

สำนักหอสมุด

เครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง

ROOM DIMENSIONAL INSTRUMENT BY USING ULTRASONIC WAVE

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน..... 20 ต.ค. 2557
เลขทะเบียน..... 1919314
เลขเรียกหนังสือ.....

นายไฉนชน ศรีบุญเรือง รหัส 54363903
นายเบญจพล กมลเสถียร รหัส 54363927
นายสิทธิไกร โปทา รหัส 54364306

ป/ร
น 979 ค
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง
ผู้ดำเนินโครงการ นายไบนชน ศรีบุญเรือง รหัส 54363903
นายเบญจพล กมลเสถียร รหัส 54363927
นายสิทธิกร โปทา รหัส 54364306
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุขิตา สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายไฉนชน ศรีบุญเรือง	รหัส	54363903
	นายเบญจพล กมลเสถียร	รหัส	54363927
	นายสิทธิไกร โปทา	รหัส	54364306
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดห้อง โดยใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงที่สามารถวัดได้สองทิศทาง โดยเครื่องนี้ถูกออกแบบให้สามารถวัดค่าได้สามรูปแบบ ได้แก่ ระยะห่าง พื้นที่ และปริมาตรของห้อง โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบระยะความถูกต้องของผิววัตถุ 4 ชนิด เช่น คอนกรีต ไม้ กระดาษ และผิวโค้ง การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่องและการทดสอบการวัดขนาดห้องจริงจากการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดขนาดห้อง พบว่าในการวัดระยะการใช้งานอยู่ในช่วง 0.3 - 4.8 เมตร มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้โครงการนี้สามารถพัฒนาให้เครื่องมีขนาดเล็กกะทัดรัดและต้นทุนในการสร้างต่ำลง

Project title Room Dimensional Instrument by using Ultrasonic Wave
Name Mr. Naiyachon Sriboonruang ID. 54363903
Mr. Benjapol Kamolsation ID. 54363927
Mr. Sittikai Pota ID. 54364306
Project advisor Mr. Sarawut Wattanawongpitak, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2014

Abstract

This thesis presents the design and development of room dimensional instrument for measuring a room's dimension, based on ultrasonic wave in two directions. This instrument can show up to three values: distance, area, and volume. The experiments are divided into three cases. The first case is the texture of different materials such as concrete, wood, smooth paper surface, and curved paper surface. The second case is the measuring an acceptable angle with Earth's surface. The last case is the practical measurement of the room's dimension. From the experimental results, it is found that the acceptable range of distance is from 0.3 to 4.8 meters with error less than 3 percent. Moreover, this instrument based on ultrasonic wave can be developed as more compact size and lower production cost.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ผู้ดำเนินโครงการ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มูจิตา สงฆ์จันทร์ และ ผศ.ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลาของการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงการนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณของบิดามารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตากรุณา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายไฉนชน ศรีบุญเรือง

นายเบญจพล กมลเสถียร

นายสิทธิไกร โปทา

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ธรรมชาติของเสียง.....	4
2.2 คลื่นความถี่เหนือเสียง.....	8
2.3 ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง.....	11
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
2.5 จอแสดงผลแอลซีดี.....	15
2.6 แบตเตอรี่สำรองพกพา.....	18
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดห้อง.....	20
3.1 การออกแบบโครงสร้าง.....	20
3.2 การออกแบบระบบการทำงาน.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบควบคุมการทำงาน	26
3.4 การทำงานของเครื่อง	27
3.5 ส่วนประกอบของเครื่อง	29
3.6 วิธีการใช้งานของเครื่อง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	37
4.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง	37
4.2 การทดสอบการวัดขนาดห้อง	49
4.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง	52
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการดำเนิน โครงการ.....	56
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	57
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง HC-SR04	59
ภาคผนวก ข รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P	63
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งขาของจอแอลซีดี 16 x 2 แบบขนาน	17
2.2 ตำแหน่งขาของจอแอลซีดี 16 x 2 แบบ I2C	18
4.1 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับผนังคอนกรีต	38
4.2 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับผนังคอนกรีต	39
4.3 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับพื้นผิวไม้	41
4.4 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับพื้นผิวไม้	42
4.5 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับพื้นกล่องกระดาษ	44
4.6 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับพื้นกล่องกระดาษ	45
4.7 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับพื้นผิวโค้ง	47
4.8 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับพื้นผิวโค้ง	48
4.9 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ห้อง	49
4.10 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรห้อง	50
4.11 ค่าความผิดพลาดของการทดสอบการวัดขนาดห้อง	51
4.12 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แหล่งกำเนิดเสียงที่มีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม	5
2.2 วงจรส่งผ่าน/รับการทำงานของคลื่นความถี่เหนือเสียง	9
2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิจากเสียง	10
2.4 มุมของวัตถุ	10
2.5 การเขียนสัญลักษณ์ของคลื่นความถี่เหนือเสียงแบบต่างๆกัน	11
2.6 แผงวงจรตัวรับรู้ความถี่ด้วยเสียง	11
2.7 หลักการตรวจจับวัตถุโดยใช้สัญญาณความถี่เหนือเสียง	12
2.8 แผงวงจร Arduino	13
2.9 หน่วยประมวลผลกลาง ATmega328P ขนาด 32 ขา	14
2.10 จอแสดงผลแอลซีดี 16 x 2	15
2.11 จอแสดงผลแอลซีดี 16 x 2 แบบขนาน	16
2.12 ด้านหลังจอแอลซีดี 16 x 2 แบบ I2C	18
2.13 แบตเตอรี่สำรองพกพา ยี่ห้อ GOLF รุ่น GF - 208 พิกัด 5,200 มิลลิแอมป์ชั่วโมง	19
3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง	20
3.2 วงจรภายในของเครื่องวัดระยะห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง	21
3.3 หลักการทำงานของภาคส่งและภาครับ	22
3.4 วงจรตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง	23
3.5 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับ Arduino UNO	24
3.6 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับ Arduino UNO	24
3.7 การเชื่อมต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO	25
3.8 การเชื่อมต่อแผงวงจร I2C กับ Arduino UNO	26
3.9 หน้าจอเริ่มต้นการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้อง	26
3.10 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้อง	28
3.11 โครงสร้างภายนอกของเครื่องวัดขนาดห้อง	29
3.12 โครงสร้างภายในของเครื่องวัดขนาดห้อง	30
3.13 หน้าจอแสดงระยะความยาวในโหมด Length	31
3.14 หน้าจอแสดงระยะความยาวในหน่วยเซนติเมตร	32
3.15 หน้าจอแสดงระยะความยาวในโหมด Area	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 หน้าจอแสดงระยะความกว้างใน โมด Area	33
3.17 หน้าจอแสดงค่าของพื้นที่ในหน่วยตารางเมตร	33
3.18 หน้าจอแสดงค่าของพื้นที่ในหน่วยตารางเซนติเมตร	34
3.19 หน้าจอแสดงระยะความยาวใน โมด Volume	34
3.20 หน้าจอแสดงระยะความกว้างใน โมด Volume	35
3.21 หน้าจอแสดงระยะความสูงใน โมด Volume	35
3.22 หน้าจอแสดงค่าของปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เมตร	36
3.23 หน้าจอแสดงค่าของปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร	36
4.1 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับผนังคอนกรีต	38
4.2 เปร้เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับผนังคอนกรีต	40
4.3 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวไม้	41
4.4 เปร้เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับพื้นผิวไม้	43
4.5 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นกล่องกระดาษ	44
4.6 เปร้เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับพื้นกล่องกระดาษ	46
4.7 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวโค้ง	47
4.8 เปร้เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับพื้นผิวโค้ง	48
4.9 การทดสอบค่าความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง	52
4.10 เปร้เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ตามท้องตลาดมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระยะห่าง วัดพื้นที่ หรือวัดปริมาตรหลายรูปแบบและราคาที่แตกต่างกัน ซึ่งในเวลาที่ใช้งานจะต้องเริ่มวัดจากด้านใดด้านหนึ่งของพื้นที่ที่ทำการวัดและถ้ามีอุปกรณ์หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆอยู่ในพื้นที่ก็จะทำให้การวัดไม่สะดวก ซึ่งมีอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมค่อนข้างสูงคือ ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงโดยการสะท้อนของคลื่นเสียงเพื่อวัดขนาด แต่ในท้องตลาดอุปกรณ์ชนิดนี้มีข้อจำกัดที่ว่าสามารถวัดได้ในทิศทางเดียวและราคาค่อนข้างสูง

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและนำความรู้เรื่องคลื่นความถี่เหนือเสียง ซึ่งอาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปยังเป้าหมายทำให้ทราบถึงขนาดของพื้นที่เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดทำเครื่องวัดขนาดห้องโดยใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงที่วัดได้สองทิศทาง ทำให้สะดวกสบายแก่การวัด ไม่ต้องวัดที่มุมใดมุมหนึ่งและนำค่าที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ประมวลผลซึ่งทำให้เราทราบถึงระยะห่าง ขนาด พื้นที่ของห้อง ได้อย่างถูกต้องและมีความละเอียดยิ่งขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดห้องแบบ 2 ทิศทาง โดยสามารถวัดระยะห่าง พื้นที่ และปริมาตรของห้องได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง 2 ทิศทาง
- 2) ใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงวัดระยะทางในช่วง 3 เซนติเมตร ถึง 5 เมตร
- 3) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ในการประมวลผล
- 4) แสดงผลออกมาเป็นระยะห่าง พื้นที่ และปริมาตรของห้อง
- 5) สามารถวัดความกว้าง ความยาวหรือความสูงของห้อง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

เครื่องมือวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง ที่สร้างขึ้นมาในโครงการสามารถวัดได้ทั้งระยะห่าง พื้นที่ และปริมาตรที่มีความถูกต้อง สะดวกเวลาใช้งานและแสดงผลได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างเพื่อคำนวณหาพื้นที่ของห้องได้

1.6 งบประมาณ

1) ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง 2 ตัว	700 บาท
2) ชุดวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO	350 บาท
3) จอแสดงผลแอลซีดี	200 บาท
4) แบตเตอรี่สำรองพกพา ขนาด 5,200 มิลลิแอมป์ชั่วโมง, 5 โวลต์	250 บาท
5) ตัววัดระดับน้ำ 3 ระดับ	200 บาท
6) อุปกรณ์ในการต่อวงจร	500 บาท
7) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญาบัตร	800 บาท
รวมทั้งสิ้นเป็นเงิน (สามพันบาทถ้วน)	<u>3,000 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง ประกอบด้วยธรรมชาติของเสียง คลื่นความถี่เหนือเสียง ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ไมโครคอนโทรลเลอร์ จอแสดงผลแอลซีดี และแบตเตอรี่สำรองพกพา

2.1 ธรรมชาติของเสียง

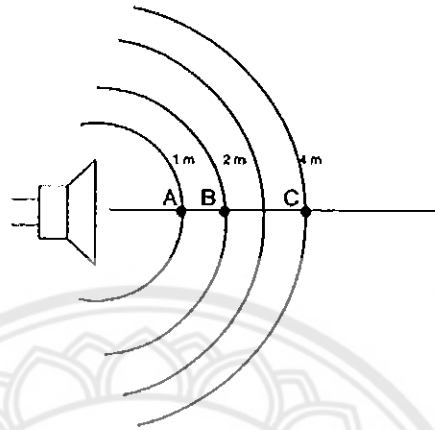
เสียงเป็นการถ่ายทอดพลังงานที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ เช่น การสั่นของส้อมเสียง สายกีตาร์ สายไวโอลิน ทำให้โมเลกุลของอากาศข้างเคียงได้รับพลังงานแล้วเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือออสซิลเลต คลื่นเสียงเป็นคลื่นกล หมายความว่า เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่เช่น ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ ดังนั้นคลื่นเสียงไม่สามารถส่งผ่านสุญญากาศได้ นอกจากนี้คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal wave) เพราะว่าโมเลกุลของตัวกลางเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นช่วงอัดและช่วงขยาย

เสียงจะเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางในลักษณะเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของเกลียวสปริง นั่นคือมีการถ่ายเทพลังงานเสียงจากแหล่งกำเนิดให้กับ โมเลกุลตัวกลางที่อยู่รอบๆ ทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการสั่นสะเทือน การเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศทำให้มีบางบริเวณมีโมเลกุลอากาศอยู่หนาแน่น นั่นคือความดันอากาศบริเวณนั้นสูงกว่าปกติเรียกว่า ส่วนอัด และบางบริเวณมีโมเลกุลของอากาศอยู่เบาบาง นั่นคือความดันอากาศบริเวณนั้นต่ำกว่าปกติเรียกว่าส่วนขยายทั้ง 2 ส่วนเกิดสลับกันเป็นช่วงๆและเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถึงแหล่งรับเสียงระยะห่างระหว่างส่วนอัด 2 ส่วนหรือส่วนขยาย 2 ส่วนที่อยู่ติดกันเรียกว่าความยาวคลื่นเสียง

ธรรมชาติของเสียง หมายถึง คุณสมบัติเฉพาะตัวของเสียงที่ทำให้สามารถจำแนกความแตกต่างของเสียงได้ ความแตกต่างของเสียงมีอยู่ด้วยกัน 3 ประการ คือ

1) ระดับเสียง (Pitch) คือ ความสูงต่ำของความถี่เสียงขึ้นกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่สูงจะทำให้เสียงแหลมและเสียงความถี่ต่ำจะให้เสียงทุ้ม โดยปกติหูของมนุษย์สามารถรับฟังเสียงในช่วงความถี่ 20 - 20,000 เฮิรตซ์ เสียงที่มีความถี่ต่ำหรือสูงกว่านี้จะไม่สามารถรับฟังได้ เรียกเสียงที่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ ว่าคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงียบ และเรียกเสียงที่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ ว่า อินฟราโซนิค (Infrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงียบเช่นกัน

2) ความดังของเสียง (Loudness) วัดได้จากความเข้มเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร นั่นคือกำลังของเสียงที่ไปตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่ที่รองรับ 1 ตารางหน่วย เสียงจะดังหรือค่อย ขึ้นกับแอมพลิจูด เสียงดังมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าเสียงค่อย แหล่งกำเนิดเสียง มักให้คลื่นออกมามีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลมและกำลังเสียงของแหล่งกำเนิดมีค่าคงที่ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดเสียงที่มีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม [1]

ความเข้มเสียง ณ จุดใดๆ ก็คือกำลังงานของเสียงที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ I เป็นความเข้มของเสียง P เป็นพลังงานของเสียง A เป็นพื้นที่รองรับกำลังงานของเสียง เมื่อพื้นที่เป็นทรงกลม จะได้ $A = 4\pi R^2$ โดย R เป็นรัศมีของวงกลม ถ้าไม่มีการดูดกลืนกำลังของเสียงที่ออกมาจากต้นกำเนิดก็จะทำให้ได้ว่าค่า P ในสมการที่ (2.1) ตรงบริเวณของผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงก็จะเป็นปริมาณเดียวกัน

เนื่องจากกำลังก็คือค่าของพลังงานต่อเวลา ดังนั้นถ้าให้ E เป็นพลังงานของเสียงที่ทำการแผ่ออกมาหาผู้สังเกตในเวลา t วินาทีและต้นกำเนิดกระจายเสียงเป็นรูปทรงกลมโดยผู้สังเกตยืนห่างจากต้นกำเนิดเป็นระยะ R ก็จะทำให้เขียนสมการความเข้มของเสียงได้ว่า

$$I = \frac{E}{4\pi R^2 t} \quad (2.2)$$

ปริมาณที่ใช้บอกถึงความดังของเสียงอีกปริมาณหนึ่ง คือ ระดับความเข้มของเสียง โดยกำหนดว่าระดับความเข้มเสียงที่มีความเข้มเป็น I มีค่าเป็น β โดยที่

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

เมื่อเป็นระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบล I เป็นความเข้มเสียง และ I_0 เป็นระดับความเข้มเสียงที่น้อยที่สุดที่หูมนุษย์สามารถได้ยินหรือ I_0 เท่ากับ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร ระดับความเข้มของเสียงที่น้อยที่สุดที่ประสาทหูของคนเราจะรับรู้ได้มีค่าเป็น 0 เดซิเบล และระดับความเข้มที่มากที่สุดที่หูของคนเรารับฟังได้โดยไม่เป็นอันตรายมีค่าเป็น 120 เดซิเบล

3) คุณภาพของเสียง (Quality) คือลักษณะเฉพาะตัวของแหล่งกำเนิดเสียง มิได้หมายถึงเสียงหรือไม่ดีคุณภาพเสียงแต่ละคนแตกต่างกันด้วย เพราะแต่ละคนมีแหล่งกำเนิดเสียงที่สั้นด้วยความถี่ต่างกัน

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นตามยาวต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงจึงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ ความหนาแน่น สมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลางและอุณหภูมิของตัวกลางนั้นๆ โดยอัตราเร็วของเสียงในอากาศน้อยกว่าอัตราเร็วของเสียงในของเหลวน้อยกว่าอัตราเร็วของเสียงในของแข็งตามลำดับ

อัตราเร็วของเสียงในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สำหรับตัวกลางที่เป็นอากาศจะได้ว่าอัตราเร็วของเสียงในหน่วยเมตรต่อวินาที มีค่าแปรผันตรงกับรากอันดับที่สองของอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส เมื่อให้ v เป็นอัตราเร็วของเสียงในหน่วยของเมตรต่อวินาที T_K เป็นอุณหภูมิของอากาศในหน่วยเคลวิน ดังสมการ

$$v \propto \sqrt{T_K}$$

ถ้าให้ k เป็นค่าคงที่ของการแปรผัน ก็สามารถเขียนสมการข้างบนได้ว่า

$$v = k \sqrt{T_K} \quad (2.4)$$

ที่ความดันปกติอัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 331 เมตรต่อวินาที เมื่อ T_C เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส ได้ความสัมพันธ์ของ T_C และ T_K ดังสมการ

$$T_K = T_C + 273 \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) ที่ 0 องศาเซลเซียสจะได้

$$331 = k \sqrt{273} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.4) ถ้าให้ v_i เป็นอัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T ใดๆ จะได้

$$v_i = k \sqrt{T_C + 273} \quad (2.7)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.6) ไปหารสมการที่ (2.7) จะได้

$$\frac{331}{v_t} = \sqrt{\frac{T_c + 273}{273}}$$

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{T_c}{273}} \quad (2.8)$$

เมื่อกระจายพจน์ที่เป็นรากที่ 2 โดยใช้ทฤษฎีทวินาม $(1+x)^n \approx 1+nx$ เมื่อ $|x| \ll 1$ จะได้

$$\sqrt{1 + \frac{T_c}{273}} \approx 1 + \frac{T_c}{546} \quad (2.9)$$

เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.9) ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$v_t = 331 + \frac{T_c}{546} \quad (2.10)$$

เนื่องจาก $\frac{331}{546}$ มีค่าเท่ากับ 0.6 จึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียงในอากาศกับ อุณหภูมิเป็นดังสมการ

$$v_t = 331 + 0.5T_c \quad (2.11)$$

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น ดังนั้นสมการอัตราเร็วของเสียงจึงเหมือนสมการคลื่นทั่ว ๆ ไป คือ

$$v = f\lambda \quad (2.12)$$

เมื่อ v เป็นความเร็ว (เมตรต่อวินาที) f เป็นความถี่ (เฮิรตซ์) และ λ เป็นความยาวคลื่น (เมตร)

2.2 คลื่นความถี่เหนือเสียง

ระบบคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 กิโลเฮิร์ตซ์เท่านั้น ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าคลื่นความถี่เหนือเสียงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่าน คลื่นความถี่เหนือเสียงมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่สามารถกำหนดการส่งคลื่น ไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 เฮิร์ตซ์ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1,000 กิโลเมตร ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง โดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านคลื่นความถี่เหนือเสียง อย่างเช่น 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จะมีความยาวคลื่นในอากาศได้เพียงประมาณ 8 มิลลิเมตร เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มาก คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบหรือที่เราเรียกว่ามีทิศทาง

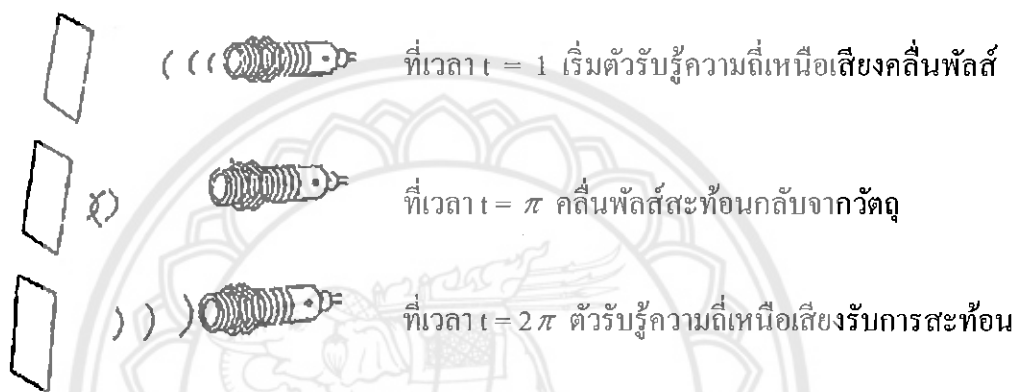
การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านคลื่นความถี่เหนือเสียงทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น การนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) โดยให้น้ำสั้นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุ โดยส่งกระแยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเลเป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพราะที่ความถี่สูงขึ้นไปนี้ อากาศจะดูดคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการให้รังสีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10 เมกะเฮิร์ตซ์ ขณะที่ความถี่เป็น จิกะเฮิร์ตซ์ (10^9 เฮิร์ตซ์) ก็มีใช้กัน ในหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่าน ไม่ใช่อากาศอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่น ให้มาเป็นพลังงานทางกล โดยการสั้นไปมาซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านคลื่นความถี่เหนือเสียง กระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้

2.2.1 หน้าที่และการทำงานของคลื่นความถี่ด้วยเสียง

คลื่นความถี่เหนือเสียงจะส่งสัญญาณพัลส์ของพลังงานซึ่งเป็นการเดินทางของความเร็วเสียง การลดทอนของพลังงานที่ถูกสะท้อนกลับมาจากวัตถุเสียงนี้เป็นการสะท้อนกลับจากวัตถุแล้วเดินทางกลับไปยังตัวรับรู้ โดยการตรวจจับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปกลับของเสียงเมื่อมีการตกกระทบจากวัตถุแล้วนำมาคำนวณเป็นระยะทาง

มักจะใช้เป็นภาครับและภาคส่ง อาจมีระบบซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ แยกกันอยู่ 2 ส่วน ในระหว่างการทำงานของตัวรับรู้จะทำการส่งสัญญาณเสียงซึ่งเรียกว่า “ซาวด์พาร์เซลส์” (Sound parcels) ให้ขบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ของเวลาทำงานไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีการรับการสะท้อนครั้งแรกเกิดขึ้น

วงจรส่งผ่าน-รับ สำหรับการทำงานเป็นวงจรของคลื่นความถี่เหนือเสียง จะส่งผ่านคลื่นพัลส์เสียงในช่วงเวลาสม่ำเสมอ หรือช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง คลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปจะถูกสะท้อนได้โดยวัตถุที่เหมาะสม และระบบการทำงานจะรับการสะท้อนของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมา ความกว้างของคลื่นพัลส์ของเสียงอยู่ในช่วง 2.2 ไมโครวินาทีดังรูปที่ 2.2

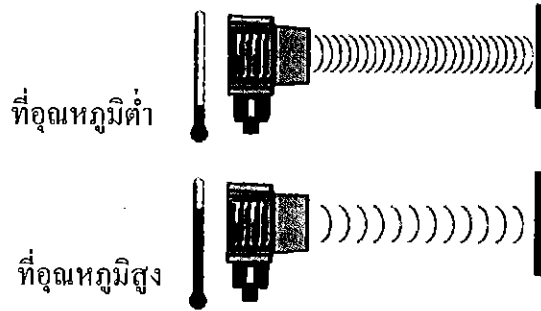


รูปที่ 2.2 วงจรส่งผ่าน/รับการทำงาน of คลื่นความถี่เหนือเสียง [2]

เนื่องจากขบวนการดำเนินไปตามเวลาที่คลื่นสะท้อนเดินทางไม่ใช่เป็นไปตามความเข้มของคลื่นสะท้อน จึงจัดได้ว่าคลื่นความถี่เหนือเสียง มีข้อดีเหนือกว่าตัวรับรู้ที่อาศัยหลักการส่งและรับแสง (Optical sensor) เวลาที่คลื่นสะท้อนการเดินทางจะทำให้ขบวนการดำเนินโดยไม่ขึ้นกับความเข้มของคลื่นสะท้อน ตราบเท่าที่วัตถุยังคงสะท้อนคลื่นที่สามารถตรวจจับได้ออกมา ดังนั้นคุณลักษณะการสวิตช์ไม่เปลี่ยนไป แม้ในสภาวะที่การสะท้อนเป็นไปอย่างไม่ดีคลื่นสะท้อนที่อ่อนจะมีผลต่อความถูกต้องในการตรวจจับวัตถุ ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถทำการตรวจจับวัตถุได้เลย ความเร็วที่เปลี่ยนไปของคลื่นพัลส์ของเสียง มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์ (ระยะทาง) โดยตรงตัวรับรู้ทำงานด้วยวงจรเวลาที่คงที่ (เช่น $t = 20$ มิลลิวินาที) จะส่งคลื่นเสียงออกมาอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นวงจรเวลาจะเป็นตัวกำหนดช่วงและวงจรการทำงานของสวิตช์ของตัวรับรู้

2.2.2 ผลกระทบกับอุณหภูมิ

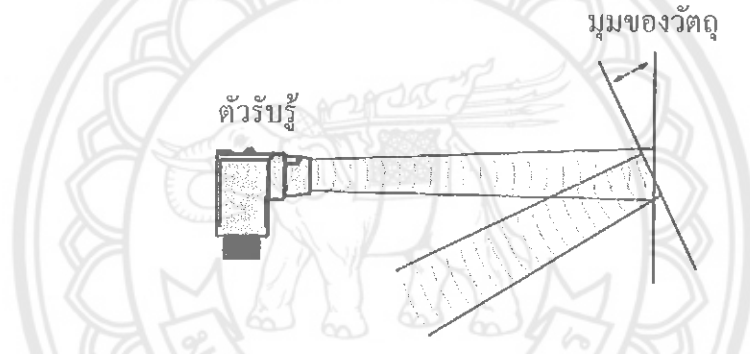
ความไวของเสียงขึ้นอยู่กับแรงดันและอุณหภูมิของก๊าซที่เสียงเดินทางผ่าน ในการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงใหญ่องค์ประกอบอื่นๆ และแรงดันของก๊าซจะถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กัน ในขณะที่อุณหภูมิไม่ได้ถูกกำหนดไว้ โดยความไวของเสียงจะเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาฟาเรนไฮต์ (6 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ [3]

2.2.3 มุมของวัตถุ

วัตถุที่มีลักษณะแบนที่ตั้งกับแกนของลำแสงจะสะท้อนพลังงานเสียงไปยังตัวรับรู้ได้มากที่สุดดังรูปที่ 2.4 ดังนั้นถ้ามุมของวัตถุเพิ่มมากขึ้น พลังงานโดยรวมจะส่งกลับไปยังตัวรับรู้ได้น้อยลงสำหรับคลื่นความถี่เหนือเสียง ส่วนใหญ่มุมของวัตถุควรจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 องศา



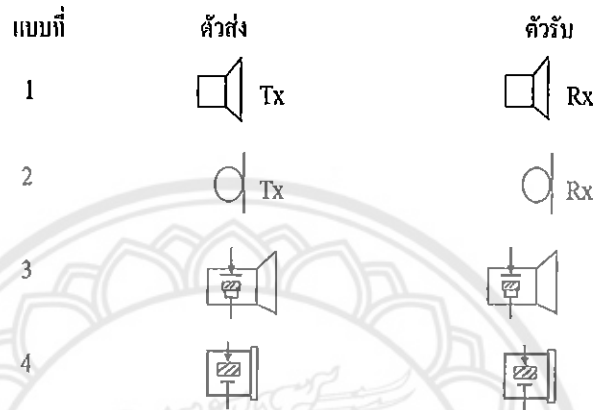
รูปที่ 2.4 มุมของวัตถุ [3]

2.2.4 ตัวรับและตัวส่ง

ตัวส่งคลื่นความถี่เหนือเสียง ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นคลื่นเสียงย่านความถี่เหนือเสียง เปรียบได้กับการทำงานเป็นลำโพงมีสัญญาณ เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของขั้วสารเซรามิค จะทำให้ขั้วสารโค้งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้นๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นกระจายออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาต์พุตที่ออกมาจะมีค่าประมาณ 10 เวย์ร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของขั้วสารเซรามิค ส่วนที่ความถี่อื่นกำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้มาก

โดยทั่วไปลักษณะปกติของตัวส่งคลื่นความถี่เหนือเสียงจะเปรียบเสมือนลำโพงส่งสัญญาณเสียงและตัวรับจะมีลักษณะเหมือนไมโครโฟน ดังนั้นสัญญาณที่ใช้จึงมีลักษณะคล้ายๆ กัน ตัวรับคลื่นความถี่เหนือเสียงที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณคลื่นเสียงย่านคลื่นความถี่เหนือเสียงที่มา

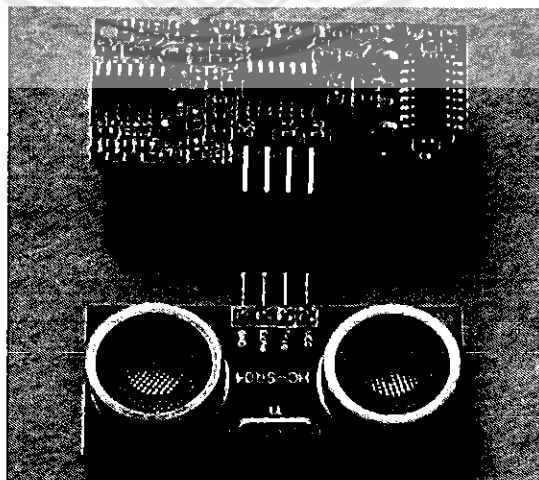
ตกกระทบตัวรับของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เปรียบได้กับการทำงานเป็นไมโครโฟนมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.5 เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์เข้ามากระทบชิ้นสารเซรามิก จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมาทำให้เกิดสัญญาณแรงดันขนาดเล็กตกคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ ลักษณะปกติของตัวส่งและตัวรับคลื่นความถี่เหนือเสียงจะเปรียบเสมือนลำโพงส่งสัญญาณเสียงและตัวรับจะมีลักษณะเหมือนไมโครโฟน ดังนั้นสัญลักษณ์ที่ใช้จึงมีลักษณะคล้ายๆกันซึ่งมีหลายแบบ



รูปที่ 2.5 การเขียนสัญลักษณ์ของคลื่นความถี่เหนือเสียงแบบต่างๆกัน [3]

2.3 ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงเป็นแผงวงจรตรวจจับและวัดระยะทางด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียงที่มีความเที่ยงตรงสูงโดยสามารถวัดระยะได้ตั้งแต่ 3 เซนติเมตรไปจนถึง 5 เมตร ถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงมีจุดต่อใช้งานอยู่ทั้งหมด 4 จุด ดังรูปที่ 2.6

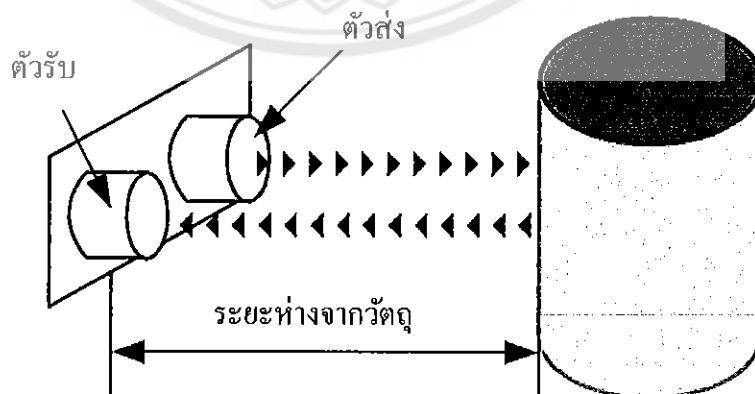


รูปที่ 2.6 แผงวงจรตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

ที่มา: <http://www.mechashop.com>

- 1) ขาไฟเลี้ยง (+5 โวลต์) สำหรับต่อ ไปเลี้ยงแรงดัน +5 โวลต์
- 2) ขารับสัญญาณสะท้อน (Echo) เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจากตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ซึ่งการใช้งานจะนำขานี้ไปต่อเข้ากับพอร์ตอินพุตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจจับความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งออก เพื่อแปลความหมายออกมาเป็นระยะทางอีกครั้งหนึ่ง
- 3) ขาส่งสัญญาณกระตุ้น (Trigger) เป็นขาอินพุตรับสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาที เพื่อไปกระตุ้นให้มีการสร้างคลื่นความถี่เหนือเสียงความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ออกสู่อากาศจากตัวส่ง ดังนั้นคลื่นความถี่ดังกล่าวไปกระทบสิ่งกีดขวางที่อยู่เบื้องหน้าก็จะเกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับและถูกแปลงออกมาเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่จะส่งออกไปทางขารับสัญญาณสะท้อน นอกจากนี้ ในโหมด 1 สัญญาณ จะใช้จุดนี้เป็นจุดส่งสัญญาณข้อมูลอนุกรมเพื่อรับค่าการวัดกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 4) ขา GND สำหรับต่อกราวด์

ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียงออกไป แล้ววัดระยะเวลาที่มีสัญญาณสะท้อนตอบกลับมาเอาต์พุตที่ได้จาก โมดูลตรวจจับและวัดระยะทางด้วย คลื่นความถี่เหนือเสียงจะอยู่ในรูปของความกว้างพัลส์ซึ่งสัมพันธ์กับระยะทางของวัตถุที่ตรวจจับ ได้สัญญาณความถี่ คือ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ถูกส่งออกไปในอากาศด้วยความเร็ว 1.125 ฟุตต่อมิลิวินาที (ประมาณ 346 เมตรต่อวินาที) ดังนั้นเมื่อทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น เวลาเริ่มต้นส่ง คลื่นและเวลารับเสียงสะท้อนกลับมาจึงสามารถคำนวณหาค่าของระยะทางได้ที่แสดงหลักการ ตรวจจับดังรูปที่ 2.7

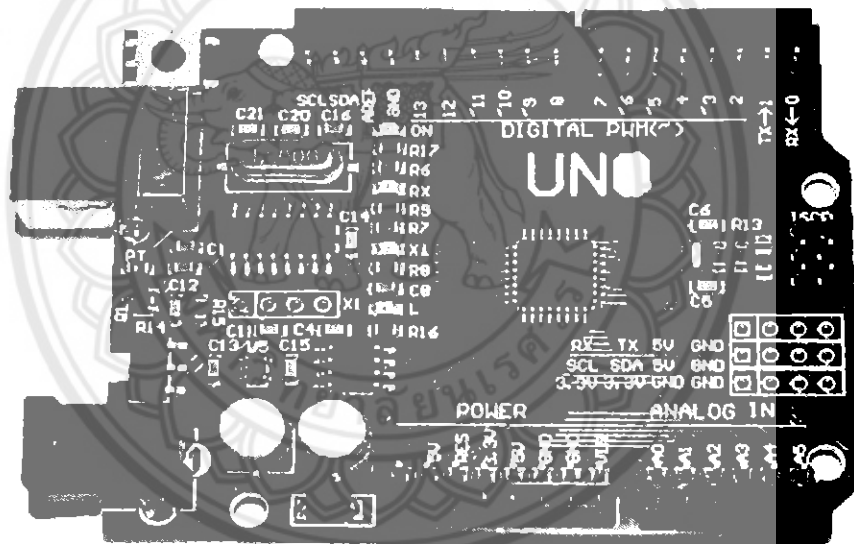


รูปที่ 2.7 หลักการตรวจจับวัตถุ โดยใช้สัญญาณความถี่เหนือเสียง

ที่มา: <http://narong.ee.engr.tu.ac.th>

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เลือกใช้วงจร Arduino จัดอยู่ในตระกูล AVR ขนาด 32 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข ATmega328P ดังรูปที่ 2.8 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) ของอินพุต/เอาต์พุต (I/O) ขั้นพื้นฐานที่พอเพียงกับการใช้งาน และการเรียนรู้ โดยตัวแผงวงจรมีชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ไม่ว่าจะเป็นพอร์ต ดิจิตอล พอร์ตแอนะล็อกพีดีบีเบิลยูเอ็มและพอร์ตอนุกรมซึ่งแผงวงจร Arduino ทำให้คอมพิวเตอร์ สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณ ไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวแผงวงจรออกแบบจากไมโครคอมพิวเตอร์ชิป เดี่ยวและมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้แผงวงจร Arduino สามารถรับสัญญาณจาก สวิตช์หรือตัวรับรู้และควบคุมหลอดไฟมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆแผงวงจร Arduino สามารถ ทำงานอิสระหรือทำงานติดต่อกับ โปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์



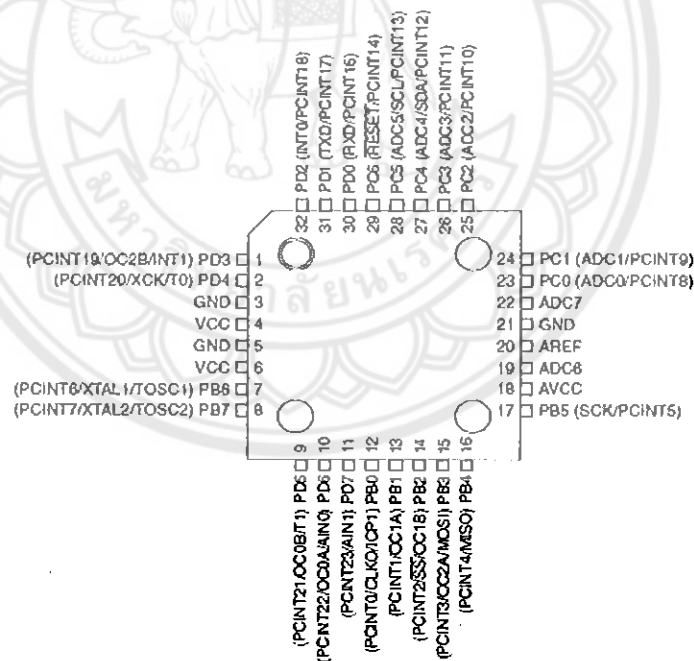
รูปที่ 2.8 แผงวงจร Arduino

ที่มา: <http://www.arduinoall.com/>

แผงวงจร Arduino ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากการออกแบบคำสั่งต่างๆเพื่อสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนคือเน้นการโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก แผงวงจร Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ AVR ขนาด เล็กซึ่งเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ต่างๆได้มากมายทั้งในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ

เช่น คอมพิวเตอร์ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตต่างๆ ได้มากมาย ทั้งแบบดิจิทัล (Digital) และแอนะล็อก (Analog) เช่น การรับค่าจากสวิตช์หรือตัวรับรู้แบบต่างๆ รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ ส่วนภาษาในการเขียนโปรแกรมลงบนแผงวงจร Arduino นั้นใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่ง ที่มีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) แต่ได้มีการปรับปรุงการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่ผิดเพี้ยนไปจากภาษาซีมาตรฐาน เล็กน้อย เพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและยังสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C โดยตรง

ตัวแผงวงจร Arduino ที่ใช้ในโครงการนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของเอวีอาร์ (AVR) ขนาด 8 บิต โดยเป็นซีพียูแบบ RISC (Reduced InstructionSet Computer) มีสถาปัตยกรรมการต่อหน่วยความจำแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันโดยเด็ดขาดดังรูปที่ 2.9 โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรม และใช้หน่วยความจำแบบสแตติกสำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำรวม ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่ต้องมีไฟเลี้ยงอีกด้วย



รูปที่ 2.9 หน่วยประมวลผลกลาง ATmega328P ขนาด 32 ขา

ที่มา: <http://www.voltrans.az>

2.5 จอแสดงผลแอลซีดี

จอแสดงผลแอลซีดีเป็นจอแสดงผลแบบแบน สร้างจากพิกเซลสีหรือพิกเซลโมโนโครมจำนวนมากที่เรียงอยู่ด้านหลังของแหล่งกำเนิดแสงหรือตัวสะท้อนแสง ในการออกแบบส่วนแสดงผลจึงเลือกใช้ จอแอลซีดีขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแสดงผลได้ทั้งข้อความ ตัวเลขเครื่องหมาย และสัญลักษณ์ ซึ่งในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นก็สามารถทำได้ง่ายโดยการเชื่อมต่อตำแหน่งของขาจอแสดงผลแอลซีดีได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 จอแสดงผลแอลซีดี ขนาด 16 x 2 [7]

2.5.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของจอแสดงผลแอลซีดี

โครงสร้างของจอแสดงผลแอลซีดี ทั่วไปประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6 - 10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษรตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบเรียกว่าการจัดชั้นและผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปนั้นเป็นแบบแม่เหล็ก โดยจอแสดงผลแอลซีดีสามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

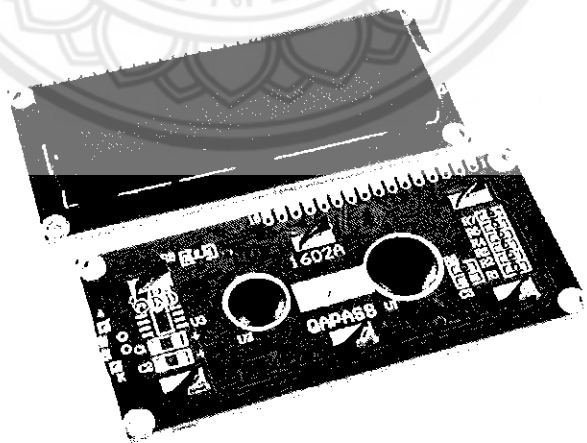
- แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective mode) แอลซีดีแบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของแอลซีดี ซึ่งแอลซีดีประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
- แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive mode) แอลซีดีแบบนี้วางหลอดไฟไว้ทางด้านหลังของจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน
- แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective mode) แอลซีดีแบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของหน้าจจอแสดงผลแอลซีดีทั้ง 2 แบบมารวมกัน

2.5.2 การต่อจอแสดงผลแอลซีดี

จอแสดงผลแอลซีดี 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดที่นิยมวางจำหน่ายจะมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ แอลซีดีแบบปกติที่เชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel) และแอลซีดีแบบที่เชื่อมต่ออนุกรม (Serial) แบบ I2C โดยทั้ง 2 แบบตัวจอดีมีลักษณะเดียวกันเพียงแต่แบบ I2C จะมีแผงวงจรเสริมทำให้สื่อสารแบบ I2C ได้เชื่อมต่อได้สะดวกขึ้น

1) แบบขนานมี 16 ขาการควบคุมการแสดงผลของแอลซีดีในการควบคุมหรือสั่งงานตัวจอแอลซีดีนั้นมีส่วนควบคุม รวมไว้ในตัวดังรูปที่ 2.11 ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอแอลซีดี ผ่านส่วนควบคุมว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร โดยจอแอลซีดีควบคุมของจอตัวนี้เป็นฮิตาชิ หมายเลข HD44780 และขาในการเชื่อมต่อระหว่างจอแอลซีดีกับไมโครคอนโทรลเลอร์ดังตารางที่ 2.1

- GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่าง กราวด์ ของระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอแอลซีดี
- VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับจอแสดงผลแอลซีดี ขนาด +5 โวลต์
- VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอแสดงผลแอลซีดี
- RS ใช้บอกให้แอลซีดี ทราบว่าคำสั่งที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- R/W ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับการควบคุมจอแอลซีดี
- E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับแอลซีดี
- DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่งกับแอลซีดี



รูปที่ 2.11 จอแสดงผลแอลซีดี 16 x 2 แบบขนาน [7]

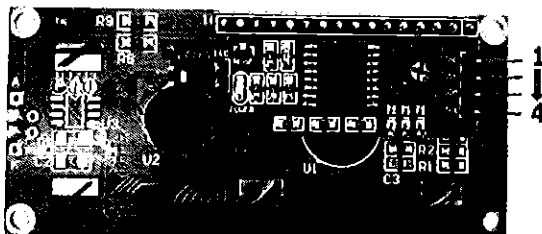
ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งขาของจอแอลซีดี 16 x 2 แบบขนาน [7]

หมายเลขขา	สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	VSS/GND	กราวด์
2	VDD	ไฟเลี้ยง +5 โวลต์
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	DB0	Data Pin 8-bit
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LED)+ เป็นขา VCC สำหรับ LED backlight (5 โวลต์)
16	K	(LED)- เป็นขา GND สำหรับ LED backlight (กราวด์)

2) แบบ I2C มี 4 ขา การควบคุมการแสดงผลของจอแอลซีดี (I2C) ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอแอลซีดีมีส่วนควบคุมอยู่ในตัวดังรูปที่ 2.12 ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอแอลซีดี (I2C) เช่นเดียวกันกับจอแอลซีดี แบบธรรมดา พุดง่าย ๆ คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงจอแอลซีดี 16 x 2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้นดังตารางที่ 2.2

- GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับแอลซีดี

- VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับแอลซีดีมีขนาด +5 โวลต์
- SDA (Serial data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
- SCL (Serial clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 2.12 ด้านหลังจอแอลซีดี 16 x 2 แบบ I2C [7]

ตารางที่ 2.2 ตำแหน่งขาของจอแอลซีดี 16 x 2 แบบ I2C [7]

หมายเลขขา	สัญลักษณ์	รายละเอียด
1	GND	กราวด์
2	VCC	ไฟเลี้ยง +5 โวลต์
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

2.6 แบตเตอรี่สำรองพกพา

2.6.1 ข้อมูลเชิงเทคนิค

- ความจุแบตเตอรี่ 5,200 มิลลิแอมป์ชั่วโมง
- ประเภทแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
- สีขาว ดำ ฟ้ำ ชมพู เขียว ส้ม
- อินพุต 5 โวลต์ 0.8 แอมป์ เอาท์พุต 5 โวลต์ 1 แอมป์
- ใช้เวลาอัดประจุ 5 - 6 ชั่วโมง
- อายุการใช้งาน อัดประจุเต็มได้ถึง 800 ครั้ง
- ขนาด 95 x 43 x 23 มิลลิเมตร
- น้ำหนัก 113 กรัม

2.6.2 คุณสมบัติพิเศษ

- มีไฟแอลอีดีแสดงสถานะไฟคงเหลือ 4 ซีด (25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์)
- ขนาดเล็กมาก มีน้ำหนักเบา พกง่าย
- รองรับทุกอุปกรณ์ที่อัดประจุไฟผ่านพอร์ตยูเอสบี
- มีระบบป้องกันและตัดไฟเมื่ออัดประจุไฟเต็มแล้ว



รูปที่ 2.13 แบตเตอรี่สำรองพกพา ยี่ห้อ GOLF รุ่น GF - 208 พิกัด 5,200 มิลลิแอมป์ชั่วโมง [8]

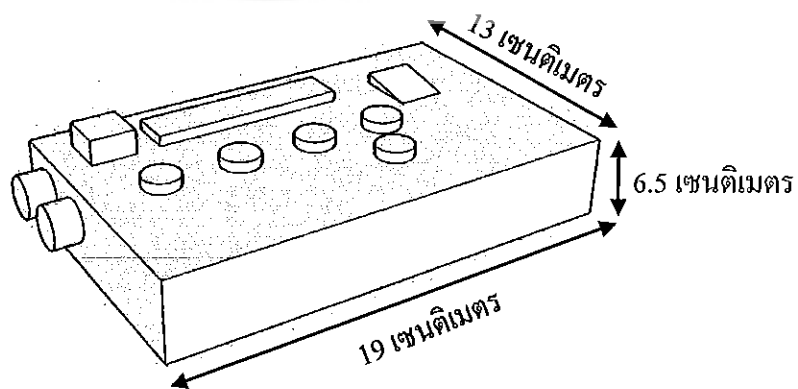
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดห้อง

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือภาคส่งและภาครับคลื่นความถี่เหนือเสียง มีหลักการทำงานคือ ตัวส่งคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic transmitter) จะแปลงพลังงานไฟฟ้า จากการส่งสัญญาณพัลส์ ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ (ความถี่เรโซแนนซ์ของตัวส่งคลื่นความถี่เหนือเสียง) เป็นคลื่นเสียงส่งออกไปในอากาศ เมื่อคลื่นนี้เคลื่อนที่ไปกระทบวัตถุหรือตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบเปลี่ยนไป คลื่นจะสะท้อนกลับมายังตัวรับคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic receiver) คลื่นเสียงที่รับได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแต่มีขนาดเล็ก จึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณหาระยะทางจากการที่คลื่นใช้ระยะเวลาหนึ่งในการส่งและสะท้อนกลับและแสดงผลออกทางจอแอลซีดี

3.1 การออกแบบโครงสร้าง

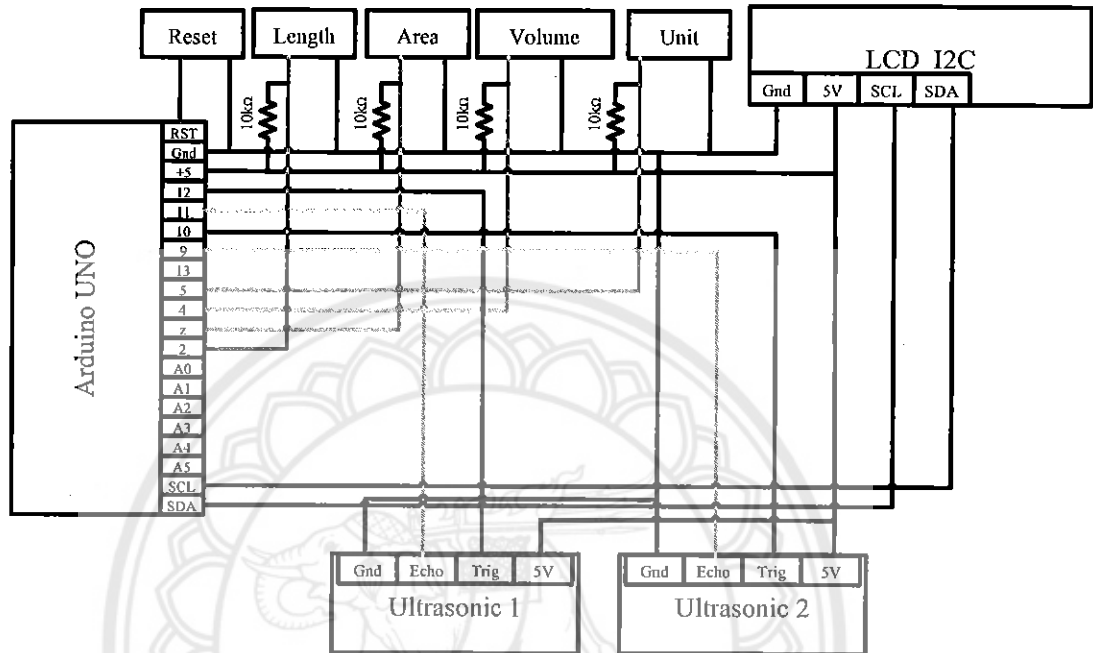
การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียงเป็นการออกแบบเพื่อใช้งานร่วมกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง 2 หัว เพื่อทำการวัดระยะห่างของทั้ง 2 ฝั่ง แล้วนำมาคำนวณหาระยะห่าง โดยที่จะมีลักษณะเป็นกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมและใช้วัสดุเป็นพลาสติกกันน้ำ และด้านบนของกล่องจะมีในส่วนของหน้าจอแสดงผลแอลซีดี และปุ่มฟังก์ชันในการทำงานกับปุ่มเปิด - ปิดของเครื่องวัดขนาดห้อง โดยมีขนาดของชิ้นงานตัวฐานได้ถูกออกแบบให้มีขนาดกว้าง 13 เซนติเมตร ยาว 19 เซนติเมตร สูง 6.5 เซนติเมตร โครงสร้างของเครื่องวัดขนาดห้องดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง

3.2 การออกแบบระบบการทำงาน

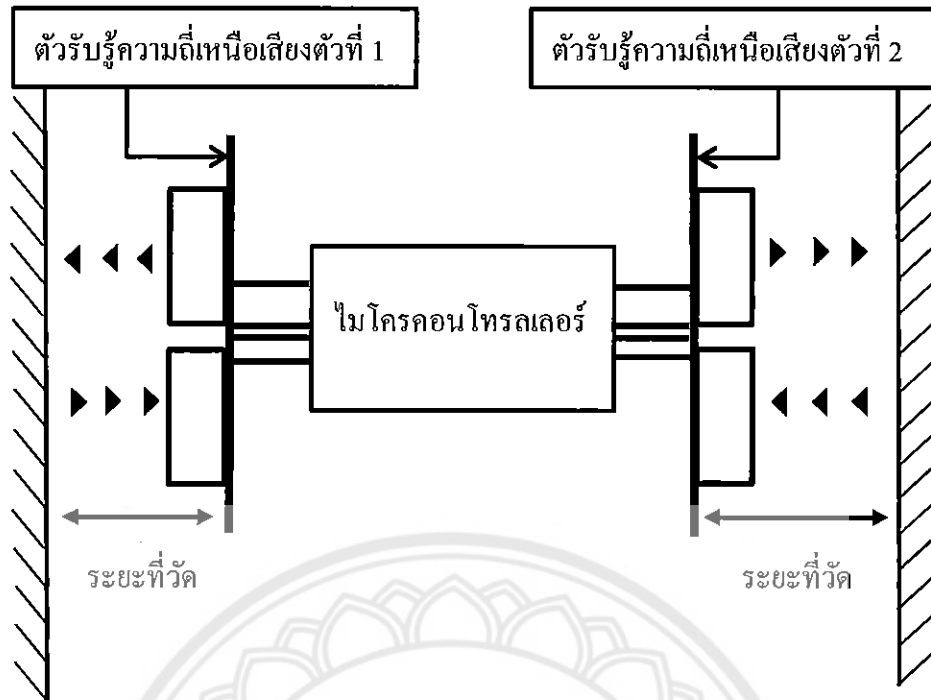
การทำงานพื้นฐานของเครื่องวัดขนาดห้องถูกออกแบบให้มีการวัดขนาดทั้งด้านหน้าและด้านหลังไปพร้อมๆกัน โดยมีการคำนวณระยะห่าง พื้นที่ และปริมาตรของห้องได้โดยมีปุ่มฟังก์ชันให้เลือก ในการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้องนั้นจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ภาคส่วนดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรภายในของเครื่องวัดระยะห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง

3.2.1 ภาครับและภาคส่ง

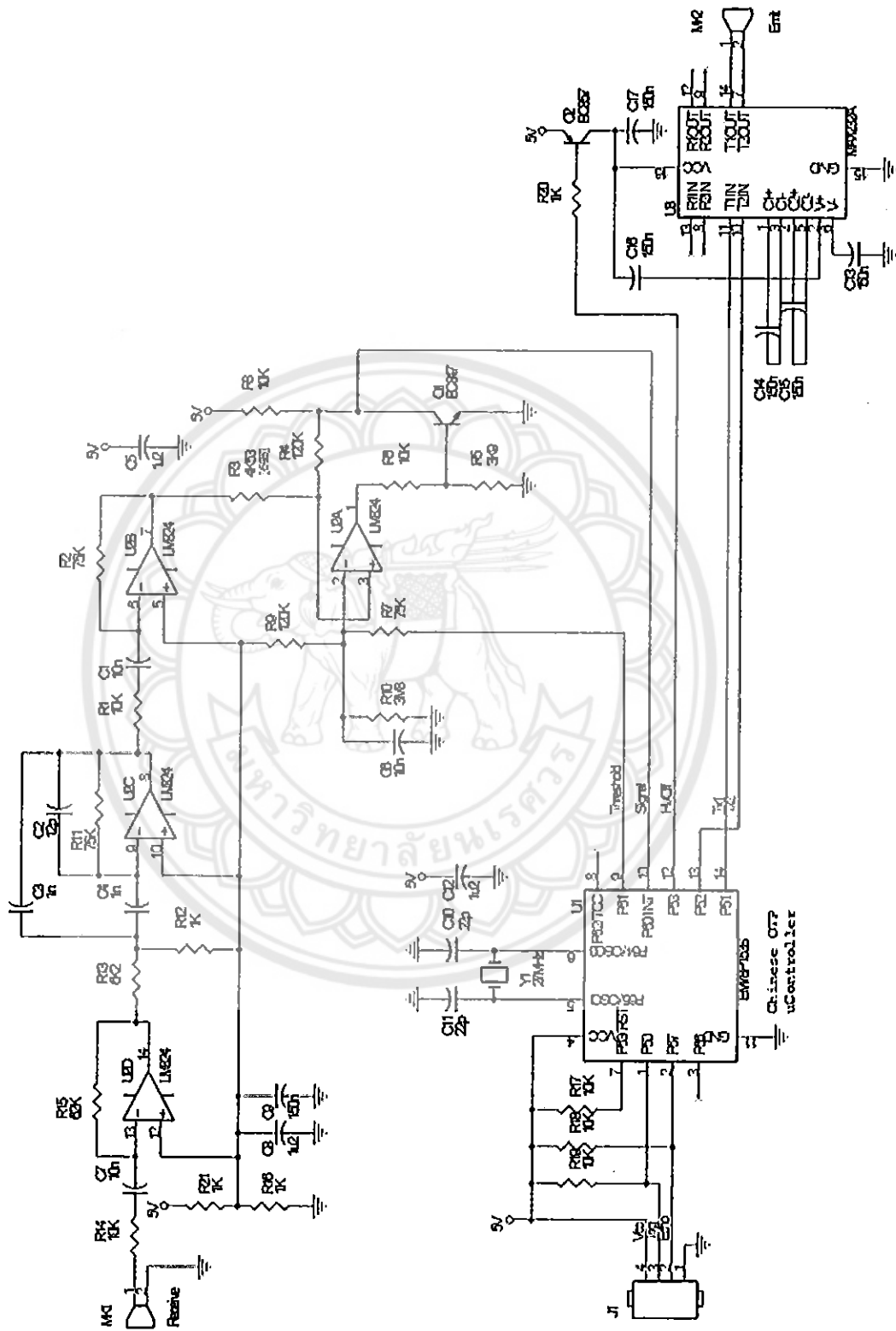
ในการทำงานของภาครับและส่งของเครื่องวัดขนาดห้องนั้น จะใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงสองตัวติดตั้งตรงส่วนหน้าและหลังของตัวเครื่อง ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงจะประกอบด้วยภาครับและส่ง ภาคส่งจะส่งสัญญาณคลื่นอินฟราเรดไปยังพื้นที่หรือผนังห้อง ในขณะที่เครื่องส่งสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียงไปข้างหน้าเพื่อให้คลื่นที่ส่งออกไปกระทบกับพื้นที่หรือผนังห้องที่ต้องการวัดระยะทาง เมื่อคลื่นได้กระทบกับพื้นที่หรือผนังห้องแล้วคลื่นจะสะท้อนกลับมา ภาครับจะทำหน้าที่รับคลื่นที่สะท้อนกลับมาแล้วส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล แสดงหลักการทำงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของภาคส่งและภาครับ

วงจรของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ในการวัดระยะห่างแต่ละครั้งจะต้องสร้างสัญญาณแบบลูกคลื่นที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาที ป้อนให้ขา Trig เป็นขาอินพุตรับสัญญาณพัลส์เพื่อกระตุ้นให้แหล่งกำเนิดสร้างคลื่นความถี่เหนือเสียงที่มีความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ออกไป 8 พัลส์ สู่อากาศจากตัวส่ง ในการส่งคลื่นความถี่เหนือเสียง จำเป็นต้องใช้แรงดันที่ค่อนข้างสูงจึงนำ max232 มาใช้ในการผลิตแรงดัน 10 โวลต์ จาก 5 โวลต์ โดยมีการรับสัญญาณมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ EM78P153S เพื่อให้ส่งสัญญาณออกมาทางขา Tx1 และ Tx2 เข้าสู่ไอซี max232 เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูล ให้สามารถส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น

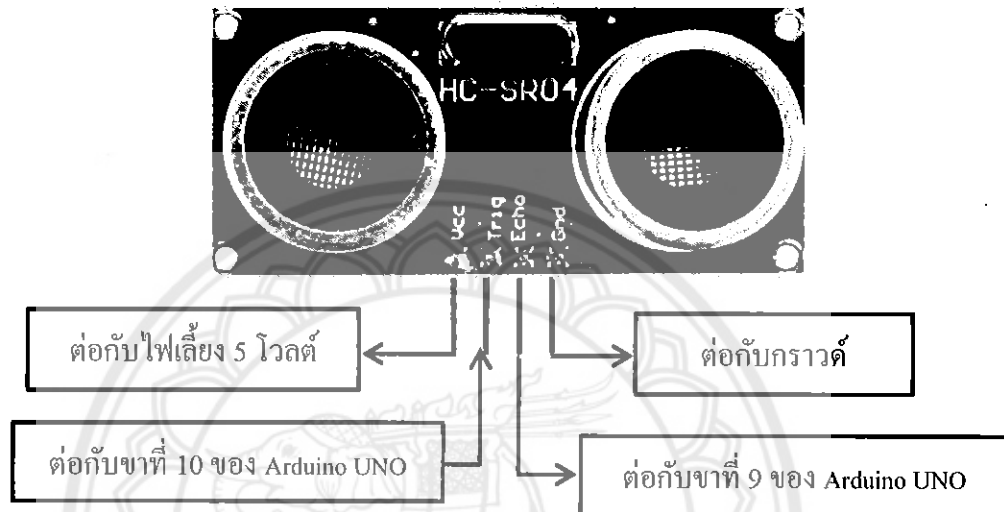
เมื่อคลื่นความถี่ดังกล่าวไปกระทบสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับโดยตัวรับจะเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแต่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้ามีน้อยจึงใช้ออปแอมป์ lm324 ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นก็ส่งสัญญาณกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ EM78P153S และถูกแปลงออกมาเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์ หลังจากนั้นขา Echo เป็นขาเอาท์พุทสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจากตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงจะนำขานี้ไปต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวัดความกว้างของสัญญาณช่วงสูงจากขา Echo ถ้าวัดดูอยู่ใกล้ ความกว้างของสัญญาณลูกคลื่นที่ได้ก็จะน้อย แต่ถ้าวัดดูอยู่ไกลออกไปก็จะได้ค่าความกว้างของสัญญาณลูกคลื่นที่มากขึ้นและแปลความหมายเป็นระยะทาง แผนภาพวงจรตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงดังรูปที่ 3.4



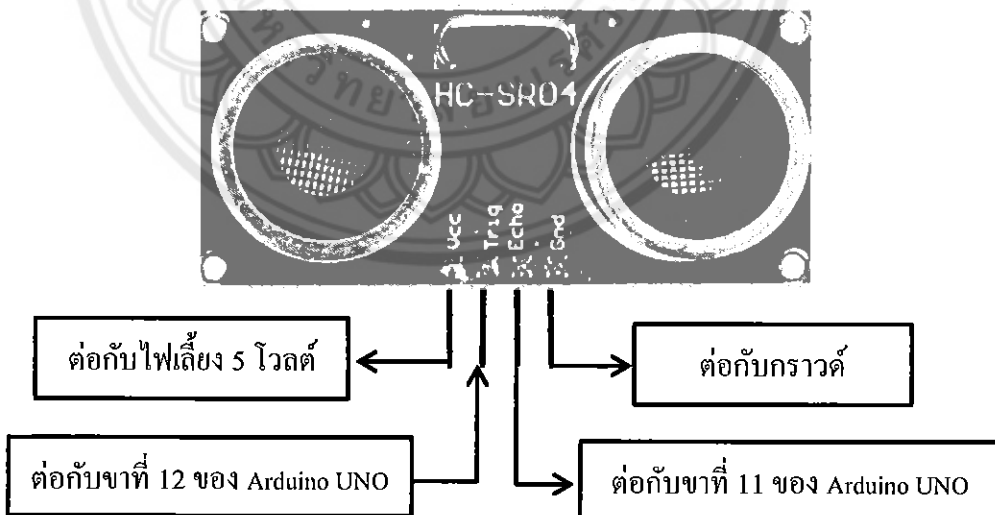
รูปที่ 3.4 แผนภาพวงจรตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

ที่มา: <http://uglyduck.ath.cx>

ในการเชื่อมต่อของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO โดยมีขา Trig เป็นขาอินพุตรับสัญญาณพัลส์เพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นความถี่เหนือเสียงที่มีความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ออกสู่อากาศจากตัวส่ง คลื่นความถี่ดังกล่าวไปกระทบสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับและถูกแปลงออกเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์ ส่วนขา Echo เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจากตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงจะนำขานี้ไปต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลความหมายเป็นระยะห่างมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับ Arduino UNO

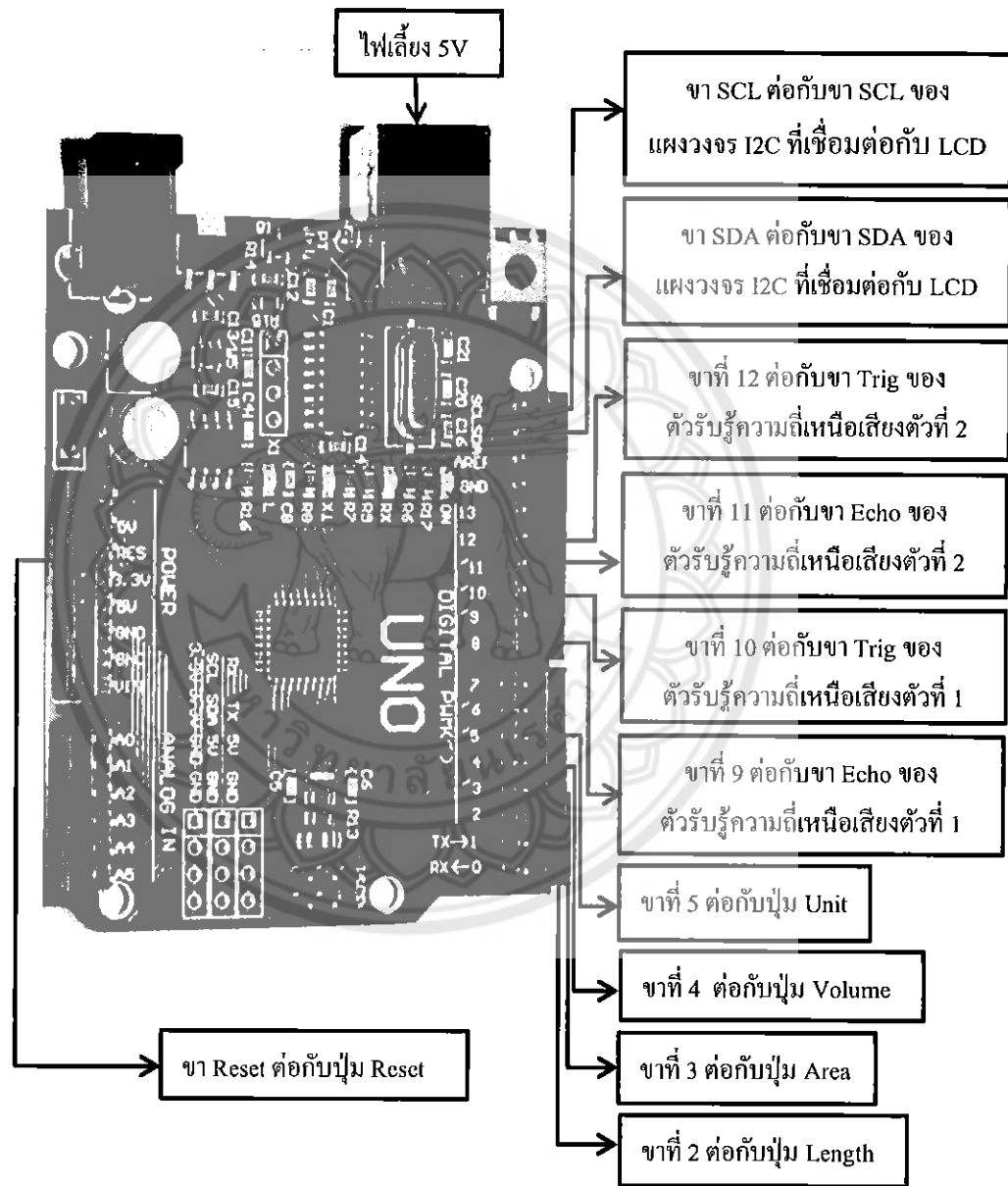


รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับ Arduino UNO



3.2.2 ภาคประมวลผล

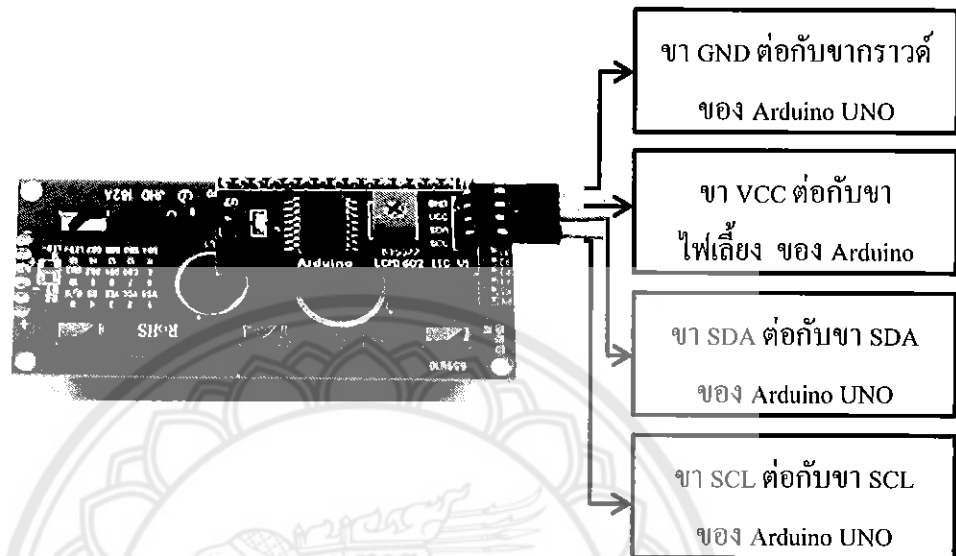
การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์รับไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่าย 5 โวลต์ และเชื่อมต่อกับตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงทั้งสองตัวเพื่อนำค่าที่วัดได้มาคำนวณระยะความยาวหรือความกว้าง พื้นที่ และปริมาตร ตามปุ่มฟังก์ชันที่กำหนดไว้ แล้วแสดงผลออกทางหน้าจอแอลซีดี มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno

3.2.3 ภาคแสดงผล

ในส่วนของภาคแสดงผล ใช้จอแอลซีดีขนาด 16 x 2 เชื่อมต่อกับแผงวงจร I2C มีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.8 และหน้าจอจะแสดงการทำงานเริ่มต้นของเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อแผงวงจร I2C กับ Arduino UNO



รูปที่ 3.9 หน้าจอเริ่มต้นการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้อง

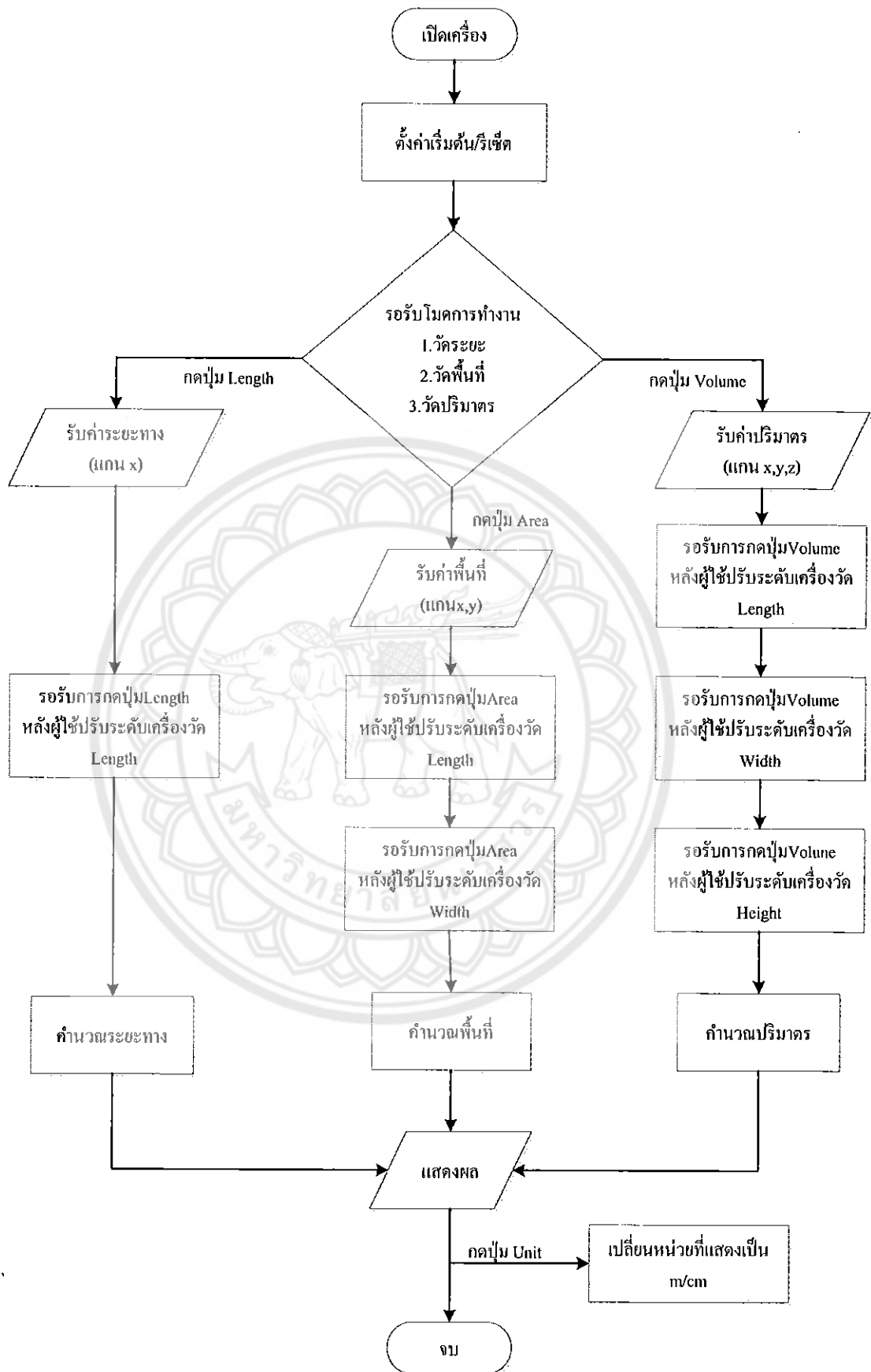
3.3 การออกแบบควบคุมการทำงาน

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียงจะประกอบส่วนหลัก คือ ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงและไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการเริ่มทำงานนั้นจะต้องมีการตั้งค่าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงาน เพื่อให้สามารถใช้งานบนฐานคำสั่งให้มีการรับค่าจากการสะท้อนของคลื่นความถี่เหนือเสียงที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุนำมาคำนวณและแสดงผลออกมาทางหน้าจอ

3.4 การทำงานของเครื่อง

เมื่อเครื่องเริ่มทำงานจอแอลซีดีจะแสดงค่าเริ่มต้นให้เลือกรับการทำงานจากปุ่มฟังก์ชันขึ้นมา สามารถทำการรีเซ็ตกลับไปยังค่าเริ่มต้นหรือรอรับ โมดการทำงานทั้งสามโมด โมดที่หนึ่งคือรับเฉพาะค่าของแกน X (Length) แล้วทำการแสดงผลออกทางจอแอลซีดีเป็นค่าของความยาวในหน่วยเมตร โมดที่สองคือรับค่าของแกน X (Length) มาเก็บไว้จากนั้นรอรับค่าของแกน Y (Width) แล้วทำการคำนวณพื้นที่ แสดงผลออกทางจอแอลซีดีเป็นค่าของพื้นที่ในหน่วยตารางเมตร โมดที่สามคือรอรับค่าของแกน X (Length) Y (Width) และ Z (Height) แล้วทำการคำนวณปริมาตร แสดงผลออกทางจอแอลซีดีเป็นค่าของปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งทั้งสามโมดนี้เมื่อแสดงค่าออกทางจอแอลซีดีแล้วสามารถแปลงหน่วยจากเมตรเป็นเซนติเมตร ตารางเมตรเป็นตารางเซนติเมตร และลูกบาศก์เมตรเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร แผนผังการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้อง ดังรูปที่ 3.10





รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดขนาดห้อง

3.5 ส่วนประกอบของเครื่องวัดขนาดห้อง

การทำงานของเครื่องวัดขนาดห้อง โดยมีการเริ่มทำงานโดยการเปิดสวิตช์ตัวเครื่องเพื่อเริ่มการทำงาน หน้าจอจะแสดงโหมดให้เลือกการทำงานจากปุ่มฟังก์ชันขึ้นมาเพื่อแสดงให้ทราบว่าเครื่องพร้อมทำงาน

3.5.1 โครงสร้างภายนอกของเครื่อง

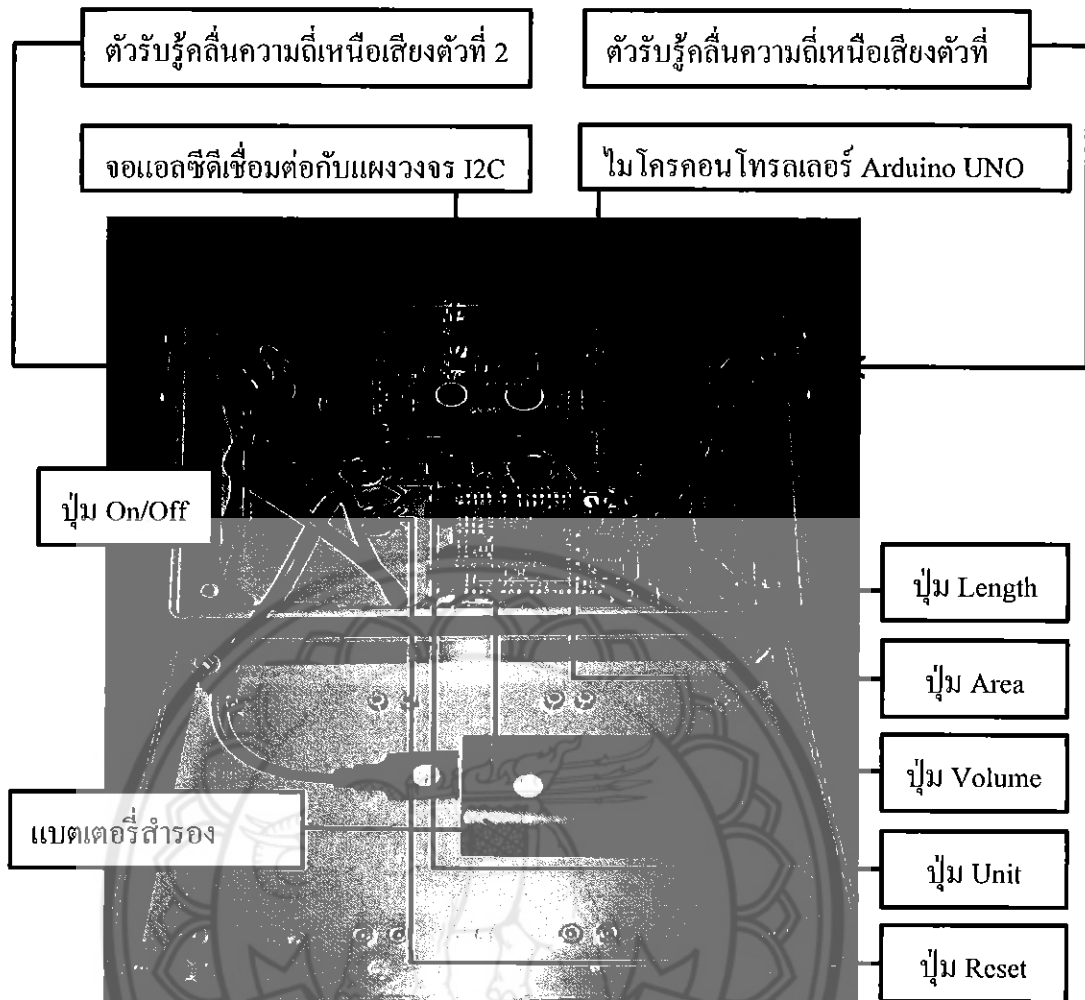
ภายนอกของเครื่องวัดขนาดห้องประกอบด้วย ตัวรับรู้คลื่นความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 ตัวรับรู้คลื่นความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 สวิตช์ เปิด-ปิด หน้าจอแสดงผล ปุ่มฟังก์ชันการทำงาน ตัววัดระดับน้ำ 3 ทิศทางและจอแอลซีดี โครงสร้างภายนอกของตัวเครื่องดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายนอกของเครื่องวัดขนาดห้อง

3.5.2 โครงสร้างภายในของเครื่อง

ภายในของเครื่องวัดขนาดห้องประกอบด้วย ตัวรับรู้คลื่นความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 ตัวรับรู้คลื่นความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO จอแอลซีดีเชื่อมต่อกับแผงวงจร I2C สวิตช์ เปิด-ปิด ปุ่มฟังก์ชันการทำงาน แบตเตอรี่สำรองพกพา โครงสร้างภายในของตัวเครื่องดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างภายในตัวเครื่องวัดขนาดห้อง

ปุ่มการทำงานของแต่ละฟังก์ชัน มีดังนี้

- ปุ่ม Length ปุ่มนี้เป็นการวัดขนาดความยาวหรือความกว้างเพียงอย่างเดียว
- ปุ่ม Area ปุ่มนี้เป็นการวัดขนาดความยาวและความกว้าง เพื่อนำมาคำนวณหาพื้นที่
- ปุ่ม Volume ปุ่มนี้เป็นการวัดขนาดความยาว ความกว้าง และความสูง เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตร
- ปุ่ม Unit ปุ่มนี้เป็นการเปลี่ยนหน่วยของค่าที่วัดได้จะแสดงผลออกมาให้เปลี่ยนจากเซนติเมตร ไปเป็นเมตร หรือ จากเมตร ไปเป็นเซนติเมตร
- ปุ่ม Reset ปุ่มนี้เป็นการรีเซ็ตการทำงานทั้งหมดให้กลับมาสู่หน้าการทำงานเริ่มต้นของโปรแกรม

3.6 วิธีการใช้งานของเครื่อง

ในการใช้งานเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำ โดยการวัดความกว้าง ความยาว และความสูงของห้อง ตำแหน่งในการวัดขนาดห้องควรยืนอยู่บริเวณกลางห้อง เนื่องจากตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงที่ติดตั้งในแต่ละข้างมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่จำกัด ส่วนตัวเครื่องควรให้ด้านยาวของเครื่องอยู่ในแนวขนานกับผนังห้องและด้านที่มีตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงให้อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับผนังห้อง การปรับระดับของเครื่องสามารถสังเกตได้จากตัววัดระดับน้ำ 3 ทิศทางที่ติดอยู่ด้านบนของเครื่องการทำงานของเครื่องมีทั้งหมด 3 โมดดังนี้

3.6.1 การวัดระยะห่างของห้อง (โมด Length)

กดปุ่ม Length เพื่อเข้าสู่โมดรอรับการทำงาน เมื่อทำการปรับตำแหน่งของเครื่องเพื่อวัดความยาว ค่าของระยะความยาวที่ทำการวัดจะแสดงผลออกมาทางหน้าจอแอลซีดี เพื่อรอการปรับตำแหน่งของเครื่องจากตัววัดระดับน้ำให้เครื่องอยู่ในแนวระดับที่ตั้งฉากกับผนังห้อง เมื่อทำการปรับระดับของเครื่องแล้ว ทำการกดปุ่ม Length เพียงหนึ่งครั้งเพื่อทำการบันทึกค่าที่วัดได้ หน้าจอจะแสดงผลของค่าความยาวที่วัดได้ออกมาเป็นหน่วยเมตรดังรูปที่ 3.13 เมื่อต้องการเปลี่ยนหน่วยจากเมตรเป็นเซนติเมตรให้กดปุ่ม Unit หนึ่งครั้งหน่วยของความยาวจะเปลี่ยนจากเมตรเป็นเซนติเมตรดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงระยะความยาวในโมด Length



รูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงระยะความยาวในหน่วยเซนติเมตร

3.6.2 การวัดพื้นที่ของห้อง (โมด Area)

1) กดปุ่ม Area เพื่อเข้าสู่โหมดการทำงาน เมื่อทำการปรับตำแหน่งของเครื่องเพื่อวัดความยาว ค่าของระยะความยาวที่ทำการวัดจะแสดงผลออกมาทางหน้าจอแอลซีดีเพื่อรอการปรับตำแหน่งของเครื่องจากตัววัดระดับน้ำให้เครื่องอยู่ในแนวระดับที่ตั้งฉากกับผนังห้องเมื่อทำการปรับระดับของเครื่องแล้ว ทำการกดปุ่ม Area หนึ่งครั้งเพื่อทำการบันทึกค่า Length ที่วัดได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงระยะความยาวใน โมด Area

2) กดปุ่ม Area อีกครั้ง แล้วทำการเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องเพื่อวัดความกว้างของห้อง ค่าของระยะความกว้างที่ทำการวัดจะแสดงผลออกมาทางหน้าจอแอลซีดี เพื่อรอการปรับตำแหน่งของเครื่องจากตัววัดระดับน้ำให้เครื่องอยู่ในแนวระดับที่ตั้งฉากกับผนังห้อง เมื่อทำการปรับระดับของเครื่องแล้วกดปุ่ม Area หนึ่งครั้งเพื่อทำการบันทึกค่า Width ที่วัดได้ดังรูปที่ 3.16

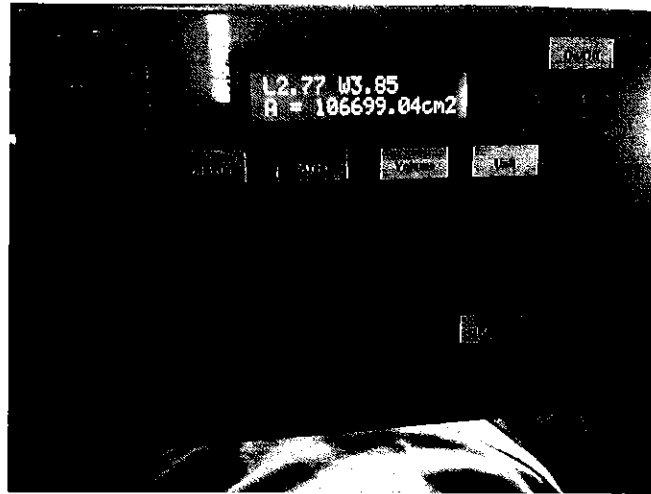


รูปที่ 3.16 หน้าจอแสดงระยะความกว้างใน โมด Area

3) กดปุ่ม Area อีกครั้ง เพื่อนำค่าของความยาวและความกว้างของห้องมาคำนวณหาพื้นที่ หน้าจอแสดงค่าของพื้นที่ที่วัดได้ออกมามีหน่วยเป็นตารางเมตรดังรูปที่ 3.17 เมื่อต้องการเปลี่ยนหน่วยจากรางเมตรให้เป็นตารางเซนติเมตร ให้กดปุ่ม Unit หนึ่งครั้งหน่วยของพื้นที่จะเปลี่ยนจากรางเมตรเป็นตารางเซนติเมตรดังรูปที่ 3.18



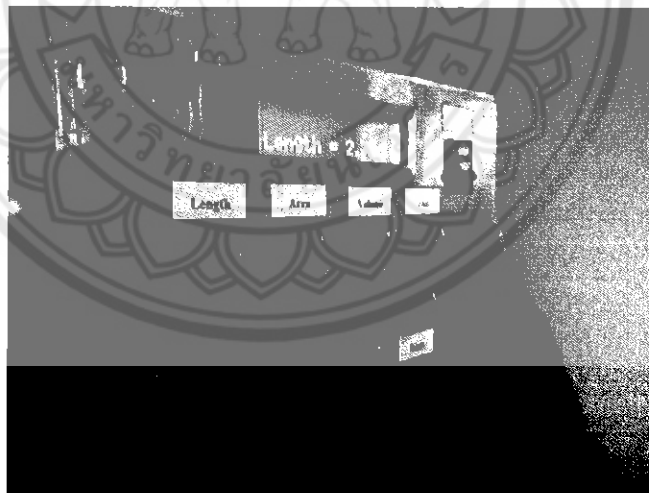
รูปที่ 3.17 หน้าจอแสดงค่าของพื้นที่ในหน่วยตารางเมตร



รูปที่ 3.18 หน้าจอแสดงค่าของพื้นที่ในหน่วยตารางเซนติเมตร

3.6.3 การวัดปริมาตรของห้อง (โมด Volume)

1) กดปุ่ม Volume เพื่อเข้าสู่โหมดรอรับการทำงาน เมื่อทำการปรับตำแหน่งของเครื่องเพื่อวัดความยาว ค่าของระยะความยาวที่ทำการวัดจะแสดงผลออกมาทางหน้าจอแอลซีดี เพื่อรอการปรับตำแหน่งของเครื่องจากตัววัดระดับน้ำให้เครื่องอยู่ในแนวระดับที่ตั้งฉากกับผนังห้อง เมื่อทำการปรับระดับของเครื่องแล้ว ทำการกดปุ่ม Volume หนึ่งครั้งเพื่อทำการบันทึกค่า Length ที่วัดได้ ดังรูปที่ 3.19



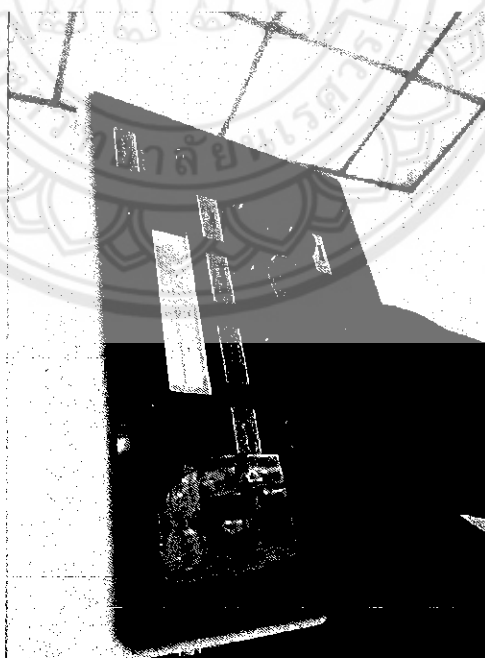
รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงระยะความยาวในโมด Volume

2) กดปุ่ม Volume อีกครั้ง แล้วทำการเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องเพื่อวัดความกว้างของห้อง ค่าของระยะความกว้างที่ทำการวัดจะแสดงผลออกมาทางหน้าจอเพื่อรอการปรับตำแหน่งของเครื่องจากตัววัดระดับน้ำให้เครื่องอยู่ในแนวระดับที่ตั้งฉากกับผนังห้อง เมื่อทำการปรับระดับของเครื่องแล้ว ทำการกดปุ่ม Volume หนึ่งครั้งเพื่อทำการบันทึกค่า Width ที่วัดได้ดังรูปที่ 3.20



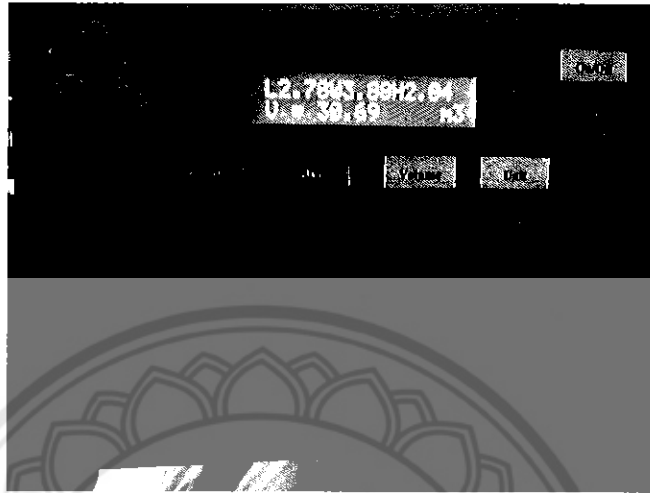
รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงระยะความกว้างในโหมด Volume

3) กดปุ่ม Volume อีกครั้ง แล้วทำการเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องเพื่อวัดความสูงของห้องค่าของระยะความสูงที่ทำการวัดจะแสดงผลออกมาทางหน้าจอเพื่อรอการปรับตำแหน่งของเครื่อง จากตัววัดระดับน้ำให้เครื่องอยู่ในแนวระดับที่ตั้งฉากกับผนังห้อง เมื่อทำการปรับระดับของเครื่องแล้ว ทำการกดปุ่ม Volume หนึ่งครั้งเพื่อทำการบันทึกค่า Height ที่วัดได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 หน้าจอแสดงระยะความสูงในโหมด Volume

4) กดปุ่ม Volume อีกครั้ง เพื่อนำค่าของความยาว ความกว้าง และความสูงของห้องมา เพื่อคำนวณหาปริมาตร หน้าจอแสดงค่าของปริมาตรที่วัดได้ออกมามีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรดังรูปที่ 3.22 เมื่อต้องการเปลี่ยนหน่วยจากลูกบาศก์เมตรให้เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ให้กดปุ่ม Unit หนึ่ง ครั้งหน่วยของปริมาตรจะเปลี่ยนจากลูกบาศก์เมตรเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดงค่าของปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงค่าของปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อต้องการกลับไปหน้าจอเริ่มต้นการทำงานใหม่ให้กดปุ่ม Reset เมื่อกดปุ่มแล้วหน้าจอจะแสดงค่าเริ่มต้นการทำงาน SELECT MODE

*หมายเหตุ L = Length W = Width H = Height

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียงทั้งหมด 3 การทดลอง

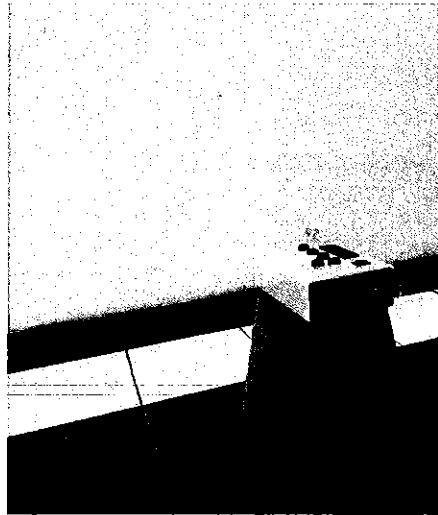
- 1) การทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ในแต่ละพื้นผิว เพื่อตรวจสอบความสามารถในการตรวจจับระยะห่างระหว่างพื้นผิว
- 2) การทดสอบการวัดขนาดห้อง เพื่อตรวจสอบความสามารถในการวัดขนาดห้องจริงมาเปรียบเทียบกับค่าของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง
- 3) การทดสอบความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง เพื่อตรวจสอบความสามารถในการวัดมาเปรียบเทียบกับมุมมองต่างกันว่ามีค่าความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด

4.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดระยะของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง โดยต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อบันทึกผลการวัดระยะห่างจากวัตถุพื้นผิวต่างชนิดกัน ในหน่วยเมตรเทียบกับระยะจริงในการทดสอบกับวัตถุที่เป็นของแข็งและมีพื้นผิวเรียบ เช่น ผนังคอนกรีต พื้นผิวไม้ พื้นกล่องกระดาษ และพื้นผิวโค้ง เพื่อหาความผิดพลาด โดยลักษณะของการใช้เครื่องวัดระยะทางจะต้องวางเครื่องวัดให้ตั้งฉากกับวัตถุที่ทำการวัดระยะทาง เพื่อให้ผลการทดลองมีความเที่ยงตรงมากที่สุด

4.1.1 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับผนังคอนกรีต

การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับผนังคอนกรีต มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานแต่ละหัวในการวัดมีความผิดพลาดของการวัดมากน้อยเพียงใด โดยการนำเครื่องวัดขนาดห้องมาวางให้ตั้งฉากกับผนังที่เป็นพื้นคอนกรีตและได้ใช้กระดาษปิดตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงข้างที่ไม่ได้ทำการทดลองไว้ เริ่มวัดระยะห่างตั้งแต่ 0.3 เมตร จากนั้นได้เพิ่มระยะห่างขึ้นเรื่อยๆทีละ 0.3 เมตร จนกว่าตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงวัดระยะห่างแล้วผลออกมามีค่าไม่ได้ใกล้เคียงกับระยะจริง แสดงการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นคอนกรีตดังรูปที่ 4.1 โดยที่ผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 1 ดังตารางที่ 4.1 และผลการทดสอบตัวรับรู้ตัวที่ 2 ดังตารางที่ 4.2



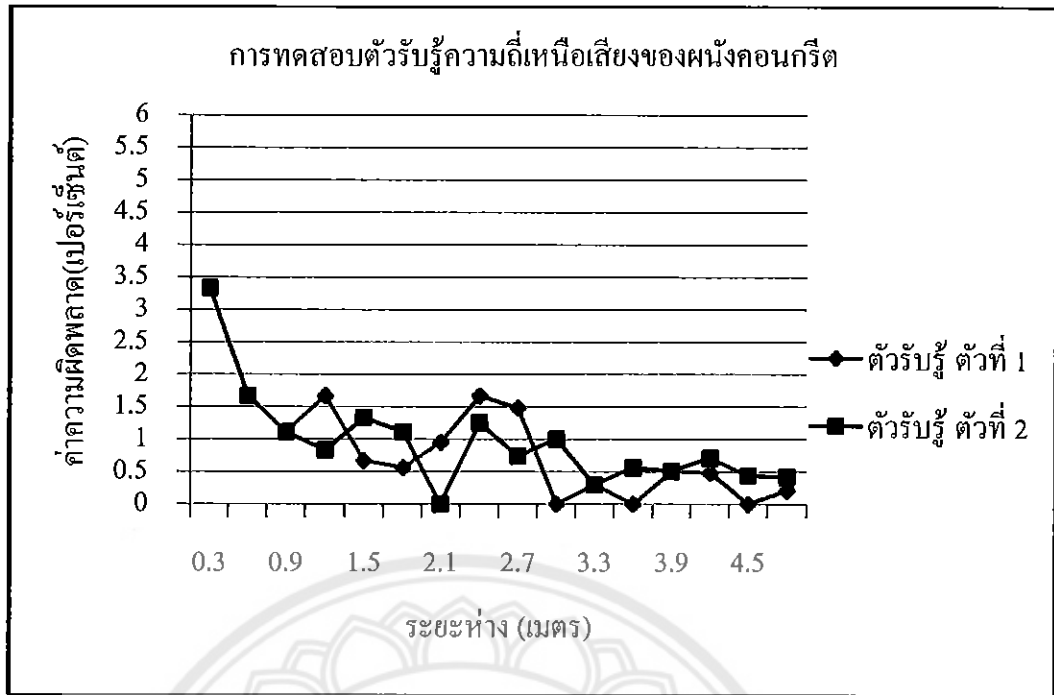
รูปที่ 4.1 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับผนังคอนกรีต

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับผนังคอนกรีต

ระยะจริง (เมตร)	วัดโดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.01	3.33
0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.01	1.67
0.90	0.89	0.89	0.90	0.89	0.01	1.11
1.20	1.19	1.18	1.18	1.18	0.02	1.67
1.50	1.48	1.51	1.48	1.49	0.01	0.67
1.80	1.79	1.79	1.79	1.79	0.01	0.56
2.10	2.08	2.08	2.07	2.08	0.02	0.95
2.40	2.36	2.35	2.36	2.36	0.04	1.67
2.70	2.68	2.65	2.65	2.66	0.04	1.48
3.00	2.99	3.01	3.01	3.00	0.00	0.00
3.30	3.29	3.30	3.28	3.29	0.01	0.30
3.60	3.62	3.58	3.61	3.60	0.00	0.00
3.90	3.87	3.88	3.88	3.88	0.02	0.51
4.20	4.18	4.20	4.17	4.18	0.02	0.48
4.50	4.49	4.50	4.50	4.50	0.00	0.00
4.80	4.79	4.79	4.78	4.79	0.01	0.21

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับผนังคอนกรีต

ระยะจริง (เมตร)	วัด โดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.29	0.30	0.29	0.29	0.01	3.33
0.60	0.59	0.58	0.59	0.59	0.01	1.67
0.90	0.88	0.89	0.89	0.89	0.01	1.11
1.20	1.19	1.19	1.20	1.19	0.01	0.83
1.50	1.49	1.48	1.48	1.48	0.02	1.33
1.80	1.78	1.78	1.79	1.78	0.02	1.11
2.10	2.10	2.09	2.10	2.10	0.00	0.00
2.40	2.37	2.38	2.37	2.37	0.03	1.25
2.70	2.68	2.68	2.68	2.68	0.02	0.74
3.00	2.96	2.97	2.97	2.97	0.03	1.00
3.30	3.30	3.31	3.32	3.31	0.01	0.30
3.60	3.58	3.57	3.58	3.58	0.02	0.56
3.90	3.87	3.88	3.88	3.88	0.02	0.51
4.20	4.18	4.17	4.16	4.17	0.03	0.71
4.50	4.48	4.47	4.48	4.48	0.02	0.44
4.80	4.79	4.76	4.78	4.78	0.02	0.42

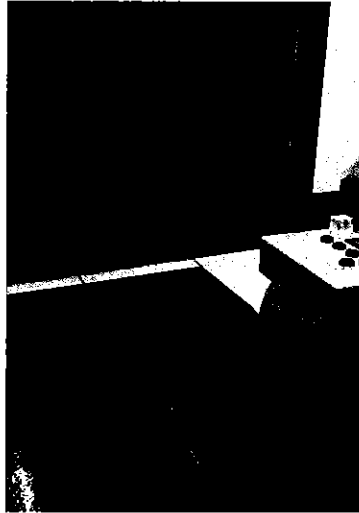


รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับผนังคอนกรีต

จากการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับผนังคอนกรีตทั้ง 2 ด้านของเครื่องวัดขนาดห้องผลที่ออกมาทำให้ทราบถึงระยะห่างของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงนั้นสามารถที่จะทำงานได้ โดยเกิดความผิดพลาดน้อย โดยที่ระยะห่างอยู่ที่ระหว่าง 0.3 – 4.8 เมตร นั้นเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ของระยะที่ทำการวัด

4.1.2 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวไม้

การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานแต่ละหัวในการวัดมีค่าความผิดพลาดของการวัดมากน้อยเพียงใด โดยการนำเครื่องวัดขนาดห้องมาวางให้ตั้งฉากกับประตูที่เป็นพื้นผิวไม้และได้ใช้กระดาษปิดตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงข้างที่ไม่ได้ทำการทดลองไว้ แล้วเริ่มทำการวัดวัดระยะห่างตั้งแต่ 0.3 เมตร จากนั้นได้เพิ่มระยะห่างขึ้นเรื่อยๆทีละ 0.3 เมตร จนกว่าตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงวัดระยะห่างแล้วผลออกมามีค่าไม่ได้ใกล้เคียงกับระยะจริง แสดงการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวไม้ดังรูปที่ 4.3 โดยที่ผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 1 ดังตารางที่ 4.3 และผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 1 ดังตารางที่ 4.4



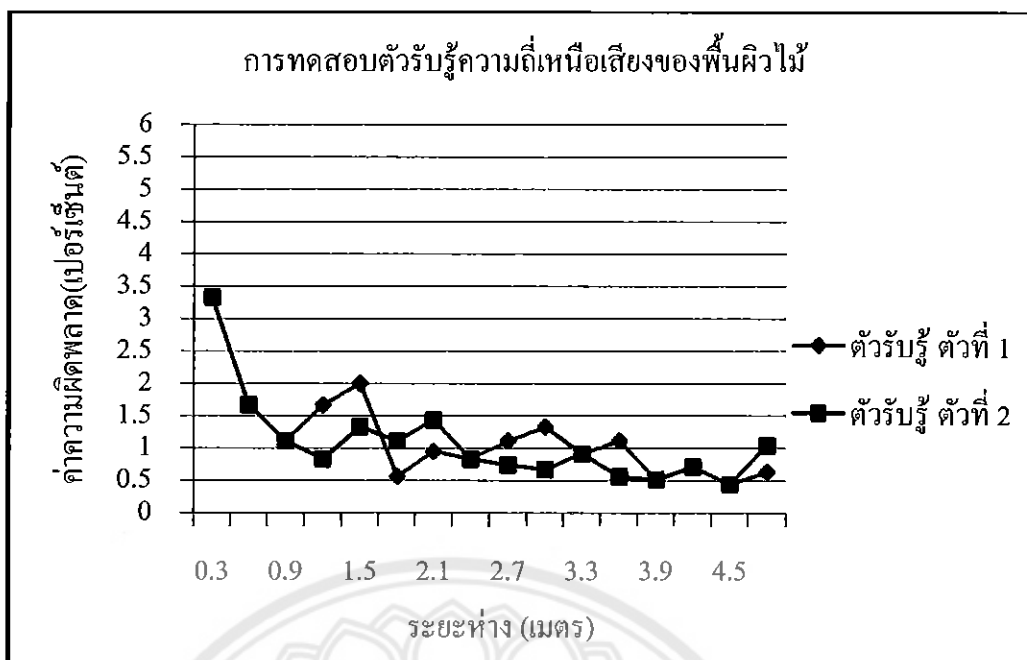
รูปที่ 4.3 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวไม้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับพื้นผิวไม้

ระยะจริง (เมตร)	วัดโดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.29	0.28	0.29	0.29	0.01	3.33
0.60	0.59	0.59	0.59	0.59	0.01	1.67
0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.01	1.11
1.20	1.18	1.18	1.18	1.18	0.02	1.67
1.50	1.47	1.47	1.47	1.47	0.03	2.00
1.80	1.80	1.81	1.82	1.81	0.01	0.56
2.10	2.08	2.07	2.08	2.08	0.02	0.95
2.40	2.37	2.39	2.37	2.38	0.02	0.83
2.70	2.67	2.66	2.67	2.67	0.03	1.11
3.00	2.96	2.96	2.97	2.96	0.04	1.33
3.30	3.28	3.26	3.28	3.27	0.03	0.91
3.60	3.56	3.57	3.56	3.56	0.04	1.11
3.90	3.87	3.88	3.88	3.88	0.02	0.51
4.20	4.18	4.17	4.17	4.17	0.03	0.71
4.50	4.49	4.48	4.47	4.48	0.02	0.44
4.80	4.76	4.78	4.77	4.77	0.04	0.63

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับพื้นผิวไม้

ระยะจริง (เมตร)	วัด โดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.01	3.33
0.60	0.59	0.59	0.59	0.59	0.01	1.67
0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.01	1.11
1.20	1.18	1.19	1.19	1.19	0.01	0.83
1.50	1.48	1.48	1.47	1.48	0.02	1.33
1.80	1.78	1.78	1.78	1.78	0.02	1.11
2.10	2.06	2.07	2.08	2.07	0.03	1.43
2.40	2.38	2.37	2.38	2.38	0.02	0.83
2.70	2.68	2.67	2.68	2.68	0.02	0.74
3.00	2.97	2.96	3.00	2.98	0.02	0.67
3.30	3.28	3.26	3.28	3.27	0.03	0.91
3.60	3.57	3.56	3.56	3.56	0.04	1.11
3.90	3.86	3.88	3.88	3.87	0.03	0.77
4.20	4.13	4.14	4.17	4.15	0.05	1.19
4.50	4.44	4.43	4.42	4.43	0.07	1.56
4.80	4.76	4.75	4.75	4.76	0.05	1.04

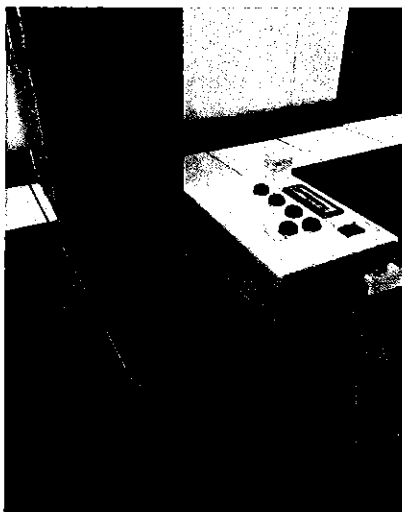


รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับพื้นผิวไม้

จากการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวไม้ทั้ง 2 ด้านของเครื่องวัดขนาดห้อง ผลที่ออกมาทำให้ทราบถึงระยะห่างของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงนั้นสามารถที่จะทำงานได้โดยทำให้เกิดความผิดพลาดน้อย โดยที่ระยะห่างอยู่ที่ระหว่าง 0.3 – 4.8 เมตร นั้นเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ของระยะที่ทำการวัด

4.1.3 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวกล่องกระดาษ

การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงของพื้นผิวกล่องกระดาษ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานแต่ละหัวในการวัดมีค่าความผิดพลาดของการวัดมากน้อยเพียงใด โดยการนำเครื่องวัดขนาดห้องมาวางให้ตั้งฉากกับพื้นกระดาษกล่องและได้ใช้กระดาษปิดตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงข้างที่ไม่ได้ทำการทดลองไว้ เริ่มวัดระยะห่างตั้งแต่ 0.3 เมตร จากนั้นได้เพิ่มระยะห่างขึ้นเรื่อยๆทีละ 0.3 เมตร จนกว่าตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงวัดระยะห่างแล้วผลออกมามีค่าไม่ได้ใกล้เคียงกับระยะจริง แสดงการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นกล่องกระดาษดังรูปที่ 4.5 โดยที่ผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 1 ดังตารางที่ 4.5 และผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 2 ดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การทดสอบตัวรับรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวกล่องกระดาษ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบตัวรับรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับพื้นผิวกล่องกระดาษ

ระยะจริง (เมตร)	วัดโดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.01	3.33
0.60	0.59	0.60	0.58	0.59	0.01	1.67
0.90	0.87	0.89	0.87	0.88	0.02	2.22
1.20	1.18	1.18	1.19	1.18	0.02	1.67
1.50	1.47	1.48	1.48	1.48	0.02	1.33
1.80	1.79	1.79	1.79	1.79	0.01	0.56
2.10	2.10	2.09	2.09	2.09	0.01	0.98
2.40	2.39	2.38	2.38	2.38	0.02	0.83
2.70	2.65	2.68	2.69	2.67	0.03	1.11
3.00	2.99	2.97	2.98	2.98	0.02	0.67
3.30	3.29	3.28	3.28	3.28	0.02	0.61
3.60	3.54	3.55	3.56	3.55	0.05	1.39
3.90	3.85	3.85	3.87	3.86	0.04	1.03
4.20	4.13	4.12	4.15	4.13	0.07	1.67
4.50	4.41	4.42	4.44	4.42	0.08	1.78
4.80	4.75	4.74	4.76	4.75	0.05	1.04

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับพื้นผิวกล่องกระดาษ

ระยะจริง (เมตร)	วัด โดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.01	3.33
0.60	0.59	0.60	0.59	0.59	0.01	1.67
0.90	0.88	0.89	0.89	0.89	0.01	1.11
1.20	1.17	1.18	1.17	1.17	0.03	2.50
1.50	1.46	1.47	1.49	1.47	0.03	2.00
1.80	1.80	1.77	1.76	1.78	0.02	1.11
2.10	2.07	2.09	2.08	2.08	0.02	0.95
2.40	2.35	2.32	2.33	2.33	0.07	2.92
2.70	2.66	2.66	2.66	2.66	0.04	1.48
3.00	2.98	3.00	3.00	2.99	0.01	0.33
3.30	3.29	3.28	3.28	3.28	0.02	0.61
3.60	3.55	3.56	3.56	3.56	0.04	1.11
3.90	3.87	3.90	3.91	3.89	0.01	0.26
4.20	4.17	4.19	4.20	4.19	0.01	0.24
4.50	4.45	4.48	4.48	4.47	0.03	0.67
4.80	4.85	4.77	4.78	4.80	0.00	0.00

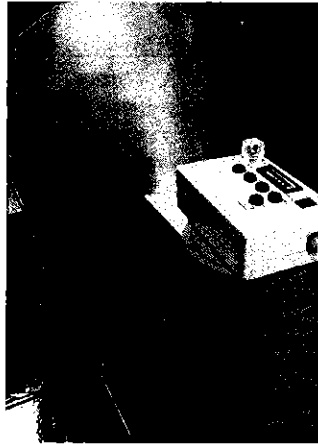


รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับพื้นผิวกล่องกระดาษ

จากการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวกล่องกระดาษทั้ง 2 ด้านของเครื่องวัดขนาดห้องผลออกมาทำให้ทราบถึงระยะห่างของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงนั้นสามารถที่จะทำงานได้โดยเกิดความผิดพลาดน้อย โดยที่ระยะห่างอยู่ที่ระหว่าง 0.3 – 4.8 เมตร นั้นเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซนต์ของระยะที่ทำการวัด

4.1.4 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวโค้ง

การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวโค้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานแต่ละหัวในการวัดมีค่าความผิดพลาดของการวัดมากน้อยเพียงใด โดยการนำเครื่องวัดขนาดห้องมาวางให้ตั้งฉากกับกระดาษแข็งที่ถือเป็นรูปทรงครึ่งวงกลมให้เป็นพื้นผิวโค้งและได้ใช้กระดาษปิดตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงข้างที่ไม่ได้ทำการทดลองไว้ เริ่มวัดระยะห่างตั้งแต่ 0.3 เมตร จากนั้นได้เพิ่มระยะห่างขึ้นเรื่อยๆที่ละ 0.3 เมตร จนกว่าตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงวัดระยะห่างแล้วผลออกมามีค่าไม่ได้ใกล้เคียงกับระยะจริง แสดงการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวโค้งดังรูปที่ 4.7 โดยที่ผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 1 ดังตารางที่ 4.7 และผลการทดสอบตัวรับรู้ ตัวที่ 2 ดังตารางที่ 4.8



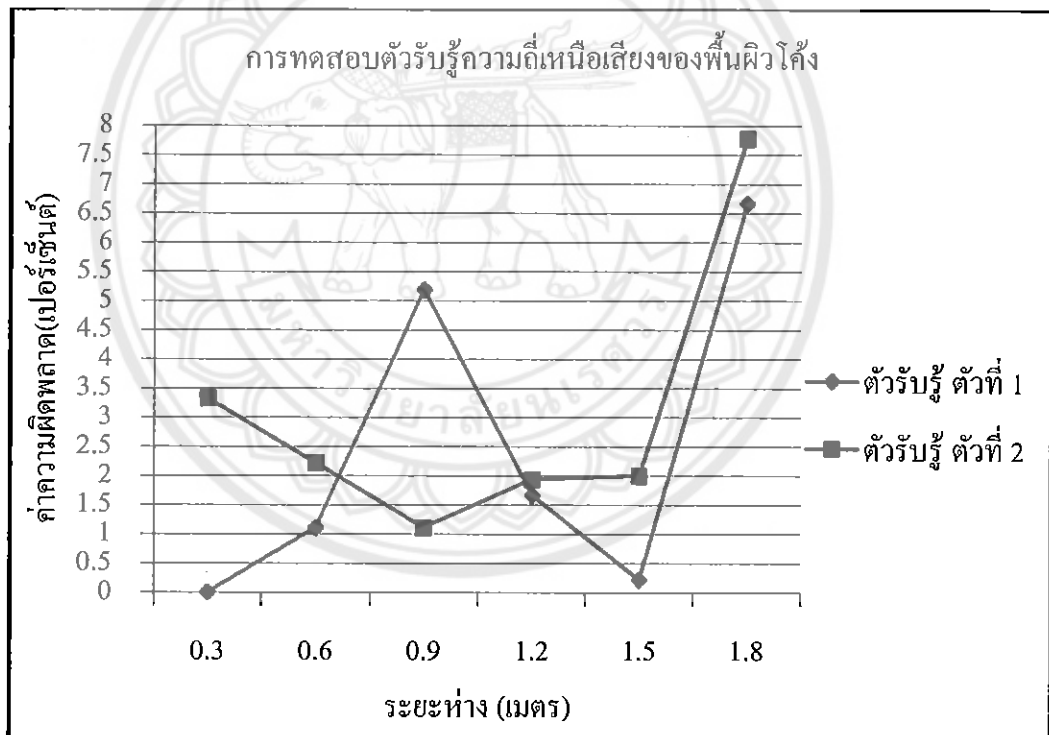
รูปที่ 4.7 การทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวโค้ง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 1 กับพื้นผิวโค้ง

ระยะจริง (เมตร)	วัดโดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.00	0.00
0.60	0.61	0.60	0.61	0.61	0.01	1.11
0.90	1.03	0.90	0.91	0.95	0.05	5.19
1.20	1.21	1.25	1.20	1.22	0.02	1.67
1.50	1.49	1.50	1.52	1.50	0.00	0.22
1.80	1.36	2.63	1.78	1.92	0.12	6.67

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงตัวที่ 2 กับพื้นผิวโค้ง

ระยะจริง (เมตร)	วัดโดยเครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (เมตร)					ค่าความ ผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	
0.30	0.31	0.30	0.32	0.31	0.01	3.33
0.60	0.60	0.63	0.61	0.61	0.01	2.22
0.90	0.91	0.89	0.92	0.91	0.01	1.11
1.20	1.31	1.18	1.18	1.22	0.02	1.94
1.50	1.51	1.48	1.60	1.53	0.03	2.00
1.80	2.51	0.19	3.11	1.94	0.14	7.78



รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดเมื่อทดสอบกับพื้นผิวโค้ง

ในการทดสอบการวัดระยะห่างกัน พื้นผิวที่มีลักษณะเป็นพื้นผิวกระดากโค้ง ทำให้ทราบว่า การวัดระยะห่างนั้นเกิดค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างมากและมีระยะห่างที่ไม่แน่นอน ซึ่งเกิดจากการที่ตัวรับรู้ได้ส่งคลื่นความถี่เหนือเสียงไปกระทบกับพื้นผิวที่มีลักษณะโค้ง ทำให้คลื่นไปกระทบกับมุมที่แตกต่างกัน ทำให้การรับ-ส่งคลื่นเกิดความผิดพลาด เมื่อวัดถึงที่ระยะห่าง 1.8 เมตร ค่าที่วัดได้กับค่าระยะจริงแสดงผลออกมามีค่าที่แตกต่างกันมาก

4.2 การทดสอบการวัดขนาดห้อง

การทดสอบการวัดขนาดห้องมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความผิดพลาดจากการวัดพื้นที่และปริมาตรของห้องจริงที่ได้ทำการยกตัวอย่างมา 10 ห้อง ในแต่ละห้องได้ทำการทดสอบวัดขนาดห้อง ความกว้าง ความยาว และความสูงมาคำนวณหาพื้นที่และปริมาตรของห้องอย่างละ 5 ครั้ง โดยใช้เครื่องวัดขนาดห้องด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง แล้วนำค่าของพื้นที่และปริมาตรที่วัดได้ทั้ง 5 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ห้องดังตารางที่ 4.9 และค่าเฉลี่ยของปริมาตรห้องดังตารางที่ 4.10 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าพื้นที่และปริมาตรของขนาดห้องจริงผลที่ได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ห้อง

ห้องที่	พื้นที่ของห้องที่ทำการวัด 5 ครั้ง					ค่าเฉลี่ย (ตารางเมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	9.14	9.15	9.18	9.11	9.09	9.13
2	12.08	11.75	12.14	12.16	11.13	11.85
3	19.02	19.40	18.86	18.76	19.21	19.05
4	20.52	20.60	20.54	20.70	20.38	20.52
5	25.86	25.26	25.74	25.93	25.27	25.61
6	26.21	26.32	26.13	25.86	26.54	26.21
7	30.52	29.03	29.64	30.27	29.62	29.82
8	35.28	36.05	34.80	35.94	35.82	35.58
9	57.08	57.38	58.52	57.22	57.68	57.58
10	71.16	69.13	70.26	70.13	70.32	70.24

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรห้อง

ห้องที่	ปริมาตรของห้องที่ทำการวัด 5 ครั้ง					ค่าเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	23.24	23.34	23.43	23.30	23.10	23.28
2	34.57	35.31	35.37	34.01	33.24	34.50
3	52.96	52.53	55.39	53.64	53.61	53.63
4	56.81	58.25	55.82	56.43	57.09	56.88
5	68.46	68.30	67.49	67.87	69.34	68.29
5	74.98	75.65	76.53	74.36	76.38	75.58
7	79.22	73.45	78.93	80.15	80.61	78.47
8	105.67	111.41	110.96	106.38	105.14	107.91
9	153.90	152.12	152.72	151.92	152.91	152.71
10	182.44	176.34	175.46	177.25	176.58	177.61

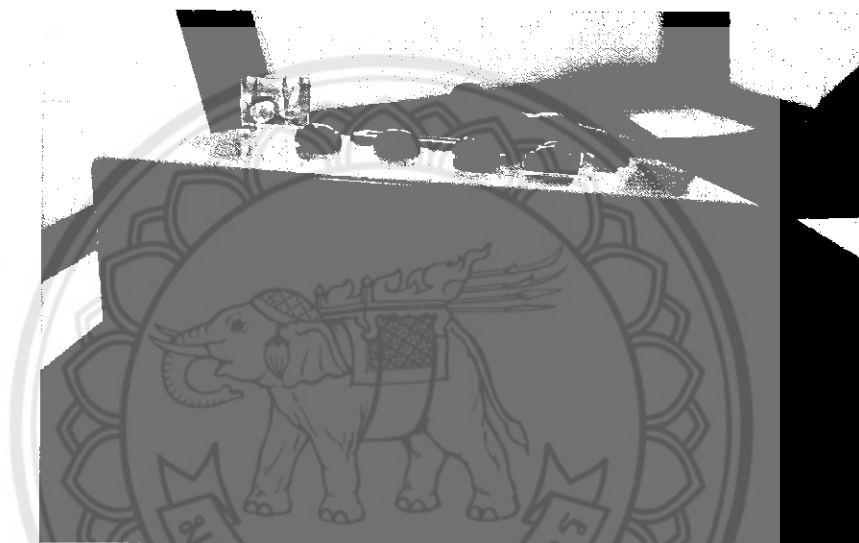
ตารางที่ 4.11 ค่าความผิดพลาดของการทดสอบการวัดขนาดห้อง

ห้องที่	ขนาดของห้องจริง		ค่าเฉลี่ยของขนาดห้องที่วัด โดยเครื่องวัดขนาดห้อง		ค่าความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	
	พื้นที่ (ตาราง เมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์ เมตร)	พื้นที่ (ตาราง เมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์ เมตร)	พื้นที่	ปริมาตร
1	9.31	24.40	9.13	23.28	1.93	4.60
2	12.00	34.80	11.85	34.50	1.25	0.86
3	19.20	53.30	19.05	53.64	0.78	0.62
4	20.50	57.60	20.52	56.88	0.10	1.25
5	26.10	69.23	25.61	68.29	1.88	1.36
6	26.42	75.69	26.21	75.58	0.79	0.15
7	30.00	78.00	29.82	78.47	0.60	0.60
8	36.00	115.20	35.58	107.91	1.17	6.33
9	56.70	148.56	57.58	152.71	1.55	2.79
10	71.76	188.01	70.24	177.61	2.12	5.53

จากการทดสอบการวัดขนาดของห้องจริงในขนาดที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการวัดและคำนวณพื้นที่กับปริมาตร เพื่อหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและได้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของการคำนวณพื้นที่ที่มีความผิดพลาดสูงสุดของการวัดอยู่ที่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์และส่วนของการคำนวณปริมาตรห้องมีความผิดพลาดสูงสุดของการวัดอยู่ที่ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าความผิดพลาดที่เกิดจากตำแหน่งของการวัดอาจจะไม่เท่ากันทำให้มีด้านใดด้านหนึ่งของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงมีระยะที่มากกว่าหรือสั้นกว่าระยะอีกด้านหนึ่ง ซึ่งเป็นผลที่ทำให้การวัดมีค่าออกแตกต่างกันของแต่ละครั้ง ทำให้การวัดความยาว ความกว้างและความสูงมีข้อจำกัดโดยที่ประสิทธิภาพของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงของตัวที่เลือกใช้งานทั้งสองตัวนั้นจะมีระยะห่างของการวัดอยู่ที่ไม่เกิน 4.8 เมตรต่อตัว

4.3 การทดสอบค่าความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง

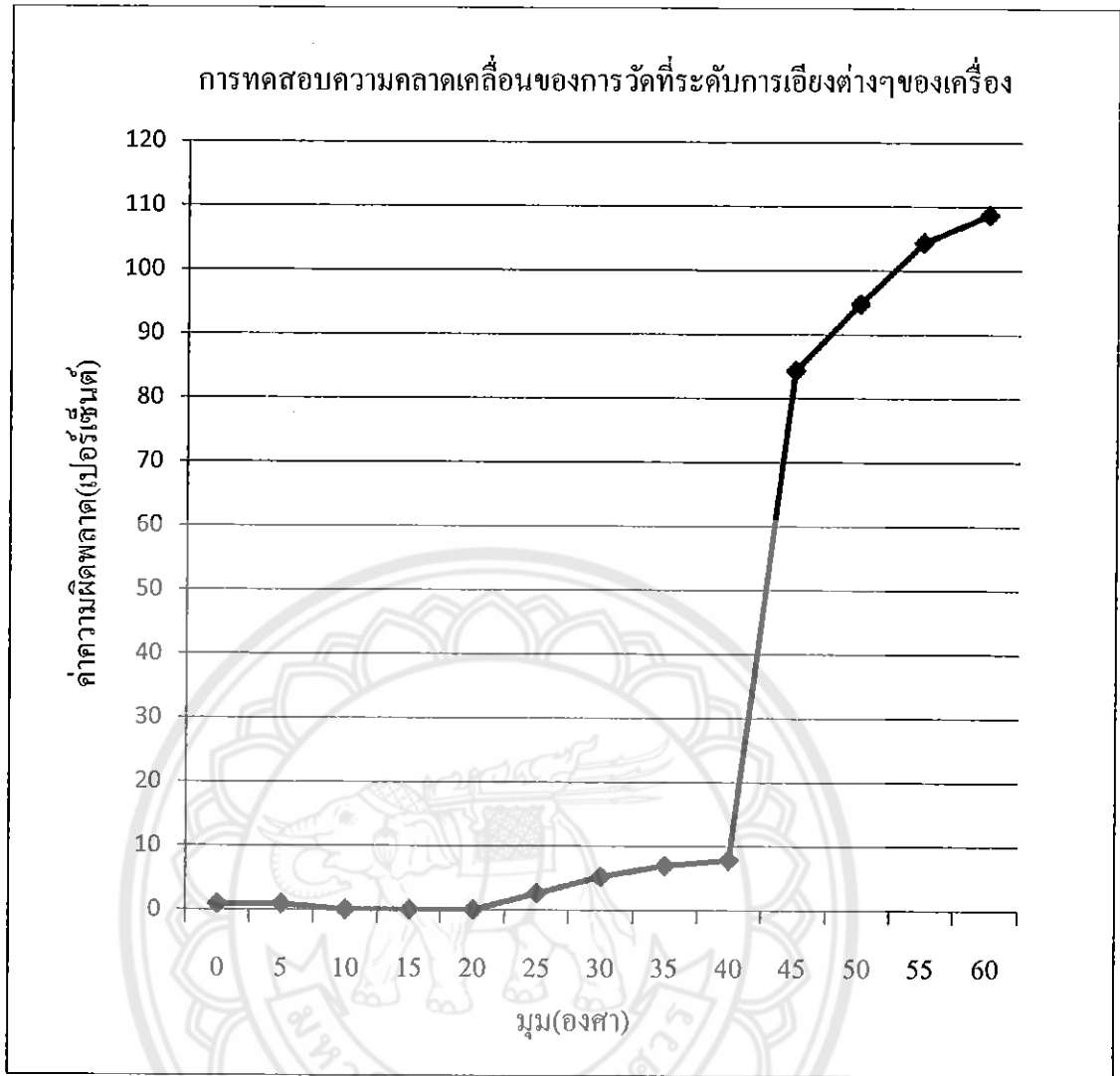
การทดสอบความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผิดพลาดที่เครื่องวัดขนาดห้องสามารถทำการวัดโดยการเอียงเครื่องวัดขนาดห้องให้มีมุมองศามากขึ้น โดยนำเครื่องวัดขนาดห้องมาวางให้ตั้งฉากกับพื้นผนัง ทำการทดสอบที่ระยะ 1.15 เมตร แล้วทำการปรับระดับของเครื่องวัดขนาดห้อง เริ่มที่มุม 0 องศา จากนั้นปรับระดับตัวเครื่องให้มีมุมในการวัดเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา ทำการวัดที่มุมต่างๆมา 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย แสดงการทดสอบความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่องดังรูปที่ 4.9 และผลการทดสอบความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่องดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.9 การทดสอบความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบค่าความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง

มุม (องศา)	ค่าเฉลี่ยในการวัด 5 ครั้ง (เมตร)	ค่าความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
0	1.14	0.87
5	1.14	0.87
10	1.15	0.00
15	1.15	0.00
20	1.15	0.00
25	1.18	2.61
30	1.21	5.22
35	1.23	6.96
40	1.24	7.83
45	2.12	84.35
50	2.24	94.78
55	2.35	104.35
60	2.40	108.70



รูปที่ 4.10 เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง

จากการทดสอบค่าความผิดพลาดของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่อง โดยที่ในแนวระดับของการวัดที่มีมุมไม่เกิน 20 องศา นั้นค่าระยะห่างที่ทำการวัดออกมานั้นได้ค่าไม่แตกต่างกับระยะห่างจริง แต่ในแนวระดับของการวัดที่มีมุมเกิน 25 องศาขึ้นไป นั้นจะทำให้ระยะห่างของการวัดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องวัดขนาดพบว่าในการวัดระยะนั้นตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงสามารถส่งคลื่นความถี่ไปกระทบกับพื้นผิวของวัตถุโดยที่จะมีระยะห่างอยู่ในช่วงประมาณ 0.3 - 4.8 เมตร ซึ่งในช่วงนี้ที่เครื่องสามารถวัดระยะได้เท่ากับค่าจริงหรือใกล้เคียงค่าจริงค่อนข้างมาก โดยที่จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัตถุที่ทำการวัดหรือวัตถุที่ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงปล่อยคลื่นออกไปกระทบบริเวณนั้นด้วย

การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงนี้ได้ยกตัวอย่างของผิวของวัตถุทั่วไปมา 4 ชนิดด้วยกัน คือ พื้นผิวที่เป็นกล่องกระดาษ พื้นผิวที่เป็นไม้ และพื้นผนังที่เป็นคอนกรีต

โดยพื้นผนังที่เป็นคอนกรีตนำมาทดสอบในระยะตั้งแต่ 0.3 เมตร ถึง 4.8 เมตร ได้ผลการทดสอบของวัตถุตัวอย่างคือในช่วงระยะที่ 0.3 เมตร นั้นค่าที่เครื่องสามารถวัดออกมาได้นั้นมีค่าผิดพลาดค่อนข้างที่จะสูงโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงการทดสอบตั้งแต่ 0.6 เมตร ไป จะมีค่าความผิดพลาดลดต่ำลงมา ซึ่งอยู่ในช่วง 0 - 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่รับได้ ในส่วนของวัตถุที่พื้นผิวที่เป็นกระดากและพื้นผิวที่เป็นไม้ นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และการทดสอบกับพื้นผิวโค้งนั้นพบว่าค่าที่ออกมาค่อนข้างที่จะมีค่าผิดพลาดอยู่พอสมควร

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงกับพื้นผิวตัวอย่างทั้ง 4 ประเภท ที่ได้นำมาทดสอบนั้น สรุปได้ว่าพื้นผนังที่เป็นคอนกรีตมีค่าระยะห่างที่ทำการวัดออกมานั้นมีค่าระยะห่างที่ค่อนข้างนิ่งและใกล้เคียงกับค่าระยะห่างจริงมากที่สุด และเป็นพื้นผิวที่เป็นไม้ และเป็นพื้นผิวที่เป็นกล่องกระดาก และพื้นผิวลักษณะ โค้งตามลำดับ

การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ระดับการเอียงต่างๆของเครื่องนั้น ถ้าทำการวัดโดยที่มีมุมไม่เกิน 20 องศา นั้นระยะห่างที่ทำการวัดนั้นจะมีค่าผิดพลาดค่อนข้างน้อย แต่ถ้ามุมเกิน 20 องศาขึ้นไปนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดค่อนข้างเยอะ และการทดสอบวัดขนาดกับห้องจริงนั้นขนาดห้องที่ทำการวัดออกมาได้นั้น ได้ค่ามีขนาดที่ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกับขนาดของห้องจริงมาก โดยที่ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น ไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผล และชี้แจงปัญหาในการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหา และให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดห้องด้วยตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง เพื่ออำนวยความสะดวกในการวัดระยะและขนาดพื้นที่ของห้อง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุม โดยจะรับค่าจากการตรวจจับคลื่นความถี่ของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง เข้ามาในวงจรเพื่อประมวลผลตามแต่ละฟังก์ชันของการทำงานและแสดงผลออกทางหน้าจอแอลซีดี โดยที่วงจรและอุปกรณ์ต่างๆภายในเครื่องจะได้รับการจ่ายมาจากแบตเตอรี่สำรองแบบพกพาซึ่งมีการจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ ซึ่งเป็นพลังงานหลักและยังทำให้สามารถพกพาออกไปใช้นอกสถานที่ได้

การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดขนาดพบว่าในการวัดขนาดนั้นตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง สามารถส่งคลื่นความถี่ไปกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ โดยที่จะมีระยะประมาณ 0.3 – 4.8 เมตร ซึ่งในช่วงนี้เครื่องสามารถวัดขนาดได้เท่ากับค่าจริงหรือใกล้เคียงค่าจริงค่อนข้างมาก โดยที่จะมีค่าผิดพลาดอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงระยะ 0.3 เมตร มีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงมีตัวส่งและตัวรับอยู่คนละจุด จึงทำให้ในการวัดระยะใกล้ทำให้คลื่นที่ถูกส่งออกไปกระทบกับวัตถุสะท้อนกลับมาไม่ตรงกับตัวรับ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัตถุ และมุมของตัวเครื่องที่ทำการวัดหรือวัตถุที่ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงปล่อยคลื่นออกไปกระทบบริเวณนั้นด้วย

การทดสอบนี้ได้ยกตัวอย่างพื้นผิวของวัตถุทั่วไปมา 4 ชนิดด้วยกัน คือ พื้นผิวที่เป็นกล่องกระดาษ พื้นผิวที่เป็นไม้ พื้นผิวน้ำที่เป็นคอนกรีตและพื้นผิวโค้ง ที่ได้นำมาทดสอบในระยะตั้งแต่ 0.3 เมตร ถึง 4.8 เมตร ซึ่งผลการทดสอบการวัดขนาดแต่ละครั้งนั้นมีปัจจัยทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นทั้งจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและอาจจะเป็นตำแหน่งของการวางของเครื่องที่ทำการวัด ทำให้ค่าที่ออกมาในแต่ละครั้งนั้นเกิดการผิดพลาดไปเล็กน้อย แต่ค่าเฉลี่ยของขนาดที่ได้ทำการวัดในแต่ละครั้งนั้นออกมาถึงว่ารับได้เนื่องจากมีความใกล้เคียงกับค่าจริงค่อนข้างมาก

อีกหนึ่งกรณีคือการวัดขนาด โดยที่มีมุมมองเสาที่แตกต่างกันซึ่งจากการทดลองนั้น ได้ทราบซึ่งประสิทธิภาพของตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงที่สามารถนำไปใช้ได้นั้นต้องมีมุมมองเสาไม่เกิน 20 องศา จะทำให้การวัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

- 1) ในการทดสอบวัดระยะนั้นตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงได้ส่งคลื่นความถี่ออกไปในระยะที่ไกลเกินค่าพิคัดของระยะความถี่ จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างสูงและส่งผลให้ค่าที่วัดได้กับค่าจริงต่างกันเกินไป ซึ่งในกรณีที่เกิดเช่นนี้อาจจะแก้ไขโดยการเลือกใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง มีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดนี้หรือมีความถี่มากกว่าชนิดนี้
- 2) ในการทดสอบวัดระยะนั้นตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง นั้นจะทำการส่งคลื่นไปกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ และถ้าพื้นผิวของวัตถุมีลักษณะที่ไม่เรียบหรือมีรูปร่างที่ซับซ้อนมากก็อาจจะทำให้มีผลต่อการวัดระยะได้ ดังนั้นอาจจะแก้ไขโดยการเปลี่ยนพื้นผิวของวัตถุให้มีความเรียบหรือมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนมากมากระทบกับคลื่นที่ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง ส่งออกไป
- 3) ในการทดสอบวัดระยะ อาจจะมีอุปกรณ์ที่ทำให้กำเนิดคลื่นเสียงหรือเครื่องที่สร้างสัญญาณรบกวนทำงานอยู่บริเวณนั้นจะทำให้การสะท้อนของคลื่นความถี่ที่ถูกส่งออกไปลดลงทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดระยะได้ ซึ่งในกรณีนี้การที่จะวัดระยะด้วยเครื่องวัดขนาดด้วยตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียง นั้นควรจะวัดในพื้นที่ที่ไม่มีเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงหรือสัญญาณรบกวนชนิดอื่นทำงานอยู่เพื่อความถูกต้องในการวัดระยะ
- 4) ในการทดสอบการวัดขนาดห้อง เนื่องจากตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงทั้งสองข้างมีประสิทธิภาพการใช้งานที่จำกัด ควรใช้งานกับการวัดขนาดความกว้าง ความยาวของห้องที่ไม่เกิน 10 เมตร และความสูงของห้องที่ไม่เกิน 5 เมตร

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

- 1) เพิ่มการวัดให้มีระยะและความแม่นยำของการวัดเพิ่มมากขึ้น โดยการใช้ตัวรับรู้ความถี่เหนือเสียงให้มีประสิทธิภาพที่มากขึ้น
- 2) การเพิ่มรูปแบบการวัดขนาดห้องโดยออกแบบให้สามารถวัดได้จากมุมห้องหรือที่จุดใดๆของห้องเพื่อหาขนาดและปริมาตรได้ เพื่อเพิ่มขอบเขตการทำงาน
- 3) การเปลี่ยนรูปแบบการวัดจากการส่งคลื่นความถี่เหนือเสียงเป็นการใช้ตัวเลขเซอร์โคไดคแทนเพื่อเพิ่มศักยภาพในการวัดระยะ โดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงควบคู่ไปด้วยคือขนาดเครื่องและต้นทุนในการสร้าง
- 4) เพิ่มหน่วยความจำในตัวเครื่องเพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บข้อมูลของค่าที่วัดได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต/ธรรมชาติของเสียง, สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน จาก <http://www.rsu.ac.th>
- [2] ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสียง, สืบค้นเมื่อ 6 เมษายน 2558 จาก <https://sites.google.com/site/projectsonarphy121>
- [3] บริษัท คอม โฟแม็กซ์ จำกัด อัลตราโซนิกเซนเซอร์, สืบค้นเมื่อ 27 มีนาคม 2558 จาก <http://www.compomax.co.th>.
- [4] student.nu.ac.th/electronic/Part01/Ultrasonic.doc, สืบค้นเมื่อ 27 มีนาคม 2558
- [5] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มจพ./การทดลองใช้งาน โมดูล HC-SR04, สืบค้นเมื่อ 4 เมษายน 2558 จาก <http://cpre.kmutnb.ac.th>.
- [6] การใช้งาน Arduino UNO R3, สืบค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2558 จาก <http://www.praphas.com>.
- [7] บทความการใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino, สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2558 จาก <http://www.thaieasyelec.com>.
- [8] แบตเตอรี่สำรองพกพา, สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2558 จาก <http://www.golfpowerbank.com>



ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของตัวรับรู้ความดีเหนือเสียง HC-SR04

มหาวิทยาลัยนเรศวร



Tech Support: services@elec Freaks.com

Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

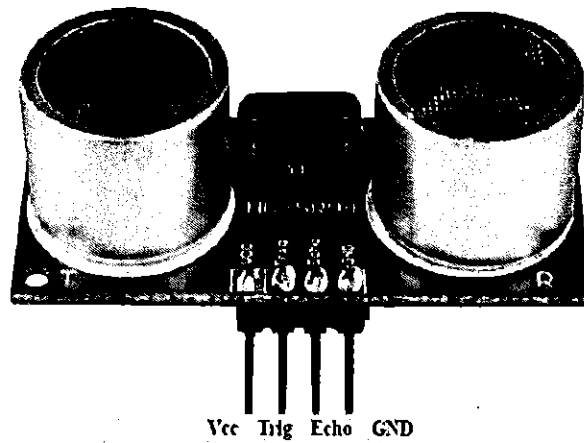
Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The module includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) If the signal back, through high level, time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time × velocity of sound (340M/S)) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

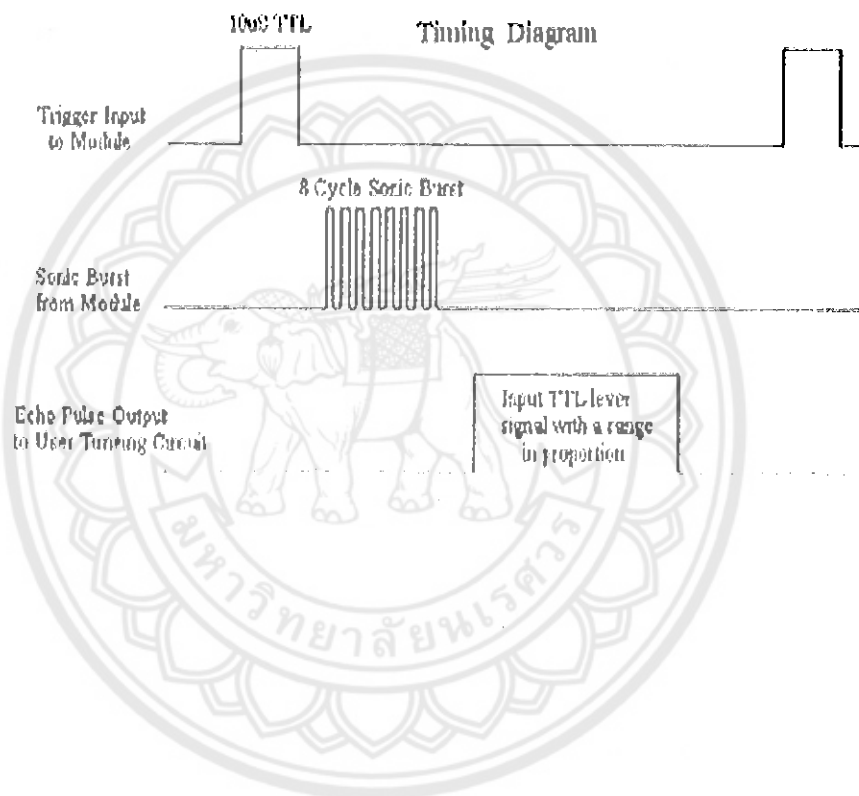


Electric Parameter

Working Voltage	DC 5V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
Measuring Angle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL level signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm

Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10 μ S pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$ or $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.





ภาคผนวก ข
รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

Features

- **High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller**
- **Advanced RISC Architecture**
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- **High Endurance Non-volatile Memory Segments**
 - 4K/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- **Peripheral Features**
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC In TQFP and QFN/MLF package
Temperature Measurement
 - 8-channel 10-bit ADC In PDIP Package
Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- **Special Microcontroller Features**
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- **Operating Voltage:**
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- **Temperature Range:**
 - -40°C to 85°C
- **Speed Grade:**
 - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- **Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:**
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



**8-bit AVR®
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

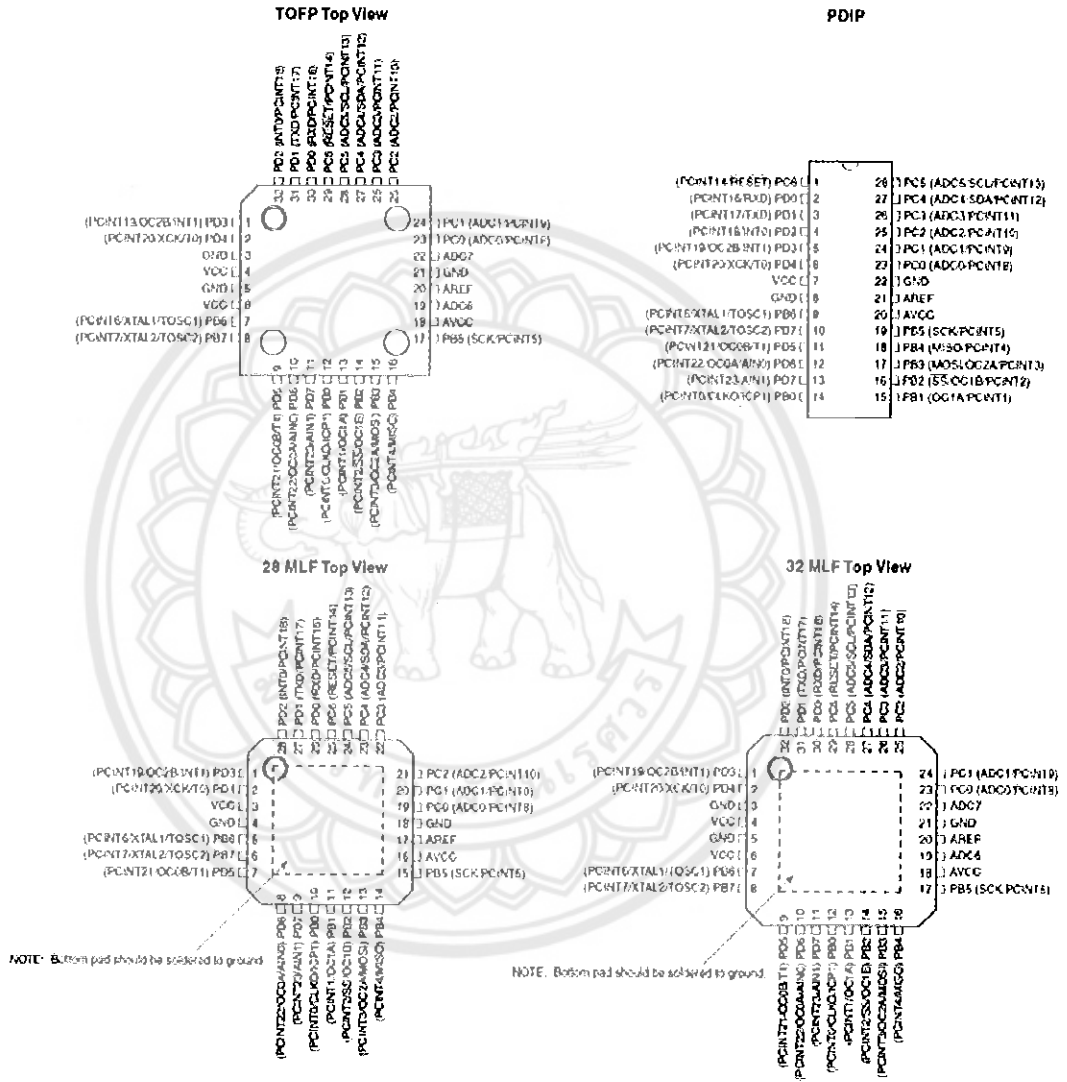
**ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P**

Summary

ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7.6 is used as TOSC2.1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "Alternate Functions of Port B" on page 76 and "System Clock and Clock Options" on page 26.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5.0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 28-3 on page 308. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "Alternate Functions of Port C" on page 79.

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

The various special features of Port D are elaborated in "Alternate Functions of Port D" on page 82.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6.4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

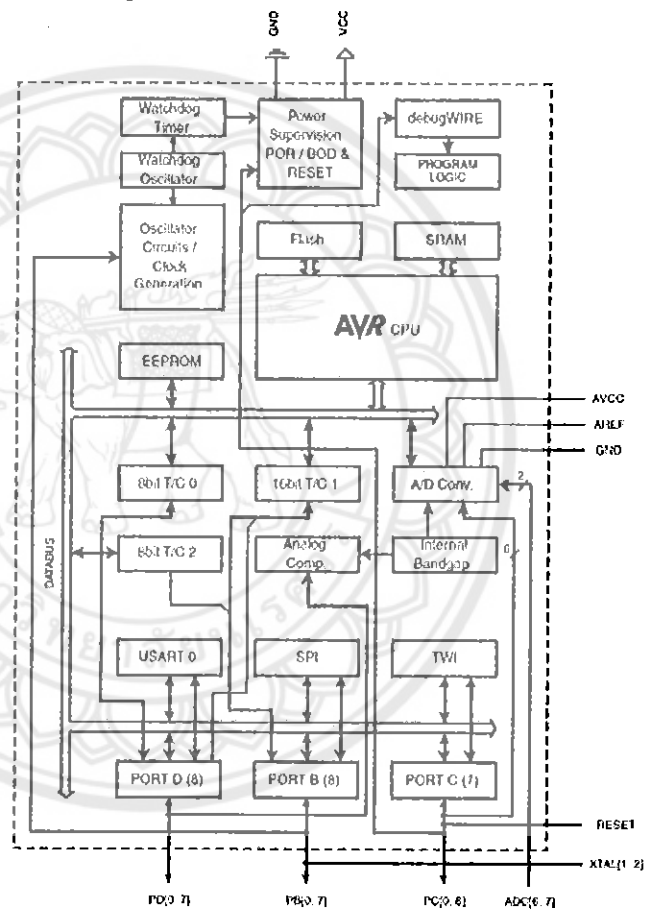
ATmega48PA/88PA/168PA/328P

2. Overview

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48PA/88PA/168PA/328P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting

architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P provides the following features: 4/8/16/32K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1K bytes EEPROM, 512/1K/1K/2K bytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 6-channel 10-bit ADC (8 channels in TQFP and QFN/MLF packages), a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48PA/88PA/168PA/328P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48PA/88PA/168PA/328P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P

The ATmega48PA, ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. Table 2-1 summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the three devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48PA	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168PA	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector

ATmega88PA, ATmega168PA and ATmega328P support a real Read-While-Write Self-Programming mechanism. There is a separate Boot Loader Section, and the SPM instruction can only execute from there. In ATmega48PA, there is no Read-While-Write support and no separate Boot Loader Section. The SPM instruction can execute from the entire Flash.

7.3 ATmega168PA

Speed (MHz) ⁽³⁾	Power Supply	Ordering Code ⁽²⁾	Package ⁽¹⁾	Operational Range
20	1.8 - 5.5	ATmega168PA-AU ATmega168PA-MMH ⁽⁴⁾ ATmega168PA-MU ATmega168PA-PU	32A 28M1 32M1-A 28P3	Industrial (-40°C to 85°C)

- Note:
1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. Pb-free packaging complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
 3. See "Speed Grades" on page 312.
 4. NiPdAu Lead Finish.

9.4 Errata ATmega328P

The revision letter in this section refers to the revision of the ATmega328P device.

9.4.1 Rev D

No known errata.

9.4.2 Rev C

Not sampled.

9.4.3 Rev B

- **Unstable 32 kHz Oscillator**

1. **Unstable 32 kHz Oscillator**

The 32 kHz oscillator does not work as system clock.

The 32 kHz oscillator used as asynchronous timer is inaccurate.

Problem Fix/ Workaround

None

9.4.4 Rev A

- **Unstable 32 kHz Oscillator**

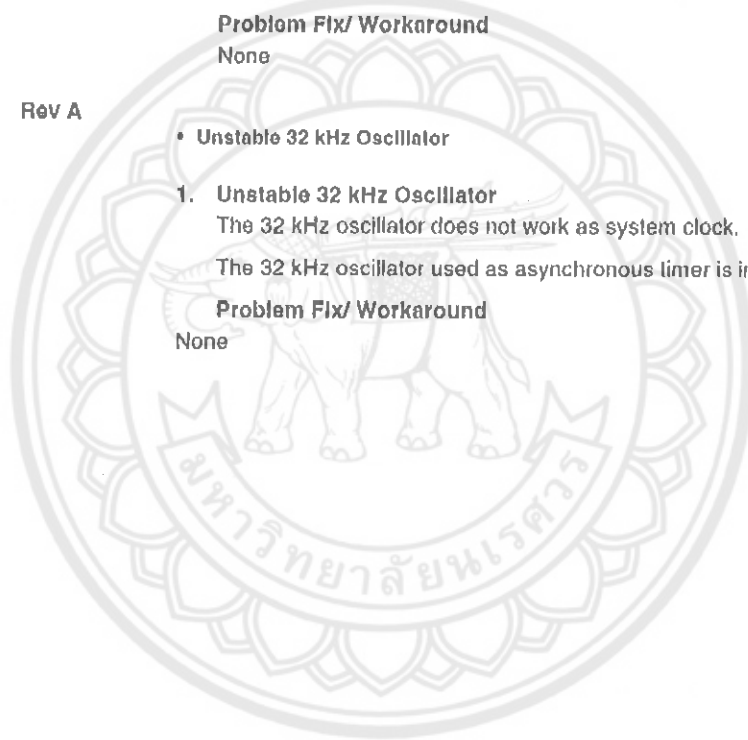
1. **Unstable 32 kHz Oscillator**

The 32 kHz oscillator does not work as system clock.

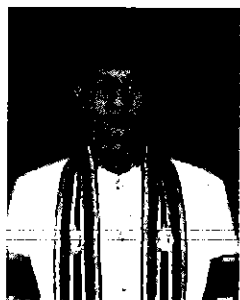
The 32 kHz oscillator used as asynchronous timer is inaccurate.

Problem Fix/ Workaround

None



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายไ নয়ชน ศรีบุญเรือง
 ภูมิลำเนา 255 หมู่ 10 ต.กลางเวียง อ.เวียงสา จ.น่าน
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: naiyabeam@hotmail.com



ชื่อ นายเบญจพล กมลเสถียร
 ภูมิลำเนา 191/19 หมู่ 8 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนมัธยมวิทยา
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: benjapol_054@hotmail.com



ชื่อ นายสิทธิไกร โปทา
 ภูมิลำเนา 45 หมู่ 4 ต.รวมไทยพัฒนา อ.พบพระ จ.ตาก
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพบพระวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sittikai.pt@gmail.com