นนี้โดยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วนดังนี้คือ

5.1.1 ภาคเครื่องส่งคลื่นอัตรา 40 kHz

5.1.2 ภาคเครื่องรับคลื่นอัตรา 40 kHz

5.1.3 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

5.1.4 วงจรกำเนิดความถี่ 50 Hz

5.1.5 ภาควงจรนับความถี่และภาคแสดงผล

โดยจากผลการทดลองจะพบว่าในส่วนแรกที่เป็นภาคส่ง ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ และตัวส่งคลื่นอัตรา 40 kHz นั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้สูงขึ้นค่าความถี่ที่ได้จะต่ำลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีคือ $f = \frac{1}{4RC}$ และค่าความถี่ที่ได้ 40 kHz นั้นจะได้ค่าความต้านทานคือ $3.71 \text{ k}\Omega$ ซึ่งที่ค่าความถี่นี้จะให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตออกมาสูงสุด

ในส่วนที่สอง คือ ภาคเครื่องรับคลื่นอัตรา 40 kHz ซึ่งประกอบไปด้วยตัวรับคลื่นอัตรา 40 kHz และส่วนขยายสัญญาณ จากการทดลองจะเห็นได้ว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีขนาดสูงสุดที่ค่าความถี่ 40 kHz และค่าสัญญาณเอาต์พุตจะต่ำลงเมื่อค่าผลต่างของความถี่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ 40 kHz

ในส่วนที่สาม เป็นวงจรกรองความถี่เป็นช่วง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าวงจรกรองความถี่เป็นช่วงจะไม่ยอมให้ความถี่ผ่านเลยเมื่อความถี่ที่เข้ามาทางอินพุตของวงจร ต่ำกว่า 20 kHz และสูงกว่า 54 kHz โดยวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่ผ่านได้ดีในช่วงค่าความถี่ประมาณ 32 kHz – 48 kHz

ในส่วนที่สี่ เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 Hz จากผลการทดลอง จะเห็นว่าชนิดของตัวเก็บประจุจะมีผลต่อความถี่เอาต์พุตของวงจรซึ่งชนิดของตัวเก็บประจุที่มีชนิดต่างกัน แต่ค่าความจุเท่ากันก็จะให้ค่าความถี่ที่เอาต์พุตแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกตัวเก็บประจุชนิด โพลีเอสเตอร์ เพราะว่าค่าความถี่ที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าคำนวณ

ในส่วนสุดท้าย เป็นส่วนของวงจรนับความถี่และแสดงผล จากผลการทดลอง จะเห็นว่าค่าความถี่ที่แสดงผลออกมาทางตัวแสดงผลเจ็ดส่วนของวงจรภาคนับความถี่นั้นมีค่าความถี่ใกล้เคียงกับค่าความถี่จริงมาก และในส่วนของการแสดงผลของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

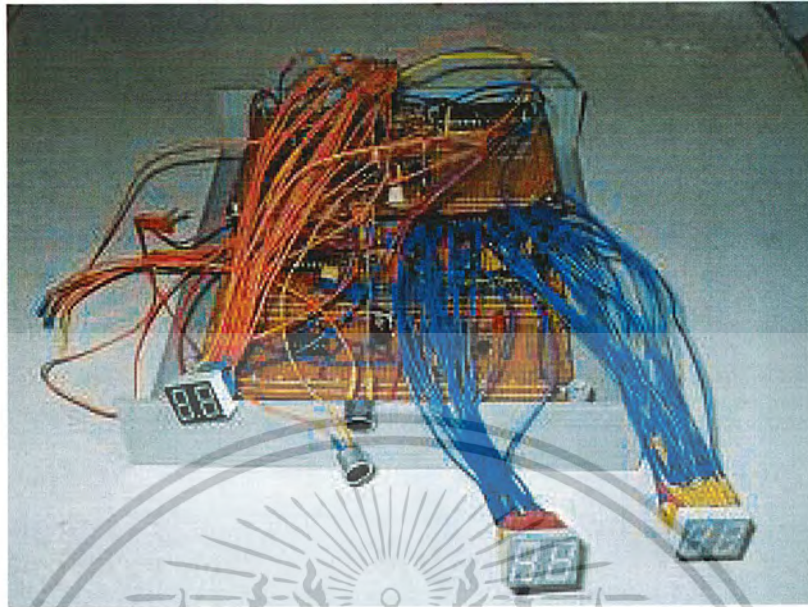
ตารางการแสดงผลนั้นจะเห็นว่าเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้าหาตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกมีความเร็วเพิ่มขึ้นค่าความถี่ที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา

เครื่องวัดความเร็วสามารถแสดงความเร็วของวัตถุที่ผ่านได้ประมาณ 0 km/h – 27 km/h เท่านั้นถ้าหากวัตถุมีความเร็วมากกว่านี้ค่าที่แสดงผลออกมาจะเกิดค่าความผิดพลาดสูง การรับส่งสัญญาณของเครื่องรับและเครื่องส่งยังรับส่งสัญญาณได้ไม่ไกลพอมีการรับส่งการสะท้อนกลับของคลื่นอยู่ประมาณไม่เกิน 50 เซนติเมตร ถ้าหากระยะทางไกลกว่านี้เครื่องรับและเครื่องส่งก็ยังสามารถรับส่งสัญญาณได้ แต่ยังรับสัญญาณได้ไม่ดีพอซึ่งที่ตัวแสดงผลจะแสดงค่าซึ่งเกิดค่าความผิดพลาดมากขึ้น และอีกทั้งเครื่องวัดความเร็ววัตถุ ยังแสดงค่าได้ในช่วงระยะที่มีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านซึ่งแสดงผลออกมาในช่วงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น กล่าวคือเมื่อวัตถุวิ่งผ่านเลยไปแล้วตัวแสดงผลจะไม่คงค่าความเร็วค้างไว้ได้ตลอดเวลา เราอาจสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มส่วน โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เก็บค่าความเร็วที่ได้แล้วคงสถานะค่าความเร็วนั้นให้แสดงผลค้างไว้ตลอดเวลาจนกว่าจะมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านใหม่อีกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

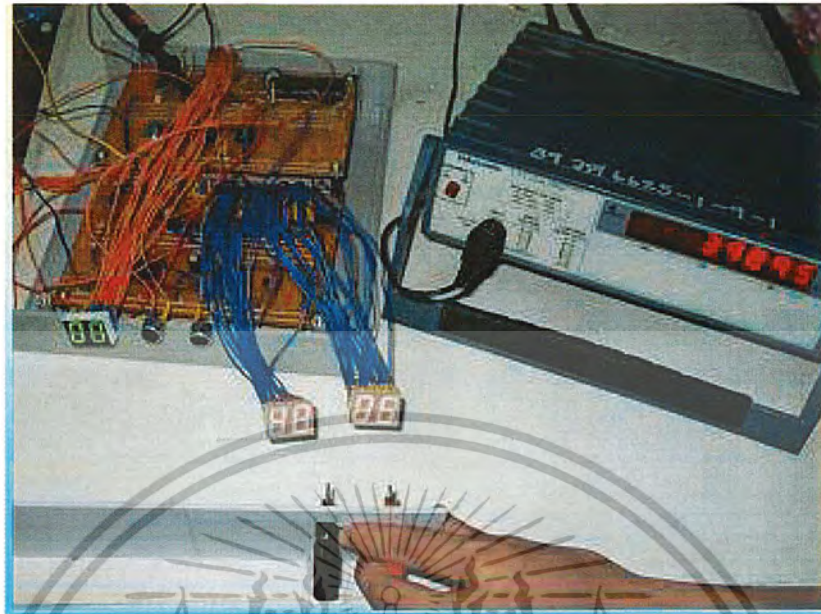


รูปแสดงชิ้นงาน



รูปแสดงความถี่เอาต์พุตของเครื่องส่ง 40 kHz [time/div = 25 μ s ; volt/div = 0.5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงเครื่องวัดความเร็ววัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยเทียบกับเครื่องวัดความถี่



รูปแสดงเครื่องวัดความเร็ววัตถุด้วยคลื่นอัลตราโซนิกโดยเทียบกับออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคำนวณความเร็วโดย PIC16F877

TRISB=%000000000

TRISD=%000000000

TRISA=%111111

TRISC=%11111111

delay con 10

delay2 con 1

if porta.0=%1 and portc=\$3f then display

if porta.0=%1 and portc=\$06 then display1

if porta.0=%1 and portc=\$5b then display2

if porta.0=%1 and portc=\$4f then display3

if porta.0=%1 and portc=\$66 then display4

if porta.0=%1 and portc=\$6d then display5

if porta.0=%1 and portc=\$7d then display6

if porta.0=%1 and portc=\$07 then display7

if porta.0=%1 and portc=\$7f then display8

if porta.0=%1 and portc=\$6f then display9

display:

PORTB=%11111111

pause delay2

PORTB=\$3f

PORTD=\$fd

pause delay

PORTB=%11111111

pause delay2

PORTB=\$3f

PORTD=\$fe

pause delay

GoTo display

display1:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PORTB =%11111111
```

```
pause delay2
```

```
PORTB =$3f
```

```
PORTD =$fd
```

```
pause delay
```

```
PORTB =%11111111
```

```
pause delay2
```

```
PORTB =$6d
```

```
PORTD =$fe
```

```
pause delay
```

```
GoTo display1
```

```
display2:
```

```
PORTB =%11111111
```

```
pause delay2
```

```
PORTB =$5b
```

```
PORTD =$fd
```

```
pause delay
```

```
PORTB =%11111111
```

```
pause delay2
```

```
PORTB =$7f
```

```
PORTD =$fe
```

```
pause delay
```

```
GoTo display2
```

```
display3:
```

```
PORTB =%11111111
```

```
pause delay2
```

```
PORTB =$06
```

```
PORTD =$fd
```

```
pause delay
```

```
PORTB =%11111111
```

```
pause delay2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

PORTB = $06
PORTD = $fe
pause delay
GoTo display3
display4:
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $06
PORTD = $fd
pause delay
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $66
PORTD = $fe
pause delay
GoTo display4
display5:
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $06
PORTD = $fd
pause delay
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $07
PORTD = $fe
pause delay
GoTo display5
display6:
PORTB = %11111111
pause delay2

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PORTB = $5b
PORTD = $fd
pause delay
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $3f
PORTD = $fe
pause delay
GoTo display6
display7:
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $b
PORTD = $fd
pause delay
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $f
PORTD = $fe
pause delay
GoTo display7
display8:
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $5b
PORTD = $fd
pause delay
PORTB = %11111111
pause delay2
PORTB = $07
PORTD = $fe

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pause delay
GoTo display8
display9:
PORTB =%11111111
pause delay2
PORTB =$4f
PORTD =$fd
pause delay
PORTB =%11111111
pause delay2
PORTB =$3f
PORTD =$fe
pause delay
GoTo display9
END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

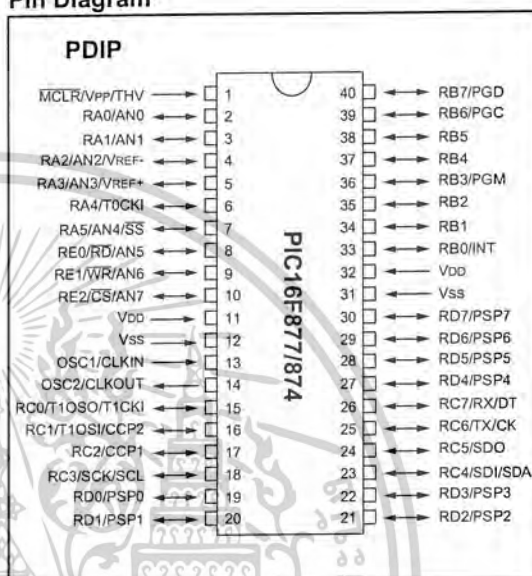
PIC16F87X

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

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 PIC16C73/74/76/77
- Interrupt capability (up to 14 internal/external interrupt 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™ via two pins
- ★ • Only single 5V source needed for programming
- ★ • 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 and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 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

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



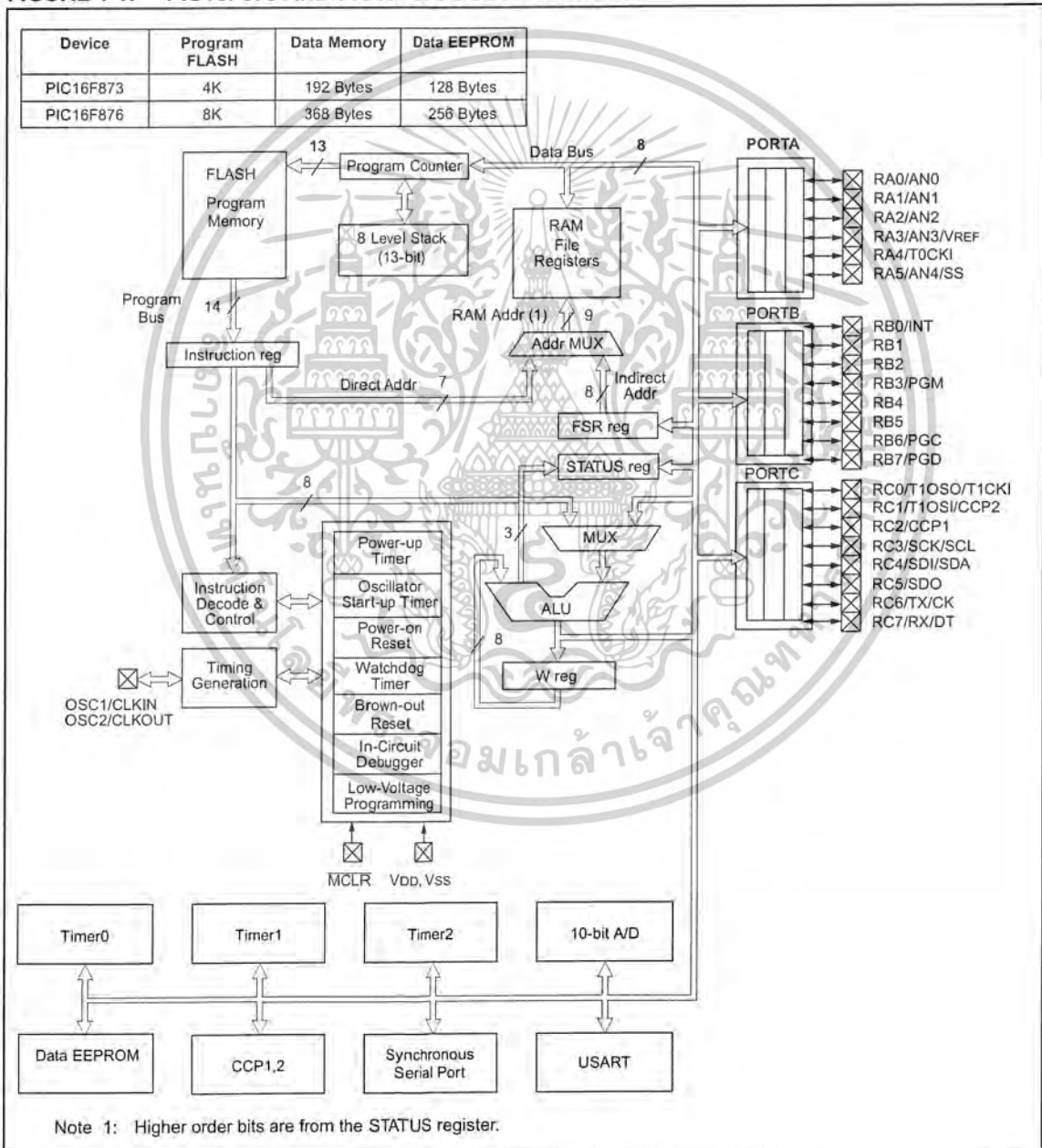
1.0 DEVICE OVERVIEW

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 28-pin devices do not have a Parallel Slave Port implemented.

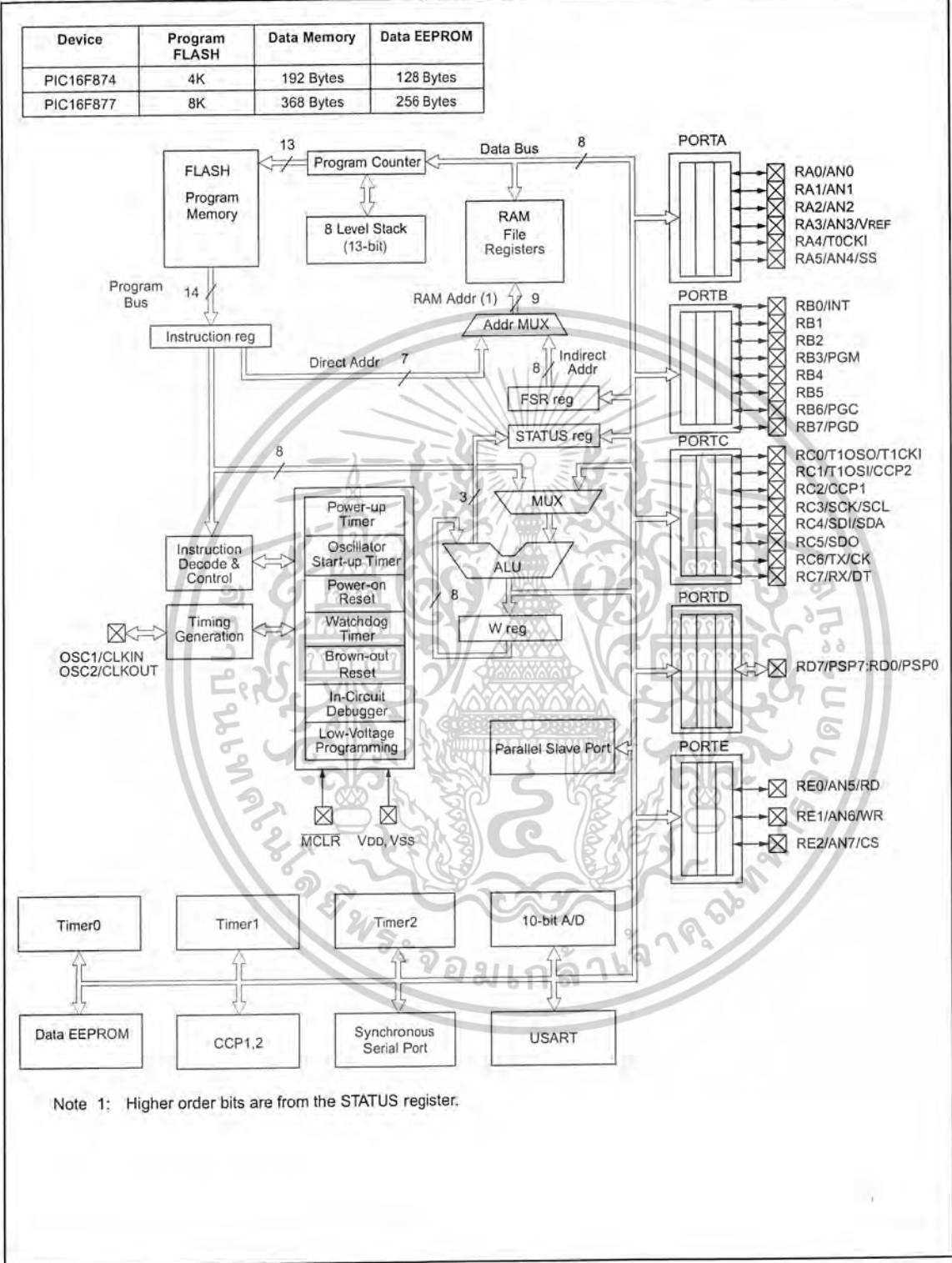
The following two figures are device block diagrams sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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/THV	1	1	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. 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 I²C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I²C 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.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

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/THV	1	2	18	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. This pin is an active low reset to the device.
RA0/AN0	2	3	19	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 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
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⁾	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	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.
 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2 PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (Cont'd)

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 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	16	18	35	I/O	ST	
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	
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.

LF351

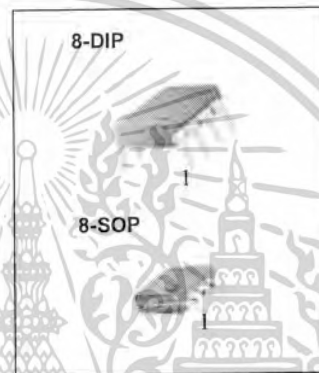
Single Operational Amplifier (JFET)

Features

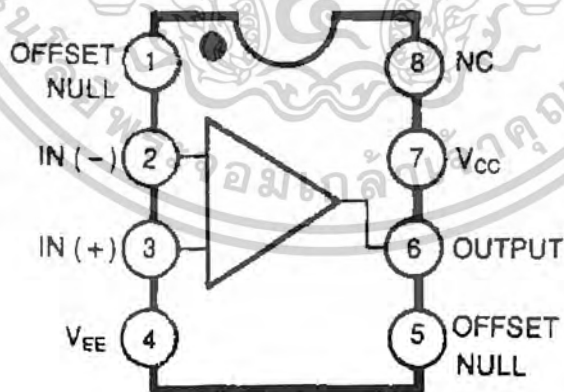
- Internally trimmed offset voltage: 10mV
- Low input bias current : 50pA
- Wide gain bandwidth : 4MHz
- High slew rate : 13V/μs
- High input impedance : $10^{12}\Omega$

Description

The LF351 is JFET input operational amplifier with an internally compensated input offset voltage. The JFET input device provides wide bandwidth, low input bias currents and offset currents.

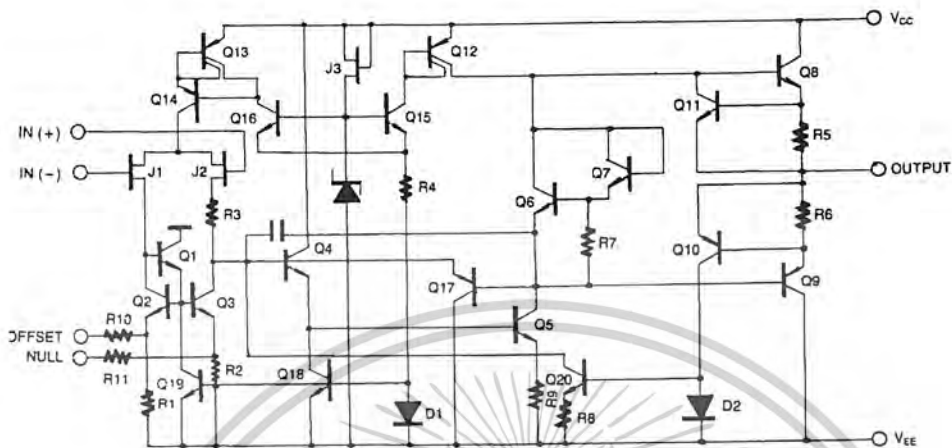


Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage Range	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Continuous	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature	TOPR	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC} = +15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$. unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S = 10k\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	5.0	10	mV
Input Offset Voltage Drift (Note1)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 10k\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	10	-	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{IO}	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	25	100	pA
Input Bias Current	I_{BAIS}	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	50	200	pA
Input Resistance (Note1)	R_I	-	-	10^{12}	-	Ω
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{O(P-P)} = \pm 10V$ $R_L = 2k\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$R_L = 10k\Omega$	± 12	± 13.5	-	V
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 11	$+15$ -12	-	V
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$R_S \leq 10k\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Current	I_{CC}	-	-	2.3	3.4	mA
Slew Rate (Note1)	SR	$G_V = 1$	-	13	-	V/ μs
Gain-Bandwidth Product (Note1)	GBW	-	-	4	-	MHz

Note :

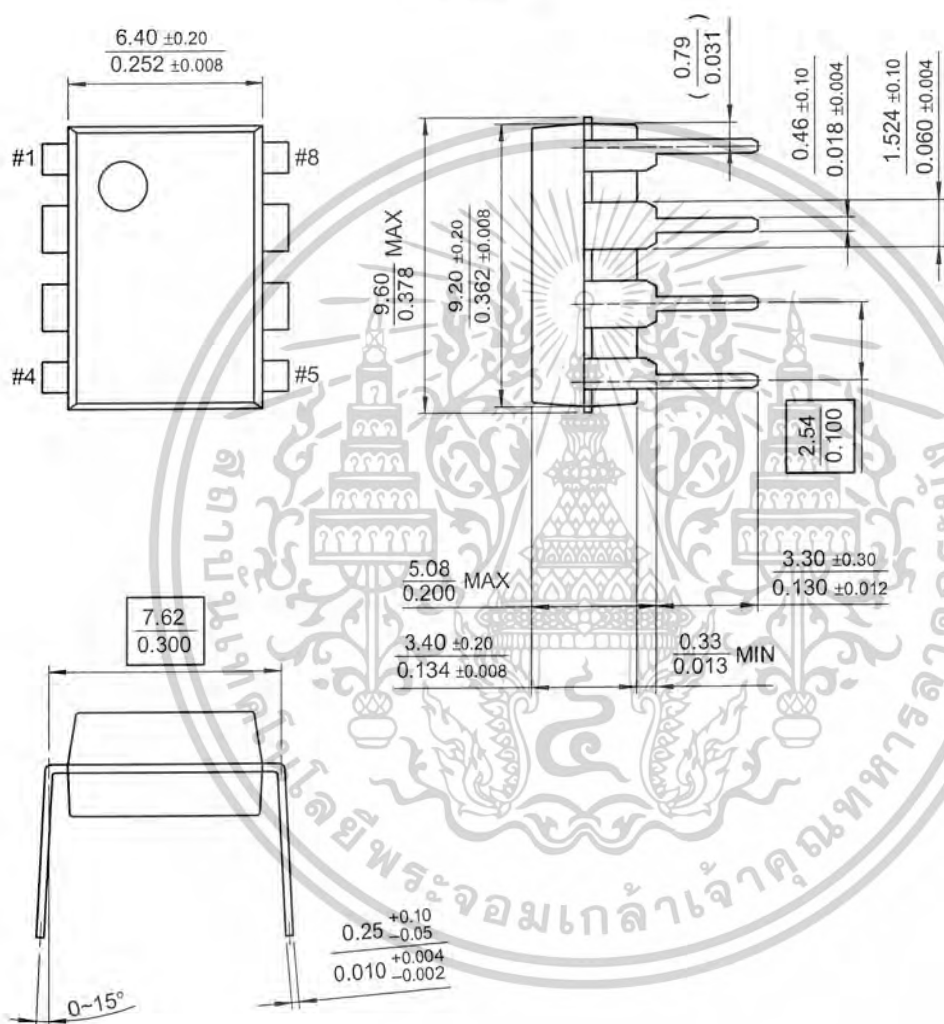
1. Guaranteed by design.

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP

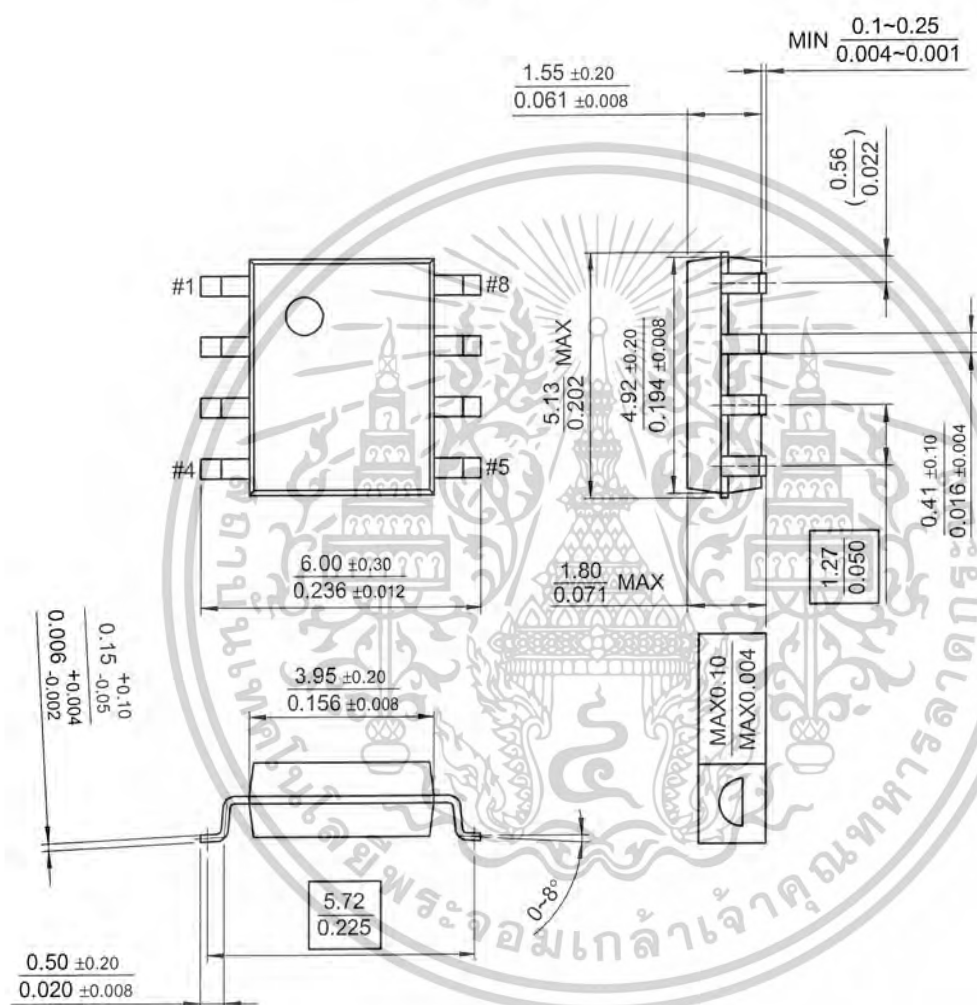


Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP

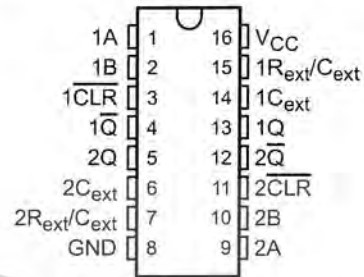


SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221 DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS

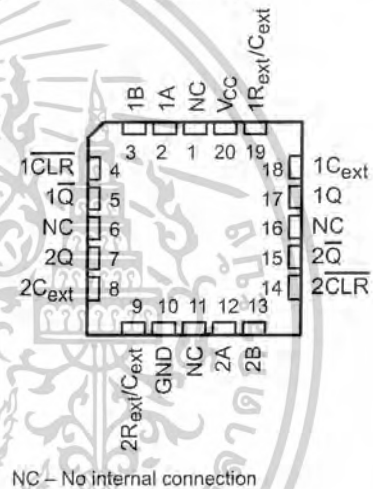
SDLS213A – DECEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 1998

- Dual Versions of Highly Stable SN54121 and SN74121 One Shots
- SN54221 and SN74221 Demonstrate Electrical and Switching Characteristics That Are Virtually Identical to the SN54121 and SN74121 One Shots
- Pinout Is Identical to the SN54123, SN74123, SN54LS123, and SN74LS123
- Overriding Clear Terminates Output Pulse
- Package Options Include Plastic Small-Outline (D), Shrink Small-Outline (DB) Packages, Ceramic Chip Carriers (FK) and Flat Packs (W), and Standard Plastic (N) and Ceramic (J) 300-mil DIPs

SN54221, SN54LS221 ... J OR W PACKAGE
SN74221 ... N PACKAGE
SN74LS221 ... D, DB, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54LS221 ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



TYPE	MAXIMUM OUTPUT PULSE LENGTH(S)
SN54221	21
SN74221	28
SN54LS221	49
SN74LS221	70

description

The '221 and 'LS221 devices are monolithic dual multivibrators with performance characteristics virtually identical to those of the '121 devices. Each multivibrator features a negative-transition-triggered input and a positive-transition-triggered input, either of which can be used as an inhibit input.

Pulse triggering occurs at a particular voltage level and is not directly related to the transition time of the input pulse. Schmitt-trigger input circuitry (TTL hysteresis) for B input allows jitter-free triggering from inputs with transition rates as slow as 1 V/s, providing the circuit with excellent noise immunity, typically of 1.2 V. A high immunity to V_{CC} noise, typically of 1.5 V, is also provided by internal latching circuitry.

Once fired, the outputs are independent of further transitions of the A and B inputs and are a function of the timing components, or the output pulses can be terminated by the overriding clear. Input pulses can be of any duration relative to the output pulse. Output pulse length can be varied from 35 ns to the maximums shown in the above table by choosing appropriate timing components. With $R_{ext} = 2 \text{ k}\Omega$ and $C_{ext} = 0$, an output pulse typically of 30 ns is achieved, which can be used as a dc-triggered reset signal. Output rise and fall times are TTL compatible and independent of pulse length. Typical triggering and clearing sequences are shown as a part of the switching characteristics waveforms.

Pulse-width stability is achieved through internal compensation and is virtually independent of V_{CC} and temperature. In most applications, pulse stability is limited only by the accuracy of external timing components.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221
DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS
WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS

SDLS213A – DECEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 1998

description (continued)

Jitter-free operation is maintained over the full temperature and V_{CC} ranges for more than six decades of timing capacitance (10 pF to 10 μ F) and more than one decade of timing resistance (2 k Ω to 30 k Ω for the SN54221, 2 k Ω to 40 k Ω for the SN74221, 2 k Ω to 70 k Ω for the SN54LS221, and 2 k Ω to 100 k Ω for the SN74LS221). Throughout these ranges, pulse width is defined by the relationship: $t_w(out) = C_{ext}R_{ext} \ln 2 \approx 0.7 C_{ext}R_{ext}$. In circuits where pulse cutoff is not critical, timing capacitance up to 1000 μ F and timing resistance as low as 1.4 k Ω can be used. Also, the range of jitter-free output pulse widths is extended if V_{CC} is held to 5 V and free-air temperature is 25°C. Duty cycles as high as 90% are achieved when using maximum recommended R_T . Higher duty cycles are available if a certain amount of pulse-width jitter is allowed.

The variance in output pulse width from device to device typically is less than $\pm 0.5\%$ for given external timing components. An example of this distribution for the '221 is shown in Figure 3. Variations in output pulse width versus supply voltage and temperature for the '221 are shown in Figures 4 and 5, respectively.

Pin assignments for these devices are identical to those of the SN54123/SN74123 or SN54LS123/SN74LS123 so that the '221 or 'LS221 devices can be substituted for those products in systems not using the retrigger by merely changing the value of R_{ext} and/or C_{ext} ; however, the polarity of the capacitor must be changed.

The SN54221 and SN54LS221 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74221 and SN74LS221 are characterized for operation from 0°C to 70°C .

FUNCTION TABLE
(each monostable multivibrator)

INPUTS			OUTPUTS	
CLR	A	B	Q	$\overline{Q}$
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
H	$\downarrow$	H	$\uparrow$	$\uparrow$
$\uparrow\downarrow$	L	H	$\uparrow$	$\uparrow$

$\uparrow$ Pulsed-output patterns are tested during AC switching at 25°C with $R_{ext} = 2\text{ k}\Omega$, and $C_{ext} = 80\text{ pF}$.

$\uparrow\downarrow$ This condition is true only if the output of the latch formed by the two NAND gates has been conditioned to the logic 1 state prior to CLR going high. This latch is conditioned by taking either A high or B low while CLR is inactive (high).



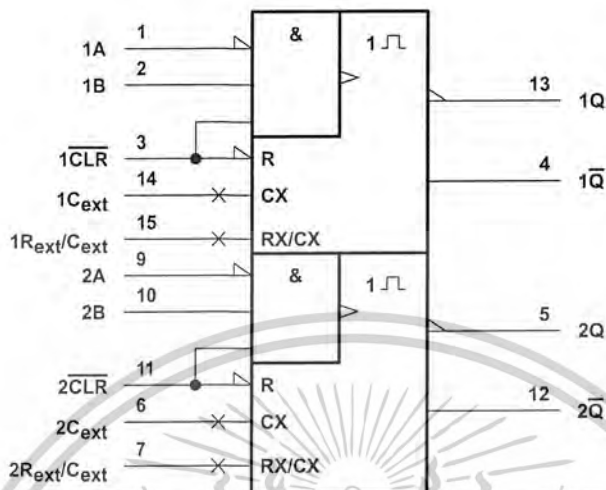
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221 DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS

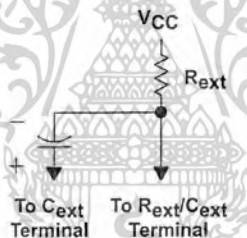
SDLS213A – DECEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 1998

logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.
Pin numbers shown are for the D, DB, J, N, and W packages.

timing component connections



NOTE: Due to the internal circuit, the R_{ext}/C_{ext} terminal is never more positive than the C_{ext} terminal.



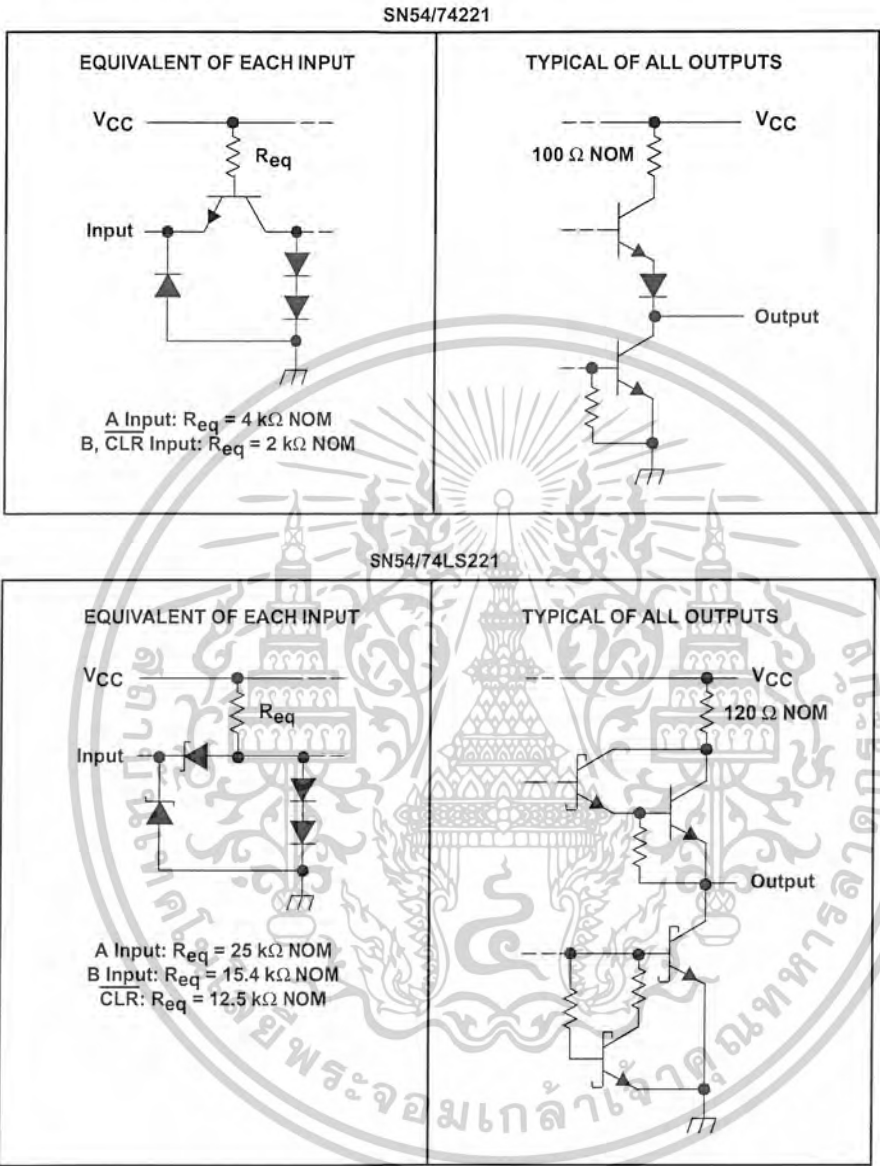
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221
DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS
WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS

SDLS213A – DECEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 1998

schematics of inputs and outputs



SN54221, SN54LS221, SN74221, SN74LS221
DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATORS
WITH SCHMITT-TRIGGER INPUTS
SDLS213A – DECEMBER 1983 – REVISED FEBRUARY 1998

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage range, V_{CC}	7 V
Input voltage range, V_I (see Note 1): 'LS221	7 V
'221	5.5 V
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	113°C/W
DB package	131°C/W
N package	78°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. The input and output negative-voltage ratings may be exceeded if the input and output clamp-current ratings are observed.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero

recommended operating conditions

		SN54221			SN74221			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	High-level input voltage	A input			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage	A input			0.8			V
I_{OH}	High-level output current				–800			μA
I_{OL}	Low-level output current				16			mA
$\Delta v/\Delta t$	Rise or fall of input pulse rate	B input			1*			V/s
		A input			1*			V/μs
T_A	Operating free-air temperature	–55			0			°C

* On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MM74C925 • MM74C926 • MM74C927 • MM74C928

4-Digit Counters with Multiplexed 7-Segment Output Drivers

General Description

The MM74C925, MM74C926, MM74C927 and MM74C928 CMOS counters consist of a 4-digit counter, an internal output latch, NPN output sourcing drivers for a 7-segment display, and an internal multiplexing circuitry with four multiplexing outputs. The multiplexing circuit has its own free-running oscillator, and requires no external clock. The counters advance on negative edge of clock. A HIGH signal on the Reset input will reset the counter to zero, and reset the carry-out LOW. A LOW signal on the Latch Enable input will latch the number in the counters into the internal output latches. A HIGH signal on Display Select input will select the number in the counter to be displayed; a LOW level signal on the Display Select will select the number in the output latch to be displayed.

The MM74C925 is a 4-decade counter and has Latch Enable, Clock and Reset inputs.

The MM74C926 is like the MM74C925 except that it has a display select and a carry-out used for cascading counters. The carry-out signal goes HIGH at 6000, goes back LOW at 0000.

The MM74C927 is like the MM74C926 except the second most significant digit divides by 6 rather than 10. Thus, if the clock input frequency is 10 Hz, the display would read tenths of seconds and minutes (i.e., 9:59.9).

The MM74C928 is like the MM74C926 except the most significant digit divides by 2 rather than 10 and the carry-out is an overflow indicator which is HIGH at 2000, and it goes

back LOW only when the counter is reset. Thus, this is a 3½-digit counter.

Features

- Wide supply voltage range: 3V to 6V
- Guaranteed noise margin: 1V
- High noise immunity: $0.45 V_{CC}$ (typ.)
- High segment sourcing current: 40 mA
@ $V_{CC} = 1.6V$, $V_{CC} = 5V$
- Internal multiplexing circuitry

Design Considerations

Segment resistors are desirable to minimize power dissipation and chip heating. The DS75492 serves as a good digit driver when it is desired to drive bright displays. When using this driver with a 5V supply at room temperature, the display can be driven without segment resistors to full illumination. The user must use caution in this mode however, to prevent overheating of the device by using too high a supply voltage or by operating at high ambient temperatures.

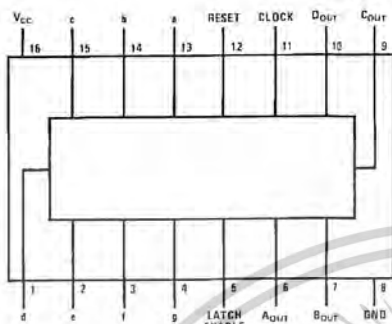
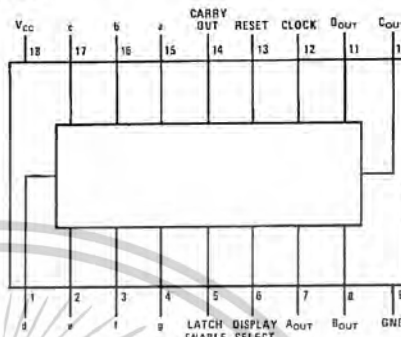
The input protection circuitry consists of a series resistor, and a diode to ground. Thus input signals exceeding V_{CC} will not be clamped. This input signal should not be allowed to exceed 15V.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74C925N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
MM74C926N	N18A	18-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
MM74C927N	N18A	18-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
MM74C928N	N18A	18-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Connection Diagrams

Pin Assignments for DIP

Top View
MM74C925Top View
MM74C926, MM74C927, MM74C928

Functional Description

Reset — Asynchronous, active high
 Display Select — High, displays output of counter
 Low, displays output of latch
 Latch Enable — High, flow through condition
 Low, latch condition
 Clock — Negative edge sensitive

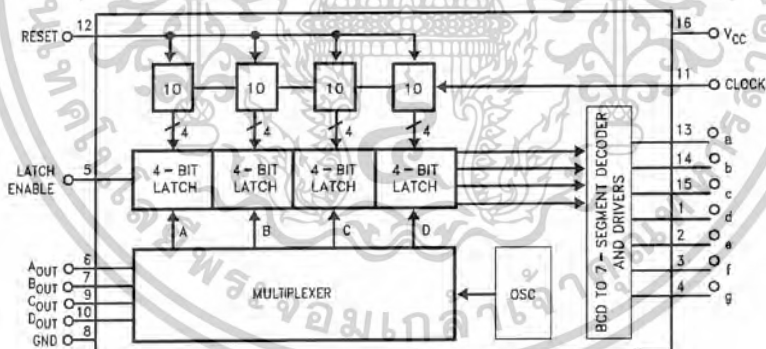
Segment Output — Current sourcing with 40 mA @ $V_{OUT} = V_{CC} - 1.6V$ (typ.) Also, sink capability = 2 LTTL loads

Digit Output — Current sourcing with 1 mA @ $V_{OUT} = 1.75V$. Also, sink capability = 2 LTTL loads

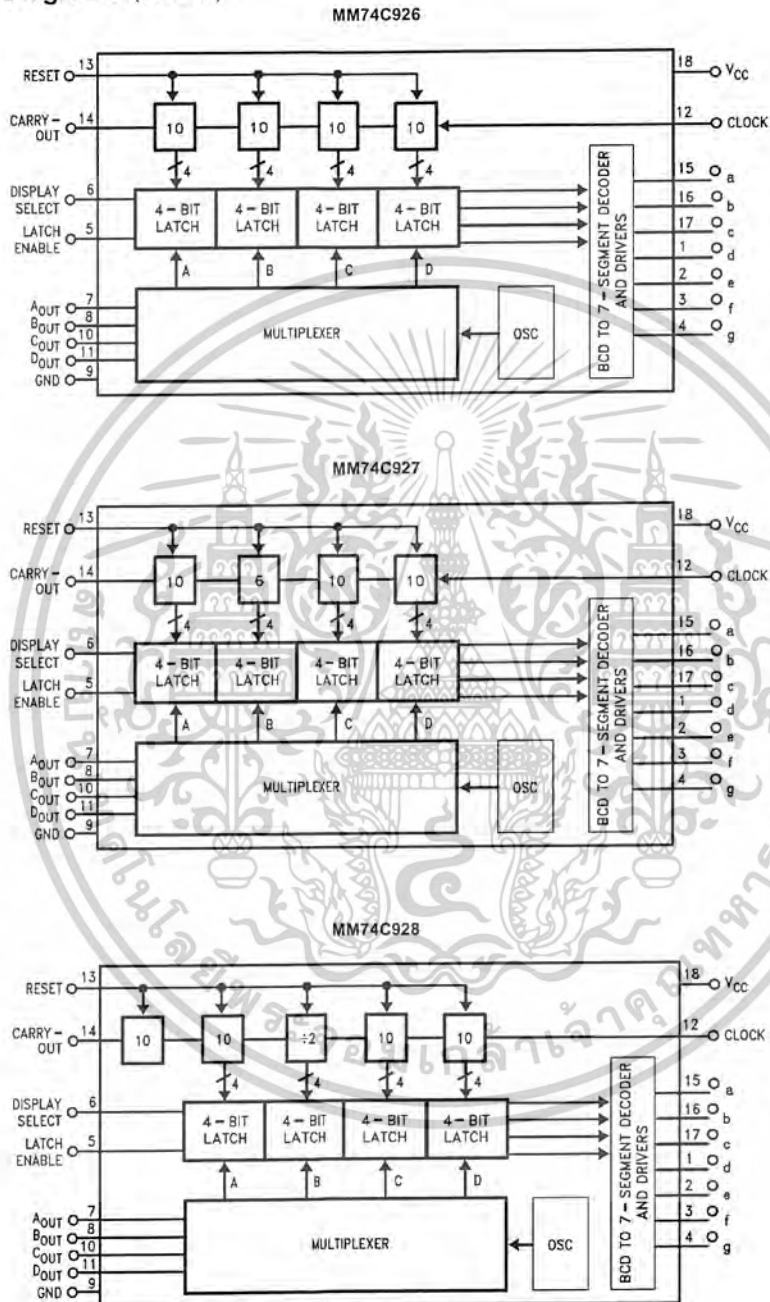
Carry-Out — 2 LTTL loads. See carry-out waveforms.

Logic Diagrams

MM74C925



Logic Diagrams (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Voltage at Any Output Pin	GND – 0.3V to $V_{CC} + 0.3V$
Voltage at Any Input Pin	GND – 0.3V to +15V
Operating Temperature Range (T_A)	–40°C to +85°C
Storage Temperature Range	–65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	Refer to $P_{D(MAX)}$ vs T_A Graph

Operating V_{CC} Range	3V to 6V
V_{CC}	6.5V
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The Electrical Characteristics table provides conditions for actual device operation.

DC Electrical Characteristics

Min/Max limits apply at –40°C ≤ T_A ≤ +85°C, unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CMOS TO CMOS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage	$V_{CC} = 5V$	3.5			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage	$V_{CC} = 5V$			1.5	V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage (Carry-Out and Digit Output Only)	$V_{CC} = 5V, I_O = -10 \mu A$	4.5			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = 10 \mu A$			0.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current	$V_{CC} = 5V, V_{IN} = 15V$		0.005	1	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current	$V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0V$	–1	–0.005		μA
I_{CC}	Supply Current	$V_{CC} = 5V$, Outputs Open Circuit, $V_{IN} = 0V$ or 5V		20	1000	μA
CMOS/LPTTL INTERFACE						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage	$V_{CC} = 4.75V$	$V_{CC} - 2$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage	$V_{CC} = 4.75V$			0.8	V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage (Carry-Out and Digit Output Only)	$V_{CC} = 4.75V$, $I_O = -360 \mu A$	2.4			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V, I_O = 360 \mu A$			0.4	V
OUTPUT DRIVE						
V_{OUT}	Output Voltage (Segment Sourcing Output)	$I_{OUT} = -65 mA, V_{CC} = 5V, T_J = 25^\circ C$ $I_{OUT} = -40 mA, V_{CC} = 5V, T_J = 100^\circ C$ $T_J = 150^\circ C$	$V_{CC} - 2$ $V_{CC} - 1.6$ $V_{CC} - 2$	$V_{CC} - 1.3$ $V_{CC} - 1.2$ $V_{CC} - 1.4$		V
R_{ON}	Output Resistance (Segment Sourcing Output)	$I_{OUT} = -65 mA, V_{CC} = 5V, T_J = 25^\circ C$ $I_{OUT} = -40 mA, V_{CC} = 5V, T_J = 100^\circ C$ $T_J = 150^\circ C$		20 30 35 0.6	32 40 50 0.8	Ω Ω Ω %/°C
I_{SOURCE}	Output Source Current (Digit Output)	$V_{CC} = 4.75V, V_{OUT} = 1.75V, T_J = 150^\circ C$	–1	–2		mA
I_{SOURCE}	Output Source Current (Carry-Out)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V, T_J = 25^\circ C$	–1.75	–3.3		mA
I_{SINK}	Output Sink Current (All Outputs)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}, T_J = 25^\circ C$	1.75	3.6		mA
θ_{JA}	Thermal Resistance	MM74C925: (Note 2) MM74C926, MM74C927, MM74C928		75 70	100 90	°C/W °C/W

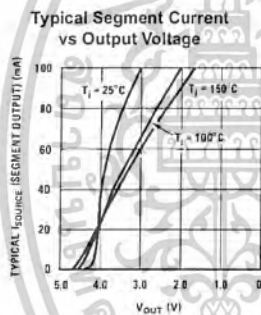
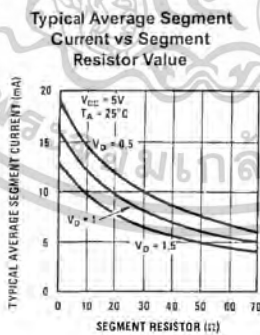
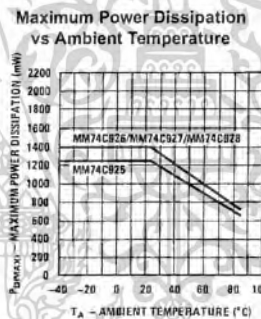
Note 2: θ_{JA} measured in free-air with device soldered into printed circuit board.

AC Electrical Characteristics (Note 3) $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ Square Wave Clock $T_J = 100^\circ\text{C}$	2 1.5	4 3		MHz
t_r, t_f	Maximum Clock Rise or Fall Time	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$			15	μs
t_{WR}	Reset Pulse Width	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125		ns
t_{WLE}	Latch Enable Pulse Width	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125		ns
$t_{\text{SET(CK, LE)}}$	Clock to Latch Enable Set-Up Time	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	2500 3200	1250 1600		ns
t_{LR}	Latch Enable to Reset Wait Time	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	0 0	-100 -100		ns
$t_{\text{SET(R, LE)}}$	Reset to Latch Enable Set-Up Time	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	320 400	160 200		ns
f_{MUX}	Multiplexing Output Frequency	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$	1000			Hz
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input (Note 4)	5			pF

Note 3: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

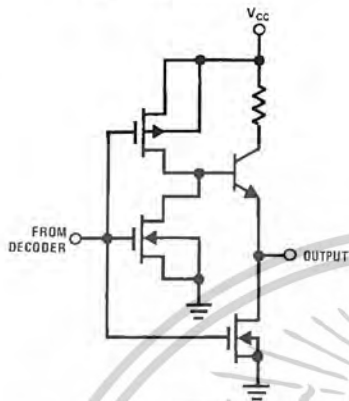
Note 4: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

Typical Performance CharacteristicsNote: V_D = Voltage across digit driver

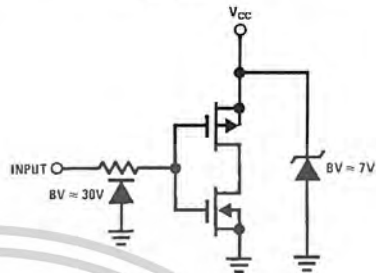
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

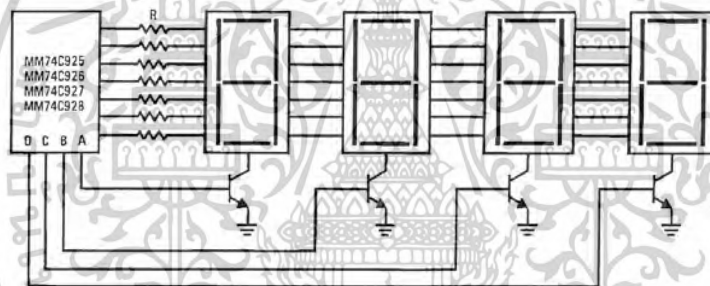
Segment Output Driver



Input Protection



Common Cathode LED Display



Segment Identification



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ ปรีชา หลายเกิดผล คุณแม่ พชรอุษณิษา หลายเกิดผล คุณแม่ ประชัน ศรีห้ำ และ คุณ ฟ้าก่อง ศรีห้ำ ผู้ซึ่งให้กำเนิดและเลี้ยงดูลูกให้เป็นคนดี จนสามารถประสบความสำเร็จ ณ. วันนี้ได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ กมวัชระ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ดูแลเอาใจใส่ และ ให้ความอนุเคราะห์ในการทำโครงการนี้ในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ถ่ายทอดความรู้ และสั่งสอนจนมาถึงทุกวันนี้

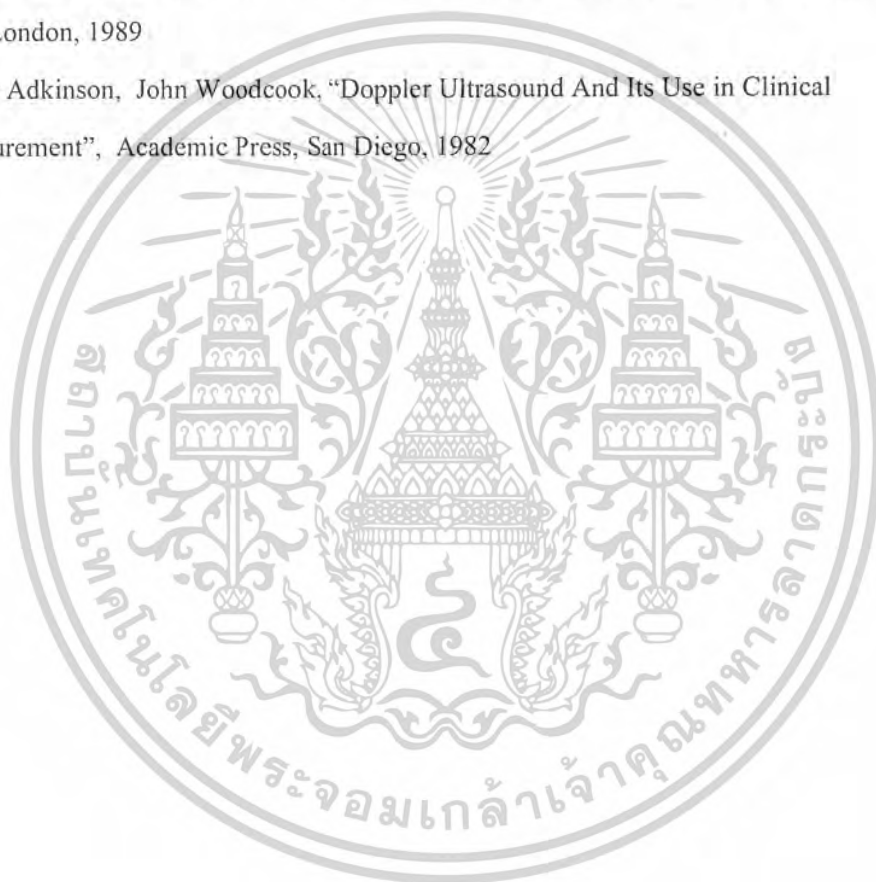
และสุดท้ายขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน และ ให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ชีรวัดน์ ประกอบผล , “การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์” ,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2542
2. ทนง โชติสรยุทธ์, “เทคนิคการใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ สำหรับนักทดลอง” ,ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2537
3. Chapman and Hall Staff, “Ultrasonic Measurement And Technologies”, Chapman & Hall,London, 1989
4. Peter Adkinson, John Woodcook, “Doppler Ultrasound And Its Use in Clinical Measurement”, Academic Press, San Diego, 1982



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้