

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องค้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

An Equipment for Searching Underwater Suspended Objects

Using Ultrasonic Wave



โดย

นายปัทมพันธ์ แสงอุทัย

นางสาววัชรินทร์ ทิมนิม

สพ.

๒/๖๓๘ ก

๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **103007**
วัน,เดือน,ปี ๒๔ ส.ค. ๒๕๕๒

b. 120 a x 330
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องค้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
An Equipment for Searching Underwater Suspended
Objects Using Ultrasonic Wave

โดย

นายปัทมพันธ์ แสงอุทัย 48015019

นางสาววัชรินทร์ ทิมนิม 48015032

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ผศ.ดร.จิรสุดา โกษิยาภรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องค้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
AN EQUIPMENT FOR SEARCHING
UNDERWATER SUSPENDED OBJECTS
USING ULTRASONIC WAVE

โดย นายปัทมพันธ์ แสงอุทัย 48015019
นางสาววัชรินทร์ ทิมนัม 48015032

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน
ผศ.ดร.จิรสุดา โกษียาภรณ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเครื่องค้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยเพียโซฮอร์นเป็นอุปกรณ์ส่งคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ถูกกำเนิดขึ้นโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C51 คลื่นดังกล่าวจะไปสะท้อนกับวัตถุแขวนลอยใต้น้ำ และนำคลื่นสะท้อนกลับที่รับได้จากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มาคำนวณหาระยะห่างระหว่างวัตถุกับตัวเครื่อง โดยหลักการคำนวณหาระยะห่างนั้นก็คือ เมื่อคลื่นถูกส่งออกไป วงจร Counter จะเริ่มทำงานและจะหยุดทำงานเมื่อคลื่นสะท้อนกลับมาถึงตัวเครื่อง ระยะเวลาที่ได้จาก วงจร Counter จะนำมาใช้ในการคำนวณหาระยะห่างที่ได้ และนำผลของระยะห่างที่ได้แสดงผ่านทางจอแสดงผล

ABSTRACT

This project presents an equipment for searching underwater suspended objects using ultrasonic wave. The proposed equipment uses a peizo horn to transmit the 40 kHz ultrasonic wave, which is generated by the AT89C51 microcontroller. The transmitted ultrasonic wave will be reflected by underwater suspended objects. The reflected ultrasonic wave received from the ultrasonic transducer will be used to compute for distance between the suspended object and the equipment. The principle to compute this distance is that when the ultrasonic wave is transmitted, the counter starts and stops when the reflected wave is received by the ultrasonic transducer. The time interval between start and stop of the counter is computed for the distance where the results are displayed on the monitor screen.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน และผศ.ดร.จิรสุดา โกษียาภรณ์ ที่ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดเวลาการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณบิดามารดาของผู้จัดทำโครงการนี้ ที่ให้ความอุปการะเลี้ยงดูและให้การศึกษาแก่ข้าพเจ้า ตลอดจนให้ทุนสำรองในการทำโครงการครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ให้โอกาสแก่พวกข้าพเจ้าได้ทำโครงการครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆเป็นอย่างดีมาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 คลื่น	3
2.1.1 คลื่นตามยาว	3
2.1.2 คลื่นตามขวาง	3
2.2 คลื่นเสียง	4
2.3 ลักษณะของคลื่นเสียง	4
2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง	4
2.4.1 การแทรกสอด	4
2.4.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง	5
2.4.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง	5
2.4.4 การหักเหของคลื่นเสียง	6
2.5 คลื่น โชนาร์	6
2.5.1 ความเร็วของเสียง	8
2.5.2 ความยาวของคลื่น โชนาร์	8
2.5.3 การเกิดคลื่น โชนาร์	10
2.6 ตัวรับและตัวส่ง	11
2.6.1 ข้อควรรู้ในการใช้งานของตัวรับและตัวส่ง	12
2.7 อัลตราโซนิกรานสดิวเซอร์	13
2.7.1 แมคคานิกทรานสดิวเซอร์	14
2.7.1.1 แบบมูฟวิ้งคอบล์	14
2.7.1.2 แบบอิเล็กทรอนิกส์	14
2.7.1.3 แบบเปียโซอิเล็กทริกและแบบเฟอร์โรอิเล็กทริก	14
2.7.2 อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์	14
2.8 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์	15
2.9 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์	15
2.10 ทฤษฎีคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิค	16
2.10.1 คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิค	16
2.10.2 การทำงานของทรานสดิวเซอร์	16
2.11 ทฤษฎีและหลักการของวงจร โดยรวม	17
2.12 ทฤษฎีและหลักการขององค์ประกอบย่อย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทางสำนักพิมพ์ได้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.12.2 วงจรเข้ารหัสแบบรีฟริจิสเตอร์	21
2.12.3 วงจรคูณสัญญาณแบบกิลเบิร์ต	22
2.12.4 วงจรขยาย	24
2.12.5 วงจรนอน อินเวอร์ตติ้งแอมพลิฟายเออร์	26
2.12.6 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์	27
2.12.7 Automatic Gain Control (AGC)	30
2.12.8 วงจรเอนเวลโลป ดีเทกเตอร์	31
2.12.9 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	31
2.12.10 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	33
2.12.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์	35
2.12.12 พอร์ตขนาน	38
บทที่ 3 การคำนวณและสร้าง	40
3.1 วงจรภาคส่ง	40
3.1.1 การออกแบบโปรแกรมทางภาคส่ง	40
3.1.1.1 การออกแบบโปรแกรมหน่วงเวลา	40
3.1.2 วงจรขยาย	42
3.2 วงจรภาครับ	42
3.2.1 วงจรภาคพรีแอมพลิฟายเออร์	42
3.2.2 วงจรภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์	43
3.2.3 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	44
3.2.4 วงจรการออกแบบโปรแกรมทางภาครับ	45
3.2.4.1 การออกแบบโปรแกรมทางภาครับ	45
3.3 วงจรภาคแสดงผล	46
3.4 วงจรภาคจ่ายไฟ	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
4.1 ผลการทดลองในภาคส่ง	48
4.1.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์	48
4.1.2 วงจรขยาย	48
4.2 ผลการทดลองในภาครับ	49
4.2.1 วงจรภาคพรีแอมพลิฟายเออร์	49
4.2.2 วงจรภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์	50
4.2.3 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดลองเครื่องค้นหาวัตถุแขวนลอยได้นำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	53
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	56
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องคั้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำ	1
รูปที่ 2-1 ลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว	3
รูปที่ 2-2 ลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง	3
รูปที่ 2-3 ลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง	5
รูปที่ 2-4 ลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดใหม่	5
รูปที่ 2-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นวงกลมเมื่อกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง	6
รูปที่ 2-6 การหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	6
รูปที่ 2-7 แสดงการจำแนกย่านความถี่ต่างๆ	7
รูปที่ 2-8 ขั้วของตัวรับและตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค	11
รูปที่ 2-9 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ	12
รูปที่ 2-10 ลักษณะโครงสร้างภายในทั่วไปของทรานสดิวเซอร์	14
รูปที่ 2-11 ลักษณะของลำคลื่นในการส่ง (Beam Angle) ของทรานสดิวเซอร์	17
รูปที่ 2-12 แสดงการส่งคลื่นอัลตราโซนิคไปกระทบสิ่งกีดขวางและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ	17
รูปที่ 2-13 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของเครื่องคั้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิค	18
รูปที่ 2-14 บล็อกไดอะแกรมภาครับของเครื่องคั้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิค	19
รูปที่ 2-15 รูปแสดงวงจรกำเนิดความถี่	19
รูปที่ 2-16 รูปแสดงวงจรภายในของวงจรซีฟริจิสเตอร์	21
รูปที่ 2-17 รูปแสดงการทำงานของวงจรซีฟริจิสเตอร์	21
รูปที่ 2-18 รูปแสดงวงจรภายในและการทำงานของวงจรคุณสมบัติแบบกิลเบิร์ต	22
รูปที่ 2-19 รูปแสดงการทำงานของวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งแอมป์ลิฟายเออร์	25
รูปที่ 2-20 รูปแสดงวงจรภายในของวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งแอมป์ลิฟายเออร์	25
รูปที่ 2-21 รูปแสดงการทำงานของวงจรขยายแบบนอน-อินเวอร์ตติ้งแอมป์ลิฟายเออร์	26
รูปที่ 2-22 รูปวงจรบัฟเฟอร์ที่ได้จากการประยุกต์จากนอน-อินเวอร์ตติ้งแอมป์ลิฟายเออร์	27
รูปที่ 2-23 รูปแสดงย่านความถี่ที่ฟิลเตอร์กำหนดให้ผ่านได้	28
รูปที่ 2-24 วงจร Delyiannis & Friend	30
รูปที่ 2-25 วงจรเอนเวลโลปดีเทคเตอร์	31
รูปที่ 2-26 วงจร Sallen & Key	31
รูปที่ 2-27 ฝั่งเวลาการทำงานของ ADC 0804	33
รูปที่ 2-28 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง MCS-51 กับ ADC 0804	34
รูปที่ 2-29 รูปแสดงขาของ Parallel Port	38
รูปที่ 3-1 รูปแสดงการแบ่งคาบเวลาที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์	40
รูปที่ 3-2 แสดงผังงานของโปรแกรมห้วงเวลาานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	41

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-3 แสดงการต่อเอาท์พุตออกทางขา 1 ของซีพียู	41
รูปที่ 3-4 วงจรขยายโดยใช้ไอซีเบอร์ HIP4080 และ FET	42
รูปที่ 3-5 วงจรภาคพรีแอมป์ลิฟายเออร์	42
รูปที่ 3-6 แสดงตำแหน่งขาของ MF10	43
รูปที่ 3-7 แสดงการต่อใช้งานเป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์	44
รูปที่ 3-8 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	44
รูปที่ 3-9 วงจรรวมทางด้านภาครับ	45
รูปที่ 3-10 แสดงผังงานของโปรแกรมทางด้านภาครับ	45
รูปที่ 3-11 วงจรภาคแสดงผล	46
รูปที่ 3-12 วงจรภาคจ่ายไฟให้กับ FET	46
รูปที่ 3-13 วงจรภาคจ่ายไฟให้กับวงจร	47
รูปที่ 4-1 แสดงสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์	48
รูปที่ 4-2 รูปแสดงเอาท์พุตของวงจรขยายที่วัดได้	49
รูปที่ 4-3 รูปแสดงเอาท์พุตของวงจรพรีแอมป์ลิฟายเออร์ที่วัดได้เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์	50
รูปที่ 4-4 รูปแสดงเอาท์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่วัดได้เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์	51
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์	51
รูปที่ 4-6 รูปแสดงเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน	52
รูปที่ 4-7 รูปแสดงเอาท์พุตของวงจรรวมทางด้านภาครับ	53
รูปที่ 4-8 รูปแสดงระยะทางเมื่อวัตถุอยู่ห่าง 50 เซนติเมตร	53
รูปที่ 4-9 รูปแสดงระยะทางเมื่อวัตถุอยู่ห่าง 100 เซนติเมตร	54
รูปที่ 4-10 รูปแสดงระยะทางเมื่อวัตถุอยู่ห่าง 140 เซนติเมตร	54
รูปที่ 4-11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความผิดพลาดระยะทาง	54
รูปที่ 4-12 รูปแสดงเครื่องค้นหาวัดอุณหภูมิด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ความเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ	8
ตารางที่ 2-2 ค่าความเร็วและคุณสมบัติทางด้านอิมพีแดนซ์ของคลื่นอัลตราโซนิค ในตัวกลางที่เป็นของเหลวและแก๊ส	13
ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิก	15
ตารางที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{ref/2}$ กับ V_{in} ของ ADC 0804	34
ตารางที่ 2-5 ตารางการถอดรหัสหน่วยความจำ	37
ตารางที่ 2-6 แสดงสถานะต่างๆ ของพอร์ตขนาน	39



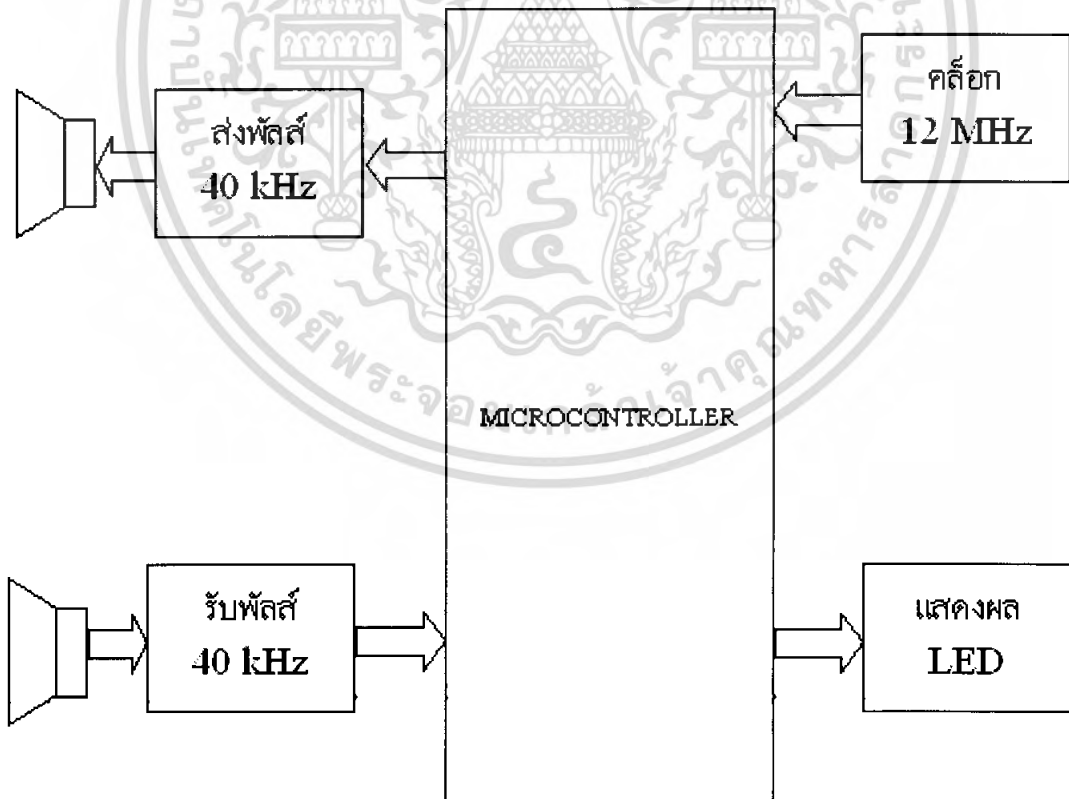
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเสียงได้มีการพัฒนาหน้าไปมากและได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นทางด้านการสื่อสาร, อุปกรณ์ทำความสะอาด, เครื่องควบคุมระยะไกล, เครื่องวัดระยะทาง, ประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ และเทคโนโลยีอื่นๆ ที่นำไปใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ต่างๆ อีกมากมาย ดังนั้นเราจึงเกิดแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีทางด้านเสียงมาประยุกต์ใช้ในการวัดระดับความลึกได้น้ำ

เครื่องกั้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้โดยอาศัยหลักการของคลื่นสะท้อน, ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และความรู้ทางคอมพิวเตอร์โดยมีหลักการทำงานจากการส่งคลื่นไปตกกระทบที่พื้นผิวแล้วสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ เพื่อตรวจสอบหาระยะทาง โดยจะส่งค่าที่ได้ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผล แล้วนำมาแสดงบนจอแสดงผล ซึ่งจากรูปแบบคลื่นอัลตราโซนิกที่เรานำมาใช้นี้เป็นคลื่นที่มีทิศทาง และสามารถกำหนดจุดที่คลื่นจะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างแน่นอน โดยคลื่นอัลตราโซนิกที่เรานำมาใช้นี้ได้เลือกค่าความถี่ที่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์



เอกสารนี้เป็นรูปที่มีลิขสิทธิ์โดยจะแถมแสดงการทำงานของเครื่องกั้นหาวัตถุแขวนลอยใต้น้ำระบบงานด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราอาจนำหลักการจากเครื่องค้นหาวัดดูแว่นลอยได้นี้ ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ได้ อาทิ เช่น ใช้ในการหาสิ่งกีดขวางใต้ผิวน้ำหรือใช้ในการค้นหาวัดดูที่ตกอยู่ใต้ผิวน้ำได้ และนอกจากนี้ เครื่องค้นหาวัดดูแว่นลอยได้นี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบอื่นๆ ได้อีกอย่างกว้างขวาง ซึ่งทั้งนี้ก็แล้วแต่ความประสงค์ของผู้ใช้งานและความสะดวก ซึ่งอาจมีการพัฒนาต่อไปได้ในหลายรูปแบบในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คลื่น (Wave)

คลื่นเกิดจากการแกว่งหรือสั่น (Oscillated) ของวัตถุ ซึ่งจะเกิดเป็นพลังงานและถ่ายทอดออกจากแหล่งกำเนิดคลื่น ไปยังบริเวณโดยรอบ โดยคลื่นทั่วไปสามารถจำแนกตามความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลางกับทิศทางการเคลื่อนที่ได้ 2 ชนิด คือ

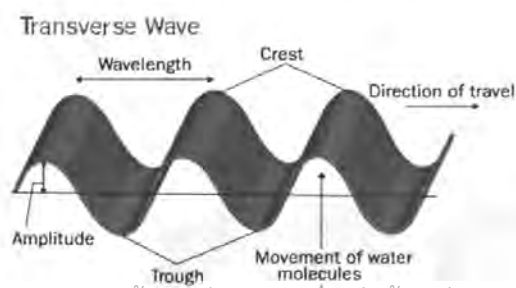
2.1.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) คือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง เป็นต้น ซึ่งแสดงลักษณะของคลื่นตามยาวได้ดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

จากรูปที่ 2-1 จะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันสูง และคลื่นขยาย (Rarefaction) คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำ เมื่อนำค่าของความดัน (P) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้เป็นรูป Sine Wave โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัด ท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยายระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยายคือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลาเป็น T ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/f$ โดยจุดที่เป็นเส้นแกว่งนั้นมีค่าความดัน 1 บรรยากาศ

2.1.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นน้ำ เป็นต้น โดยรูปที่ 2-2 เป็นการแสดงถึงลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และสนามไฟฟ้า (Electric Field) มีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นนั่นเอง



รูปที่ 2-2 ลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2-2 เป็นการแสดงถึงลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดจากสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และสนามไฟฟ้า (Electric Field) มีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นนั่นเอง

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องมาจากการแกว่ง ดังนั้นความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

2.2 คลื่นเสียง (Sound Wave)

คลื่นเสียงนั้นจัดอยู่ในรูปคลื่นตามยาว ซึ่งสามารถเดินทางผ่านวัตถุตัวกลางที่เป็นของแข็ง, ของเหลวและก๊าซได้ อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านจะมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นทำให้เกิดเสียงขึ้นมาโดยแหล่งกำเนิดเสียงแบ่งได้ตามวัตถุประสงค์ได้ 3 ประเภท คือ

1. เกิดจากการสั่นของสายหรือแท่ง ได้แก่ เครื่องสายต่างๆ ส้อมเสียง ฯลฯ
2. เกิดจากการสั่นของแผ่นผิว ได้แก่ ไดอะแฟรมของลำโพง หนักกลอง ฯลฯ
3. เกิดจากการสั่นของลำอากาศ ได้แก่ เครื่องเป่าต่างๆ ฯลฯ

เนื่องจากคลื่นเสียงนั้นต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทาง จึงทำให้คลื่นเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้

2.3 ลักษณะของคลื่นเสียง

“ความถี่” ความถี่ของคลื่นเสียงในตัวกลางใดๆ คือ ความถี่ของการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้น ความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินมีค่าอยู่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ – 20 กิโลเฮิรตซ์ เรียกว่า “Audio Frequency” ความถี่ต่ำกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า “Infrared Frequency” และความถี่ที่สูงกว่าที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า “Ultrasonic Frequency”

“อัตราเร็วของเสียง” อัตราเร็วของคลื่นเสียงนั้นย่อมแปรผันตามคุณสมบัติของตัวกลางที่มีเสียงเดินทางผ่าน ซึ่งตัวแปรที่จำกัดอัตราเร็วของเสียง คือ ความหนาแน่น (Density) อุณหภูมิ (Temperature) และความยืดหยุ่น (Elasticity)

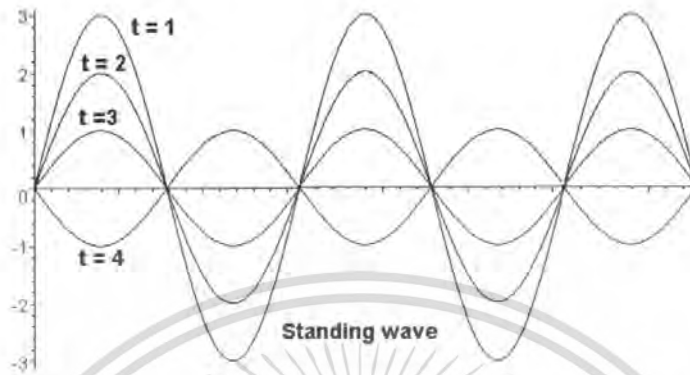
2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง

คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง แบ่งได้เป็น 4 แบบ คือ

2.4.1 การแทรกสอด (Interference) เกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่น ขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะ เช่น การบีบ (Beat) ของคลื่นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกัน เคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนไป

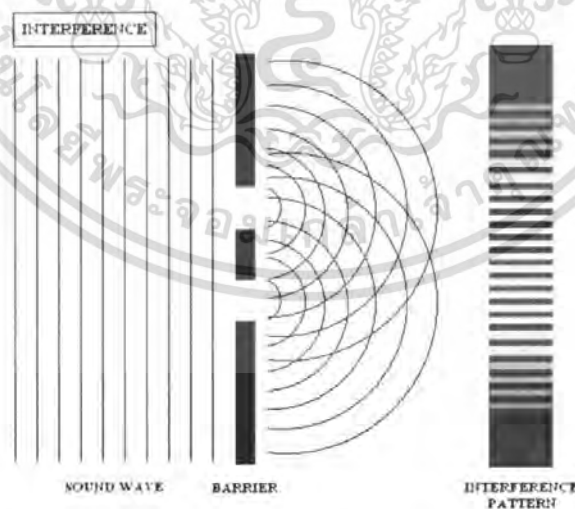
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นซูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เดียวกันแต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกันซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง ดังรูปที่ 2-3



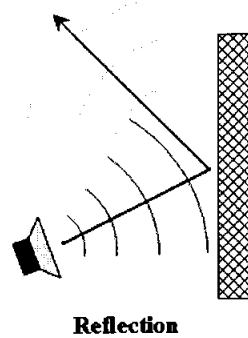
รูปที่ 2-3 ลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

2.4.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เราพบอยู่ในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา เช่นในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่แล่นอยู่ถนนละถนนของมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็ก ๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงรูปที่ 2-4



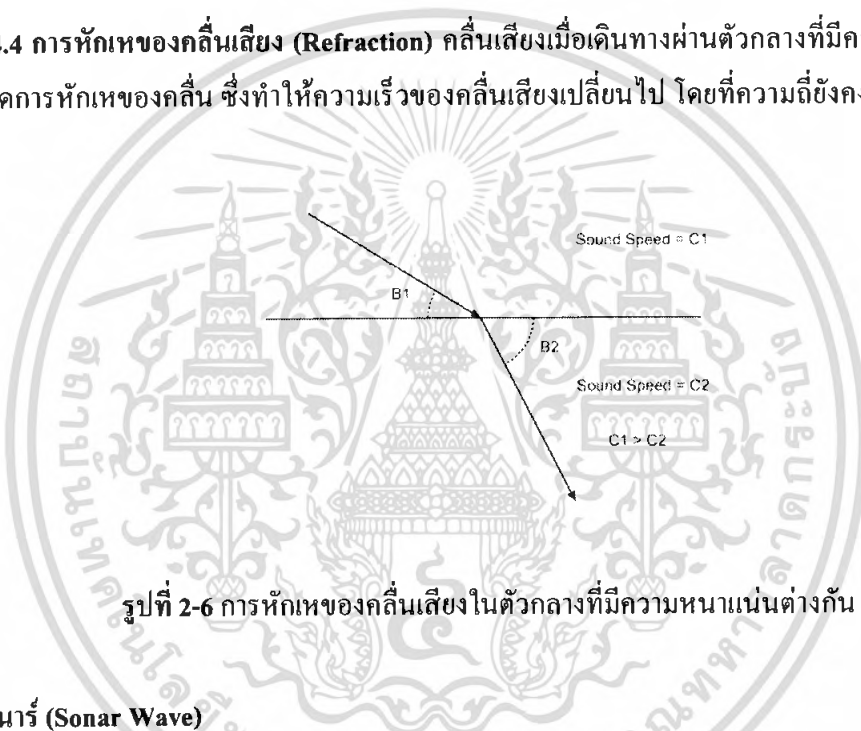
รูปที่ 2-4 ลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดใหม่

2.4.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลางเอกลักษณะที่มันตกกระทบที่เท่ากับมุมสะท้อนและจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมานั้นหากค่าไม่ว่าจะน้อยกว่า 50 มิลิ จะทำให้ได้ยินเสียงนั้นเป็นครั้งที่ 2 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นวงกลมเมื่อกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง

2.4.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่ ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 การหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

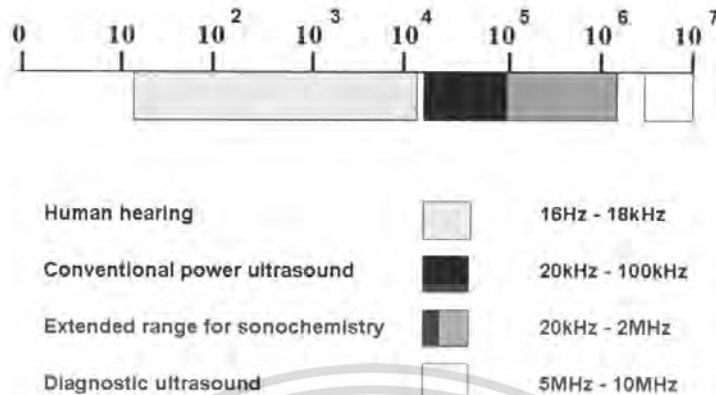
2.5 คลื่นโซนาร์ (Sonar Wave)

คลื่นโซนาร์ (Sonar Wave) ย่อมาจาก (Sound Navigation and Ranging) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นย่านโซนาร์กระจายออกมาดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นโซนาร์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) และสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล โดยจะแปลงกลับไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล และมีความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) คงที่อยู่ค่าหนึ่ง โซนาร์เป็นคลื่นที่ใช้ สำหรับตรวจหาวัตถุใต้น้ำ มีหลักการทำงานทำนองเดียวกับเครื่องเรดาร์ แต่โซนาร์ใช้คลื่นเสียง และต้องใช้น้ำ แทนที่จะใช้ในอากาศดังเช่นเรดาร์ คลื่นโซนาร์อาจใช้ค้นหาเรือดำน้ำ หาดำแห่งของเรือที่จมในทะเล หาฝูงปลาและห้วงความรู้สึกของท้องทะเลได้อย่างดี

หลักการทำงานของเครื่องโซนาร์ เริ่มต้นจากเครื่องโซนาร์ส่งเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าหูมนุษย์จะได้ยิน (คลื่นเหนือเสียง) ผ่านไปในน้ำ เสียงนั้นมีความถี่ประมาณ 40,000 รอบต่อวินาที เมื่อเสียงนั้นเดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การค้า
เดินทางไปและกลับ ก็จะสามารถคำนวณหาระยะทางของวัตถุจากความเร็วของคลื่นเสียงได้น้ำได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE FREQUENCY RANGES OF SOUND



รูปที่ 2-7 การจำแนกย่านความถี่เสียง

โซนาร์อาจแบ่งออกไปได้เป็น 2 แบบตามลักษณะของการส่งคลื่นเสียง คือ

1. โซนาร์แบบส่อง (Search-light type sonar) โซนาร์แบบนี้ส่งคลื่นเสียงออกไปเป็นมุมจำกัด
2. โซนาร์แบบกวาด (Scanning type sonar) โซนาร์แบบนี้ ส่งคลื่นเสียงกระจายออกไปรอบตัวเป็นรูปวงแหวนด้วยกำลังเท่ากันทุกทิศ

โซนาร์ยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบตามลักษณะการใช้งาน คือ

1. พาสซีฟโซนาร์ (Passive Sonar) เป็นโซนาร์สำหรับดักฟังเสียงใต้น้ำ โซนาร์ชนิดนี้จะมีเครื่องรับเสียงเพื่อรับเสียงเพียงอย่างเดียว
2. แอกทีฟโซนาร์ (Active Sonar) เป็นโซนาร์สำหรับดักฟังเสียงที่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณเสียงที่ส่งออกไป โซนาร์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วย เครื่องส่งและเครื่องรับเสียง

คลื่นเสียงที่เครื่องโซนาร์ส่งออกไป เป็นคลื่นเสียงที่เปลี่ยนมาจากสัญญาณไฟฟ้า การเปลี่ยนคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อเรียกว่าทรานสดิวเซอร์ (Transducer) มี 2 แบบ คือ

1. ทรานสดิวเซอร์ที่อาศัยคุณสมบัติในการเกิดอำนาจแม่เหล็กของโลหะบางชนิด (Transducer magneto-Striction) ใช้หลอดนิกเกิลรูปทรงกระบอกจำนวนมากยึดติดไว้กับแผ่นไดอะแฟรมบางๆ หลอดนิกเกิลทุกหลอดมีขดลวดพันอยู่โดยรอบ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หลอดนิกเกิลจะหดตัว ทำให้ขดขด หดๆ ตามจังหวะสัญญาณไฟฟ้า การยืดและหดตัวสลับกันไปมานี้ จะทำให้แผ่นไดอะแฟรมเคลื่อนไหวและจะทำให้เกิดเสียง แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีเสียงสะท้อนเข้ามา ก็จะเกิดสัญญาณไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวด ทรานสดิวเซอร์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานวัดระยะ

2. ทรานสดิวเซอร์ที่อาศัยคุณสมบัติของผลึกแร่บางชนิด ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับแรงดัน (Transducer piezoelectric) ใช้ผลึกของแร่ควอตซ์ หรือ โรเชลล์ซอลต์ (Rochelle salt) เป็น

ผลึกที่นำมาใช้ทำทรานสดิวเซอร์ (Piezoelectric) จำนวนมากยึดติดกับแผ่นไดอะแฟรม เมื่อมีไฟฟ้าผ่านเข้าผลึก จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเป็นเสียงขึ้น ในทางตรงข้ามถ้ามีเสียงเดินทางมาถูกแผ่นไดอะแฟรมก็จะทำให้เกิด

ไฟฟ้าขึ้นที่ผิวของผลึก ทรานสคิวเซอร์แบบนี้เหมาะสำหรับการเฝ้าฟังเสียง แต่มีข้อเสียตรงที่ส่งคลื่นได้ไม่แรง และผลึกอาจแตกได้ง่าย ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านผลึกแรงเกินไป

ความถี่ (Frequency) คือจำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์ จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายใน 1 วินาที คลื่นที่ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกันเช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 เฮิร์ตซ์

ความยาวคลื่น (Wavelength) คือระยะทางที่คลื่นเดินทางในระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบรอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะห่างระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่องหรือการเบาบางของอากาศ การอัดคือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของ โมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ ซึ่งความยาวคลื่นนั้นจะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$v = f\lambda \quad (2.1)$$

โดยที่ v : ความเร็วของการเดินทาง (เมตร/วินาที)
 f : ความถี่ (เฮิร์ตซ์)
 λ : ความยาวคลื่น (เมตร)

2.5.1 ความเร็วของเสียง เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นตามยาวซึ่งจะต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นความเร็วของเสียงจึงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางและคุณสมบัติของตัวกลางได้แก่ ความหนาแน่น, สมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลางและอุณหภูมิของตัวกลางนั้นๆ อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2-1 ความเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ

ตัวกลาง	ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)	
	ที่ 0° C	ที่ 20° C
อากาศ	331.5	334
ไฮโดรเจน	1270	1331
น้ำ	1450	1474
เหล็ก	5100	5130

2.5.2 ความยาวของคลื่นโซนาร์ คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกัน ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโค้งตัวของคลื่นในบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma P}{\rho}} \quad (2.2)$$

โดยที่ v : ความเร็วของคลื่นเสียง (เมตร/วินาที)
 Γ : ค่าโมดูลัสของก๊าซ: ค่าโมดูลัสของอากาศคือ 1.4
 P : ความดันของก๊าซ: ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลคือ
 1.01325×10^5 ปาสคาล (Pascal)
 ρ : ความหนาแน่นของก๊าซ: ความหนาแน่นของอากาศคือ 1.29
 เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่ ดังนั้นค่า $\Gamma = 1.4$ จะได้

$$v = \sqrt{\frac{1.4P}{\rho}} \quad (2.3)$$

โดยที่ M : มวลของโมเลกุล
 V : ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

จะได้ความหนาแน่นดังนี้

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.4)$$

แทนค่าสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.2) จะได้ว่า

$$v = \sqrt{\frac{\Gamma PV}{M}} \quad (2.5)$$

แต่เนื่องจากสมการ

$$PV = RT \quad (2.6)$$

$$P = \frac{\rho RT}{M} \quad (2.7)$$

โดยที่ R : ค่าคงที่ของก๊าซ
 T : อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซ (เคลวิน)

แทนสมการที่ (2.7) ลงในสมการที่ (2.2) จะได้ความสัมพันธ์ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (2.8) ชนด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.8) ความเร็วของคลื่นในอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซและอุณหภูมิ ซึ่งเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ในความเป็นจริงค่าความเร็วของคลื่นจะขึ้นอยู่กับค่าความดันและความหนาแน่นของก๊าซด้วย กล่าวคือ ค่าความดันและความหนาแน่นของก๊าซจะลดลงเมื่อความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น จะได้ว่า

$$v \propto \sqrt{T} \quad (2.10)$$

การหาความเร็วของเสียงในน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆซึ่งจากการวัดความเร็วเสียงในน้ำที่ 0°C ได้เท่ากับ 1450 เมตร/วินาที ต้องหาความเร็วเสียงที่ $t^{\circ}\text{C}$

จากสมการที่ (2.10)

$$1450 = K\sqrt{273} \quad (2.11)$$

ถ้า $T = t + 273\text{ K}$ และให้ $v = v_t$ แทนค่าในสมการที่ (2.10)

$$v_t = K\sqrt{273} \quad (2.12)$$

นำสมการที่ (2.12) / (2.11) จะได้

$$\begin{aligned} v_t &= 1450\sqrt{(t+273)/273} \\ v_t &= 1450\sqrt{(t/273)+1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

กระจายเทอมของ $\sqrt{(t+273)+1}$ จะได้ว่า

$$\sqrt{(t+273)+1} = 1 + \frac{t}{546}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.13) ได้ว่า

$$\begin{aligned} v_t &= 1450\left(1 + \frac{t}{546}\right) \\ v_t &= 1450 + 2.65t \end{aligned} \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.14) จะเห็นได้ว่า ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1°C แล้วความเร็วเสียงจะเปลี่ยนไป 0.6 เมตร/วินาที

2.5.3 การเกิดคลื่นโซนาร์ คลื่นโซนาร์สามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งทรานสดิวเซอร์

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล หรือพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

หลักการที่ใช้สร้างคลื่นโซนาร์มีหลายวิธีด้วยกันแต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการใช้หลอดนำไฟฟ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

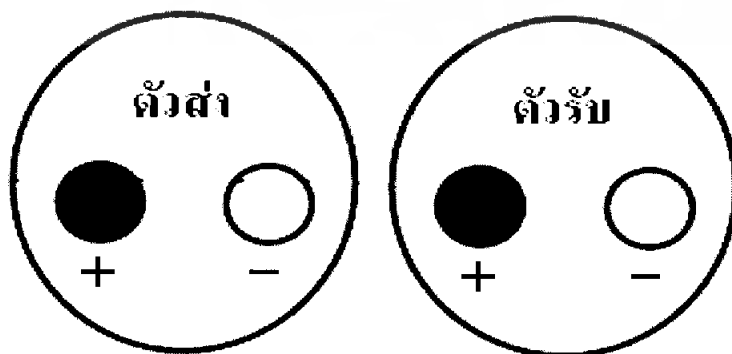
1. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง
2. แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่
3. แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

2.6 ตัวรับและตัวส่ง

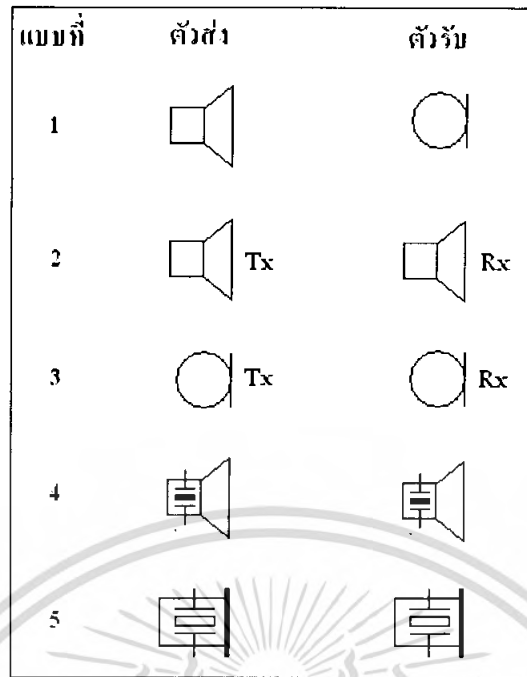
อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ

ตัวส่งและตัวรับตัวส่งก็ คือ อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ออกแบบมาทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้แก่ตัวมันเพื่อจะให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิค หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้ายๆ กับลำโพง

ตัวรับ คือ อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ถูกออกแบบมาให้เปลี่ยนคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิคที่มาตกกระทบตัวมันให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าหน้าที่ของตัวรับจึงคล้าย ๆ กับไมโครโฟน (Microphone) เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันแสดงดังรูปที่ 2-9 คือ ถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็นลำโพงถ้าเป็นตัวรับก็เขียนสัญลักษณ์ของตัวรับและตัวส่งเป็นลำโพง หรือไมโครโฟน อย่างใดอย่างหนึ่งไปเลยซึ่งเขียนด้วยตัวอักษรย่อว่า Tx ย่อมาจาก Transmitter และ Rx ย่อมาจาก Receiver กำกับอยู่ที่ใช้สัญลักษณ์เหมือนกันก็เพราะว่ารูปลักษณะของตัวรับและตัวส่งที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กันจะมีลักษณะเหมือนกันแต่มีเบอร์บอกมาที่ด้านข้างให้รู้ว่าตัวใดเป็นตัวส่ง ตัวใดเป็นตัวรับ และมีคล้ายคลึงกันมากจนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลายๆ การใช้งาน ในบางครั้งมีการเขียนรายละเอียดภายในไมโครโฟน หรือภายในตัวลำโพงให้มีสัญลักษณ์ของผลึก (Crystal) กำกับอยู่ด้วยเพื่อทำให้ทราบว่าขั้วของตัวรับและตัวส่งหรือขั้วของตัวทรานสดิวเซอร์ที่ทำงานในลักษณะสั้นเพื่อให้เกิดคลื่นเสียงนั้นมีขั้วบวกหรือลบที่ขาคือโดยส่วนมากขั้วลบจะต่ออยู่กับตัวถังดังแสดงในภาพที่ 2-8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-8 ขั้วของตัวรับและตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ

2.6.1 **ข้อกำหนดการใช้งานของตัวรับและตัวส่ง** เนื่องจากข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ตลอดจนรายละเอียดที่สำคัญทั้งหมดของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์หาได้ยาก ดังนั้นจึงสรุปสิ่งที่ควรจะต้องเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูงเพื่อป้องกัน โครงสร้างภายในไม่ให้เสียหาย

2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันอยู่ทั่วไปจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันได้ไม่เกิน 20 โวลต์ดังนั้นขนาดสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ในขีดจำกัด

3. ความถี่เรโซแนนซ์ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดของทรานสดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 50 กิโลเฮิร์ตซ์สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่า มีแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิใช้งานของทรานสดิวเซอร์ ควรอยู่ในช่วง 20 ถึง 35 องศาเซลเซียส

5. ทั้งตัวส่ง และตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกว่าคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ส่งออกไปจะลดลงประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็จะลดลงไปประมาณ 10 dB เช่นเดียวกันดังนั้นการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้งจึงควรพยายามให้ตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวแกนที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มากเพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพง พื้น และวัตถุที่อยู่ในห้องทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวโหลด (Load) ตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง 10 กิโลโอห์มถึง 100 กิโลโอห์มถ้าหากทดลองเปลี่ยน โหลดจาก 100 กิโลโอห์ม เป็น 10 กิโลโอห์ม ความไวจะลดลงประมาณ 10 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้นถ้า ใช้ความต้านทานต่ำลงไปอีกความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมาก ควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงกว่าเล็กน้อย

7. ปกติแล้วเราสามารถเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีจะต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่สมมูลทางด้าน ฟอสลับเพื่อให้ลักษณะตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกันกับของเดิม

8. การใช้งานอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่จะนำไปใช้ เนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิคนั้นมีความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ค่าความเร็วและคุณสมบัติทางด้านอิมพีแดนซ์ของคลื่นอัลตราโซนิค
ในตัวกลางที่เป็นของเหลวและแก๊ส

Material	Temperature (°C)	Density (kg/m^3)	Sound Velocity (m/s)	Characteristic Impedance (Ns/m^2)
Gases				
Argon	0	1.783	319	569
Helium	0	0.178	965	172
Oxygen	0	1.429	316	452
Hydrogen	0	0.090	1284	116
Carbon Dioxide	0	1.977	259	512
Air	0	1.293	331.45	429
Liquids				
				10^6 Ns/m^2
Water	20	998	1483	1.48
Mercury	20	13500	1451	19.6
Glycerine	20	1228	1895	2.33
Ethyl Alcohol	20	790	1159	0.92
Methyl Alcohol	20	792	1120	0.89
Carbon Disulphide	20	1264	1157	1.64

2.7 อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิค กระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้นทรานสดิวเซอร์ที่ให้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิคมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

เอกสาขานี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

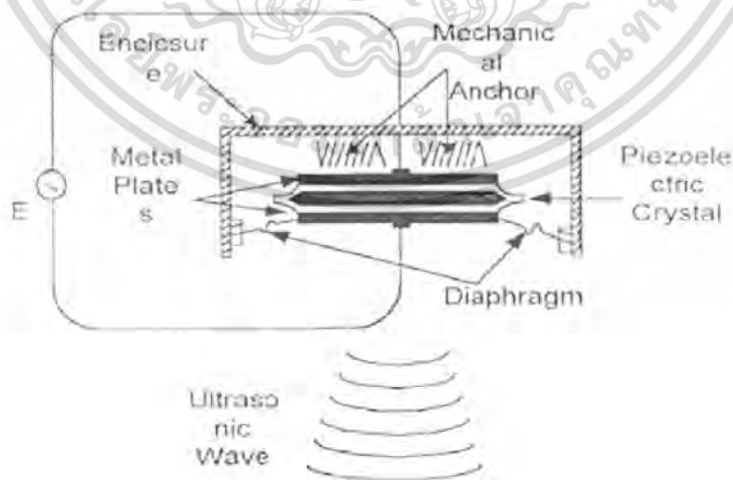
2.7.1 เมคคานิกทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers)

2.7.1.1 แบบมูฟวี่งคอยล์ นั้นคล้ายกับมูฟวี่งคอยล์ของลำโพง มีประโยชน์มากในการเป็นตัวต้น (vibrator) ของทดสอบความเร่งของอุปกรณ์แบบมูฟวี่งคอยล์ ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอะลูมิเนียมบาง ๆ วางไว้ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวี่งคอยล์ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคในการศึกษาคุณสมบัติในการดูดคลื่นอัลตราโซนิคของก๊าซ

2.7.1.2 แบบอิเล็กโตรสแตติก ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่างแผ่นขนานของ Parallel Plate Capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงขึ้น หลักการใหญ่ของมันจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง

แต่ก็ใช้ทำให้เกิดการสั่นแบบอัลตราโซนิคในของแข็งแบบที่ 1 และ 2 นั้นไม่ค่อยใช้กัน เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิค ส่วนแบบที่ 3 และ 4 ใช้กันมากและแพร่หลาย ดังนั้นจะกล่าวละเอียดเฉพาะแบบที่ 3 และ 4 เท่านั้น

2.7.1.3 แบบเพียโซอิเล็กทริก และ แบบเฟอร์โรอิเล็กทริก ในผลึกที่ประกอบด้วยโพล่าโมเลกุล (Polar Molecule) ซึ่งอยู่จุดศูนย์กลางของความสมมาตร (Center of symmetry) ถ้าตัดเอาเพลท (Plate) อันเนื่องมาจากผลึกนี้แล้วทำให้เกิดการบิดงอ (Deform) ด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของแผ่นเพลท ดังในรูปที่ 2-10 ปรากฏการณ์นี้เรารู้จักว่า ใคเรียกเพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค (direct Piezoelectric Effect) ศักย์ระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลทนี้จะเกิดบิดเบี้ยวไปได้เอง เรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่าง เช่น ผลึกควอตซ์



รูปที่ 2-10 ลักษณะ โครงสร้างภายในทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ผลิตหรือเจ้าของลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

2.8 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอัลตราโซนิกจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีเพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟกต์และที่ใช้กันมากคือผลึกแร่ควอตซ์ (Quartz), แบเรียมติเตเนท (Barium titanate) และ ลีดเซอร์โคเนท (Lead circonate titanate) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์ ยังแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าได้อีกด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะ ได้สัดส่วนกับค่าที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant, K) ของพื้นผิววัสดุและหารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่วอลลีจโรดที่ อยู่ 2 ข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิก

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารเซรามิกได้รับความร้อน จะทำให้ไดโพล(dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไปจะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิคงกล่าวอีกคุณสมบัติเพียโซ อิเล็กทริก จะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นค่าทรานสดิวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ทั้ง แบเรียมติเตเนท และลีดเซอร์โคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกแร่ควอตซ์ 5-6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ต่ำมากและมีค่าคงที่ (Coupling constant) ต่ำมากจึงไม่ค่อยได้นำควอตซ์มาใช้ในเครื่องอัลตราโซนิกในปัจจุบัน

2.9 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะรูปร่างตัวอย่าง เช่น เซรามิกแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ ได้ 3 อย่าง คือมีการยึดหดตามความหนาและตามรัศมี อย่างไรก็ตามเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปสามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยึดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่ใช้บริษัทที่ทำทรานสดิวเซอร์จะกำหนดความถี่คงที่ สำหรับแต่ละแบบของการยึดหดดังแสดงในตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิก Thickness (inch)

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิก

Material	Curic Temperature ($^{\circ}C$)	Q	Dielectric Constant (K)	Coupling Coefficient (KT)
Quartz	550	Very High	4.5	0.09
Barium titante	100	400-700	1700	0.38
Lead zirconate titanate	300	90-500	1450	0.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุอยู่ให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ทฤษฎีคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก

2.10.1 คุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าหูของมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้ว หูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ 30 เฮิรตซ์ ถึง 30 กิโลเฮิรตซ์ อัลตราโซนิกที่กล่าวถึงโดยทั่วไป จึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่ สูงกว่า 30 กิโลเฮิรตซ์ขึ้นไป

อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก กระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical wave) คลื่นอัลตราโซนิกสามารถสร้างได้ด้วยทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยจะทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล และมีความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency) คงที่อยู่ค่าหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติต่างๆ ของคลื่น เช่น การสะท้อนของคลื่น ซึ่งเป็นที่คุณสมบัติที่เรานำมาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้

ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่ยอมรับได้ในอากาศ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

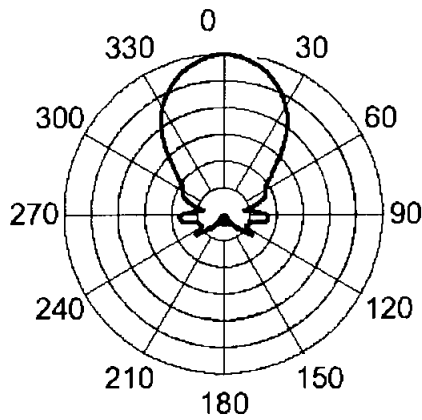
$$v = 331 + 0.6T \text{ เมตรต่อวินาที} \quad (2.15)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก เมตรต่อวินาที (m/s)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ องศาเซลเซียส (C)

2.10.2 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาทำให้เกิดคลื่นเหนือเสียง และก็เป็นอุปกรณ์ที่ทำการรับคลื่นเสียงเข้ามาแล้วทำการแปลงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ดังนั้นในการทำงานจึงต้องมีทรานสดิวเซอร์ 2 ตัว โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งและตัวรับอย่างละตัวในระบบเดียวกัน ซึ่งทรานสดิวเซอร์จะมีความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency) อยู่ค่าหนึ่งและจะต้องใช้คู่กันเสมอ

สำหรับทางด้านตัวส่ง เมื่อทรานสดิวเซอร์ได้รับสัญญาณแรงดันมาครบรอบ จะทำให้ชิ้นสารวัตถุโค้งงอ ทำให้เกิดการบีบอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเหนือเสียงขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (Pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชิ้นสาร โค้งงอมากขึ้น ก่อให้เกิดการบีบอัดอากาศเกิดเป็นคลื่นเหนือเสียงออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะสูงก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าทรานสดิวเซอร์ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์นั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังของเอาท์พุทจะ



รูปที่ 2-11 ลักษณะของลำคลื่นในการส่ง (Beam Angle) ของทรานสดิวเซอร์

ส่วนการทำงานของด้านตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับด้านตัวส่ง คือ เมื่อมีคลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชิ้นสารเข้ามาก็จะทำให้ชิ้นสาร โก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาพร้อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารตัวรับ

2.11 ทฤษฎีและหลักการของวงจรโดยรวม

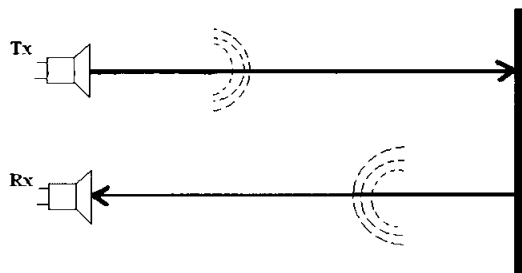
จากการที่เราทราบแล้วว่า คลื่นอัลตราโซนิคนั้นมีคุณสมบัติเป็นคลื่นกลที่เกิดการสะท้อนได้ เช่นเดียวกับคลื่นเสียง แล้วยังมีความเร็วเท่ากับคลื่นเสียง โดยมีความเร็วแปรผันตามอุณหภูมิ ดังความสัมพันธ์จากสมการที่ (2.14) และจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทาง

$$s = vt \tag{2.16}$$

เมื่อ s คือ ระยะทางคลื่นเดินทางได้ (เมตร)

t คือ เวลา (วินาที)

ดังนั้น เราจะเห็นว่าหลักการ โดยคร่าวๆ ในการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิค เมื่อเราส่ง คลื่นอัลตราโซนิคไปกระทบสิ่งกีดขวาง และสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ ดังรูปที่ 2-12 จะได้ว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-12 แสดงการส่งคลื่นอัลตราโซนิคไปกระทบสิ่งกีดขวางและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราทำการจับเวลาที่คลื่นเดินทางไป หรือเวลาที่คลื่นเดินทางกลับได้ เราก็จะสามารถคำนวณหา ค่ำระยะทางระหว่างวัตถุกับแหล่งกำเนิดคลื่น เพื่อนำค่าระยะทางนั้นมาพิจารณาต่อไปได้

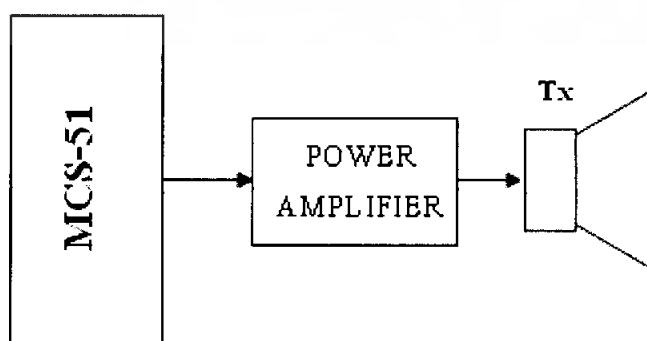
การทำงานของอุปกรณ์ชิ้นนี้ จะนำหลักการดังกล่าว ซึ่งจะมีบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ดังรูปที่ 2-15 และดังรูปที่ 2-16 โดยหลักการทำงานของวงจรจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ภาคส่ง ภาครับ และ ภาคแสดงผล ซึ่งจะนำมาอธิบายได้ต่อไปนี้

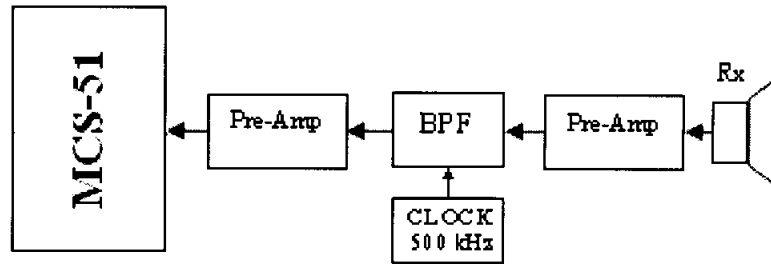
ภาคส่ง

จะมาจากการสร้างชุดสัญญาณที่มีความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จาก AT89C51 เนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก AT89C51 มีขนาดของสัญญาณเพียงแค่ 5 V ซึ่งไม่เพียงพอที่จะส่งไปให้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณที่ได้จาก AT89C51 นั้นไปขยายเสียก่อนด้วยวงจร POWER AMPLIFIER จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ผ่านวงจร POWER AMPLIFIER ไปป้อนให้กับหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะทำให้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นอัลตราโซนิก ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อทำการส่งสัญญาณออกไปกระทบกับวัตถุที่อยู่ในขอบเขตของบีมของ ทรานสดิวเซอร์ทางด้านส่ง แล้วจะสะท้อนกลับมาทางด้านรับ

ภาครับ

เมื่อหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ทางด้านรับ รับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ ก็จะ นำเอาสัญญาณที่ได้มาขยายด้วยวงจรพรีแอมป์ แล้วนำมาผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ โดยจะกรองเอา สัญญาณรบกวนที่ความถี่อื่นๆ ออกไปเหลือไว้แต่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จากนั้นนำมาผ่านวงจรเปรียบเทียบ แรงดัน เพื่อคงระดับสัญญาณให้ได้ระดับสัญญาณที่สามารถนำไปเป็นตัวป้อนอินเตอร์รัปต์ให้กับ AT89C51 นำระยะเวลาที่คลื่นเดินทางไปสะท้อนกับวัตถุแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับมาคำนวณหา ระยะทางของวัตถุ เพื่อนำมาแสดงในจอแสดงผลต่อไป

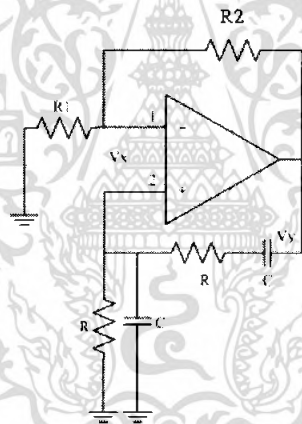




รูปที่ 2-14 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมภาครับเครื่องค้นหาวัดอุณหภูมิด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

2.12 ทฤษฎีและหลักการขององค์ประกอบย่อย

2.12.1 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ (Oscillator) เป็นวงจรกำเนิดคลื่นรูปไซน์ (Sine Wave) เพื่อนำมาทำเป็นสัญญาณคลื่นพาห้ เพื่อนำไปเข้ารหัสก่อนป้อนเข้าทรานสดิวเซอร์ตัวส่งเพื่อส่งคลื่นออกไปอีกทีหนึ่ง ในที่นี้ใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ ที่สร้างด้วยวงจรเวินบริดจ์ออสซิลเลเตอร์ (Wein Bridge Oscillator) มีลักษณะดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2.15 รูปแสดงวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่

เริ่มพิจารณาโดยพิจารณาจาก โหนด (Node) ที่ 1, โหนดที่ 2 และ โหนดที่ 3 จะได้สมการดังนี้

$$V_x = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2} = kV_o \tag{2.17}$$

$$\frac{V_x - V_y}{R} + \frac{V_x}{R} + V_x SC = 0 \tag{2.18}$$

$$\frac{V_y - V_x}{R} + (V_y - V_o)SC = 0 \tag{2.19}$$

จากสมการที่ (2.18) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.19) จะได้

$$V_Y \left(\frac{1}{R} + SC \right) - \frac{V_X}{R} - V_O SC = 0 \quad (2.21)$$

นำค่า V_X จากสมการที่ (2.17) แทนในสมการที่ (2.20) และ (2.21) ได้

$$kRV_O \left(\frac{2}{R} + SC \right) = V_Y \quad (2.22)$$

$$V_Y \left(\frac{1}{R} + SC \right) - \frac{kV_O}{R} - V_O SC = 0 \quad (2.23)$$

แทนค่า V_Y จากสมการที่ (2.22) ลงไปในสมการที่ (2.23) จะได้

$$kRV_O \left(\frac{2}{R} + SC \right) \left(\frac{1}{R} + SC \right) - \frac{kV_O}{R} - V_O SC = 0$$

$$\frac{d^2V_O}{dt^2} + \frac{dV_O}{dt} \left(\frac{3k-1}{kRC} \right) + \frac{V_O}{R^2C^2} = 0$$

หากเลือกให้ $k = \frac{1}{3}$ จะได้

$$\frac{d^2V_O}{dt^2} + \frac{V_O}{R^2C^2} = 0$$

$$V_O = Ae^{j/RC} + Be^{-j/RC}$$

เลือกให้ $A = B$

$$V_O = 2A \left(\frac{e^{j/RC} + e^{-j/RC}}{2} \right)$$

$$V_O = 2A \cos\left(\frac{t}{RC}\right)$$

ดังนั้นเราสามารถกำหนดค่าความถี่การตอบสนองได้โดยความสัมพันธ์

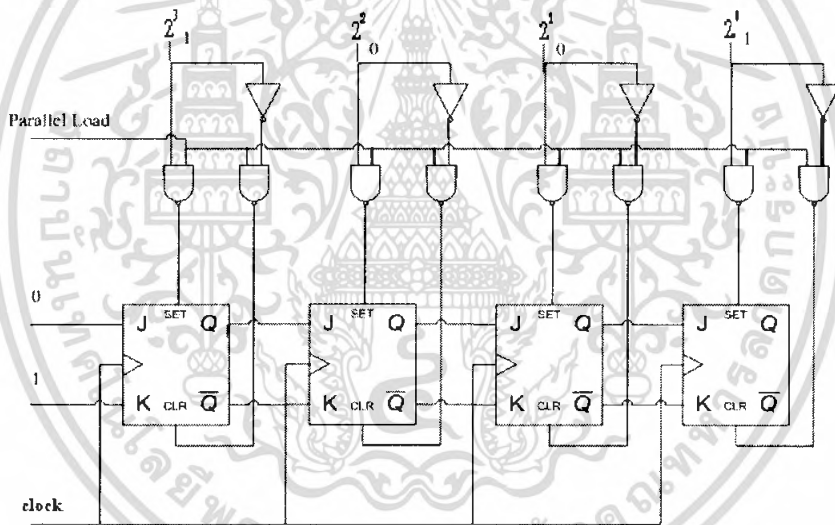
$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.24)$$

และกำหนดให้ $k = \frac{1}{3}$ ได้โดยกำหนดให้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

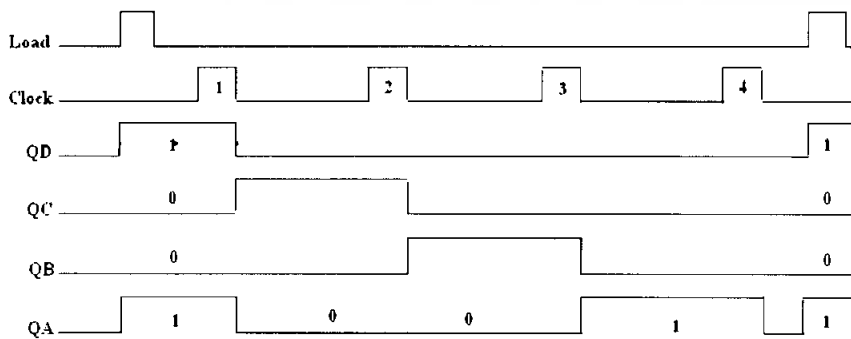
$$\frac{R_2}{R_1} = 2 \tag{2.25}$$

2.12.2 วงจรเข้ารหัสแบบชิฟริจิสเตอร์ (Shift Register) เราต้องเข้ารหัสสัญญาณก่อนที่จะนำไปมอดูเลต (Modulate) กับความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ แทนที่จะส่งคลื่นความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ออกไปเลย เพื่อให้เราสามารถนำมาพิจารณาใน การวิเคราะห์ทางได้ไกลขึ้น เพราะที่ด้านรับ ตัวรับจะสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างสัญญาณ กับสัญญาณรบกวน (Noise) ได้มากขึ้น เราสามารถใช้วงจรชิฟริจิสเตอร์แบบ Parallel-in Serial-out มาเป็นวงจรเข้ารหัสสัญญาณได้

การทำงานของชิฟริจิสเตอร์สามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 2-16 และ 2-17 ได้ดังนี้คือ วงจรฟลิปฟลอป A (Flip-Flop) มีค่าอินพุต J และ K เป็น 0 และ 1 ตามลำดับ ทำให้ค่า Q ของฟลิปฟลอป A จะกลายเป็น “0” หลังจากมีสัญญาณขอบขาลงเข้ามาที่ขา Clock Input ถ้าชิฟริจิสเตอร์ ถูกป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้า 4 ครั้ง ค่า Q ของฟลิปฟลอปทุกตัวจะกลายเป็น “0” และจะยังคงค่า “0” จนกระทั่งมีการโหลดแบบขนานเข้าชิฟริจิสเตอร์อีกครั้ง



รูปที่ 2-16 รูปแสดงวงจรภายในของวงจรชิฟริจิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-17 รูปแสดงการทำงานของวงจรชิฟริจิสเตอร์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการไหลค่าน่าเข้าชิฟริจิสเตอร์นี้ทำได้โดยการป้อนเลขรหัสไบนารีเข้าอินพุตแบบขนาน แล้วทำให้ค่า “1” เข้าที่ Parallel Load หรือ คอนโทรล จะเป็นการ enable แนนเกท ทั้งต่อกับ \overline{PRESET} และ \overline{CLEAR} ของฟลิปฟลอปแต่ละตัว เพราะมีการอินเวอร์เตอร์ระหว่างอินพุต ของแนนเกททั้งสอง ทำให้เอาต์พุตของแนนเกท 2 ตัว จะไม่มีทางมีค่าตรงกัน เมื่อแนนเกทถูก enable จะส่งผลให้ค่า Q นั้นขึ้นอยู่กับค่าอินพุตที่ต่อขนานเข้าสู่ชิฟริจิสเตอร์ ค่า Q จะไม่เปลี่ยน ตราบใดที่มี Parallel Load เป็น “1” เมื่อ Parallel Load เป็น “0” แนนเกทจะถูก inhibited ทำให้ค่า Q จะเป็นค่าที่ถูกเลื่อนต่อๆ กันไปเมื่อมีการป้อนสัญญาณนาฬิกา

2.12.3 วงจรคูณสัญญาณแบบกิลเบอร์ต (Gilbert Multiplier Circuit) เราต้องการคูณสัญญาณระหว่างรหัสของชุดคำสั่งแต่ละชุดกับสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งจะนำไปแปลงเป็นคลื่นอัลตราโซนิก ในที่นี้เลือกใช้วงจรคูณแบบกิลเบอร์ต ซึ่งแสดงได้รูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 รูปแสดงวงจรภายในและการทำงานของวงจรคูณสัญญาณแบบกิลเบอร์ต

จากวงจรจะได้ว่า

$$I_{C3} = \frac{I_{C1}}{1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \tag{2.26}$$

$$I_{C4} = \frac{I_{C1}}{1 + e^{\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \tag{2.27}$$

$$I_{C5} = \frac{I_{C2}}{1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{C6} = \frac{I_{C2}}{1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \quad (2.29)$$

$$I_{C1} = \frac{I_{EE}}{1 + e^{-\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} \quad (2.30)$$

$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} \quad (2.31)$$

ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$I_{C3} = \frac{I_{EE}}{\left(1 + e^{-\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}\right) \left(1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}\right)} \quad (2.32)$$

$$I_{C4} = \frac{I_{EE}}{\left(1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}\right) \left(1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}\right)} \quad (2.33)$$

$$I_{C5} = \frac{I_{EE}}{\left(1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}\right) \left(1 + e^{\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}\right)} \quad (2.34)$$

$$I_{C6} = \frac{I_{EE}}{\left(1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}\right) \left(1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}\right)} \quad (2.35)$$

จากวงจรเราจะพบอีกว่า

$$I_{CC1} = I_{C3} + I_{C5} \quad (2.36)$$

$$I_{CC2} = I_{C4} + I_{C6} \quad (2.37)$$

ดังนั้น

$$\Delta I = I_{CC1} - I_{CC2}$$

$$\Delta I = I_{C3} + I_{C5} - I_{C4} - I_{C6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\Delta I = (I_{C3} - I_{C6}) - (I_{C4} - I_{C5}) \quad (2.38)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$I_{C3} - I_{C6} = \frac{I_{EE}}{1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \left(\frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} - \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} \right)$$

$$= \frac{I_{EE}}{1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \tanh\left(\frac{V_2}{2V_T}\right) \quad (2.39)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$I_{C4} - I_{C5} = \frac{I_{EE}}{1 + e^{\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \left(\frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} - \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{V_2}{V_T}\right)}} \right)$$

$$= \frac{I_{EE}}{1 + e^{\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \tanh\left(\frac{V_2}{2V_T}\right) \quad (2.40)$$

ดังนั้น

$$\Delta I = I_{EE} \tanh\left(\frac{V_2}{2V_T}\right) \left(\frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} - \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{V_1}{V_T}\right)}} \right)$$

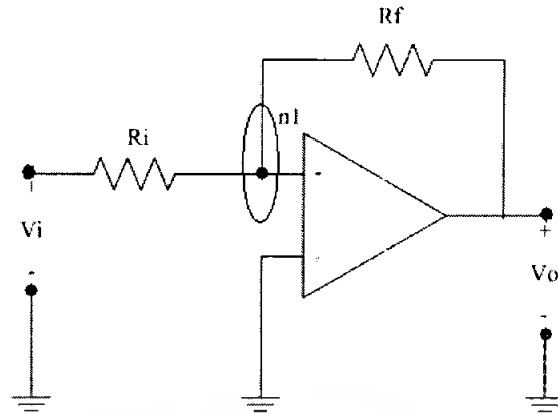
$$\Delta I = I_{EE} \tanh\left(\frac{V_2}{2V_T}\right) \tanh\left(\frac{V_1}{2V_T}\right) = kV_1V_2 \quad (2.41)$$

หาก $\frac{V_1}{2V_T} \ll 1$ และ $\frac{V_2}{2V_T} \ll 1$ จะได้

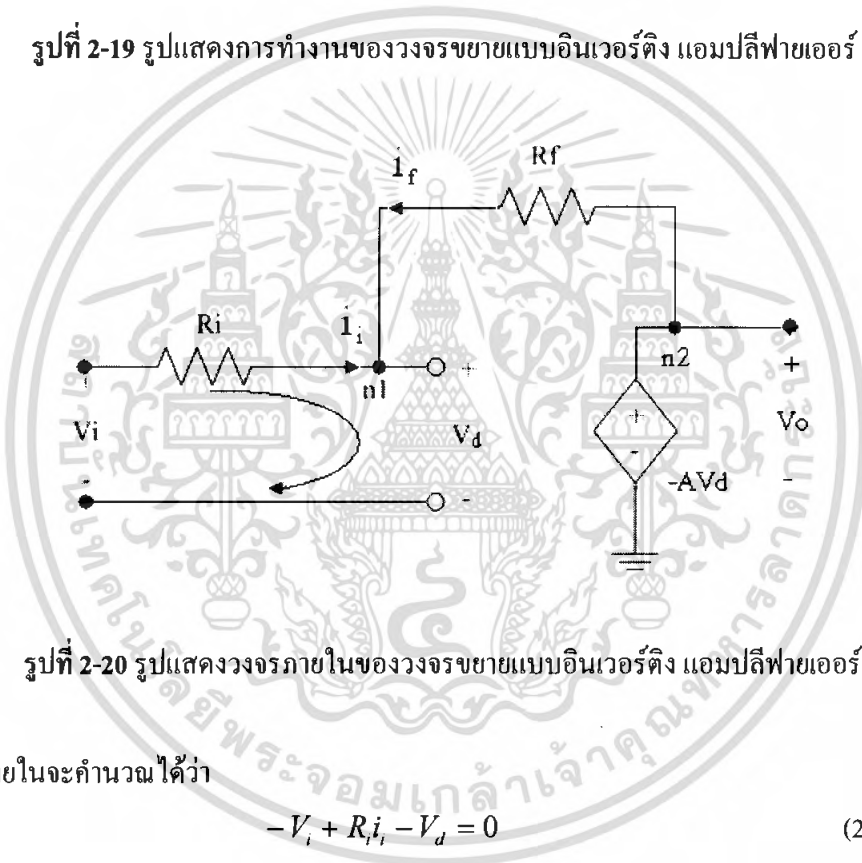
$$\Delta I = I_{EE} \tanh\left(\frac{V_2}{2V_T}\right) \tanh\left(\frac{V_1}{2V_T}\right) = kV_1V_2 \quad (2.42)$$

2.12.4 วงจรขยาย (Amplifier) ในที่นี้เราได้เลือกใช่วงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ (Inverting Amplifier) เนื่องจากเป็นวงจรรขยายที่สร้างได้ง่าย และไม่ซับซ้อน ส่วนการออกแบบจะทำการพิจารณาจากวงจรรภายในของวงจรรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ แสดงดังรูปที่ 2-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
อินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-19 รูปแสดงการทำงานของวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง แอมป์ลีฟายเออร์



รูปที่ 2-20 รูปแสดงวงจรภายในของวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง แอมป์ลีฟายเออร์

จากวงจรภายในจะคำนวณได้ว่า

KCL;
$$-V_i + R_i i_i - V_d = 0 \tag{2.43}$$

$$-V_d + i_f R_f - AV_d = 0 \tag{2.44}$$

KCL;
$$i_i + i_f = 0$$

$$i_i = -i_f \tag{2.45}$$

จากสมการที่ (2.43);

$$i_i = \frac{(V_i + V_d)}{R_i} \tag{2.46}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จากสมการที่ (2.45);
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_f = \frac{-(V_i + V_d)}{R_i} \quad (2.47)$$

แทนค่า i_f จาก (2.47) ลงในสมการ (2.44)

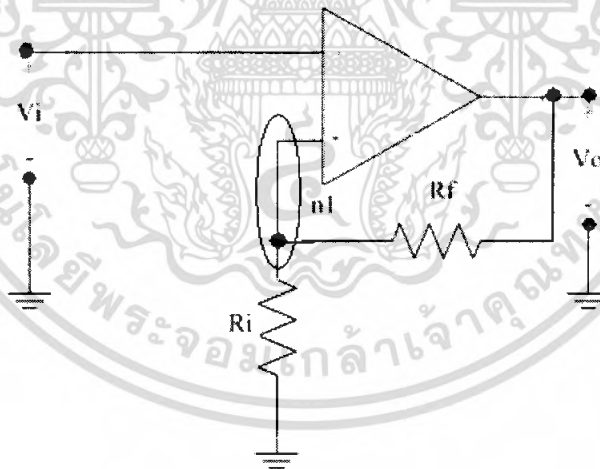
$$-V_d + \frac{-(V_i + V_d)}{R_i} R_f - AV_d = 0$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f / R_i}{\left(\frac{1}{A} + \frac{R_f}{AR_i} + 1\right)}$$

ในกรณีที่ค่า A มีค่ามากๆ เราจะอนุมานได้ว่า

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R_i} \quad (2.48)$$

2.12.5 วงจรนอน-อินเวอร์ตติ้ง แอมป์ลิฟายเออร์ (Non-Inverting Amplifier)

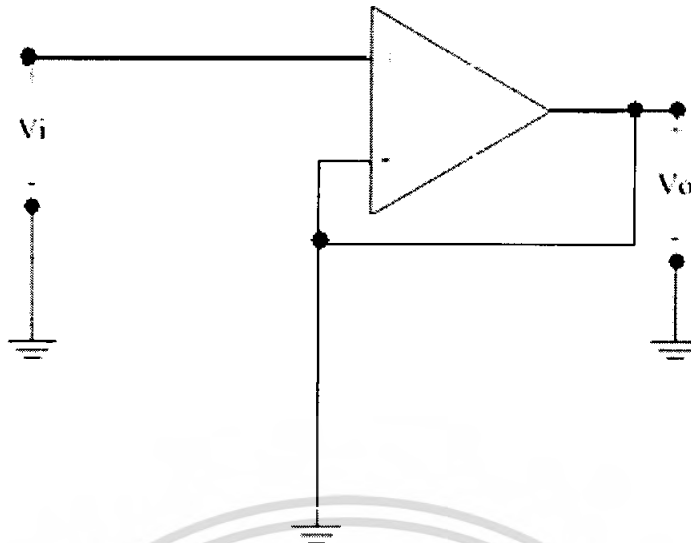


รูปที่ 2-21 รูปแสดงการทำงานของวงจรถ่ายแบบนอน-อินเวอร์ตติ้ง แอมป์ลิฟายเออร์

พิจารณาที่ โหนด 1 จะได้ว่า

$$\frac{V_i - 0}{R_i} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0 \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (2.50) นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-22 รูปวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ได้จากการประยุกต์จากอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์

เนื่องจากคุณสมบัตินี้ เราจึงนำมาประยุกต์ใช้เป็นวงจรมัลติเพล็กซ์ โดยการกำหนดให้ค่า R มีค่าเท่ากับ 0 เพื่อช่วยคงค่าสัญญาณให้เสถียรมากขึ้น และมีอัตราขยายเป็น 1 จึงไม่ทำให้สัญญาณ มีการผิดเพี้ยนไป

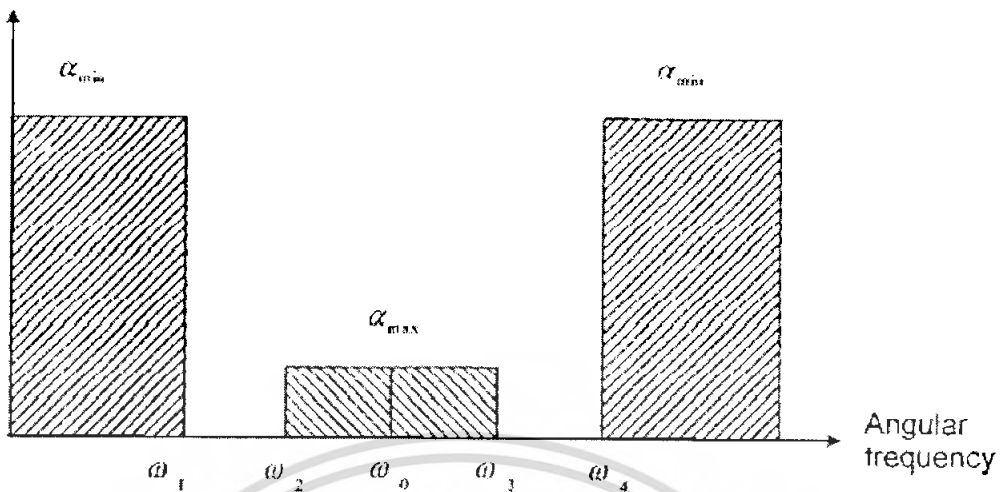
2.12.6 วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) สัญญาณที่ผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ที่มีค่าอัตราการขยายสูงมาแล้วนั้น อาจจะขยายสัญญาณรบกวน (Noise) อื่นๆ เข้ามา อีกทั้งอาจจะมาจากตัววงจรมัลติเพล็กซ์เอง นอกจากนี้ด้วยอัตราขยายที่สูงนั้น ทำให้สัญญาณที่ได้ผิดเพี้ยนไป จนเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ซึ่งจะทำให้มีฮาร์โมนิก (Harmonic) อื่นๆ ของสัญญาณความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วย แต่เราต้องการที่จะสัญญาณอัลตราโซนิค ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่จะส่งออกไปสะท้อนกับวัตถุนั้น ทำให้เราจำเป็นต้องนำสัญญาณมาผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ฟิลเตอร์ เพื่อกรองเอาสัญญาณรบกวนอื่นๆ ออกไป

ในที่นี้เราเลือกใช้แบนด์พาสฟิลเตอร์ แบบแอคทีฟ (Active) เนื่องจากเหมาะสมกับการใช้งาน ความถี่ต่ำ และยังสามารถเลือกปรับอัตราการขยายเพิ่มเติมจากวงจรมัลติเพล็กซ์ได้อีกและได้เลือกใช้ แบนด์พาสฟิลเตอร์แบบ บัตเตอร์เวิร์ทซ์ในการออกแบบ เพราะตัวกรองสัญญาณมีความคมเพียงพอ และยังเกิดการกระเพื่อมในช่วงสัญญาณพาสแบน (Pass band) น้อยที่สุด (Minimum Ripple) หลังจากที่เราได้จำนวน Order ค่า Q และความถี่กลาง (Center Frequency, f) ของแต่ละ สเตจแล้ว จึงเลือกใช้วงจรมัลติเพล็กซ์ฟิลเตอร์ Delyianis & friends ในการสร้างแบนด์พาสฟิลเตอร์ เพราะเป็นการง่ายและสะดวกในการออกแบบ

วิธีการออกแบบแบนด์พาสบัตเตอร์เวิร์ทซ์ฟิลเตอร์

เมื่อเราทราบค่าการกระเพื่อมสูงสุดในพาสแบน (α_{max}) และค่าการลดทอนต่ำสุดในสตอปแบนด์ (α_{min}) แล้วเลือกค่าความถี่พาสแบนด์ $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ และค่าความถี่กลาง ω_0 ดังรูป ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Attenuation



รูปที่ 2-23 แสดงย่านความถี่ที่ฟิลเตอร์กำหนดให้ผ่านได้

การเลือกความถี่ เราต้องเลือกให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\omega_1 \omega_4 = \omega_2 \omega_3 = \omega_0^2 \tag{2.51}$$

จากนั้น ให้แปลงความถี่ของ LPF ซึ่งใช้คิดเป็นวงจรต้นแบบ ดังนี้

$$\Omega_p = 1 \tag{2.52}$$

$$\Omega_s = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_1} \tag{2.53}$$

เราจะได้ค่า Order ของฟิลเตอร์ ตามความสัมพันธ์

$$n = \frac{\log\left[\frac{(10^{\alpha_{\max}/10} - 1)}{(10^{\alpha_{\min}/10} - 1)}\right]}{2 \log \Omega_s} \tag{2.54}$$

จะได้ Ω_0 ของ LPF ดังนี้

$$\Omega_0 = \frac{1}{(10^{\alpha_{\max}/10} - 1)^{1/2n}} \tag{2.55}$$

เมื่อทราบ Order ก็จะสามารถหาค่าตำแหน่งโพล (Pole) ใน s-plane ได้โดยการหามุมที่โพลกระทำกับแกน $+\sigma$ (มุม θ_k) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_k = 90^\circ \left(\frac{2k + n - 1}{n} \right) \quad k = 1, 2, \dots, 2n$$

แต่เราจะเลือกจุดโพลที่อยู่ทางด้านซ้ายของระนาบ S-plane เนื่องจากจะทำให้วงจรเสถียร แล้วหาค่ามุมเหล่านั้นใหม่โดยให้เป็นมุมที่จุดโพลเหล่านั้นกระทำกับแกน $-\sigma$ (มุม Ψ_k) จากนั้นแล้วหาพิกัดของโพลให้อยู่ในรูป $poles = \Sigma \pm j\Omega$ โดยที่ $\Sigma = \cos\psi$ และ $\Omega = \sin\psi$
 จากนั้นให้ใช้ Geffe's Algorithm หาค่า Q และ f_0 ของแต่ละกรณีได้โดย

$$q_c = \frac{\omega_0}{BW}$$

$$C = \Sigma^2 + \Omega^2$$

$$D = \frac{2\Sigma}{q_c}$$

$$E = 4 + \frac{C}{q_c^2}$$

$$G = \sqrt{E^2 - 4D^2}$$

$$Q = \frac{1}{D} \sqrt{\frac{1}{2}(E + G)}$$

$$K = \frac{\Sigma Q}{q_c}$$

$$W = K + \sqrt{K^2 - 1}$$

$$\omega_1 = \omega_0 W$$

$$\omega_2 = \omega_0 / W$$

โดยแต่ละสแตจจะมี Transfer function ดังนี้

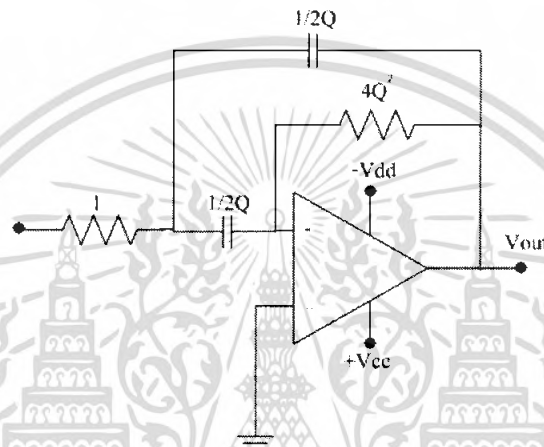
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $T_c(j\omega) = \frac{-(\omega_0/Q)s}{s^2 + (\omega_0/Q)s + \omega_0^2}$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (2.56) ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอัตราขยายเป็น

$$|T_i(j\omega)| = \frac{(2Q_i\omega_0\omega)^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{\omega_0\omega}{Q_i}\right)^2}} \quad (2.57)$$

โดย i คือ หมายเลขสเตจ

จากนั้นใช้วงจร Delyiannis & Friend เพื่อแปลงให้เป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ ดังรูปที่ 2-24



รูปที่ 2-24 วงจร Delyiannis & Friend

จากนั้นใช้การ Scaling ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ โดยการเลือกค่า K_m จะได้

$$R_{new} = k_m \quad (2.58)$$

$$k_f = 2\pi f_0 \quad (2.59)$$

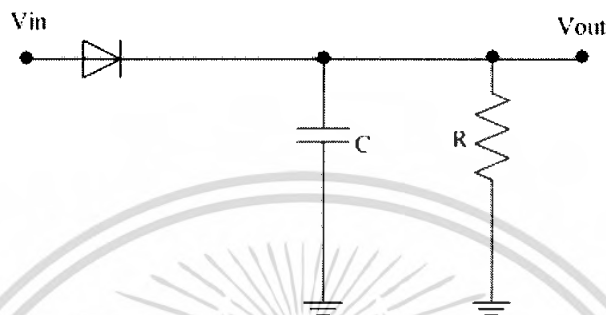
$$C_{new} = \frac{1}{k_m k_f} C_{old} \quad (2.60)$$

2.12.7 Automatic Gain Control (AGC) เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับนั้นมีขนาดที่แตกต่างกันไปมากเมื่อระยะทางที่สะท้อนวัตถุเปลี่ยนไป โดยขนาดของสัญญาณแปรผกผันกับระยะทาง ทำให้การนำสัญญาณไปประมวลผลในขั้นต่อไปนั้น จะเกิดปัญหาในการแปลงสัญญาณดิจิทัล (Digital) เพื่อเปรียบเทียบ code ต่อไป หากวัตถุที่สะท้อนอยู่ใกล้เมื่อสัญญาณผ่านพรีแอมป์และแบนด์พาสฟิลเตอร์ แล้ว

ขนาดของสัญญาณก็อาจจะเกิน 5 โวลต์ ซึ่งเกินช่วงที่ A/D Converter จะสามารถรับได้ ในขณะที่วัตถุที่สะท้อนอยู่ไกล เมื่อผ่านพรีแอมป์ และ แบนด์พาสฟิลเตอร์แล้ว ขนาดของสัญญาณก็อาจจะต่ำเกินไป เร็วไม่ช้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้ขนาดสัญญาณคงที่ไม่ว่าวัตถุที่สะท้อนอยู่ที่ระยะใด เพราะจะได้ง่ายต่อการเปรียบเทียบรหัส จึงต้องใช้วงจร Automatic Gain Control เพื่อควบคุมให้ขนาดของสัญญาณคงที่ ถึงแม้อินพุตจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม

2.12.8 วงจรเอนเวลโลป ดีเทกเตอร์ (Envelope detector) หลังจากที่ได้รับสัญญาณผ่านวงจร AGC แล้ว เราต้องการกู้รหัสกลับ จึงใช้วงจรเอนเวลโลป ดีเทกเตอร์ เพราะง่ายต่อการประกอบ โดยมีรูปวงจรงดังรูป 2-25

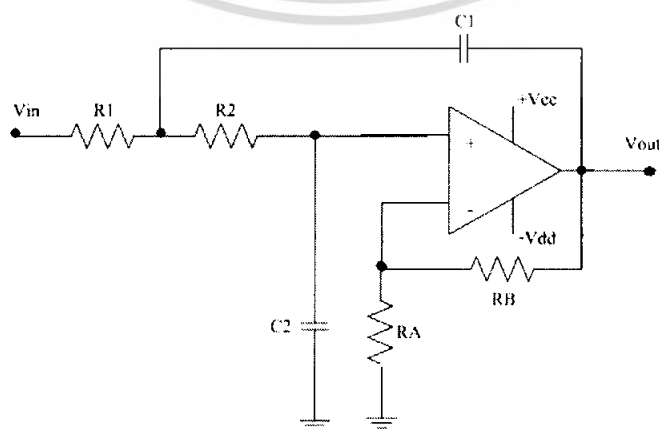


รูปที่ 2-25 วงจรเอนเวลโลป ดีเทกเตอร์

โดยมีความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า R, C และความถี่พาหะ ดังนี้

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.61)$$

2.12.9 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) หลังจากที่ได้รับสัญญาณผ่านวงจรเอนเวลโลป ดีเทกเตอร์แล้ว เราจะได้สัญญาณรหัสกลับมา แต่เราต้องใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพื่อทำให้สัญญาณรหัสที่ได้เรียบขึ้น และเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวน ที่อาจเกิดขึ้นจากสัญญาณความถี่สูงได้ ในที่นี้เลือกใช้วงจร Sallen & Key เพราะง่ายต่อการออกแบบ มีรูปวงจรง ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-26 วงจร Sallen & Key
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถพิสูจน์หา Transfer function ของวงจรได้ดังนี้ พิจารณาที่ โหนด A ของ op-amp

$$\frac{v_r - v_o}{R_B} + \frac{v_r - 0}{R_A} = 0$$

$$v_r = \frac{v_o}{R_B \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_A} \right)} = \frac{R_A v_o}{R_A + R_B} = k v_o \quad (2.62)$$

เมื่อ $k = \frac{R_A}{R_A + R_B}$

พิจารณาที่ โหนด B ของ op-amp

$$\frac{v_r - v_1}{R_2} + \frac{v_r - 0}{1} = 0$$

$$v_1 = R_2 v_r \left(\frac{1}{R_2} + SC_2 \right) \quad (2.63)$$

ที่โหนด C

$$\frac{v_1 - v_i}{R_1} + \frac{v_1 - v_r}{R_2} + (v_1 - v_o)SC_1 = 0$$

$$v_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + SC_1 \right) - \frac{v_i}{R_1} - \frac{v_r}{R_2} = v_o SC_1 \quad (2.64)$$

แทนค่า $v_r = k v_o$ ลงในสมการที่ (2.63)

$$v_1 = k v_o R_2 \left(\frac{1}{R_2} + SC_2 \right) \quad (2.65)$$

แทนค่า V_1 จากสมการที่ (2.65) และ V_r จากสมการที่ (2.63) ลงในสมการที่ (2.64)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{1/kC_1C_2R_1R_2}{s^2 + s \frac{[C_1R_1(k-1) + kC_2(R_2 + R_1)]}{kC_1C_2R_1R_2} + \frac{1}{C_1C_2R_1R_2}}$$

และเมื่อเปรียบเทียบกับสมการในรูปทั่วไปของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังสมการที่ (2.66)

$$T(s) = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + (\omega_0/Q)s + \omega_0^2} \quad (2.66)$$

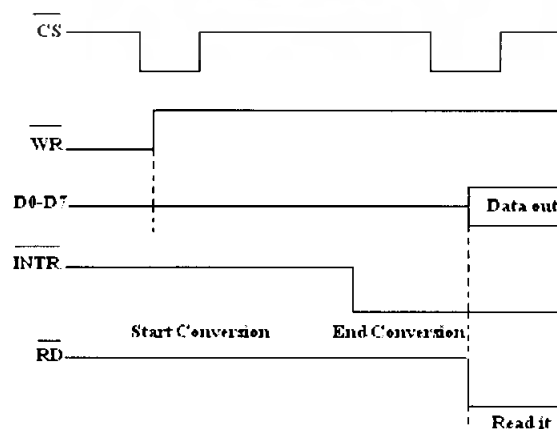
∴ จะได้ว่า
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_1C_2R_1R_2}} \quad (2.67)$$

เมื่อ $C_1 = C_2$ และ $R_1 = R_2$ และได้อัตราขยายเป็น

$$Gain = 1 + \frac{R_B}{R_A} \quad (2.68)$$

2.12.10 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) เมื่อสัญญาณที่สะท้อนกลับมาถูกกรองจนเหลือโค้ด (Code) ที่ค่อนข้างสมบูรณ์และมีแอมพลิจูดไม่เกิน 5 โวลต์ แล้วเราจะนำ code นั้นไปผ่าน IC ADC0804 เพื่อแปลงโค้ด จากอนาลอกให้เป็นดิจิตอล 8 บิตเพื่อส่งผ่านพอร์ทแบบขนานไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป โดยเราจะควบคุมขั้นตอน ในการแปลงสัญญาณด้วย MCS-51

ADC 0804 เป็น A/D ขนาด 8 บิต มีความเร็วในการแปลงสัญญาณ (Conversion Time) 110 μ s วิธีสตาร์ท A/D ทำได้โดยส่งสัญญาณเข้าขา \overline{WR} และ \overline{CS} ด้วยศักดาคต่ำ (Low) แล้วให้รออีก 110 μ s หลังจากนั้น A/D จะส่งสัญญาณออกมาที่ขา \overline{INTR} (คือสัญญาณที่บอกว่าแปลงสัญญาณเสร็จแล้ว) มีระดับสัญญาณเป็น Low ขานี้มักจะต่อกับขา INTR ของ CPU เพื่อบอกให้ CPU ทำขบวนการอินเตอร์รัปต์เพื่อนำข้อมูลที่แปลงแล้วไปเก็บ ในการอ่านข้อมูลไปเก็บ CPU ต้องส่งสัญญาณ \overline{RD} มาเข้า \overline{RD} ของ A/D (โดยขา \overline{CS} ต้องเป็น Low อยู่ก่อนหน้า) โดยมีผังเวลาในการควบคุมดังรูปที่ 2-27



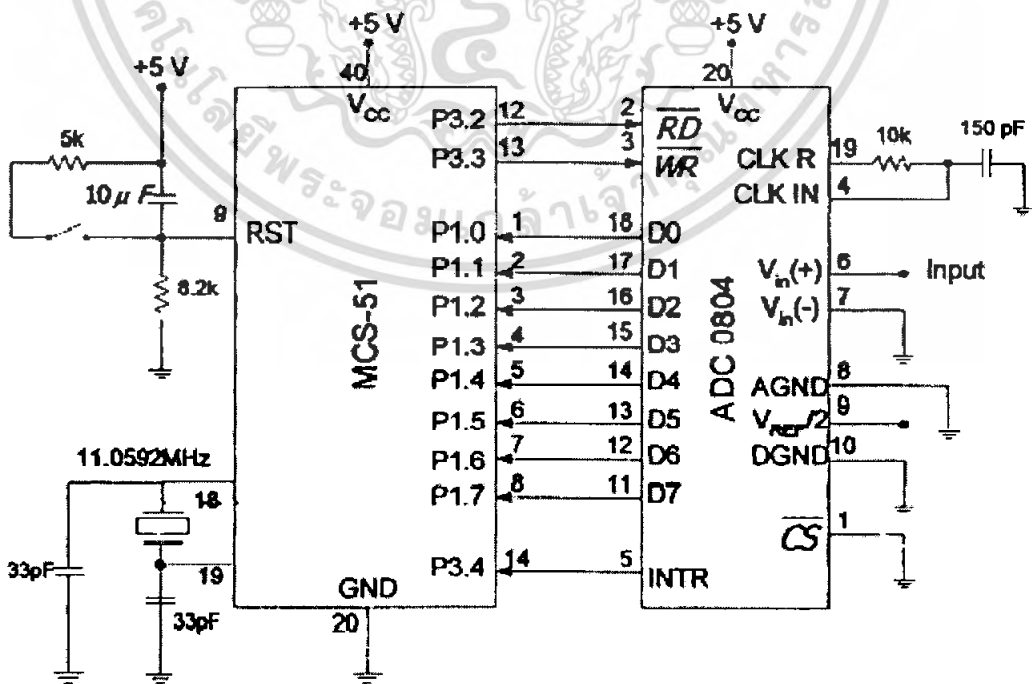
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-27 ผังเวลาการทำงานของ ADC 0804
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสัญญาณที่ถูกแปลงออกมาจะมีทั้งหมด 256 ระดับ (8 บิต) ซึ่งแต่ละระดับนั้นจะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับ $V_{ref} / 2$ ที่เราป้อนให้ ดังตารางที่ 2-4 ในที่นี้ปล่อยให้ขานี้ลอยซึ่งทำให้ Range ของอินพุตอยู่ที่ 0-5 โวลต์

ตารางที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{ref} / 2$ กับ V_{in} ของ ADC 0804

$V_{ref} / 2$	$V_{in} (V)$	Step Size (mV)
Not Connect	0 to 5	$5/256 = 19.53$
2.0	0 to 4	$4/256 = 15.62$
1.5	0 to 3	$3/256 = 11.71$
1.28	0 to 2.56	$2.56/256 = 10$
1.0	0 to 2	$2/256 = 7.81$
0.5	0 to 1	$1/256 = 3.90$

ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่าง MCS-51 กับ ADC 0804 เป็นดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2-28 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง MCS-51 กับ ADC 0804
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในโครงการนี้ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาประยุกต์ใช้ด้วย โดยใช้ในการกำเนิดสัญญาณที่จะนำไปเข้ารหัสในภาคส่ง, เก็บข้อมูลของสัญญาณที่รับเข้ามาในภาครับและทำการประมวลผลหาระยะทาง และส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลที่จอแสดงผล

โครงสร้างพื้นฐาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

ในปัจจุบันนิยมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้หน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช ซึ่งทำให้สามารถลบและเขียนโปรแกรมใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในโครงการนี้ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำภายในแบบแฟลช เบอร์ AT89C51 มาใช้

การทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 ถึง พอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออกทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงจรแอสต์และวงจรขับตลอคจนบัฟเฟอร์อินพุต

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ต และพอร์ต 1 บางขานนอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้วยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีกขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด

จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องทำความเข้าใจถึงจังหวะการทำงานของซีพียู และลำดับขั้นตอนการประมวลผลคำสั่ง ในการประมวลผลคำสั่งของซีพียูนั้นมีขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการเฟตช์ (fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลรหัสคำสั่งนั้นเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมการประมวลผล ขั้นตอนต่อมาคือ กระบวนการเอ็กซีคิวต์ (execute) เป็นการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือตามที่เฟตช์ขึ้นมา โดยกระบวนการก่อนหน้านี้นี้ เมื่อทำการเอ็กซีคิวต์คำสั่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะไปเริ่มกระบวนการเฟตช์คำสั่งใหม่ต่อไป

ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 แมซซินไซเคิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ เวลาในการทำงาน 1 ไชเกิลมีค่าเท่ากับ 1 มิลิวินาที หรือมีความเร็วในการทำงานเฉลี่ยภายใน 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 เมกกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นถ้าต้องการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราบความเร็วของการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จากค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 แมกซ์ไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็ว

กระบวนการรีเซต ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การรีเซต (Reset) เป็นกระบวนการที่ทำให้ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์กลับไปเริ่มต้นทำงานใหม่ที่แอดเดรส 0000H ในหน่วยความจำโปรแกรม พร้อมกันนั้นยังส่งผลให้เกิดการเคลียร์ ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำให้รีจิสเตอร์ทุกตัวกลับไปสู่สภาวะเริ่มต้นทำงานใหม่

การเกิดรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เกิดขึ้นได้เพียงกรณีเดียวคือ ที่ขา RST (ขา 9) ได้รับลอจิก “1” อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมกซ์ไซเคิล หรือ 24 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา โดยที่วงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานอยู่ เมื่อเกิดการรีเซตขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณรีเซตภายในขึ้นเพื่อตอบสนองการรีเซตจากภายนอก

การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีหน่วยความจำหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

ใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่าโปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor program) สำหรับ MCS-51 แบบแฟลช เบอร์ AT89C51 สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็น่าได้ โดยภายใน AT89C51 มีหน่วยความจำภายใน 4 กิโลไบต์

หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

มี 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดย AT89C51 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ และมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM: Random Access Memory) ขนาด 128 ไบต์ จัดสรรแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง, ส่วนบน และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR: Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์

- รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษเป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ มี 22 ตัว สำหรับ AT89C51 มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนสามารถเข้าถึงได้โดยตรง

- รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word: PSW) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H ทำหน้าที่เก็บสถานะการทำงานของโปรแกรมในขณะนั้นจะเรียกสถานะต่าง ๆ ของโปรแกรมว่า แฟล็ก (flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงจะปรากฏที่บิตต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ของ PSW
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอควิวเลเตอร์ (Accumulator: ACC) มีขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงระดับบิตได้มีแอดเดรสอยู่ที่ E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก ก่อนที่จะส่งไปให้ซีพียูต่อไป เรียกสั้นๆ ว่า รีจิสเตอร์ A

- รีจิสเตอร์ B มีขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงระดับบิตได้อยู่ที่แอดเดรส F0H มีหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และมีหน้าที่พิเศษ คือ หากต้องการคูณหารทางคณิตศาสตร์ ต้องนำข้อมูลที่ต้องการหารหรือคูณมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำคำสั่งคูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ A ต่อไป

- รีจิสเตอร์ SFR ตัวอื่นๆจะกล่าวถึงในเรื่องต่อไป

การเชื่อมโยง MCS-51 กับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลภายนอกเป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลได้ถึง 64 กิโลไบต์ เป็นหน่วยความจำแรม (RAM) สัญญาณจาก MCS-51 ที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากแรม คือ \overline{RD} และสัญญาณที่ใช้ในการเขียนข้อมูลลงแรม คือ \overline{WR}

แรม (RAM: Random Access Memory) เป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและอ่านข้อมูลได้ ข้อมูลจะสูญหายทันทีที่ขาดไฟเลี้ยง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ไดนามิกแรม (Dynamic RAM) และ สตาติกแรม (Static RAM)

สตาติกแรม เป็นหน่วยความจำชนิดหนึ่งที่ย่ายในการนำมาใช้งานแต่ราคาจะสูงเมื่อเทียบกับไดนามิกแรม ซึ่งราคาถูกกว่าแต่ยุ่งยากขึ้นมาก็คือ ต้องทำการรีเฟรช (Refresh) หน่วยความจำตลอดเวลา ส่วนสตาติกแรมที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ตามขนาดความจุของหน่วยความจำเบอร์ที่นิยมกันมากสำหรับงานที่ไม่ใหญ่มากนักคือ เบอร์ TMS4016 หรือ 6116 ซึ่งมีขนาดความจุ 2Kx8

การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำ

การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะว่าหน่วยความจำที่นำมาใช้มีขนาดเล็กกว่า 64 กิโลไบต์ ดังนั้น จึงต้องนำมาเรียงกันแล้วใช้วงจรถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำแยกเป็นแต่ละช่วง ถ้าใช้หน่วยความจำขนาด 4 กิโลไบต์ จำนวน 8 ตัว จะได้เท่ากับ 32 กิโลไบต์ ถ้าให้ตัวแรกเริ่มที่แอดเดรส 8000H ตัวที่ 2 ก็จะเริ่มที่แอดเดรส 9000H ดังรายละเอียดดังตารางที่ 2-5

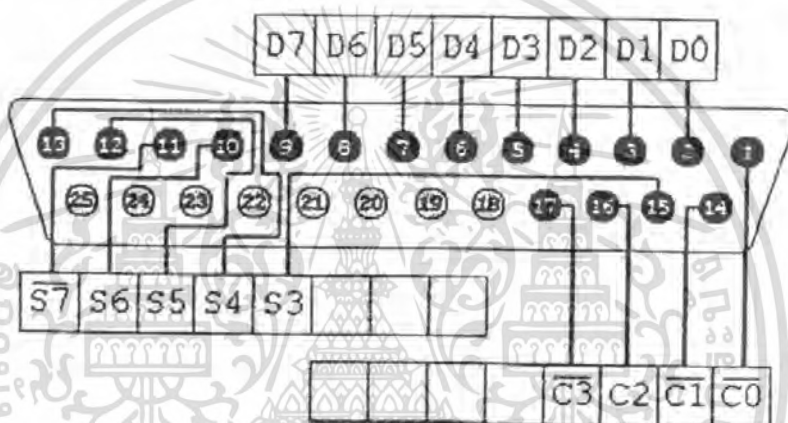
ตารางที่ 2-5 ตารางการถอดรหัสหน่วยความจำ

EPROM ตัวที่	แอดเดรส (HEX)	A_{15}	A_{14}	A_{13}	A_{12}	A_{11} A_0
1	8000-8FFF	1	0	0	0	X.....X
2	9000-9FFF	1	0	0	1	X.....X
3	A000-AFFF	1	0	1	0	X.....X
4	B000-BFFF	1	0	1	1	X.....X
5	C000-CFFF	1	1	0	0	X.....X
6	D000-DFFF	1	1	0	1	X.....X
7	E000-EFFF	1	1	1	0	X.....X
8	F000-FFFF	1	1	1	1	X.....X

ส่วนการถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำจะใช้ไอซีถอดรหัส 3 to 8 line Decoder เบอร์ 74LS138

2.12.12 พอร์ตขนาน (Parallel Port) การเลือกใช้งานในพอร์ตชนิดนี้ สามารถทำการประยุกต์ใช้งานได้ดีเพราะสามารถทำงานได้ทีละ 8 บิต ในการติดต่อข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกให้ระดับแรงดันที่ใช้กับอุปกรณ์ TTL ที่สัญญาณลอจิกเป็น “1” เท่ากับ +5 โวลต์ และลอจิกเป็น “0” เท่ากับ 0 โวลต์ และมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลในอัตราที่สูงประมาณ 1.3 Mbytes/sec มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถทำงานในระยะทางที่ไกลๆ ระหว่างอุปกรณ์ที่ติดต่อกัน เพราะจะเกิดความผิดพลาดของข้อมูลขึ้นง่าย เนื่องจากระดับแรงดันไม่สม่ำเสมออีกทั้งสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการต้องใช้สายสัญญาณหลายเส้น

พอร์ตขนานนั้นประกอบไปด้วย 25 ขา และ 3 พอร์ต โดยการอ่านและเขียนค่า จะต้องกำหนด Address ของพอร์ตให้ถูกต้อง โดยปกติจะเป็น 7H378 สามารถแสดงตำแหน่งของแต่ละขาได้ดังนี้



รูปที่ 2-29 รูปแสดงขาของ Parallel Port

D = Data Port (Address = &H378)

S = Status Port (Address = &H379)

C = Control Port (Address = &H37A)

Data Port

สามารถใช้ในการส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทาง ทั้งและรับและส่ง ใน EPP Mode โดยการกำหนดด้วย Control bit 5 ของพอร์ตขนานเอง โดยปกติแล้วจะมีค่าเริ่มต้นเป็น 00000000

Status Port

เราสามารถใช้งานได้เพียง 5 บิต ในการรับค่าอินพุตจากภายนอก โดยปกติแล้วจะมีค่าเริ่มต้นเป็น 21 ในแต่ละขา แต่จะมีขา 7 ที่เริ่มต้นเป็น 0 หากต่อลงกราวด์จะมีค่าเป็น 1

Control Port

เราสามารถใช้งาน Port control แทน Status Port หรือ Data Port ได้ตามที่ต้องการ แต่โดยปกติแล้ว

จะใช้ในการส่งข้อมูลออกเพื่อทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก สามารถใช้งานได้ 4 บิต นอกนั้นเป็นบิตสำรองที่ถูกเก็บไว้โดยการควบคุมด้วยตัวคอมพิวเตอร์เอง เช่นเดียวกับ Status Port อีก 3 ขาที่ห่างไป

ตารางที่ 2-6 แสดงสถานะต่างๆ ของพอร์ตขนาน

Pin	Job	D/S/C	Name
1	Output	C0	-Strobe
2	Output	D0	+Data Bit0
3	Output	D1	+Data Bit0
4	Output	D2	+Data Bit0
5	Output	D3	+Data Bit0
6	Output	D4	+Data Bit0
7	Output	D5	+Data Bit0
8	Output	D6	+Data Bit0
9	Output	D7	+Data Bit0
10	Input	S6	-Acknowledge
11	Input	S7	+Busy
12	Input	S5	+Paper End
13	Input	S4	+Select In
14	Output	C1	-Auto Feed
15	Input	S3	-Error
16	Output	C2	-Initialize
17	Output	C3	-Select
18-25	Ground	-	Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและสร้าง

3.1 วงจรภาคส่ง

3.1.1 การออกแบบโปรแกรมทางภาคส่ง

ในโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาใช้ในการกำเนิดความถี่ การสร้างสัญญาณพัลส์ดังกล่าวจะสร้างโดยอ้างอิงจากความถี่คริสตอล 12 MHz ที่ป้อนเข้าไปเพื่อควบคุมความถี่คล็อกภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซีพียู) ซึ่งการออกแบบจะออกแบบที่คาบเวลาของซีพียูคล็อกให้มีความสัมพันธ์กับความถี่คล็อกภายในตัวซีพียูตามการคำนวณดังนี้

คาบเวลาความถี่ 40 kHz คือ

$$T_d = \frac{1}{40\text{kHz}} = 25\mu\text{s}$$

และคาบเวลาความถี่ 12 MHz ต่อแมซินไซเคิล

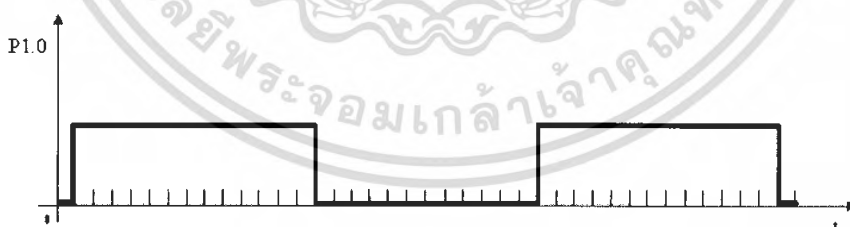
$$T_o = \frac{1}{12\text{MHz}} \times 12 = 1\mu\text{s}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$T = \frac{25\mu\text{s}}{1\mu\text{s}} = 25\text{MC}$$

จะได้คาบเวลาในแมซินไซเคิลคือ $T = 25\text{MC}$

จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการออกแบบวงจร โดยแบ่งคาบเวลาในแมซินไซเคิลที่ได้เป็นค่าของ $T_{ON} = 13\text{MC}$ และ $T_{OFF} = 12\text{MC}$ ซึ่งจะมีคาบเวลาที่เกิดขึ้นเป็นดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3-1 รูปแสดงการแบ่งคาบเวลาที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์

เพราะฉะนั้นจากการออกแบบข้างต้นนั้นทำให้ได้การต่อวงจรที่ออกมาเป็นลักษณะดังรูปที่ 3-2 จากรูปจะได้เอาที่พุดออกทางขา 1 ของซีพียู

3.1.1.1 การออกแบบโปรแกรมหน่วยเวลา

ในโครงการนี้จะใช้เวลามาคำนวณระยะทาง โดยใช้การวนลูปของรีจิสเตอร์ R0, R1 และ R2 หน่วยเวลาเพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเวลาดังกล่าว หากเกินกว่าเวลาที่กำหนดไว้จะแสดงเอกสารข้อความ Error ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าเวลาที่หน่วยไว้คือ

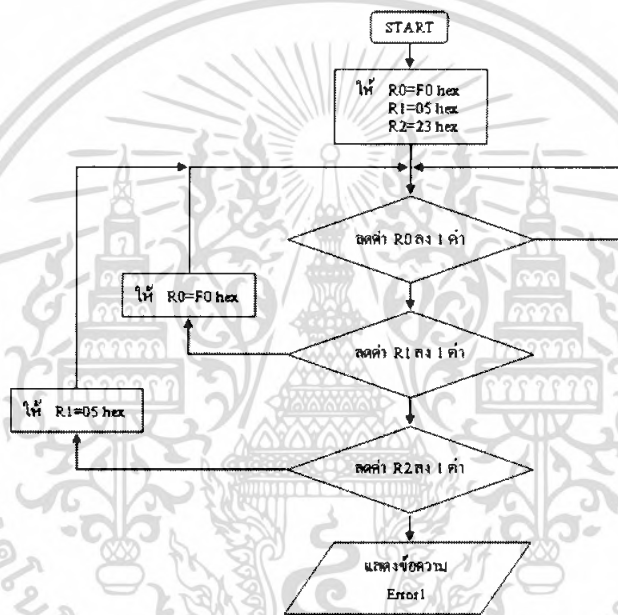
$$9 + \{4(R0R1)_{\max} R2 + 3(R1)_{\max} R2 + 3R2\} + \{4(R0)_{\max} R1 + 3R1\} + 4R0$$

โดยที่

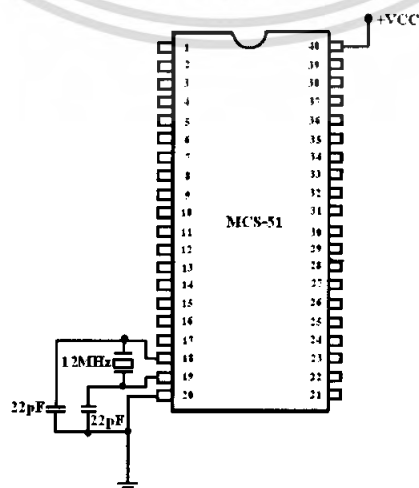
$$R0_{\max} = (F0)_{hex}$$

$$R1_{\max} = (05)_{hex}$$

กระบวนการการทำงานของโปรแกรมหน่วยเวลาทางด้านรับสามารถอธิบายได้จากผังงานของโปรแกรมจากรูปที่ 3-9 ได้ดังนี้

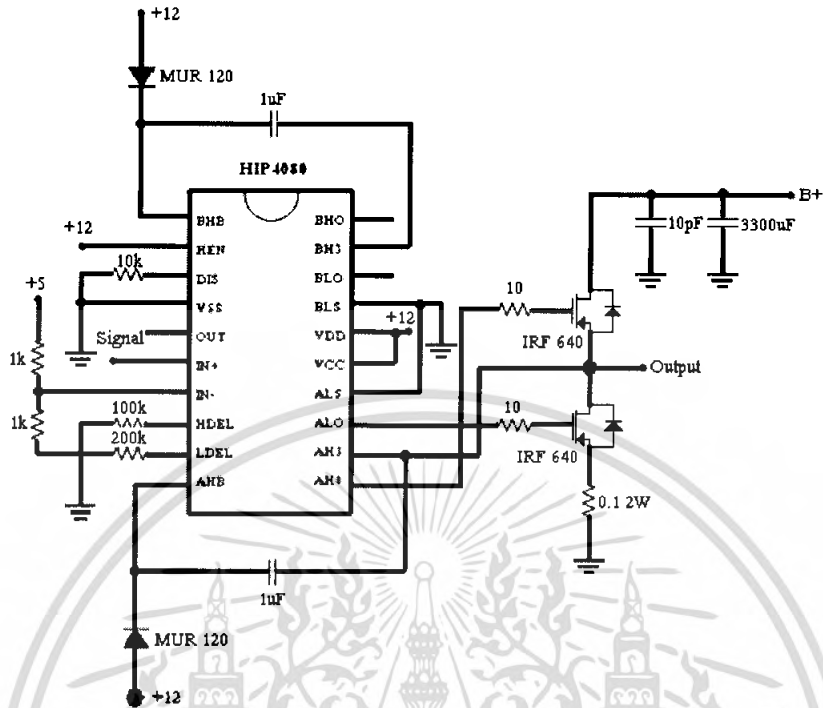


รูปที่ 3-2 แสดงผังงานของโปรแกรมหน่วยเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3-3 แสดงการต่อเอาท์พุทออกทางขา 1 ของชิพนี้ หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรขยาย (Amplifier)

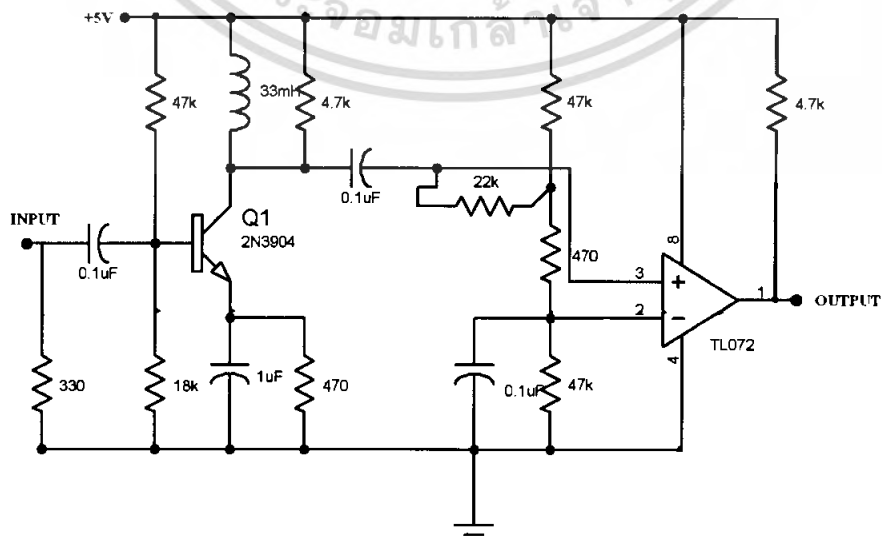


รูปที่ 3-4 วงจรขยายโดยใช้ไอซีเบอร์ HIP4080 และ FET

3.2 วงจรภาครับ

3.2.1 วงจรภาคพรีแอมพลิฟายเออร์ (Pre-amplifier)

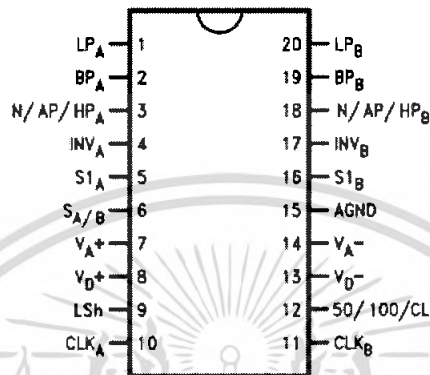
เมื่อทำการส่งสัญญาณ โซนาร์ออกไปแล้วนั้น ถ้าหากว่าสัญญาณมีการสะท้อนกลับมาก็จะต้องมีการขยายสัญญาณที่รับเข้ามาได้เพื่อจะนำไปหยุดการนับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3-5 วงจรภาคพรีแอมพลิฟายเออร์ กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter)

สัญญาณที่ผ่านเข้ามาทางด้านวงจรรวมขยายพีเอ็มแอลไอพีเออร์ การขยายอาจจะขยายสัญญาณรบกวนเข้ามาด้วย ดังนั้นจึงต้องมีวงจรมอดูเลชันฟิลเตอร์ไว้กรองเอาสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ต้องการ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนออกนั้นคือ MF10 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอะแดปทีฟฟิลเตอร์ (Adaptive Filter) สามารถปรับความถี่ได้ด้วยตัวเอง



รูปที่ 3-6 แสดงตำแหน่งขาของ MF10

การออกแบบวงจรมอดูเลชันมีตัวแปรที่สำคัญอยู่หลายค่าด้วยกัน และในสมการที่ใช้ในการออกแบบนี้จะเลือกค่าความถี่กลาง (Center Frequency: $f_o = 40kHz$)

จากสมการหาค่าอัตราขยายของแบนด์พาสฟิลเตอร์

$$H_{OBP} = -\frac{R_3}{R_1}$$

กำหนดค่า $R_1 = 30k\Omega$ และ $R_3 = 30k\Omega$ จะได้ค่า H_{OBP} ดังนี้

$$H_{OBP} = -\frac{30k\Omega}{30k\Omega} = -1$$

เมื่อ H_{OBP} คือ อัตราขยายของแบนด์พาสฟิลเตอร์

หาค่า R_4 จากสูตร

$$f_o = \frac{f_{CLK}}{50} \sqrt{\frac{R_2}{R_4} + 1}$$

เอกสารนี้เป็นกำหนดค่า $R_2 = 30k\Omega$ และ $f_{CLK} = 500kHz$ จะได้ค่า $R_4 = 2k\Omega$ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

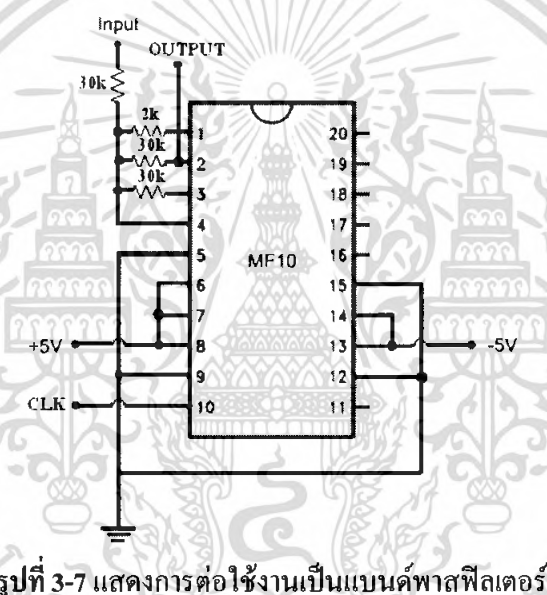
จากสมการหาค่า Quality factor of complex pole pair จากสูตร

$$Q = \frac{\sqrt{R_2/R_4 + 1}}{R_2/R_3}$$

แทนค่าต่างๆที่หาได้ลงในสมการจะได้ว่า

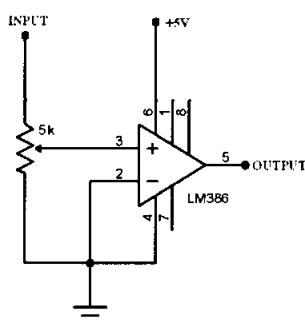
$$Q = \frac{\sqrt{30k\Omega/2k\Omega + 1}}{30k\Omega/30k\Omega} = 4$$

จากการคำนวณหาค่าต่างๆ ทำให้ได้การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์เป็นดังรูป

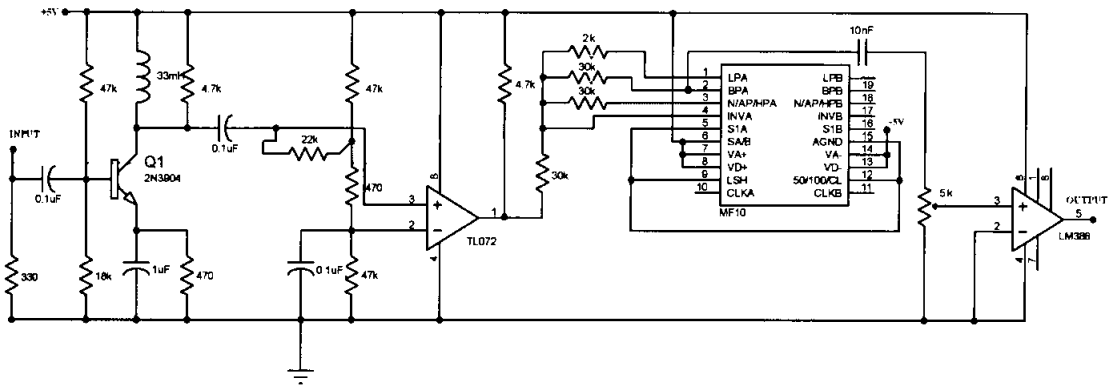


3.2.3 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน (Comparator)

สัญญาณที่ได้จากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์เป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งในการใช้งานเราต้องการสัญญาณพัลส์ เราจึงต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณไซน์ที่ได้ให้เป็นสัญญาณพัลส์โดยใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันมาใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3-8 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

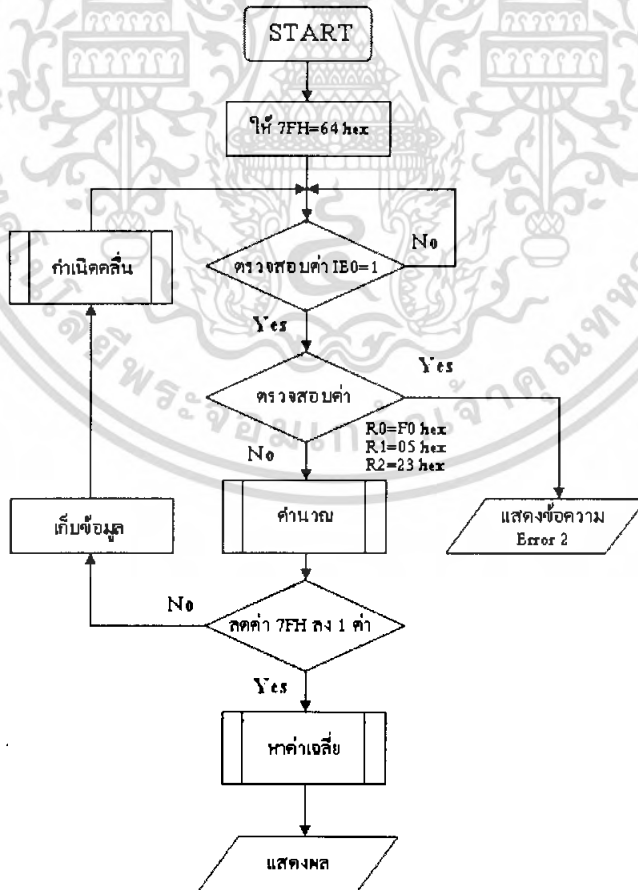


รูปที่ 3-9 วงจรรวมทางด้านภาครับ

3.2.4 การออกแบบโปรแกรมทางภาครับ

3.2.4.1 การออกแบบโปรแกรมทางภาครับ

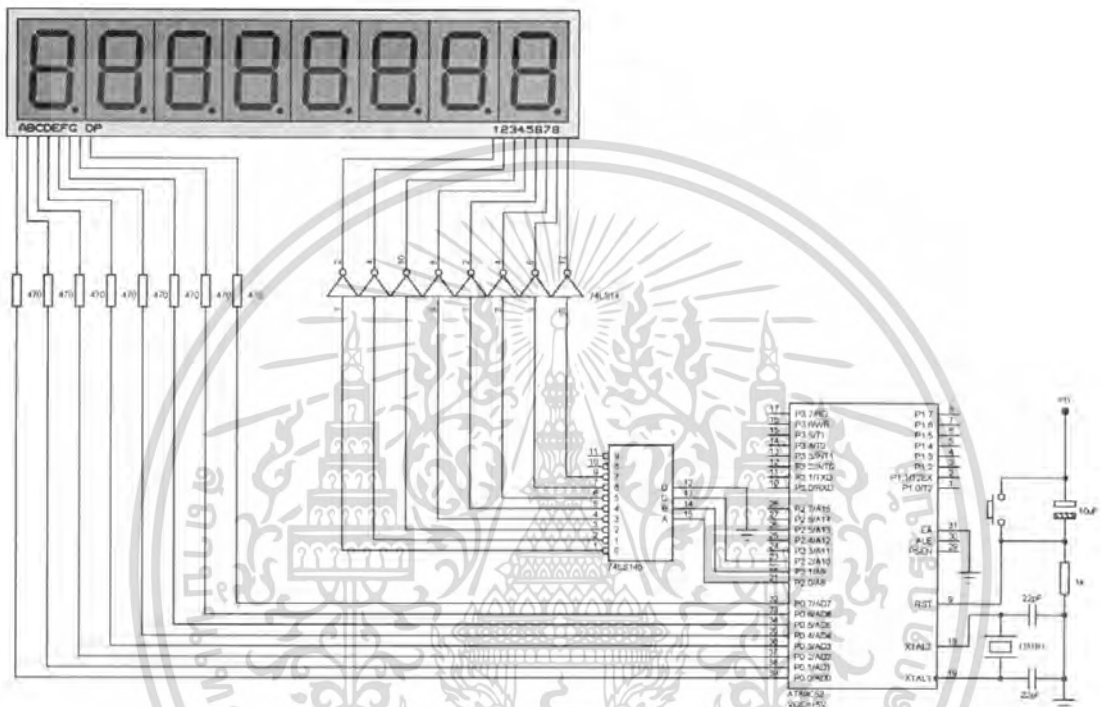
การออกแบบโปรแกรมทางด้านภาครับจะอาศัยการขจัดจังหวะของสัญญาณที่เข้ามา 12 หรือ INT0 ของชิพพิว โดยหลักการทำงานอย่างคร่าวๆสามารถอธิบายได้โดยผังงานของโปรแกรมทางด้านภาครับดังรูปที่ 3-10 ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3-10 แสดงผังงานของโปรแกรมทางด้านภาครับให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรภาคแสดงผล (Display)

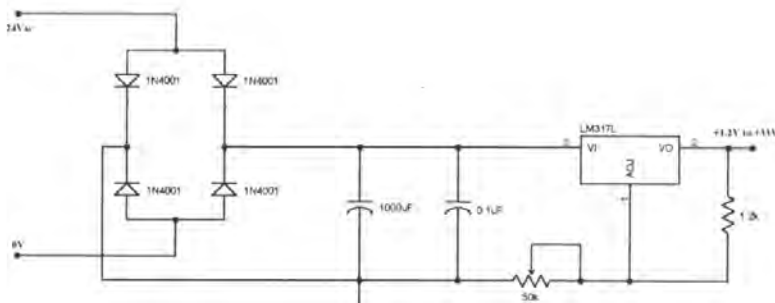
วงจรภาคแสดงผลประกอบด้วย จอแสดงผลแอลอีดี ชนิดคอมมอนแอน โนดซึ่งมีการเชื่อมต่อกับพอร์ต P0 ของซีพียู โดยการแสดงผลจะส่งข้อมูลเพื่อกำหนดให้แอลซีดีแสดงตัวเลขใดๆ ออกมาตามชนิดของแอลซีดี การแสดงผลแต่ละหลักนั้นสามารถกำหนดโดยผ่านทางขา P2.0, P2.1 และ P2.2 ซึ่งจะมี 74LS145 เป็นตัวเข้ารหัสเพื่อเลือกลำดับการทำงานของแต่ละตัว



รูปที่ 3-11 วงจรภาคแสดงผล

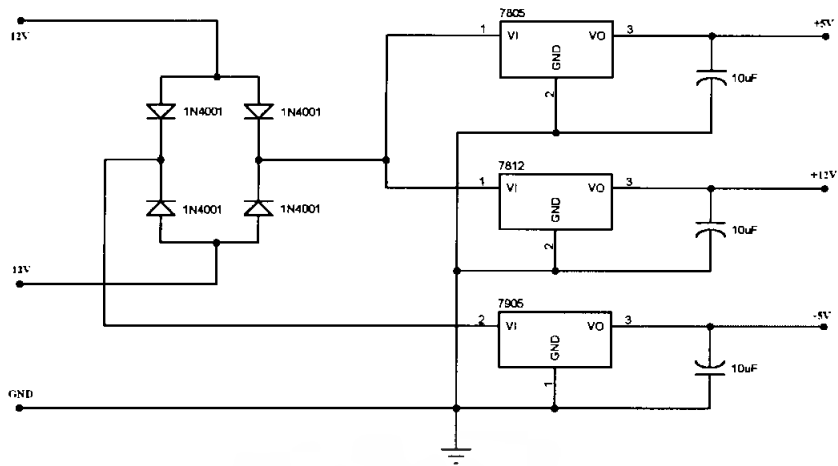
3.4 วงจรภาคจ่ายไฟ (Power Supply)

จากวงจรภาคต่างๆที่กล่าวมาต้องการระดับแรงดันไฟเลี้ยงวงจรเท่ากับ +5V, -5V, +12V และแรงดันไฟสูงที่ป้อนให้กับ FET ดังนั้นเราจึงต้องแปลงระดับไฟก่อน เพื่อให้เลือกใช้งานเป็นไฟเลี้ยงในวงจรได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3-12 วงจรภาคจ่ายไฟให้กับ FET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-13 วงจรภาคจ่ายไฟให้กับวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

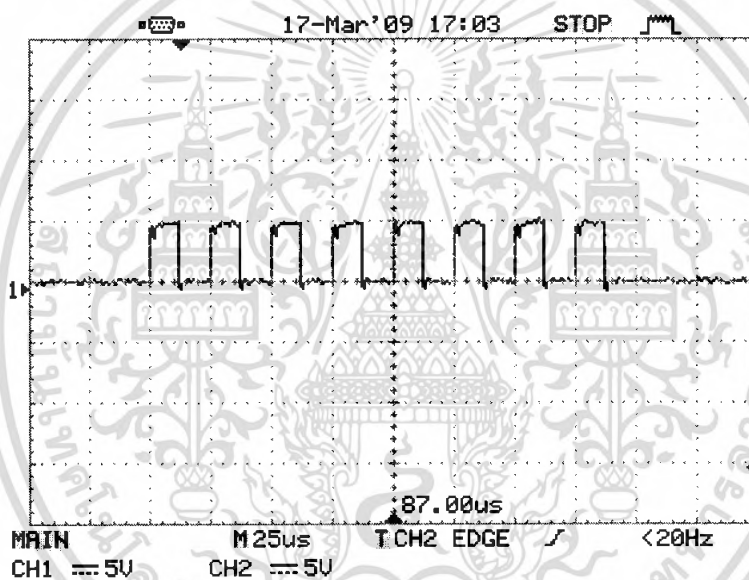
4.1 ผลการทดลองในภาคส่ง

4.1.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์

วิธีการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมสร้างชุดสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ลงในไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ต่อวงจรดังรูปที่ 3-3 และป้อนแรงดันไฟ +5V เข้าวงจร
3. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ผลการทดลอง



รูปที่ 4-1 แสดงสัญญาณจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 4-1 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากขา 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความถี่เท่ากับ 40 kHz ขนาด 5V

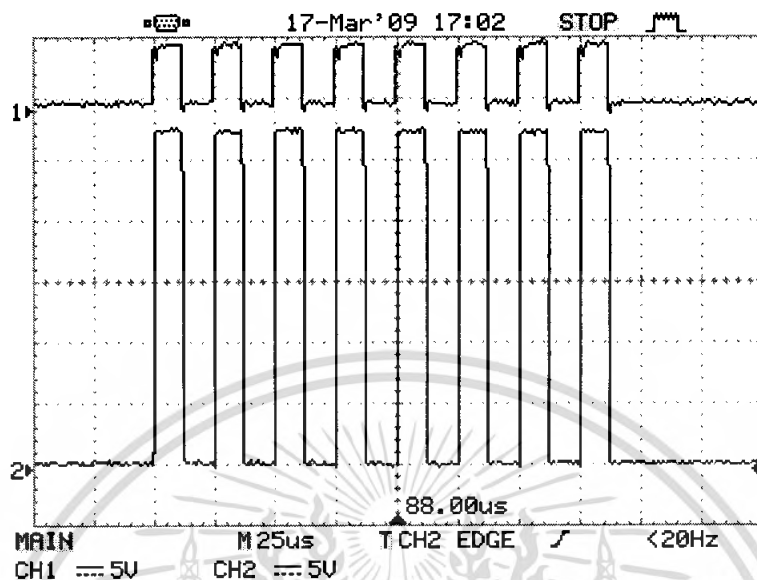
4.1.2 วงจรขยาย

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรขยายดังรูปที่ 3-4
2. ทำการทดลองการทำงานของวงจรขยาย โดยการนำสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่มีขนาด 5V เป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็น 3. ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเทียบกับสัญญาณอินพุต ขาดเอกสารให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



Ch1. สัญญาณอินพุตของวงจรมีขนาด 5Vp-p ความถี่ 40 kHz

Ch2. สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีขนาด 27Vp-p ความถี่ 40 kHz

รูปที่ 4-2 รูปแสดงเอาต์พุตของวงจรมีขนาดที่วัดได้

จากรูปที่ 4-2 เป็นสัญญาณที่วัดเทียบกับระหว่างสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรมีขนาด โดย CH1 เป็นสัญญาณอินพุต ส่วน CH2 เป็นสัญญาณเอาต์พุต โดยที่ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดันที่ป้อนให้กับ FET ถ้าต้องการขนาดของสัญญาณที่มากกว่านี้ก็สามารถเพิ่มระดับแรงดันที่ป้อนให้กับ FET

4.2 ผลการทดลองในภาครับ

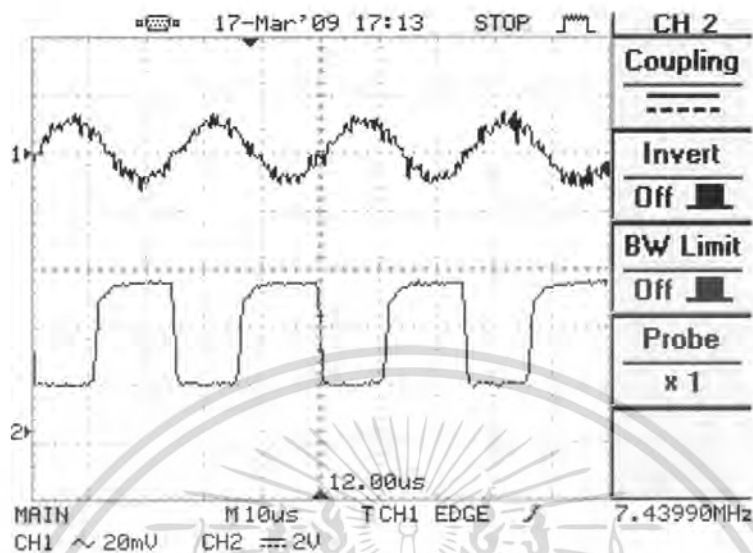
4.2.1 วงจรภาคพรีแอมพลิฟายเออร์

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรพรีแอมพลิฟายเออร์ ดังรูปที่ 3-5 และป้อนแรงดันไฟ +5V เข้าวงจร
2. ทำการทดลองการทำงานของวงจรพรีแอมพลิฟายเออร์ด้วยการป้อนสัญญาณความถี่ 40 kHz ขนาด 20 mV จาก Generator เข้าทางด้านอินพุตของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



Ch1: สัญญาณอินพุตที่ป้อนทางด้านอินพุตของวงจร

Ch2: สัญญาณเอาต์พุตของวงจรพรีแอมพลิฟายเออร์ที่วัดได้

รูปที่ 4-3 รูปแสดงเอาต์พุตของวงจรพรีแอมพลิฟายเออร์ที่วัดได้
เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์

จากรูปที่ 4-3 เป็นสัญญาณที่วัดเทียบกับระหว่างสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรพรีแอมพลิฟายเออร์ โดย CH1 เป็นสัญญาณอินพุต ส่วน CH2 เป็นสัญญาณเอาต์พุต โดยมีอัตราขยาย 150 เท่า

4.2.2 วงจรภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์

วิธีการทดลอง

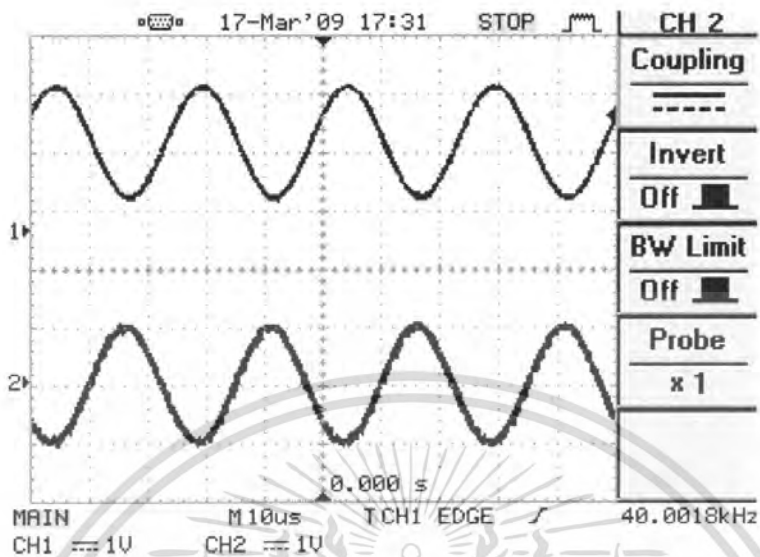
1. ต่อวงจรภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์ ดังรูปที่ 3-7 โดยป้อนสัญญาณคล็อกความถี่ 500 kHz ที่ขา 10
2. ทดสอบวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่ออกแบบด้วยการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ต่างๆ โดยที่ขนาดของสัญญาณเท่ากับ 2V
3. สังเกตสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ โดยวัดสัญญาณที่ขาเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่ขา 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

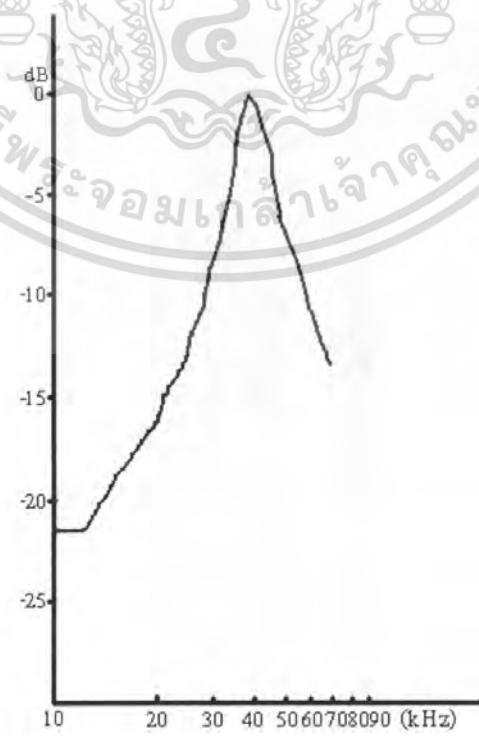
4. นำค่าที่ได้มาพล็อตในกราฟ LOG เพื่อหาคุณสมบัติของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



Ch1. สัญญาณอินพุตที่ป้อนทางด้านอินพุตของวงจร
 Ch2. สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่วัดได้
 รูปที่ 4-4 รูปแสดงเอาต์พุตของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่วัดได้
 เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 40 kHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4-5 กราฟแสดงคุณสมบัติของวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

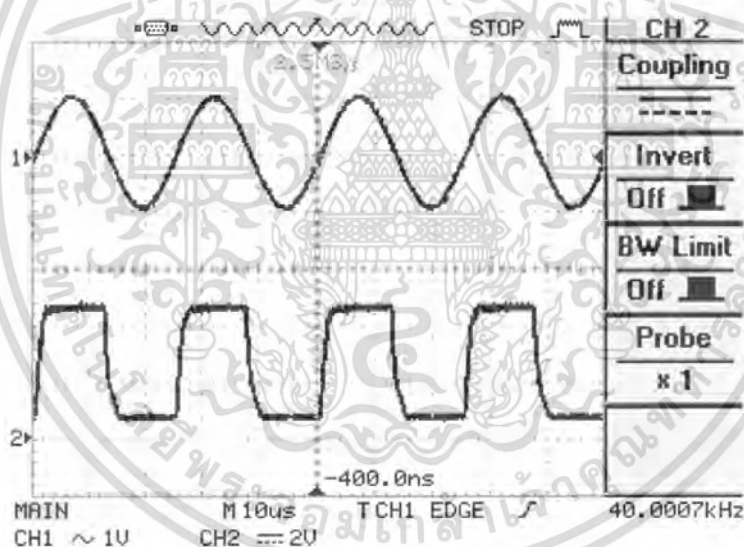
จากรูปที่ 4-4 เป็นสัญญาณที่วัดเทียบกับระหว่างสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ โดย CH1 เป็นสัญญาณอินพุต ส่วน CH2 เป็นสัญญาณเอาต์พุต โดยสัญญาณที่มีความถี่ 40 kHz เป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงที่สุด มีการลดทอนน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นความถี่กลางที่ออกแบบไว้

4.2.3 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน ดังรูปที่ 3-8 โดยป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ ความถี่ 40 kHz ขนาด 2V
2. วัดสัญญาณที่ขาเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบระดับ บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง



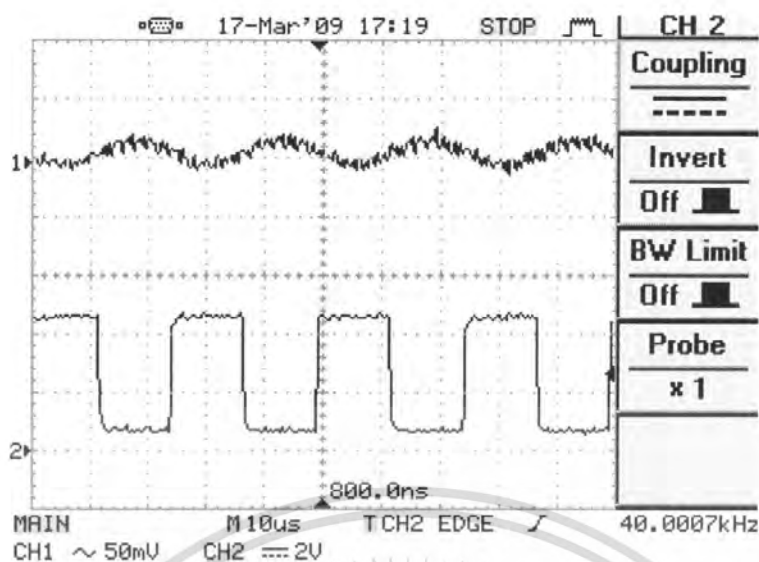
Ch1. สัญญาณอินพุตของวงจร

Ch2. สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันที่วัดได้

รูปที่ 4-6 รูปแสดงผลเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4-6 เป็นสัญญาณที่วัดเทียบกับระหว่างสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับสัญญาณ

เอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน โดย CH1 เป็นสัญญาณอินพุต ส่วน CH2 เป็นสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอาต์พุต โดยสัญญาณอินพุตจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณระดับ 0V ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ch1. สัญญาณอินพุตของวงจรรวมทางด้านภากรับ

Ch2. สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมทางด้านภากรับที่วัดได้

รูปที่ 4-7 รูปแสดงเอาต์พุตของวงจรรวมทางด้านภากรับ

4.3 ผลการทดลองเครื่องค้นหาวัดอุณหภูมิด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

วิธีการทดลอง

1. นำเครื่องค้นหาวัดอุณหภูมิด้วยคลื่นอัลตราโซนิก วัดระยะทางของวัตถุได้น้ำค่าต่างๆ
2. บันทึกผลการทดลองและนำค่าที่ได้มาทำการพล็อตกราฟ

ผลการทดลอง



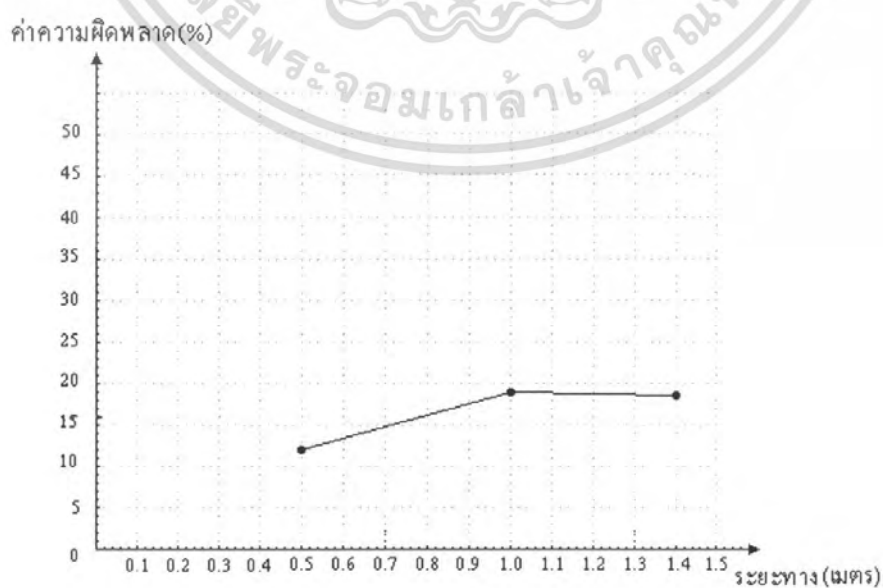
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 4-8 รูปแสดงระยะทางเมื่อจัดอยู่ห่าง 50 เซนติเมตร**
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 รูปแสดงระยะทางเมื่อวัดอยู่ห่าง 100 เซนติเมตร



รูปที่ 4-10 รูปแสดงระยะทางเมื่อวัดอยู่ห่าง 140 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4-11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความผิดพลาดกับระยะทาง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-12 รูปแสดงเครื่องคั้นหาวัตถุแขวนลอยได้นำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

การทำงานของเครื่องค้นหาวัดอุณหภูมิแวดล้อมใต้น้ำด้วยคลื่นอัลตราโซนิก จะใช้หลักการเดียวกันกับการวัดระยะทางบนบกด้วยคลื่นอัลตราโซนิก แต่ในโครงการนี้จะเป็นการวัดระยะวัดอุณหภูมิแวดล้อมใต้น้ำแทน ซึ่งความแตกต่างระหว่างการวัดระยะบนบกและใต้น้ำนั้นคือ กำลังงานที่ใช้ในการส่ง เนื่องจากค่าความหนาแน่นของตัวกลางที่เป็นน้ำมีค่ามากกว่าในอากาศเท่ากับ 998 และ 1.293 จึงต้องใช้กำลังงานในการส่งมากกว่า (จากตารางที่ 2-2) เพราะเนื่องจากลักษณะทางการภาพของคลื่นเสียงนั้นสามารถเดินทางได้ดีในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย

จากโครงการนี้ ผู้จัดทำโครงการได้ทำการออกแบบในส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ทั้งหมดได้แก่ ภาคส่งสัญญาณ ภาครับสัญญาณทั้งหมด ภาคแสดงผล และส่วนประมวลผล ซึ่งจากการปฏิบัติงานได้ทำการทดลองในการวัดที่ระยะทาง 50 เซนติเมตร, 100 เซนติเมตร, 140 เซนติเมตร ผลจากการทดลองที่ได้ยังมีความผิดพลาดอยู่ ซึ่งอาจจะเกิดจากอุปสรรคทางด้านฮาร์ดแวร์ ทางด้านซอฟต์แวร์หรือสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลอง

แนวทางการแก้ไข ผู้จัดทำควรทำการชดเชยค่าเวลาที่สัญญาณถูกส่งออกจากภาคส่ง และค่าเวลาที่สัญญาณที่รับเข้ามาจากภาครับ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการทำงานในระบบ ทำให้การประมวลผลมีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] สมยศ จุณณะปิยะ : การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 : กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] ธนัท ชัยบุตร, กณพ แก้วพิชัย : คณิตศาสตร์พื้นฐาน : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)
- [3] มงคล ทองสงคราม : อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น : กรุงเทพฯ : วี.จี.พรินติ้ง,2540
- [4] ศิริวัฒน์ หงส์ทอง : วงจรรวมเล่มหนึ่ง : นนทบุรี : พรินติ้งกรุ๊ป,2548
- [5] A.D Waite, “Sonar for Practising Engineer”, Third Edition, John Wiley & Sons LTD.
- [6] <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK2/chapter6/t2-6-13.htm#sect3>
- [7] http://www.navy.mi.th/submarines/6064_sub_sensor.htm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG      0000H
LJMP     INITVAL
```

```
ORG      0003H
LJMP     000CH
```

```
ORG      0006H
LJMP     GENPS
```

```
ORG      0009H
LJMP     DELAY
```

```
ORG      000CH
LJMP     COMPT
```

```
ORG      000FH
LJMP     TRANSL
```

```
ORG      0012H
LJMP     HTBCD
```

```
ORG      0015H
LJMP     MAINLP
```

```
ORG      0018H
LJMP     AVRG
```

```
ORG      001BH
LJMP     DISP
```

```
ORG      001EH
LJMP     DISP_ER
```

```
;*****;
;
INITVAL:      MOV      7FH,#65H
              MOV      7EH,#14H
              MOV      DPTR,#0000H
              LJMP     0006H
              RET
```

```
-----;
;          GENERATE PULSE 40kHz          ;
;-----;
```

```
GENPS:      MOV      R1,#02H
              CLR      P1.0
ML:         SETB     P1.0
              MOV      R0,#05H
              DJNZ     R0,$
              CLR      P1.0
```

```
              NOP
              MOV      R0,#04H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                DJNZ     R0,$
                DJNZ     R1,ML

                LJMP     0009H

                SJMP     $
;-----;
;                DELAY TIME                ;
;-----;
DELAY:          MOV     TCON,#01H
                MOV     IE,#81H
                MOV     R2,#023H
                MOV     R1,#005H
                MOV     R0,#0F0H

CHK:           JB      IE0,INITCOM

                DJNZ     R0,CHK
                MOV     R0,#0F0H
                DJNZ     R1,CHK
                MOV     R1,#05H
                DJNZ     R2,CHK
                MOV     30H,#01H
                LJMP     001EH
                SJMP     $

INITCOM:      LJMP     000CH
;-----;
;                COMPUTING FOR DELAY TIME    ;
;-----;

COMPT:        CJNE     R2,#000H,A0
                MOV     R2,#023H
A0:           CJNE     R2,#023H,COMPT2
                CJNE     R1,#000H,A1
                MOV     R1,#005H
A1:           CJNE     R1,#005H,J1
                CJNE     R0,#000H,A2
                MOV     R0,#0F0H
A2:           CJNE     R0,#0F0H,J0

                MOV     30H,#02H
                LJMP     001EH
                SJMP     $

J0:           LJMP     COMPT0
                SJMP     $
J1:           LJMP     COMPT1
                SJMP     $

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

EQ3_R1:      MOV      PSW,#00H
              MOV      A,#05H
              SUBB     A,R1
              MOV      20H,A
              MOV      A,20H
              MOV      A,#0C3H
              MOV      B,20H
              MUL      AB
              MOV      24H,A
              MOV      23H,B
              MOV      A,#03H
              MOV      B,20H
              MUL      AB
              MOV      27H,#00H
              MOV      26H,A
              MOV      25H,B

```

```

              MOV      A,27H
              ADD      A,24H
              MOV      22H,A
              MOV      A,26H
              ADDC     A,23H
              MOV      21H,A
              MOV      A,25H
              ADDC     A,#00H
              MOV      20H,A

```

```

              RET

```

```

EQ4_R0:      MOV      PSW,#00H
              MOV      A,#0F0H
              SUBB     A,R0
              MOV      23H,A
              MOV      B,#04H
              MUL      AB
              MOV      25H,A
              MOV      24H,B
              RET

```

```

COMPT2:     MOV      PSW,#00H
              MOV      A,#023H
              SUBB     A,R2
              MOV      10H,A
              MOV      A,#0D2H
              MOV      B,10H
              MUL      AB
              MOV      13H,A
              MOV      12H,B
              MOV      A,#012H
              MOV      B,10H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MUL      AB
MOV      16H,#00H
MOV      15H,A
MOV      14H,B
MOV      A,16H
ADD      A,13H
MOV      13H,A
MOV      A,15H
ADDC     A,12H
MOV      12H,A
MOV      A,14H
ADDC     A,#00H
MOV      11H,A
MOV      A,13H
ADD      A,#09H
MOV      13H,A
MOV      A,12H
ADDC     A,#00H
MOV      12H,A
A3:      CJNE   R1,#000H,A3
MOV      R1,#005H
A3:      CJNE   R1,#005H,COM2
CJNE     R0,#000H,A4
A4:      MOV     R0,#0F0H
CJNE     R0,#0F0H,J_2

LCALL    EQX_VT
LJMP     000FH
SJMP     $

J_2:     LJMP     COM_2

COM2:    LCALL    EQ3_R1

CJNE     R0,#000H,A5
MOV      R0,#0F0H
A5:      CJNE     R0,#0F0H,COM2_0
LJMP     COM2_1
SJMP     $

COM2_0:  LCALL    EQ4_R0

MOV      A,22H
ADD      A,25H
MOV      22H,A
MOV      A,21H
ADDC     A,24H
MOV      21H,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV    A,20H
ADDC   A,#00H
MOV    20H,A
```

```
MOV    A,13H
ADD    A,22H
MOV    13H,A
MOV    A,12H
ADDC   A,21H
MOV    12H,A
MOV    A,11H
ADDC   A,20H
MOV    11H,A
```

```
LCALL  EQX_VT
```

```
LJMP   000FH
```

```
SJMP   $
```

COM2_1:

```
MOV    A,13H
ADD    A,22H
MOV    13H,A
MOV    A,12H
ADDC   A,21H
MOV    12H,A
MOV    A,11H
ADDC   A,20H
MOV    11H,A
```

```
LCALL  EQX_VT
```

```
LJMP   000FH
```

```
SJMP   $
```

COM_2:

```
LCALL  EQ4_R0
```

```
MOV    A,13H
ADD    A,25H
MOV    13H,A
MOV    A,12H
ADDC   A,24H
MOV    12H,A
MOV    A,11H
ADDC   A,#00H
MOV    11H,A
```

```
LCALL  EQX_VT
```

```
LJMP   000FH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SJMP      $

COMPT1:        MOV      PSW,#00H
                MOV      A,#05H
                SUBB     A,R1
                MOV      10H,A
                MOV      A,#0C3H
                MOV      B,10H
                MUL      AB
                MOV      13H,A
                MOV      12H,B
                MOV      A,#03H
                MOV      B,10H
                MUL      AB
                MOV      16H,#00H
                MOV      15H,A
                MOV      14H,B
                MOV      A,16H
                ADD     A,13H
                MOV      13H,A
                MOV      A,15H
                ADDC    A,12H
                MOV      12H,A
                MOV      A,14H
                ADDC    A,#00H
                MOV      11H,A
                MOV      A,13H
                ADD     A,#09H
                MOV      13H,A
                MOV      A,12H
                ADDC    A,#00H
                MOV      12H,A

                CJNE     R0,#000H,A6
                MOV      R0,#0F0H
A6:            CJNE     R0,#0F0H,COM1

                LCALL    EQX_VT

                LJMP     000FH

                SJMP     $

COM1:         LCALL    EQ4_R0

                MOV      A,13H
                ADD     A,25H
                MOV      13H,A
                MOV      A,12H
                ADDC    A,24H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      12H,A
MOV      A,11H
ADDC     A,#00H
MOV      11H,A

LCALL    EQX_VT

LJMP     000FH

SJMP     $

COMPT0:  LCALL    EQ4_R0

```

```

MOV      A,25H
ADD      A,#09H
MOV      13H,A
MOV      A,24H
ADDC     A,#00H
MOV      12H,A
MOV      11H,#00H

LCALL    EQX_VT

LJMP     000FH

SJMP     $

```

EQX_VT:

```

LCALL    X_VT
LCALL    VT2

```

X_VT:

```

MOV      A,13H
MOV      B,#0CBH
MUL      AB
MOV      35H,A
MOV      34H,B
MOV      A,12H
MOV      B,#0CBH
MUL      AB
MOV      38H,#00H
MOV      37H,A
MOV      36H,B
MOV      A,11H
MOV      B,#0CBH
MUL      AB
MOV      3CH,#00H
MOV      3BH,#00H
MOV      3AH,A
MOV      39H,B
MOV      A,3CH
ADD      A,38H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      33H,A
MOV      A,3BH
ADDC    A,37H
MOV      32H,A
MOV      A,3AH
ADDC    A,36H
MOV      31H,A
MOV      A,39H
ADDC    A,#00H
MOV      30H,A
MOV      A,33H
ADD      A,35H
MOV      33H,A
MOV      A,32H
ADDC    A,34H
MOV      32H,A
MOV      A,31H
ADDC    A,#00H
MOV      31H,A

MOV      A,13H
MOV      B,#05H
MUL     AB
MOV      35H,A
MOV      34H,B
MOV      A,12H
MOV      B,#05H
MUL     AB
MOV      38H,#00H
MOV      37H,A
MOV      36H,B
MOV      A,11H
MOV      B,#05H
MUL     AB
MOV      3CH,#00H
MOV      3BH,#00H
MOV      3AH,A
MOV      39H,B
MOV      A,3CH
ADD      A,38H
MOV      3CH,A
MOV      A,3BH
ADDC    A,37H
MOV      3BH,A
MOV      A,3AH
ADDC    A,36H
MOV      3AH,A
MOV      A,39H
ADDC    A,#00H
MOV      39H,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV     A,3CH
ADD     A,35H
MOV     3CH,A
MOV     A,3BH
ADDC   A,34H
MOV     3BH,A
MOV     A,3AH
ADDC   A,#00H
MOV     3AH,A
```

```
MOV     A,33H
ADD     A,#00H
MOV     34H,A
MOV     A,32H
ADDC   A,3CH
MOV     33H,A
MOV     A,31H
ADDC   A,3BH
MOV     32H,A
MOV     A,30H
ADDC   A,3AH
MOV     31H,A
MOV     A,39H
ADDC   A,#00H
MOV     30H,A
RET
```

VT2:

```
MOV     A,31H
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     11H,A
MOV     21H,B
MOV     A,32H
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     12H,A
MOV     22H,B
MOV     A,33H
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     13H,A
MOV     23H,B
MOV     A,34H
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     14H,A
MOV     24H,B
MOV     A,11H
MOV     B,#02H
DIV     AB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOV	11H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,21H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	21H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,12H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	12H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,22H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	22H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,13H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	13H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,23H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	23H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,14H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	14H,A
MOV	A,B
SWAP	A
ORL	A,24H
MOV	B,#02H
DIV	AB
MOV	24H,A

MOV	A,11H
SWAP	A
ORL	A,21H
MOV	31H,A
MOV	A,12H
SWAP	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORL    A,22H
MOV    32H,A
MOV    A,13H
SWAP   A
ORL    A,23H
MOV    33H,A
MOV    A,14H
SWAP   A
ORL    A,24H
MOV    34H,A
RET

```

```

TRANSL:      LCALL   LDIV_A4
              LJMP   0015H
              SJMP   $

```

```

LDIV_A4:     MOV     10H,#00H
              MOV     11H,#00H
              MOV     12H,#00H
              MOV     13H,#00H
              MOV     14H,#00H
              MOV     15H,#00H
              MOV     16H,#00H
              MOV     17H,#27H
              MOV     18H,#10H

```

```

LPDIV:       MOV     A,13H
              ADD     A,18H
              MOV     13H,A
              MOV     A,12H
              ADDC   A,17H
              MOV     12H,A
              MOV     A,11H
              ADDC   A,#00H
              MOV     11H,A
              MOV     A,10H
              ADDC   A,#00H
              MOV     10H,A

```

```

MOV     A,16H
ADD     A,#01H
MOV     16H,A
MOV     A,15H
ADDC   A,#00H
MOV     15H,A
MOV     A,14H
ADDC   A,#00H
MOV     14H,A
MOV     A,10H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE    A,31H,LPDIV
MOV     A,32H
SUBB    A,11H
JC      CONDT
MOV     A,11H
CJNE    A,32H,LPDIV
MOV     A,33H
SUBB    A,12H
JNC     LPDIV
SJMP    CONDT

```

```

COND:   MOV     A,16H
        DEC     A
        MOV     33H,A
        MOV     32H,15H
        MOV     31H,14H
        MOV     30H,#00H

```

```

HTBCD:  RET
        LCALL   CLR_ALL
        LCALL   HEXTOBCD
        LJMP    001BH
        SJMP    $

```

```

CLR_ALL: CLR    A
        MOV     R0,#20H
        MOV     R3,A
        MOV     R4,A
        MOV     R5,A
        MOV     R6,A
        MOV     R7,A
        RET

```

```

HEXTOBCD: MOV    A,33H
          RLC    A
          MOV    33H,A
          MOV    A,32H
          RLC    A
          MOV    32H,A
          MOV    A,31H
          RLC    A
          MOV    31H,A
          MOV    A,30H
          RLC    A
          MOV    30H,A
          MOV    A,R7
          ADDC   A,R7
          DA     A
          MOV    R7,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,R6
ADDC    A,R6
DA      A
MOV      R6,A
MOV      A,R5
ADDC    A,R5
DA      A
MOV      R5,A
MOV      A,R4
ADDC    A,R4
DA      A
MOV      R4,A
MOV      A,R3
ADDC    A,R3
DA      A
MOV      R3,A

DJNZ    R0,HEXTOBCD

MOV      A,R3
MOV      R0,A
MOV      A,R4
MOV      R1,A
MOV      A,R5
MOV      R2,A
MOV      A,R6
MOV      R3,A
MOV      A,R7
MOV      R4,A
MOV      R5,#00H
RET

```

```

MAINLP: DJNZ    7FH,START
        MOV     30H,#64H
        LJMP   0018H
        SJMP   $

```

```

START:  INC     DPL
        MOV     A,32H
        MOVX   @DPTR,A
        INC     DPL
        MOV     A,33H
        MOVX   @DPTR,A

        MOV     81H,#07H

        LJMP   0006H

```

AVRG: SJMP \$
LCALL INIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL    LDEC_AVR
                MOV      30H,#64H
                LCALL    DIVIDE
                LJMP     0012H
                SJMP     $

INIT:          MOV      DPTR,#00C8H
                MOVX    A,@DPTR
                DEC     DPL
                MOV     33H,A
                MOVX    A,@DPTR
                DEC     DPL
                MOV     32H,A
                MOV     31H,#00H
                RET

LDEC_AVR:     MOVX    A,@DPTR
                DEC     DPL
                ADD     A,33H
                MOV     33H,A
                MOVX    A,@DPTR
                DEC     DPL
                ADDC   A,32H
                MOV     32H,A
                MOV     A,31H
                ADDC   A,#00H
                MOV     31H,A
                DJNZ   30H,LDEC_AVR
                RET

DIVIDE:       MOV     10H,#00H
                MOV     11H,#00H
                MOV     12H,#00H
                MOV     13H,#00H
                MOV     14H,#00H
                MOV     15H,#00H

RETURN:       MOV     A,12H
                ADD     A,30H
                MOV     12H,A
                MOV     A,11H
                ADDC   A,#00H
                MOV     11H,A
                MOV     A,10H
                ADDC   A,#00H
                MOV     10H,A

```

```

                MOV     A,15H
                ADD     A,#01H
                MOV     15H,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,14H
ADDC    A,#00H
MOV     14H,A
MOV     A,13H
ADDC    A,#00H
MOV     13H,A

MOV     A,10H
CJNE   A,31H,RETURN
MOV     A,32H
SUBB   A,11H
JC     CONDT1
MOV     A,11H
CJNE   A,32H,RETURN
MOV     A,33H
SUBB   A,12H
JNC    RETURN
SJMP   CONDT1

```

CONDT1:

```

MOV     A,15H
DEC     A
MOV     33H,A
MOV     32H,14H
MOV     31H,13H
MOV     30H,#00H
RET

```

```

;*****
;*****
;*****DISPLAY*****
;*****
;*****

```

DISP:

```

LCALL  SEPR
LCALL  LOOPP
SJMP   $

```

SEPR:

```

MOV     P2,#00H

```

```

MOV     A,R0
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     30H,A
MOV     31H,B
MOV     A,R1
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     32H,A
MOV     33H,B
MOV     A,R2
MOV     B,#10H
DIV     AB

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV     34H,A
MOV     35H,B
MOV     A,R3
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     36H,A
MOV     37H,B
MOV     A,R4
MOV     B,#10H
DIV     AB
MOV     38H,A
MOV     39H,B
RET

```

LOOPP:

```

MOV     A,#0FFH
CLR     P2.2
CLR     P2.1
CLR     P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV     A,#0FFH
CLR     P2.2
CLR     P2.1
SETB    P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV     A,#0FFH
CLR     P2.2
SETB    P2.1
CLR     P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV     A,35H
ACALL   CPRE
CLR     P2.2
SETB    P2.1
SETB    P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV     A,36H
ACALL   CPRE
SETB    P2.2
CLR     P2.1
CLR     P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,37H
ACALL   CPRE
SETB    P2.2
CLR     P2.1
SETB    P2.0
CLR     ACC.7
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV      A,38H
ACALL   CPRE
SETB    P2.2
SETB    P2.1
CLR     P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV      A,39H
ACALL   CPRE
SETB    P2.2
SETB    P2.1
SETB    P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

SJMP    LOOPP
SJMP    $

```

DISP_ER:

```

MOV     R7,7FH
CJNE   R7,#65H,REGEN
MOV     R2,#050H
SJMP   ERROR
SJMP   $

```

REGEN:

```

LJMP   0006H
SJMP   $

```

ERROR:

```

MOV     A,#086H
CLR     P2.2
CLR     P2.1
CLR     P2.0
MOV     P0,A
ACALL   DELY0

```

```

MOV     A,#0AFH
CLR     P2.2
CLR     P2.1
SETB    P2.0
MOV     P0,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    DELY0

MOV      A,#0AFH
CLR      P2.2
SETB     P2.1
CLR      P2.0
MOV      P0,A
ACALL    DELY0

```

```

MOV      A,#0A3H
CLR      P2.2
SETB     P2.1
SETB     P2.0
MOV      P0,A
ACALL    DELY0

```

```

MOV      A,#0AFH
SETB     P2.2
CLR      P2.1
CLR      P2.0
MOV      P0,A
ACALL    DELY0

```

```

MOV      A,30H
ACALL    CPRE
SETB     P2.2
CLR      P2.1
SETB     P2.0
MOV      P0,A
ACALL    DELY0

```

```

SJMP     ERROR
SJMP     $

```

```

CPRE:    CJNE    A,#01H,_2_
          MOV     A,#0F9H
          RET
_2_:     CJNE    A,#02H,_3_
          MOV     A,#0A4H
          RET
_3_:     CJNE    A,#03H,_4_
          MOV     A,#0B0H
          RET
_4_:     CJNE    A,#04H,_5_
          MOV     A,#099H
          RET
_5_:     CJNE    A,#05H,_6_
          MOV     A,#092H
          RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

_6_ :      CJNE      A,#06H,_7_
           MOV       A,#082H
           RET
_7_ :      CJNE      A,#07H,_8_
           MOV       A,#0F8H
           RET
_8_ :      CJNE      A,#08H,_9_
           MOV       A,#080H
           RET
_9_ :      CJNE      A,#09H,_0_
           MOV       A,#090H
           RET
_0_ :      MOV       A,#0C0H
           RET

```

```

DELY0:    MOV       R0,#08H
DELY1:    MOV       R1,#00H
           DJNZ      R1,$
           DJNZ      R0,DELY1
           RET
           END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้