สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

ULTRASONIC TAPE MEASURE

โดย

นางสาวกมลรัตน์ พรชัยเจริญกิจ

2W
ก1367
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....83303
วัน,เดือน,ปี.....11 ส.ค. 2551

b.....11967481
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

ULTRASONIC TAPE MEASURE

โดย

นางสาวกมลรัตน์ พรชัยเจริญกิจ 47010011

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

ULTRASONIC TAPE MEASURE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกมลรัตน์ พรชัยเจริญกิจ 47010011

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

ULTRASONIC TAPE MEASURE

โดย นางสาวกมลรัตน์ พรชัยเจริญกิจ 47010011

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นอัลตร้าโซนิค ที่นำมาประยุกต์ใช้สร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคแบบพกพา โดยเครื่องที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยภาคส่ง-รับ และมีวงจรเพื่อวัดและแสดงผลของพัลซ์ที่เดินทางไปและสะท้อนกลับมาโดยจะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข

ABSTRACT

This project concerns about ultrasonic. Apply to build a hand-held, battery powered ultrasonic ranger for making rough and ready distance measurements. The unit will comprise a pulsed ultrasonic transmitter, a receiver and some circuitry for measuring and displaying the time of flight for pulses reflected from a remote object and shows the result in number.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด รวมทั้งข้อมูลที่จำเป็นที่เกี่ยวกับตัวโครงงาน และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้กำลังใจ คอยเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ผู้จัดทำ

นางสาวกมลรัตน์ พรชัยเจริญกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน	1
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คลื่น	3
2.1.1 คลื่นตามยาว	3
2.1.2 คลื่นตามขวาง	3
2.2 คลื่นเสียง	4
2.2.1 ลักษณะคลื่นเสียง	4
2.2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง	5
2.3 คลื่นอุลตราโซนิค	7
2.4 ความแรงและกำลังของคลื่นอุลตราโซนิค	9
2.5 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์	10
2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์	12
2.5.2 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์	12
2.5.3 เปียโซทรานสดิวเซอร์	13
2.5.4 เปียโซอิเล็กทริคเอฟเฟ็ค	14
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	15
2.6.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.6.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	15
2.6.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.3.1 พอร์ต	17
2.6.3.2 การจัดสรรหน่วยความจำ	20
2.6.4 การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล	22
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	23
3.1 การส่งพัลส์ความถี่ 40 kHz	32
3.2 การคำนวณค่าระยะทางจากเวลาที่สะท้อนกลับ	26
3.3 การประมวลผลภายในไมโครคอนโทลเลอร์	27
3.4 การแสดงผลทางจอ LCD	33
3.5 ภาครับสัญญาณ	33
บทที่ 4 การทดลอง	37
4.1 การทดลองสัญญาณพัลส์ที่ออกจาก PIC และสัญญาณที่ตัวส่ง	37
4.2 การทดลองสัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ตัวส่ง	38
4.3 การทดลองสัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ผ่านวงจรขยาย	38
4.5 สัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ขา RB7	39
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้งานเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	47
ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว	3
2.2 แสดงถึงลักษณะของการเกิดคลื่นตามขวาง	4
2.3 แสดงการเกิดบีทของคลื่น	5
2.4 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง	5
2.5 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดใหม่	6
2.6 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	6
2.7 แสดงการจำแนกความถี่ต่าง ๆ ในช่วงคลื่นอุลตราโซนิค	8
2.8 แสดง Delay Line ที่ใช้ในหน่วงสัญญาณที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างคลื่นแม่เหล็กกับคลื่นอุลตราโซนิค	9
2.9 ลักษณะของเซลในแต่ละสภาวะ	11
2.10 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์	13
2.11 แสดงปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก	14
2.12 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84	17
2.13 โครงสร้างของพอร์ต A (RA0, RA1, RA2, RA3)	17
2.14 โครงสร้างของพอร์ต A (RA4)	18
2.15 โครงสร้างของพอร์ต B (RB0 – RB3)	18
2.16 โครงสร้างของพอร์ต B (RB4 – RB7)	19
2.17 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม	20
2.18 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล	21
2.19 การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล	22
3.1 การทำงานโดยรวมของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	23
3.2 การส่งสัญญาณพัลล์ความถี่ 40kHz	25
3.3 สัญญาณพัลส์ 1 ลูก	25
3.4 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมทั้งหมด	28
3.5 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Send	29
3.6 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Store	30
3.7 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Mask	31
3.8 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Recall	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 รูปวงจรขยายสัญญาณ	34
3.10 หลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว เข้าขาทรานซิสเตอร์	35
3.11 วงจรเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	36
4.1 สัญญาณพัลส์ที่ออกจาก PIC และที่ตัวส่ง	37
4.2 สัญญาณที่ตัวรับอุลตราโซนิคและสัญญาณที่ตัวส่งอุลตราโซนิค	38
4.3 สัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ผ่านวงจรขยาย	39
4.4 สัญญาณที่ตัวรับสัญญาณและที่ขา RB7 เมื่อยังไม่มีการสะท้อนกลับจากวัตถุ	40
4.5 สัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ขา RB7 เมื่อมีการสะท้อนกลับจากวัตถุ	40
4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าระยะทางที่วัดได้กับระยะทางจริง	43
ก.1 รูปวงจรภายในเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	47
ก.2 แสดงเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	47
ก.3 แสดงระยะทางจริงเทียบกับระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 1 เมตร โดยวัตถุคือกำแพง	48
ก.4 แสดงระยะทางจริงเทียบกับระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 3 เมตร โดยวัตถุคือกำแพง	49
ก.5 แสดงระยะทางจริงเทียบกับระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 5 เมตร โดยวัตถุคือกำแพง	49
ก.6 แสดงผลการบันทึกค่าการวัด เป็นข้อมูลลำดับที่ 10	50
ก.7 แสดงผลการเรียกดูข้อมูลการวัดที่บันทึกไว้ เป็นข้อมูลลำดับที่ 10	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ความถี่และความเร็วของคลื่นที่มีค่าต่างกัน	7
2.2 แสดงคุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิค	13
2.3 สรุปการทำงานของทุกขาสัญญาณของพอร์ต A	18
2.4 สรุปการทำงานของทุกขาสัญญาณของพอร์ต B	19
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองการวัดระยะทางด้วยเครื่องวัดระยะทาง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเทคโนโลยีของคลื่นเสียงนั้นได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และมีการพัฒนาไปอย่างไม่หยุดยั้ง ไม่ว่าจะนำไปใช้ในการสื่อสาร อุปกรณ์ทำความสะอาด เครื่องควบคุมระยะไกล เครื่องวัดระยะทางและเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่นำไปใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ต่าง ๆ อีกมากมาย เราจึงเกิดแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีทางด้านเสียงมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางแล้วนำมาแสดงผลเป็นระยะทาง

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของตัวรับตัวส่งอัลตร้าโซนิคและการนำไปใช้
2. เพื่อศึกษาโครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 และการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F84
3. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ของตัวรับตัวส่งอัลตร้าโซนิคและไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องมือวัดระยะทางโดยใช้หลักการสะท้อนของคลื่นอัลตร้าโซนิค

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน

เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค เป็นเครื่องที่นำมาใช้โดยอาศัยหลักการของคลื่นสะท้อน ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และความรู้ทางคอมพิวเตอร์ โดยมีหลักการทำงานจากการส่งคลื่น ในรูปแบบการส่งคลื่นไปสะท้อนที่พื้นผิวของวัตถุแล้วกลับมายังตัวรับ เพื่อตรวจสอบหาระยะทางของวัตถุ ถ้าหากวัตถุอยู่ภายในระยะขอบเขตที่เราสามารถตรวจหาวัตถุได้ ตัวรับจะสามารถรับสัญญาณสะท้อนกลับได้ แล้วส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลเพื่อหาระยะทางและนำมาแสดงผลบนจอ LCD ซึ่งรูปแบบของคลื่นอัลตร้าโซนิคที่นำมาใช้นี้เป็นคลื่นที่มีทิศทาง และสามารถกำหนดจุดที่คลื่นจะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างแน่นอน คลื่นอัลตร้าโซนิคที่เรานำมาใช้นั้นเลือกค่าความถี่ที่ 40 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงงาน พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการรับและการส่งคลื่นอัลตร้าโซนิคจากตัวรับและตัวส่ง ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือ PIC16F84

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง นำเสนอวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องและนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงงาน

บทที่ 4 การทดลอง เป็นส่วนการทดสอบองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ ตลอดจนการทดลองวัดระยะทางจากเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

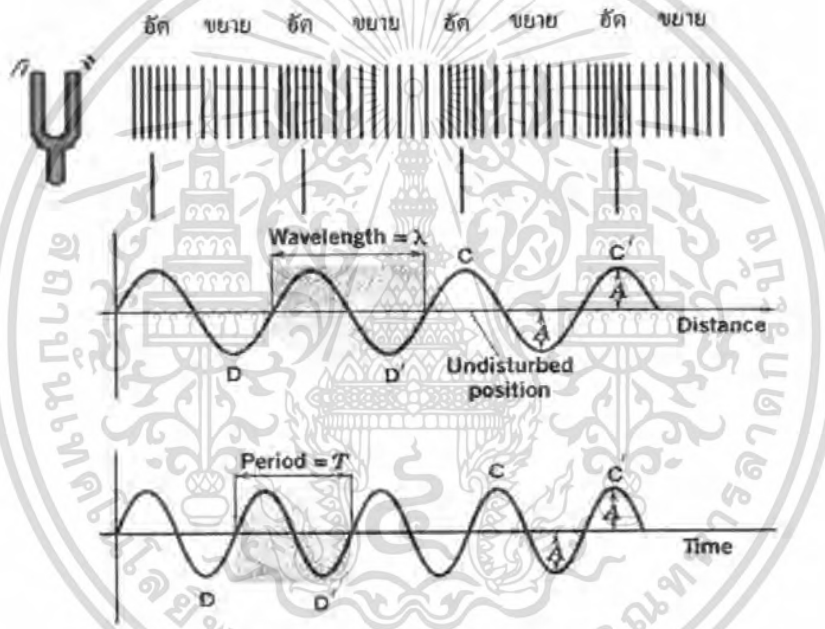
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่น (Wave)

คลื่นเกิดจากการแกว่งหรือสั่น (Oscillated) ของวัตถุ ซึ่งจะเกิดเป็นพลังงานและถ่ายทอดออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังบริเวณโดยรอบ โดยคลื่นทั่วไปสามารถจำแนกตามความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลางกับทิศทางการเคลื่อนที่ได้ 2 ชนิด คือ

2.1.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) คือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง เป็นต้น ซึ่งแสดงลักษณะของคลื่นตามยาวดังรูปที่ 2.1

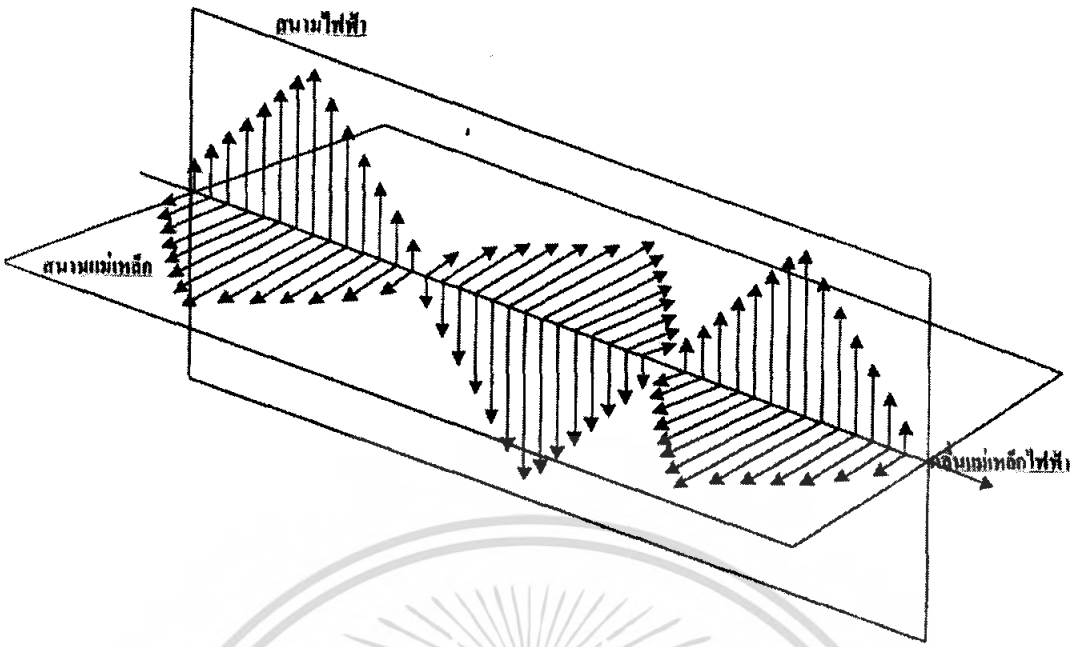


รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันสูง และคลื่นขยาย (Reaction) คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำ เมื่อนำค่าของความดัน (P) ที่เปลี่ยนไปตามระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลาเป็น T ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/f โดยจุดที่เป็นเส้นแกนนั้นมีค่าความดัน 1 บรรยากาศ

2.1.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นน้ำ เป็นต้น โดยรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงถึงลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และสนามไฟฟ้า (Electric Field) มีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของการเกิดคลื่นตามขวาง

2.2 คลื่นเสียง (Sound Wave)

คลื่นเสียงนั้นจัดอยู่ในรูปคลื่นตามยาว ซึ่งสามารถเดินทางผ่านวัตถุตัวกลางในลักษณะอัดและขยายทำให้เกิดเสียงขึ้นมา โดยแหล่งกำเนิดเสียงแบ่งได้ตามวัตถุกำเนิดเสียงได้ 3 ประเภท คือ

1. เกิดจากการสั่นของสายหรือแท่ง ได้แก่ เครื่องสายต่าง ๆ ล้อมเสียง ฯลฯ
2. เกิดจากการสั่นของแผ่นผิว ได้แก่ ไดอะแฟรมของลำโพง หนังกลอง ฯลฯ
3. เกิดจากการสั่นของลำอากาศ ได้แก่ เครื่องเป่าต่าง ๆ ฯลฯ

เนื่องจากคลื่นเสียงนั้นต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทาง จึงทำให้คลื่นเสียงไม่สามารถผ่านสุญญากาศได้

2.2.1 ลักษณะคลื่นเสียง

" ความถี่ " ความถี่ของคลื่นเสียงในตัวกลางใด ๆ คือ ความถี่ของการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้น ความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินมีค่าอยู่ในช่วง 20 Hz - 20 kHz เรียกว่า " Audible Frequency " ความถี่ต่ำกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า " Infrared Frequency " และความถี่ที่สูงกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า " Ultrasonic Frequency "

" อัตราเร็วของเสียง " อัตราเร็วของคลื่นเสียงนั้นย่อมแปรผันตามคุณสมบัติของตัวกลางที่มีเสียงเดินผ่าน ซึ่งตัวแปรที่จำกัดอัตราเร็วของเสียง คือ ความหนาแน่น (Density) อุณหภูมิ (Temperature) และความยืดหยุ่น (Elasticity)

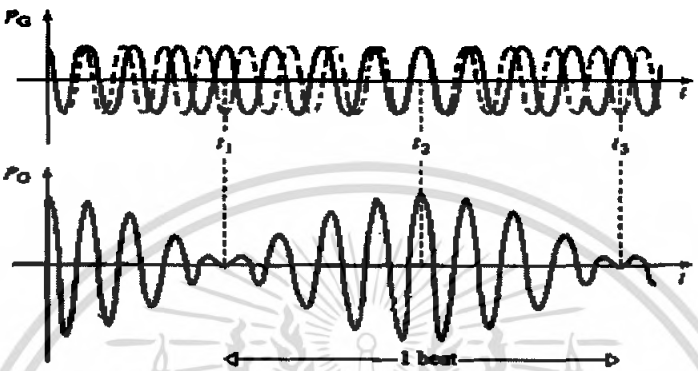
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง

คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง แบ่งได้เป็น 4 แบบ คือ

1. การแทรกสอด (Interference) เกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะ เช่น

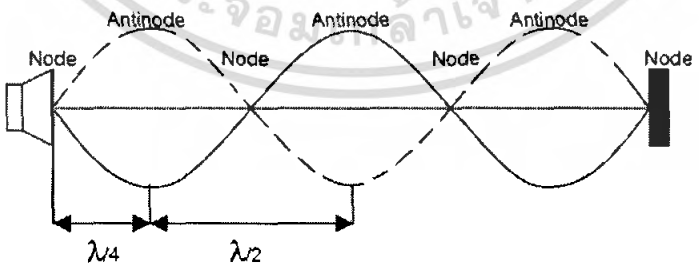
การบีท (Beat) ของคลื่น เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกัน เคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมกันเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมปลิจูดเปลี่ยนไป



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดบีทของคลื่น

จากรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงการบีทของคลื่น 2 คลื่น ซึ่งได้คลื่นที่มีแอมปลิจูดเปลี่ยนไป ซึ่งประโยชน์ของการบีทของคลื่น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมปลิจูดที่แตกต่างกัน

การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นชุดที่มีแอมปลิจูดเท่ากันและความถี่เดียวกัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงข้ามกัน หรือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง

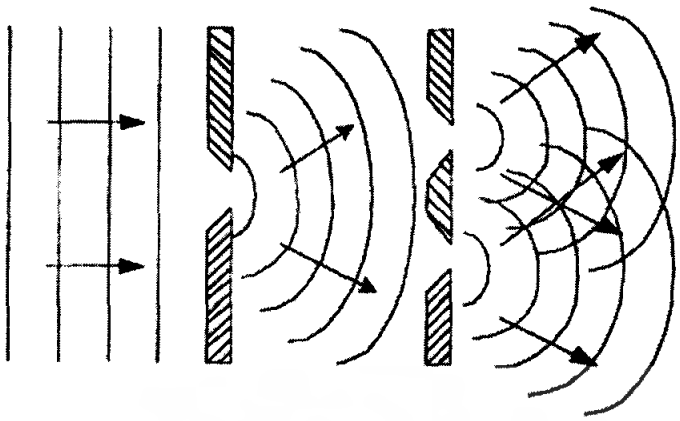


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

2. การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือเป็นช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เราพบอยู่ในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา เช่น ในกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

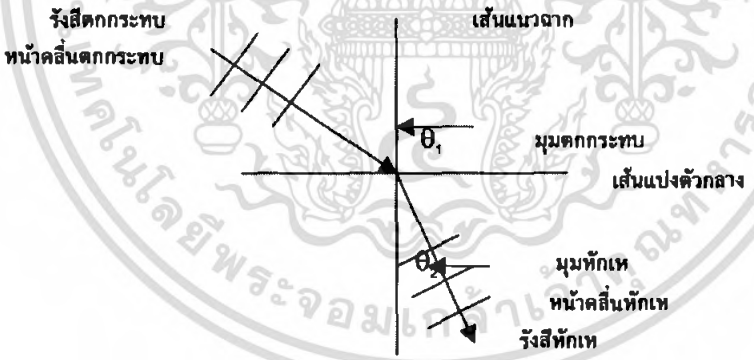
เราได้ยินเสียงแตรรถที่แล่นอยู่คนละมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็ก ๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดใหม่

3. การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลาง โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo)

4. การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่ ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คลื่นอัลตร้าโซนิค

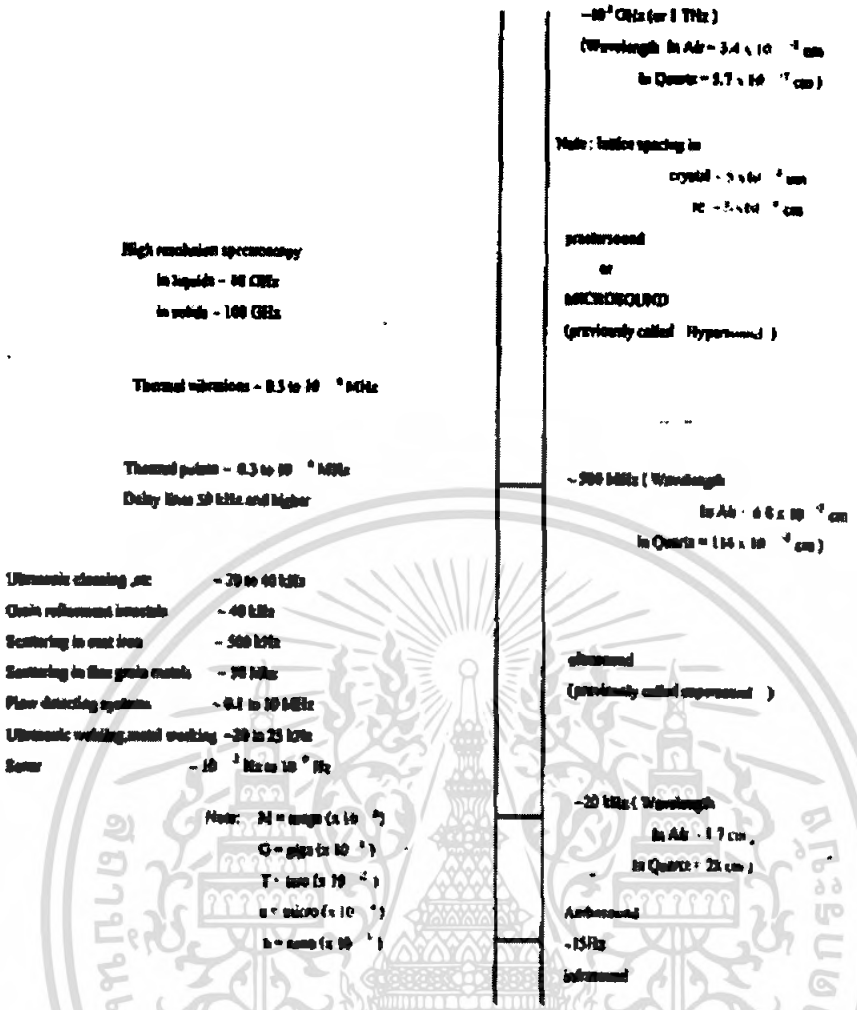
อัลตร้าโซนิค หมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz อัลตร้าโซนิคที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตร้าโซนิคมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตร้าโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง โดยในรูปที่ 2.7 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอัลตร้าโซนิคที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ

คลื่นอัลตร้าโซนิคส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นจากการออสซิเลชั่น (Oscillation) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นซายน์ (Sinusoidal) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งมีความถี่ต่าง ๆ ซึ่งความยาวคลื่นของคลื่นในแต่ละความถี่แตกต่างไปด้วย โดยความยาวคลื่นจะสัมพันธ์กับค่าความเร็ว (c) และค่าความถี่ (f) ของคลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งการเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ความถี่ และความเร็วของคลื่นที่มีค่าต่างกันซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1

Frequency	Wavelength (λ)		
	(For C =1000 m/s)	(For C =3000 m/s)	(For electromacnetic radiation)
20 kHz = 2×10^4 Hz	5 cm	15 cm	1.5×10^4 m
100 kHz = 10^5 Hz	1 cm	3 cm	3×10^3 m
1MHz = 10^6 Hz	1 cm	3 mm	300 m
50 MHz = 5×10^7 Hz	20 μm	60 μm	6 m
1GHz = 10^9 Hz	1 μm	3 μm	30 cm

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ความถี่และความเร็วของคลื่นที่มีค่าต่างกัน

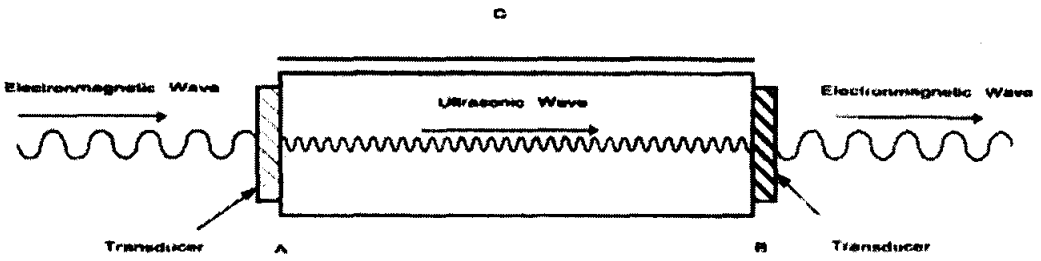
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการจำแนกความถี่ต่าง ๆ ในช่วงคลื่นอัลตร้าโซนิค

จากตารางแสดงค่าที่ c = 1000 m/s และ 3000 m/s ซึ่งอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว และเปรียบเทียบกับการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่เดียวกัน จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันมาก โดยความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิค จะมีค่าต่ำกว่าความเร็วในการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก (ในสุญญากาศมีค่าความเร็วประมาณ 3×10^8 m/s) จากหลักการนี้เป็นประโยชน์มากในตัวอย่างของระบบโทรทัศน์และระบบดิจิตอลคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วง (Delay) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ไปเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิคโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หลักการคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 1 ms สามารถเดินทางได้ระยะทาง $3 \times 10^8 \times 10^3 = 300$ km ซึ่งมีค่ามาก เราจึงสามารถหน่วงสัญญาณนี้ได้ โดยเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิคโดยใช้อุปกรณ์ " Delay Line " ซึ่งแสดงในรูป 2.8 ซึ่งประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตร้าโซนิคโดยคลื่นจะเคลื่อนที่ใน Delay Line ในระยะทาง d ซึ่งในระยะ d นี้อาจจะเป็นตัวกลางที่เป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งก็ได้ ซึ่งจะมีความเร็วที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดง Delay Line ที่ใช้ในหน่วงสัญญาณที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างคลื่นแม่เหล็กกับคลื่นอัลตร้าโซนิค

2.4 ความแรงและกำลังของคลื่นอัลตร้าโซนิค

เมื่อทรานสดิวเซอร์ของอัลตร้าโซนิคปล่อยคลื่นอัลตร้าโซนิคออกไป จะทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นสะเทือน อนุภาคนั้น ๆ จึงมีพลังงานที่เนื่องมาจากการสั่นสะเทือนอัตราการไหลของพลังงานจึงเรียกได้ว่าเป็นความแรงของลำอัลตร้าโซนิค อาจกล่าวให้ชัดเจนไปว่าความแรงของอัลตร้าโซนิคที่จุด ๆ หนึ่งเป็นอัตราการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวางอยู่ตั้งฉากกับลำอัลตร้าโซนิคที่จุดนั้น เมื่อความแรงของอัลตร้าโซนิคเพิ่มมากขึ้นจะมีการเพิ่มใน Pressure amplitude, Particle – displacement amplitude และ Particle – velocity amplitude

กำลังของอัลตร้าโซนิค เป็นอัตราการไหลของพลังงานที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลำอัลตร้าโซนิค จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\underset{(W)}{\text{Ultrasonic power}} = \underset{(W/cm^2)}{\text{Ultrasonic intensity}} \times \text{Cross – sections}$$

ในการใช้งานคลื่นอัลตร้าโซนิคนั้น เนื่องจากเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถส่งคลื่นไปยังจุดเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างเจาะจง ยิ่งถ้าคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง โดยถ้าความยาวคลื่นมากกว่าช่องเปิดของทรานสดิวเซอร์ เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความถี่ประมาณ 1 เมตรเศษ ซึ่งยาวกว่าช่องเปิดของตัวทรานสดิวเซอร์ ทำให้คลื่นเสียงที่ออกมาจากตัวกำเนิดเสียงนี้เกิดการหักเหและเลี้ยวเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจายของคลื่นเสียง (Scatter) ไม่มีทิศทางที่แน่นอน แต่ถ้าใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นมาในย่านอัลตร้าโซนิค เช่น ที่ความถี่ 40 kHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 mm. เท่านั้น ซึ่งจะเล็กกว่าช่องเปิดของตัวกำเนิดเสียงมาก คลื่นเสียงที่ได้จะไม่เลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งเป็นลำแคบ ๆ
(Beam) ซึ่งมีทิศทางที่แน่นอน

คลื่นอัลตร้าโซนิคนั้นเมื่อต้องเดินทางในอากาศ ความถี่ที่ใช้งานมักถูกจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz เพราะถ้าความถี่สูงขึ้นกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอัลตร้าโซนิคที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานในด้านการแพทย์นั้น จะใช้รัศมีทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้น ๆ จึงใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz – 10 MHz ส่วนความถี่ที่เป็น GHz จะมีใช้งานในตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางนั้นไม่ใช่อากาศแต่เป็นตัวกลางอื่นเช่น น้ำ เป็นต้น

จากการมีทิศทางของคลื่นอัลตร้าโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic Remote Control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุ โดยสังเกตตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกายใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น

2.5 อัลตร้าโซนิกทรานสดิวเซอร์

อัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นอัลตร้าโซนิคกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอัลตร้าโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น

ทรานสดิวเซอร์ที่ให้กำเนิดคลื่นอัลตร้าโซนิคมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. แมคคานิคทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers)
2. อิเล็กโตรแมคคานิคัลทรานสดิวเซอร์ (Electromechanical Transducers)

อิเล็กโตรแมคคานิคัลทรานสดิวเซอร์ จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียงที่ใช้กันอยู่มี 4 ชนิด คือ

1. แบบมูฟวิ่งคอยล์ (Moving Coil)
2. แบบอิเล็กโตรสแตทริก (Electrostatic)
3. แบบเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)
4. แบบเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric)

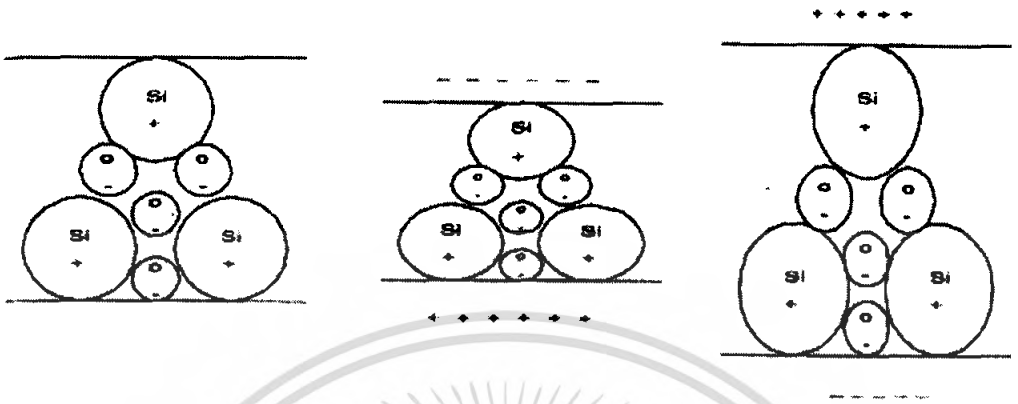
1. แบบมูฟวิ่งคอยล์ นั้นคล้ายกับมูฟวิ่งคอยล์ของลำโพง มีประโยชน์มากในการเป็นตัวสั่น (vibrator) ของทดสอบความเร่งของอุปกรณ์แบบมูฟวิ่งคอยล์ ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอลูมิเนียมบาง ๆ วางไว้ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวิ่งคอยล์ใช้ทำให้เกิดคลื่นอัลตร้าโซนิคในการศึกษาคุณสมบัติในการดูดคลื่นอัลตร้าโซนิคของก๊าซ

2. แบบอิเล็กโตรสแตทริก ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่างแผ่นขนานของ Parallel Plate Capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงดันขึ้น หลักการใหญ่ของมันจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง แต่ไม่นิยมนำมาใช้ทำให้เกิดคลื่นอัลตร้าโซนิคทั้งในแบบมูฟวิ่งคอยล์และแบบอิเล็กโตรสแตทริก

3. แบบเปียโซอิเล็กทริก และ 4. แบบเฟอร์โรอิเล็กทริก ในผลึกที่ประกอบด้วยโพล่าโมเลกุล (Polar Molecule) ซึ่งอยู่จุดศูนย์กลางของความสมมาตร (Center of symmetry) ถ้าตัดเอาเพลท (Plate) อันเนื่องมาจากผลึกนี้แล้วทำให้เกิดการบิดงอ (Deform) ด้วยเครื่องมือกลจะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองเพลท ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า *ไดเร็กเปียโซอิเล็ก ทริกเอฟเฟ็ค* (direct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Piezoelectric Effect) ศักย์ระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลทนี้จะเกิดการบิดเบี้ยวไปได้เอง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า *อินเวอร์สเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค* (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่างเช่น ผลึกควอทซ์ ดังรูป 2.9 แสดงหนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่างเพลน (Plane) ที่ขนานกัน



รูปที่ 2.9 (ก) เซลที่ยังไม่ถูกแรงใด ๆ (ข) เซลถูกอัด (ค) เซลถูกยืด

รูป 2.9(ก) จะอยู่ในสภาวะปกติจุดศูนย์ถ่วงของประจุบวกของซิลิคอนกับประจุลบของออกซิเจนอยู่ที่เดียวกันและจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองเท่ากันจะไม่เกิดไดโพลโมเมนต์ขึ้น ดังนั้นผลเนื่องจากการกระจายของประจุตกคร่อมระนาบทั้งสองที่ขนานกันจึงเป็นศูนย์

รูป 2.9(ข) ถ้าเราทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมโดยการจัดให้หดหรือดึงให้เป็นดังตามรูปที่ 2.9(ค) จุดศูนย์ถ่วงของประจุทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกัน ทำให้เกิดการกระจายของประจุขึ้นระหว่างระนาบทั้งสอง

การทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างด้วยการอัดหรือการหดตามรูปนั้น จะเป็นการแยกจุดศูนย์ถ่วง ผลจะทำให้เกิดประจุปรากฏบนระนาบทั้งสอง ในรูปแบบนี้เรียกว่า *ไดเร็กเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค*

สำหรับแบบ *อินเวอร์สเปียโซอิเลกทริกเอฟเฟ็ค* จะเกิดโดยให้สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง ทำให้จุดศูนย์ถ่วงของทั้งสองประจุเคลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เซลล์บิดเบี้ยวไป ถ้ามีแผ่นควอทซ์ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดสั่นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้าสลับ เพลนนี้จะขยายและหดตัวด้วยความถี่เดียวกับสนามไฟฟ้าซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

ปัจจุบันสารไม่กี่ชนิดที่จะให้ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก สารไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นสารอิเล็กโทรสแตติก แต่ปกติแล้วผลนี้จะน้อยมาก แต่สารที่ให้ผลอย่างมากได้แก่ สารไททาเนท (Titanates) ซีคอเนท (Zieconates) และในกรณีเช่นนี้เราเรียกว่า มันเป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซรามิค ซึ่งประกอบไปด้วยโดเมน (Domain) ที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันมาก ๆ ถ้าเรานำสารแบบนี้มาสักหนึ่งชนิด เอาไปเผาให้สูงกว่าอุณหภูมิเคอริก (Curic Temperature) ของมันแล้ว ทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูง ๆ ทิศทางของขั้วโดเมนต่าง ๆ จะวางตัวไปแนวเดียวกับสนาม และจะยังคงอยู่ต่อไปเช่นนั้น แม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไป นั่นแสดงว่ามันแสดงคุณสมบัติเช่นเพอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาเนนท์อิเล็กทริก บางทีมันจะเป็นสารเปียโซอิเล็กทริก ถ้าหากว่ามันประพฤติตัวไปตามสมการของสารเปียโซอิเล็กทริกตามธรรมชาติแล้ว เราจะใช้สมการเหล่านี้อธิบายคุณสมบัติของสารเปียโซอิเล็กทริกแท้ ๆ

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอัลตร้าโซนิคจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค และที่ใช้กันมากคือผลึกควอทซ์ (Quartz) แบเรียมติเตเนท (Barium titanate) และลีดเซอโคเนท (Lead circonate titanate) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์ ยังแสดงคุณสมบัติเป็น คาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าอีกด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะได้สัดส่วนกับค่าที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant , K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่และหารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่ว่าอิเล็กโทรดที่อยู่ 2 ข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิค ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารเซรามิคได้รับความร้อนจะทำให้ไดโพล (dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไป ก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิคที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีก คุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินเคอริก

ค่าคงที่ไดอิเล็คทริกเป็นค่าทรานสดิวเซอร์ต้องการการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ทั้ง แบเรียมติตาเนทและลีดเซอโคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกควอทซ์ 5-6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริคต่ำมากและมีค่าคงที่ (Coupling constant) ต่ำมากจึงไม่ค่อยได้นำควอทซ์มาใช้ในเครื่องอัลตร้าโซนิคในปัจจุบัน

2.5.2 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทราสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะรูปร่างตัวอย่างเช่น เซรามิคแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ได้ 3 อย่างคือ มีการยืดหดตามความหนาและรัศมี อย่างไรก็ดีเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปสามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่ใช้ บริษัทที่ทำทรานสดิวเซอร์จะกำหนดความถี่คงที่ สำหรับแต่ละแบบของการยืดหด

$$\text{Resonant frequency} = \frac{cons\tan t}{thickness(inch)}$$

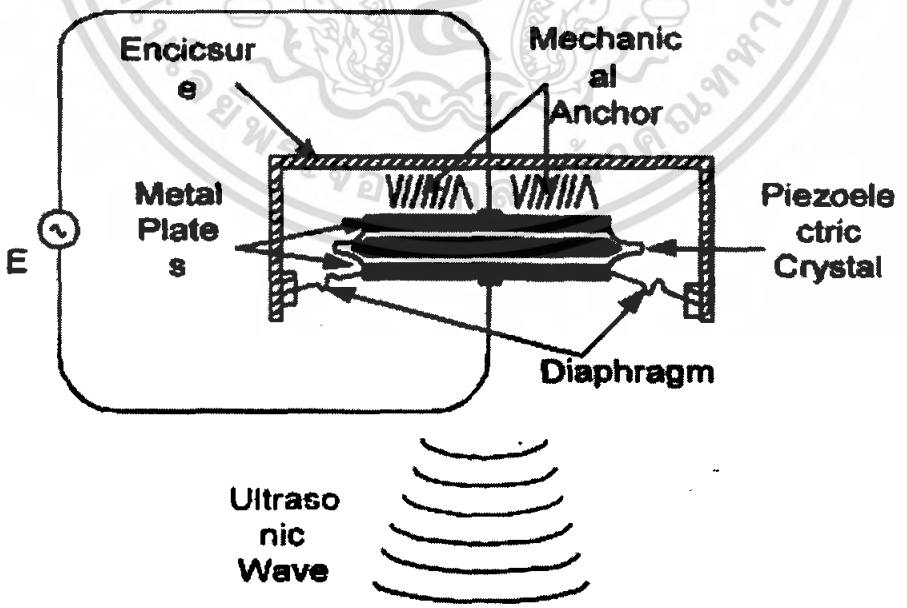
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Curie Temperature (°C)	Q	Dielectric Constant (K)	Coupling coefficient (KT)
Quartz	550	Very High	4.5	0.09
Barium titanate	100	400-700	1700	0.38
Lead zirconate titanate	300	90-500	1450	0.51

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิค

2.5.3 เปียโซทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างภายในประกอบด้วย ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอทซ์ (quartz) แบเรียมติตาเนท (barium titanat) เกลือร็อคเชล (rechelle salt) ฯลฯ แต่นิยมใช้กันแพร่หลายคือ ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเรียมติตาเนท ซึ่งได้จากการผสมสารติตาเนียมกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300 – 1400 C° และผลิตออกมาในรูปแบบชิ้นสารเซรามิคซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่ จากชิ้นสารเซรามิคนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่นซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กโทรดนั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายกับเลนซ์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างต่อไป

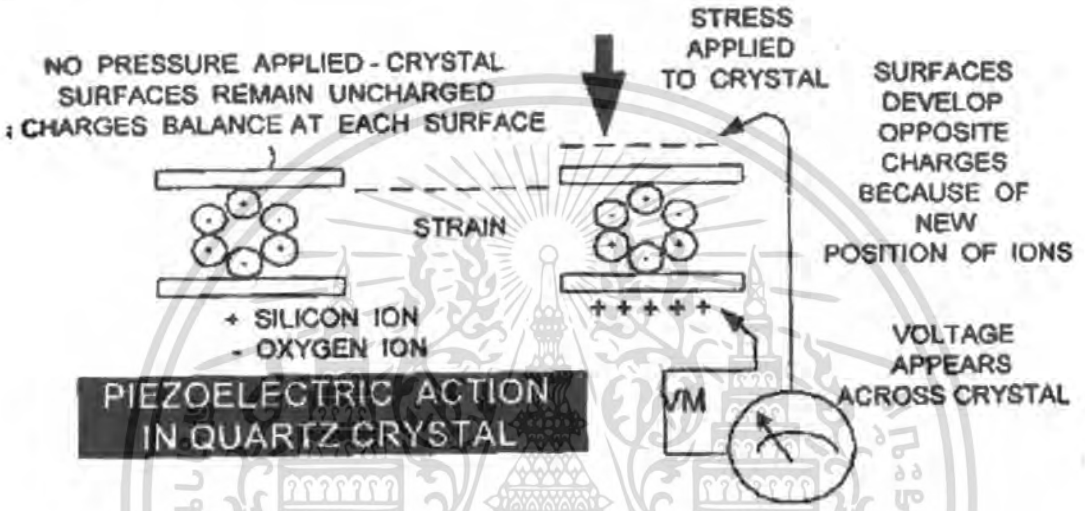


รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค

ปรากฏการณ์แบบเปียโซอิเล็กทริกสามารถอธิบายได้คือ เมื่อสภาวะปกติยังไม่มีความดันหรือคลื่นมาตกกระทบกับชิ้นสารเซรามิค ประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในชิ้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าที่เท่ากัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือคลื่นเสียงมากระทบชิ้นสารเซรามิค จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสารคือมีการโก่งงอไปมาตามลักษณะคลื่นที่ตกกระทบ



รูปที่ 2.11 แสดงปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก

ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิดการจัดเรียงประจุ คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชิ้นสารเซรามิคอยู่ ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชิ้นสารเซรามิคที่โก่งงอไปมา

ทรานสดิวเซอร์เปียโซอิเล็กทริก สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า ในกรณีการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลคือตัวส่งคลื่นอัลตร้าโซนิคจะทำงาน เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 – 100 kHz แรงดันที่ป้อนนี้จะทำให้ชิ้นสารเซรามิคเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะแฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นความถี่กับสัญญาณที่ป้อนเข้ามา ซึ่งคลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังเอาท์พุตสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งเป็นความถี่ทางธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น จะทำให้ความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะมีค่าลดลงกว่าความถี่เรโซแนนท์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้านี้คือ ตัวรับคลื่นอัลตร้าโซนิค เราสามารถที่จะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่ง ๆ เพราะมันไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่น ๆ มาป้อนก็สามารถสร้างแรงดันไม่สูงมากนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นนี้เมื่อคลื่นซึ่งมีความดันมาตกกระทบบนแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดอะแฟรม ซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชิ้นสารเซรามิคถูกบีบไปมา ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกบนชิ้นสารทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มากระทบได้

2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

2.6.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่งซึ่งภายในประกอบด้วยวงจรอื่น ๆ หลายวงจรและทำงานร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit) หน่วยความจำทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic Logic Unit) วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) หน่วยความจำ (Memory : ROM, RAM) วงจรรับสัญญาณอินพุทและขับสัญญาณเอาท์พุท (I/O port) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานควบคุมได้ดี เนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้อย่างอิสระ ตามความต้องการของเรา

2.6.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) , ส่วนของเพอริเฟอรัล (Peripheral) และคุณสมบัติอื่นๆ

คุณสมบัติทางเทคนิคของหน่วยประมวลผลกลางภายใน PIC16F84

- หน่วยประมวลผลกลางเป็นแบบ RISC
- มีคำสั่งเพียง 33 คำสั่ง ขนาด 14 บิต
- ทุกคำสั่งใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา หรือประมาณ 400 นาโนวินาทีที่สัญญาณนาฬิกา ความถี่ 10 MHz ยกเว้นชุดคำสั่งการกระโดดจะใช้เวลา 2 ไซเคิล ของสัญญาณนาฬิกา
- ประมวลผลข้อมูลขนาด 8 บิต
- มีรีจีสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ 15 ตัว
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีโหมดการอ้างอิงแอดเดรส 3 โหมดคือ แบบโดยตรง (direct), แบบโดยอ้อม (indirect) และแบบสัมพัทธ์ (relative)
- มีแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ 4 แหล่ง ได้แก่
    1. รับสัญญาณจากภายนอก โดยป้อนสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้าที่ขาอินพุท RBO/INT
    2. จาก TMRO ไทเมอร์โอเวอร์โฟลว์
    3. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พอร์ต B
    4. เมื่อการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมเสร็จสิ้นสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำข้อมูล (data memory) เป็นแบบอีอีพรอมสามารถลบและเขียนใหม่ได้ประมาณล้านครั้งและเก็บข้อมูลได้นาน 40 ปี
- ขนาดหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งเป็นแบบแฟลชมีขนาด 1 กิโลเวิร์ด (1 เวิร์ดของ PIC16F84 มีขนาด 14 บิต), หน่วยความจำอีอีพรอมภายใน 64 ไบต์ และหน่วยความจำแรม 68 ไบต์ซึ่งใช้เป็นรีจีสเตอร์

คุณสมบัติทางเทคนิคของเฟอริเฟอรัลใน PIC16F84

- มีขาอินพุทเอาท์พุท 13 ขา สามารถกำหนดเป็นขาอินพุทเอาท์พุทได้อย่างอิสระ
- กระแสซิงก์ / ซอร์สของแต่ละขาอินพุทเอาท์พุทสูงพอที่จะขับ LED ได้โดยตรง
- กระแสซิงก์สูงสุด 25 mA ต่อขา
- กระแสซอร์สสูงสุด 20 mA ต่อขา
- มีไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต คือ TMRO พร้อมกับปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตที่สามารถโปรแกรมได้

คุณสมบัติอื่นๆ

- มีเพาเวอร์ออนรีเซตในตัว (POR : Power-On Reset)
- มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ในตัว (PERT : Power-up Timer)
- มีออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์ (OST : Oscillator Start-up Timer)
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT : Watch Dog Timer) พร้อมกับวงจรออสซิลเลเตอร์ RC ภายในเพื่อช่วยในการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์มีความแน่นอนยิ่งขึ้น
- ป้องกันการคัดลอกข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม
- มีโหมดประหยัดพลังงานหรือโหมดสลีป (Sleep mode)
- สามารถเลือกวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดการทำงานได้
- การเขียนข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบอนุกรม
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการพัฒนาภายใต้เทคโนโลยีมอสแฟลช / อีอีพรอม ความเร็วสูง พลังงานต่ำ
- ย่านไฟเลี้ยง 2.0V-6.0V
- ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า

  < 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V สัญญาณนาฬิกาความถี่ 4 MHz

  15 μA ที่ไฟเลี้ยง +2V สัญญาณนาฬิกาความถี่ 32 MHz

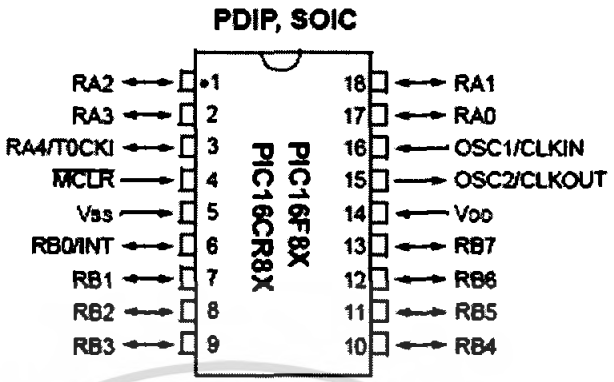
  < 1 μA ที่ไฟเลี้ยง +2V ขณะสแตนด์บาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84



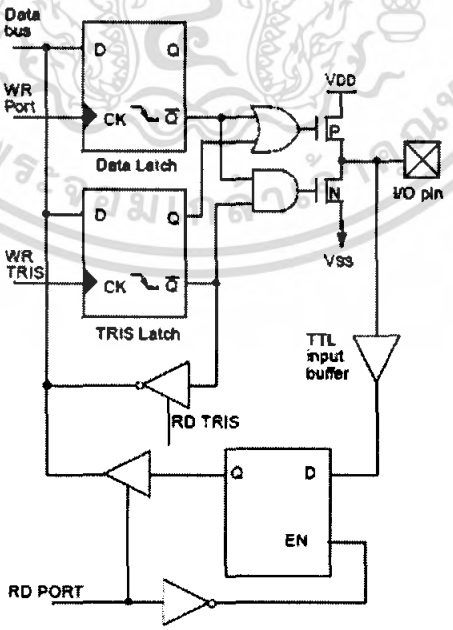
รูปที่ 2.12 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

2.6.3.1 พอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 จะมีพอร์ตสำหรับติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก 2 พอร์ต คือ พอร์ต A และ พอร์ต B

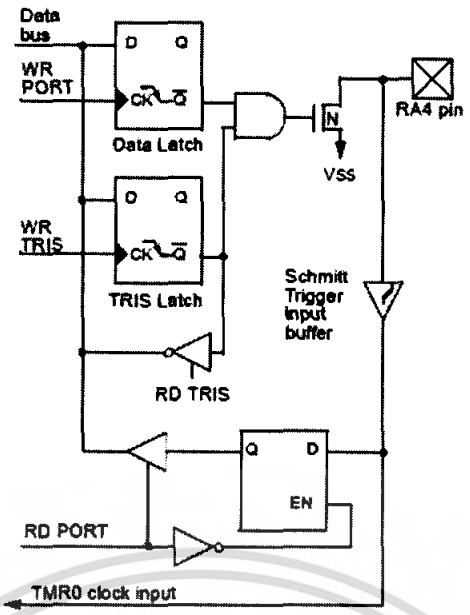
- พอร์ต A มีด้วยกัน 5 บิต คือ RA0-RA4
- พอร์ต B มีด้วยกัน 8 บิต คือ RB0-RB7

พอร์ต A



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของพอร์ต A (RA0, RA1, RA2, RA3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

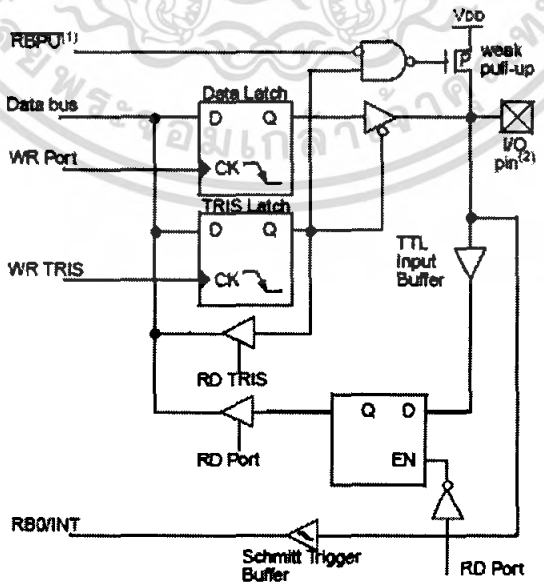


รูปที่ 2.14 โครงสร้างของพอร์ต A (RA4)

ชื่อขา	บิตที่	ชนิดของขา	ชนิดของบัฟเฟอร์ที่ต่ออยู่	รายละเอียด
RA0	0	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	- เป็นขาอินพุท 2 ทิศทางทุกขา
RA1	1	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	
RA2	2	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	
RA3	3	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	
RA4 / T0CKI	4	อินพุท / เอาท์พุท	ชมิตต์ทริกเกอร์	- เฉพาะขานี้ใช้เป็นขาสัญญาณนาฬิกาให้แก่ TMR0ด้วย

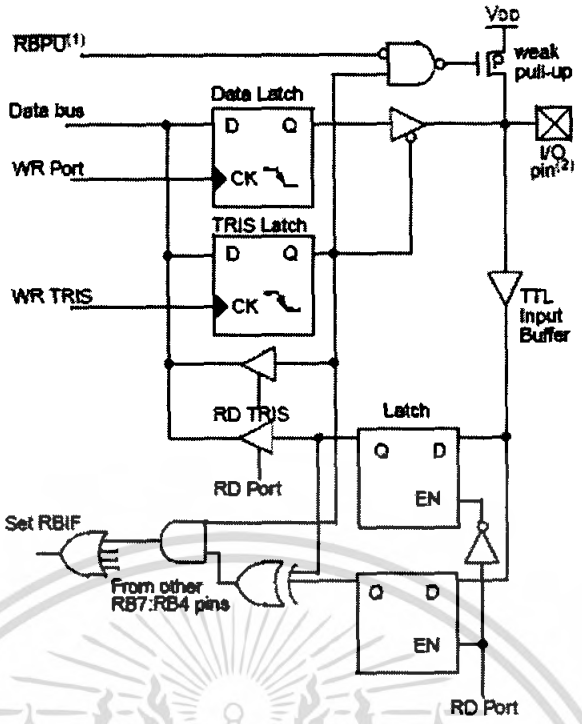
ตารางที่ 2.3 สรุปการทำงานของทุกขาสัญญาณของพอร์ต A

พอร์ต B



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของพอร์ต B (RB0 – RB3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของพอร์ต B (RB4 – RB7)

ชื่อขา	บิตที่	ชนิดของขา	ชนิดของบัฟเฟอร์ที่ต่ออยู่	รายละเอียด
RB0/INT	0	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์ (1)	- เป็นขาอินพุทเอาท์พุท 2 ทิศทาง
RB1	1	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	- ขา RB0/INT ใช้เป็นขาอินพุทรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์
RB2	2	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	
RB3	3	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	
RB4	4	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	- ขา RB4-RB7 ยังใช้เป็นขาที่ทำให้เกิดสัญญาณ
RB5	5	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล	อินเตอร์รัปต์ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกที่ขานี้
RB6	6	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์ (2)	- ขา RB6 ยังใช้เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาของ
RB7	7	อินพุท / เอาท์พุท	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์ (2)	การโปรแกรมแบบอนุกรม ในขณะที่ขา RB7 ใช้เป็นขารับข้อมูลของการโปรแกรมแบบอนุกรม

หมายเหตุ : (1) บัฟเฟอร์นี้จะมีอินพุทเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์เมื่อมีการกำหนดให้เป็นขารับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก

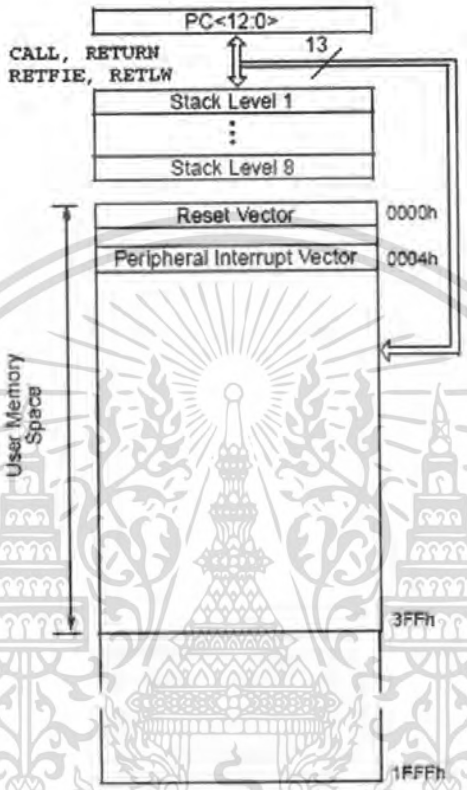
(2) บัฟเฟอร์นี้จะมีอินพุทเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์เมื่อใช้ในการโหมดของการโปรแกรมแบบอนุกรม

ตารางที่ 2.4 สรุปการทำงานของทุกขาสัญญาณของพอร์ต B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.2 การจัดสรรหน่วยความจำ

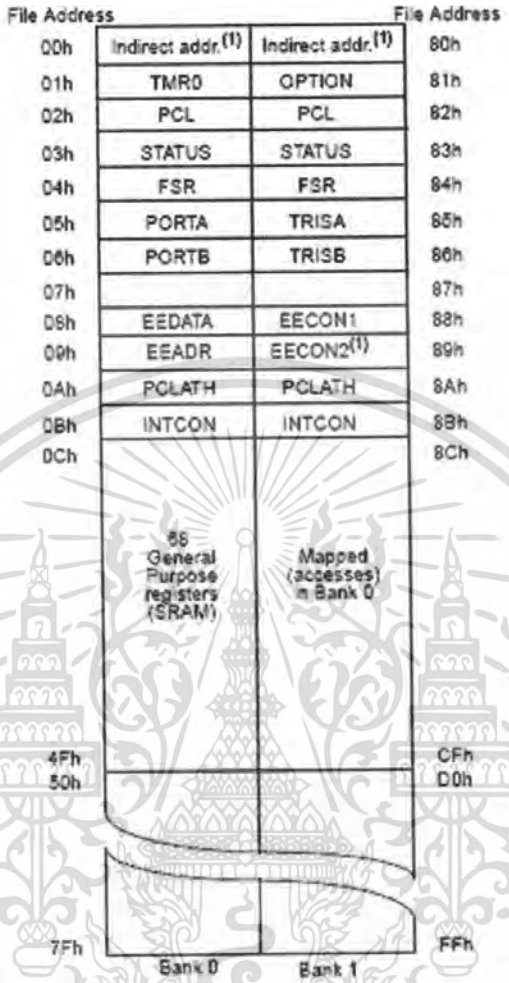
การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม สามารถแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัสรรหน่วยความจำข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.18



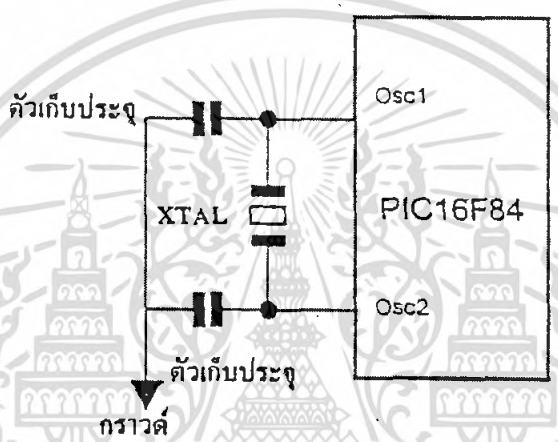
รูปที่ 2.18 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล

แสดงวงจรตามรูปที่ 2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบนี้มีความเที่ยงตรงสูงมาก ส่งผลให้การคำนวณเกี่ยวกับการหน่วงเวลาในการเขียนโปรแกรมกระทำได้อย่างแม่นยำมากขึ้นสัญญาณนาฬิกาป้อนขาเข้า OSC1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 จะการหารความถี่ลง 4 เท่า เพื่อให้เกิดสัญญาณนาฬิกาภายในมีความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ ที่ขา OSC2 จะมีสัญญาณออกมามีความถี่เท่ากับความถี่ที่ขา OSC1/4

ด้วยการกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในเท่ากับ 1 MHz ทำให้เวลาของการทำงาน 1 คำสั่งจะใช้สัญญาณนาฬิกาที่ขา OSC1 มีการเปลี่ยนแปลง คาบเวลาของ 1 ไซเคิลการทำงานก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



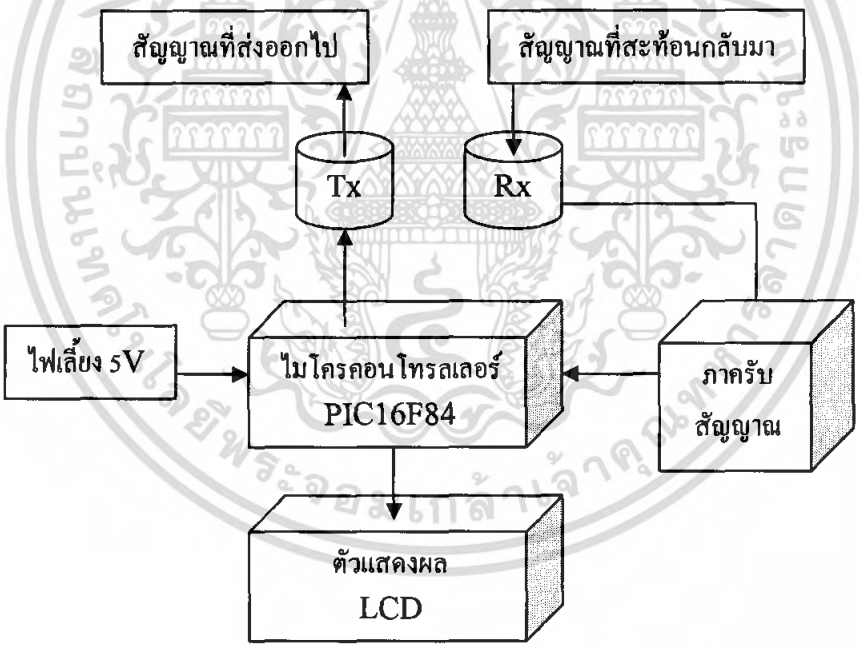
รูปที่ 2.19 การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีความก้าวหน้าขึ้นเรื่อยๆ ในทุก ๆ วัน มีการผลิตสิ่งที่มีประโยชน์ต่อชีวิต มีประโยชน์ต่อการศึกษา จำพวกไอซี ตัวประมวลผล การใช้งานมักจะมีการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อประโยชน์สูงสุด

โครงงานนี้ก็ได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 มาเป็นตัวประมวลผลในการทำงานประยุกต์ใช้คู่กับตัวรับตัวส่งอัลตร้าโซนิค ซึ่งในปัจจุบันความนิยมในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และตัวรับส่งอัลตร้าโซนิคมีค่อนข้างมาก ในปัจจุบันก็ได้มีการนำอุปกรณ์สองชนิดนี้มาทำเป็นเครื่องอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น เครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleanser) เครื่องวัดความหนาของวัตถุ เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล (sonar) เครื่องหาตำแหน่งอวัยวะในร่างกาย หรือใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น ส่วนโครงงานนี้ได้นำมาประยุกต์ทำเป็นเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค โดยหลักการทำงานคร่าว ๆ ของเครื่องนี้แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.1 การทำงานโดยรวมของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

การทำงานของเครื่องนี้จะเริ่มจากจากการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 kHz ออกไปให้กับตัวส่ง เมื่อสัญญาณได้ไปสะท้อนกับวัตถุที่จะทำการวัดระยะทางก็จะสะท้อนกลับมาเข้าหาตัวรับ ด้านตัวรับเมื่อได้รับสัญญาณก็ต้องมาผ่านภาครับสัญญาณเนื่องจากสัญญาณที่เข้ามานั้นมีขนาดที่เล็กมาก ตัวขยายสัญญาณเมื่อทำการขยายสัญญาณเสร็จก็จะส่งต่อไปยังตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 เพื่อทำการประมวลผล และสุดท้ายก็จะแสดงค่าที่ได้ออกมาทางจอแสดงผล LCD

หลักการทำงานโดยละเอียดสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1 การส่งพัลส์ความถี่ 40 kHz

ในการส่งพัลส์ความถี่ 40 kHz เราจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวส่ง โดยใช้ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพัลส์ความถี่ที่ออกมาจาก PIC จะกำเนิดขึ้นโดย software ภายใน PIC ซึ่งเราใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบคริสตอล ความถี่ 4MHz ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในจะถูกหารด้วย 4 ดังนั้นสัญญาณนาฬิกาภายใน PIC จะเท่ากับ 1MHz หรือกำหนดเป็นช่วงเวลาได้เท่ากับ 1 ไมโครวินาที

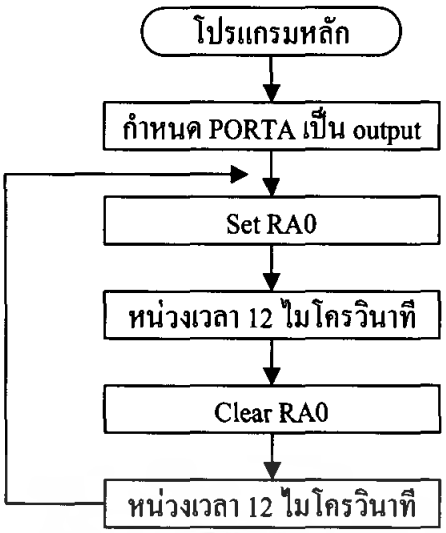
ดังนั้นจะได้ว่า เมื่อต้องการให้ PIC ทำการส่งพัลส์ความถี่ที่ 40 kHz ออกมา ซึ่งกำหนดเป็นช่วงเวลาได้เท่ากับ 25 ไมโครวินาที ดังนั้นเราจะต้องให้สัญญาณลอจิกสูงปรากฏที่เอาท์พุทนานเท่ากับ 25/2 = 12.5 ไมโครวินาที และให้สัญญาณลอจิกต่ำปรากฏที่เอาท์พุทนานเท่ากับ 12.5 ไมโครวินาทีเช่นกัน ทำวนลูปอย่างนี้ไปเรื่อยๆ

การทำให้สัญญาณลอจิกสูงปรากฏที่เอาท์พุทนานเท่ากับ 12.5 ไมโครวินาที ทำได้โดยการหน่วงเวลา ให้ PIC ส่งลอจิกสูงไปยังเอาท์พุทเป็นเวลา 12.5 ไมโครวินาที

ในที่นี้เราจะทำการส่งพัลส์ความถี่ 40kHz ออกไปเป็นจำนวน X ลูก เนื่องจากเมื่อเราทำการส่งพัลส์ความถี่ออกไปโดยทราบจำนวนลูกแล้ว เมื่อเริ่มส่งสัญญาณพัลส์ 40kHz ออกไป ทางด้านภาครับเมื่อมีสัญญาณใดๆเกิดขึ้นทางด้านภาครับ ทางด้านภาครับจะยังไม่เกิดการตอบสนองต่อสัญญาณใดๆ จนกระทั่งภาคส่งจะส่งสัญญาณครบ X ลูกตามที่กำหนด เมื่อส่งไปครบจำนวนที่ต้องการ ก็จะให้ทางด้านภาครับทำการตรวจสอบระดับลอจิกต่อไป

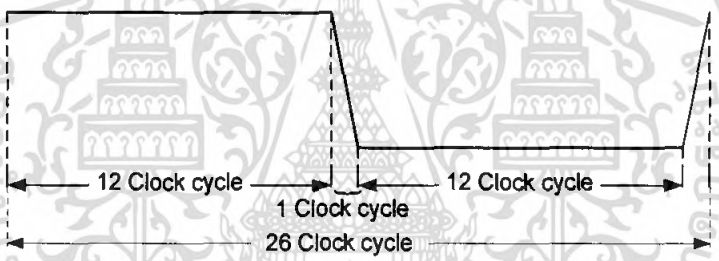
สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การส่งสัญญาณพัลส์ความถี่ 40kHz

ลักษณะของสัญญาณพัลส์ 1 ลูก แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สัญญาณพัลส์ 1 ลูก

จากรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 จะพบว่า สัญญาณพัลส์ 1 ลูก มีคาบเวลา (T) เท่ากับ 26 ไมโครวินาที

จาก $$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{26\times10^{-6}} \quad Hz \qquad \text{———(3.1)}$$

จะได้ $$f = 38.46 \quad kHz$$

จากสมการที่ 3.1 เราจะได้ค่าความถี่เท่ากับ 38.46 kHz ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ที่เราต้องการ และเราสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อส่งสัญญาณพัลส์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BEAMIT: nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        comf PORTA,F ; เปลี่ยนจากสัญญาณลอจิกสูงให้เป็นสัญญาณลอจิกต่ำ, ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        nop          ; ใช้เวลา 1 clock cycle
        comf PORTA,F ; เปลี่ยนจากสัญญาณลอจิกต่ำให้เป็นสัญญาณลอจิกสูง, ใช้เวลา 1 clock cycle
        decfsz LOOPB,F ; ใช้เวลา 2 clock cycle
        goto BEAMIT  ; ใช้เวลา 2 clock cycle
```

จากโปรแกรมดังกล่าวจะพบว่าใช้เวลาทั้งหมด 26 Clock cycle

3.2 การคำนวณค่าระยะทางจากเวลาที่สะท้อนกลับ

จากที่เราทราบว่า ในเวลา 1 วินาที เสียงจะเดินทางได้ระยะทางประมาณ 340 เมตรและถ้าเราต้องการวัดระยะทางได้ 1 เมตร เราจะต้องคิดจากเวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางได้ระยะทาง 2 เมตร เพราะเสียงจะต้องเดินทางทั้งไปและกลับ

จะได้ว่า เสียงเดินทางได้ 340 เมตร ใช้เวลา 1 วินาที

เสียงเดินทางได้ 2 เมตร ใช้เวลา $\frac{1}{340}\times 2 = 5.88\times10^{-3}$ วินาที ————(3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแนวคิดนี้ เราจึงนำมาเขียนโปรแกรมเพื่อทำการนับเวลา โดยในการนับเวลานั้นเราจะใช้ไทเมอร์เคาน์เตอร์ที่มีอยู่ใน PIC ได้ดังนี้

```
LISTEN:  btfsc INTCON,RBIF     ; ตรวจสอบว่ามีสัญญาณสะท้อนกลับมารึยัง (,ใช้เวลา 2 clock cycle
         movlw 1               ; no, so inc COUNT0,ใช้เวลา 1 clock cycle
         addwf COUNT0,F        ;ใช้เวลา 1 clock cycle
         movf STATUS,W         ;ใช้เวลา 1 clock cycle
         andlw 1               ;ใช้เวลา 1 clock cycle
         addwf COUNT1,F        ; add Carry to COUNT1,ใช้เวลา 1 clock cycle
         btfss STATUS,C        ; is there a Carry?,ใช้เวลา 1 clock cycle
         goto LISTEN           ;no ,ใช้เวลา 2 clock cycle
```

จากโปรแกรมข้างต้นนี้ พบว่าไทเมอร์เคาน์เตอร์จะทำการนับจนกว่าจะได้รับสัญญาณสะท้อนกลับมา โดยการนับแต่ละครั้งจะใช้เวลา 10 clock cycle คิดเป็นเวลา 10 ไมโครวินาที

เมื่อเสียงเดินทางได้ระยะทาง 2 เมตร ไทเมอร์เคาน์เตอร์จะทำการนับได้ ดังนี้

$$\text{จำนวนครั้งที่นับได้} = \frac{\text{เวลาที่เสียงเดินทางได้ 2 เมตร}}{\text{เวลาที่ไทเมอร์เคาน์เตอร์ใช้ในการนับ 1 ครั้ง}} \qquad (3.3)$$

แทนค่าในสมการที่ (3.3)

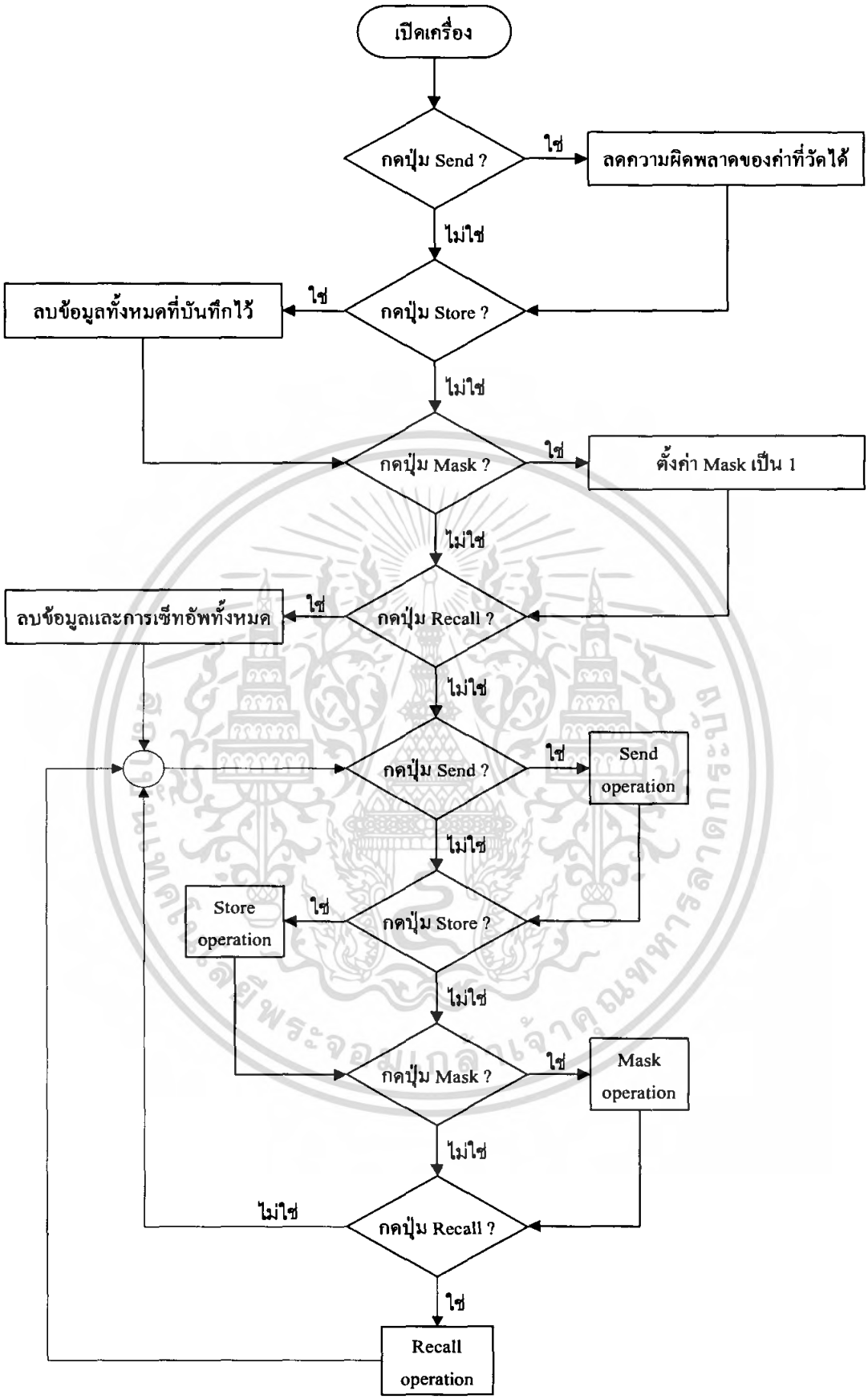
$$\text{จำนวนครั้งที่นับได้} = \frac{5.88\times10^{-3}\ \text{sec}}{10\mu\,\text{sec}} \qquad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 จะพบว่าเมื่อเสียงเดินทางได้ระยะทาง 2 เมตร ไทเมอร์เคาน์เตอร์จะทำการนับค่าได้ 588 ครั้ง และนำค่าจำนวนครั้งที่นับได้ไปคำนวณเป็นระทาง

3.3 การประมวลผลภายในไมโครคอนโทลเลอร์

โดยการคำนวณและการทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคทั้งหมด สามารถแสดงเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3.4 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมสามารถดูได้จากภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่า เมื่อเปิดเครื่องโปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบทันทีว่ามีปุ่มใดกดค้างอยู่หรือไม่ เพื่อดูว่าผู้ใช้งานต้องการจะตั้งค่าใดๆหรือไม่ โดยตรวจสอบดังนี้

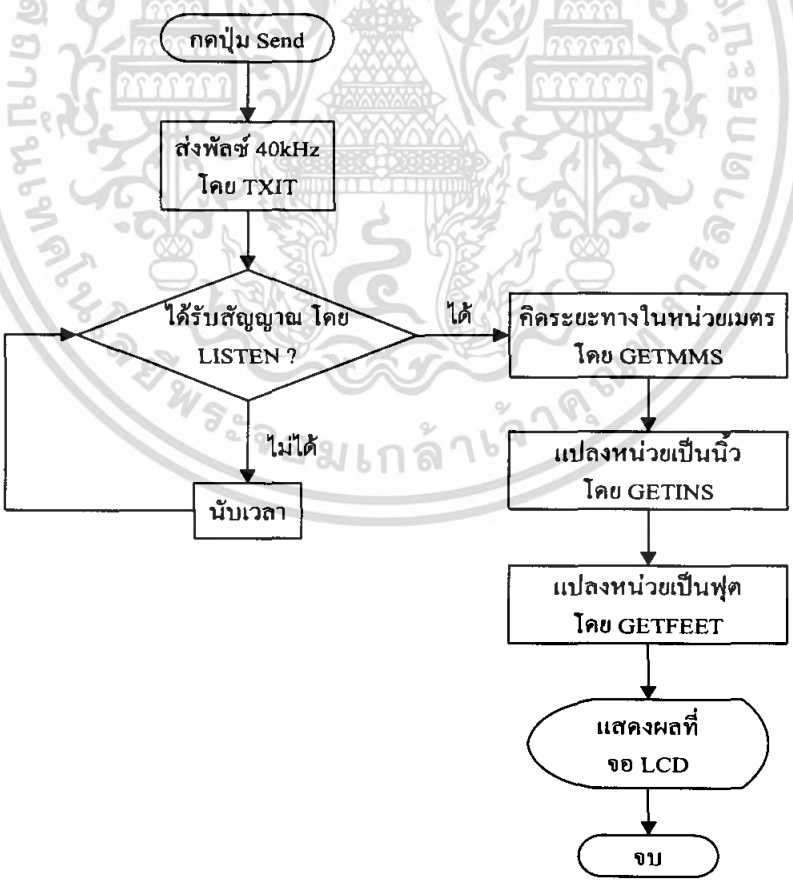
- ถ้าพบว่ากดปุ่ม Send ค้างอยู่ ก็จะเป็นการตั้งค่าเพื่อลดความผิดพลาดในการวัดระยะทาง ให้ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับระยะทางจริงมากที่สุด
- ถ้าพบว่ากดปุ่ม Store ค้างอยู่ ก็จะเป็นการลบข้อมูลระยะทางที่บันทึกไว้ใน EEPROM ทั้งหมด
- ถ้าพบว่ากดปุ่ม Mask ค้างอยู่ ก็จะเป็นการตั้งค่า Mask ให้เป็นค่ามาตรฐาน ก็คือ 1
- ถ้าพบว่ากดปุ่ม Recall ค้างอยู่ ก็จะเป็นการลบข้อมูลทั้งหมดรวมถึงการตั้งค่าต่างๆ ให้กลับเป็นค่ามาตรฐาน

และเมื่อโปรแกรมได้ตรวจสอบว่ามีการกดปุ่มใดค้างไว้ เพื่อตั้งค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบต่อไปว่า ผู้ใช้ได้กดปุ่มใดบ้างเพื่อให้เครื่องทำงาน และเมื่อผู้ใช้มีการกดปุ่มเพื่อให้เครื่องทำงาน โปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบว่าเป็นปุ่มใด และจะไปทำงานใน operation นั้นๆ

รายละเอียดและการทำงานของแต่ละ operation ที่แสดงไว้ในรูป 3.4 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>การทำงานของ Send operation</u>

Send operation มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Send

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่า เมื่อกดปุ่ม Send เครื่องวัดระยะทางก็จะส่งสัญญาณพัลส์ 40kHz ออกไป จากนั้นก็จะทำการนับเวลา โดยในการนับเวลานั้นเราจะใช้ไทเมอร์เคาน์เตอร์ที่มีอยู่ใน PIC และนำค่าที่นับได้ไปคำนวณหาค่าระยะทางในหน่วยเมตรโดยใช้ GETMMS และนำค่าระยะทางที่คำนวณได้ไปคำนวณต่อใน GETINS เพื่อแปลงหน่วยเป็นนิ้ว และเมื่อได้ค่าระยะทางในหน่วยนิ้วแล้ว ก็จะนำไปคำนวณต่อใน GETFEET ก็จะได้ความยาวในหน่วยฟุต และนำค่าระยะทางที่คำนวณได้ทั้ง 3 หน่วย แสดงผลออกทางจอ LCD

<u>การทำงานของ Store operation</u>

Store operation มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.6

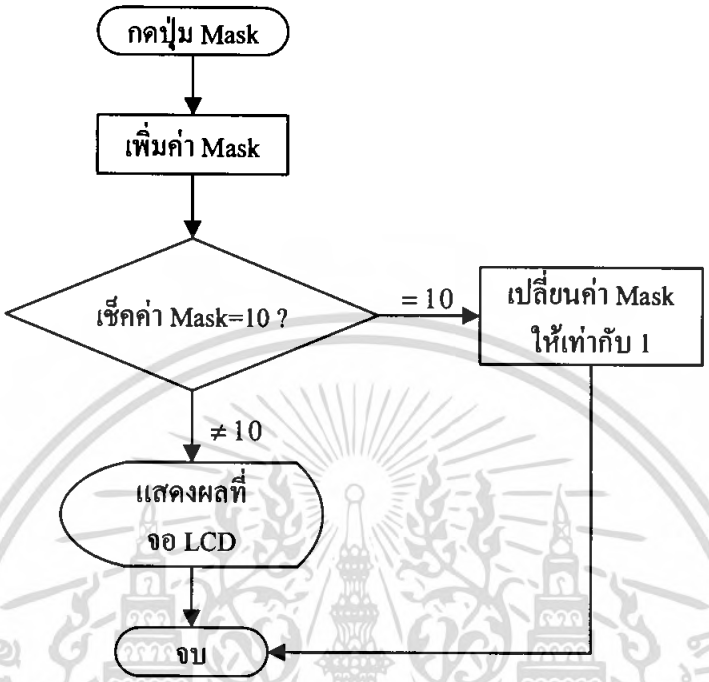
รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Store

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นว่า เมื่อกดปุ่ม Store แล้ว เราจะสามารถบันทึกค่าการวัดที่แสดงบนจอ LCD ลงในหน่วยความจำ EEPROM ได้ โดยรูปแบบของการบันทึกจะเก็บค่าที่เป็นค่าการนับ ไม่ใช่ค่าระยะทาง แต่ละครั้งที่ค่าการนับถูกบันทึกลง EEPROM เคาน์เตอร์การบันทึกจะเพิ่มขึ้นทุกครั้ง และเราสามารถรู้จำนวนของค่าที่บันทึกลงไปได้ โดยจะมีการแสดงผลตรงมุมขวาแถวบนของจอ LCD ว่า “SAVEDXX” (XX หมายถึง จำนวนของการบันทึก ซึ่งจะมีค่า 1-30) สามารถดูรูปประกอบได้จากภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Mask operation

Mask operation มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.7



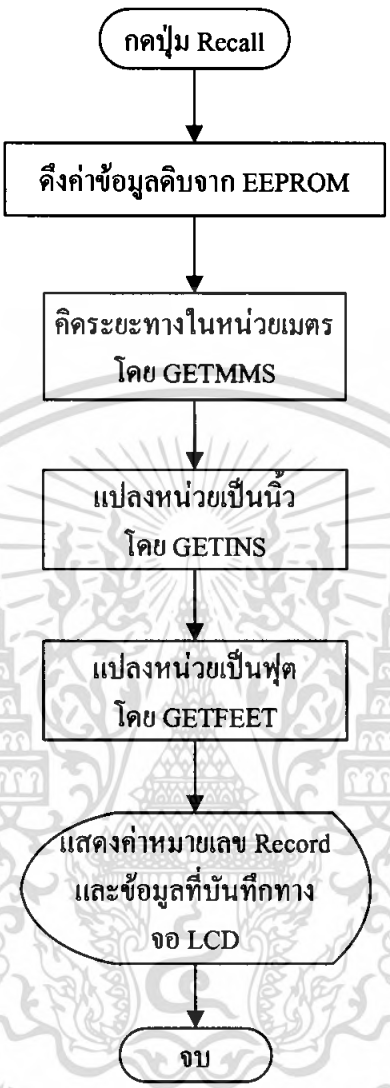
รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Mask

โปรแกรมที่ใช้เขียนในฟังก์ชัน Mask จะสามารถตั้งค่าได้จาก 1 ถึง 9 จากการกดปุ่มสวิตช์และจะเพิ่มขึ้นครั้งละหนึ่งค่าที่แสดงตรงมุมขวาแถวล่างของจอ LCD มีหน่วยเป็นเมตร ดังนั้นระยะทางที่ประมาณในการใช้ฟังก์ชัน Mask จะต้องประมาณเป็นเมตรด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Recall operation

Recall operation มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงการประมวลผลของโปรแกรมเมื่อมีการกดปุ่ม Recall

ในการเรียกกลับข้อมูลที่บันทึกค่าการนับใน EEPROM ออกมาจะใช้สวิตช์ Recall ในแต่ละครั้งที่สวิตช์นี้ถูกกด เคาน์เตอร์การเรียกกลับจะเพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วก็จะนำข้อมูลค่าการนับ จาก EEPROM แปลงเป็นการแสดงผลของระยะทาง ส่วนค่าเคาน์เตอร์การเรียกกลับจะแสดงผลอยู่ที่มุมขวาแถวบนของจอ LCD มีข้อความว่า "SHOW=XX" (XX หมายถึง จำนวนของการเรียกกลับ ซึ่งจะมีค่า 1-30) จำนวนครั้งที่แสดงการเรียกกลับจะตรงกับจำนวนครั้งที่บันทึกเสมอ สามารถดูรูปประกอบได้จากภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การแสดงผลทางจอ LCD

ในปัจจุบันโมดูล LCD(Liquid Crystal Display Module) ได้รับความนิยมนำมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เนื่องจากสามารถแสดงผลได้หลากหลายรูปแบบ นอกจากนี้ยังมีขนาดเล็ก แต่การใช้งานต้องอยู่ในมุมมองที่เหมาะสม

การควบคุมและใช้งานโมดูล LCD ในโหมด 4 บิตในการส่งข้อความตัวอักษรเพื่อที่จะให้ไปแสดงผลบนโมดูล LCD นั้น ในขั้นตอนแรกจะต้องเขียนชุดคำสั่งควบคุมเพื่อส่งให้กับโมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงตามด้วยข้อมูลข้อความที่ต้องการแสดงผล ซึ่งในที่นี้เราเลือกควบคุม LCD ในโหมด 4 บิต ซึ่งในโหมดนี้จะติดต่อกับขาข้อมูลของโมดูล LCD เพียง 4 ขาเท่านั้น คือขา D4-D7นอกจากนั้นยังติดต่อกับขา RS สำหรับเลือกส่งคำสั่งหรือข้อมูลแสดงผล และติดต่อกับขา E สำหรับส่งสัญญาณพัลส์เพื่อเอ็นเอเบิลการแสดงผลของโมดูล LCD

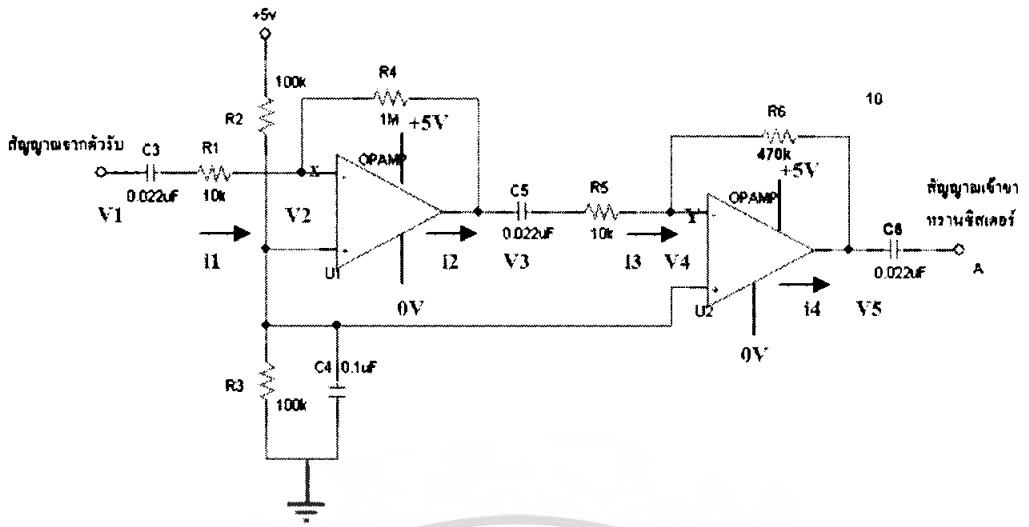
3.5 ภาครับสัญญาณ

เมื่อสัญญาณถูกส่งจากอุลตราโซนิคตัวส่ง(Tx) สัญญาณพัลส์ก็จะไปกระทบกับวัตถุที่อยู่ข้างหน้า และสะท้อนกลับมายังอุลตราโซนิคตัวรับ(Rx) แต่เนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมานี้จะมีระดับแอมปลิจูดที่ต่ำมาก จึงจำเป็นจะต้องมีการขยายสัญญาณขึ้น เพื่อที่จะเน้นการจัดระดับสัญญาณให้ PIC รับรู้และตอบสนองได้

<u>วงจรขยายสัญญาณ</u>

เมื่อสัญญาณถูกส่งออกจากอุลตราโซนิคตัวส่ง สัญญาณพัลส์ก็จะไปกระทบกับวัตถุที่อยู่ข้างหน้า และสะท้อนกลับมายังอุลตราโซนิคตัวรับ (Rx) แต่สัญญาณที่สะท้อนกลับมานี้มีระดับแอมปลิจูดที่ต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณขึ้น เพื่อที่จะเน้นการจัดระดับสัญญาณให้กับ PIC รับรู้และตอบสนองได้ เมื่อสัญญาณสะท้อนกลับมาถึงตัวรับ ก็จะมีวงจรขยายสัญญาณเอซีอยู่ 2 ชุด โดยที่ชุดแรก จะมีอัตราขยาย 100 เท่า กำหนดโดย R1 และ R4 และชุดที่2 จะมีอัตราขยายประมาณ 10 เท่า กำหนดโดย R5 และ R6 ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณ

จากรูปที่ C3, R1 จะได้ $$Z_1 = R_1 + \frac{1}{C_3 s} = \frac{R_1 C_3 s + 1}{C_3 s} \qquad (3.5)$$

ที่ node X , จากคุณสมบัติของ op-amp i1 = i2, V2 = 0 จะได้

$$\frac{V1(s) - V2(s)}{Z1(s)} = \frac{V2(s) - V3(s)}{R4}$$

$$\frac{V1(s)}{Z1} = \frac{-V3(s)}{R4} = \frac{V3(s)}{V1(s)} = \frac{-R4}{Z1} \qquad (3.6)$$

แทนค่าสมการที่ (3.5) ลงในสมการที่ (3.6) จะได้

$$= -\frac{R4 C_3 s}{R_1 C_3 s + 1} \cong -\frac{R4}{R_1}$$

ในทำนองเดียวกัน ที่ op-amp ตัวที่สองก็คิดเช่นเดียวกัน จะได้

จากรูปที่ C5, R5 จะได้ $$Z_2 = R_5 + \frac{1}{C_5 s} = \frac{R_5 C_5 s + 1}{C_5 s} \qquad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ node X , จากคุณสมบัติของ op-amp i3 = i4, V4 = 0 จะได้

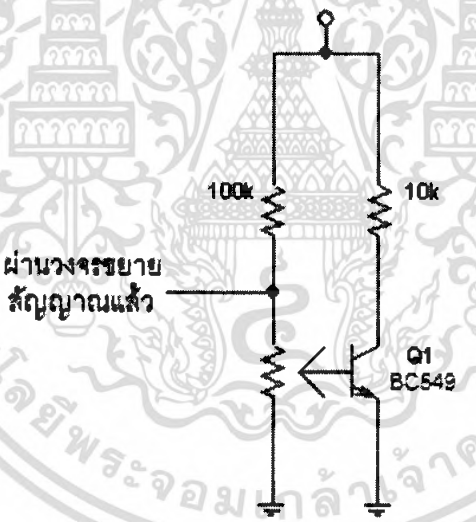
$$\frac{V3(s)-V4(s)}{Z2(s)}=\frac{V4(s)-V5(s)}{R6}$$

$$\frac{V3(s)}{Z2(s)}=\frac{-V5(s)}{R6} \quad = \quad \frac{V5(s)}{V3(s)}=\frac{-R6}{Z2} \qquad \text{———————(3.8)}$$

แทนค่าสมการที่ (3.7) ลงในสมการที่ (3.8) จะได้

$$= -\frac{R6C_5s}{R_5C_5s+1} \cong -\frac{R6}{R_5}$$

จากนั้นเราจะนำสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว ไปเข้าตัวทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นเสมือนสวิตช์ ON-OFF



รูปที่ 3.10 หลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว เข้าขาทรานซิสเตอร์

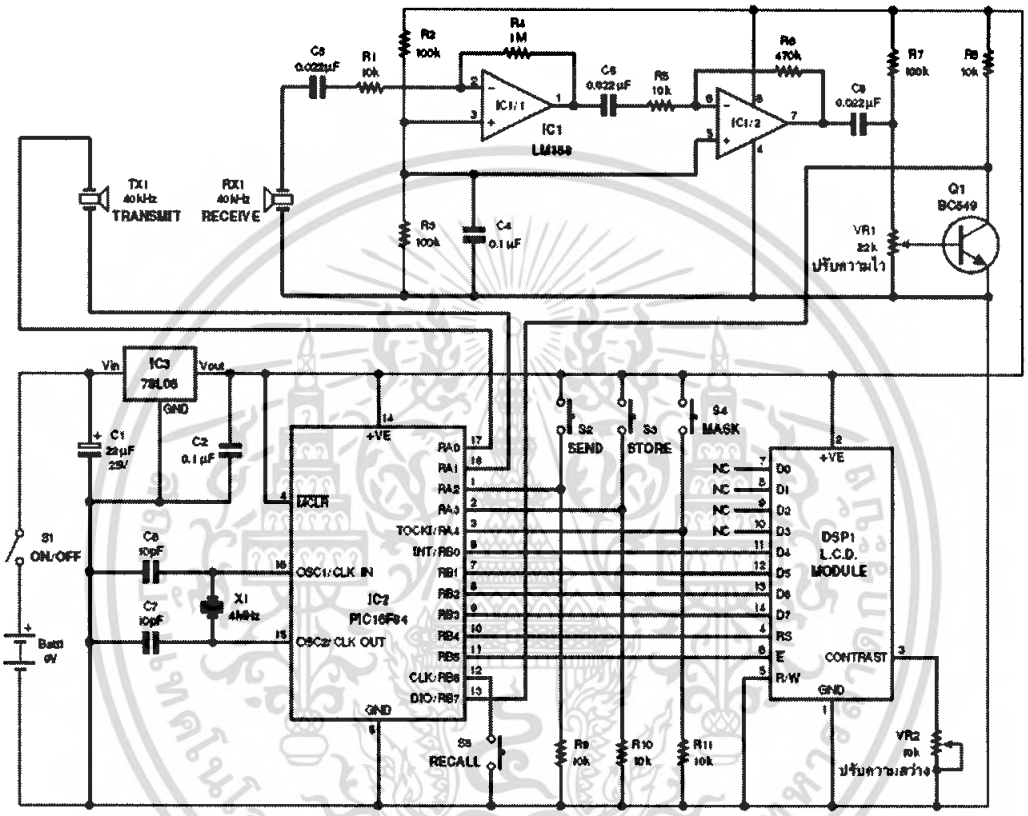
โดยทรานซิสเตอร์นี้ จะทำหน้าที่กำหนดพัลส์ที่มีระดับสัญญาณเท่ากับระดับสัญญาณลอจิกให้แก่ PIC โดยจะมี V ของความต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวกำหนดแรงดันดีซีไบอัสให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

เมื่อตัวรับได้รับสัญญาณจากการสะท้อนจากตัวส่งที่แรงพอ และผ่านการขยายสัญญาณมาแล้ว ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ก็จะได้รับการไบอัสเอาต์พุต จากขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ โดยปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ยังไม่ได้รับการไบอัส จะมีระดับลอจิกเป็น 'High' แต่เมื่อได้รับการไบอัสก็จะเปลี่ยนมาเป็น 'Low' ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนี้ ก็จะทำให้ PIC สามารถรับรู้ได้

แต่เนื่องจากว่า สัญญาณที่ออกมาไม่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ชัดเจน ดังนั้นจึงมีการนำเอาขาสัญญาณที่ออกจากขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์มาต่อเข้ากับชมิตทริกเกอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่คมชัดมากขึ้น ได้วงจรรวมของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค ดังนี้



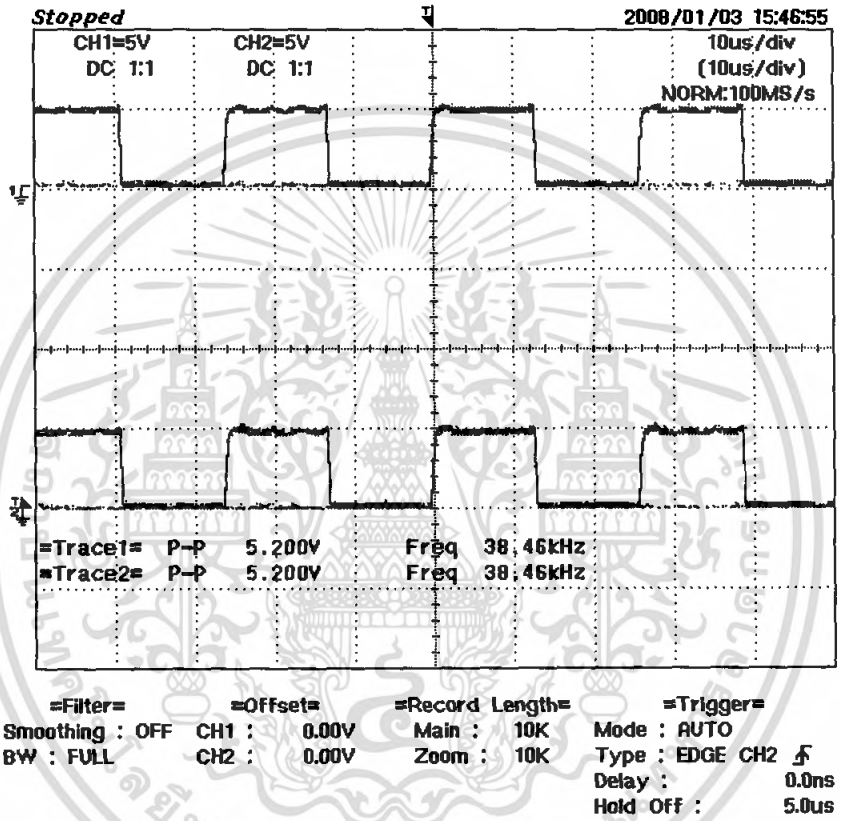
รูปที่ 3.11 วงจรเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง โดยทำการทดสอบตัวเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค แล้วทำการบันทึกกราฟที่ได้ขณะทดลองในส่วนต่างๆ ของวงจรโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดลองสัญญาณพัลส์ที่ออกจาก PIC และสัญญาณที่ตัวส่ง



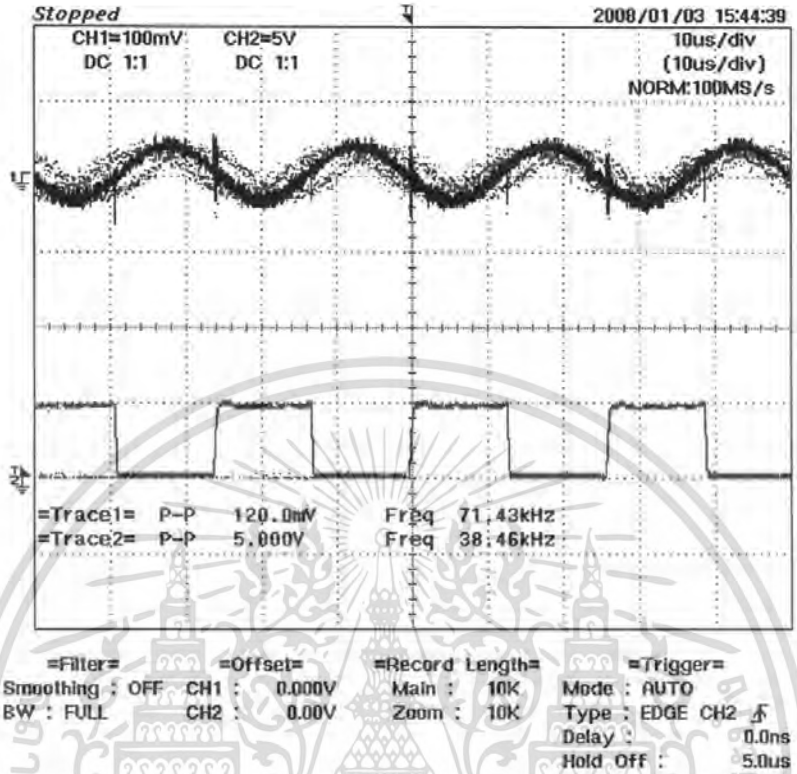
รูปที่ 4.1 สัญญาณพัลส์ที่ออกจาก PIC และที่ตัวส่ง

จากรูป สัญญาณพัลส์ที่ออกจาก PIC จะมีค่าเท่ากับที่ตัวส่งเพราะโครงงานนี้พัลส์ที่ส่งให้กับตัวส่งนั้นทำการส่งพัลส์จากตัว PIC โดยตรง โดยค่าพัลส์ที่ส่งออกมานั้น มีค่าความถี่เท่ากับ 40 kHz ซึ่งเป็นความถี่เรโซแนนท์ของตัวส่งอัลตร้าโซนิคที่ใช้ในการทำโครงงาน

หลังจากที่พัลส์ได้ถูกส่งไปที่ตัวส่งแล้ว จะทำการส่งออกไปเพื่อกระทบกับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางและจะสะท้อนกลับมากระทบกับตัวรับอัลตร้าโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองสัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ตัวส่ง



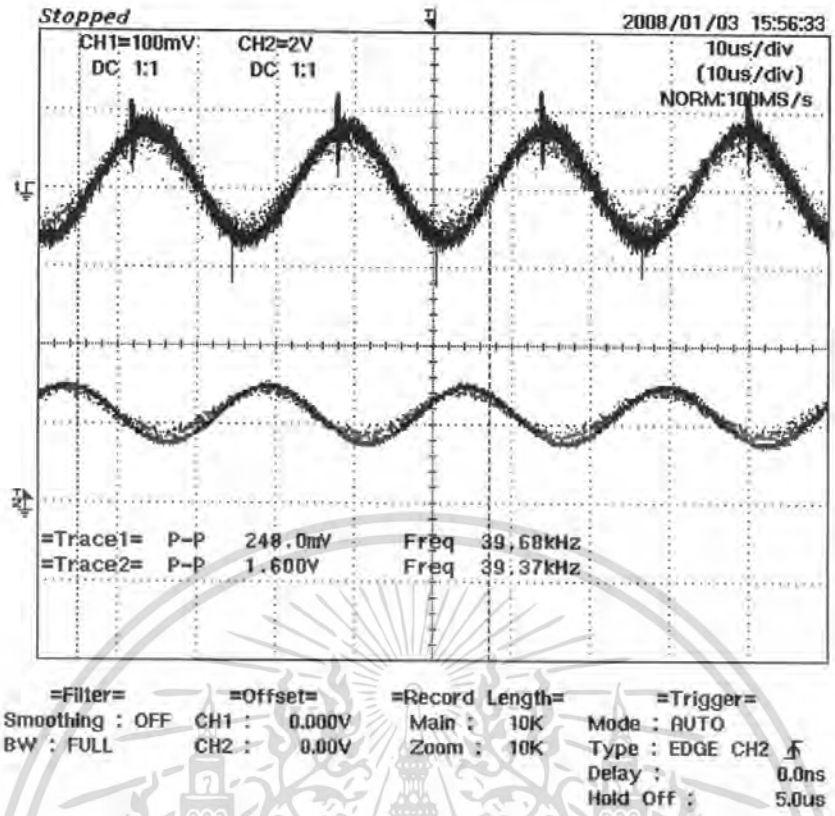
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ตัวรับอัลตร้าโซนิคและสัญญาณที่ตัวส่งอัลตร้าโซนิค

จากรูปจะเห็นว่า สัญญาณที่เข้ามาที่ตัวรับอัลตร้าโซนิคนั้นมีขนาดเล็กมาก อยู่ในหน่วยมิลลิโวลท์ ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้ PIC จะไม่สามารถทำการประมวลผลได้เลย เราจึงทำการนำสัญญาณที่ตัวรับอัลตร้าโซนิคนั้นไปผ่านวงจรขยาย เพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่จะได้สามารถนำไปประมวลผลที่ PIC ได้

4.3 การทดลองสัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ผ่านวงจรขยาย

สัญญาณที่ผ่านวงจรขยายนั้นจะมีค่าสูงขึ้น โดยจะทำการขยายสองครั้ง โดยในครั้งแรกจะมีค่าเกนประมาณ 100 เท่า และครั้งที่สองมีค่าเกนประมาณ 47 เท่า เมื่อสัญญาณได้ผ่านวงจรขยายแล้วจะเห็นว่า มีค่ามากพอที่จะส่งไปให้กับ PIC เพื่อทำการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



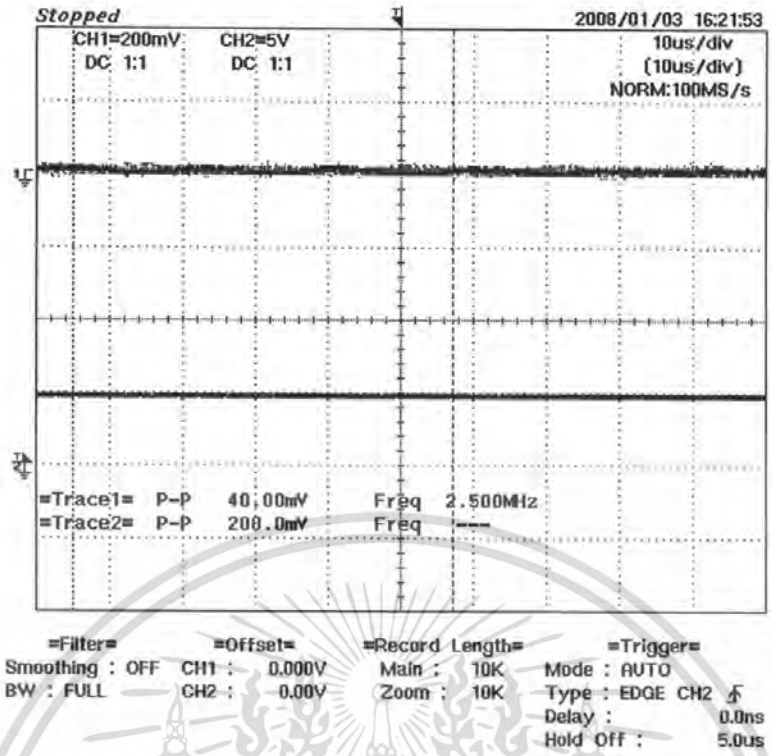
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ผ่านวงจรขยาย

หลังจากที่ผ่านวงจรขยายแล้วก็จะไปสู่ขั้นตอนของการทำงานกับทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนการส่งสัญญาณพัลส์ที่ได้ไปที่ตัว PIC เพื่อทำการประมวลผลต่อไป

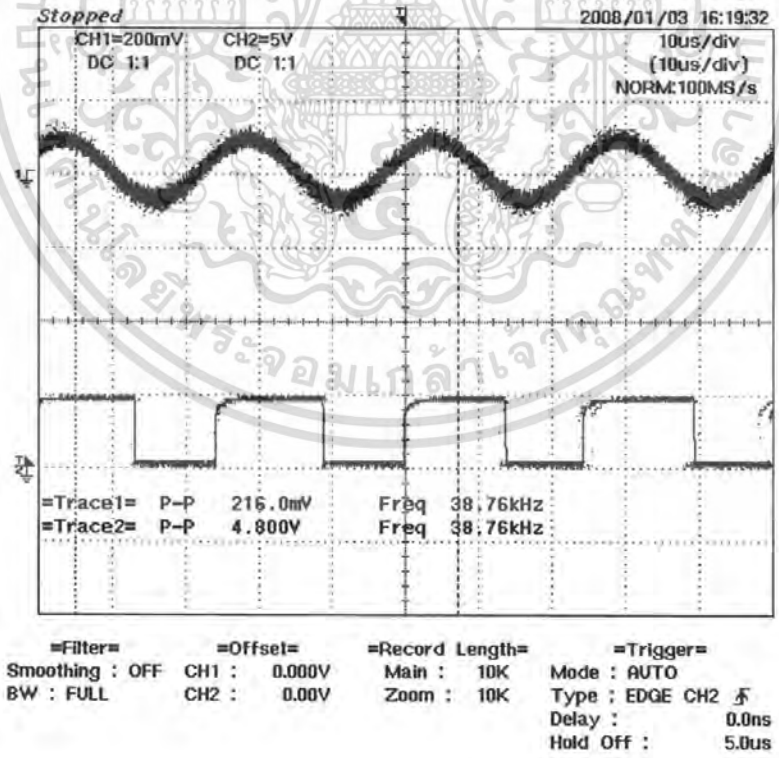
4.4 สัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ขา RB7

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะเข้าสู่การประมวลผลของPIC สัญญาณที่ผ่านวงจรขยายแล้วนั้นจะไปทำการไบอัสให้กับขาเบสของตัวทรานซิสเตอร์ทำให้มีสถานะ ON – OFF เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการควบคุมการทำงานของ PIC ได้ในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ตัวรับสัญญาณและที่ขา RB7 เมื่อยังไม่มีการสะท้อนกลับจากวัตถุ



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ตัวรับและสัญญาณที่ขา RB7 เมื่อมีการสะท้อนกลับจากวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

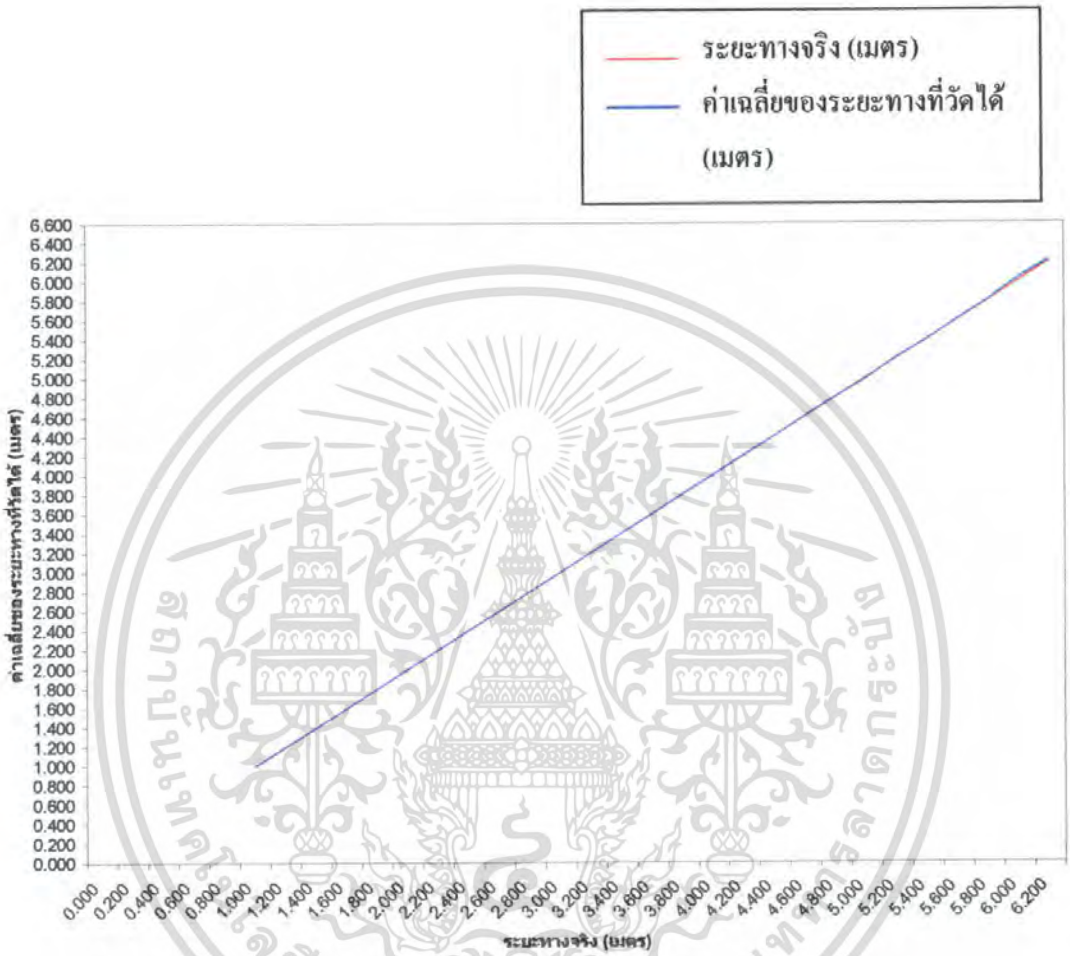
จากรูปจะเห็นว่า เมื่อยังไม่มีสัญญาณสะท้อนกลับมาจากวัตถุหรือสิ่งกีดขวางสัญญาณที่เข้ามาจะมีสถานะเป็นลอจิกสูง แต่เมื่อมีสัญญาณสะท้อนกลับมาจากวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง สัญญาณที่ออกจากขาคอลเลกเตอร์ Q1 จะมีค่าเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม มีสถานะ ON – OFF ชัดเจน ทำให้เมื่อส่งไปประมวลผลที่ตัว PIC จะทำให้ PIC หยุดนับเวลาที่เริ่มนับตั้งแต่ส่งออกไปจนกลับเข้ามาสู่ตัว PIC อีกทีหนึ่ง ค่าเวลาที่ได้ก็จะนำไปประมวลผลและทำการแสดงผลที่จอ LCD เป็นระยะทางที่วัดได้ โดยค่าระยะทางที่วัดได้จากการทดลอง มีค่าดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางจริง (เมตร)	ระยะทางที่วัดได้ (เมตร)										ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่วัดได้ (เมตร)	ค่าผิดพลาดคิดเป็น %
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10		
1.000	1.009	1.004	1.007	1.012	1.002	0.999	1.009	1.016	1.004	1.014	1.008	0.800
1.200	1.205	1.204	1.198	1.210	1.204	1.206	1.215	1.206	1.202	1.213	1.206	0.500
1.400	1.399	1.394	1.392	1.396	1.397	1.399	1.392	1.402	1.404	1.399	1.397	0.214
1.600	1.597	1.590	1.610	1.595	1.599	1.592	1.598	1.600	1.607	1.598	1.599	0.063
1.800	1.796	1.801	1.799	1.796	1.803	1.794	1.809	1.807	1.796	1.797	1.800	0.000
2.000	2.010	1.992	1.990	2.000	2.003	2.009	1.997	2.010	2.007	2.011	2.003	0.150
2.200	2.195	2.200	2.200	2.193	2.198	2.202	2.207	2.198	2.195	2.203	2.199	0.045
2.400	2.400	2.396	2.403	2.398	2.395	2.401	2.396	2.398	2.401	2.399	2.399	0.042
2.600	2.596	2.591	2.610	2.592	2.596	2.600	2.601	2.604	2.600	2.597	2.599	0.038
2.800	2.794	2.799	2.796	2.791	2.805	2.808	2.806	2.794	2.789	2.790	2.797	0.107
3.000	2.994	2.992	3.000	3.019	2.995	2.988	2.990	3.000	3.007	2.995	2.998	0.067
3.200	3.218	3.206	3.217	3.201	3.198	3.191	3.195	3.201	3.196	3.195	3.202	0.062
3.400	3.397	3.418	3.414	3.401	3.394	3.381	3.388	3.389	3.413	3.408	3.400	0.000
3.600	3.603	3.586	3.591	3.582	3.594	3.602	3.612	3.589	3.608	3.600	3.597	0.083
3.800	3.828	3.811	3.806	3.806	3.803	3.804	3.801	3.792	3.812	3.803	3.807	0.184
4.000	3.998	4.000	4.000	4.007	3.986	3.998	4.002	3.998	4.005	4.010	4.000	0.000
4.200	4.192	4.216	4.215	4.204	4.222	4.210	4.208	4.188	4.203	4.208	4.207	0.167
4.400	4.395	4.397	4.400	4.373	4.399	4.415	4.407	4.378	4.400	4.411	4.398	0.045
4.600	4.601	4.608	4.611	4.598	4.603	4.613	4.612	4.613	4.615	4.611	4.609	0.196
4.800	4.789	4.824	4.796	4.813	4.797	4.809	4.799	4.812	4.796	4.822	4.806	0.125
5.000	4.986	5.000	4.988	4.993	4.973	4.969	4.981	4.991	4.996	5.005	4.988	0.240
5.200	5.186	5.233	5.218	5.191	5.201	5.194	5.209	5.235	5.226	5.195	5.209	0.173
5.400	5.400	5.376	5.375	5.378	5.400	5.402	5.398	5.429	5.402	5.380	5.394	0.111
5.600	5.609	5.606	5.621	5.599	5.598	5.607	5.608	5.595	5.610	5.617	5.607	0.125
5.800	5.811	5.838	5.824	5.831	5.804	5.787	5.795	5.797	5.775	5.804	5.807	0.121
6.000	5.960	5.969	6.061	6.071	6.069	6.088	6.056	6.030	6.039	5.966	6.031	0.517
6.200	6.172	6.175	6.218	6.213	6.238	6.216	6.228	6.213	6.219	6.226	6.212	0.194

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองการวัดระยะทางด้วยเครื่องวัดระยะทาง

จากตารางที่ 4.1 เราสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดได้ จะพบว่าเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคนี้ มีค่าความผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.162% และจากตารางบันทึกผลการการทดลอง ตารางที่4.1 สามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าระยะทางที่วัดได้กับระยะทางจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าในการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางจริงแล้วจะพบว่าค่าที่วัดได้จะใกล้เคียงกันมาก ดังตารางที่ 4.1 ในช่วงระยะทางแรกๆ คือประมาณ 1-4 เมตร ค่าที่วัดได้กับค่าระยะทางจริงจะมีค่าผิดพลาดน้อยกว่าในช่วงปลายๆ คือประมาณ 4.6-6.2 เมตร ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่ปรับค่าความต้านทานได้เหมาะสมในช่วงใดช่วงหนึ่ง โดยในช่วงแรกนั้นค่าระยะทางอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่น้อยเกินไปหรือมากเกินไป เพราะถ้าระยะทางมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้การสะท้อนเกิดขึ้นเร็วการประมวลผลจึงเกิดความผิดพลาด และเมื่อระยะทางห่างออกไปมากๆ ก็จะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยจนเกิดความผิดพลาดได้เช่นเดียวกัน

จากการทดลองจะพบว่าเมื่อทำการวัดค่าที่ระยะมากกว่า 6.2 เมตร สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยมาก ทำให้เครื่องวัดระยะทางไม่สามารถนำสัญญาณสะท้อนที่สะท้อนกลับนั้นไปประมวลผลเป็นค่าระยะทางออกมาได้

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

คลื่นอุลตราโซนิคนับว่าใช้วัดระยะทางได้ดีเพราะเดินทางเกือบจะเป็นเส้นตรง แต่วิธีการส่งที่ใช้ในการทดลองนี้ จะทำให้มีค่ากำลังส่งค่อนข้างต่ำ ถ้าจะพัฒนาให้ได้ระยะทางที่ไกลขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้น ควรใช้วงจรกำเนิดสัญญาณเป็นตัวสร้างสัญญาณให้กับตัวส่งอุลตราโซนิค การใช้งานเครื่องนี้มีข้อจำกัดคือ วัตถุที่นำมาสะท้อนต้องมีขนาดใหญ่พอสมควร และเวลาทดลองต้องไม่มีวัตถุอื่นอยู่ใกล้จนเกินไป เพราะจะทำให้การสะท้อนของคลื่นเกิดความผิดพลาดได้

ค่าผิดพลาดของการทดลองสามารถเกิดได้จากตัวบุคคลผู้ทำการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบวงจร วัตถุที่ใช้ทำการวัด ดังนั้นต้องเลือกวัตถุที่สะท้อนคลื่นเสียงได้ดี คือ วัตถุขนาดใหญ่และมีผิวเรียบ เช่น ผนังห้อง กำแพง ฯลฯ ก็จะวัดระยะทางได้ใกล้เคียงกับระยะทางจริง

จากโครงงานนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการนำคลื่นอัลตร้าโซนิคมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำไปใช้งานหลายอย่าง เช่น การนำไปใช้เป็นตัวเซนเซอร์ในวงจรที่ไม่ต้องใช้ความละเอียดมากนัก หรือใช้ในการวัดความลึกของน้ำทะเล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐิรพงษ์ นามแถ่ง. **"ตลับเมตรไร้สายควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC"** วารสารเซมิคอนดัคเตอร์ ฉบับที่ 194, มีนาคม 2542

[2] เดชฤทธิ์ มณีธรรม, สำเริง เต็มราม. **คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC**

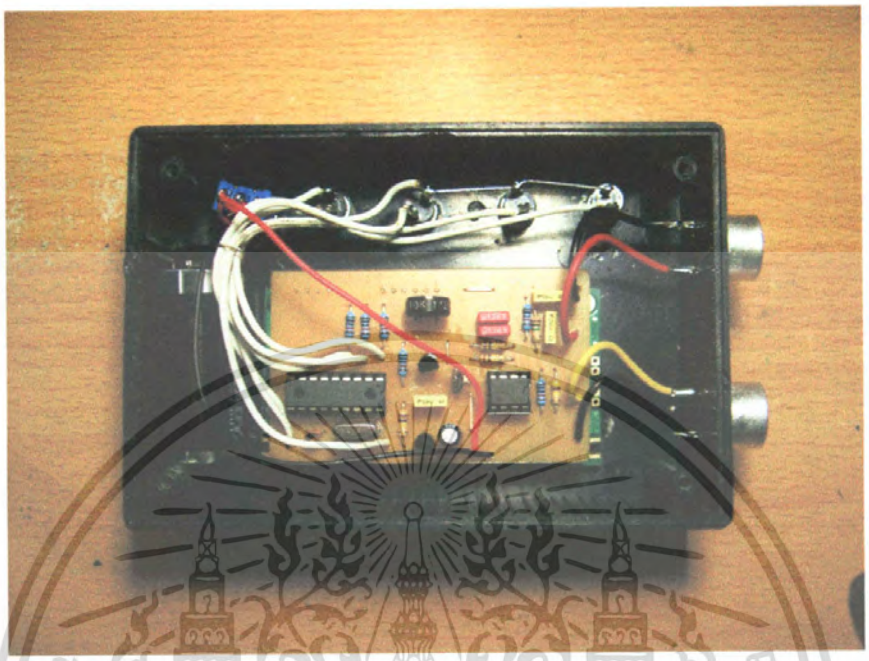
[3] นางสาวกิติพร กลีบจำปา, นางสาวขวัญชนก ขุนสิทธิ์เจริญ. **"เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค"** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการใช้งานเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค



รูปที่ ก.1 รูปวงจรภายในเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

รูปที่ ก.2 แสดงเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปิดเครื่องโดยทำการโยกสวิตช์ POWER หน้าจอ LCD จะปรากฏข้อความดังรูปที่ ก.2 สวิตช์ที่ใช้ในการทำงานคือ Send Store Mask และ Recall โดยสวิตช์แต่ละตัวจะมีผลแตกต่างกันดังนี้

Send คือ ส่งสัญญาณพัลส์ออกจาก PIC

Store คือ บันทึกค่าระยะทางที่เราวัดได้

Mask คือ กำหนดระยะทางขั้นต่ำที่จะวัด โดยได้มีการตั้งไว้ที่ 1 เมตร แล้ว เมื่อนำไปใช้งานไม่จำเป็นต้องตั้งค่าอีก

Recall คือ เรียกดูค่าที่เราได้บันทึกไว้

รูปที่ ก.3 แสดงระยะทางจริงเทียบกับระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 1 เมตร โดยวัตถุคือกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.4 แสดงระยะทางจริงเทียบกับระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 3 เมตร โดยวัตถุคือกำแพง

รูปที่ ก.5 แสดงระยะทางจริงเทียบกับระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 5 เมตร โดยวัตถุคือกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.6 แสดงผลการบันทึกค่าการวัดเป็นข้อมูลลำดับที่ 10

รูปที่ ก.7 แสดงผลการเรียกดูข้อมูลการวัดที่บันทึกไว้ เป็นข้อมูลลำดับที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมการทดลอง

```
; PICTAPE.ASM
; With correction routines (previously TAPEX35.ASM)
; PIC16C84 or PIC16F84, 4.0MHz XTAL, WDT off, POR on
; Written for TASM assembly
#DEFINE PAGE0 BCF 3,5
#DEFINE PAGE1 BSF 3,5
INDF:       .EQU $00
OPTION:     .EQU $01
PCL:        .EQU $02
STATUS:     .EQU $03
FSR:        .EQU $04
PORTA:      .EQU $05
TRISA:      .EQU $05
PORTB:      .EQU $06
TRISB:      .EQU $06
EEDATA:     .EQU $08
EECON1:     .EQU $08
EEADR:      .EQU $09
EECON2:     .EQU $09
INTCON:     .EQU $0B
MISC1:  .EQU $0C                ;misc use
MISC2:  .EQU $0D                ;misc use
COUNT0: .EQU $0E                ;counter 0
COUNT1: .EQU $0F                ;counter 1
RECORD0: .EQU $10               ;recording store LSB
RECORD1: .EQU $11               ;recording store MSB
FEET1:  .EQU $12                ;feet byte 1 LSB
FEET2:  .EQU $13                ;feet byte 2 MSB
ANSA1:  .EQU $14                ;answer byte 1 LSB
ANSA2:  .EQU $15                ;answer byte 2 MSB
ANSA3:  .EQU $16                ;answer byte 3 MSB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ANSA4:  .EQU $17              ;answer byte 4 LSB
ANSA5:  .EQU $18              ;answer byte 5 MSB
ANSA6:  .EQU $19              ;answer byte 6 MSB
TOP0:   .EQU $1A              ;top of division byte 1 LSB
TOP1:   .EQU $1B              ;top of division byte 2 NSB
TOP2:   .EQU $1C              ;top of division byte 3 MSB
DIV1:   .EQU $1D              ;divider byte 1 LSB
DIV2:   .EQU $1E              ;divider byte 2 MSB
LOOPB:  .EQU $1F              ;loop counter B
STORE1: .EQU $20              ;general store 1
STORE2: .EQU $21              ;general store 2
LOOPA:      .EQU $22          ;loop counter A - for LCD only
RSLINE:     .EQU $23          ;bit 4=RS line flag for LCD
CLKCNT:     .EQU $24          ;pre-counter for CLOCK
METRE0: .EQU $25              ;metres byte 1 LSB
METRE1: .EQU $26              ;metres byte 2 NSB
METRE2: .EQU $27              ;metres byte 3 MSB
INCH1:  .EQU $28              ;inches byte 1 LSB
INCH2:  .EQU $29              ;inches byte 2 MSB
MASK:       .EQU $2A              ;foreground mask value (1 per metre)
ZERO:       .EQU $2B              ;zero count flag
LOOPW:      .EQU $2C              ;eeprom write counter (record counter)
LOOPR:      .EQU $2D              ;eeprom read counter (replay counter)
SAVE:       .EQU $2E              ;SAVE flag
TSTFLG:     .EQU $2F              ;test/setup flag
W:          .EQU 0
F:          .EQU 1
C:          .EQU 0
DC:         .EQU 1
Z:          .EQU 2
GIE:        .EQU 7                ;global interrupt bit
RBIF:       .EQU 0                ;RB4-RB7 change interrupt flag
WR:         .EQU 1                ;eeprom write initiate flag
WREN:       .EQU 2                ;eeprom write enable flag
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RD:       .EQU 0                ;eeprom read enable flag
    .ORG $0004
    goto START
    .ORG $0005

START:    clrf PORTA
          movlw %01000000
          movwf PORTB
          PAGE1
          movlw %00011100
          movwf TRISA           ;กำหนด Port A0-A1 เป็น output, A2-A4 เป็น
input
          movlw %11000000
          movwf TRISB           ;กำหนด Port B0-B5 เป็น output, B6-B7 เป็น
input
          movlw %00000101       ;กำหนด timer ratio 1:64
          movwf OPTION          ;นำค่า 00000101b เก็บลงใน OPTION
          PAGE0
CLRINT:   bcf INTCON,GIE        ;ยกเลิกการใช้งาน interrupts
          btfsc INTCON,GIE      ;เช็คว่าทำการยกเลิกหรือยัง
          goto CLRINT           ;ถ้าไม่ใช่กลับไปทำการยกเลิกอีกครั้ง
CLRALL:   movlw $0C             ;เคลียร์ค่า Register
          movwf FSR
CLRA2:    clrf INDF
          incf FSR,F
          btfss FSR,4
          goto CLRA2
          btfss FSR,5
          goto CLRA2
          goto SETUP

TABLCD:   ADDWF PCL,F           ;กำหนดค่าตาราง LCD
          RETLW %00110011       ;กำหนดค่าไบต์แรกในการส่งค่าไปยัง lcd
          RETLW %00110011       ;กำหนดค่าไบต์ที่สอง เช็คความถูกต้องไบต์แรก
          RETLW %00110010       ;กำหนดรูป 4-bit operation
          RETLW %00101100       ;กำหนดรูปแบบ 2 lines
          RETLW %00000110       ;กำหนดโหมดการทำงานเขียนค่าเพิ่มตาม adress
          RETLW %00001100       ;กำหนดให้แสดงภาพไม่มี Cursor + Blink
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RETLW %00000001         ;เคลียร์หน้าจอ
        RETLW %00000010         ;กำหนดค่าไปยังตำแหน่งเริ่มต้นมุมซ้ายบน

TBDEC1: ADDWF PCL,F             ;ตารางค่าที่จะแสดงใน lsb
        retlw $0A               ;lsb หลัก 10
        retlw $64               ;lsb หลัก 100
        retlw $E8               ;lsb หลัก 1000
        retlw $10               ;lsb หลัก 10000

TBDEC2: ADDWF PCL,F             ;ตารางค่าที่จะแสดงใน msb
        retlw 0                 ;msb หลัก 10
        retlw 0                 ;msb หลัก 100
        retlw $03               ;msb หลัก 1000
        retlw $27               ;msb หลัก 10000

MESSAG1: addwf PCL,F
        retlw 'R'
        retlw 'E'
        retlw 'A'
        retlw 'D'
        retlw 'Y'
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '
        retlw ' '

MESSAG2: addwf PCL,F
        retlw 'P'
        retlw 'R'
        retlw 'E'
        retlw 'S'
        retlw 'S'
        retlw ' '
        retlw 'S'
        retlw 'E'
        retlw 'N'
        retlw 'D'
        retlw ' '
        retlw 'K'
        retlw 'E'
        retlw 'Y'
        retlw ' '
        retlw ' '
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SETUP:    call PAUSIT          ;delay
          clrf LOOPB           ;เคลียร์ค่าบน lcd
LCDSET:   movf LOOPB,W         ;เรียกค่า adress บน table
          call TABLCD          ;เรียกค่าที่ใช้ในการ set-up instruction
          call LCDLIN          ;เรียกงลาเบล lcdlin
          incf LOOPB,F         ;เพิ่มค่า loop
          btfss LOOPB,3        ;เช็คว่าได้ทำการเรียกค่าเซ็ตเสร็จแล้วหรือไม่
          goto LCDSET          ;หากไม่สำเร็จให้กลับไปทำใหม่
          call PAUSIT          ;delay
          clrf LOOPB
          call LCD1
TITLE1: movf LOOPB,W           ;เรียกค่า adress บน table
          call MESSAG1         ;เรียกค่าที่ใช้ในการ set-up instruction
          call LCDOUT          ;เรียกลาเบล lcdlin
          incf LOOPB,F         ;เพิ่มค่า loop
          btfss LOOPB,4
          goto TITLE1
          clrf LOOPB
          call LCD21
TITLE2: movf LOOPB,W           ;เรียกค่า adress บน table
          call MESSAG2         ;เรียกค่าที่ใช้ในการ set-up instruction
          call LCDOUT          ;เรียกงลาเบล lcdlin
          incf LOOPB,F         ;เพิ่มค่า loop
          btfss LOOPB,4
          goto TITLE2
          btfsc PORTA,2        ;เช็คว่ากดปุ่ม SEND หรือไม่
          bsf TSTFLG,0         ;ใช่กดปุ่ม SEND, เซ็ต TSTFLG บิตที่ 0 เป็น 1
                                 (basic correction)
          btfsc PORTA,3        ;เช็คว่ากดปุ่ม STORE หรือไม
          call CLRPRM          ;ใช่กดปุ่ม STORE , เรียกลาเบล CLRPRM
                                 เพื่อลบข้อมูลใน EEPROM
          btfsc PORTA,4        ;เช็คว่ากดปุ่ม MASK หรือไม่
          bsf TSTFLG,1         ;ใช่กดปุ่ม SEND, เซ็ต TSTFLG บิตที่ 1 เป็น 1
                                 (mask correction)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        btfss PORTB,6          ;เช็คว่ากดปุ่ม RECALL หรือไม่
        call CLRPRM            ;ใช่กดปุ่ม RECALL , เรียกลาเบล CLRPRM
                               เพื่อลบข้อมูลใน EEPROM
SET2:   movf PORTA,W           ;รอจนกว่าจะปล่อยปุ่ม
        andlw %00011100
        btfss STATUS,Z
        goto SET2
SET3:   btfss PORTB,6
        goto SET3
        movlw 1                ;กำหนดค่า MASK เป็น 1
        btfsc TSTFLG,0         ;เช็คว่า TEST flag bit 0 เป็น 1 หรือไม่
        movlw 0                ;ใช่, กำหนด MASK เป็น 0
        movwf MASK
        clrf LOOPR             ;reset อ่านค่าที่นับไว้อีกครั้ง
        movlw 61               ;เก็บค่าที่อ่านได้
        call PRMGET            ;ใส่หน่วยความจำที่ 61
        movwf LOOPW
;.......... END OF SETUP
INTRPT: btfsc PORTA,2          ;เช็ค SEND switch บน RA2 ว่ากดหรือป่าว
        call TXIT              ;ใช้เรียกใช้ลาเบล TXIT
        btfsc PORTA,3          ;เช็คว่า STORE switch บน RA3 กดหรือป่าว?
        call STOREIT           ;ใช่เรียกใช้ลาเบล STOREIT
        btfsc PORTA,4          ;เช็ค MASK switch บน RA4 ว่ากดหรือป่าว?
        call MASKIT            ;ใช้เรียกใช้ลาเบล MASKIT
        btfss PORTB,6          ;เช็ค RECALL switch บน RB6 ว่ากดหรือป่าว?
        call RECALL            ;ใช่เรียกใช้ลาเบล RECALL
        movf TSTFLG,F
        btfss STATUS,Z         ;เช็คว่า test flags set หรือป่าว?
        call TXIT              ;ใช่, ส่งค่าออกหน้าจอ BM TEST
        goto INTRPT
TXIT:   movlw 10
        movwf LOOPB            ;กำหนด transmission loop เป็น 10
        clrf COUNT0            ;clearค่าที่นับไว้
        clrf COUNT1
        bsf PORTA,0
        bsf SAVE,0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BEAMIT:  nop                    ;ส่งสัญญาณ 40kHz
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         comf PORTA,F           ;เซ็ตบิตtoggle RA0/RA1
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         nop
         comf PORTA,F           ;เซ็ตบิตtoggle RA0/RA1
         decfsz LOOPB,F
         goto BEAMIT
         clrf PORTA
         call RECEIVE

         movf TSTFLG,F
         btfsc STATUS,Z         ;เช็ค test flags set
         goto BEAM2             ;หากไม่ใช่เรียกทวนคำสั่ง

         call LCD8              ;หากใช้แสดงข้อความ TEST
         movlw 'B'
         btfss TSTFLG,0         ;กำหนดค่ารูปแบบตัวอักษร
         movlw 'M'
         call LCDOUT

         movlw 'T'
         call LCDOUT
         movlw 'E'
         call LCDOUT
         movlw 'S'
         call LCDOUT
         movlw 'T'
         call LCDOUT
         movlw ' '
         call LCDOUT
         call SHWTST
         goto BEAM3

BEAM2:   call LCD9
         movlw ' '
         call LCDOUT
         movlw ' '
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          call LCDOUT
          movlw ' '
          call LCDOUT
          movlw 'L'
          call LCDOUT
          movlw 'I'
          call LCDOUT
          movlw 'V'
          call LCDOUT
          movlw 'E'
          call LCDOUT

BEAM3: call PAUSIT              ;หยุดชั่วคราว
          call PAUSIT
          return

RECEIVE: btfsc TSTFLG,0         ;เช็ค test flage เป็น 0 หรือไม่
          goto MASK0            ;หากใช่ เรียกลาเบล mask0
          movf MASK,W
          movwf LOOPB

MASK1: movlw 2                  ;กำหนด delays ในการกำหนดตำแหน่ง
          movwf ANSA2
          movlw 48
          movwf ANSA1

MASK2: movlw 4
          movwf ANSA3
MASK3: decfsz ANSA3,F
          goto MASK3

          decfsz ANSA1,F
          goto MASK2
          decfsz ANSA2,F
          goto MASK2
          decfsz LOOPB,F
          goto MASK1

MASK0: bcf INTCON,RBIF          ;เคลียร์ค่า RB4-RB7
          bcf ZERO,0
LISTEN:  btfsc INTCON,RBIF      ;เช็คการเปลี่ยนแปลงบน RB7
          goto SHWCNT           ;ใช่ เรียกลาเบล SHWCNT
          movlw 1               ;ไม่ใช่, เพิ่มค่า COUNT0
          addwf COUNT0,F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          movf STATUS,W
          andlw 1
          addwf COUNT1,F          ;เพิ่ม Carry ไปยัง COUNT1
          btfss STATUS,C          ;เช็คว่ามี Carry หรือไม่
          goto LISTEN             ; ไม่ เรียกลาเบล LISTEN
          bsf ZERO,0
          goto METRES

SHWCNT:   movlw 30                ;เพิ่มผลลัพท์
          addwf COUNT0,F
          btfsc STATUS,C
          incf COUNT1,F
          btfsc TSTFLG,0          ;เช็ค TEST flag bit 0 เป็น 1 หรือไม่
          goto METRES             ; ใช่เรียกลาเบล METRES เพื่อ MASK เพิ่ม

          movf MASK,W
          movwf LOOPB             ;โค๊ดในส่วนนี้จะเป็นการเก็บค่า MSB LSB โดยที่ MSB
                                    จะเก็บใน register LSB จะเก็บใน EEPROM

MASKAD:   movlw 63                ;กำหนดตำแหน่งที่เก็บค่าลงใน EEPROM address
                                    เป็น 63 (ตำแหน่งเดียวกับ MASK)
          call PRMGET             ;รับค่า MSB
          addwf COUNT0,F
          btfsc STATUS,C
          incf COUNT1,F
          incf COUNT1,F
          decfsz LOOPB,F
          goto MASKAD

METRES:   movf COUNT0,W
          movwf RECORD0
          movf COUNT1,W
          movwf RECORD1

          call GETMMS             ;คำนวนหา millimetres
          call LCD1               ;แสดงค่า metres บรรทัดที่ 1 ส่วนหน้า
          movlw METRE1

          call DECIMAL            ;คำนวนค่า metres จากเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบ
          movf ANSA5,W
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        movwf ANSA6
        movf ANSA4,W
        movwf ANSA5
        movlw '.'
        movwf ANSA4
        movlw 6
        movwf LOOPB
        movlw ANSA6
        movwf FSR

        movf ANSA6,W
        xorlw 48
        btfss STATUS,Z
        goto SHOWMT
        movlw ' '
        movwf ANSA6

SHOWMT: call SHOWDEC
        movlw 'm'
        call LCDOUT
        movlw '.'
        call LCDOUT
        movlw ' '
        call LCDOUT

        call GETINS          ;คำนวน feet & inches
        call GETFEET
        call INVERT          ;เช็คความถูกต้องว่าหมดการคำนวนแปลงค่าจาก
metres มาหรือยัง
        movf TOP1,W
        bcf STATUS,C
        btfss ZERO,0         ;เช็คตัวแปล ZERO set หรือไม่?
        addlw 12             ;ไม่
        movwf INCH1
        movf STATUS,W
        andlw 1
        addwf TOP2,W
        movwf INCH2
        movf INCH1,W
        xorlw 12
        btfss STATUS,Z
        goto SHOWFT
        clrf INCH1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clrf INCH2
        incfsz FEET1,F
        goto SHOWFT
        incf FEET2,F

SHOWFT: call LCD21
        movlw FEET1
        call DECIMAL            ;คำนวนค่า feet จากเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบ
        movlw 3
        movwf LOOPB
        movlw ANSA3
        movwf FSR

        movf ANSA3,W
        xorlw 48
        btfss STATUS,Z
        goto SHWFT2
        movlw ' '
        movwf ANSA3
        movf ANSA2,W
        xorlw 48
        btfss STATUS,Z
        goto SHWFT2
        movlw ' '
        movwf ANSA2

SHWFT2: call SHOWDEC
        movlw 'f'
        call LCDOUT
        movlw 't'
        call LCDOUT

SHOWIN: movlw INCH1
        call DECIMAL            ;แสดงค่าในหน่วน inches
        movlw 2
        movwf LOOPB
        movlw ANSA2
        movwf FSR

        movf ANSA2,W
        xorlw 48
        btfss STATUS,Z
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          goto SHOWIN2
          movlw ' '
          movwf ANSA2

SHOWIN2: call SHOWDEC
          movlw 'i'
          call LCDOUT
          movlw 'n'
          call LCDOUT
          movlw ' '
          call LCDOUT
          call SHOWSW
          return

GETMMS:   clrf METRE0              ;การคำนวนระยะทางกับเวลาของเซ้นเซอร์พื้นฐาน
          movf COUNT0,W            ;จากการทดสอบการใช้งานรวมถึง Data Sheet 618 =
1 metre
          movwf METRE1             ;1000/618 = 1.6181229
          movf COUNT1,W            ;ดังนั้นจะได้ตัวคูณคือ x 1.6181229
          movwf METRE2             ;256 x .618 = 158 (เก็บค่าตัวคูณเป็น 1 เพราะเราเก็บค่า
                                   ไว้ใน MSB ซึ่ง Desiged 256 bit ส่วน LSBเมื่อ
                                   คำนวนก็จะได้ LSB 158)
          movf COUNT0,W            ;LSB เก็บค่าเป็นตัวแปลลง EEPROM เป็น 158
          btfsc STATUS,Z
          goto GETCM2
          movwf LOOPB
GETCM1: movlw 62                   ;เรียกค่าจาก EEPROM ตำแหน่ง 62
          call PRMGET
          addwf METRE0,F
          movf STATUS,W
          andlw 1
          addwf METRE1,F
          movf STATUS,W
          andlw 1
          addwf METRE2,F
          decfsz LOOPB,F
          goto GETCM1

GETCM2: movf COUNT1,W
          btfsc STATUS,Z
          return
          movwf LOOPB
GETCM3: movlw 62                   ;เรียกค่าจาก EEPROM ตำแหน่ง 62
          call PRMGET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        addwf METRE1,F
        movf STATUS,W
        andlw 1
        addwf METRE2,F
        decfsz LOOPB,F
        goto GETCM3
        return

GETINS: movlw 25            ;ค่า มิลลิเมตร หารด้วย 25.4 จะได้ผลลัพธ์เป็นค่า นิ้ว
        movwf DIV2          ;เก็บค่า 25 ไว้ใน DIV2 สำหรับ MSB
        movlw 102           ;ค่า 102 มาจาก 0.4*256=102
        movwf DIV1          ;เก็บค่า 102 ไว้ใน DIV1 สำหรับ LSB
        movf METRE1,W
        movwf STORE1
        movf METRE2,W
        movwf STORE2
        call DIVIDE
        movf ANSA1,W
        movwf INCH1
        movf ANSA2,W
        movwf INCH2
        return

GETFEET: movlw 12           ;ค่า นิ้ว หารด้วย 12 จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าฟุต
        movwf DIV2          ;เก็บค่า 12 ไว้ใน DIV2 สำหรับ MSB
        movlw 0
        movwf DIV1          ;เก็บค่า 0 ไว้ใน DIV1 สำหรับ LSB
        movf INCH1,W
        movwf STORE1
        movf INCH2,W
        movwf STORE2
        call DIVIDE
        movf ANSA1,W
        movwf FEET1
        movf ANSA2,W
        movwf FEET2
        return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DIVIDE:   movf STORE1,W
          movwf TOP1
          movf STORE2,W
          movwf TOP2
          clrf TOP0

          clrf ANSA1
          clrf ANSA2
          movf TOP1,W          ;เช็คว่าค่า TOP เท่ากับ 0 หรือเปล่า
          iorwf TOP2,W
          btfsc STATUS,Z
          goto DIVIDE3         ;ค่า TOP เท่ากับ 0
          call INVERT          ;เรียกลาเบล INVERT

DIVIDE2:  movf DIV1,W          ;บวก lsb ของ DIV กับ lsb ของ TOP
          addwf TOP0,F
          movlw 1
          andwf STATUS,C       ;บวกตัวทดเข้ากับ msb ของ TOP
          addwf TOP1,F
          movlw 1
          andwf STATUS,C       ;บวกตัวทดเข้ากับ msb ของ TOP
          addwf TOP2,F
          btfsc STATUS,C       ;เช็คว่า STATUS และ C มีค่าเท่ากันมั้ย
          goto DIVIDE3         ;เท่ากันให้เรียกลาเบล DIVIDE3
          movf DIV2,W          ;ไม่ใช่, บวก msb ของ DIV กับ msb ของ TOP
          addwf TOP1,F
          movlw 1
          andwf STATUS,C       ;บวกตัวทดเข้ากับ msb ของ TOP
          addwf TOP2,F
          btfsc STATUS,C       ;เช็คว่า STATUS และ C มีค่าเท่ากันมั้ย
          goto DIVIDE3         ;เท่ากันให้เรียกลาเบล DIVIDE3
          incfsz ANSA1,F       ;ไม่ใช่, เพิ่มค่า counter ของ lsb ด้วย 1 ถ้า ANSA
                                 ไม่ใช่ค่า 0
          goto DIVIDE2         ;ไม่ใช่ เรียกลาเบล DIVIDE2
          incf ANSA2,F         ;ใช่, เพิ่มค่า counter ของ msb ด้วย 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        goto DIVIDE2
DIVIDE3: return
LCD210: movlw %11001010        ;กำหนดค่าเริ่มต้นของ addresses ให้กับ LCD
                               (บรรทัดและเคอร์เซอร์)
        goto LCDLIN
LCD28:  movlw %11001000
        goto LCDLIN
LCD21:  movlw %11000000
        goto LCDLIN
LCD13:  movlw %10001101
        goto LCDLIN
LCD11:  movlw %10001011
        goto LCDLIN
LCD9:   movlw %10001001
        goto LCDLIN
LCD8:   movlw %10001000
        goto LCDLIN
LCD1:   movlw %10000000

LCDLIN:  BCF RSLINE,4          ; clear RSLINE บิตที่ 4 เพื่อเตรียมส่งคำสั่งควบคุม
LCD

LCDOUT:  MOVWF STORE1          ;นำค่า บรรทัดและเคอร์เซอร์มาเก็บไว้ใน STORE1
         MOVLW 20              ;เซ็ตค่าเวลาสำหรับการส่งคำสั่งให้ LCD
         MOVWF LOOPA
DELAY:   DECFSZ LOOPA,F
         GOTO DELAY
         CALL SENDIT           ;send MSB
         CALL SENDIT           ;send LSB
         BSF RSLINE,4          ;set SLINE บิตที่ 4 เพื่อหยุดส่งคำสั่งควบคุม LCD
         return

SENDIT:  SWAPF STORE1,F        ;สลับ LSB และ MSB ของ STORE1
         MOVF STORE1,W
         ANDLW 15
         IORWF RSLINE,W        ;RSLINE OR W
         MOVWF PORTB           ;ส่งข้อมูลออกทางพอร์ต B
         BSF PORTB,5           ;เซ็ตพอร์ต B บิตที่ 5 เป็น 1
         BCF PORTB,5           ;เซ็ตพอร์ต B บิตที่ 5 เป็น 0
         RETURN

PAUSIT:  MOVLW 10              ;เซ็ตค่าเวลา delay = 10
         MOVWF CLKCNT
         CLRF INTCON
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PAUSE:   BTFSS INTCON,2          ;เช็คว่า INTCON บิตที่ 2 เป็น 1 หรือเปล่า
         GOTO PAUSE              ;ไม่ใช่ 1 เรียกลาเบล PAUSE
         BCF INTCON,2            ;ใช่ 1 เซ็ตค่า INTCON บิต 2 เป็น 0
         DECFSZ CLKCNT,F         ;ลดค่า CLKCNT ลง 1 และเช็ตว่าเท่ากับ 0 หรือเปล่า
         GOTO PAUSE              ;ไม่ใช่ 0 เรียกลาเบล PAUSE
         RETURN                  ;ใช่ 0

DECIMAL: clrf ANSA1
         clrf ANSA2
         clrf ANSA3
         clrf ANSA4
         clrf ANSA5
         movwf FSR

         movf INDF,W             ;เช็คว่าเป็น 0 หรือเปล่า
         incf FSR,F
         iorwf INDF,W
         btfsc STATUS,Z
         goto DEC4

         movf INDF,W             ;นำค่า INDF ไปเก็บไว้ใน TOP2
         movwf TOP2
         decf FSR,F
         movf INDF,W
         movwf TOP1
         movlw 4
         movwf LOOPB
         movlw ANSA5
         movwf FSR

DECA1:   clrf STORE2
         decf LOOPB,W
         call TBDEC1
         movwf MISC1
         decf LOOPB,W
         call TBDEC2
         movwf MISC2
         call ADDIT
         movwf INDF
         decf FSR,F
         decfsz LOOPB,F
         goto DECA1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          movf TOP1,W
          movwf INDF

DECA2: addlw 6
          btfss STATUS,DC
          goto DEC4
          clrf INDF
          incf FSR,F
          incf INDF,F
          movf INDF,W
          goto DECA2

ADDIT:    call INVERT              ;เรียกลาเบล INVERT
ADDIT2: incf STORE2,F
          movf MISC1,W
          addwf TOP1,F
          movlw 1
          andwf STATUS,W
          addwf MISC2,W
          addwf TOP2,F
          btfss STATUS,C
          goto ADDIT2

          call INVERT              ;เรียกลาเลล INVERT
          movf MISC1,W             ;ลบค่าสุดท้ายของการบวกด้วย 1
          addwf TOP1,F
          btfsc STATUS,C
          incf TOP2,F
          movf MISC2,W
          addwf TOP2,F
          decf STORE2,W
          return

DEC4:  movlw 48
          iorwf ANSA1,F
          iorwf ANSA2,F
          iorwf ANSA3,F
          iorwf ANSA4,F
          iorwf ANSA5,F
          return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SHOWDEC: movf INDF,W
         call LCDOUT
         decf FSR,F
         decfsz LOOPB,F
         goto SHOWDEC
         return

INVERT:  comf TOP1,F
         incf TOP1,F
         btfsc STATUS,Z
         decf TOP2,F
         comf TOP2,F
         return

MASKIT:  incf MASK,F          ;เพิ่มค่า MASK ด้วย 1
         movf MASK,W
         xorlw 10             ;MASK XOR 10 เพื่อ เช็คว่า MASK=10 หรือเปล่า
         btfss STATUS,Z
         goto SHOWSW          ; ไม่ใช่ 10 เรียกลาเบล SHOWSW
         movlw 1              ; ใช่ 10 แก้ค่า MASK เป็น 1
         movwf MASK

SHOWSW:  call LCD210
         movlw 'M'
         call LCDOUT
         movlw 'a'
         call LCDOUT
         movlw 's'
         call LCDOUT
         movlw 'k'
         call LCDOUT
         movf MASK,W
         btfsc STATUS,Z
         goto SW2
         movf MASK,W
         iorlw 48
         call LCDOUT
         movlw 'm'
         goto SW3

SW2:  movlw ' '
         call LCDOUT
         movlw '0'

SW3:  call LCDOUT
         call PAUSIT
         call PAUSIT
         call PAUSIT
         return

RECALL:  movf TSTFLG,F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        btfss STATUS,Z          ;เช็คว่า STATUS เป็น 1 หรือเปล่า
        goto DECIT              ;ใช่ 1 เรียกลาเบล DECIT

        bcf ZERO,0
        bcf SAVE,0
        call LCD11              ;เรียกลาเบล LCD11 เพื่อเลื่อนไปบรรทัดที่ 1 เคอร์เซอร์ที่
11
        bcf STATUS,C
        rrf LOOPR,W
        movwf COUNT0
        incf COUNT0,F
        clrf COUNT1
        movlw COUNT0
        call DECIMAL
        call BLANKS

        call LCD9               ;เรียกลาเบล LCD9 เพื่อเลื่อนไปบรรทัดที่ 1 เคอร์เซอร์ที่ 9
        movlw 'S'
        call LCDOUT
        movlw 'H'
        call LCDOUT
        movlw 'O'
        call LCDOUT
        movlw 'W'
        call LCDOUT
        movlw '='
        call LCDOUT

        movf LOOPR,W
        call PRMGET
        movwf COUNT0
        incf LOOPR,F
        movf LOOPR,W
        call PRMGET
        movwf COUNT1
        incf LOOPR,F
        movf LOOPR,W
        xorlw 60                ;เช็คว่าเก็บข้อมูลลง EEPROM เต็ม 30 ค่าหรือเปล่า 1 ค่า
เท่ากับ 2 byte
        btfss STATUS,Z
        goto RECAL2
        clrf LOOPR
RECAL2: movf COUNT0,W
        iorwf COUNT1,W
        btfsc STATUS,Z
        bsf ZERO,0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          call METRES
SHWCT4: btfss PORTB,6          ;เช็คว่ากดปุ่ม RECALL หรือเปล่า
          goto SHWCT4          ;กดปุ่ม RECALL เรียกลาเบล SHWCT4
          call PAUSIT
          return

STOREIT: movf TSTFLG,F
          btfss STATUS,Z       ;เช็คว่าค่า STATUS เป็น 1 หรือเปล่า
          goto INCIT           ;ใช่ 1 เรียกลาเบล INCIT
          btfss SAVE,0         ;เช็คว่าค่า SAVE เป็น 1 หรือเปล่า
          return               ;ไม่ใช่ 1
          bcf SAVE,0
          movf RECORD0,W
          movwf STORE1
          movf LOOPW,W
          call SETPRM
          movf RECORD1,W
          movwf STORE1
          incf LOOPW,F
          movf LOOPW,W
          call SETPRM

SAVE2:  call LCD11             ;เรียกลาเบล LCD9 เพื่อเลื่อนไปบรรทัดที่ 1 เคอร์เซอร์ที่ 11
          bcf STATUS,C
          rrf LOOPW,W
          movwf COUNT0
          incf COUNT0,F
          clrf COUNT1
          movlw COUNT0
          call DECIMAL
          call BLANKS

          call LCD9            ;เรียกลาเบล LCD9 เพื่อเลื่อนไปบรรทัดที่ 1 เคอร์เซอร์ที่ 9
          movlw 'S'
          call LCDOUT
          movlw 'A'
          call LCDOUT
          movlw 'V'
          call LCDOUT
          movlw 'E'
          call LCDOUT
          movlw 'D'
          call LCDOUT

          incf LOOPW,F
          movf LOOPW,W
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        xorlw 60                ;เช็คว่าเก็บข้อมูลลง EEPROM เต็ม 30 ค่าหรือเปล่า 1 ค่า
เท่ากับ 2 byte
        btfss STATUS,Z
        goto SAVE3
        clrf LOOPW

SAVE3: movf LOOPW,W             ;เก็บค่า LOOPW ลงใน EEPROM
        movwf STORE1
        movlw 61
        call SETPRM

WAITIT: btfsc PORTA,3           ;เช็คว่ากดปุ่ม STORE หรือเปล่า
        goto WAITIT
        call PAUSIT
        return

CLRPRM: clrf LOOPA              ;ลบค่าที่บรรทึกไว้ใน EEPROM
        clrf STORE1
CLRPR2: movf LOOPA,W
        call SETPRM
        incf LOOPA,F
        movf LOOPA,W            ;เช็คค่า LOOPA ว่าเท่ากับ 62 หรือเปล่า
        xorlw 62
        btfss STATUS,Z
        goto CLRPR2             ;ค่า LOOPA ไม่เท่ากับ 62
        call LCD13
        movlw 'C'
        call LCDOUT
        movlw 'L'
        call LCDOUT
        movlw 'R'
        call LCDOUT

        btfsc PORTB,6           ;เช็คว่ากดปุ่ม RECALL หรือเปล่า
        goto CLRPR3             ;ไม่กดปุ่ม RECALL
        movlw 158               ;กดปุ่ม RECALL, เซ็ตค่า basic timing เป็น 158
        movwf STORE1
        movlw 62
        call SETPRM
        movlw 234               ;เซ็ตค่า mask timing เป็น 234
        movwf STORE1
        movlw 63
        call SETPRM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CLRPR4: btfss PORTB,6          ;เช็คว่ากดปุ่ม RECALL หรือเปล่า
        goto CLRPR4            ;กดปุ่ม RECALL, เรียกลาเบล CLRPR4

CLRPR3: btfsc PORTA,3          ;เช็คว่ากดปุ่ม STORE หรือเปล่า
        goto CLRPR3            ;กดปุ่ม STORE, เรียกลาเบล CLRPR3
        return

BLANKS: movlw 5
        movwf LOOPB
        movlw ANSA5
        movwf FSR

        movlw 4
        movwf LOOPA
ZERO1: movf INDF,W
        xorlw 48
        btfss STATUS,Z
        goto SHWCT2
        movlw 32
        movwf INDF
        decf FSR,F
        decfsz LOOPA,F
        goto ZERO1

SHWCT2: movlw ANSA5
        movwf FSR
        call SHOWDEC
        return

;...............

;กระบวนการเขียนข้อมูลลง EEPROM:

                       ;This routine is entered with W holding
                       ;the eeprom byte address at which data
                       ;is to be stored. The data to be stored
                       ;is held in STORE1.
SETPRM: movwf EEADR    ;นำค่า w มาเก็บไว้ในค่า EEADR เพื่อกำหนดค่า Address ให้กับ
EEPROM
        PAGE1
        bsf EECON1,WREN ;กำหนดให้การเขียนข้อมูลลง EEPROM ทำงาน
        PAGE0
        movf STORE1,W  ;อ่านค่าจาก STORE1 มาเก็บไว้ใน w
        movwf EEDATA   ;นำค่า w ไปเก็บไว้ใน EEPROM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MANUAL:  PAGE1              ;กำหนด Register มาที่ PAGE1
         movlw $55
         movwf EECON2       ;เซ็ตค่า EECON2=0x55H
         movlw $AA
         movwf EECON2       ;เซ็ตค่า EECON2=0xAAH
         bsf EECON1,WR      ;เซ็ตค่า EECON1 บิตที่ 1 ให้เป็น 1
CHKWRT:  btfss EECON1,4     ;เช็คว่า EECON1 บิตที่ 4 เป็น 1 หรือเปล่า
         goto CHKWRT        ;เรียกลาเบล CHKWRT
         bcf EECON1,WREN    ;หยุดการเขียนข้อมูลลง EEPROM
         bcf EECON1,4       ;เซ็ตค่า EECON1 บิตที่ 4 เป็น 0
         PAGE0
         bcf INTCON,6       ;เซ็ตค่า INTCON บิตที่ 6 เป็น 0
         return

;..........

;กระบวนการอ่านข้อมูลจาก EEPROM

                            ;This routine is entered with W holding
                            ;the eeprom byte address to be read.
PRMGET:  movwf EEADR        ;นำค่า W มาเก็บไว้ใน EEADR เพื่อกำหนดค่า Adress ใน
EEPROM
         PAGE1              ;
         BSF EECON1,RD      ;สั่งให้อ่านข้อมูลจาก EEPROM
         PAGE0
         movf EEDATA,W      ;นำค่าที่อ่านจาก EEPROM(EEDATA)  มาเก็บไว้ใน W
         return             ;

;............

INCIT:   movlw 62           ;กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 62 (basic
correction)
         btfsc TSTFLG,1     ;เช็คว่า TSTFLG บิตที่ 1 เป็น 1 หรือเปล่า
         movlw 63           ;ใช่ 1, กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 63 (mask
correction)
         call PRMGET        ;เรียกลาเบล PRMGET
         movwf STORE1
         incf STORE1,F      ;เพิ่มค่า STORE1 ด้วย 1
         movlw 62           ;กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 62 (basic
correction)
         btfsc TSTFLG,1     ;เช็คว่า TSTFLG บิตที่ 1 เป็น 1 หรือเปล่า
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        movlw 63            ;ใช่ 1, กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 63 (mask
correction)
        call SETPRM
        return
DECIT:  movlw 62            ;กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 62 (basic
correction)
        btfsc TSTFLG,1      ;เช็คว่า TSTFLG บิตที่ 1 เป็น 1 หรือเปล่า
        movlw 63            ;ใช่ 1, กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 63 (mask
correction)
        call PRMGET         ;เรียกลาเบล PRMGET
        movwf STORE1
        decf STORE1,F       ;ลดค่า STORE1 ด้วย 1
        movlw 62            ;กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 62 (basic
correction)
        btfsc TSTFLG,1      ;เช็คว่า TSTFLG บิตที่ 1 เป็น 1 หรือเปล่า
        movlw 63            ;ใช่ 1, กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 63 (mask
correction)
        call SETPRM
        return
SHWTST: call LCD13          ;เรียกลาเบล LCD9 เพื่อเลื่อนไปบรรทัดที่ 1 เคอร์เซอร์ที่ 13
        movlw 62            ;กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 62 (basic
correction)
        btfsc TSTFLG,1      ;เช็คว่า TSTFLG บิตที่ 1 เป็น 1 หรือเปล่า
        movlw 63            ;ใช่ 1, กำหนด Address ใน EEPROM ให้เท่ากับ 63 (mask
correction)
        call PRMGET
        movwf COUNT0
        clrf COUNT1
        movlw COUNT0
        call DECIMAL
        movlw 3
        movwf LOOPB
        movlw ANSA3
        movwf FSR
        call SHOWDEC
        return

    .END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by LM358/D

MOTOROLA

LM358, LM258, LM2904, LM2904V

Dual Low Power Operational Amplifiers

DUAL DIFFERENTIAL INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Utilizing the circuit designs perfected for recently introduced Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature 1) low power drain, 2) a common mode input voltage range extending to ground/V_{EE}, 3) single supply or split supply operation and 4) pinouts compatible with the popular MC1558 dual operational amplifier. The LM158 series is equivalent to one–half of an LM124.

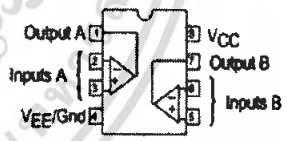
These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one–fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- Similar Performance to the Popular MC1558
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO–8)

PIN CONNECTIONS



(Top View)

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904 LM2904V	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	 V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	 32 ±16	 26 ±13	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	±32	±26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V_{ICR}	–0.3 to 32	–0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T_J	150		°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range LM258 LM358 LM2904 LM2904V	T_A	 –25 to +85 0 to +70 – –	 – – –40 to +105 –40 to +125	°C

NOTES: 1. Split Power Supplies.
2. For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 26 V for the LM2904, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM2904D	T_A = –40° to +105°C	SO–8
LM2904N		Plastic DIP
LM2904VD	T_A = –40° to +125°C	SO–8
LM2904VN		Plastic DIP
LM258D	T_A = –25° to +85°C	SO–8
LM258N		Plastic DIP
LM358D	T_A = 0° to +70°C	SO–8
LM358N		Plastic DIP

© Motorola, Inc. 1996

Rev 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEFINITIONS

Data Sheet Status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FORWARD INTERNATIONAL ELECTRONICS LTD.

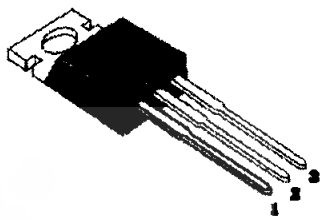
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

7805
LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

2

3-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

Package: TO-220



PIN / STYLE	1	2	3
NO.1	I	G	O

FEATURES

*Output current In Excess Of 1A
*Fixed output voltage of 5V available
*Thermal overload shutdown protection
*Short circuit current limiting
*Output transistor SOA protection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Operating temperature range applies unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Input voltage	V_I	35	V
Output Current	I_O	1.5	A
Power Dissipation	P_D	Internally Limited	mW
Operating Junction Temperature Range	T_{OPR}	-20~150	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55~150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at Tamb=25°C

(V_I=10V,I_O=0.5A,0°C<T_j<125°C,C_i=0.33uF,C_O=0.1uF,unless otherwise specified)(Note 1)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Output Voltage	V_O	4.8	5	5.2	V	T_j=25°C
Output Voltage	V_O	4.75		5.25	V	8V≤ V_I≤ 20V,I_O=5mA-1.0A PD<15W
Load Regulation	ΔV_O		1.3	100	mV	T_j=25°C,I_O=5mA-1.5A
Load Regulation	ΔV_O		0.15	50	mV	T_j=25°C,I_O=0.25A-0.75A
Line Regulation	ΔV_O		5	100	mV	7V≤ V_I≤ 25V,T_j=25°C
Line Regulation	ΔV_O		1.3	50	mV	8V≤ V_I ≤12V,T_j=25°C
Quiescent Current	Iq		3.2	8	mA	T_j=25°C
Quiescent Current Change	Δ Iq			1.3	mA	8V≤ V_I≤ 25V
Quiescent Current Change	Δ Iq			0.5	mA	5mA≤ I_O≤ 1.0A
Output Noise Voltage	V_N		10		uV	10Hz≤ f ≤100kHz
Temperature coefficient of V_O	$\Delta V_O/\Delta T$		-0.30		mV/°C	
Ripple Rejection	RR		68		dB	8V≤ V_I≤ 18V,f=120Hz,T_j=25°C
Peak Output Current	Ipk		2.2		A	T_j=25°C
Short-Circuit Current	Isc		200		mA	VI=35V,Tj=25°C
Dropout Voltage	V_D		2.0		V	T_j=25°C Io=1A

Note1: The maximum steady state usable output current is dependent on input voltage, heat sinking, lead length of the package and copper patten of PCB. The data above represent pulse test conditions with junction temperatures specified at the initiation of test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้