ตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยอัลตร้าโซนิค

Under water ultrasonic detector

โตสารลักษณ์ บิ่นตา

รณภูมิ ตรหาญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

ตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยอัลตร้าโซนิค

Under water ultrasonic detector

โดย

1.นายโอฬารลักษณ์ ปินตา รหัส 53011238

MR.ORANLUK PINTA

2.นายรณภูมิ คงทายาท รหัส 53011330

MR.RONNAPHUM KHONGTHAYAT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ.2556

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยอัลตร้าโซนิค

UNDER WATER ULTRASONIC DETECTOR

ผู้จัดทำ นายโอฬารลักษณ์ ปินตา รหัสประจำตัว 53011238

นายรณภูมิ คงทายาท รหัสประจำตัว 53011330

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

อาจารย์โกศล ชวนขยัน

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยอัลตร้าโซนิค	
นักศึกษา	นายโอฬารลักษณ์ ปินตา	รหัสประจำตัว 53011238
	นายรณภูมิ คงทายาท	รหัสประจำตัว 53011330
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	อาจารย์โกศล ชวนขยัน	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้อธิบายถึงการสร้างและการออกแบบเครื่องตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยระบบอัลตร้าโซนิค ซึ่งมีหลักการทำงานคือการส่งคลื่นสัญญาณขนาดมากกว่า 40 KHz ไปสะท้อนกับวัตถุใต้น้ำแล้วแสดงผลออกมาทาง 7-Segments และสามารถตรวจจับวัตถุได้ขั้นต่ำในระยะ 0.2-2.5 เมตร โดยจะใช้อัลตร้าโซนิคเซนเซอร์แบบกันน้ำในการทำงาน ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาและสังเกตเกี่ยวกับการสื่อสารใต้น้ำด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง 40 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Under Water Ultrasonic Detector	
Student	Mr. Oranluk Pinta	ID 53011238
	Mr. Ronnaphum Khongthayat	ID 53011330
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2556	
Thesis Advisor	Mr. Kosol Chuankhayun	

ABSTRACT

This thesis describes how to create and design an underwater detector with ultrasonic. Principle is to send a signal more than 40 KHz. To reflect on the object under water and out of the display 7-Segments. And can detect objects at a minimum distance of 0.2 to 2.5 meters. It uses ultra-sonic sensors to put in the work. In order to study and observe the underwater communication with acoustic frequency 40 KHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้จะประสบความสำเร็จได้ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์โกศล ชวนขยัน และอาจารย์ พลผดุง ผดุงกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยช่วยเหลือ แนะนำ และคอยอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบงบประมาณช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้ ซึ่งเป็นการแบ่งเบาภาระค่าใช้จ่ายให้กับทางคณะผู้จัดทำเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณเพื่อนร่วมโครงงาน ได้แก่ นายโอฬารลักษณ์ ปินตา และนายรณภูมิ คงทายาท ที่คอยให้คำปรึกษาและแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยกันตลอดมา และที่ขาดไม่ได้ต้องขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนความรู้ต่างๆมากมาย ซึ่งล้วนแต่เป็นประโยชน์กับการทำโครงงานในครั้งนี้ทั้งสิ้น ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งกับทุกท่านดังที่กล่าวมา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สำหรับคุณงามความดีหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากโครงงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาซึ่งเป็นที่เคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

โอฬารลักษณ์ ปินตา

รณภูมิ คงทายาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นการรวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับการสร้างและการออกแบบเครื่องตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยอัลตร้าโซนิค (Under water ultrasonic detector) โดยในโครงงานจะประกอบไปด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ขอบเขต และวัตถุประสงค์ หลักการทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุและวงจรควบคุม ทั้งนี้ยังรวมถึงการวิเคราะห์แนวคิดการออกแบบ อธิบายปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ตัวเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคชนิดกันน้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์หลักของการออกแบบวงจร เป็นอุปกรณ์ที่ค่อนข้างจะมีราคาสูงและหายาก ดังนั้นเพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลาในการศึกษาทดลอง ทางผู้จัดทำจึงได้ใช้เซนเซอร์กันน้ำนี้ทดสอบกับวงจรควบคุมก่อนในเบื้องต้น และจะมุ่งเน้นการทดสอบวงจรตรวจจับวัตถุด้วยอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตัวกลางอากาศแทน แต่ในท้ายที่สุดแล้วจะใช้เซนเซอร์ชนิดกันน้ำทั้งสองวงจรเพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงงานที่มุ่งเน้นไปทางด้านการสื่อสารใต้น้ำ

นายโอฬารลักษณ์ ปินตา

นายรณภูมิ คงทายาท

(ผู้จัดทำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1

1.2 ขอบเขตและวัตถุประสงค์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ระบบอัลตร้าโซนิค.....3

2.2 ความถี่ของคลื่นเสียง.....4

2.3 ความหมายของคลื่น.....4

2.4 ชนิดของคลื่น.....4

2.5 ลักษณะของคลื่นเสียง.....5

2.6 การเดินทางของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง.....6

2.7 คุณสมบัติของเสียง.....8

2.8 ความยาวคลื่น.....8

2.9 ความสัมพันธ์ของความถี่และความยาวคลื่น.....9

2.10 การวัดระยะทางของวัตถุ.....9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.11 PIC.....10

2.12 Timer.....11

2.13 CCP.....11

บทที่ 3 หลักการทำงาน.....13

3.1 หลักการทำงานของตัวส่ง Ultrasonic Sensor.....13

3.2 อัลตร้าโซนิคภาคส่ง (Ultrasonic Tx).....14

3.3 หลักการทำงานของตัวรับ Ultrasonic Sensor.....15

3.4 วงจรขยายแรงดัน (Amplifiers).....16

3.5 วงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด (Voltage peak detector).....17

3.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator).....18

3.7 การแสดงผลระยะทางด้วย 7-segment (Multiplexed 7-segment displays).....19

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....21

4.1 วงจรภาคส่ง.....21

4.2 วงจรภาครับ.....22

ผลการทดลองค่าError ของ Ultrasonic ใต้น้ำ.....25

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ.....7

ตารางที่ 3.1 7-Segment Display Output.....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ *2.1* การกระจายโมเลกุลขณะเกิดคลื่นเสียง (บน)
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศกับระยะทาง (ล่าง).....6

รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปคลื่น.....8

รูปที่ 2.3 Microcontroller.....10

รูปที่ 3.1 บล๊อกไดอะแกรมหลักการทำงานของตัวส่ง Ultrasonic Sensor.....12

รูปที่ 3.2 วงจรภาคส่ง (Ultrasonic Tx).....13

รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค.....14

รูปที่ 3.4 วงจรขยายแรงดัน.....15

รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด.....16

รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบ.....17

รูปที่ 3.7 การแสดงผลด้วย 7-Segment.....18

รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของ 7-segment.....19

รูปที่4.1.1 คลื่นพัลส์ที่ออกมาจาก PIC18F452 (10u/div).....21

รูปที่4.1.2 คลื่นพัลส์ที่ออกมาจาก Sensor Ultrasonic (10u/div).....21

รูปที่4.2.1 สัญญาณขาเข้าที่ Sensor Ultrasonic วัดที่ระยะ 50 cm (0.1V/div. 10us/div).....22

รูปที่4.2.2 สัญญาณขาเข้าที่ Sensor Ultrasonic วัดที่ระยะ 60 cm (0.1V/div. 0.1ms/div).....22

รูปที่4.2.3 ขยายสัญญาณภาคที่ 1 (1V/div. 1ms/div).....23

รูปที่4.2.4 ขยายสัญญาณภาคที่ 2 (2V/div. 5us/div).....23

รูปที่4.2.5 สัญญาณเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (2V/div. 5us/div).....24

รูปที่4.2.6 สัญญาณเมื่อผ่าน LM311n (5V/div. 10us/div).....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

คลื่นอุลตร้าโซนิค(Ultrasonic)หมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 20Hz - 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อยๆอาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอุลตร้าโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมาซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้นมีชื่อเรียกว่าอัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์(Ultrasonic Transducer) ในปัจจุบันอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่

แบบเปียโซอิเลคทริก (Piezo-electric Transducer)ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกลโดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

แบบแมกนีโตสตริคทีฟ (Magnetostrictive Transducer)ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

แบบอิเลคโตรสตริคทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

โครงงานครั้งนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าและทดลองโดยใช้ประโยชน์จากคลื่นอัลตร้าโซนิค อย่างหนึ่ง คือการตรวจจับวัตถุและวัดระยะห่างของวัตถุใต้น้ำ โดยใช้ข้อดีของคลื่นอัลตร้าโซนิค คือ สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกประเภท โดยไม่สนใจสี พื้นผิว ความมันวาว ความโปร่งใส และเนื่องจากคลื่นอัลตร้าโซนิคเป็นคลื่นที่มีทิศทางแนวคลื่นมีการเบี่ยงเบนเพียง 30 องศาเท่านั้น ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้ค่อนข้างแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค้นคว้าและทดลองวงจรตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

2. สร้างวงจรตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค เพื่อตรวจจับวัตถุและแสดงผลระยะห่างระหว่างวัตถุกับตัวเรือ โดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค 40 KHz เป็นคลื่นที่สะท้อนกับวัตถุที่ต้องการในแนวดิ่งโดยไม่เจาะจงชนิดของวัตถุ

3. เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคที่ใช้เป็นชนิดเปียร์โซอิเล็กทริกแบบกันน้ำ สามารถใช้งานตรวจจับวัตถุได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ สามารถส่งสัญญาณคลื่นได้ในระยะ 0.2 ถึง 2.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบอัลตร้าโซนิค

อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) หรือ เหนือเสียง หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้ ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงเกินกว่าที่ประสาทหูมนุษย์จะได้ยิน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz สมบัติเด่นของคลื่นย่านอัลตร้าโซนิค คือเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เรียกว่า มีทิศทางอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศได้ หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกว่า อัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer)มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกส์มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งเพื่อการตรวจวัดคุณภาพ และใช้ในการแปรรูปอาหาร (food processing) เช่น การสกัด (sonocation) การทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsification) การทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น รา ยีสต์ และแบคทีเรีย เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ซึ่งอาจใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น การแปรรูปด้วยความร้อน (thermal processing) การใช้ความดันสูง นอกจากนี้คลื่นอัลตราโซนิกส์ยังนำมาใช้ในการล้างทำความสะอาด (washing) วัตถุดิบ เช่นผัก ผลไม้ สมุนไพร โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง สิ่งสกปรกจะหลุดออกมาได้ง่ายขึ้น

2.1.1 คุณสมบัติของ Ultrasonic Sensor

- ตรวจจับวัตถุโดยการใช้คลื่นเสียง
- มีระยะการตรวจจับสูง
- ตรวจจับวัตถุโดยไม่สนใจสีหรือพื้นผิวของวัตถุ
- ตรวจจับได้ทั้งของแข็ง ของเหลว เปียกหรือแห้ง
- ตรวจจับวัตถุที่มีไอฝุ่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความถี่ของคลื่นเสียง

- ความถี่ที่มนุษย์ได้ยินอยู่ในช่วง 20 – 20,000 Hz
- ความถี่ต่ำกว่า 20 Hz เรียกว่า Infrasonic หรือ คลื่นใต้เสียง
- ความถี่สูงกว่า 20 kHz เรียกว่า Ultrasonic หรือ คลื่นเหนือเสียง

2.3 ความหมายของคลื่น

คลื่น หมายถึง ลักษณะของการถูกรบกวน ที่มีการแผ่กระจาย เคลื่อนที่ออกไป ในลักษณะของการกวัดแกว่ง หรือกระเพื่อม และมักจะมีการส่งถ่ายพลังงานไปด้วย คลื่นเชิงกลซึ่งเกิดขึ้นในตัวกลาง (ซึ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูป จะมีความแรงยืดหยุ่นในการดีดตัวกลับ) จะเดินทางและส่งผ่านพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในตัวกลาง โดยไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนตำแหน่งอย่างถาวรของอนุภาคตัวกลาง คือไม่มีการส่งถ่ายอนุภาคนั่นเองแต่จะมีการเคลื่อนที่แกว่งกวัด (oscillation) ไปกลับของอนุภาค อย่างไรก็ตามสำหรับ การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการแผ่รังสีแรงดึงดูดนั้นสามารถเดินทางในสุญญากาศได้ โดยไม่ต้องมีตัวกลาง

2.4 ชนิดของคลื่น

คลื่นเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่รูปแบบหนึ่ง คลื่นสามารถจำแนกตามลักษณะต่าง ๆได้ดังนี้

ก) จำแนกตามลักษณะการอาศัยตัวกลาง

คลื่นกล (Mechanical wave) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยอาศัยตัวกลางซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซก็ได้ตัวอย่างของคลื่นกลได้แก่คลื่นเสียงคลื่นที่ผิวน้ำคลื่นในเส้นเชือกเป็นต้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง สามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้เช่นคลื่นแสงคลื่นวิทยุและโทรทัศน์คลื่นไมโครเวฟรังสีเอกซ์รังสีแกมมา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) จำแนกตามลักษณะการเคลื่อนที่

คลื่นตามขวาง (Transverse wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตัวอย่างของคลื่นตามขวางได้แก่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นตามยาว (Longitudinal wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตัวอย่างของคลื่นตามยาวได้แก่คลื่นเสียง

ค) จำแนกตามลักษณะการเกิดคลื่น

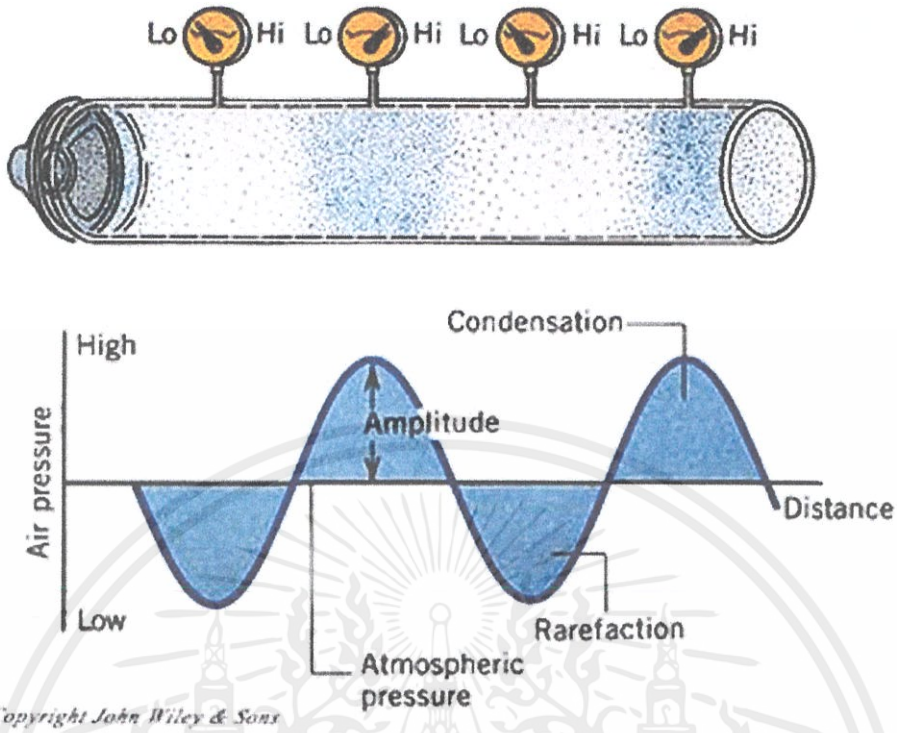
คลื่นดล (Pulse wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดถูกรบกวนเพียงครั้งเดียว

คลื่นต่อเนื่อง (Continuous wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดถูกรบกวนต่อเนื่อง

2.5 ลักษณะของคลื่นเสียง

เสียงเป็นคลื่นความดัน (Pressure Wave) จะต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ของแข็งหรือของเหลว แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวเกิดจากการสั่นของวัตถุ ความถี่ของเสียงจะมีค่าเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิด และในขณะที่มีการสั่นโมเลกุลของตัวกลางจะมีการถ่ายทอดพลังงานทำให้เกิดความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่ง ทำให้เกิดเป็นช่วงอัด และ ช่วงขยายโดย**ที่ช่วงอัด**คือบริเวณที่อนุภาคของตัวกลางอัดเข้าหากัน บริเวณนี้มีจะมีความดันสูงสุดโดยเทียบกับความดันที่ตำแหน่งสมดุลของอนุภาค เกิดการขจัดของอนุภาคน้อยที่สุด ส่วน**ช่วงขยาย**คือบริเวณที่อนุภาคตัวกลางแยกห่างจากกัน บริเวณนี้มีความดันต่ำสุดโดยเทียบกับความดันที่ตำแหน่งสมดุลของอนุภาค เกิดการขจัดของอนุภาคมากที่สุด ซึ่งสามารถเขียนเป็นกราฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 *การกระจายโมเลกุลขณะเกิดคลื่นเสียง (บน)*
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศกับระยะทาง (ล่าง)

2.6 การเดินทางของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง ความถี่ของคลื่นเสียงจะมีค่าคงตัวเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ส่วนอัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางหนึ่งๆ จะมีค่าคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางนั้นคงตัว ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (m/s)
แก๊ส	
อากาศ (0°C)	331
อากาศ (20°C)	343
ไฮโดรเจน (0°C)	1286
ออกซิเจน (0°C)	317
ฮีเลียม (0°C)	972
ของเหลว (25°C)	
น้ำ	1493
เมทิลแอลกอฮอล	1143
น้ำทะเล	1533
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม	5100
ทองแดง	3560
เหล็ก	5130
ตะกั่ว	1322

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากอัตราเร็วเสียงในอากาศพบว่า อัตราเร็วของเสียงมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศตามสมการ

$$v_t = 331 + 0.6t$$

โดย v_t อัตราเร็วของคลื่นเสียง (m/s)

t อุณหภูมิของอากาศ (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 คุณสมบัติของเสียง

เสียงมีคุณสมบัติของคลื่น ครบทั้ง 4 ประการคือ

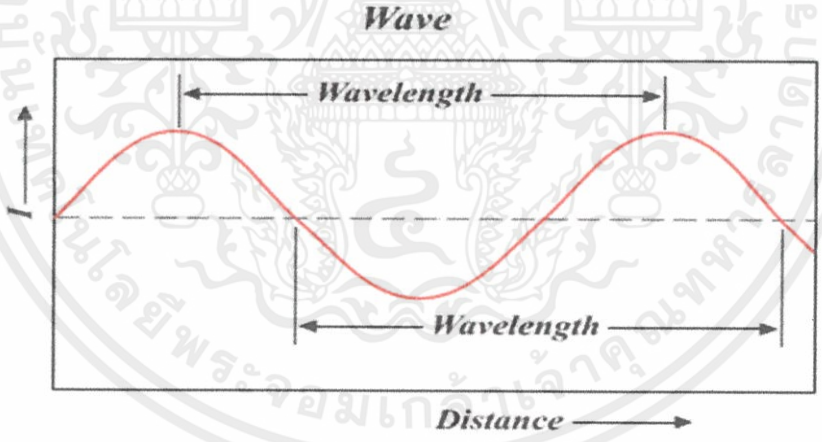
1. **การสะท้อนของเสียง** เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาที่เดิม

2. **การหักเหของเสียง** เสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งผ่านไปยังอีกตัวกลางจะเกิดการหักเห เช่นเดียวกับคลื่นผิวน้ำ เช่น เห็นฟ้าแลบโดยไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง เนื่องจากคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศร้อนได้เร็วกว่าอากาศเย็นอัตราเร็วของเสียงจึงน้อยกว่าบริเวณใกล้ผิวโลก

3. **การแทรกสอดของเสียง** เสียงมีคุณสมบัติสามารถแทรกสอดกันได้เมื่อฟังเสียงบริเวณที่มีการแทรกสอดกันจะได้ยินเสียงดังค่อยต่างกัน

4. **การเลี้ยวเบนของเสียง** เสียงสามารถเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวางไปด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้ เช่นเดียวกับ คลื่นผิวน้ำ ซึ่งจะพบเห็นในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ เช่น ได้ยินเสียงที่มุมตึก

2.8 ความยาวคลื่น



รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปคลื่น

- แกนนอน คือ ระยะทาง

- แกนตั้ง คือ แรงดันอากาศที่เปลี่ยน

- ความยาวคลื่น คือ ระยะทางระหว่างส่วนที่ซ้ำกันของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ความสัมพันธ์ของความถี่และความยาวคลื่น

ความยาวคลื่น(λ) สัมพันธ์แบบผกผันกับความถี่ของคลื่นนั้น

$$\lambda = c/f$$

เมื่อ

λ = ความยาวคลื่น

c = ความเร็วเสียงในอากาศขึ้นกับอุณหภูมิ

f = ความถี่ของคลื่น

2.10 การวัดระยะทางของวัตถุ

<u>ตัวอย่าง</u>

Ultrasonic Sensor ชนิดหนึ่ง คลื่นเสียงมีความเร็วv = 343 m/s (อุณหภูมิ 20 องศา) ประมวลผลเวลารับ-ส่งคลื่นได้ 20 msอยากทราบว่าวัตถุที่ตรวจจับได้อยู่ห่างจากเซ็นเซอร์เท่าไร

$s = v \times t$

$= (340\ m/s) * (20 \times 10^{-3}\ s)$

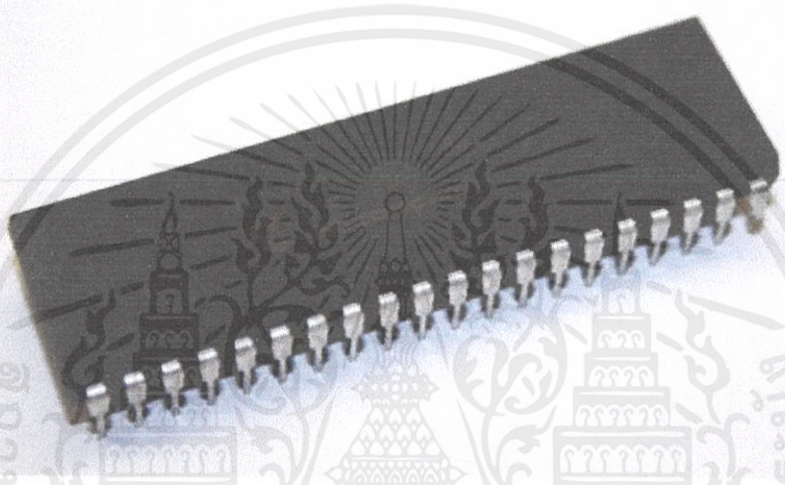
$= 6.8\ m$

แต่เวลาที่วัดได้เป็นการส่ง – รับคลื่นดังนั้นระยะทางจริงของวัตถุ คือ 3.4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 PIC

PIC คือ microcontroller อีกระกูลหนึ่งย่อมาจากคำว่าPeripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของเจ้า microcontroller ตระกูลนี้ก็คือพยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอกในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำซึ่งทำให้มันเหมือนกัน CPU ตัวนึงเลยทีเดียว



รูปที่ 2.3 Microcontroller

2.11.1 ความเร็วของ PIC

ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกาปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 uSec แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก microchip และได้สร้าง chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 หน่วยความจำของ PIC

ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อยคืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบันบริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์และมีทีท่าว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆในเรื่องของการนับขนาดของหน่วยความจำของ PICจะนับไม่เหมือนปกติโดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PICจะมีขนาด 14 bitsเช่น PIC16F84A ระบุว่ามีหน่วยความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1 Kword) ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะได้ว่า 1 x 1,024 x 14 = 14,336 bits ดังนั้นก็คือ 14,336/(8 x 1,024) = 1.75K bytes นั่นเอง

2.11.3 สถาปัตยกรรมของ PIC

ตอนนี้มี 3 สายหลักๆสมัยก่อนมีแค่สองคือขึ้นต้นด้วย 16xxx,17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx ถ้าพูดถึงคุณสมบัติที่เหนือกว่าเรียงจากน้อยสุดไปมากสุดก็คือ 16 -> 17 -> 18 คำสั่ง assembly ของ 17และมี 18 จะมีมากกว่า 16 ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่าราคาก็จะสูงกว่าด้วยแต่ที่เป็นที่นิยมก็คือตระกูล 16xxx

2.12 Timer

Timer คือวงจรนับที่มีอยู่ใน PIC โดยวงจรนับจะทำการนับเพิ่มค่าทีละ 1 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่สามารถนับได้ แล้วจะรีเซตกลับไปเริ่มต้นนับรอบใหม่ แต่จะปรากฏค่าเพื่อบอกให้ทราบว่า Timer ทำการนับจนครบรอบแล้ว สัญญาณที่ป้อนเป็นอินพุทให้กับ Timer ทำการนับต้องเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณพัลส์ที่ได้จากสัญญาณนาฬิกาจากคริสตอลที่ป้อนให้กับ PIC หรือสัญญาณพัลส์จากภายนอก PIC ก็ได้ ซึ่งถ้าใช้สัญญาณนาฬิกาแบบแรกจะเรียกว่า Timer แต่ถ้าใช้สัญญาณอินพุทแบบที่สองเรียกว่า Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 CCP

CCP ย่อมาจาก Capture/Compare/PWM เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่เฉพาะอยู่ภายใน PIC โดยที่เวลาทำงานต้องทำงานร่วมกับ Timer ลักษณะการทำงานของ CCP แบ่งออกเป็น 3 โหมดตามชื่อของมันดังต่อไปนี้

- Capture มีลักษณะการทำงานคล้ายนาฬิกาหยุดเวลา โดยจะทำการบันทึกค่าที่นับได้จากTimer 1 หรือ Timer 3 ไปยังรีจิสเตอร์ของ CCP เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงที่อินพุทที่ขาอินพุทของ CCP

- Compare จะทำงานในลักษณะตรงข้ามกับ Capture คือจะนำค่าที่ได้จาก Timer 1 หรือ Timer 3 ไปเปรียบเทียบกับค่ารีจิสเตอร์ของ CCP ถ้าค่าเท่ากันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทที่เอาท์พุทของ CCP หรือสั่งให้เกิดเหตุการณ์อื่นๆ

- PWM จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) ออกมาทางขาเอาท์พุทของ CCP โดยใช้การเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าที่นับได้จาก Timer 2 กับรีจิสเตอร์ PR2 และการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าที่นับได้จาก Timer 2 กับรีจิสเตอร์ CCP เพื่อกำหนดคาบเวลาและ Duty cycle ของสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการทำงาน

3.1 หลักการทำงานของตัวส่ง Ultrasonic Sensor

รูปที่ 3.1 วงจร Ultrasonic Sensor

จากการที่คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่กระจายในอากาศด้วยความเร็วคงที่ หลักการคร่าวๆ มีอยู่ว่า เราจะนับเวลาที่คลื่นใช้เดินทางออกจากตัวส่งไปถึงเป้าหมายจนกระทั่งสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาระยะทางได้ เมื่อคลื่นเริ่มส่งสัญญาณอัลตราโซนิกออกไป วงจรนับ (counter) จะเริ่มนับพัลส์ (pulse) ที่มีความถี่เท่ากับความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ (หน่วย m/s) เมื่อคลื่นสะท้อนกลับมายังตัวรับ วงจรนับจะหยุดนับ และค่าที่ได้จากการนับจึงเป็นระยะทาง 2 เท่าของระยะทางจากเครื่องวัดถึงเป้าหมาย ดังนั้นเพื่อให้ได้ระยะทางจริงจำเป็นต้องหารด้วย 2 หรือให้วงจรนับนับพัลส์ที่มีความถี่เท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วเสียง (หรือคาบเวลา 2 เท่าของเวลาที่คลื่นใช้เดินทางไปยังเป้าหมาย) และเมื่อวงจรนับหยุดนับ จำนวนพัลส์ที่ได้จะเท่ากับระยะทางจริงจากเครื่องวัดถึงเป้าหมายเราสามารถคำนวณระยะทางจริงจากเครื่องวัดถึงวัตถุสะท้อนได้จาก

$$2S = VT$$

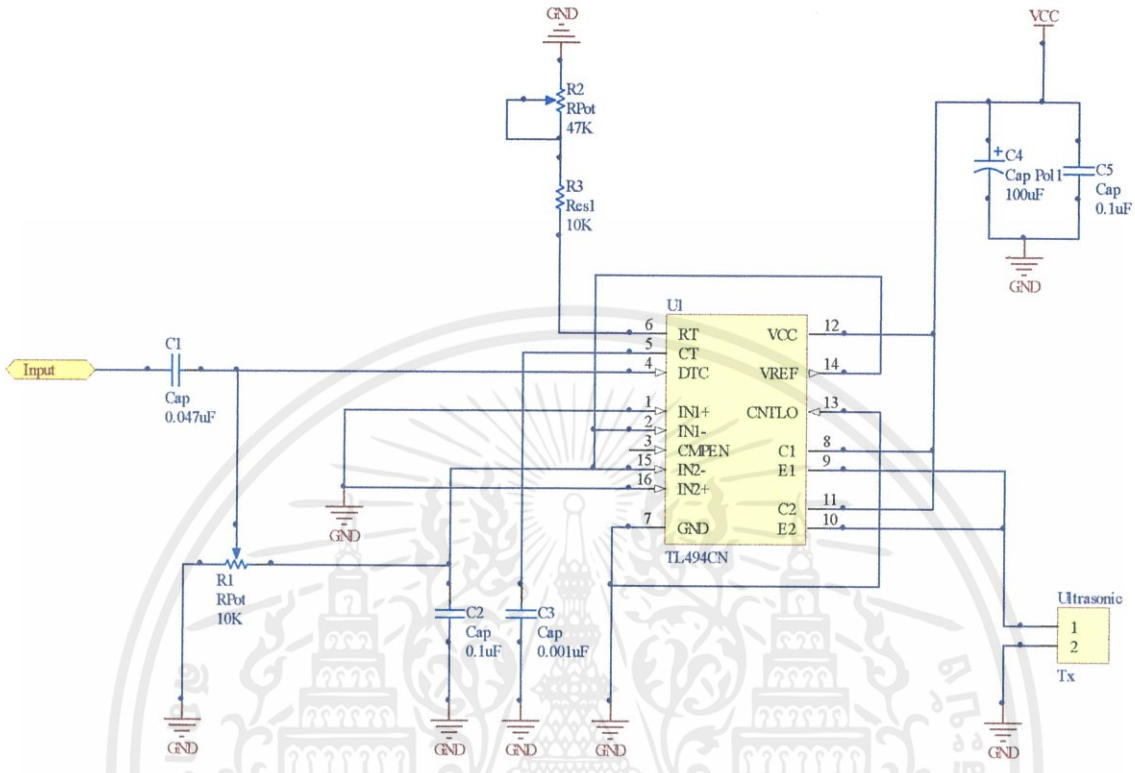
โดย S = ระยะทางจากเครื่องวัดถึงวัตถุ (m)

V = ความเร็วเสียงในอากาศ (m/s)

T = เวลาในการเดินทางไปและกลับของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (seconds)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อัลตร้าโซนิคภาคส่ง (Ultrasonic Tx)

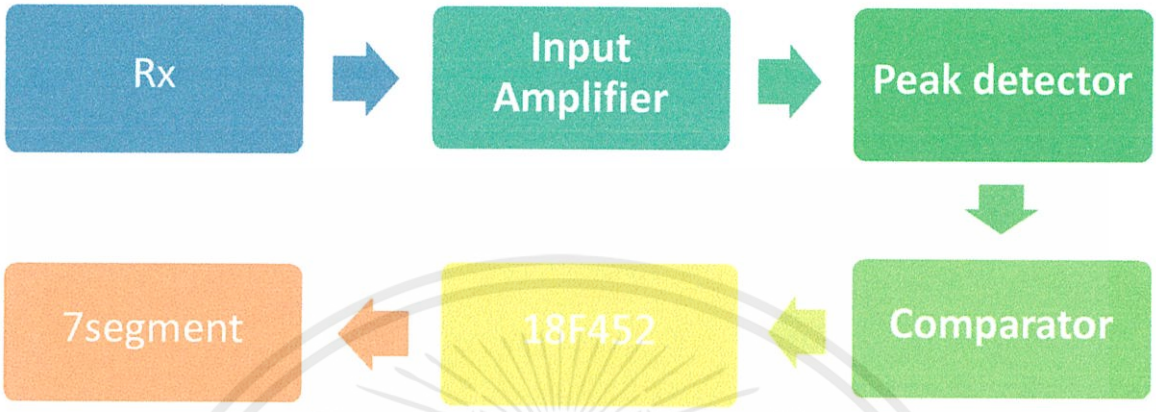


รูปที่ 3.3 วงจรภาคส่ง (Ultrasonic Tx)

เนื่องจากตัวสัญญาณพัลส์ที่ PIC สร้างขึ้นนั้นมีกระแสและกำลังการส่งที่น้อยมาก ดังนั้นเราจึงต้องทำการเพิ่มกำลังการส่งให้สูงขึ้น โดยใช้IC TL494 ที่สามารถเพิ่มกำลังขายและเพิ่มกระแสได้มาถึง 200mA จะทำให้มีกำลังการส่งเพียงพอต่อส่งในระยะที่ไกลขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการทำงานของตัวรับ Ultrasonic Sensor



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค

หลักการทำงาน

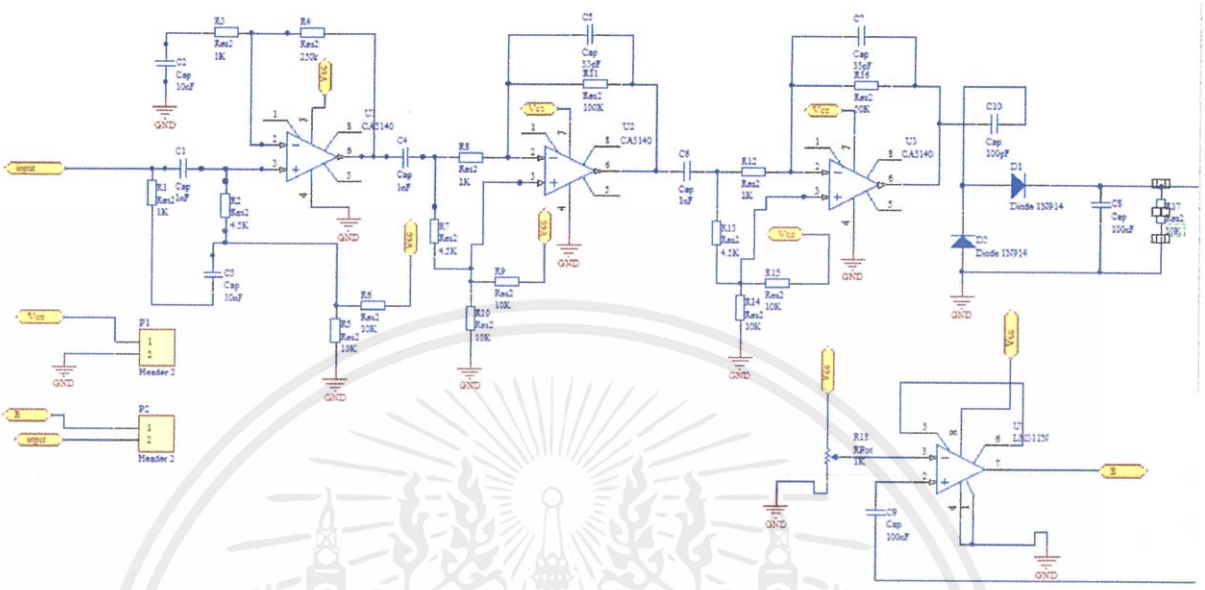
จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรตรวจจับวัตถุใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับวัตถุใต้น้ำและวัดระยะห่างของวตถุชนิดนั้นกับตัวเรือในแนวดิ่งโดยไม่เจาะจงชนิดของวัตถุ ขอบเขตการตรวจจับจะอยู่ในระดับความลึก 20-250 เซนติเมตร นับจากตัวเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค เมื่อเปิดเครื่องตัวไมโครคอนโทลเลอร์ในที่นี้ใช้ PIC เบอร์ 18F452 จะทำการส่งคลื่นพัลส์ความถี่ 40 KHz ออกทางพอร์ททริกเกอร์ (Port trigger) เข้าสู่ภาคขยายเอาท์พุท สาเหตุที่ต้องขยายสัญญาณก่อนนั้น เนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่นอัลตร้าโซนิคจะแปรผันโดยตรงกับกำลังงานที่ส่ง ดังนั้นการเพิ่มกำลังงานหรือการขยายสัญญาณนั้นจะทำให้มีโอกาสตรวจจับวัตถุในระยะที่ไกลขึ้นได้ คลื่นอัลตร้าโซนิคที่ผ่านการขยายสัญญาณแล้วจะถูกส่งออกทางตัวอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ภาคส่งชนิดเปียโซอิเล็กทริกแบบกันน้ำ เมื่อคลื่นสะท้อนกับวัตถุและกลับมายังตัวเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคภาครับ ซึ่งเป็นชนิดเปียโซอิเล็กทริกแบบกันน้ำเช่นกัน สัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามานั้นจะมีขนาดเล็กเนื่องมาจากการดูดกลืนของอากาศจึงมีความจำเป็นที่จะต้องขยายสัญญาณในภาครับอีกครั้ง สัญญาณที่ตรวจจับได้นี้เรียกว่า สัญญาณสะท้อน จากนั้นสัญญาณสะท้อนจะถูกส่งเข้าวงจร Peak detector เพื่อให้ได้แต่สัญญาณไฟตรง จากนั้นเข้าสู่วงจร Comparator เพื่อคัดเลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่ต้องการและตัดสัญญาณรบกวนออกไป สัญญาณที่ผ่านการเปรียบเทียบจะเป็นอินพุทให้กับตัวไมโครคอนโทลเลอร์ เรียกสัญญาณนี้ว่า สัญญาณเอคโค (Echo signal) เมื่อตัวไมโครคอนโทลเลอร์ตรวจจับสัญญาณที่ พอร์ทเอคโค (Port echo) ได้แล้วจะทำการประมวลผลจากสมการ $s = v * t/2$ และแสดงผลด้วย 7-segment 4 หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของโปรแกรมการทำงานนั้น จะใช้วงจรนับ Timer 1 และ CCP ในโหมดการทำงาน Capture การจับเวลาโดยเริ่มนับตั้งแต่ส่งคลื่น 40 KHz จนกระทั่งตรวจจับสัญญาณเอคโคได้ ทั้งนี้ในการตรวจจับสัญญาณเอคโคนั้นจะใช้โหมดการทำงานอินเทอรับ (Interrupts) ข้อดีของการใช้โหมดอินเทอรับ คือตัวไมโครคอนโทลเลอร์ไม่ต้องวนตรวจสอบหลายรอบ เพียงแต่รอสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น เมื่อได้รับสัญญาณอินเทอรับโปรแกรมหลักจะหยุดการทำงานและเก็บค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter , PC) ไว้ในสแตก (Stack) แล้วจึงทำงานในส่วนของอินเทอรับ เมื่อทำงานเสร็จแล้วจึงทำการดึงค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์จอกสแตกแล้วกลับมาทำงานในส่วนของโปรแกรมหลักต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรขยายแรงดัน (Amplifiers)

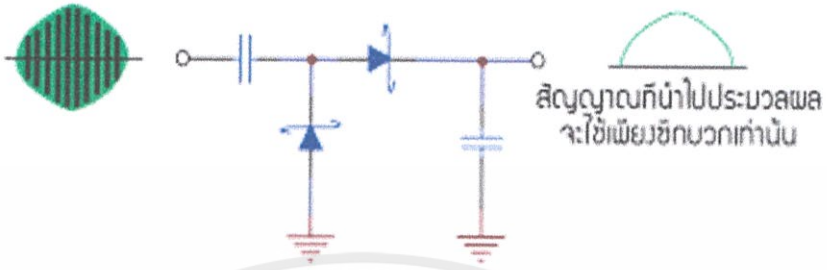


รูปที่ 3.4 วงจรขยายแรงดัน

หลักการทำงานของภาคขยายนี้จะประกอบไปด้วยภายขยาย 3 ภาค ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณอินพุทที่ Ultrasonic sensor ทางภาครับนั้น มีขนาดสัญญาณเล็กมาก เป็นระดับมิลลิโวลต์จึงต้องออกแบบให้มีการขยายหลายภาคเพื่อเป็นการลด Noise ที่จะถูกขยายมาจนมีขนาดมากเกินไปจนทำให้ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่ต้องการได้ โดยในการออกแบบวงจรนั้น เมื่อมีสัญญาณส่งเข้ามาที่ภาครับสัญญาณจะผ่านวงจรกรองความถี่สูง เพื่อให้ความถี่สูงเท่านั้นที่ผ่านได้ โดยกำหนดความถี่คัทออฟเท่ากับ 36 KHz จากนั้นเข้าสู่วงจรขยายภาคแรกเป็นวงจรขยายแบบ Non-inverting มีอัตราขยาย (Gain) เท่ากับ 250 เท่า วงจรขยายภาคที่สองเป็นวงจรขยายแบบ Inverting มีอัตราขยาย(Gain) เท่ากับ -54 เท่า วงจรขยายภาคที่สามเป็นวงจรขยายแบบ Inverting มีอัตราขยาย(Gain) เท่ากับ -35 เท่า ดังนั้นอัตราขยายรวมทั้งหมดเท่ากับ 472,500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด (Voltage peak detector)



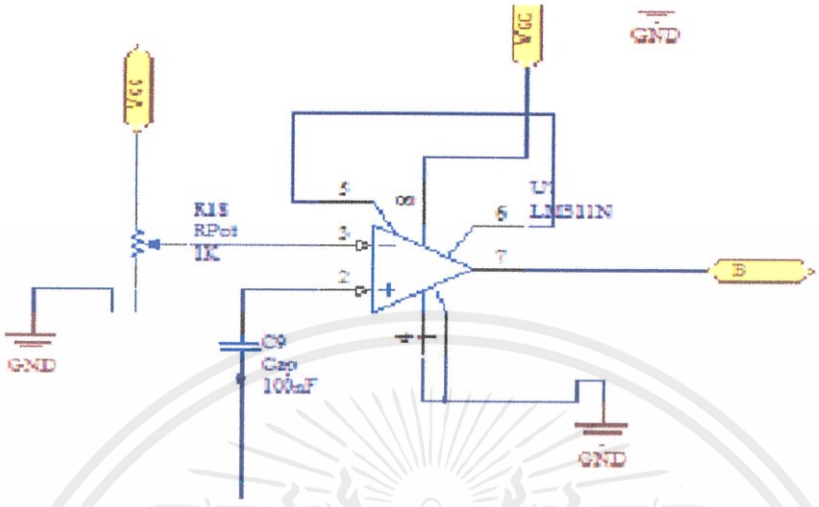
รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด

เราต้องการแค่เพียงสัญญาณซีกบวกเท่านั้น และสัญญาณที่รับมาไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องกันแบบไฟตรง ดังนั้นวงจรตรวจสอบที่ใช้ ควรจะเป็น Half-wave rectifier สัญญาณไฟตรงที่ตรงกับการตรวจสอบ จะถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุไดโอดที่นำมาใช้ในวงจรนี้จะเป็นช็อทกี้ไดโอด เนื่องจากมีค่า Reverse recovery น้อย จึงทำให้สามารถใช้งานความถี่สูงได้ดีกว่าไดโอดธรรมดา

เมื่อทำการขยายสัญญาณสะท้อนแล้ว สัญญาณที่ได้นั้นจะเป็นสัญญาณ AC ตัวไดโอดทั้งสองตัวทำหน้าที่ตัดสัญญาณช่วงลบทิ้ง ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ต่อขนานกันมีไว้ตัดความถี่สูงออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)



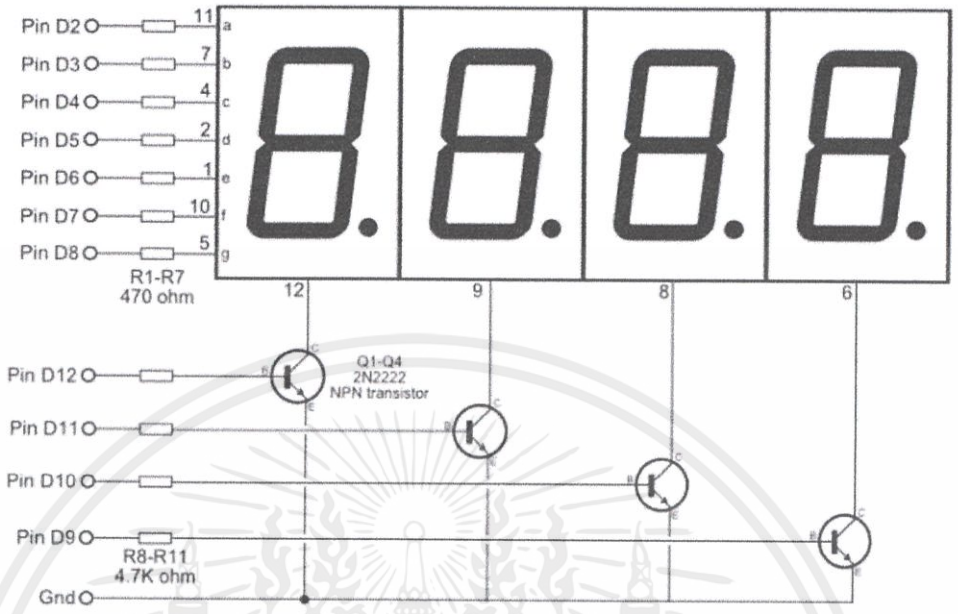
รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบ

วงจรเปรียบเทียบนี้ใช้เพื่อคัดเลือกสัญญาณที่ต้องการ และตัดส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนออกไป ใช้ไอซีเบอร์ LM331n ซึ่งภายในประกอบด้วยออปแอมป์และตัวทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ใช้หลักการออปแอมป์เปรียบเทียบสัญญาณและใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ ตัวต้านทานปรับค่าได้มีไว้เพื่อปรับขนาดแรงดันเปรียบเทียบที่เหมาะสม เมื่อสัญญาณเข้ามาทางอินพุทขาบวกของออปแอมป์หากเทียบแรงดันแล้วมีขนาดมากกว่าสัญญาณเปรียบเทียบที่ขาลบจะถือเป็นสัญญาณที่ต้องการ ออปแอมป์จะจ่ายแรงดันออกไปตามขนาดสัญญาณขาเข้าแต่ไม่เกินไฟเลี้ยง ออกทางเอาท์พุทของทรานซิสเตอร์ ภายในสัญญาณที่ได้นี้จะถูกเรียกว่าสัญญาณเอคโค เข้าเป็นอินพุททางพอร์ตบี บิตที่ 0 แต่ถ้าหากแรงดันอินพุทขาบวกของออปแอมป์มีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง จะถือว่าสัญญาณนั้นเป็นสัญญาณรบกวน เอาท์พุทออปแอมป์จะเป็นกราวด์ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน กล่าวคือไม่มีสัญญาณส่งกลับไปยัง PIC 18F452

สัญญาณที่ออกจากภาคเปรียบเทียบนี้จะสัมพันธ์กับภาคส่ง ซึ่งจะใช้ในการประมวลผลและแสดงผลออกทาง 7-segment ต่อไป โดยการทำงานนั้นจะขึ้นอยู่กับโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทลเลอร์ PIC 18F452 ดังจะอธิบายในส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การแสดงผลระยะทางด้วย 7-segment (Multiplexed 7-segment displays)



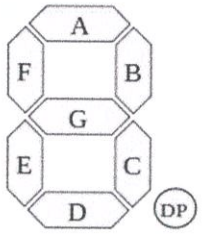
รูปที่ 3.7 การแสดงผลด้วย 7-Segment

ส่วนแสดงผลใช้ 7-segment4 หลักชนิดคอมมอนแคโทด (Common Cathode) ควบคุมการแสดงผลด้วย PIC 18F452 พอร์ตเอ บิต 0-7 และพอร์ตบี บิตที่ 2,5,6 และ 7 ในการแสดงเลข 4 หลักนั้นจะต้องให้แต่ละหลักทำงานสลับกัน โดยการใช้หลักความเร็วและขีดจำกัดสายตามนุษย์ เมื่อให้แต่ละหลักสลับกันทำงานที่ความเร็วสูงจะทำให้สามารถมองเห็นเลขทั้ง 4 หลักได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรม PIC 18F452 ส่วนตัวทรานซิสเตอร์ BC547 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทำงานในลักษณะของสวิตซ์ เปิด/ปิด การทำงาน 7-segment แต่ละหลัก โดยรูปแบบการส่งลอจิกของ PIC 18F452 มีดังนี้

พอร์ตเอ ใช้ในการส่งค่าเพื่อแสดงเลข 7-segment ภายใน 7-segment แต่ละตัวจะมีการวางตำแหน่ง a , b , c , d , e , f , g และ dp ดังรูปที่ 3.8 เพื่อที่จะให้แต่ละตำแหน่งเปล่งแสงจะต้องจ่ายลอจิก 1 ให้กับขาที่แสดงตำแหน่งนั้นๆ

พอร์ตบี ใช้ในการเลือกตำแหน่งของหลัก 7-segment โดยการจ่ายลอจิก 1 เพื่อไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ BC547 ทำงาน ซึ่งจะทำให้ตำแหน่ง 7-segment หลักๆนั้นแสดงค่าตามโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งของ 7-segment

Binary Inputs				Decoder Outputs							7-Segment Display Outputs
D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9

ตารางที่ 3.1 7-Segment Display Output

7-segment คอมมอนที่ใช้เป็นแบบ 4 หลักติดกันซึ่งมีตำแหน่งขา ดังนี้

pin 1 = e

pin 2 = d

pin 3 = dp

pin 4 = c

pin 5 = g

pin 6 = digit 4

pin 7 = b

pin 8 = digit 3

pin 9 = digit 2

pin 10 = f

pin 11 = a

pin 12 = digit 1

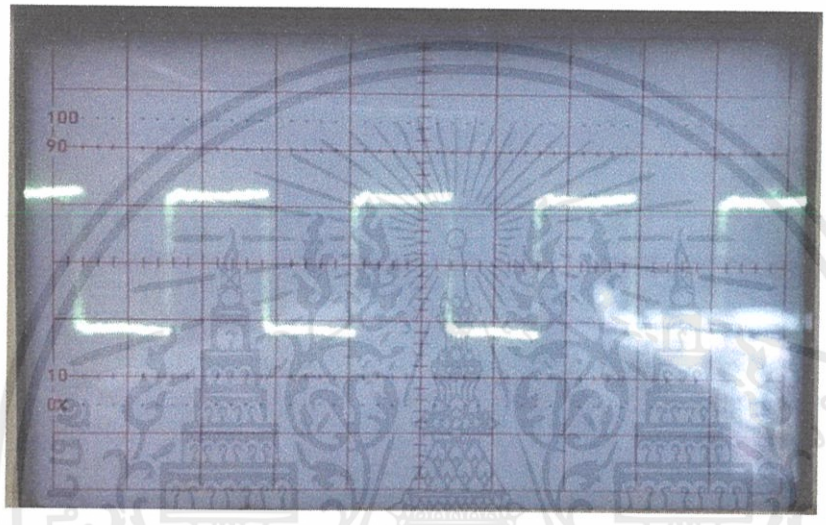
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลอง

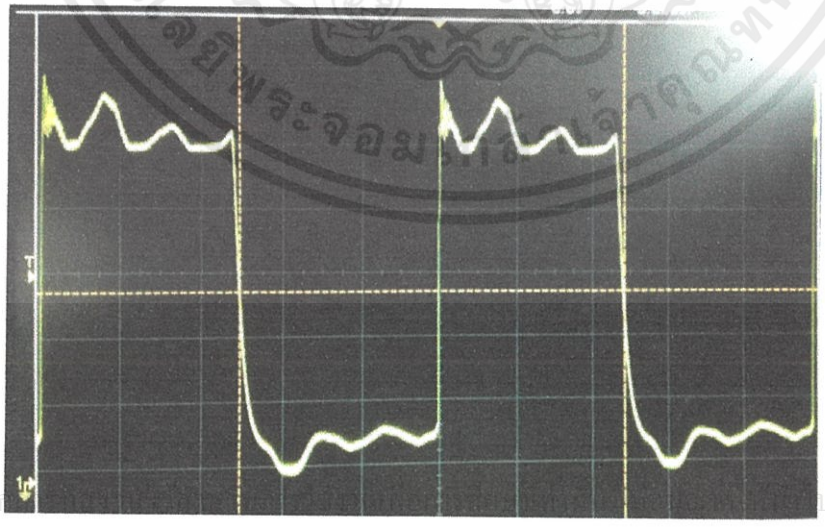
4.1 วงจรภาคส่ง

4.1.1 คลื่นพัลส์จากPIC18F452



รูปที่4.1.1คลื่นพัลส์ที่ออกมาจากPIC18F452(10u/div)

4.1.2คลื่นพัลส์ที่ออกจากSensor Ultrasonic

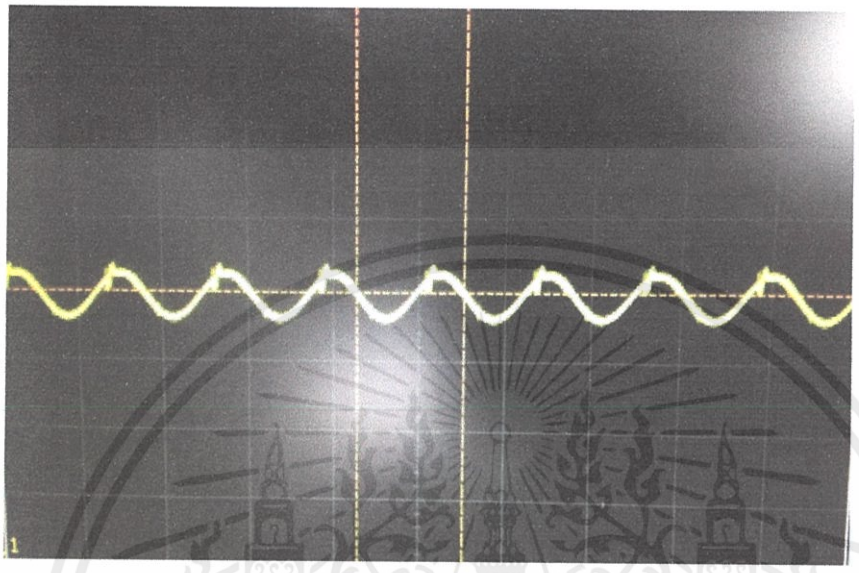


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.1.2คลื่นพัลส์ที่ออกมาจากSensor Ultrasonic (10u/div)

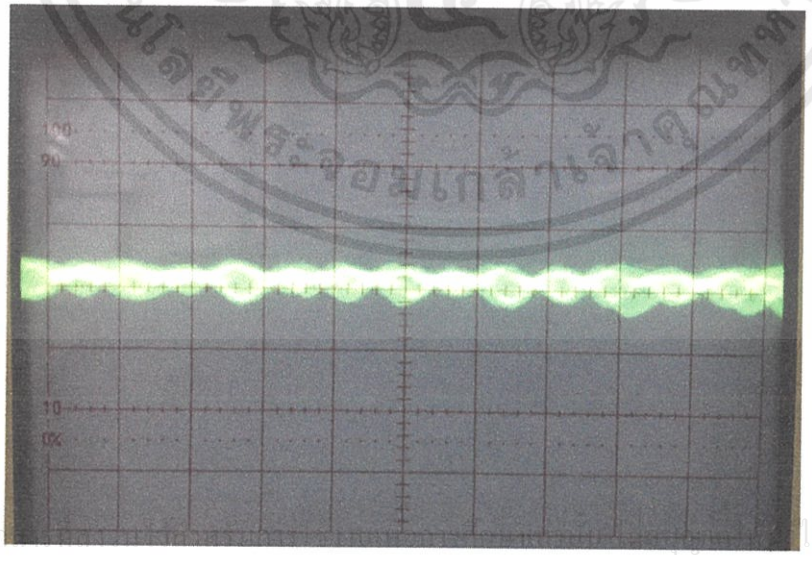
4.2วงจรภาครับ

4.2.1สัญญาณขาเข้าที่Sensor Ultrasonic วัดที่ระยะ 50 cm



รูปที่4.2.1สัญญาณขาเข้าที่Sensor Ultrasonicวัดที่ระยะ 50 cm (0.1V/div. 10us/div)

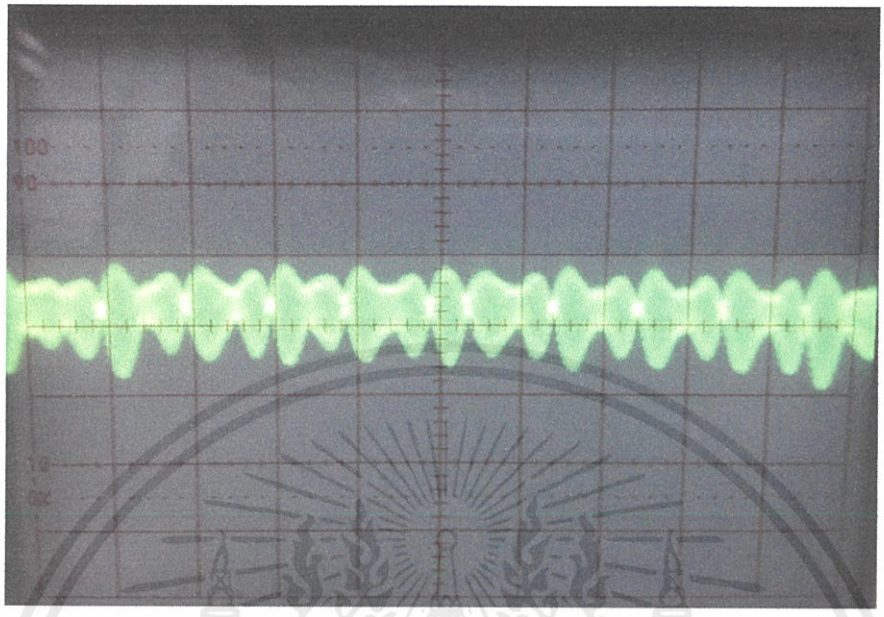
4.2.2สัญญาณขาเข้าที่Sensor Ultrasonic วัดที่ระยะ 60 cm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

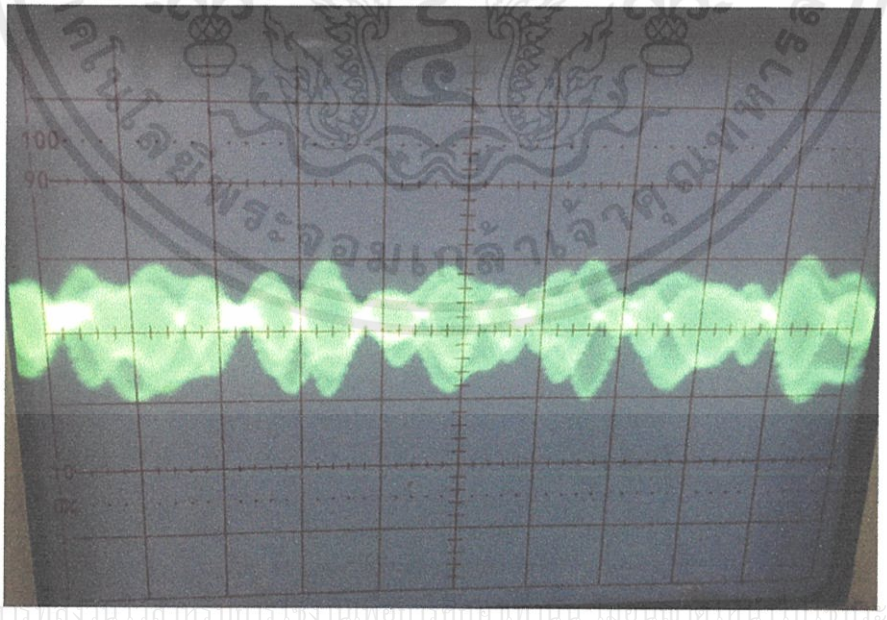
รูปที่4.2.2สัญญาณขาเข้าที่Sensor Ultrasonicวัดที่ระยะ 60 cm (0.1V/div. 0.1ms/div)

4.2.3 ขยายสัญญาณภาคที่1



รูปที่4.2.3ขยายสัญญาณภาคที่1 (1V/div. 1ms/div)

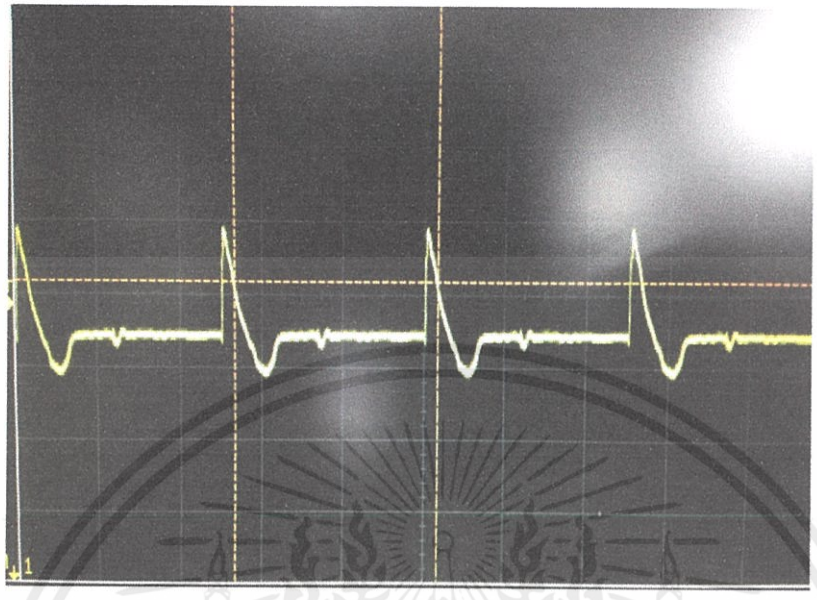
4.2.4 ขยายสัญญาณภาคที่2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

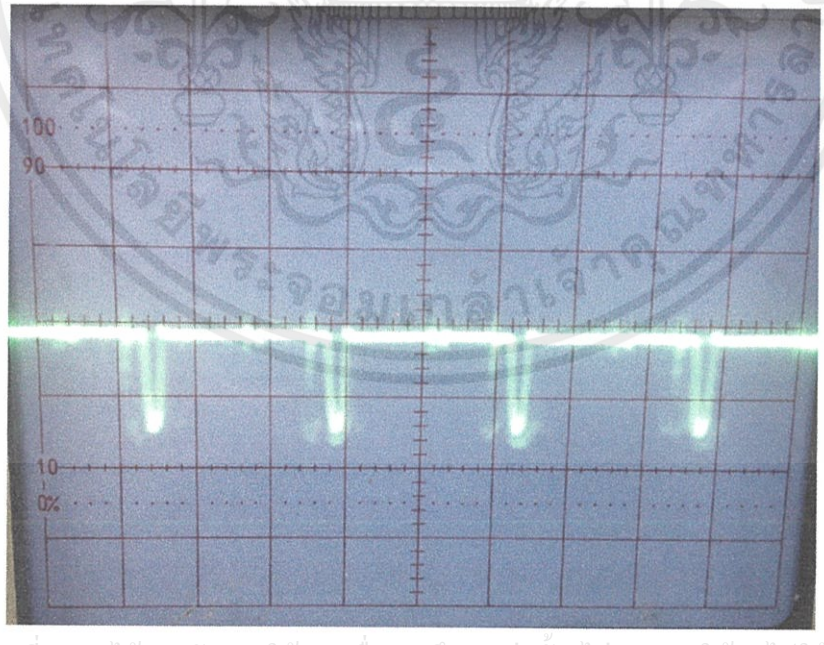
รูปที่4.2.4 ขยายสัญญาณภาคที่2 (2V/div. 5us/div)

4.2.5 สัญญาณเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ



รูปที่ 4.2.5 สัญญาณเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (2V/div. 5us/div)

4.2.6 สัญญาณเมื่อผ่านLM311n



รูปที่ 4.2.6 สัญญาณเมื่อผ่านLM311n(5V/div. 10us/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองค่าError ของใต้น้ำ Ultrasonic

ความเร็วที่เรือเคลื่อนที่	ระยะทางจริง	ระยะทางที่วัดได้
หยุดนิ่ง	0.5m	0.47m
ประมาณคนเดิน	0.5m	0.40m
ประมาณคนวิ่ง	0.5m	ค่าไม่แน่นอน
หยุดนิ่ง	1.0m	0.82m
ประมาณคนเดิน	1.0m	0.80m
ประมาณคนวิ่ง	1.0m	ค่าไม่แน่นอน
หยุดนิ่ง	1.5m	ค่าไม่แน่นอน
ประมาณคนเดิน	1.5m	ค่าไม่แน่นอน
ประมาณคนวิ่ง	1.5m	ค่าไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในส่วนของภาคส่งสามารถส่งสัญญาณได้ดีโดยสัญญาณที่วัดได้จากตัวไมโครคอนโทล เลอร์มีลักษณะเป็นพัลส์ลูกคลื่น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของวงจรขยายกำลังการส่งใหม่ทำให้สามารถส่งได้ไกลขึ้น และสัญญาณที่ออกจากตัวเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิคชนิดเปียร์โซในอากาศนั้นก็ได้สัญญาณตามที่ต้องการ คือสัญญาณเป็นพัลส์เนื่องจากที่กล่าวมาข้างต้นที่ว่าเซ็นเซอร์ชนิดเปียร์โซจะทำงานด้วยแรงดันและจากการที่ใช้วงจรวงจรขับสัญญาณอัลตราโซนิกเพิ่มให้กับตัวเซ็นเซอร์ส่งผลให้สามารถส่งคลื่นไปได้ในระยะ 2 เมตรโดยประมาณ

ในส่วนของภาครับสามารถตรวจรับสัญญาณได้ดีเช่นกันโดยในส่วนของภาคขยายสัญญาณอินพุทนั้นใช้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสและวงจรขยายแบบกลับเฟสมีอัตราขยายมาก ทำให้สามารถเห็นรูปสัญญาณได้ชัดเจนยิ่งขึ้นวงจรพีคดีเทคเตอร์จะกำจัดสัญญาณไฟลบทิ้งก่อนที่จะเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบเพื่อนั้นสัญญาณที่ต้องการหรือสัญญาณเอคโคนั้นเข้าสู่ตัวไมโครคอนโทลเลอร์เพื่อนำไปประมวลผลอีกทีเพิ่มเติมจากผลการทดลองเมื่อนำแผ่นกระดานมากั้นในลักษณะที่เหลื่อมล้ำกันสัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบจะได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมสองลูกแสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่ทำการสะท้อนวัตถุทั้งสอง

ในส่วนของโปรแกรมเขียนให้มีการส่งคลื่นพัลส์พร้อมกับจับเวลา และมีส่วนของการอินเทอรับ Timer 1 และ อินเทอรับ CCP 1 เมื่อมีการอินเทอรับโปรแกรมจะทำการบันทึกค่าเวลาที่นับได้ และคำนวณผลรับจากสมาการ D=V T/2 แล้วแสดงผลเซเว่นเซกเมนต์ออกมาจากพอร์ทซีและควบคุมตำแหน่งหลักด้วยพอร์ทซี จากการทดสอบพบว่าสามารถส่งคลื่นพัลส์ 40 kHz ได้ตามที่ต้องการแต่โปรแกรมไม่สามารถแสดงตัวเลขเซเว่นเซกเมนต์ได้ โดยเซเว่นเซกเมนต์จะมีการกระพริบอยู่ตลอดเวลาทำให้ไม่สามารถบันทึกค่าระยะต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <18f452.h>
#fuses HS
#fuses NOLVP
#fuses NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
#define delay 35
long c=0,count=0  ;
unsigned int tick=0,t=0,r=0;
unsigned int t1,t2;
unsigned int seg[]={0x3F,0x06,0x5B,0x4F,0x66,0x6D,0x7D,0x07,0x7F,0x6F};
unsigned int digi[]={0x01,0x02,0x06,0x08};
int1 wait=0;
unsigned int i;
#int_ccp1
void ccp1_isr()
{
    count=get_timer1()
  //  if(!input(PIN_C2))
   //{
      t1=count/100;
      t2=count%100;
      c=((count/4983)*10);
      r=((746*c)/100);
      printf("%d%d",t1,t2);
   //}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    /*
    else   //if(!input(PIN_C2))
    {
       t1=r/100;
       t2=r%100;
        r=0;
       printf("%d%d",t1,t2);
    }
      */
    wait=1;
}

void segment()
{
  unsigned int i;
   for(i=0;i<100;i++)
   {
     output_d(seg[r/1000]);
     output_b(0b00000001);
     delay_ms(delay);

     output_d(seg[(r/100)%10]);
     output_b(0b00000010);
     delay_ms(delay);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      output_d(seg[(r/10)%10]);
      output_b(0b00000100);
      delay_ms(delay);

      output_d(seg[r%10]);
      output_b(0b00001000);
      delay_ms(delay);
    }
}

void send_wave()
{

   for(i=0;i<1000;i++)
  {
     output_high(PIN_C1);
     delay_us(12);
     output_low(PIN_C1);
     delay_us(11);
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้