สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์วัดระดับของเหลวในถัง

Ultrasonic Sensor For The Fluid Level Measurement

โดย

นาย รักธรรม อุตตโรทัย รหัส 39014425

นาย สุชัย วชิรวราการ รหัส 39014582

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....36874.....
วัน, เดือน, ปี.....29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์วัดระดับของเหลวในถัง

Ultrasonic Sensor For The Fluid Level Measurement

ผู้จัดทำ

1. นาย รักธรรม อุตตโรทัย
2. นาย สุชัย วชิรวราการ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์วัดระดับของของเหลวในถัง

นาย รักธรรม อุตตโรทัย
นาย สุชัย วชิรวราการ
อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการเรียบเรียงข้อมูลในการออกแบบวงจรและสร้างเครื่องวัดระดับของเหลวด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นตัววัด ซึ่งวิธีการวัดจะใช้หลักการจับเวลาของการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิก และนำค่าเวลาที่วัดได้นี้มาคำนวณ เพื่อให้ได้ระยะทางของของเหลวที่ต้องการจะวัด ตลอดจนสามารถที่จะนำค่าระยะทางที่ได้จากการวัดนี้ไปใช้ในการควบคุมระดับของเหลวที่อยู่ภายในแทงค์ โดยใช้สัญญาณกระแสที่ได้มาจากวงจรมาควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว ซึ่งในการใช้งานจริงนั้น สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีการอธิบายต้นแบบการใช้งานของเครื่องมือวัดชนิดนี้

Abstract

The detail of this thesis is about the circuit design and constructs the liquid level measurement device implementing ultrasonic wave. The method of measurement is "Transit Time Method". This method is used for measuring the distance of objects or level by calculating the time value. The distance value of the design can be used as a means of controlling liquid levels of a tank (via feedback). According to the design the device will control the status of the valves by current signals. This method may also be applied efficiently in other applications, assembled to demonstrate the performance of the algorithm, is also described.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่น	2
2.2 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก	11
2.3 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง	18
2.4 สัญลักษณ์ของทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง	18
2.5 ข้อควรรู้ในการใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง	19
2.6 ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอัลตราโซนิก	22
3. การคำนวณและการออกแบบ	23
3.1 หลักการของเครื่องวัดระยะทาง	23
3.2 หลักการทำงานของบล็อคไดอะแกรม	24
3.3 หลักการทำงานของวงจร	26
3.4 หลักการทำงานของโปรแกรม	30
3.5 ระบบจำลองที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ	35
3.6 โฟล์วชาร์ต	37
4. การทดลองและผลการทดลอง	38
4.1 การทดลองในส่วนของวงจร	38
4.2 การทดลองในส่วนของการวัดระยะทาง	41
5. บทวิจารณ์และบทสรุป	44
6. ภาคผนวก	46
ก. แสดงรูปวงจรต่าง ๆ	47
ข. แสดงซอร์ตโค้ดของภาษาแอสแซมบลี	49
ค. แสดงซอร์ตโค้ดของภาษาเดลไฟล์	60
ง. แสดงคาต้าชีต ต่าง ๆ	76
7. กิตติกรรมประกาศ	80
8. เอกสารอ้างอิง	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เครื่องวัดระดับด้วยอัลตราโซนิกเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในห้องแล็ปและในอุตสาหกรรม ตามแต่ผู้ใช้คิดจะดัดแปลงนำไปใช้งาน เครื่องวัดระดับด้วยอัลตราโซนิกนี้จะประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท ซึ่งเป็นความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งหูของมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน (หูของมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่ความถี่ประมาณ 20 เฮิร์ท ถึง 20 กิโลเฮิร์ท) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่เกิดสัญญาณรบกวนน้อย จึงเหมาะสมในการใช้งาน และยังมีวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter : HPF) เพื่อกรองเอาเฉพาะความถี่ในช่วงของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านได้เท่านั้น และกรองเอาความถี่ที่ต่ำ ๆ ทิ้งไป โดยวงจรกรองความถี่สูงผ่านจะมีอยู่หลายชุด แต่ละชุดจะมีช่วงความถี่คัตออฟต่างกัน ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ต้องการใช้งาน

นอกจากนี้ยังมีวงจรในส่วนของการControl เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องวัดระดับด้วยอัลตราโซนิกนี้ ส่วนการใช้งานอาจจะนำไปใช้งานได้ดังนี้

- ตรวจระดับของเหลว คือ เอาส่วนของการตรวจจับไว้ในแทงค์น้ำ โดยติดตั้งไว้บนยอดสุดของแทงค์น้ำ เมื่อระดับน้ำในแทงค์สูงขึ้นหรือลดลงก็จะสามารถรู้ได้จากส่วนแสดงผลที่ติดไว้นอกแทงค์น้ำ
- ติดไว้ในที่จอดรถ เมื่อเราจะถอยรถเข้าบ้านหรือที่จอดรถเกิดปัญหาไม่รู้ระยะในการถอย ก็ให้ติดตัวตรวจจับไว้ที่ด้านหลังของที่จอดรถส่วนของการแสดงผลให้ติดไว้ที่ด้านหน้า เมื่อถอยรถเข้าที่จอดรถแล้ว จะได้รู้ว่าระยะจากท้ายรถอยู่ห่างจากผนังเท่าใด
- จะมีประโยชน์มากสำหรับการวัดที่ไม่ต้องการให้ตัว sensor ไปสัมผัสกับของเหลวที่จะวัด ซึ่งบางครั้งของเหลวอาจเป็นสารที่อันตราย เช่น สารประเภทกรด ด่างที่อันตรายต่อผู้ใช้งาน

จากประโยชน์ของการใช้งานที่ได้กล่าวไปข้างต้นนี้ ทำให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์อย่างสูงในการใช้งาน อัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

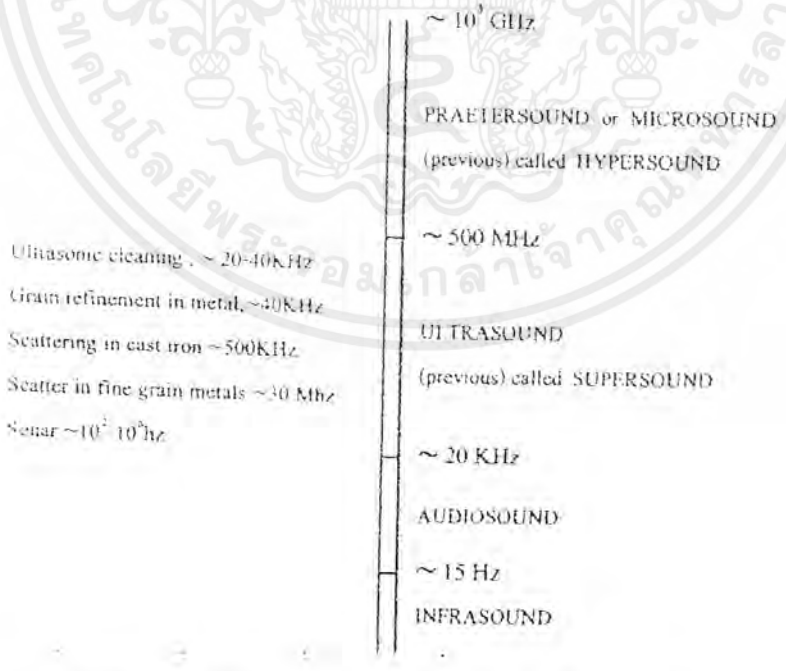
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่น

หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง คือ ฟิลส์ของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่งถ้าไปกระทบกับวัตถุ พลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่ตัวส่งด้วย แต่การใช้อุปกรณ์ตัวรับที่เหมาะสม (Suitable) จะสามารถรับการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Signal) เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศสามารถที่จะคำนวณระยะทางออกมาได้ เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นจะสามารถทำให้เข้าใจในการทำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

2.1.1 คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ประมาณ 20 เฮิร์ท จนถึง 20 กิโลเฮิร์ท ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิก จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ท จนถึง 10^4 จิกะเฮิร์ท โดยคลื่นที่มีความถี่มากกว่า10^4จิกะเฮิร์ท และมีแอมปลิจูด (Amplitude) สูงๆจะเรียกว่า "ไฮเปอร์ซาวด์"



รูป 2.1 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอัลตราโซนิก ที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ

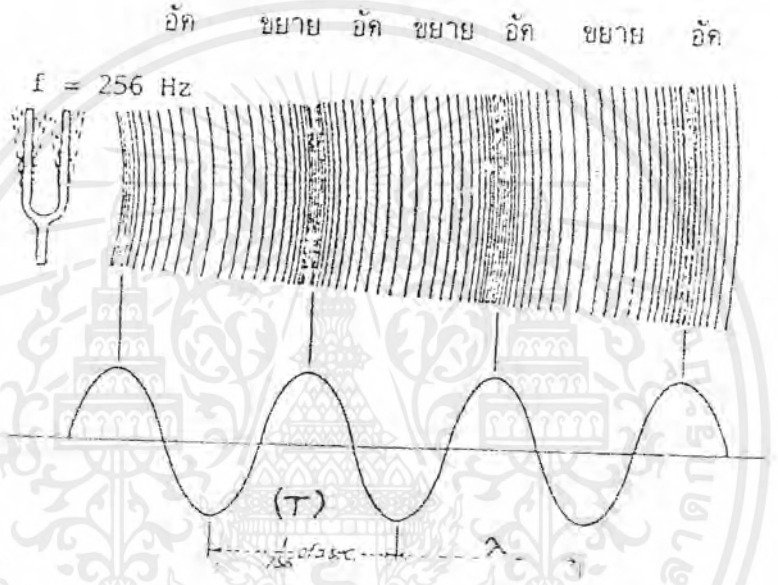
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ชนิดของคลื่น

คลื่นที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

2.1.2.1 คลื่นตามยาว (Longtudinal Wave)

คลื่นตามยาว คือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนไปในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



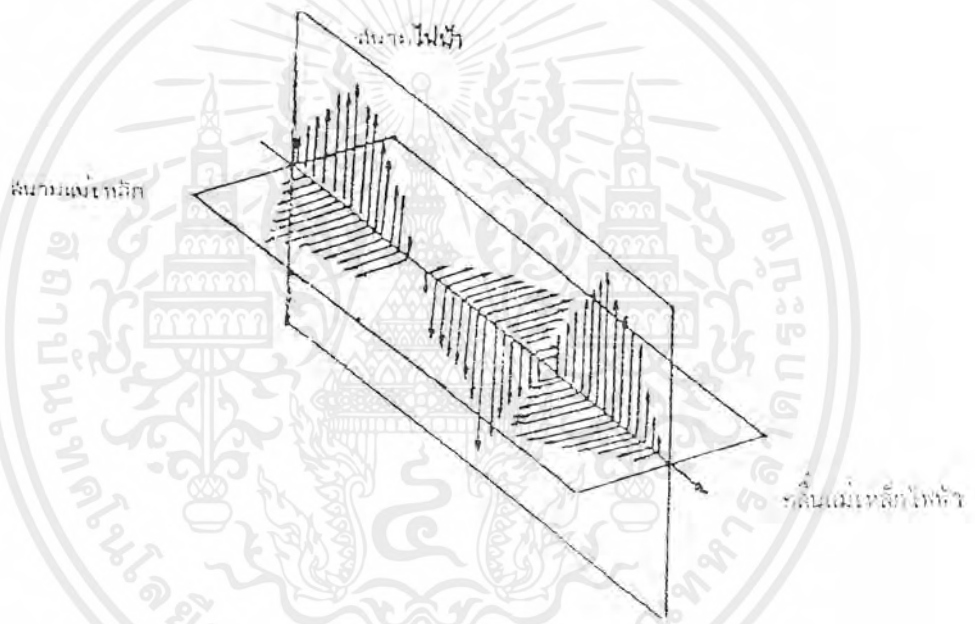
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

จากรูปจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) ซึ่งก็คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันสูง และคลื่นขยาย (Reaction) คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำ และเมื่อนำค่าของความดันที่เปลี่ยนตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปซายน์ (Sine Wave) โดยยอดคลื่นจะตรงกันส่วนอัดท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัดหรือส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และทีคาบเวลาเป็น T ซึ่งเท่ากับ 1/f โดยจุดที่เป็นเส้นแกนนั้นมีค่าความดัน 1 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)

คลื่นตามขวาง คือ คลื่นที่ทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซได้



รูป 2.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทางเดียวเช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาค อันเนื่องจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Wave or Rayleigh)

คลื่นผิวหน้า คือ คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียวแต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางของการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะผิวของตัวกลางเท่านั้น

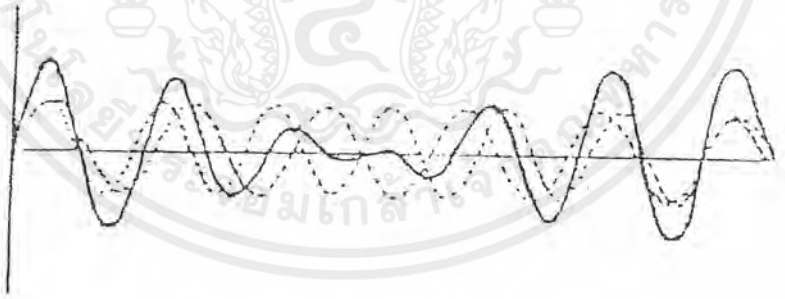
2.1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่น

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียง จะแสดงได้ 4 แบบ คือ

2.1.3.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป เมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะ คือ

ก). การบีสต์ (Beats) ของคลื่นเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้ค่าแอมปลิจูดเปลี่ยน ดังแสดงในรูป 2.4

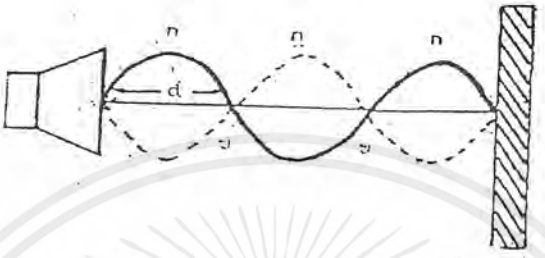


รูปที่ 2.4 แสดงการบีสต์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูป เป็นการแสดงการบีสต์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งได้คลื่นที่มีแอมปลิจูดเปลี่ยนไป ซึ่งประโยชน์ของการบีสต์ของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมปลิจูดที่แตกต่างกันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข). การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นชุดที่มีแอมปลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกันซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป 2.5



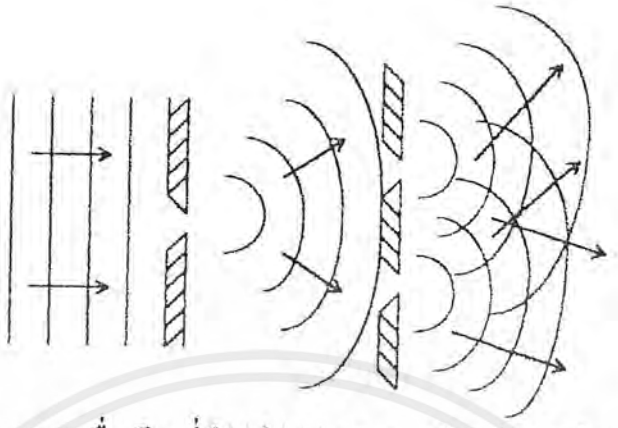
รูป 2.5 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง

เสียงจะมีความเข้มสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ $d = \lambda/2$ หรือ $L = n(\lambda/2)$; $n = 1, 2, 3$

2.1.3.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)

การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลาเช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่อยู่คนละถนนของมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็ก ๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.6

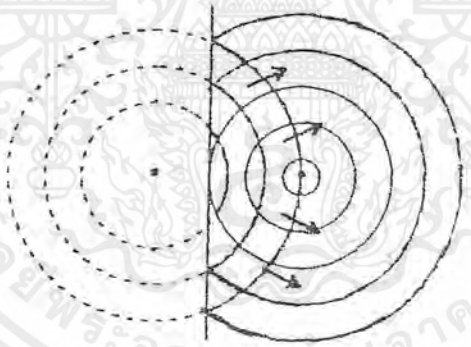
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.6 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

2.1.3.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นเสียง(Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลาง โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนี้เป็นครั้งที่สอง

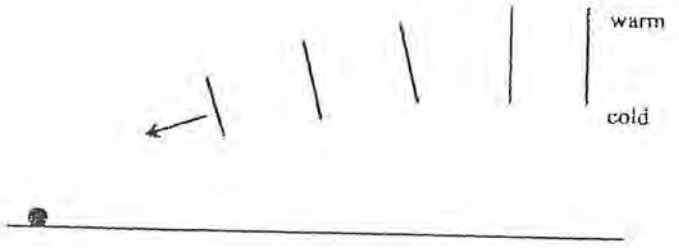


รูป 2.7 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะมีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

2.1.3.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.8 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่ความหนาแน่นต่างกัน

2.1.4 ลักษณะของคลื่น

2.1.4.1 ความถี่ (Frequency)

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิสเลตที่สมบูรณ์ จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 เฮิร์ท มันก็จะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

2.1.4.2 ความยาวคลื่น (Wavelength)

ความยาวคลื่น (Wavelength) คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบรอบ (1 Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefaction) การอัด คือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ ความย่านคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$v = f.\lambda \qquad (2.1)$$

โดยเมื่อ : v = ความเร็วของการเดินทาง (เมตร/วินาที)

f = ความถี่ (เฮิร์ท)

λ = ความยาวคลื่น (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วของคลื่นประมาณ 334 เมตร/วินาที ดังนั้น ช่วงความถี่ของคลื่นเสียงระหว่าง 20 ถึง 20 กิโลเฮิร์ท ความยาวคลื่นจะอยู่ระหว่างประมาณ 17 เมตร ถึง 1.7 เมตร ข้อจำกัดของความยาวคลื่นสั้นในอากาศ (อัลตราโซนิก) ถูกตรวจสอบโดยทางเดินที่เป็นอิสระระหว่างโมเลกุลอากาศประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร

2.1.4.3 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโก่งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับทฤษฎีที่แสดงสำหรับความเร็วของคลื่น (c) ในแกสอุดมคติ (Ideal Gas) จะเป็นดังนี้

$$V = \sqrt{\frac{\Gamma P}{\rho}} \qquad (2.2)$$

โดยที่ : V = ความเร็วของคลื่นเสียง (เมตร/วินาที)

Γ = ค่าโมดูลัส (modulus) ของก๊าซ (สำหรับอากาศคือ 1.4)

P = ความดันของก๊าซ (Pascal) :

ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเล = 1.01325×10^{6} Pascal

ρ = ความแน่นของก๊าซ (kgm^{-3})

ความหนาแน่นของอากาศ = 1.29

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่ ดังนั้น ค่า Γ = 1.4 จะได้

$$V = \sqrt{\frac{1.4P}{\rho}} \qquad (2.3)$$

ดังนั้นถ้าโมเลกุลของอากาศมีมวลเป็น M และปริมาตรเป็น V จะได้ความหนาแน่น

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

จาก $$V = \sqrt{\frac{\Gamma P}{\rho}} \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $$V = \sqrt{\frac{\Gamma P V}{M}} \quad (2.5)$$

แต่จาก $$PV = RT \quad (2.6)$$

โดยที่ : R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซ

ดังนั้น $$V = \sqrt{\frac{\Gamma RT}{M}} \quad (2.7)$$

จากสมการ 2.7 ความเร็วของคลื่นในแก๊สอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊ส กับอุณหภูมิ และเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ในความเป็นจริงค่าความเร็วของคลื่น จะขึ้นอยู่กับค่าความดัน และความหนาแน่นของก๊าซด้วย กล่าวคือ ค่าความดันและความหนาแน่นของก๊าซจะลดลง เมื่อความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติ มีความสัมพันธ์ดังสมการคือ

$$\frac{V1}{V2} = \sqrt{\frac{T1}{T2}} \quad (2.8)$$

โดยที่ : V_1 = ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_1 (เมตร/วินาที)

V_2 = ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_2 (เมตร/วินาที)

T_1 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่หนึ่ง (K)

T_2 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สอง (K)

หรือ

$$V = V_0\sqrt{\left(1+\frac{t}{273}\right)} \quad (2.9)$$

โดยที่ : V = ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิใด ๆ (เมตร/วินาที)

V_0 = ความเร็วเสียงที่ 0° c (เมตร/วินาที)

t = อุณหภูมิ ($^\circ$c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกนี้สามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งทรานสดิวเซอร์คือ อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หรือพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หลักการที่ใช้สร้างคลื่นอัลตราโซนิกมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากได้แก่

1. แบบเปียโซอิเลคตริค (Piezo-eletric transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

2. แบบแมกนีโตสตริคทีฟ (Magnetostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

3. แบบอิเลคโตรสตริคทีฟ (Electrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับกล

ในการให้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกทั้ง 3 แบบนี้ แบบแรกจะเป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแบบนี้เท่านั้น

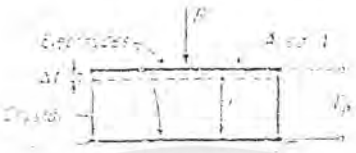
2.2.1 ปรากฏการณ์เปียโซอิเลคตริค

Piezo-electricity เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ เมื่อมีแรงมากระทำบนคริสตอล (crystal) การแทนที่ (displacement) ของคริสตอลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในทางกลับกัน ถ้ามีแรงดันไฟฟ้ามาป้อนให้กับคริสตอลแล้วนั้นคริสตอลก็จะเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม

วัสดุประเภทคริสตอลนี้จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ ในการวัดระดับสูง ๆ เช่น การวัดแรงดันชั่วขณะที่ความถี่สูง โดยทั่วไปแล้วจะใช้ควอทซ์ที่มนุษย์ผลิตขึ้น เพราะควอทซ์ตามธรรมชาตินั้นมีความบริสุทธิ์น้อยกว่านั่นเอง

เมื่อป้อนแรงกลให้ solid crystalline dielectric ดังรูปที่ 2.9 ทำให้เกิดความเค้น(stress) ในคริสตอลและทำให้ crytal lattice ผิดรูปไป ผลคือประจุเปลี่ยน การผิดรูปร่างของแลททิซทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (displacement) ของประจุบวกและลบภายในแลททิซเปลี่ยน การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอลเรียกว่า ผลของเปียโซอิเลคตริค (Piezoelectric effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.9 แสดงผลของเปียโซอิเลคตริก

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเลคโตรด (Electrode) ที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (Magnitude) และการมีขั้ว (Polarity) ของผิวประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ

$$Q = d \cdot F \qquad \text{คูลอมบ์}$$

d = ค่าคงที่ของเปียโซอิเลคตริค ซึ่งหาได้จากตารางที่ 1

F = แรงที่ทำให้คริสตอลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt

ประจุเหนี่ยวนำเขียนอยู่ในเทอมของระยะ t คือ

$$Q = d \cdot sY \cdot (\Delta t/t)$$

s = พื้นที่ของคริสตอล (เมตร^2)

t = ความหนาของคริสตอล (เมตร)

Y = ค่ายังส์โมดูลัส (Youg's modulus) (นิวตัน/เมตร^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Orientation	Charge Sensitivity d, $\frac{coulomb/m^2}{newton/m^2}$	Voltage Sensitivity g, $\frac{volt/m^2}{newton/m^2}$
Quartz	X cut; length along Y length longtutudinal	2.25*10-12	0.055
	X cut; thickness longtitudinal	-2.04	-0.050
	Y cut; Thickness shear	4.4	0.108
Rochelle salt	X cut 45 degrees; length longtitudinal	435	0.098
	Y cut 45 degrees; Length longtitudinal	-78.4	-0.29
Ammonium dihydrogen phosphate	Z cut 0 degrees; Face shear	48	0.354
	Z cut 45 degrees	24	0.177
Commercial barium titanate cermics	// to polarization	130 to 160	0.0106
	$\perp$ to polarization	-56	0.0042 to 0.0053

ตารางที่ 1 : ค่าคงที่ของเปียโซอิเลคตริค

ประจุที่อิเลคโตรดจะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นโดยสมการ

$$E_c = Q/C$$

C = ค่าคาปาซิแตนท์ระหว่างอิเลคโตรด (F)

และ

ε = ค่าเพอมิททิวิตี้ (permittivity)

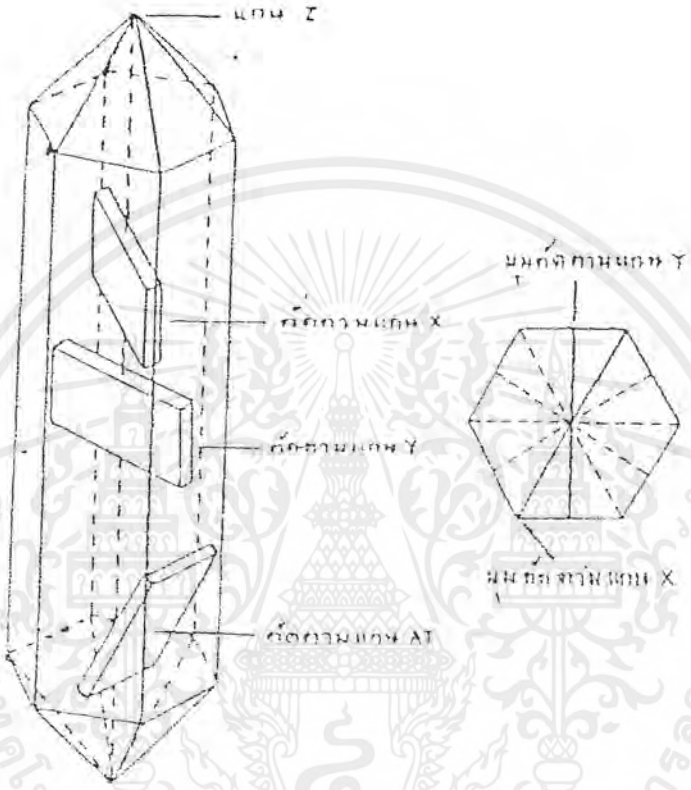
ดังนั้นเอาท์พุทโวลท์เตจจะเป็น

$$E_0 = d.t.F/\varepsilon a = g.t.F/a = g.t.P$$

g = ค่าคงที่ของคริสตอลดูจากตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วนเปียโซอิเลคตริค (Piezoelectric elements) จะมีการตัดแบบต่าง ๆ เพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.10



รูป 2.10 แสดงผลึกควอทซ์และการตัด

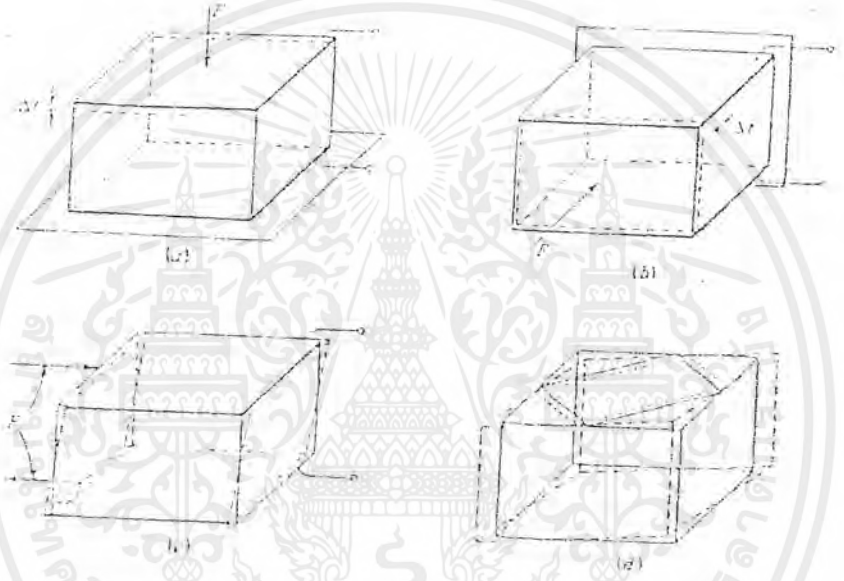
วัสดุเปียโซอิเลคตริคที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz , Tourmaline , Rochelle Salt , Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP) , Lithium Sulphate , Berium Titanate และ Lead Zicronate Titanate (LZT) โดยทั่วไปแล้วผลึกควอทซ์และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเลคตริคธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่วัสดุพวกเปียโซอิเลคตริคที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียมไททาเนต เซรามิค จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้ความดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของ DC มาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกวางในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามทิศทางของสนามไฟฟ้า และประพฤติตัวตามสมบัติของเปียโซอิเลคตริค สำหรับชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตอล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.2.2 ลักษณะการปฏิบัติตัวของเปียโซอิเลคตริค (Mode of Operation)

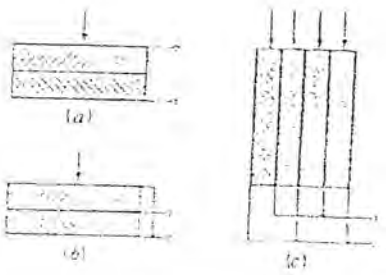
ก. ซิมเปิลเพลท (Simple Plate) เป็นเปียโซอิเลคตริคชิ้นเดียว โดยมีแรงมากระทำต่อเพลทในทิศทางต่าง ๆ ทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป ดังในรูปที่ 2.11



รูป 2.11 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วนเปียโซอิเลคตริค

ข. Multiple arrangement (Stacks) สามารถนำเอาชิ้นส่วนเปียโซอิเลคตริคมาต่อกันในลักษณะ compress-expansion mode ดังในรูปที่ 2.12 โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้เอาท์พุทโวลท์เตจออกมาสูง ที่แรงกดดันอันเดียวกัน หรือถ้าเอามาต่อขนานกัน ก็จะได้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

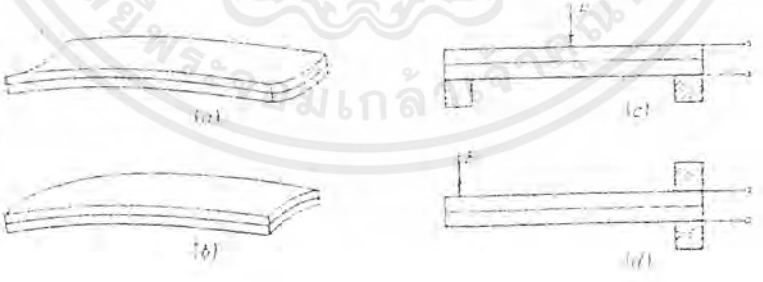


รูป 2.12 แสดงการต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน

การต่อสามารถแบ่งตามลักษณะต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

- Banders Bimorph ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ประกอบด้วย transverse expomding plate 2 อัน ติดกันไว้อย่างแน่นหนา เมื่อป้อนแรงดันให้แก่มันก็จะเกิดการโค้งงอ ซึ่งถ้าใช้เป็นคริสตอล การโค้งงอจะเป็นดังรูปที่ 2.13a และถ้าใช้เปียโซอิเลคตริค จะเป็นดังรูปที่ 2.13b

การโค้งงอของชิ้นส่วน เป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างอิเลคโตรดได้เช่นในรูปที่ 2.13c ติดตั้งชิ้นส่วนไว้บนขาตั้งที่อยู่กับที่ มีแรง F มากระทำที่ตรงกลาง ในรูปที่ 2.13d ติดตั้งในลักษณะดังรูป

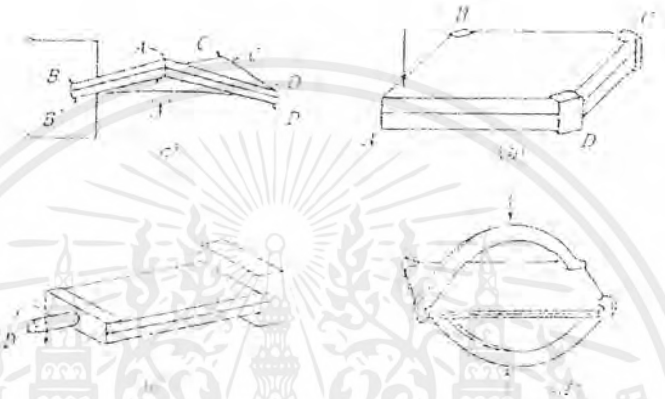


รูป 2.13 การต่อแบบ Banders Bimorph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- Twisters Bimorph ในรูปที่ 2.14 แสดง face-sheared plate 2 อันวางประกบกันอย่างแน่นหนา เมื่อจ่ายแรงดันให้เพลททั้งสอง มันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระ การแผ่ขยายตัวจะมีมาก การขยายตัวก็จะเป็นไปในแนวเส้นทะแยงมุม AC โดยที่ A'C' ขยายตัว ในทำนองเดียวกันกับเส้นทะแยงมุม BD โดย B'D' จะขยายตัว



รูป 2.14 แสดงการต่อแบบ Twisters bimorph

สำหรับในปัจจุบัน วัสดุเปียโซอิเลคตริคที่นำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ ได้แก่ เซรามิคคริสตอล ชนิดแบเรียมไททาเนตเซรามิค โดยใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่อยู่ในย่าน 20-50 กิโลเฮิร์ท รูปร่างทางเรขาคณิตของมันจะเป็นตัวควบคุมความถี่ของอัลตราโซนิกที่ถูกสร้างขึ้น สำหรับเปียโซอิเลคตริกทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ จะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยม ซึ่งฉาบด้วยโลหะเงินที่ผิวทั้งสองหน้า เพื่อให้สามาถต่อสายไฟเป็นขั้วได้ ชิ้นสารนี้ประกอบจากสารเซรามิคสองชิ้นวางประกบกัน โดยวางให้ไดโพลไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงกันข้าม

ชิ้นสารเซรามิคจะถูกยึดติดภายในตัวถังเป็นอย่างดี เพื่อไม่ให้การสั่นในขณะที่ทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวถังมักเป็นรูปทรงกระบอกที่เส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1-2.5 เซนติเมตร ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดและมีตะแกรงปิดอยู่ เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิกเข้าหรือออกจากช่องเปิดได้สะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรจะต่อตัวถังลงกราวน์ด เพื่อทำหน้าที่เป็นชีลด์ (shield)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36874

2.2.3 ชนิดของเปียโซอิเลคตริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเลคตริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

- แบบ generation-action transducer ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะสามารถหาได้จาก แรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัตถุเปียโซอิเลคตริก

- แบบ motor-action transducer ใช้เป็นตัวส่ง โดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกนั้นขึ้นกับขนาดแอมปลิจูดและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

2.3 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง

เมื่อเซรามิคได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมตัวมัน จะทำให้สารเซรามิคโก่งงอ ซึ่งจะทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบ เกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้นมา ดังนั้นถ้าเราป้อนสัญญาณไฟฟ้าเป็นช่วง ๆ (electrically pulse) จากออสซิลเลเตอร์ โดยทั่วไปกำลังของเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่กำลังเอาท์พุทจะมีค่าสูงสุดที่ค่าโดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ นั้นกำลังของเอาท์พุทก็จะมีค่าลดลง

ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับมีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่ง กล่าวคือ เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชิ้นสารเซรามิคมากระทบ จะทำให้ชิ้นสาร โก่งงอไปมา ทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันได้

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคตริคก็คือ มีความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจมีค่าสูงถึง 100 M เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานค่าความต้านทานจะมีค่าลดลง

2.4 สัญลักษณ์ของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เนื่องจากทรานสดิวเซอร์ตัวส่งถูกออกแบบให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ตัวมันออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก หน้าที่ของมันจึงเป็นคล้าย ๆ เป็นลำโพง ส่วนตัวรับถูกออกแบบเจาะจงให้แปลงคลื่นเสียงในย่านความถี่ของอัลตราโซนิกที่มาตกกระทบตัวมันให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้าย ๆ กับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันดังแบบที่ 1 ในรูปที่ 2.15 แต่ก็มีหนังสือบางเล่มเขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับและตัวส่งเป็นไมโครโฟนหรือลำโพงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลยดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนอักษรย่อว่า Tx (transmitter) , (receiver) กำกับอยู่ด้วยหรืออาจจะใช้คำพูดกำกับให้ชัดเจนไปเลย ที่เขาใช้สัญลักษณ์เหมือนกันก็เพราะว่า หน้าตาของตัวส่งและตัวรับที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กันนั้นเหมือนกันแต่มีเบอร์กำกับมาที่ด้านข้างให้รู้ว่าตัวใดเป็นตัวส่งและตัวใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวรับ และคุณสมบัติของทั้งสองตัวนั้นคล้ายคลึงกันมากจนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลายการใช้งาน

รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่าง ๆ

2.5 ข้อควรรู้ในการใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับนั้นพอที่จะสรุปเป็นแนวทางการใช้งานได้ดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เกิดการเสียหายได้

2. ทรานสดิวเซอร์ทั่วไปที่มีขายกันอยู่นั้นจะสามารถทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 V ดังนั้น ขนาดของสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

3. ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิร์ทที่มีขายอยู่ทั่วไปจะผิดพลาดไม่เกิน 1 กิโลเฮิร์ท และมีความถี่ประมาณ 4.5 กิโลเฮิร์ท สำหรับตัวส่งและตัวรับจะมีแถบความถี่ประมาณ 5 กิโลเฮิร์ท สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะมีความกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจได้ว่าทรานสดิวเซอร์ตัวนั้นจะสามารถรับความถี่ที่ทั้งหมดที่ส่งออกมาจากทรานสดิวเซอร์ตัวส่งได้

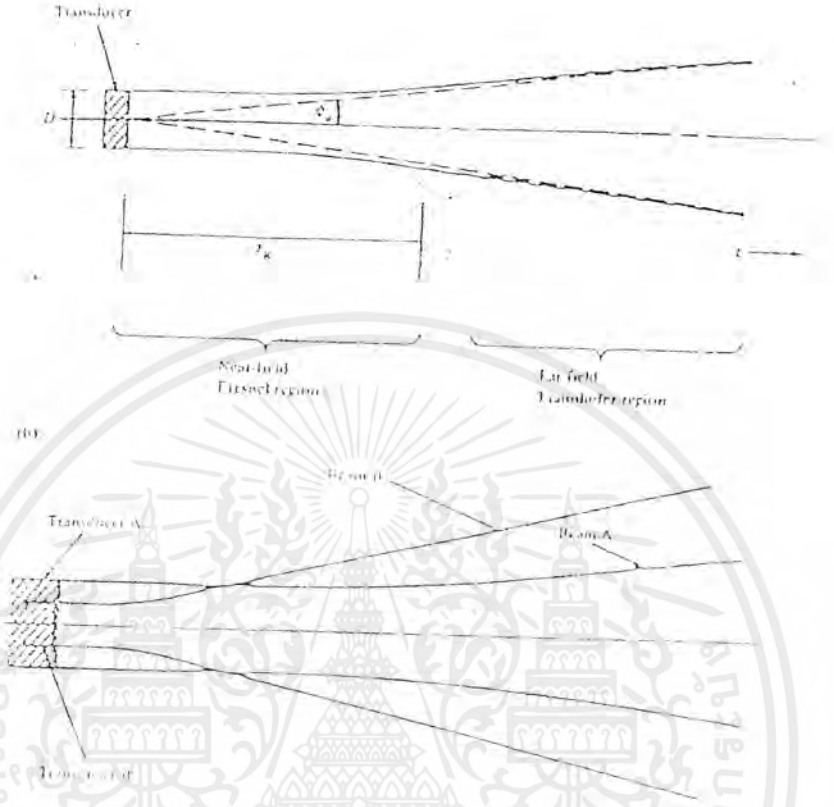
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำงานของตัวทรานสดิวเซอร์จะอยู่ในช่วง –20 องศาเซลเซียสถึง 60 องศาเซลเซียส

5. ทั้งทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ จะมีทิศทางที่คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบี่ยงเบนจากแนวแกนของตัวส่งประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดออกจากแนวแกนประมาณ 10 เดซิเบล ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวแกนที่เบี่ยงออกไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดของแรงดันที่ได้รับก็จะลดลงไปประมาณ 10 เดซิเบลเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้งจึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องอาจเบี่ยงจากกันได้มากหน่อยเพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพงพื้นและวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทิศทาง

คลื่นอัลตราโซนิกที่ปล่อยออกมาจากตัวทรานสดิวเซอร์ ในช่วงใกล้ๆ กับตัวทรานสดิวเซอร์ (near field) จะมีลักษณะบีมเหมือนกับทรงกระบอก แต่ในระยะที่ไกลออกไป (far field) ลักษณะบีมจะกระจายกว้างออกไปด้วยมุมค่าหนึ่ง ซึ่งค่าของมุมที่กว้างออกและความยาวของ near field จะขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวทรานสดิวเซอร์ โดยความยาวของ near field จะแปรผันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ส่วนค่าของมุมที่กว้างออกจะแปรผกผันกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.16 แสดงลักษณะของบีมของคลื่นอัลตราโซนิก

6. ในการใช้งานจริง ทรานสดิวเซอร์ตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดตามปรกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง 10 K จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนจาก 100 K เป็น 10 K ความไวจะลดลงประมาณ 10-12 เดซิเบล แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ตัวต้านทานที่ต่ำลงไปอีกความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงหน่อยเพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและแถบมีความถี่แคบ

7. ตามปกติแล้ว เราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้แทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ขอแต่เพียงให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องมีการเปลี่ยนค่าตัวต้านทานสมมูลย์ทางด้านไฟสลับ เพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ประโยชน์การใช้งานของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลงถ้าความยาวคลื่นมากกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 เฮิร์ทในอากาศ จะมีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่เปิดให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจายออกรอบทิศทาง แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาจนอยู่ในย่านของอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 กิโลเฮิร์ท ซึ่งจะมีความยาวคลื่นเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มาก คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ คลื่นนั้นจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า เป็นคลื่นที่มีทิศทางนั่นเอง

การมีทิศทางของคลื่นอัลตราโซนิกนั้น ทำให้เราสามารถใช้งานได้หลายอย่าง เช่น

-การนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control)

-เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยทำให้น้ำมีการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูง

-เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา

-เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล

-ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนภายในร่างกาย

-ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น

โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ท เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้นทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้าน การแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกกะเฮิร์ทถึง 10 เมกกะเฮิร์ท ขณะที่ความถี่เป็นจิกะเฮิร์ท ก็มีใช้กันหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินผ่านไม่ใช่อากาศ

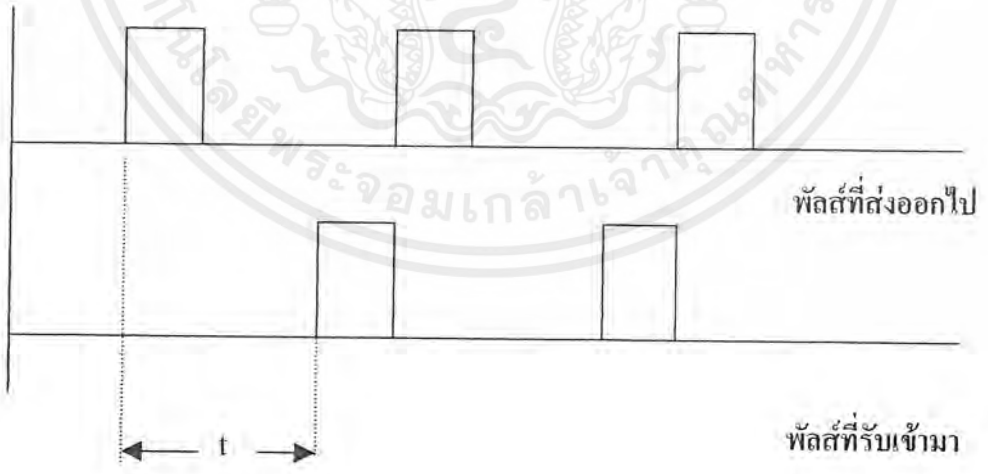
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการออกแบบ

ในระบบตรวจระยะทางมีการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติที่สามารถแสดงผลเป็นระบบดิจิตอล การวัดแบบนี้ใช้หลักการส่งคลื่นเสียงอัลตราโซนิกให้กระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนกลับมา ระยะทางที่ทำการตรวจสอบจึงไม่ไกลนัก แต่เป็นระยะที่แน่ใจได้ว่ามีความเที่ยงตรงสูงเมื่อนำค่ามาถอดรหัส แล้วทำการแสดงผลแล้วเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งปัจจุบันได้นำวิธีการวัดแบบนี้มาใช้

3.1 หลักการของเครื่องวัดระยะทาง

เครื่องวัดระยะทางใช้เครื่องตรวจระยะใกล้ไกลด้วยอัลตราโซนิกมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ คือ ส่วนตรวจสอบระยะหลักการของการส่งพัลส์ของคลื่นอัลตราโซนิกออกไปเป็นจังหวะด้วยตัวส่งสัญญาณอัลตราโซนิก ทรานดิวเซอร์ แล้วรับพัลส์ที่สะท้อนกลับมาเมื่อคลื่นไปกระทบกับวัตถุหรือผนังต่าง ๆ ที่เป็นเป้าหมายด้วยตัวรับสัญญาณอัลตราโซนิก จากนั้นจึงใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาระยะทางที่ต้องการวัด



รูป 3.1 แสดงการส่งพัลส์และรับพัลส์ที่ส่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่า พัลส์ที่สะท้อนกลับมาจะมี t ซึ่งเป็นระยะเวลาทั้งหมดที่พัลส์เดินทางออกไป แล้วสะท้อนกลับมา ดังนั้น t จะมีค่าเป็น 2 เท่าของระยะเวลาที่เสียงเคลื่อนที่ถึงเป้าหมายซึ่งเราสามารถหาระยะทางระหว่างเครื่องวัดกับเป้าหมายได้

$$s = vt/2 \text{ เมตร}$$

s : ระยะทาง (เมตร)

v : ความเร็วคลื่นเสียงในอากาศ (ประมาณ 340 เมตรต่อวินาที)

t : เวลาทั้งหมดที่คลื่นใช้เดินทางในการไป-กลับระหว่างเครื่องวัดและเป้าหมาย

3.2 หลักการทำงานของบล็อกไดอะแกรม

ในส่วนของบล็อกไดอะแกรมนี้จะอธิบายถึงการทำงานของระบบอย่างคร่าวๆ โดยเริ่มจากบล็อคแรกเป็นส่วนของคอนโทรล ซึ่งในส่วนของคอนโทรล นี้จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 89C51 มาเป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรต่าง ๆ โดยการเขียนโปรแกรมแอสเซมบลี

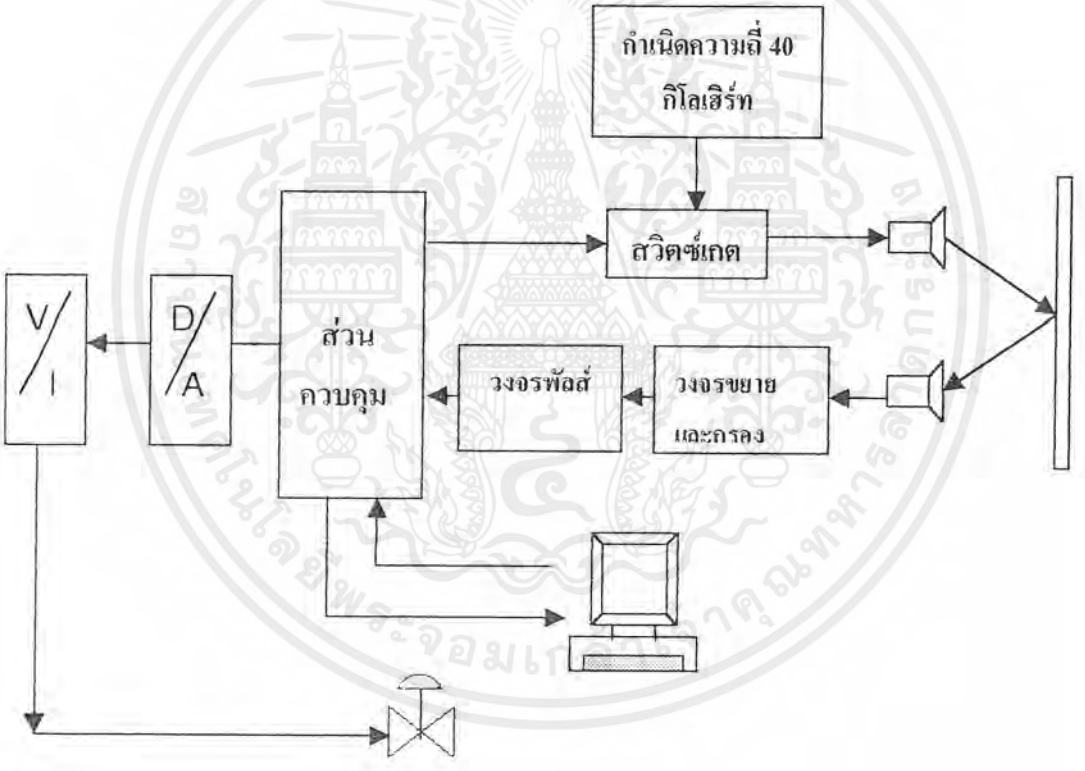
เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์เริ่มทำงาน ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณมาควบคุมการเปิด-ปิดของสวิสต์เกต คือเมื่อมีสัญญาณจากไมโครโปรเซสเซอร์เข้าไปในบล็อคสวิตซ์เกต จะทำให้สวิตซ์เกตเปิด ในขณะเดียวกันไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะทำการเพิ่มค่า ไทม์เมอร์ ขึ้นไปเรื่อย ๆ เพื่อใช้ในการจับเวลาว่าใช้เวลาในการรับ-ส่งเท่าไหร่ เมื่อเกตถูกทริกให้เปิดแล้วสัญญาณความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท ก็จะถูกส่งผ่านไปยังอัลตราโซนิกตัวส่ง ซึ่งจะทำให้อัลตราโซนิกตัวส่งปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกไปในอากาศ เมื่อคลื่นที่ส่งออกไปกระทบกับวัตถุ คลื่นก็จะสะท้อนกลับมายังอัลตราโซนิกตัวรับ ทำให้เกิดสัญญาณขึ้น

จากนั้นสัญญาณที่ได้ก็จะไปผ่านวงจรขยายเพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะสัญญาณที่ได้ในตอนแรกจะมีขนาดที่เล็ก เมื่อได้สัญญาณที่ขยายแล้วก็นำสัญญาณนี้ไปผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน เพราะอัลตราโซนิกจะมีความถี่สูง จึงต้องกรองสัญญาณความถี่ที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป

เมื่อสัญญาณที่ขยายและกรองความถี่สูงผ่านแล้ว ก็จะนำสัญญาณนี้มาผ่านวงจรที่ทำให้เป็นสัญญาณพัลส์เฉพาะด้านบวกเท่านั้น เพื่อนำสัญญาณพัลส์ที่ได้นี้ไปเป็นสัญญาณทริกไมโครโปรเซสเซอร์ให้ ไทม์เมอร์ หยุดนับ เมื่อ ไทม์เมอร์ หยุดนับและนำค่า ไทม์เมอร์ ที่ได้นี้ผ่านไปยังพอร์ตอนุกรม เพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของคอมพิวเตอร์ก็จะมีการเขียนโปรแกรมด้วย เดลไฟล์ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าไทม์เมอร์ ที่ได้รับมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ ออกมาเป็นระยะทาง ใน เดลไฟล์ นี้เราสามารถที่จะเซตค่าเพื่อใช้ในการควบคุมให้ระบบวัดระดับน้ำว่าต้องการให้ระดับน้ำสูงเท่าใด โดยเมื่อได้ค่ามาเป็นระยะทางแล้วก็จะนำค่ามาประมวลผลในโปรแกรม เดลไฟล์ แล้วจะได้ค่ามา ค่าที่ได้มานี้เป็นค่าที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว โดยค่านี้จะถูกส่งไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ จากนั้นไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะนำค่านี้ไปผ่านวงจร A/D เพื่อแปลงสัญญาณจากสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นก็จะนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้นี้ผ่านไปยังวงจร V/I เพื่อแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลือกที่ได้นี้ไปเป็นกระแส เพื่อใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว



รูป 3.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการทำงานของวงจร

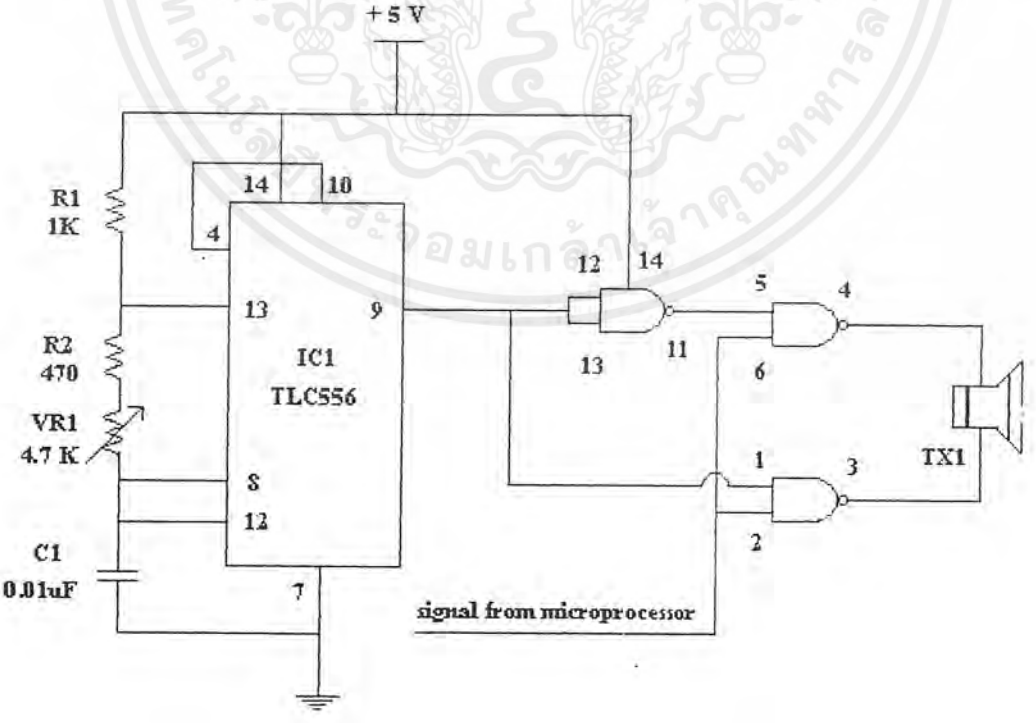
3.3.1 การทำงานภาคส่งของอัลตราโซนิก

ในส่วนของวงจรภาคส่งของอัลตราโซนิก จะต้องมีส่วนกำเนิดความถี่ ซึ่งจะใช้ ไอซี เบอร์ TLC556 มาเป็นตัวกำเนิดความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท โดยภายในวงจรจะประกอบไปด้วย R1,R2,VR1 และ C1 ดังรูป สัญญาณความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท จะถูกส่งออกมาที่ขา 9 ของ ไอซี เบอร์ TLC556 โดยจะมี VR1 เป็นตัวปรับความถี่ให้ตรงกับความถี่อัลตราโซนิกที่ใช้

เมื่อได้สัญญาณ 40 กิโลเฮิร์ท แล้ว สัญญาณก็จะถูกส่งต่อไปยังสวิตซ์เกต ซึ่งสวิตซ์เกตที่ใช้จะใช้ แนนเกตมาต่อดังรูป แนนเกตที่ใช้เป็น ไอซี เบอร์ 4011 ซึ่งเกตนี้จะเปิดให้สัญญาณความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท ผ่านไปยังอัลตราโซนิกตัวส่งได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณ "1" จากไมโครโปรเซสเซอร์มาที่ขา 2 และขา 6 ของ ไอซี เบอร์ 4011

เมื่อเกตเปิดแล้วตัวอัลตราโซนิกก็จะได้รับสัญญาณความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ของอัลตราโซนิก ทำให้อัลตราโซนิกส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไปในอากาศ

ข้อควรระวัง : ในการปรับความถี่โดยใช้ R ปรับค่า ให้กับอัลตราโซนิก จะมีผลกับระยะทางที่วัดได้ ถ้าปรับค่า R แล้วได้ความถี่ที่ไม่ตรงกับความถี่อัลตราโซนิกจะทำให้ระยะทางที่วัดได้ไม่ไกล



รูป 3.3 แสดงวงจรภาคส่งของอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทำงานภาครับของอัลตราโซนิก

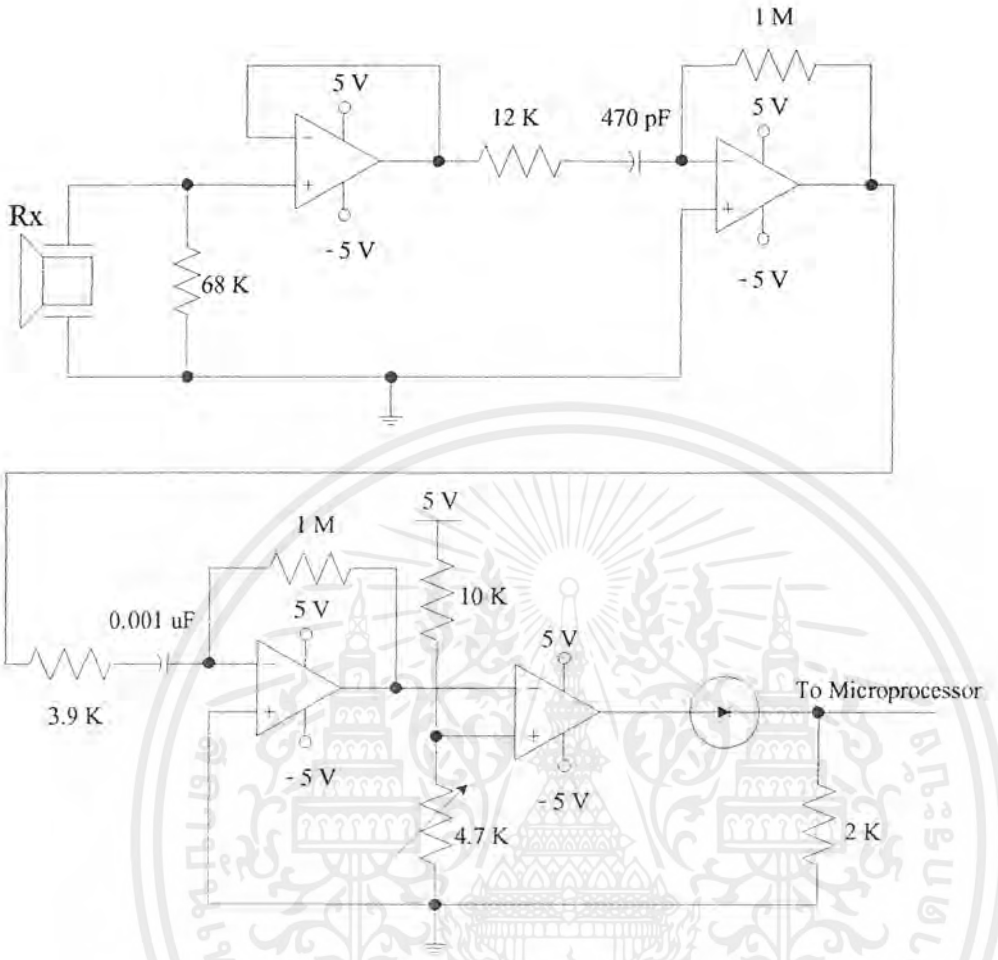
วงจรภาครับนี้เริ่มต้นทำงานเมื่อมีสัญญาณอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุ จะถูกอัลตราโซนิกตัวรับตรวจจับได้ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมาก สัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยังออปแอมป์ ซึ่งในที่นี้จะใช้ ไอซี เบอร์ TL074 โดยสัญญาณจะผ่านไปยังวงจรขยายตามไม่มีอัตราการขยายหรือที่เราเรียกว่า บัฟเฟอร์ ซึ่งจะทำให้แรงดันตกคร่อมมีความเที่ยงตรง จากนั้นสัญญาณก็จะผ่านไปยังวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ซึ่งภายในจะมี ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่ออยู่ ซึ่งให้อัตราการขยายประมาณ 100 เท่า และความถี่ที่สูงกว่า 34 กิโลเฮิร์ท จะผ่านได้

เมื่อสัญญาณผ่านมาถึงออปแอมป์ตัวที่ 3 ก็จะทำการกรองและขยายสัญญาณที่เข้ามาอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเราจะได้สัญญาณออกมาอยู่ในรูปซายด์ จากนั้นสัญญาณนี้ก็จะไปผ่านไปยังออปแอมป์ตัวสุดท้าย ซึ่งออปแอมป์ตัวนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์ออกมา โดยจะทำการปรับค่า R เพื่อปรับค่า Voltage Reference เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่เข้ามา ซึ่งการปรับค่า R นี้จะมีผลกับการทำงานของวงจร คือ ถ้าปรับค่า R จนทำให้ได้ค่า Vref มีค่ามากเกินไป จะทำให้ Output เป็น "1" ซึ่งเมื่อนำสัญญาณนี้ไปทริกไมโครโปรเซสเซอร์จะทำให้ได้ค่าระยะทางเท่ากับ "ศูนย์" ตลอด แต่ถ้าปรับให้ Vref มีค่าน้อยจนเกินไป จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน มารบกวน Output ซึ่งจะทำให้อ่านค่าได้ผิดพลาด

เมื่อได้สัญญาณพัลส์ออกมาแล้ว สัญญาณพัลส์ที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงต้องต่อตัวไดโอดอีกตัวก่อน เพื่อทำหน้าที่ให้สัญญาณเฉพาะด้านบวกเท่านั้นผ่านไปได้ จึงจะนำสัญญาณที่ได้นี้ไปใช้สำหรับการ ทริกไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้รู้ว่าได้มีสัญญาณอัลตราโซนิกสะท้อนกลับมาแล้ว

ส่วน ไอซี เบอร์ ICL7660 จะเป็นตัวกำเนิดแรงดันลบ 5 โวลต์ สำหรับออปแอมป์ ซึ่งภายในวงจรจะมี ไดโอดและตัวเก็บประจุต่ออยู่ โดยตัวเก็บประจุขนาด 22 ไมโครฟารัด จะเป็นตัวกรองแระแสให้ ICL7660 และตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด เป็นตัวกรองกระแสจากแรงดันลบ 5 โวลต์ให้เรียบ เพื่อจ่ายให้กับออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 แสดงวงจรภาครับของอัลตราโซนิก

3.3.3 การทำงานของวงจรส่วนคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของคอนโทรลเลอร์จะใช้ ไอซี เบอร์ 89C51 มาเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยเมื่อเราสามารถวัดค่าระยะทางได้แล้ว ค่านี้จะถูกส่งไปยัง 7-เซกเมนต์ เพื่อใช้ในการแสดงผล โดยจะมีไอซี เบอร์ 74LS47 มาเป็นตัวถอดรหัส ให้แสดงออกเป็น 7-เซกเมนต์ ในที่นี้เราได้ใช้ 7-เซกเมนต์ ที่เป็น คอมมอน แอโนด ในขณะเดียวกันค่า ไทม์เมอร์ ที่วัดได้จะถูกส่งไปให้กับคอมพิวเตอร์ด้วย โดยตัวไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้ พอร์ท อนุกรม ในการติดต่อ ส่วนที่สำคัญในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ก็คือ ชิป RS232 เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ทำการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้แล้ว ก็จะมีการรับ-ส่งค่าเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจร เมื่อเราต้องการที่จะทำการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว จึงจำเป็นที่จะต้องมีส่วนของการแปลงสัญญาณจากดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก เรียกว่าวงจร D/A ซึ่งจะใช้ชิป MAXIM 7228 มาทำงานในส่วนนี้ ส่วนวิธีการต่อวงจรของส่วนควบคุมนี้ ได้แสดงรูปวงจรไว้ในส่วนของภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทำงานในส่วนของวงจร V to I

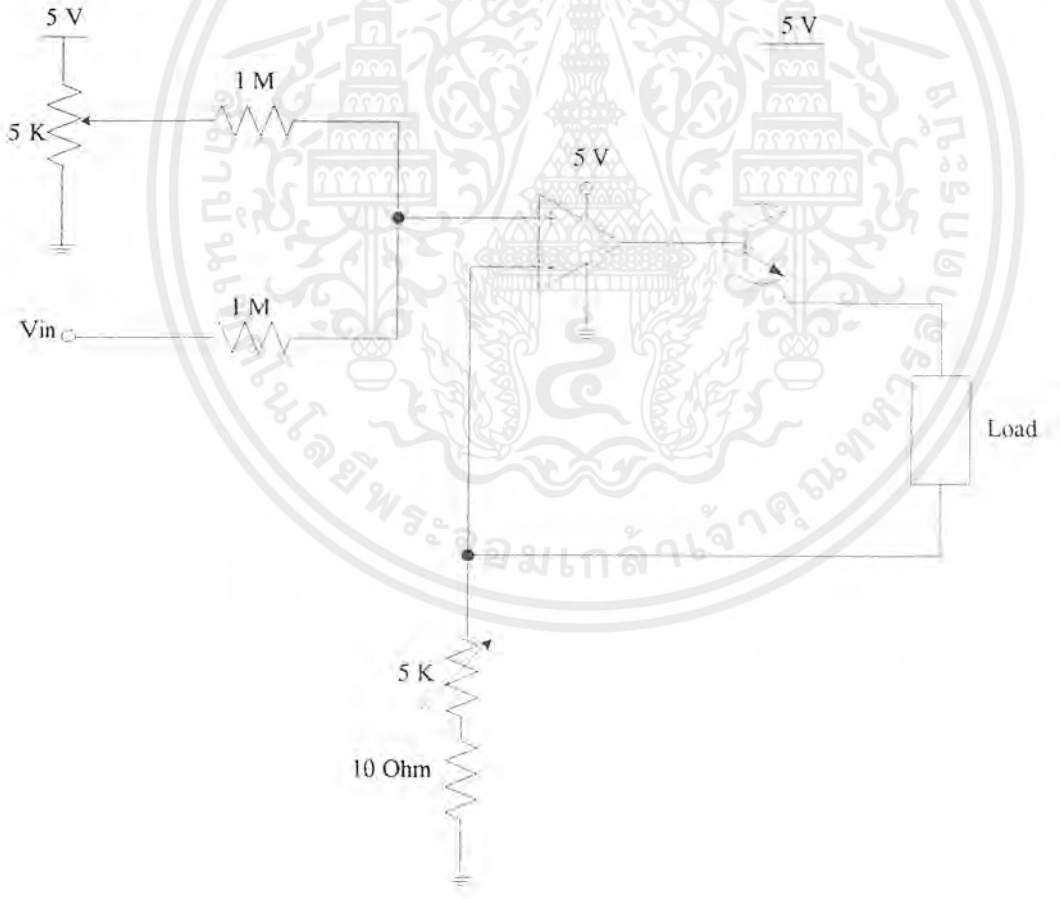
วงจรนี้เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนจากโวลต์เตจไปเป็นกระแส โดย

- เมื่อมีสัญญาณอินพุทเข้ามาเท่ากับ 0 โวลต์ เมื่อผ่านวงจร V/I แล้วจะได้กระแสออกมาเท่ากับ 4 มิลลิแอมป์
- เมื่อมีสัญญาณอินพุทเข้ามาเท่ากับ 5 โวลต์ เมื่อผ่านวงจร V/I แล้วจะได้กระแสเท่ากับ 20 มิลลิแอมป์

กระแสที่เกิดขึ้นนี้ใช้ในการควบคุมวาล์ว โดยเมื่อ กระแสเท่ากับ 4 มิลลิแอมป์ วาล์วก็จะปิด แต่เมื่อกระแสเท่ากับ 20 มิลลิแอมป์ วาล์วก็จะเปิด

เบอร์ออปแอมป์ที่ใช้ได้ใช้ของ MAXIM 4169 ซึ่งมีคุณสมบัติในการขับกระแสได้มาก โดยไม่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาช่วยในการขับกระแส

แต่ถ้าเป็นออปแอมป์ที่ไม่ใช่เบอร์นี้ ต้องมีทรานซิสเตอร์มาช่วยในการขับกระแส ดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงวงจร V to I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการทำงานของโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมจะมีอยู่ทั้งหมด 2 ส่วน คือ โปรแกรมส่วน แอสเซมบลี และโปรแกรมส่วน เดลไฟล์ ซึ่งโปรแกรมทั้ง 2 โปรแกรม เป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากในการแสดงผลและการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว

3.4.1 โปรแกรมส่วนแอสเซมบลี

โปรแกรมในส่วนแอสเซมบลีนี้แบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ดังนี้

3.4.1.1 ส่วนจับเวลา จะใช้หลักการของ ไทม์เมอร์ ที่ว่าเวลา 1 แมชชีน ไซเคิล = 12 คาบออสซิลเลเตอร์ โดยจะกำหนดให้ ไทม์เมอร์ 0 ทำการนับจำนวนแมชชีนไซเคิล กำหนดให้อยู่ในโหมด 1 ดังนั้นเมื่อทำการเปิดเกตเพื่อปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกออกไป แล้วเขียนโปรแกรมให้ไทม์เมอร์เริ่มนับจนกระทั่งมีสัญญาณสะท้อนกลับมา ก็จะมีสัญญาณพัลส์มาทริกให้ไทม์เมอร์หยุดนับ และนำค่าไทม์เมอร์ที่นับได้นี้ไปประมวลผลในส่วนของโปรแกรมการคำนวณระยะทาง

3.4.1.2 ส่วนคำนวณระยะทาง

เมื่อได้ค่า ไทม์เมอร์ ที่เป็นค่าในการจับเวลามาแล้ว ก็จะต้องทำการคำนวณค่า ไทม์เมอร์ นี้ให้ออกมาเป็นระยะทาง โดยการนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นเวลาที่เสียงเดินทางไปกลับ คำนวณโดยสูตร

$$V = S/T$$

โดย V: ความเร็วของเสียง(เมตร/วินาที)

S: ระยะทาง (เมตร)

T: เวลา (วินาที)

3.4.1.3 ส่วนแปลงเป็น BCD

เมื่อคำนวณระยะทางออกมาได้แล้ว ค่าระยะทางที่ได้จะอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 ซึ่งจะไม่สามารถที่จะ แปลงค่าออกมาทาง 7-เซกเมนต์ ได้ จึงต้องมีการเขียนโปรแกรมแปลงค่าเลขฐาน 2 ให้อยู่ในรูปของ BCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 ส่วนคำนวณหาระยะความสูงของน้ำ

เนื่องจากค่าที่เราวัดออกมาได้นี้เป็นค่าระยะห่างระหว่างตัวอัลตราโซนิกกับระดับน้ำ ซึ่งค่าที่ต้องการวัดจริง ๆ นั้นเป็นค่าความสูงของน้ำ จึงจำเป็นต้องมีโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหาความสูงของน้ำจริง ๆออกมา โดยใช้การป้อนค่าความสูงของถังด้วย Dip-switch

3.4.1.5 ส่วนแสดงผลออก 7-เซกเมนต์

เมื่อได้ค่า BCD จากการคำนวณมาแล้ว ซึ่งเป็นค่าระยะทางที่วัดได้ ก็จะต้องนำค่าที่วัดได้นี้มาแสดงผลออก 7-เซกเมนต์ โดยในการเขียนโปรแกรมจะต้องเขียนให้โปรแกรมวน เพื่อที่จะให้เห็นค่าที่วัดออกมาทาง 7-เซกเมนต์ ในการเลือกว่าจะให้หลักที่เท่าไรติด ก็สามารถเลือกได้โดยใช้ P2.4 ถึง P2.6 เป็นตัวเลือก ในการเลือกก็จะใช้การเคลียร์ค่า เพราะ 7-เซกเมนต์ ที่ใช้เป็น คอมมอนแอโนด และในการเขียนโปรแกรมสิ่งที่ต้องระวังก็คือ อย่าเขียนโปรแกรมให้ 7-เซกเมนต์ แสดงผลพร้อมกัน เพราะถ้าแสดงผลพร้อมกันจะทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้รับกระแสมากจนเกินไป ซึ่งจะทำให้ ไมโครโปรเซสเซอร์เสียได้

3.4.1.6 ส่วนติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยสื่อสารแบบอนุกรม

- **ส่วนการสร้างอัตราการรับส่งข้อมูล**

  ในส่วนนี้จะใช้ไทเมอร์ 1 เป็นตัวกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล โดยอยู่ในโหมด 2 แบบ Auto-reload และใช้คริสตอลแบบ 11.0592 เมกกะเฮิร์ท ซึ่งจะได้อัตราการรับส่งข้อมูลขนาด 9600 bps ในการเขียนโปรแกรมการสร้างอัตราการรับส่งข้อมูลนี้จะอาศัยการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 เป็นตัวกำหนดจังหวะ

- **ส่วนการส่งข้อมูล**

  ข้อมูลที่ได้จะอยู่ใน TL0 กับ TH0 มีขนาด 2 ไบท์ โดยจะส่งออกทางพอร์ตอนุกรมผ่านรีจิสเตอร์ SBUF เมื่อส่งข้อมูลแต่ละไบท์ไปแล้วจะต้องทำการเคลียร์บิต TI ด้วย เพราะบิต TI จะต้องทำการเคลียร์ด้วยซอฟ์ทแวร์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ส่วนการรับข้อมูล**

  คอมพิวเตอร์จะส่งค่าที่จะควบคุมกลับมายัง 8051 โดยตัว8051จะเกิดอินเตอรัปต์ขึ้น โดยจะอาศัยคุณสมบัตินี้ในการเขียนโปรแกรมรับข้อมูลเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ จะรับข้อมูลจาก SBUF เข้ามาในรีจิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการควบคุมตามที่ต้องการได้ โดยเมื่อรับข้อมูลจาก SBUF แล้วจะต้องทำการเคลียร์บิต RI ด้วยเพราะบิต RI จะต้องทำการเคลียร์ด้วยซอฟ์รแวร์เท่านั้น

3.4.2 โปรแกรมส่วน เดลไฟล์

ในโปรแกรมส่วนของเดลไฟล์นี้จะมีส่วนที่สำคัญคือ ส่วนในการรับข้อมูลและส่วนในการคำนวณค่าในการควบคุมแล้วส่งออกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำค่าที่คำนวณได้นี้ไปยังวงจร D/A เพื่อทำให้เป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นก็จะนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากวงจร D/A นี้ไปยังวงจร V/I เพื่อเปลี่ยนจาก โวลต์เตจไปเป็นกระแส เพื่อใช้ในการควบคุมการเปิด - ปิดของวาล์ว

- ส่วนการรับข้อมูล

ในส่วนการรับข้อมูลนี้ข้อมูลที่ได้รับจะได้มาจากไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 2 ไบท์ ซึ่งข้อมูลจะเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม โดยตัวโปรแกรมเดลไฟล์จะมีคอมโพเนนต์ที่เรียกว่า Comport เป็นตัวควบคุมอยู่ จะมีอีเวนต์ต่างๆที่จำเป็น ในส่วนของการรับข้อมูลนี้จะใช้อีเวนต์ OnRxChar หมายถึง เมื่อมีข้อมูลเข้ามาแล้วจะให้ทำอะไร ซึ่งเราก็จะกำหนดให้ว่าเมื่อมีตัวอักษรเข้ามาให้ทำการอ่านข้อมูลมาเก็บไว้ในตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง โดยใช้คำสั่ง Comport.Readstring พอได้ค่าที่เราต้องการมาแล้วจำนวน 2 ไบท์ ก็ทำการแปลงข้อมูลที่ได้มาเป็นระยะทาง ซึ่งก็ใช้หลักการเดียวกับการเขียนแอสเซมบลี โดยการหาระดับน้ำ จะต้องทำการกำหนดความสูงของถังและความสูงของหัวอัลตราโซนิกลงไปยังในส่วนของหน้าต่างการเซตค่า เพื่อที่จะนำค่าที่ได้มาไปหักลบออกจากความสูงของถังที่ตั้งไว้ ก็จะได้ค่าระดับน้ำที่แท้จริงออกมา ค่าที่ได้จะถูกนำไปแสดงไว้ในช่อง PV (Process Value) ซึ่งจะแสดงเป็นระดับของเหลวจริงที่วัดได้ในขณะนั้น

- ส่วนการคำนวณค่าและการส่งค่าออกไปควบคุม

เมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับค่าระดับของเหลวที่แท้จริงแล้ว ในหน้าต่างของส่วนเซตค่าจะมีการเซตค่าเซตพอยด์ ตลอดจนค่าเกนต่างๆในการควบคุม คอมพิวเตอร์ก็จะคำนวณหาค่าที่แตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

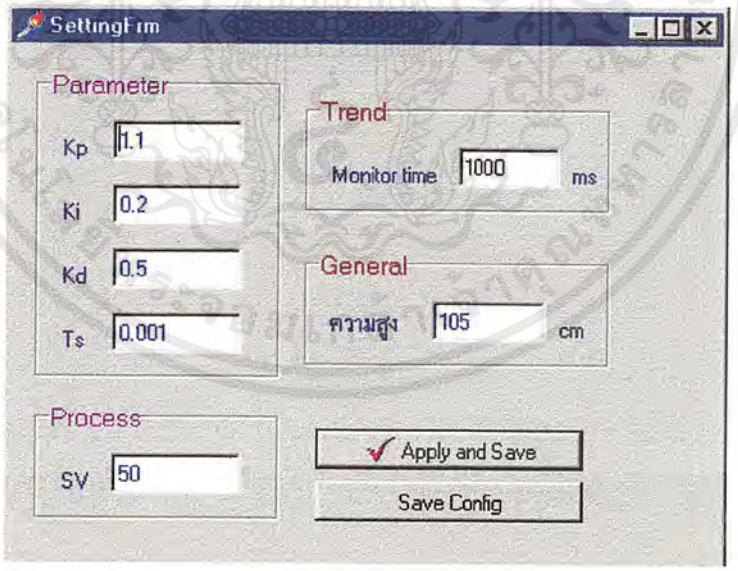
ต่างระหว่างค่าที่เป็นจริงและค่าที่เราต้องการและใช้ค่าเกนต่างๆตามหลักการของ Process Control มาหาค่าที่เหมาะสมต่อการควบคุมในการปรับค่าวาล์วปรับระดับของเหลว

เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วก็จะทำการส่งค่านี้ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ 89c51 เพื่อใช้ในการควบคุม โดยจะใช้คำสั่ง Comport.Writestring เพื่อในการส่งค่าที่ต้องการ โดยค่าที่ ส่งนี้จะนำไปในส่วนของค่า MV (Manipulate Value) เป็นค่าเปอร์เซนต์ ทำให้สามารถปรับวาล์ว มากน้อยได้ตามค่าเปอร์เซนต์ที่คำนวณออกมาได้

- ลักษณะอินเตอเฟส (Interface) กับผู้ควบคุม

ลักษณะอินเตอร์เฟสหรือหน้าตาของโปรแกรมในการติดต่อจะเป็นกราฟิกที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งจะสะดวกต่อผู้ควบคุมระบบในการป้อนค่าสำหรับการควบคุม

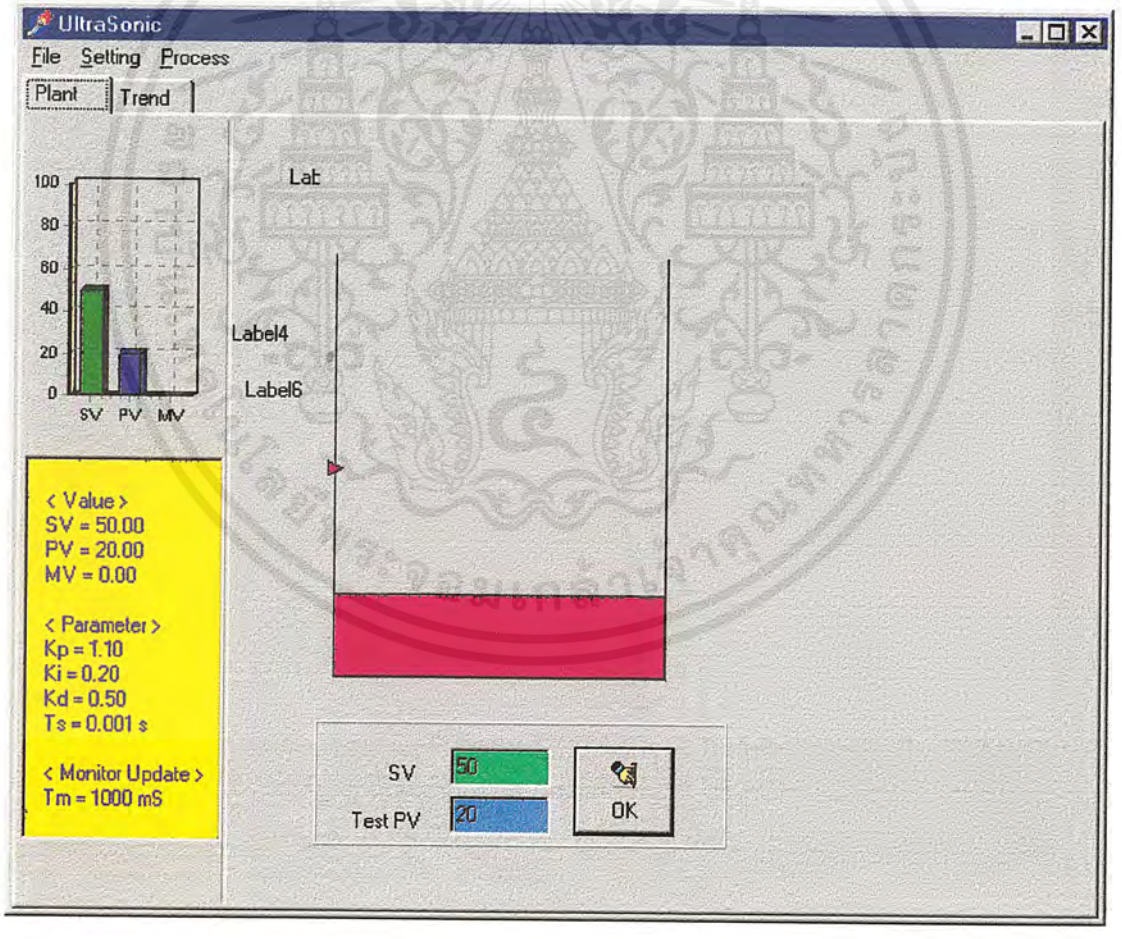
โดยหน้าต่างเริ่มแรกเมื่อทำการรันโปรแกรมจะให้ผู้ควบคุมหรือผู้ใช้งานป้อนค่าที่จำเป็นต่อระบบควบคุม เช่น ค่าเซตพอยด์ ค่าเกนในการควบคุมต่าง ๆ ค่าความสูงของถังของเหลว เมื่อป้อนแล้วให้ทำการเซฟค่าและเข้าสู่ระบบการควบคุม



รูปที่ 3.6 แสดงหน้าต่างในการเซตค่าต่างๆในระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการตั้งค่าที่สำคัญในระบบควบคุมแล้ว โปรแกรมก็จะเข้าสู่หน้าต่างที่แสดงผลในการควบคุม โดยจะเป็นหน้าต่างที่แสดงระดับของเหลวที่มีอยู่ในระบบและระดับของเหลวที่เราต้องการ ตลอดจนค่าที่ใช้ในการควบคุมค่า MV (Manipulate Value) และค่าเกนต่างๆ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย และยังสามารถป้อนค่าควบคุมเซตพอยต์ได้จากหน้าต่างนี้เลย และหากต้องการเปลี่ยนค่าเกนต่างๆก็สามารถเปลี่ยนในหน้าต่างการเซตค่าเริ่มต้นได้ นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงแนวโน้มค่าระดับของเหลวที่เปลี่ยนไปในเวลาต่างๆ โดยอยู่ในรูปกราฟแสดงแนวโน้มของระบบ



รูปที่ 3.7 แสดงหน้าต่างในการควบคุมและแสดงผลของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ระบบจำลองที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ

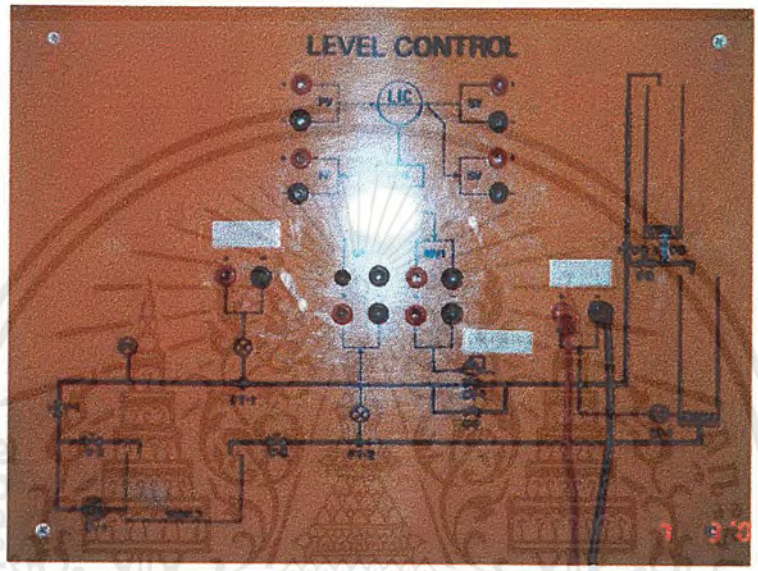
เมื่อได้ทำการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ คือ ในส่วนของวงจรเรียบร้อยแล้ว รวมทั้งได้เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์วเรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาติดตั้งกับระบบจำลอง เพื่อใช้ในการควบคุมระดับของน้ำ โดยใช้การเปิด-ปิด วาล์ว ซึ่งรูปแบบของระบบจำลองแสดงไว้ดังรูป

รูปที่ 3.8 แสดงรูปของระบบจำลอง

โดยท่อที่ใช้ในการบรรจุน้ำจะมีความสูงประมาณ 1 เมตร ส่วนวาล์วที่ใช้จะใช้แรงดันลมในการเปิด – ปิด เมื่อมีการป้อนกระแส 4-20 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวัดระยะทางแล้ว และนำค่าสัญญาณต่าง ๆ มาผ่านวงจร V/I ก็จะทำให้ได้สัญญาณออกมาอยู่ในรูปของกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้ควบคุมวาล์ว นำค่าสัญญาณกระแสที่ออกจากวงจร V/I ไปต่อกับระบบจำลองตรงส่วน Level Control ดังรูป



รูปที่ 3.9 แสดงส่วน Level Control ของระบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองในโครงงานนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- การทดลองในส่วนของวงจร
- การทดลองในส่วนของการวัดระยะทาง

4.1 การทดลองในส่วนของวงจร

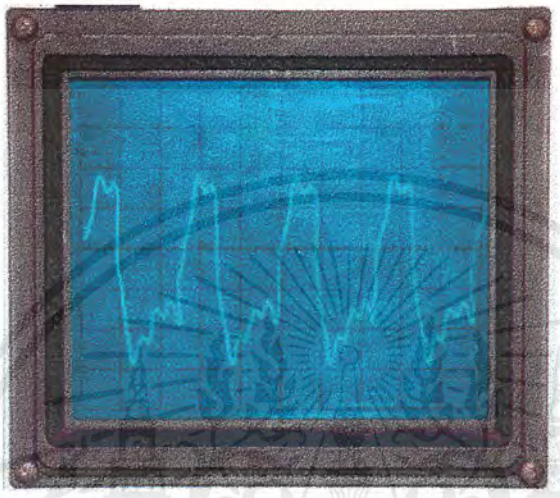
4.1.1 ส่วนของวงจรภาคส่ง

ในส่วนของวงจรภาคส่งนี้ จะต้องมีการปรับความถี่ให้ได้ความถี่ตรงกับความถี่ของอัลตราโซนิก ซึ่งก็คือ ค่า 40 กิโลเฮิร์ท เมื่อทำการวัดสัญญาณความถี่ที่ปล่อยออกมาจาก ไอซี เบอร์ TLC 556 จะได้รูปสัญญาณความถี่ ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณความถี่ที่ ชิปเบอร์ TLC556 ส่งไปให้กับอัลตราโซนิกตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออัลตราโซนิกตัวส่งได้รับสัญญาณความถี่ 40 กิโลเฮิร์ท แล้วก็จะเกิดสัญญาณตกคร่อมตัวอัลตราโซนิก ซึ่งได้สัญญาณที่มีค่าแตกต่างจากสัญญาณที่เข้ามา เมื่อวัดสัญญาณแล้ว จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.1.2



เมื่อค่า

Volts/Div = 1 Volt

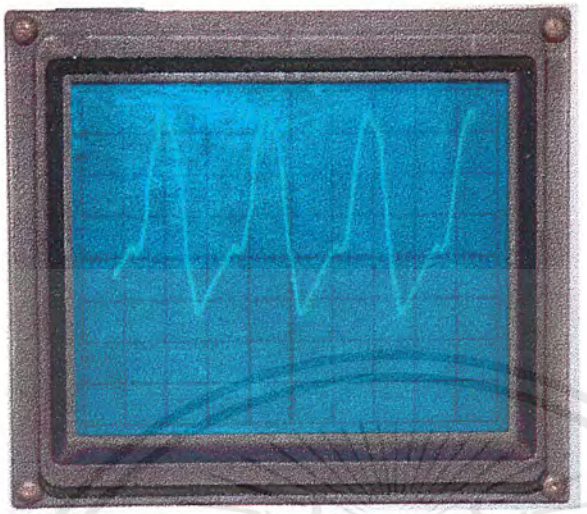
Time/Div = 10 uSec

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ตกคร่อมอัลตราโซนิกตัวส่ง

4.1.2 ส่วนของวงจรภาครับ

สัญญาณที่เกิดขึ้นในส่วนของวงจรภาครับนี้เป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งต้องผ่านวงจรขยายและกรองความถี่สูงผ่านซึ่งเมื่อวัดสัญญาณ ที่ผ่านวงจรขยาย และกรองความถี่สูงผ่านจะได้สัญญาณที่วัดจากสโคปดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



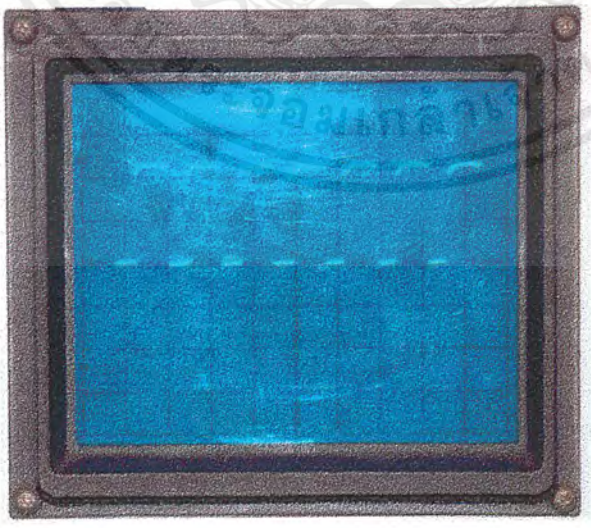
เมื่อค่า

Volts/Div = 1 Volt

Time/Div = 10 uSec

รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายและกรองความถี่สูงผ่าน

ส่วนสัญญาณที่ใช้ในการทริกซ์ให้ไมโครโปรเซสเซอร์หยุดนับค่าไทมเมอร์ จะต้องเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งก็คือค่าเอาท์พุตของวงจรภาครับ แสดงดังรูปที่ 4.4



เมื่อค่า

Volts/Div = 2 Volts

Time/Div = 20 uSec

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ใช้ทริกซ์ไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองในส่วนของการวัดระยะทาง

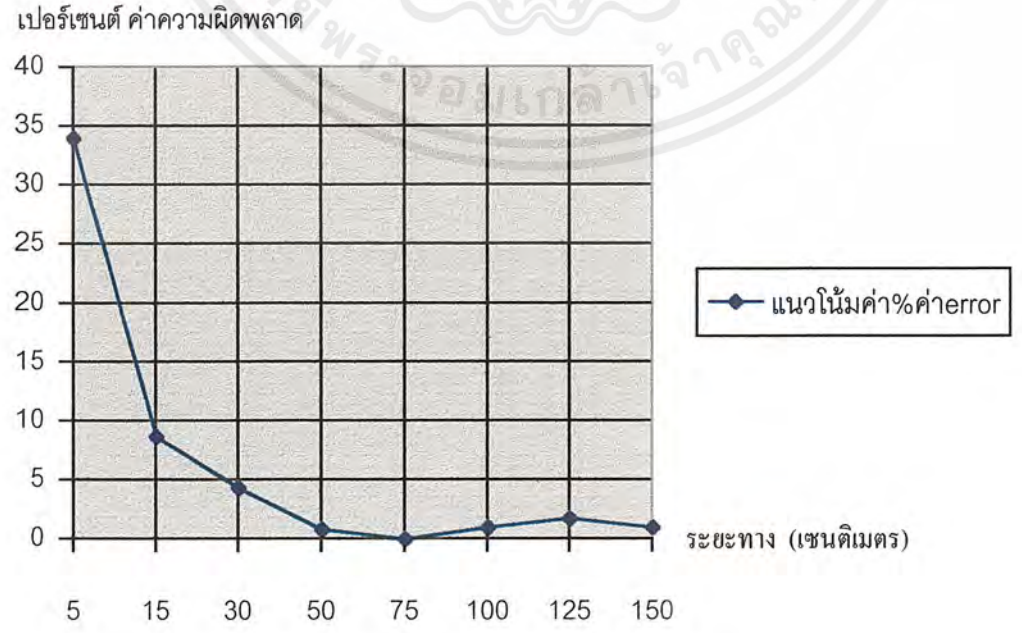
4.2.1 การวัดระดับของเหลวเพื่อแสดงผลระดับของเหลวที่ถูกต้อง

การทดลองนี้เป็นการวัดค่าความถูกต้องของระยะทางที่วัดได้ และนำค่าที่ได้เข้าสู่ คอมพิวเตอร์ โดยผ่านการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ในระยะทางเดียวกันจะทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่าทั้ง 3 ครั้งมาเปรียบเทียบและหาค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ผลการทดลองการวัดระดับของเหลว

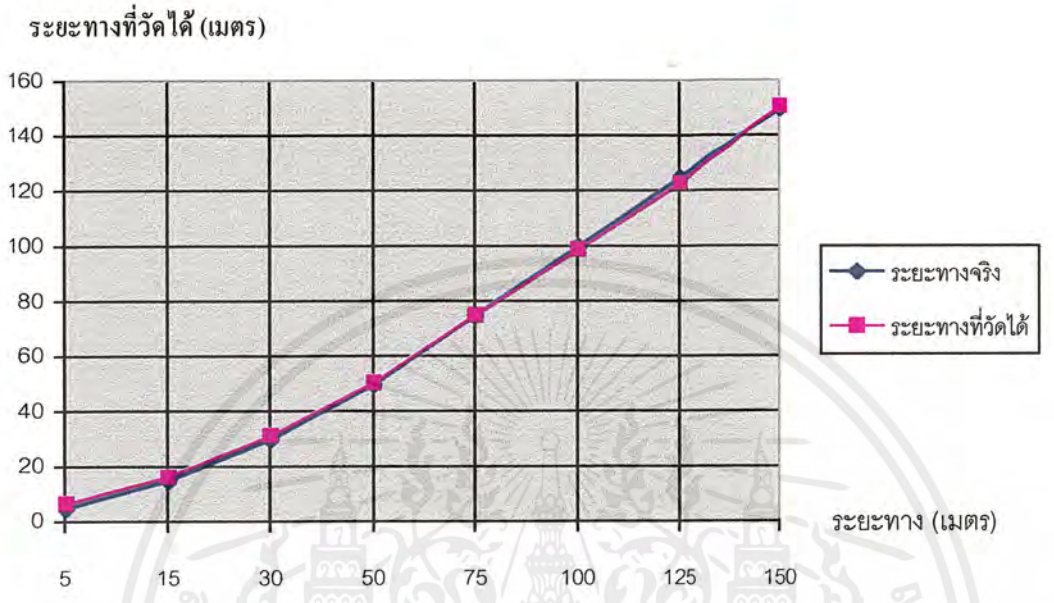
ระยะทางจริง (cm)	ระยะทางที่วัดได้ (cm)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	%ค่าผิดพลาด
5	6.9	6.7	6.5	6.7	34%
15	16.4	16	16.4	16.3	8.67%
30	31.2	31.3	31.3	31.3	4.33%
50	50.3	50.4	50.4	50.4	0.8%
75	74.6	75.6	74.9	75	0%
100	100	98	99	99	1%
125	123	122.6	122.9	122.8	1.76%
150	150.7	152	150.2	150.7	0.97%

ซึ่งเมื่อนำค่าจากตารางมาแสดงความสัมพันธ์กันในรูปของกราฟจะได้กราฟดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือจะแสดงแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงกับระยะทางที่วัดได้ในอีกรูปแบบหนึ่งเป็น



4.2.2 การใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นตัวควบคุม

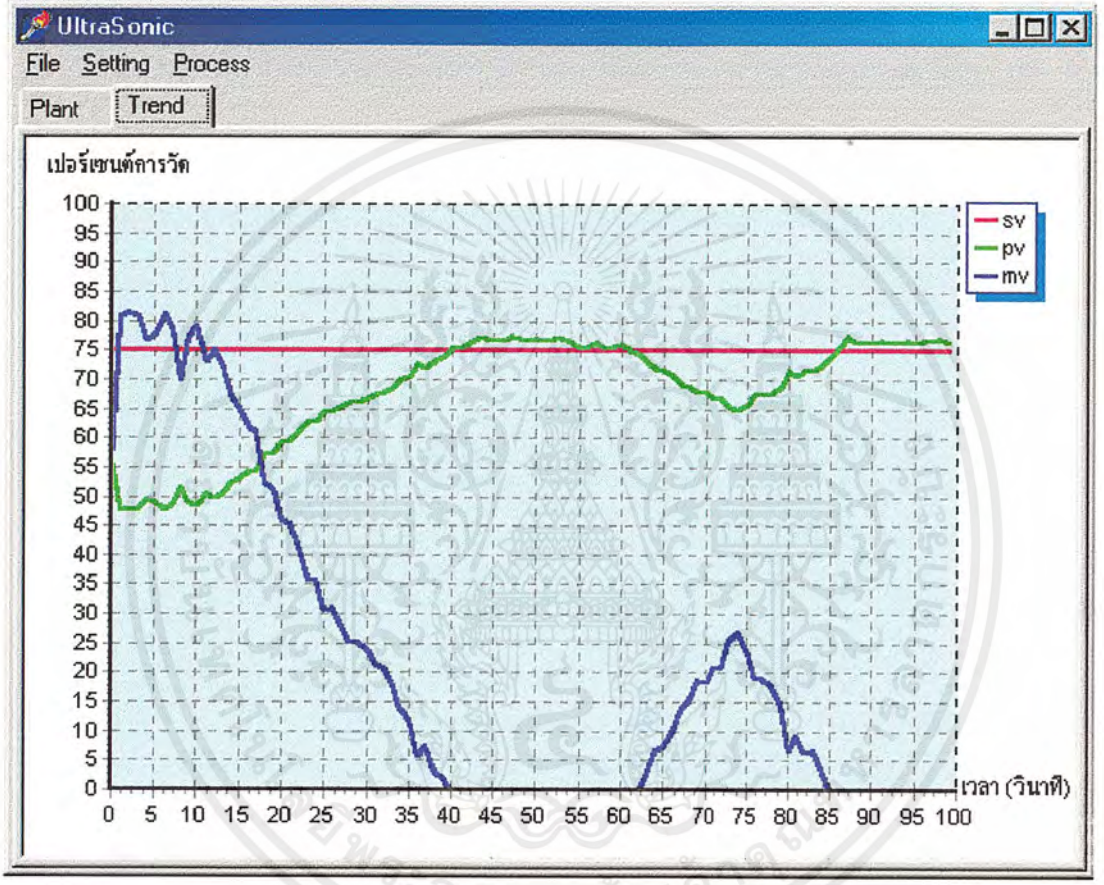
ในการทดลองนี้จะนำโปรแกรม Delphi มาเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการควบคุม โดยโปรแกรมจะส่งค่าที่เหมาะสมมาควบคุมวาล์วในการเปิด-ปิดเพื่อปรับระดับของเหลวให้ได้ตรงตามระดับที่ต้องการ

การทดลองวัดระดับของเหลวบนถังบรรจุของเหลว

1. ติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกบนถังบรรจุของเหลวแล้วเปิดสวิทซ์การทำงาน
2. คลื่นอัลตราโซนิกจะวัดระดับของขอบถังกับระดับของเหลวได้และส่งค่าที่ได้เข้า ไมโคร - โปรเซสเซอร์ 89c51 เพื่อนำค่าที่ได้ไปหักลบออกจากค่าความสูงของถัง ที่ถูกเซตค่าโดย Dip Switch และนำค่าที่เป็นค่าระดับน้ำมาแสดงผลได้
3. ค่าที่ได้จะแสดงผลออกมาทาง 7-เซกเมนต์ และบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยจะผ่านการเชื่อมต่อแบบอนุกรมซึ่งจะเป็นค่า PV (Process Value) ซึ่งจะเป็นค่าของระดับน้ำในขณะนั้น
4. คอมพิวเตอร์จะนำค่าระยะทางที่วัดได้มาคำนวณหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุม โดยใช้ค่าต่างๆ ที่ผู้ควบคุม เป็นผู้กำหนดคือค่าเซตพอยต์และค่าเกนต่างๆ มาร่วมประมวลผล หาค่า MV (Manipulate Value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผู้ควบคุมจะสามารถดูแนวโน้มของค่าระดับของเหลวว่าเป็นไปตามที่ต้องการได้หรือไม่ โดยดูจากระดับ ของเหลวในกราฟิกของโปรแกรม ตลอดจนสามารถดูแนวโน้มของระบบ ได้จากกราฟแสดงระดับของเหลว ว่าระบบใช้เวลานานเท่าไรที่จะเข้าสู่ระดับที่ตั้งไว้ หรือดูลักษณะของระบบว่ามีลักษณะที่ควบคุมได้หรือไม่อย่างไร ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.5 โปรแกรมแสดงกราฟแนวโน้มของระบบ

จากรูปที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่าเมื่อค่าระดับของเหลวมีระยะห่างจากค่าที่ตั้งไว้มาก ค่า MV จะมีเปอร์เซ็นต์ในการเปิดวาล์วมากด้วยและเมื่อของเหลวค่อยๆมีค่าใกล้กับค่าที่ตั้งไว้ ค่า MV จะค่อยๆ ลดลงหรือมีการเปิดวาล์วน้อยลง สรุปได้ว่าค่าในการเปิด-ปิด วาล์วจะแปรเปลี่ยน ไปตามระยะทางที่ได้ในขณะนั้นกับระยะทางที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

บทวิจารณ์

อัลตราโซนิกทรานดิวเซอร์นั้นสามารถทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 โวลต์เท่านั้น ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานดิวเซอร์ก็ควรที่อยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้ มิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายขึ้นกับตัวทรานดิวเซอร์ได้ และช่วงความถี่ที่ตัวทรานดิวเซอร์สามารถใช้งานได้ดีนั้นคือ 40 กิโลเฮิร์ท ซึ่งที่มีขายกันอยู่ทั่วไปนั้นจะมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 1 กิโลเฮิร์ท และมีแบนวิดท์ประมาณ 4.5 กิโลเฮิร์ท สำหรับตัวส่งและมีค่าแบนวิดท์ประมาณ 5 กิโลเฮิร์ท สำหรับตัวรับ สำหรับค่าความถี่ที่ต่างจากที่กำหนดมามาก ๆ แล้วนั้นตัวทรานดิวเซอร์จะไม่สามารถใช้งานได้เลย จึงต้องคำนึงถึงความถี่ที่วงจรภาคส่งผลิตออกมา เพื่อที่จะส่งออกผ่านตัวทรานดิวเซอร์ด้วย

ในส่วนของการส่งและรับข้อมูลที่ได้จากค่าไทเมอร์นั้นจะต้องมีการจัดเฟรมข้อมูลในการรับและส่ง โดยมีไบท์เริ่มและไบท์แสดงการสิ้นสุดการส่งและการรับ ซึ่งจะต้องเขียนโปรแกรมที่จะตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มามีความถูกต้องหรือไม่ เนื่องจากหากมีการรับข้อมูลผิดพลาดอาจจะทำให้ระบบเกิดสภาวะที่ไม่สามารถเชื่อถือได้เพราะคอมพิวเตอร์ส่งค่าที่จะมาควบคุมวาล์วผิดพลาด ในส่วนของโครงงานนี้จะใช้การอินเตอร์รัปต์เป็นส่วนสำคัญในการรับและส่งข้อมูล ดังนั้นในส่วนของโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องทำการจัดเรียงโปรแกรมว่าเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์แล้วจะต้องกลับไปทำงานในส่วนของโปรแกรมตามปรกติให้ถูกต้อง มิฉะนั้นโปรแกรมจะไม่สามารถส่งและรับข้อมูลได้อย่างถูกต้องได้ นอกจากนี้ในส่วนของการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรมระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์จะต้องมีการศึกษาการประกอบวงจรให้ดีว่าส่วนใดเป็นส่วนรับข้อมูลส่วนในเป็นส่วนส่งข้อมูล เพราะมีผลต่อการติดต่อระหว่างกัน โดยอาจจะไม่มีข้อมูลมาเลยหรือมีค่าที่ไม่ใช่ข้อมูลที่ต้องการออกมาทำให้เกิดความเข้าใจผิดและไม่สามารถควบคุมระบบได้

บทสรุป

โครงงานนี้เน้นในการควบคุมของเหลวที่ไม่สามารถนำตัวเซนเซอร์สัมผัสในตัวของเหลวได้หรือของเหลวที่มีความอ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกสูง ดังนั้นการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะมีความเที่ยงตรงค่อนข้างสูง และมีระยะในการวัดได้มากและที่สำคัญไม่ต้องสัมผัสของเหลวที่ต้องการวัดด้วย ซึ่งทำให้ตัวเซนเซอร์มีความชำรุดน้อย มีค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

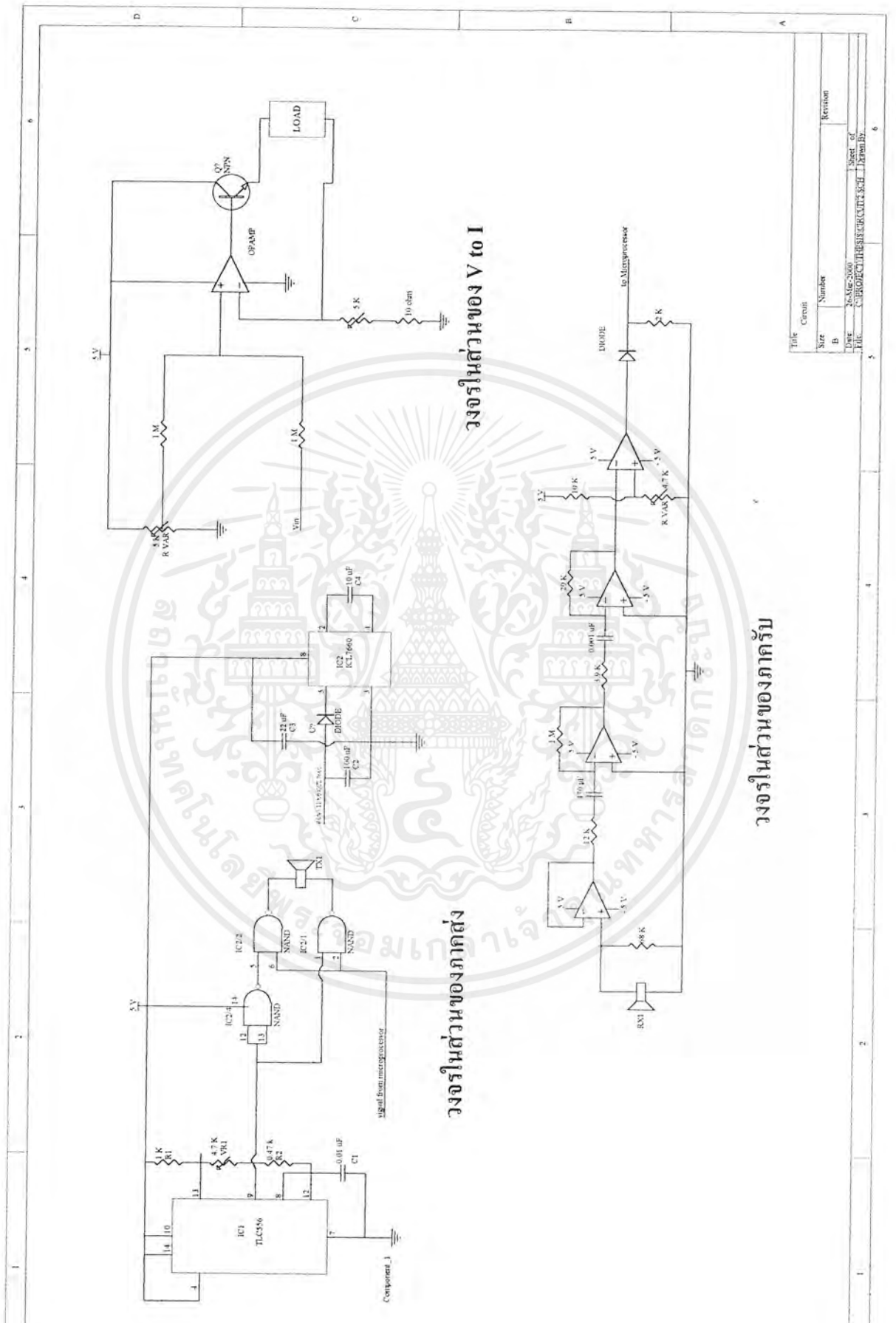
ในการดูแลรักษาต่ำ นอกจากนี้โครงงานนี้ยังช่วยให้เข้าใจในวิชา Process Control ยิ่งขึ้น โดยจะสามารถเห็นตัวตนว่าสามารถควบคุมระดับของเหลวได้อย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาในระบบควบคุม นอกจากนี้ยังใช้การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างตัวเซนเซอร์บนบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์กับคอมพิวเตอร์ที่จำลองให้เป็นคอนโทรเลอร์และเป็นระบบอินเตอร์เฟสกับผู้ใช้ ทำให้สามารถมองเห็นภาพการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับตัวคอมพิวเตอร์ที่กำลังเป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้การติดต่อกับผู้ใช้เป็นภาพกราฟิกทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย

โดยสรุปแล้วโครงงานนี้สามารถจำลองการทำงานของระบบที่มีอยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ในโครงงานนี้เราได้ศึกษาตัวเซนเซอร์แบบอัลตราโซนิกซึ่งค่อนข้างแตกต่างจากเซนเซอร์ทั่วๆไป ทำให้ได้ความรู้เรื่องเกี่ยวกับคลื่นเสียงอัลตราโซนิกมากขึ้น และที่สำคัญโครงงานนี้สามารถนำมาใช้กับระบบจำลองที่มีอยู่ในสถานศึกษาทั่วไปได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ที่ศึกษามีความรู้ด้านระบบควบคุมมากขึ้น สุดท้ายนี้หวังว่ารายงานเกี่ยวกับโครงงานนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

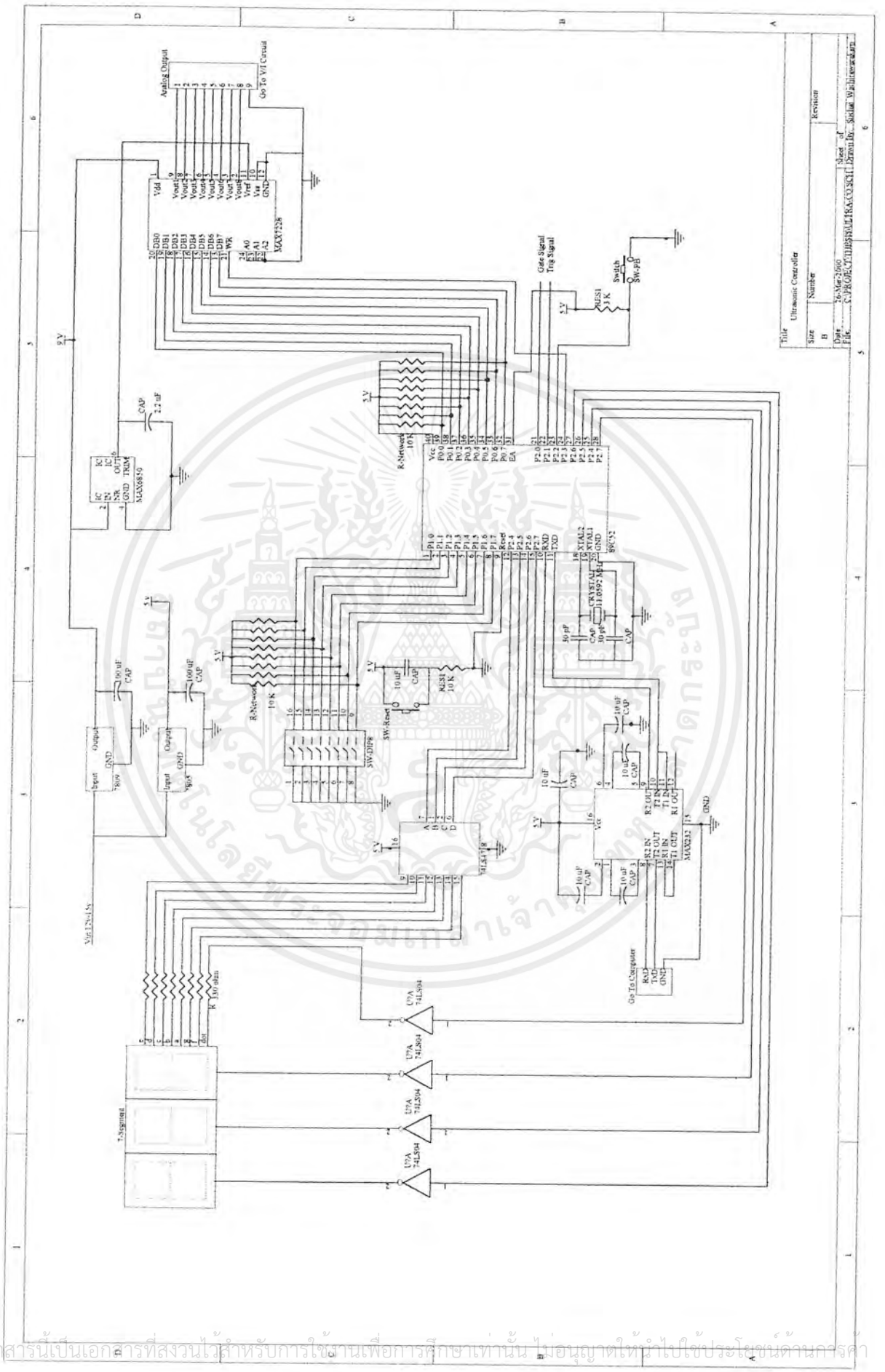
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. แสดง source code ของโปรแกรมแอสแซมบลี

```
;*********************************************************************
;                          Project 1
;*********************************************************************

input_data      equ     030h
input_end       equ     031h
data            equ     040h
input_start     equ     041h
input_index     equ     042h
output_index    equ     043h
ans_1           equ     0050h
ans_2           equ     0051h
ans_3           equ     0052h

                org     00h
                mov     p0,#00h         ;clear port0
                jmp     set

                org     23h
                jmp     int_ser

                org     40h
set:            mov     tmod,#21h       ;set 16 bit timer mode
                mov     ie,#90h
                clr     tr0             ;clear timer0
                mov     TL0,#00h
                mov     TH0,#00h
                clr     p2.0            ;close gate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                mov     p1,#0ffh        ;Input port1
serial:         mov     pcon,#00h       ;smod=0
                mov     scon,#50h       ;serial mode 1(ren=1)
                mov     th1,#0FDh       ;9600 baud
                setb    tr1             ;start timer1

check_clear:    jb      p2.1,check_clear ;check ultra reciever
ultra:          setb    tr0             ;timer0 count
                setb    p2.0            ;open gate
check_ultra:    jnb     p2.1,check_ultra ;check ultra wave reciever
restore:        clr     tr0             ;stop timer0
                clr     p2.0            ;close gate

                 mov    r6,#00h
                mov     sbuf,#3ah
                cjne    r6,#01h,$
                mov     r6,#00h
                mov     sbuf,tl0
                cjne    r6,#01h,$
                mov     r6,#00h
                mov     sbuf,th0
                cjne    r6,#01h,$
                mov     r6,#00h
                mov     sbuf,#2ch
                cjne    r6,#01h,$
                mov     r6,#00h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

********** **Calculate Program** **********

```
cal:    setb    rs0
        setb    rs1
        mov     a,TH0           ;TH values
        anl     a,#11110000b
        swap    a
        mov     r0,a
        mov     a,TH0           ;TH values
        anl     a,#00001111b
        mov     r1,a
        mov     a,TL0           ;TL values
        anl     a,#11110000b
        swap    a
        mov     r2,a
        mov     a,TL0           ;TL values
        anl     a,#00001111b
        mov     r3,a
        mov     b,#07h
        mov     a,r0
        div     ab
        mov     r4,a            ;Temp_1
        mov     a,b
        swap    a
        orl     a,r1
        mov     b,#07h
        div     ab
        mov     r5,a            ;Temp_2
        mov     a,b
        swap    a
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
orl     a,r2
mov     b,#07h
div     ab
mov     r6,a            ;Temp_3
mov     a,b
swap    a
orl     a,r3
mov     b,#07h
div     ab
mov     r7,a            ;Temp_4
mov     b,#08h
mov     a,r4
div     ab
mov     r0,a            ;Ans_1
mov     a,b
swap    a
orl     a,r5
mov     b,#08h
div     ab
mov     r1,a            ;Ans_2
mov     a,b
swap    a
orl     a,r6
mov     b,#08h
div     ab
mov     r2,a            ;Ans_3
mov     a,b
swap    a
orl     a,r7
mov     b,#08h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        div     ab
        mov     r3,a            ;Ans_4
        mov     a,r0
        swap    a
        orl     a,r1
        mov     r7,a            ;Ans_high
        mov     a,r2
        swap    a
        orl     a,r3
        mov     r6,a            ;Ans_low


;***************************** BCD ******************************
test:   cjne    r7,#00H,test0
        mov     b,#0AH
        mov     a,r6
        div     ab
        mov     r0,b
        mov     b,#0AH
        div     ab
        mov     r1,b
        mov     r2,a
test0:  cjne    r7,#01H,test1
one:    mov     r2,#02H
        mov     a,r6
        mov     b,#64H
        div     ab
        add     a,r2
        mov     r2,a
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov     a,#38H
        add     a,b
        mov     b,#0AH
        div     ab
        mov     r0,b
        mov     b,#0AH
        div     ab
        mov     r1,b
        add     a,r2
        mov     r2,a
test1:  cjne    r7,#02H,test2
two:    mov     r2,#05H
        mov     a,r6
        mov     b,#64H
        div     ab
        add     a,r2
        mov     r2,a
        mov     a,#0CH
        add     a,b
        mov     b,#0AH
        div     ab
        mov     r0,b
        mov     b,#0AH
        div     ab
        mov     r1,b
        add     a,r2
        mov     r2,a
test2:  cjne    r7,#03H,cal_height
three:  mov     r2,#07H
        mov     a,r6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            mov     b,#64H
            div     ab
            add     a,r2
            mov     r2,a
            mov     a,#44H
            add     a,b
            mov     b,#0AH
            div     ab
            mov     r0,b
            mov     b,#0AH
            div     ab
            mov     r1,b
            add     a,r2
            mov     r2,a

;***************** Calculater the height of water *****************
cal_height: mov     a,p1            ;Use Dip Switch
            anl     a,#11110000b
            swap    a
            mov     r6,a            ;Height of Tank
            mov     a,p1            ;Use Dip Switch
            anl     a,#00001111b
            mov     r5,a            ;Height of Tank
            mov     r4,#00001010b   ;Height of Tank
            clr     c               ;Clear carry
            cjne    r6,#00h,aaa
            cjne    r5,#00h,aaa
            sjmp    display

aaa:        cjne    r0,#00h,bbb
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov   r0,#00h          ;Display first value
        mov   a,r5
        jmp   ccc

bbb:    mov   a,r4
        subb  a,r0
        mov   r0,a             ;Display first value
        cjne  r5,#00h,bbbb
        mov   r5,#0ah
        dec   r6
bbbb:   dec   r5
        mov   a,r5
ccc:    subb  a,r1
        jb    cy,eee           ;Check carry flag
        mov   r1,a             ;Display second value
        cjne  r6,#00h,ddd
        jmp   display
ddd:    mov   a,r6
        subb  a,r2
        mov   r2,a             ;Display third value
        sjmp  display
eee:    mov   a,r5
        add   a,#00001010b
        subb  a,r1
        mov   r1,a             ;Display second value
        dec   r6
        mov   a,r6
        subb  a,r2
        mov   r2,a             ;Display third value
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
********** Display 7-Segment **********

display:    setb    p2.4        ;set common of 7-segment
            setb    p2.5        ;set common of 7-segment
            setb    p2.6        ;set common of 7-segment
            mov     ans_1,r0
            mov     ans_2,r1
            mov     ans_3,r2

            clr     rs0         ;Set Bank
            clr     rs1         ;Set Bank
            mov     r5,#0ffh
            mov     r6,#02h
            mov     r7,p3

first:      clr     p2.4        ;Choose first 7-segment
            mov     a,ans_1
            swap    a
            mov     p3,a
            clr     p2.7
            call    delay
            setb    p2.4

second:     clr     p2.5        ;Choose second 7-segment
            mov     a.ans_2
            swap    a
            mov     p3,a
            clr     p2.7
            call    delay
            setb    p2.5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
third:      clr     p2.6            ;Choose third 7-segment
            mov     a,ans_3
            swap    a
            mov     p3,a
            setb    p2.7
            call    delay
            setb    p2.6
            djnz    r5,first
            mov     r5,#0ffh
            djnz    r6,first
            mov     r6,#02h
            jb      p2.2,first      ;Check switch reset
            mov     p3,r7
            ljmp    set

delay:      push    00h
            mov     r0,#0ffh
            djnz    r0,$
            pop     00h
            ret
int_ser     push    acc
            push    psw
            jb      ti,transmit
receive:    mov     data,sbuf
            mov     a,input_start
            cjne    a,#01h,check_start
check_stop: mov     a,input_index
            cjne    a,#input_end,record_data
            mov     a,data
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                cjne    a,#02ch,data_error
                mov     input_start,#00h
                sjmp    input_complete
record_data:    mov     r0,input_index
                mov     @r0,data
                inc     input_index
                inc     output_index
                sjmp    end_receive
data_error:     cpl     p1
                call    delay
                sjmp    data_error
check_start:    mov     a,data
                cjne    a,#03ah,not_start
                mov     input_start,#01h
                mov     input_index,#input_data
                mov     output_index,#00h
                sjmp    end_receive
not_start:      mov     input_start,#00h
end_receive:    clr     ri
                sjmp    end_ser
transmit:       clr     ti
                mov     r6,#01h
end_ser:        pop     psw
                pop     acc
                reti
input_complete: mov     p0,input_data
                clr     p2.3
                sjmp    end_receive

                end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. แสดง source code ของโปรแกรม delphi

```
program ProjectDCS;

uses
  Forms,
  UnitTrend in 'UnitTrend.pas' {UltraSonic},
  UnitSetting in 'UnitSetting.pas' {SettingFrm};

{$R *.RES}

begin
  Application.Initialize;
  Application.CreateForm(TUltraSonic, UltraSonic);
  Application.CreateForm(TSettingFrm, SettingFrm);
  Application.Run;
end.


unit UnitSetting;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;

type
  TSettingFrm = class(TForm)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    GroupBox1: TGroupBox;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    GroupBox3: TGroupBox;
    Label7: TLabel;
    Edit7: TEdit;
    GroupBox4: TGroupBox;
    Label8: TLabel;
    Edit8: TEdit;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label6: TLabel;
    Edit6: TEdit;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    Label1: TLabel;
    Label9: TLabel;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure Edit2Click(Sender: TObject);
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    { Public declarations }
    function IsStrReal(s:String):boolean;
    procedure GetDataFromFile;
    procedure WriteDataToFile;
    procedure UpdateValue;
  end;

var
  SettingFrm: TSettingFrm;

implementation
uses unitTrend;

{$R *.DFM}
procedure TSettingFrm.WriteDataToFile();
var ConfigFile:TextFile;
begin
  AssignFile(ConfigFile,'ConfigData.txt');
  Rewrite(ConfigFile);
  try
    Writeln(ConfigFile,edit2.text);
    Writeln(ConfigFile,edit3.text);
    Writeln(ConfigFile,edit4.text);
    Writeln(ConfigFile,edit5.text);
    Writeln(ConfigFile,edit6.text);
    Writeln(ConfigFile,edit7.text);
    Writeln(ConfigFile,edit8.text);
  finally
    CloseFile(ConfigFile);
  end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;

procedure TSettingFrm.GetDataFromFile;
var ConfigFile:TextFile;
   s:string;
begin
   AssignFile(ConfigFile,'ConfigData.txt');
   Reset(ConfigFile);
   try
    readln(ConfigFile,s);
    edit2.text:=s;
    readln(ConfigFile,s);
    edit3.text:=s;
    readln(ConfigFile,s);
    edit4.text:=s;
    readln(ConfigFile,s);
    edit5.text:=s;
    readln(ConfigFile,s);
    edit6.text:=s;
    readln(ConfigFile,s);
    edit7.text:=s;
    readln(ConfigFile,s);
    edit8.text:=s;
   finally
    CloseFile(ConfigFile);
   end;
end;

procedure TSettingFrm.UpDateValue;
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if IsStrReal(Edit2.Text) then UltraSonic.kp:=StrToFloat(Edit2.Text);
    if IsStrReal(Edit3.Text) then UltraSonic.ki:=StrToFloat(Edit3.Text);
    if IsStrReal(Edit4.Text) then UltraSonic.kd:=StrToFloat(Edit4.Text);
    if IsStrReal(Edit5.Text) then UltraSonic.Ts:=StrToFloat(Edit5.Text);
    if IsStrReal(Edit6.Text) then UltraSonic.Timer1.Interval:=round(StrToFloat(Edit6.Text));
    if IsStrReal(Edit7.Text) then UltraSonic.H_ultra:=StrToFloat(Edit7.Text);
    if IsStrReal(Edit8.Text) then UltraSonic.sv:=StrToFloat(Edit8.Text);
end;

function  TSettingFrm.IsStrReal(s:String):boolean;
var i:integer;
begin
    result:=true;
    for i:=1 to Length(s) do
     if not (s[i] in['0'..'9','.']) then result:=false;
    if s[1]='.' then result:=false;
end;

procedure TSettingFrm.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var HasError:boolean;
   i:integer;
begin
   HasError:=false;
   for i:= 2 to 8 do
    if not IsStrReal((FindComponent('Edit' + IntToStr(I))as TEdit).text) then
      HasError:=true;
   if not HasError then
   begin
     UpdateValue;
     WriteDataToFile;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      close;
    end;
end;

procedure TSettingFrm.Edit2Click(Sender: TObject);
begin
   (Sender as TEdit).SelectAll;
end;

procedure TSettingFrm.FormActivate(Sender: TObject);
begin
   UltraSonic.visible:=false;
   GetDataFromFile;
end;

procedure TSettingFrm.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
   UltraSonic.visible:=true;
end;

procedure TSettingFrm.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
   WriteDataToFile;
end;

end.


unit UnitTrend;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Series, TeEngine, MyBoard, Comms, MyTank, StdCtrls, TeeProcs, Chart,
  ExtCtrls, Menus, ComCtrls, Buttons, ActnList, ImgList, TeeFunci;

type
  TUltraSonic = class(TForm)
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    TabSheet2: TTabSheet;
    MainMenu1: TMainMenu;
    File1: TMenuItem;
    Exit1: TMenuItem;
    Panel1: TPanel;
    Chart1: TChart;
    Memo1: TMemo;
    Chart2: TChart;
    ComPort1: TComPort;
    MyBoard1: TMyBoard;
    Series1: TFastLineSeries;
    Series2: TFastLineSeries;
    Series3: TFastLineSeries;
    Series4: TBarSeries;
    Timer1: TTimer;
    Setting1: TMenuItem;
    Start1: TMenuItem;
    Stop1: TMenuItem;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ImageList1: TImageList;
Process1: TMenuItem;
ClearTrend1: TMenuItem;
Timer2: TTimer;
Label1: TLabel;
Show1: TMenuItem;
N1: TMenuItem;
Reset1: TMenuItem;
Panel3: TPanel;
MyTank1: TMyTank;
Panel2: TPanel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Edit1: TEdit;
BitBtn2: TBitBtn;
Edit2: TEdit;
Panel4: TPanel;
Splitter1: TSplitter;
Panel5: TPanel;
Panel6: TPanel;
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Start1Click(Sender: TObject);
procedure Stop1Click(Sender: TObject);
procedure FormResize(Sender: TObject);
procedure ClearTrend1Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure Show1Click(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure Edit1Click(Sender: TObject);
    procedure FormPaint(Sender: TObject);
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
    procedure Reset1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
    procedure UpDateAll;
    procedure UpdateTrend;
    procedure UpDateGraph_Tank;
    procedure UpdateMemo;
    procedure FindMV;
  public
    { Public declarations }
    Series1Temp: TFastLineSeries;
    Series2Temp: TFastLineSeries;
    Series3Temp: TFastLineSeries;
    Xi:integer;
    kp,Ki,Kd:double;
    pv,pv_old,sv,mv:double;
    MVp:double;
    MVi:double;
    MVd:double;
    Ts:double;
  end;

var
  UltraSonic: TUltraSonic;

implementation
uses UnitSetting;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{$R *.DFM}

procedure TUltraSonic.FindMV;
begin
   pv_old:=pv;
   MVp:=Kp*(SV-Pv);
   MVi:=Kp*Ts*(2*SV-3*pv-pv_old)/2*ki+MVi;
   MVd:=Kp*Kd*(PV_old-Pv)/Ts;
   Mv:=MVp+Mvi+Mvd;
   label1.Caption:=inttostr(round(Mv));
   if Mv>100 then Mv:=100;
   if Mv<0 then Mv:=0;
   MyBoard1.AnalogOut(0,Mv,percent);
end;

procedure TUltraSonic.UpDateAll();
begin
  UpdateTrend;
  UpDateGraph_Tank;
  UpdateMemo;
end;

procedure TUltraSonic.UpdateTrend();
var i:integer;
begin
  Series1.AddXY(xi,sv,'',clRed);
  Series2.AddXY(xi,pv,'',clred);
  Series3.AddXY(xi,mv,'',clRed);
  xi:=xi+1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if xi=101 then
    begin
      series1temp.Clear;
      series2temp.Clear;
      series3temp.Clear;
      for i:=30 to 100 do
      begin
        series1Temp.AddXY(i-30,Series1.YValue[i],'',clRed);
        series2Temp.AddXY(i-30,Series2.YValue[i],'',clred);
        series3Temp.AddXY(i-30,Series3.YValue[i],'',clred);
      end;
      Series1.Clear;
      Series2.Clear;
      Series3.Clear;
      Series1.AssignValues(series1Temp);
      Series2.AssignValues(series2Temp);
      Series3.AssignValues(series3Temp);
      xi:=71;
    end;
end;

procedure TUltraSonic.UpDateGraph_Tank();
begin
    with Series4 do
    begin
      Clear;
      AddBar(sv,'SV',clGreen);
      AddBar(pv,'PV',clBlue);
      AddBar(mv,'MV',clRed);
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MyTank1.Level:=round(pv);
    MyTank1.Setpoint:=round(sv);
end;

procedure TUltraSonic.UpdateMemo();
var s:string;
begin
  with  Memo1 do
  begin
    Clear;
    Lines.Add('');
    Lines.Add('  < Value >');
    str(sv:0:2,s);
    Lines.Add('  SV = '+s);
    str(pv:0:2,s);
    Lines.Add('  PV = '+s);
    str(mv:0:2,s);
    Lines.Add('  MV = '+s);
    Lines.Add(' ');
    Lines.Add('  < Parameter >');
    str(kp:0:2,s);
    Lines.Add('  Kp = '+s);
    str(ki:0:2,s);
    Lines.Add('  Ki = '+s);
    str(kd:0:2,s);
    Lines.Add('  Kd = '+s);
    str(Ts:0:3,s);
    Lines.Add('  Ts = '+s+' s');
    Lines.Add(' ');
    Lines.Add('  < Monitor Update >');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Lines.Add('  Tm = '+inttostr(timer1.Interval)+' mS');
  end;
end;


procedure TUltraSonic.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  xi:=0;
  sv:=70;
  pv:=20;
  mv:=0;
  kp:=1;
  ki:=0.2;
  kd:=1;
  Ts:=0.001;

  Stop1.Checked:=true;
  if Not Assigned(SettingFrm) then SettingFrm:=TSettingFrm.Create(self);
  try
    SettingFrm.ShowModal;
  finally
    SettingFrm.Free;
  end;
  Start1.Checked:=true;

  Series1Temp:=TFastLineSeries.Create(self);
  Series2Temp:=TFastLineSeries.Create(self);
  Series3Temp:=TFastLineSeries.Create(self);
  Series1Temp.Active:=false;
  Series2Temp.Active:=false;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Series3Temp.Active:=false;
end;

procedure TUltraSonic.Start1Click(Sender: TObject);
begin
    Start1.Checked:=TRUE;
end;

procedure TUltraSonic.Stop1Click(Sender: TObject);
begin
    Stop1.Checked:=TRUE;
    MVi:=0;
    pv_old:=0;
end;

procedure TUltraSonic.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
    close;
end;

procedure TUltraSonic.FormResize(Sender: TObject);
begin
    MyTank1.Height:=Round(Height DIV 2);
    MyTank1.Width:=Round(Width DIV 3);
end;

procedure TUltraSonic.ClearTrend1Click(Sender: TObject);
begin
    Series1.clear;
    Series2.clear;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Series3.Clear;
    xi:=0;
  end;

  procedure TUltraSonic.Timer1Timer(Sender: TObject);
  begin
    if Start1.Checked then
    begin
      UpDateGraph_Tank;
      UpdateMemo;
      UpdateTrend();
    end;
  end;

  procedure TUltraSonic.Timer2Timer(Sender: TObject);
  begin
    if Start1.Checked then FindMV;
  end;

  procedure TUltraSonic.BitBtn2Click(Sender: TObject);
  begin
    Sv:=strtofloat(Edit1.Text);
    pv:=strtofloat(Edit2.Text);
  end;

  procedure TUltraSonic.Show1Click(Sender: TObject);
  begin
    if not assigned(SettingFrm) then SettingFrm:=TSettingFrm.Create(self);
    SettingFrm.show;
  end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TUltraSonic.Edit1Click(Sender: TObject);
begin
   (Sender as TEdit ).SelectAll;
end;

procedure TUltraSonic.FormPaint(Sender: TObject);
begin
   MyTank1.Invalidate;
end;

procedure TUltraSonic.FormActivate(Sender: TObject);
var s:String;
begin
   str(sv:0:0,s);
   Edit1.text:=S;
   str(pv:0:0,s);
   Edit2.text:=S;
end;

procedure TUltraSonic.Reset1Click(Sender: TObject);
begin
   mvi:=0;
   Series1.clear;
   Series2.clear;
   Series3.Clear;
   xi:=0;
end;
initialization
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. Data Sheet ต่าง ๆ

MAXIM

CMOS Octal 8-Bit D/A Converter

MX7228

General Description

Maxim's MX7228 contains eight 8-bit voltage output digital-to-analog converters (DACs) with separate input latches and output buffers for simple microprocessor and TTL/CMOS interfacing. The MX7228 maintains 8-bit accuracy over the full operating temperature range without external trimming.

Internally, data transfer into the data registers is via a common 8-bit TTL/CMOS compatible input bus. Logic inputs A2, A1, and A0 control which DAC is loaded after WR goes low.

Features

- Buffered Voltage Output
- µP Compatible
- TTL/CMOS Logic Compatible
- Requires No External Adjustments
- 24-Pin Narrow DIP Package
- Operates from Single or Dual Supplies

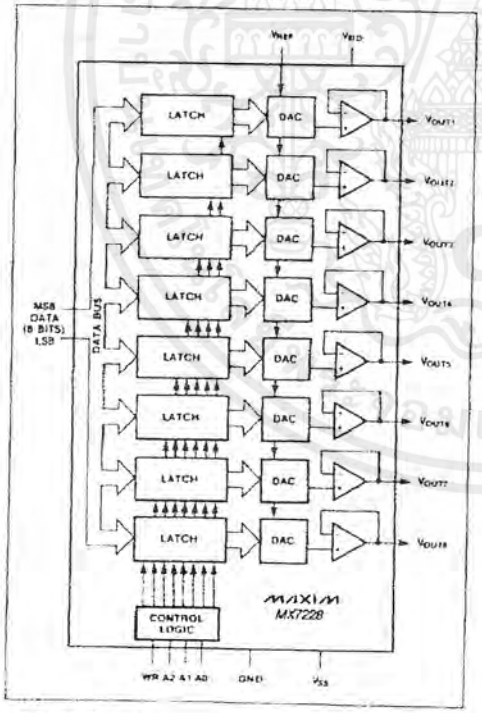
Applications

Minimum Component Count Analog Systems
Digital Offset/Gain Adjustment
Industrial Process Control
Arbitrary Function Generators
Automatic Test Equipment

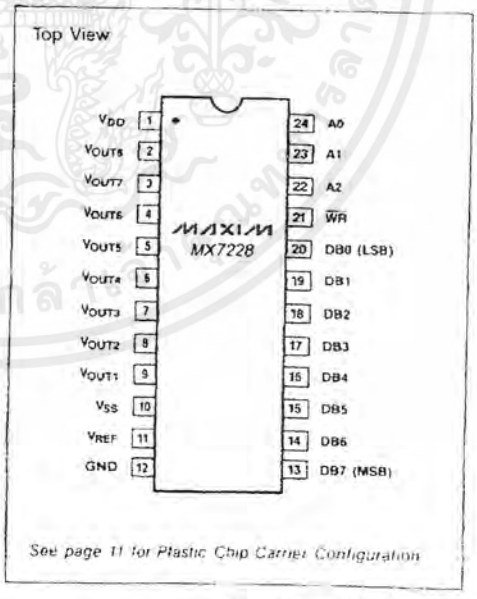
Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PACKAGE	ERROR
MX7228KN	0°C to +70°C	Plastic DIP	±2 LSB
MX7228LN	0°C to +70°C	Plastic DIP	±1 LSB
MX7228KCWG	0°C to +70°C	Wide SO	±2 LSB
MX7228LCWG	0°C to +70°C	Wide SO	±1 LSB
MX7228K/D	0°C to +70°C	Dice	±2 LSB
MX7228KP	0°C to +70°C	PLCC	±2 LSB
MX7228LP	0°C to +70°C	PLCC	±1 LSB
MX7228BQ	-25°C to +85°C	CERDIP	±2 LSB
MX7228CQ	-25°C to +85°C	CERDIP	±1 LSB
MX7228TQ	-55°C to +125°C	CERDIP	±2 LSB
MX7228UQ	-55°C to +125°C	CERDIP	±1 LSB

Typical Operating Circuit



Pin Configuration



See page 11 for Plastic Chip Carrier Configuration

For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-1293; Rev 0; 4/97

MAXIM

1ppm/°C, Low-Noise, +2.5V/+4.096V/+5V Voltage References

General Description

The MAX6325/MAX6341/MAX6350 are low-noise, precision voltage references with extremely low, 0.5ppm/°C typical temperature coefficients and excellent, ±0.02% initial accuracy. These devices feature buried-zener technology for lowest noise performance. Load-regulation specifications are guaranteed for source and sink currents up to 15mA. Excellent line and load regulation and low output impedance at high frequencies make them ideal for high-resolution data-conversion systems up to 16 bits.

The MAX6325 is set for a 2.500V output, the MAX6341 is set for a 4.096V output, and the MAX6350 is set for a 5.000V output. All three provide for the option of external trimming and noise reduction.

Features

- ♦ **Ultra-Low, 1ppm/°C Max Tempco**
- ♦ **Very Low, 1.5µVp-p Noise (0.1Hz to 10Hz) (MAX6325)**
- ♦ **±0.02% Initial Accuracy (MAX6350)**
- ♦ **±15mA Output Source and Sink Current**
- ♦ **Low, 18mW Power Consumption (MAX6325)**
- ♦ **Industry-Standard Pinout**
- ♦ **Optional Noise Reduction and Voltage Trim**
- ♦ **Excellent Transient Response**
- ♦ **8-Pin SO Package Available**
- ♦ **Low, 30ppm/1000h Long-Term Stability**
- ♦ **Stable for All Capacitive Loads**

Applications

High-Resolution Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Converters

High-Accuracy Reference Standard

High-Accuracy Industrial and Process Control

Digital Voltmeters

ATE Equipment

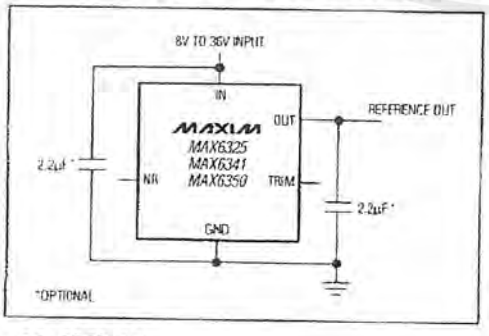
Precision Current Sources

Ordering Information

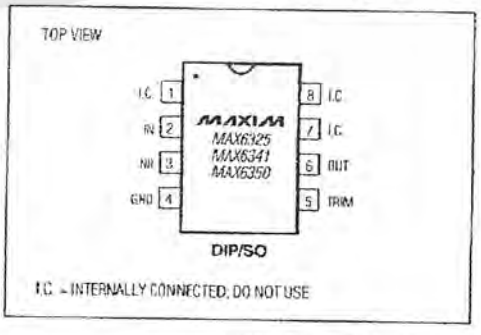
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE	MAX TEMPCO (ppm/°C)
MAX6325CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP	1.0
MAX6325CSA	0°C to +70°C	8 SO	1.0
MAX6325EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP	1.5
MAX6325ESA	-40°C to +85°C	8 SO	1.5
MAX6325MJA	-55°C to +125°C	8 CERDIP	2.5

Ordering Information continued at end of data sheet.

Typical Operating Circuit

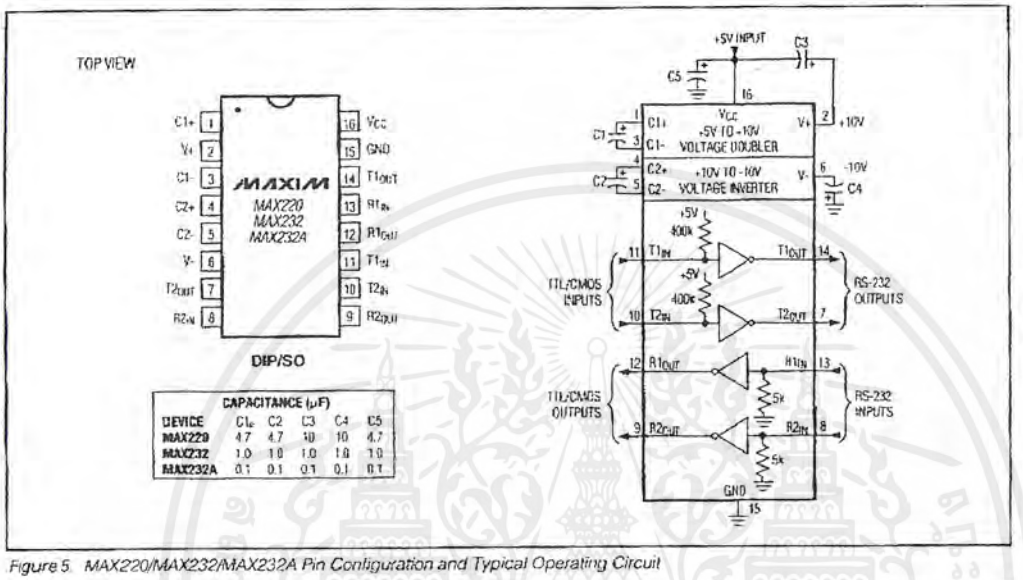


Pin Configuration



For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CAPACITANCE (µF)					
DEVICE	$C1_+$	C2	C3	C4	C5
MAX220	4.7	4.7	10	10	4.7
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

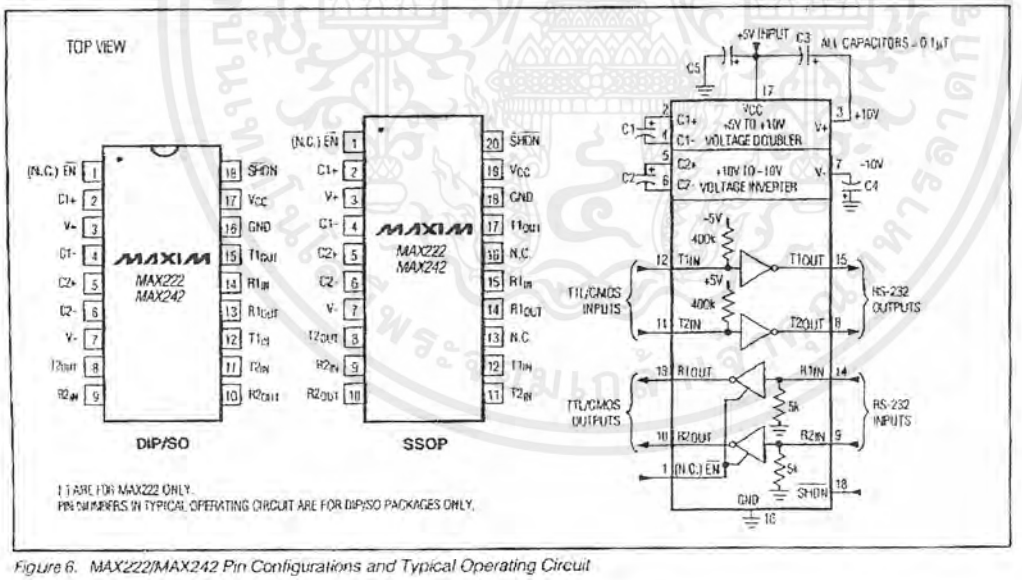


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-1224, Rev 0; 4/97

MAXIM

High-Output-Drive, Precision, Low-Power, Single-Supply, Rail-to-Rail I/O Op Amps with Shutdown

General Description

The MAX4165–MAX4169 family of operational amplifiers combines excellent DC accuracy with high output current drive, single-supply operation, and Rail-to-Rail® inputs and outputs. These devices operate from a single +2.7V to +6.5V supply, or from dual ±1.35V to ±3.25V supplies. They typically draw 1.2mA supply current, and are guaranteed to deliver 80mA output current.

The MAX4166/MAX4168 have a shutdown mode that reduces supply current to 38µA per amplifier and places the outputs into a high-impedance state. The MAX4165–MAX4169's precision performance combined with high output current, wide input/output dynamic range, single-supply operation, and low power consumption makes them ideal for portable audio applications and other low-voltage, battery-powered systems. The MAX4165 is available in the space-saving 5-pin SOT23 package.

Selector Guide

PART	AMPS PER PACKAGE	SHUTDOWN MODE
MAX4165	Single	—
MAX4166	Single	Yes
MAX4167	Dual	—
MAX4168	Dual	Yes
MAX4169	Quad	—

Applications

Portable/Battery-Powered Audio Applications
Portable Head-Phone Speaker Drivers
Laptop/Notebook Computers
Sound Ports/Cards
Set-Top Boxes
Cell Phones
Hands-Free Car Phones (kits)
Signal Conditioning
Digital-to-Analog Converter Buffers
Transformer/Line Drivers
Motor Drivers

Typical Operating Circuit appears at end of data sheet.

Rail-to-Rail is a registered trademark of Nippon Motorola Ltd.

Features

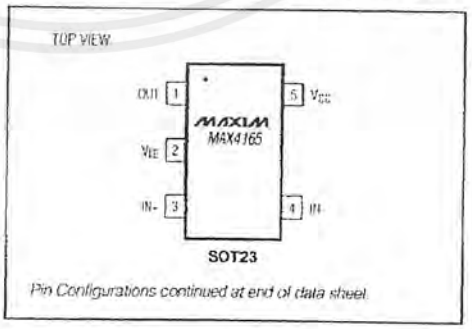
- ♦ **80mA (min) Output Drive Capability**
- ♦ **Rail-to-Rail Input Common-Mode Voltage Range**
- ♦ **Rail-to-Rail Output Voltage Swing**
- ♦ **1.2mA Supply Current per Amplifier**
- ♦ **+2.7V to +6.5V Single-Supply Operation**
- ♦ **5MHz Gain-Bandwidth Product**
- ♦ **250µV Offset Voltage**
- ♦ **120dB Voltage Gain (R_L = 100kΩ)**
- ♦ **88dB Power-Supply Rejection Ratio**
- ♦ **No Phase Reversal for Overdriven Inputs**
- ♦ **Unity-Gain Stable for Capacitive Loads to 250pF**
- ♦ **Low-Power Shutdown Mode:**
  Reduces Supply Current to 38µA
  Places Outputs in High-Impedance State
- ♦ **Available in 5-Pin SOT23 Package (MAX4165)**

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE	SOT TOP MARK
MAX4165EUK-T	-40°C to +85°C	5 SOT23-5	AABY
MAX4166EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP	—
MAX4166ESA	-40°C to +85°C	8 SO	—
MAX4166EUA	-40°C to +85°C	8 µMAX	—

Ordering Information continued at end of data sheet.

Pin Configurations



SOT23

Pin Configurations continued at end of data sheet.

For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

- อาจารย์ คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ สำหรับคำแนะนำต่าง ๆ
- อาจารย์ พรสุข ที่ช่วยเหลือในการให้ใช้ห้อง Process
- พี่อั๋น ที่ให้ยืมคอมพิวเตอร์มาใช้งาน
- นาย สันติ ตั้งสกุล ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ มากมาย
- นาย อ๋อง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องโปรแกรมต่าง ๆ
- ต็อก,ศักดิ์,พี่อั๋น ที่ให้ยืมห้องในการทำโปรเจค
- เพื่อนภาคคอนโทรลทุก ๆ คน สำหรับกำลังใจที่ทำให้โครงงานนี้ลุล่วงได้ด้วยดี
- อาจารย์ภาคคอนโทรลทุก ๆ ท่าน สำหรับความรู้ต่าง ๆ และคำปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กนก กุสุมาลย์นุกูล , ไกรวุฒิ มั่นเสถียรสิน, "คู่มือการเขียนโปรแกรม Delphi 4", บริษัท ซัคเซสมีเดีย จำกัด ,422 หน้า

2. "โครงงาน HOBBY ELECTRONICS 5" , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 121 –128

3. รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ , "เรียน/เล่น/ใช้ ไอซีดิจิตอล", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

4. "เทคนิคการใช้งานอัลตราโซนิกทรานดิวเซอร์ สำหรับนักทดลอง", วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เล่มที่ 44 ปี 2527

5. Robert Boylested and Louis Nashelsky , "Electronic Device And Circuit Theory , Sixth Edition" , Prentice-Hall 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้