



เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

โดย

1. นาย เกริกเกียรติ กฤษกลาง รหัส B4900443
2. นาย สมชาติ แสนกล้า รหัส B4906520
3. นาย วิทยา โหมตเจริญ รหัส B4918844

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม

และวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2552

โครงการ	เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	
จัดทำโดย	นาย เกริกเกียรติ กฤษกลาง	
	นาย สมชาติ แสนกล้า	
	นาย วิทยา โหมคเจริญ	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์	กระฉอดนอก
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษาที่	3/ 2552	

บทคัดย่อ

โครงการ เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนี้ ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้คลื่นอัลตรา-โซนิกเพื่อวัดระยะทาง โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นเสียง เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนี้ประกอบด้วย ภาคส่ง ภาครับและภาคประมวลผล ในภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิกใช้ไอซีไทม์เมอร์ในโหมดอะสเตเบิลเป็นตัวสร้างสัญญาณที่มีความถี่ 40 กิโลเฮิร์ต ส่วนในภาครับคลื่นอัลตราโซนิกจะใช้ไอซีออปแอมป์ 2 เซต เป็นตัวขยายสัญญาณ และภาคประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATMEGA16 เป็นหน่วยประมวลผลระยะทาง ความเร็วคลื่น และเวลาที่ใช้ โดยค่าระยะทาง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคลื่นจะแสดงผลออกทางจอแอลซีดี เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนี้สามารถวัดระยะทางได้ในช่วง 0.5 ถึง 3.5 เมตร และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมไม่เกิน 1.42 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการนี้จะมีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าหากมิได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก ผู้ที่ได้ให้คำปรึกษาทั้งข้อมูลต่างๆในด้านวิชาการและให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน อีกทั้งยังให้กำลังใจและคำแนะนำเมื่อเกิดปัญหาในการทำงาน ส่งผลให้คณะผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆอย่างมากมาย

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ พี่ๆและเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของการเขียนโปรแกรมและเครื่องมือในการทดลอง

สุดท้ายนี้ คุณงามความดีที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ขอมอบแก่บิดามารดา ผู้ที่คอยห่วงใย ให้กำลังใจ ให้โอกาส และให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด



นาย เกริกเกียรติ กฤษกลาง
นาย สมชาติ แสนกล้า
นาย วิทยา โหมคเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ธรรมชาติของเสียง	3
2.2 อัดรี้าโซนิคทรานสดิวเซอร์	7
2.3 ไอซีไทม์เมอร์ เบอร์ 555	13
2.4 ออปแอมป์	17
2.5 ไดโอด(Diode)	23
2.6 ซีเนอร์ไดโอด(Zener diode)	26
2.7 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)	27
2.8 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATMEGA16	31
2.9 ซีมอสอินเวอร์เตอร์ (CMOS inverter)	38
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างวงจร	
3.1 การออกแบบวงจรภาคส่งคลื่นอัดรี้าโซนิค	41
3.2 การออกแบบวงจรภาครับคลื่นอัดรี้าโซนิค	44
3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และการโปรแกรม	45
3.4 การสร้างวงจร	61

บทที่ 4 การทดลอง	
4.1 บทนำ	64
4.2 การทดลองวัดระยะทางโดยให้คลื่นสะท้อนกับผนังคอนกรีตเรียบ	64
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	66
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลโครงการ	67
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างทำโครงการและวิธีแก้ปัญหา	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก Datasheet	70
ประวัติผู้เขียน	73



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดเสียงที่มีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม	4
รูปที่ 2.2 การแทรกสอดของเสียงแบบต่างๆ (ก) ส่วนอัดเจอกัน เกิดการเสริมกัน เกิดเสียงดัง (ข) ส่วนขยายเจอกัน เกิดการเสริมกัน เกิดเสียงค่อย (ค) ส่วนอัดเจอส่วนขยาย เกิดการหักล้างกัน เกิดเสียงเบาหรือเงียบ	7
รูปที่ 2.3 กระบวนการรับรู้	8
รูปที่ 2.4 (ก) โครงสร้างภายในตัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก ที่ใช้สารเซรามิก (ข) เมื่อป้อนแรงดันให้กับตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิกโก่งงอไปมา ทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิคกระจายไปในอากาศ	9
รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (ก) ตัวรับ (ข) ตัวรับ	10
รูปที่ 2.6 แสดงผลการทดลองตัวรับและตัวส่งอัลตราโซนิค โดยลองเปลี่ยนโหลดและความถี่ ที่ป้อน เป็นค่าต่างๆ	11
รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต	12
รูปที่ 2.8 ผังไดอะแกรมของไอซี 555	14
รูปที่ 2.9 การต่อไอซี 555 ให้ทำงานใน โหมดอะสเตเบิล	15
รูปที่ 2.10 แรงดัน $v_o(t)$ และ $v_c(t)$	16
รูปที่ 2.11 (ก) สัญลักษณ์ของออปแอมป์ (ข) สัญลักษณ์ของออปแอมป์จริง	18
รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของออปแอมป์	19
รูปที่ 2.13 ออปแอมป์ในอุดมคติ	19
รูปที่ 2.14 วงจรป้อนกลับแบบลบ	20
รูปที่ 2.15 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว	21
รูปที่ 2.16 วงจรขยายแบบกลับขั้ว	22
รูปที่ 2.17 การต่อวงจรแบบคาสเคด	23
รูปที่ 2.18 การต่อวงจรขยายแบบกลับขั้ว	23
รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของไดโอด	24
รูปที่ 2.20 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier)	24
รูปที่ 2.21 การไหลของกระแสเมื่อป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งบวก	25
รูปที่ 2.22 การไหลของกระแสเมื่อป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งลบ	25

รูปที่ 2.23 (ก) สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด	
(ข) กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันย้อนกลับกระแสย้อนกลับ	26
รูปที่ 2.24 วงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator)	27
รูปที่ 2.25 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) ชนิด PNP (ข) ชนิด NPN	28
รูปที่ 2.26 (ก) วงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมต่อดัวยทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	28
(ข) วงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมต่อดัวยทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	29
รูปที่ 2.27 (ก) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (ข) กราฟระหว่าง I_E และ V_{BE}	30
รูปที่ 2.28 กราฟระหว่าง I_C และ V_{CE}	30
รูปที่ 2.29 วงจรโปรแกรมด้วยพอร์ตขนาน	32
รูปที่ 2.30 ขาพอร์ทของ AVR	36
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการต่อใช้งาน โมดูล LCD กับพอร์ท PB	37
รูปที่ 2.32 วงจรซิมอสอินเวอร์เตอร์	39
รูปที่ 3.1 การทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	40
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการใช้งานของไอซีเบอร์ 555 แบบอะสเตเบิล	41
รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก	42
รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิกจริง	43
รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมวงจรขยายสัญญาณในภาครับคลื่นอัลตราโซนิก	44
รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณในภาครับคลื่นอัลตราโซนิกจริง	45
รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมวงจรต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์	46
รูปที่ 3.8 วงจรต่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จริง	46
รูปที่ 3.9 flow chart	48
รูปที่ 3.10 (ก) ลายวงจรภาครับ (ข) ลายวงจรภาคส่ง	62
(ค) ลายวงจรภาคประมวลผล	63
รูปที่ 4.1 ลักษณะการใช้งานเครื่องวัดระยะทาง	64
รูปที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดทดสอบกับผนังคอนกรีตเรียบ	66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชื่อขาและหน้าที่ของไอซีโทรมเมอเบอร์ 555	14
ตารางที่ 2.2 ตารางความจริงของ CMOS inverter	39
ตารางที่ 4.1 การทดลองวัฏระยะทางโดยให้คลื่นสะท้อนกับผนังคอนกรีตเรียบ	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันรถยนต์มีส่วนสำคัญในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ช่วยให้เกิดความสะดวกสบายอย่างยิ่งในการเดินทาง แต่ในสถานะของรถยนต์ที่มีมากขึ้นทำให้เวลาทำการจอดรถในสถานที่ต่างๆ จึงมีพื้นที่น้อย การที่จะเข้าจอดในที่แคบๆไม่ว่าจะเป็นลานจอดรถหรือบริเวณถนนมักมีอุบัติเหตุขึ้นบ่อยๆทำให้เกิดความสูญเสียขึ้น จึงได้เกิดแนวคิดเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อช่วยประมาณระยะทางจอดรถขึ้น

ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการช่วยประมาณระยะทางจอดรถ โดยสร้างวงจรกำเนิดความถี่ประมาณ 40 kHz เพื่อทำการส่งและรับคลื่นเสียงนี้ ผ่านทางตัวส่งและตัวรับคลื่น ซึ่งสามารถแปลงสัญญาณไปมาระหว่างสัญญาณไฟฟ้าและสัญญาณเสียง จากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วเพื่อแสดงผลออกทางจอแอลซีดี ซึ่งการใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีคือ ทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กและสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบได้โดยการแก้ไขโปรแกรม ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกในการปรับปรุงการทำงานในภายหลัง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิก
2. ศึกษาและออกแบบการทำงานของวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก
3. ศึกษาและออกแบบการทำงานของวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและแสดงผล

1.3 ขอบเขตงาน

1. สร้างวงจรภาคส่งและภาครับคลื่นอัลตราโซนิก
2. เขียนโปรแกรมคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและแสดงผล
3. ทดสอบการใช้งานให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูล
2. ศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรภาครับและภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก
3. เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา
4. หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้
5. สร้างและทดสอบการทำงานของวงจรภาครับและภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก
6. ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
7. ประกอบวงจรและทดสอบการทำงานของวงจรรวม
8. เขียนโปรแกรมคำสั่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และทดสอบการทำงาน
9. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน
10. นำเสนอโครงการ

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้หลักการประยุกต์ใช้งานคลื่นอัลตราโซนิกในการวัดระยะทาง
2. ได้เรียนรู้หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. รู้จักการสร้างวงจรภาครับและภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก
4. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาซี เพื่อสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจร และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเครื่องวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก ประกอบด้วย ทฤษฎีเสียง, อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ,ไอซีไมโครเบอร์เบอร์ 555, ออปแอมป์ ,ไคโอด,ซีเนอร์ไคโอด, ทรานซิสเตอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATMEGA16 ,และซีมอสอินเวอร์เตอร์

2.1 ธรรมชาติของเสียง (Sound)

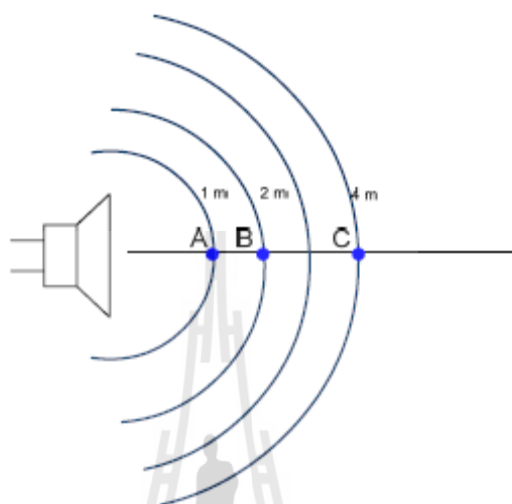
เสียงเป็นการถ่ายทอดพลังงานที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ เช่น การสั่นของส้อมเสียง สายกีตาร์ สายไวโอลิน ทำให้โมเลกุลของอากาศข้างเคียงได้รับพลังงานแล้วเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือ ออสซิลเลต คลื่นเสียงเป็นคลื่นกล หมายความว่า เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ ดังนั้นคลื่นเสียงไม่สามารถส่งผ่านสุญญากาศได้ นอกจากนี้คลื่นเสียงเป็น คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เพราะว่าโมเลกุลของตัวกลางเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็น ช่วงอัดและช่วงขยาย

เสียงจะเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางในลักษณะเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของเกลียวสปริง นั่นคือ มีการถ่ายเทพลังงานเสียงจากแหล่งกำเนิดให้กับโมเลกุลตัวกลางที่อยู่รอบๆ นั่นคือ ทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการสั่นสะเทือน การเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศทำให้มีบางบริเวณมีโมเลกุลอากาศอยู่หนาแน่น นั่นคือความดันอากาศบริเวณนั้นสูงกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนอัด และบางบริเวณมีโมเลกุลของอากาศอยู่เบาบาง นั่นคือความดันอากาศบริเวณนั้นต่ำกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนขยาย ทั้ง 2 ส่วนเกิดสลับกันเป็นช่วง ๆ และเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ จนถึงแหล่งรับเสียง ระยะห่างระหว่างส่วนอัด 2 ส่วน หรือส่วนขยาย 2 ส่วนที่อยู่ติดกัน เรียกว่า ความยาวคลื่นเสียง

ธรรมชาติของเสียง หมายถึง คุณสมบัติเฉพาะตัวของเสียงที่ทำให้สามารถจำแนกความแตกต่างของเสียงได้ ความแตกต่างของเสียงมีอยู่ด้วยกัน 3 ประการ คือ

1. ระดับเสียง (Pitch) คือ ความสูงต่ำของความถี่เสียงขึ้นกับความถี่ของแหล่งกำเนิด เสียงที่มีความถี่สูงจะทำให้เสียงแหลมและเสียงความถี่ต่ำจะให้เสียงทุ้ม โดยปกติหูของมนุษย์สามารถรับฟังเสียงในช่วงความถี่ 20- 20,000 เฮิรตซ์ เสียงที่มีความถี่ต่ำหรือสูงกว่านี้จะไม่สามารถรับฟังได้ เรียกเสียงที่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ ว่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงียบ และเรียกเสียงที่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ ว่าอินฟราโซนิก (Infrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงียบเช่นกัน

2. ความดังของเสียง (Loudness) คือ ความค่อย – ดังของเสียง วัดได้จากความเข้มเสียงมีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร นั่นคือกำลังเสียงที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่รองรับ 1 ตารางหน่วยเสียงจะดังหรือค่อยขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด เสียงดังมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าเสียงค่อย แหล่งกำเนิดเสียงมักให้คลื่นออกมามีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลมและกำลังเสียงของแหล่งกำเนิดมีค่าคงที่ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดเสียงที่มีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม

ความเข้มเสียง ณ จุดใด ๆ คือกำลังงานของเสียงที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ I เป็นความเข้มของเสียง

P เป็นพลังงานของเสียง

A เป็นพื้นที่รองรับกำลังงานของเสียงเมื่อพื้นที่เป็นทรงกลม จะได้ $A = 4\pi R^2$

โดย R เป็นรัศมีของวงกลม

ถ้าไม่มีการดูดกลืนกำลังของเสียงที่ออกมาจากต้นกำเนิดก็จะทำให้ได้ว่า P ในสมการที่ (2.1) ตรงบริเวณผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงก็จะเป็นปริมาณเดียวกัน

เนื่องจากกำลังก็คือค่าของพลังงานต่อเวลา ดังนั้นถ้าให้ E เป็นพลังงานของเสียงที่แผ่ออกมาหาผู้สังเกตในเวลา t วินาทีและต้นกำเนิดกระจายเสียงเป็นรูปทรงกลมโดยผู้สังเกตยืนห่างจากต้นกำเนิดเป็นระยะ r ก็จะทำได้เขียนสมการความเข้มของเสียงได้ว่า

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

ปริมาณที่ใช้บอกถึงความดังของเสียงอีกปริมาณหนึ่ง คือ ระดับความเข้มของเสียง โดยกำหนดว่า ระดับความเข้มเสียงที่มีความเข้มเป็น I มีค่าเป็น β โดยที่

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

เมื่อ β เป็นระดับความเข้มของเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล

I เป็นความเข้มเสียง

และ I_0 เป็นระดับความเข้มเสียงที่น้อยที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยินหรือ I_0 เท่ากับ 10^{-12}

วัตต์ / ตารางเมตร

ระดับความเข้มของเสียงที่น้อยที่สุดที่ประสาทหูของคนเราจะรับรู้ได้มีค่าเป็น 0 เดซิเบล และระดับความเข้มที่มากที่สุดที่หูของคนเรารับฟังได้โดยไม่เป็นอันตรายมีค่าเป็น 120 เดซิเบล

3. คุณภาพของเสียง (Quality) คือลักษณะเฉพาะตัวของแหล่งกำเนิดเสียง มิได้หมายถึงเสียงดีหรือไม่ดี คุณภาพเสียงแต่ละคนแตกต่างกันด้วย เพราะแต่ละคนมีแหล่งกำเนิดเสียงที่สั้นด้วยความถี่ต่างกัน

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นตามยาวต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงจึงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ ความหนาแน่น สมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง และอุณหภูมิของตัวกลางนั้น ๆ โดยอัตราเร็วของเสียงในอากาศ < อัตราเร็วของเสียงในของเหลว < อัตราเร็วของเสียงในของแข็ง ตามลำดับ

อัตราเร็วของเสียงในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สำหรับตัวกลางที่เป็นอากาศจะได้ว่าอัตราเร็วของเสียงในหน่วย เมตร/วินาที มีค่าแปรผันตรงกับรากอันดับที่สองของอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส เมื่อให้ v เป็นอัตราเร็วของเสียงในหน่วยของ เมตร/วินาที และ T เป็นอุณหภูมิของอากาศในหน่วยเคลวิน ดังสมการ

$$v \propto \sqrt{T}$$

ถ้าให้ k เป็นค่าคงที่ของการแปรผัน ก็สามารถเขียนสมการข้างบนได้ว่า

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

ที่ความดันปกติอัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 331 เมตร / วินาที เมื่อ t เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จะให้ความสัมพันธ์ของ t และ T ดังสมการ

$$T=t+273 \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) ที่ 0 องศาเซลเซียสจะได้

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

จากสมการที่ (2.4) ถ้าให้ v_t เป็นอัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ t ใด ๆ จะได้

$$v_t = k\sqrt{t+273} \quad (2.7)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.6) ไปหารสมการที่ (2.7) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{v_t}{331} &= \sqrt{\frac{t+273}{273}} \\ v_t &= 331\sqrt{1+\frac{t}{273}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

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

$$\begin{aligned} \sqrt{1+\frac{t}{273}} &\approx 1+\left(\frac{1}{2} \times \frac{t}{273}\right) \\ &\approx 1+\frac{t}{546} \end{aligned} \quad (2.9)$$

เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.9) ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$v_t \approx 331\left(1+\frac{t}{546}\right) \quad (2.10)$$

เนื่องจาก $\frac{331}{546}$ มีค่าเท่ากับ 0.6 จึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียงในอากาศกับอุณหภูมิเป็น

ดังสมการ

$$v_t \approx 331+0.6t \quad (2.11)$$

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น ดังนั้นสมการอัตราเร็วของเสียงจึงเหมือนสมการคลื่นทั่ว ๆ ไป คือ

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

เมื่อ v เป็นความเร็ว (m/s) f เป็นความถี่ (Hz) และ λ เป็นความยาวคลื่น (m)

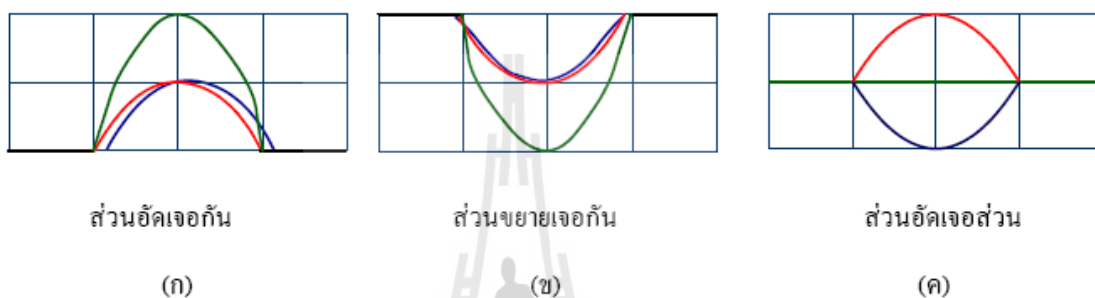
เนื่องจากเสียงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ดังนั้นเสียงจะมีคุณสมบัติครบ 4 ประการ คือ การสะท้อน การแทรกสอดของเสียง การหักเห และการเลี้ยวเบน ซึ่งจะได้กล่าวถึงคุณสมบัติของคลื่นแต่ละชนิดดังนี้

2.1.1 การสะท้อนของคลื่น การสะท้อนเป็นไปตามกฎการสะท้อน ซึ่งกล่าวว่า

1. ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อน และเส้นแนวฉากวางตัวอยู่บนระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

กฎการสะท้อนเป็นจริงเสมอ ไม่ว่าคลื่นจะเคลื่อนที่ไปกระทบแผ่นสะท้อนที่มีรูปร่างเป็นเส้นตรงหรือไม่ก็ตาม หน้าคลื่นจะเป็นคลื่นหน้าตรงหรือโค้งก็ได้ และการสะท้อนไม่ทำให้ความถี่ของคลื่นเปลี่ยนไป

2.1.2 การแทรกสอดของคลื่น เมื่อมีคลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่น 2 แหล่งที่มีความยาวคลื่น ความถี่ และแอมพลิจูดเท่ากัน โดยมีเฟสตรงกันหรือตรงข้ามกันเคลื่อนที่มาพบกัน จะเกิดการซ้อนทับระหว่างคลื่นต่อเนื่องทั้งสอง การแทรกสอดของเสียงแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแทรกสอดของเสียงแบบต่างๆ (ก) ส่วนอัดเจอกัน เกิดการเสริมกัน เกิดเสียงดัง (ข) ส่วนขยายเจอกัน เกิดการหักล้างกัน เกิดเสียงเบาหรือเงียบ (ค) ส่วนอัดเจอกับส่วนขยาย เกิดการหักล้างกันเกิดเสียงเบาหรือเงียบ

2.1.3 การหักเหของคลื่น เมื่อคลื่นแผ่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งแล้วอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นในตัวกลางทั้งสองไม่เท่ากัน จึงทำให้แนวการแผ่ของคลื่นเปลี่ยนไป

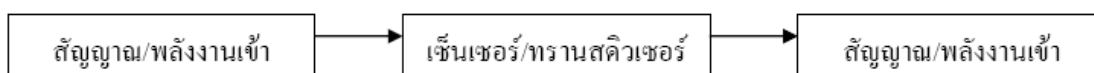
2.1.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง คลื่นที่กระทบสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อน แต่จะมีคลื่นอีกส่วนหนึ่งที่เคลื่อนที่แผ่อ้อมสิ่งกีดขวางไปทางด้านหลังได้ เรียกว่าเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่น ถ้าสิ่งกีดขวางนั้น มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น คลื่นนั้นจะเคลื่อนที่กระจายออกจากสิ่งกีดขวางไม่เกิดการเลี้ยวเบน ดังนั้นการเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดโตกว่าความยาวคลื่น

2.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)

เมื่อกกล่าวถึงคำว่า อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้น สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางที่แน่นอน ทำให้สามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้ตามที่เจาะจงเรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่งซึ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้เสียงนั้นออกมาของ

ตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 เฮิร์ตซ์ ในอากาศ จะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าของที่ให้เสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะเบี่ยงเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิกส์อย่างเช่น 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มิลลิเมตรเท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากๆ คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เรียกว่ามีทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียง ย่านอัลตราโซนิกส์ทำให้นำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น การนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (ultrasonic cleaner) น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัด ความหนาของวัตถุโดยส่งกระแยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วของท่อเป็นต้น โดย ความถี่ที่ใช้ขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัด เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพราะที่ความถี่สูงขึ้นมาอากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ ระดับความแรงของคลื่นเสียง ที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10 เมกกะเฮิร์ตซ์

ส่วนทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบ หนึ่ง ในทางอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น ความร้อน, ระยะทาง, เสียงและน้ำหนัก เป็นต้น ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำเอา สัญญาณไฟฟ้าไปประมวลผลต่อไปตัวอย่างทรานสดิวเซอร์ เช่น เทอร์โมคัปเปิ้ล, โพลดเชลล์, อัลตราโซนิก เป็นต้น เซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพ และเป็นค่าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลง ส่วนทรานสดิวเซอร์ใช้กับเซ็นเซอร์ บวกกับวงจรที่เกี่ยวข้อง เช่น ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิกหรืออัลตราโซนิกเซ็นเซอร์สามารถรับรู้การ เปลี่ยนแปลงของคลื่นเสียงแล้วเปลี่ยนพลังงานเสียงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้และตัวส่งคลื่นอัลตรา โซนิกหรืออัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สามารถเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงได้ ซึ่งตัวรับรู้ส่วนใหญ่จะเป็นทรานสดิวเซอร์ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3

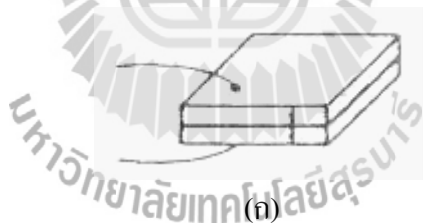


รูปที่ 2.3 กระบวนการรับรู้

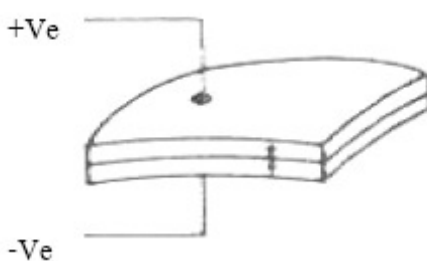
ดังนั้นอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าโดยสร้างพัลส์ที่มีความถี่อัลตราโซนิกป้อนให้กับตัวมัน พลังงานไฟฟ้านี้จะกลายเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้ ในทางกลับกันจะแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ ชนิดที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ 1.เพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) แปลงพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อย่างค่าหนึ่ง

2.แมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) แปลงพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่ 3.อิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) แปลงพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

ในงานโครงการนี้จะใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก เพราะเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันและมีราคาถูก ภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกประกอบด้วย ชั้นสารเซรามิกสี่เหลี่ยม มีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 ด้านเพื่อใช้ต่อสายไฟออกมาเป็นขาของตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ 2 ขาดังรูปที่ 2.4(ก) ชั้นสารเซรามิกนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิก 2 ชั้น วางประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วโคโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกันดังรูป 2.4 (ข)



รูปที่ 2.4 (ก) โครงสร้างภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก



(ข)

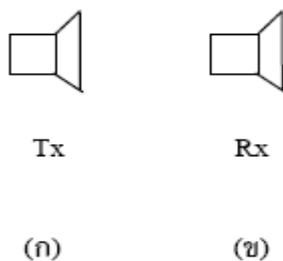
รูปที่ 2.4 (ข) เมื่อป้อนแรงดันให้กับตัวมันจะทำให้ชั้นสารเซรามิกโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ

ชิ้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นในขณะที่ยานทำงานได้รับการกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ตัวถังที่ทำมาจากโลหะควรต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์

2.2.1 การทำงานของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิกมี 2 ชนิด คือ ตัวส่ง (Transmitter) และ ตัวรับ (Receiver)

2.2.1.1 ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก คืออัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก เปรียบได้กับการทำงานเป็นลำโพง มีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.2 (ก) เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิกดังรูปที่ 2.4 (ข) จะทำให้ชิ้นสารโค้งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทาง การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้น กระจายออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาต์พุตที่ออกมาจะมีค่าประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าที่ความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิก ส่วนที่ความถี่อื่นกำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้มาก

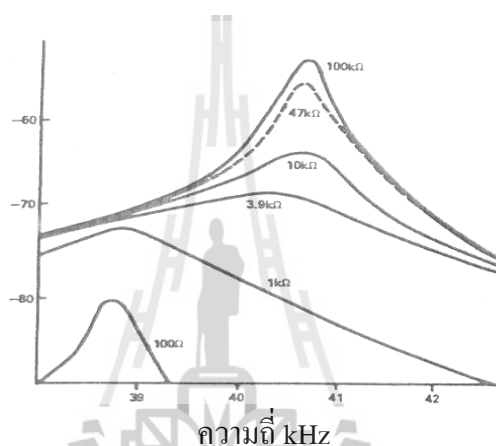
2.2.1.2 ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก คืออัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกที่มากกระทบตัวมันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เปรียบได้กับการทำงานเป็นไมโครโฟนมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.5 (ข) เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์เข้ามากระทบชิ้นสารเซรามิก จะทำให้ชิ้นสารโค้งงอไปมาทำให้เกิดสัญญาณแรงดันขนาดเล็กตกคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกมีค่าความต้านทานสูงมาก



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (ก) ตัวส่ง (ข) ตัวรับ

2.2.1.3 การใช้งานตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก จะต้องต่อตัวต้านทานขนานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานจะมีค่าในช่วง $10\text{ k}\Omega$ ถึง $100\text{ k}\Omega$ จากคุณสมบัติที่ได้จากการทดลอง ถ้าเปลี่ยนโหลดจาก $100\text{ k}\Omega$ มาเป็น $10\text{ k}\Omega$ ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 20 dB และแถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานน้อยลง ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูง เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ ตัวอย่างการทดสอบแสดงไว้ดังรูปที่ 2.6

ความไวของการรับ (dB)



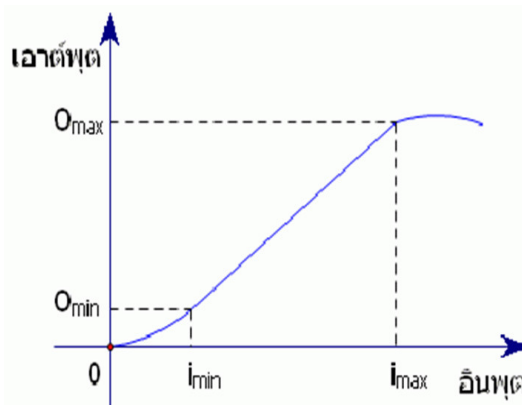
รูปที่ 2.6 แสดงผลการทดลองตัวรับและตัวส่งอัลตราโซนิก โดยลองเปลี่ยนโหลดและความถี่ที่ป้อนเป็นค่าต่างๆ

2.2.2 ความไว (Sensitivity) นิยามในเทอมของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต โดยทั่วไปแล้วความไวเป็นอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต ดังสมการ

$$\text{ความไว} = \frac{\Delta \text{output}}{\Delta \text{input}} \quad (2.13)$$

หน่วยของความไวหาได้จากนิยามตามสมการที่ (2.13) ซึ่งเปลี่ยนไปตามคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดและปริมาณที่ถูกวัด เช่น วัดระยะทางเป็นมิลลิเมตรด้วยเซ็นเซอร์ที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า หน่วยของความไวก็จะเป็น V/mm

มีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

2.2.3 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

เนื่องจากรายละเอียดต่าง ๆ ของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ หาได้ยาก ดังนั้นจึงได้สรุปสิ่งที่ท่านผู้อ่านควรระวังในขั้นต้น เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทก หรือ ตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้ได้รับความเสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 โวลต์ ดังนั้นขนาดสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรจะอยู่ในขีดจำกัด
3. ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะผิดพลาดไม่เกิน ± 1 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีแถบความถี่ (bandwidth) ประมาณ 4.5 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกจากตัวส่งได้
4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 องศาเซลเซียส ถึง +60 องศาเซลเซียส
5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกว่าคือ ในขณะที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศาเซลเซียส ความแรงของคลื่นแสงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกน ประมาณ 10 เดซิเบล ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้าหา

ในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศาเซลเซียส ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาจะลดลงไปประมาณ 10 เดซิเบล ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งเข้าหากันให้มากที่สุดอย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มากหน่อย เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกส์สามารถสะท้อนกับกำแพงและวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นไปหาตัวรับได้หลายทาง

6. ในกรณีที่ต้องการใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขานานกับตัวรับ เพื่อจะทำหน้าที่เป็นโหนดตามปกติแล้วค่าของตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 กิโลเฮิร์ตซ์ – 100 กิโลเฮิร์ตซ์ จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหนดจาก 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12 เดซิเบล แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานค่าต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหนดที่ค่าความต้านทานสูงสักหน่อยเพื่อให้ตัวรับมีความไวสูง และมีแถบความถี่แคบ
7. ตามปกติแล้วเราสามารถเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับยี่ห้อใด รุ่นใดก็สามารถใช้แทนกันได้ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมดุลทางด้านไฟสลับเพื่อให้ลักษณะผลตอบแทนของความถี่สอดคล้องกับของเดิม

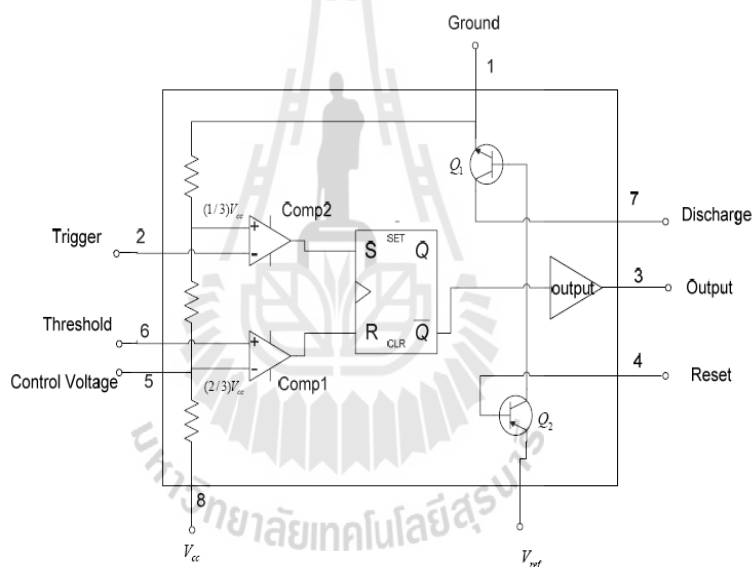
2.3 ไอซีไทม์เมอร์ เบอร์ 555

ไอซีไทม์เมอร์ เบอร์ 555 เป็นวงจรรวม ภายในตัวประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 23 ตัว ไดโอด 2 ตัว และรีซิสเตอร์ 16 ตัว เรียงกันบนชิปซิลิกอนแผ่นเดียว โดยติดตั้งในตัวถัง 8 ขา แบบมินิ DIP (dual-in-line package) ได้รับการออกแบบและประดิษฐ์ ในปี พ.ศ.2513 โดย ฮันส์ อาร์ คาเมนซินด์ (Hans R. Camenzind) ไอซีนี้รู้จักอย่างกว้างขวางในนาม "The IC Time Machine" ชื่อดีของไอซีไทม์เมอร์ เบอร์ 555 คือ ไอซีสามารถใช้งานง่าย ราคาถูก และมีเสถียรภาพที่ดี ผังโคแอดแกรมของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.8 และชื่อและหน้าที่ของขาไอซีไทม์เมอร์ เบอร์ 555 ดังตารางที่ 2.1 การนำไอซี 555 มาประยุกต์ใช้งาน เช่น ไอซี 556 เป็น DIP แบบ 14 ขา โดยอาศัยการรวมไอซี 555 จำนวน 2 ตัว บนชิปตัวเดียว ขณะที่ 558 เป็นไอซีอีกตัวหนึ่งที่พัฒนาขึ้นจาก 555 เป็น DIP

แบบ 16 ขา (quad) โดยรวมเอา 555 จำนวน 4 ตัว และมีการปรับแต่งเล็กน้อย มาไว้บนชิปตัวเดียว นอกจากนี้ยังมีรุ่นกำลังต่ำพิเศษ (ultra-low power) ของไอซี 555 นั่นคือ เบอร์ 7555 ซึ่งมีการเดินสายที่แตกต่างไปเล็กน้อย ทั้งยังมีการใช้กำลังไฟที่น้อยกว่า และอุปกรณ์ภายนอกน้อยกว่าด้วย

ไอซี 555 มีโหมดการทำงาน 3 โหมด คือ

1. **โมนอสเตเบิล (Monostable)** เป็นแบบซิงเกิ้ลช็อต หรือวันช็อต (one-shot) โดยการสร้างสัญญาณครั้งเดียว ประยุกต์การใช้งานสำหรับการนับเวลา การตรวจสอบพัลส์ สวิตช์สัมผัส ฯลฯ
2. **อะสเตเบิล (Astable)** ทำงานเป็นออสซิลเลเตอร์ การใช้งาน ได้แก่ ทำไฟกระพริบ กำเนิดพัลส์ กำเนิดเสียงเตือนภัย ฯลฯ
3. **ไบสเตเบิล (Bistable)** สามารถทำงานเป็นฟลิปฟล็อป (flip-flop) ถ้าไม่ต่อขา DIS และไม่ใช้คาปาซิเตอร์ ใช้เป็นสวิตช์ bounce free latched switches



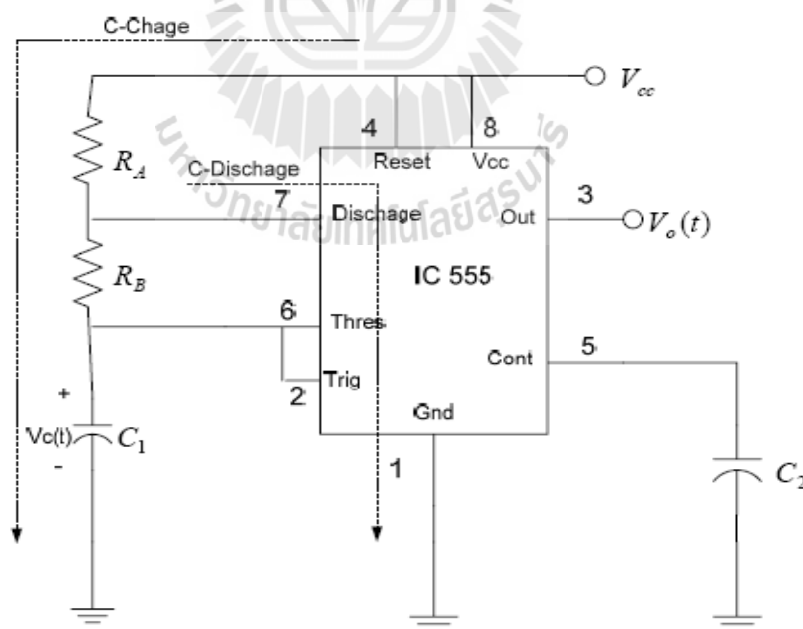
รูปที่ 2.8 ผังไดอะแกรมของไอซี 555

ตารางที่ 2.1 ชื่อขาและหน้าที่ของไอซีไทม์เมอเบอร์ 555

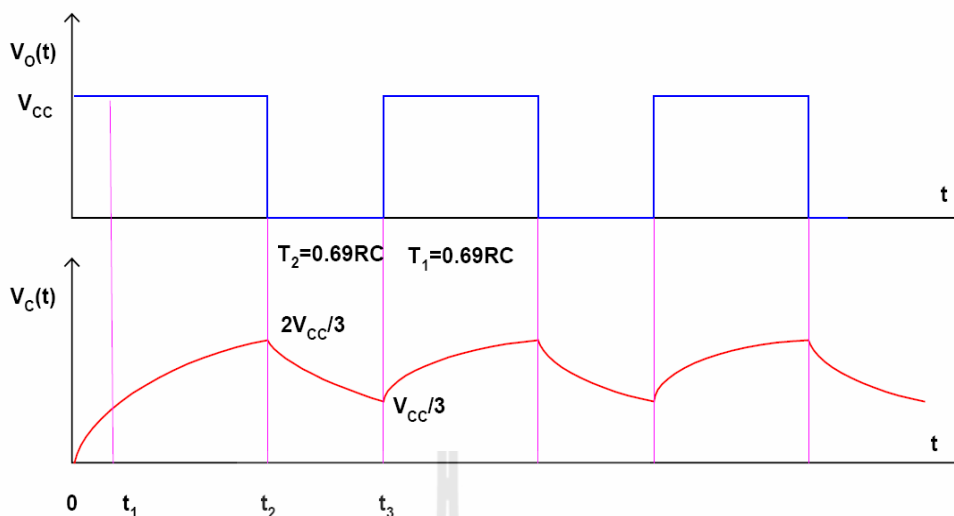
ขา	ชื่อ	หน้าที่
1	GND	กราวด์ หรือ คอมมอนส์
2	TR	พัลส์สั้นกระตุ้นทริกเกอร์เพื่อเริ่มนับเวลา
3	Q	ช่วงการนับเวลา เอาต์พุตจะอยู่ที่ $+V_{CC}$
4	R	ช่วงเวลานับ อาจหยุดโดยการใช้พัลส์รีเซ็ต
5	CV	แรงดันควบคุมยอมให้เข้าถึงตัวหารแรงดันภายใน $(2/3)V_{CC}$
6	THR	เทรชโฮลด์ที่จุดช่วงเวลานับ
7	DIS	เชื่อมต่อกับคาปาซิเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งเวลาคายประจุของมันจะมีผลต่อช่วงเวลานับ
8	V^+, V_{CC}	แรงดันจ่ายไฟบวก ซึ่งต้องอยู่ในช่วง +5 ถึง +15 V

2.3.1 หลักการทำงานของวงจระอสเตเบิล โดยใช้ไอซี 555 ในการกำเนิดพัลส์รูปสี่เหลี่ยม

จากวงจรภายในของไอซี รูปที่ 2.8 จะมีตัวต้านทาน 3 ตัวต่ออยู่เพื่อแบ่งแรงดัน เมื่อ C_1 เก็บประจุต่ำกว่า $(1/3)V_{cc}$ แรงดันที่ขาลบจะต่ำกว่าแรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์เปรียบเทียบ (comparator Op-Amp) ดังนั้นเอาต์พุตของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็น *high* ทำให้ฟลิปฟลอปอยู่ในสถานะเซต (set) ทำให้ Q เป็น *low* ขณะนี้ทรานซิสเตอร์ $Q_1 = 0 = \text{off}$ (ยังคงคายประจุจากขา 7 ไปขา 1 ไม่ได้) และ C_1 จะเก็บประจุผ่าน R_A และ R_B ดังรูปที่ 2.10 จนกระทั่งมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $(2/3)V_{cc}$ ที่ขาบวกของออปแอมป์ตัวที่ 1 (ต่อกับ C_1 ขาที่ 6) จะมีแรงดันสูงกว่าที่ขาลบเท่ากับ $V_{R2} + V_{R3} = (2/3)V_{cc}$ เอาต์พุตออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็น *high* เปลี่ยนสถานะของฟลิปฟลอปจาก $Q = 0$ เป็น $Q = 1$ Q_1 ก็จะ *on* ทำให้ C_1 คายประจุผ่าน Q_1 ที่ R_B ได้ จนกระทั่งแรงดันตกคร่อม $C_1 = (1/3)V_{cc}$ เอาต์พุตของออปแอมป์ ตัวที่ 2 จะเป็น *high* ทำให้เอาต์พุตของฟลิปฟลอปเป็น *low* ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะ *off* อีกครั้ง กระบวนการนี้จะเกิดต่อเนื่องตลอดไปผลที่ได้รับคือ V ที่ขา 3 ของไอซี 555 เป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การต่อไอซี 555 ให้ทำงานในโหมดอะอสเตเบิล

รูปที่ 2.10 แรงดัน $v_o(t)$ และ $v_c(t)$

การวิเคราะห์เวลาในการเก็บประจุและคายประจุของคาปาซิเตอร์ C_1 ในรูปที่ 2.9 และ 2.10 เราจะได้ศักย์ไฟฟ้าคร่อม C เป็นดังสมการ

$$v_c(t) = v_{cc}(1 - e^{-t/RC}) \quad (2.14)$$

กำหนดให้เวลาในการเก็บประจุของ C จาก 0 ถึง $(1/3)V_{cc}$ ใช้เวลา t_1 แทนค่าลงในสมการ (2.14) จะได้

$$(1/3)v_{cc} = v_{cc}(1 - e^{-t_1/RC})$$

แก้สมการหา t_1 จะได้

$$(-t_1/RC) = \ln(2/3) = -0.405$$

$$t_1 = 0.405RC \quad (2.15)$$

กำหนดให้เวลาในการเก็บประจุของ C จาก 0 ถึง $(2/3)V_{cc}$ ใช้เวลา t_2 แทนค่าลงในสมการที่ (2.14) จะได้

$$(2/3)v_{cc} = v_{cc}(1 - e^{-t_2/RC})$$

แก้สมการหา t_2 จะได้

$$(-t_2/RC) = \ln(1/3) = -1.098$$

$$t_2 = 1.098RC \quad (2.16)$$

และจากสมการ

$$T_1 = t_2 - t_1 \quad (2.17)$$

แทนค่า t_1 และ t_2 ลงในสมการที่ (2.17) จะได้ว่า

$$T_1 = (1.098 - 0.405)RC$$

$$T_1 = 0.69RC$$

แต่
ดังนั้น

$$R = R_A + R_B$$

$$T_1 = 0.69(R_A + R_B)C \quad (2.18)$$

กำหนดให้เวลาในการเก็บประจุของ C จาก $(2/3)V_{cc}$ ถึง $(1/3)V_{cc}$ ใช้เวลา T_2 จะได้ศักย์ไฟฟ้าคร่อม C เป็นดังสมการ

$$v_c(t) = v(e^{-t/RC}) \quad (2.19)$$

$$v_{cc}/3 = (2/3)v_{cc}(1 - e^{-T_2/RC})$$

และจะได้

$$T_2 = (RC) \ln(1/3) = 0.69(RC) \quad (2.20)$$

แต่

$$R = R_B$$

และจาก

$$T = T_1 + T_2$$

ดังนั้น

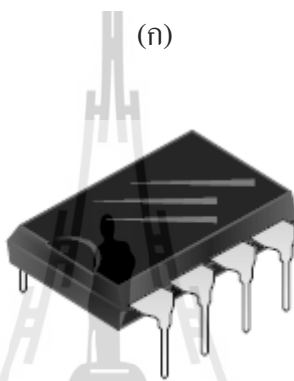
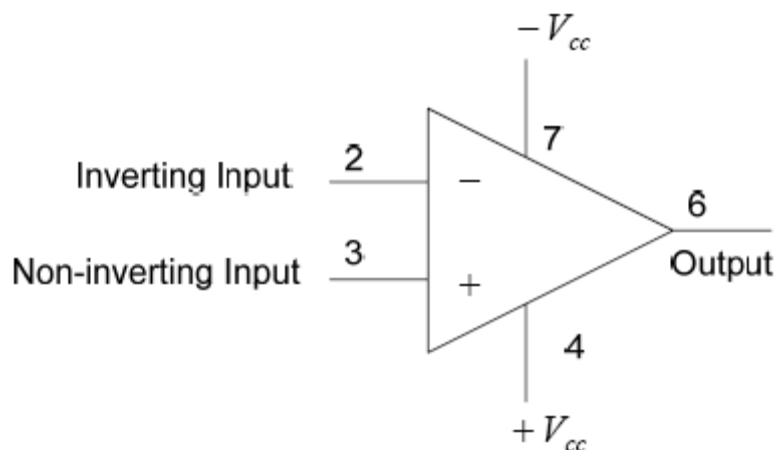
$$T = 0.69(R_A + 2R_B)C$$

ความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมคือ

$$f = \frac{1}{0.69(R_A + 2R_B)C} \quad (2.21)$$

2.4 ออปแอมป์ (Operation Amplifiers, Op-Amp)

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มี 3 ขา มีการทำงานคล้ายกับแหล่งจ่ายแรงดันที่ถูกควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage-Controlled Voltage Source, VCVS) ออปแอมป์สามารถนำมาใช้ในการขยายสัญญาณรวมสัญญาณหรือนำมาทำเป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ เช่น วงจรขยายแรงดัน วงจรรวมสัญญาณ วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) วงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ (Differentiator) สัญลักษณ์ของออปแอมป์เป็นดังรูปที่ 2.11

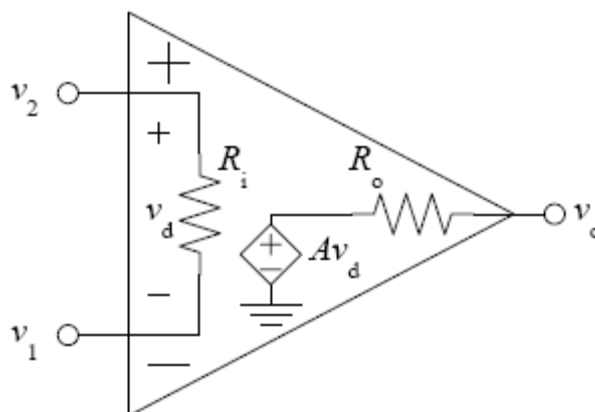


รูปที่ 2.11 (ก) สัญลักษณ์ของออปแอมป์ (ข) สัญลักษณ์ของออปแอมป์จริง

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่า ออปแอมป์มีขั้วที่ต่อใช้งานคือ ขั้วอินพุตบวก (Non-inverting Terminal) ขั้วอินพุตลบ (Inverting Terminal) และขั้วเอาต์พุต (Output Terminal)

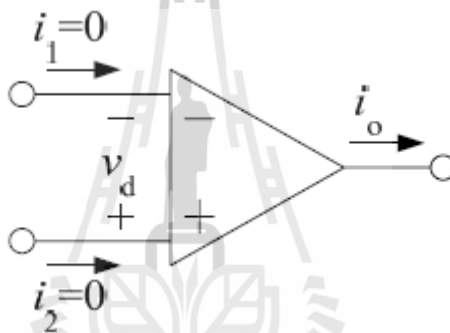
2.4.1 วงจรสมมูลของออปแอมป์

วงจรสมมูลของออปแอมป์ดังแสดงในรูปที่ 2.12 เมื่อ R_i เป็นความต้านทานด้านอินพุต R_o เป็นความต้านทานด้านเอาต์พุต V_d เป็นแรงดันระหว่างขาอินพุต ($V_d = V_2 - V_1$) V_o เป็นแรงดันเอาต์พุต ($V_o = AV_d = A(V_2 - V_1)$) เมื่อ A เป็นอัตราขยายแรงคั่นวงเปิด (Open-loop gain)



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของออปแอมป์

2.4.2 ออปแอมป์ในอุดมคติ (Ideal Op-amp)

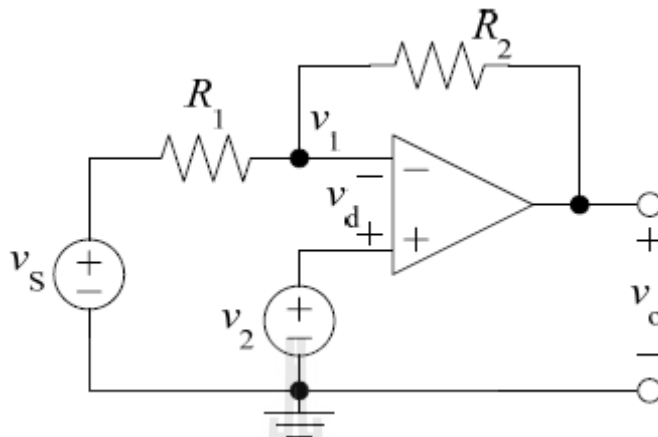


รูปที่ 2.13 ออปแอมป์ในอุดมคติ

ออปแอมป์ในอุดมคติ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติคืออัตราขยายวงเปิดมีค่าเป็นอนันต์ ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์และความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ผลตอบสนองทางความถี่เป็นได้ตั้งแต่ 0 Hz ถึง อนันต์ ข้อกำหนดการวิเคราะห์วงจรขยายที่ใช้ ออปแอมป์ในอุดมคติ กระแสที่ไหลเข้าขั้วอินพุตทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ $i_1=0, i_2=0$ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความต้านทานทางด้านเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ กระแสไหลออกจากขั้วเอาต์พุตจึงไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์

2.4.3 วงจรป้อนกลับแบบลบ เนื่องจากเสถียรภาพ (Stability) ของวงจรของออปแอมป์จะไม่ทำงานในช่วงอิ่มตัว (Positive /Negative Saturation) สามารถรับช่วงของสัญญาณอินพุตได้กว้างขึ้น และอัตราขยายของวงจรสามารถกำหนดได้จากอุปกรณ์ภายนอก การป้อนกลับแบบลบของออปแอมป์ จะมีการเชื่อมต่อวงจร โดยนำสัญญาณจากขาเอาต์พุตต่อกลับไปยังขาอินพุตที่เป็นแบบ

inverting ของออปแอมป์ อัตราขยายที่เกิดจากการป้อนกลับแบบลบ เรียกว่า อัตราขยายลูปปิด (Closed-loop gain) พิจารณาการป้อนกลับแบบลบดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรป้อนกลับแบบลบ

พิจารณารูปที่ 2.14

$$\frac{v_1 - v_2}{R_2} + \frac{v_1 - v_s}{R_1} = 0$$

$$v_s = \frac{R_1 + R_2}{R_2} v_1 - \frac{R_1}{R_2} v_o \quad (2.22)$$

$$v_o = A v_d = A(v_2 - v_1) \quad (2.23)$$

แทน (2.23) ลงใน (2.22) ได้

$$v_s = \frac{R_1 + R_2}{R_2} v_1 - \frac{R_1}{R_2} A(v_2 - v_1)$$

$$v_s + \frac{R_1}{R_2} A v_2 = \left[\frac{R_1 + R_2}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} A \right] v_1$$

$$v_s + \frac{R_1}{R_2} A v_2 = \left[1 + \frac{R_1(1+A)}{R_2} \right] v_1 \quad (2.24)$$

หารด้วย A ตลอดได้

$$\frac{v_s}{A} + \frac{R_1}{R_2} v_2 = \left[\frac{1}{A} + \frac{R_1(1+A)}{AR_2} \right] v_1 \quad (2.25)$$

เมื่อ $A = \infty$ จะได้

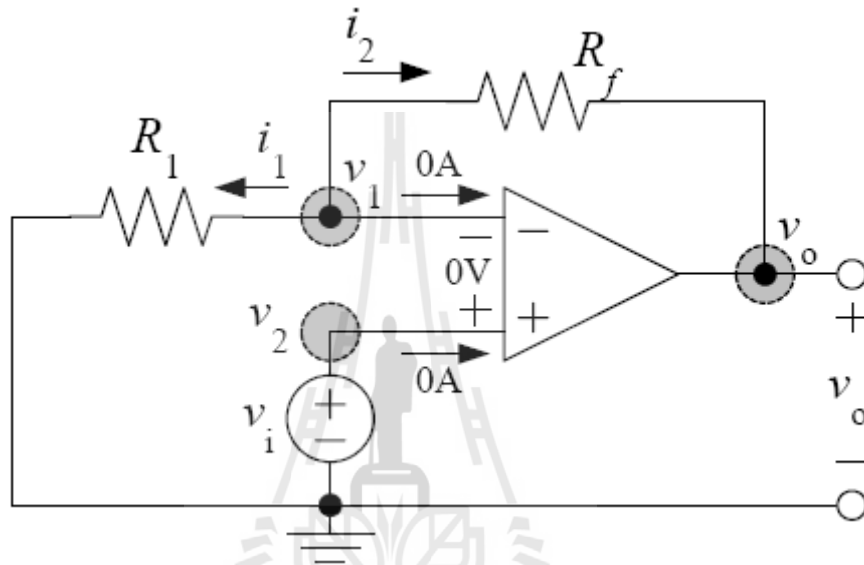
$$\frac{v_s}{A} + \frac{R_1}{R_2} v_2 = \left[\frac{1}{A} + \frac{R_1}{R_2} \right] v_1 \quad (2.26)$$

และจะได้

$$V_2 = V_1$$

ดังนั้นออปแอมป์ที่มีอัตราขยายลูปปิดที่ไถลอนันต์ (∞) เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ จะได้แรงดันที่ตกคร่อมขั้วอินพุตทั้งสองมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ดังสมการ $V_d = V_2 - V_1 \approx 0$

2.4.4 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Non-inverting) แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว

KCL ที่โนด 1

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$\frac{v_1 - v_i}{R_1} + \frac{v_1 - v_o}{R_f} = 0 \tag{2.27}$$

เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ

$$v_1 = v_2 = 0 \tag{2.28}$$

แทนสมการที่ (2.28) ลงในสมการที่ (2.27) จะได้

$$\frac{v_i}{R_1} + \frac{v_o}{R_f} = 0$$

$$v_o = \left[1 + \frac{R_f}{R_1} \right] v_i \tag{2.29}$$

อัตราขยายของวงจรขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ต่อภายนอก สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุต

2.4.5 วงจรขยายแบบกลับขั้ว (Inverting Amplifier) แสดงดังรูปที่ 2.16

KCL ที่โนด 1

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$\frac{v_1 - v_i}{R_1} + \frac{v_1 - v_o}{R_f} = 0 \quad (2.30)$$

เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ

$$v_1 = v_2$$

$$v_1 = v_2 = 0 \quad (2.31)$$

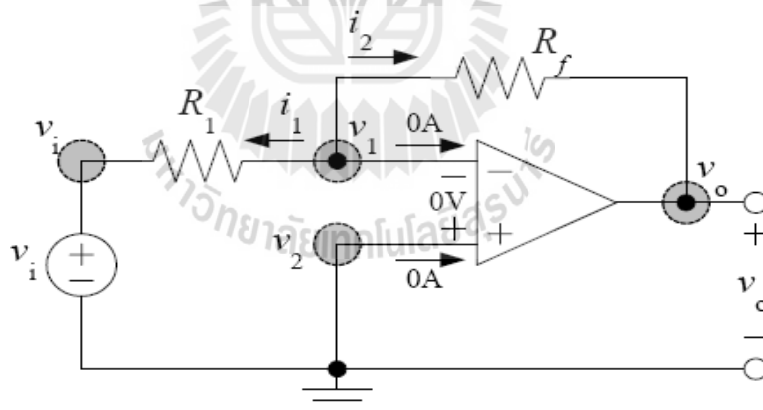
แทนสมการที่ (2.31) ลงในสมการที่ (2.30) จะได้

$$\frac{v_i}{R_1} + \frac{v_o}{R_f} = 0 \quad (2.32)$$

$$v_o = -\frac{R_f}{R_1} v_i \quad (2.33)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (2.34)$$

อัตราขยายวงจรขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ต่อภายนอกสัญญาณเอาต์พุตที่ได้กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต

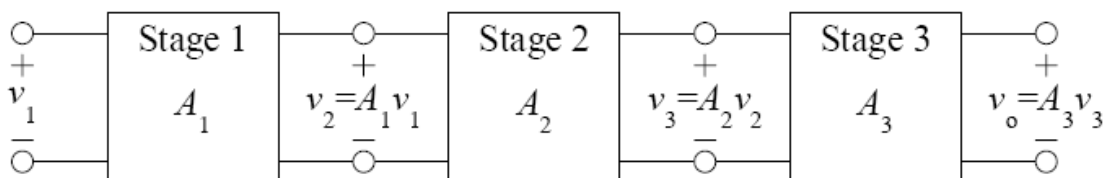


รูปที่ 2.16 วงจรขยายแบบกลับขั้ว

2.4.6 การต่อวงจรออปแอมป์แบบคาสเคด (Cascaded Op-Amp Circuit) การต่อแบบคาส

เคด คือการต่อวงจรตั้งแต่สองวงจรขึ้นไปเรียงกันไปเรื่อย ๆ โดยที่เอาต์พุตของวงจรหนึ่งต่อเข้าอินพุตของอีกวงจรหนึ่ง วงจรขยายออปแอมป์จะถูกพิจารณาในลักษณะที่เป็นบล็อกไดอะแกรม การใช้งานวงจรขยายโดยส่วนใหญ่ ต่อร่วมกันแบบคาสเคด (Cascade) โดยแต่ละวงจรจะเรียกว่า สเตจ อัตราขยายรวมของการต่อแบบคาสเคดจะเป็นผลคูณของอัตราขยายแต่ละสเตจ ในการออกแบบใช้

งานจริงนั้นควรต้องระวังไม่ให้อัตราขยายรวมของวงจรที่касเคดกันทั้งหมดทำให้อุปแอมป์อยู่ในช่วงอิ่มตัว ลักษณะการต่อวงจรแบบคาสเคดเป็นดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การต่อวงจรแบบคาสเคด

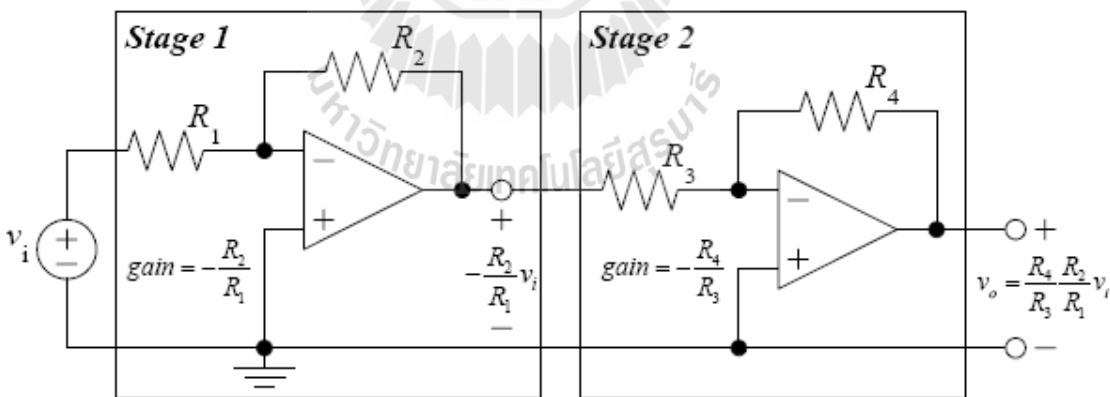
อัตราขยายรวม

$$A = A_1 A_2 A_3$$

ดังนั้น

$$v_o = (A_1 A_2 A_3) v_1 = A v_1$$

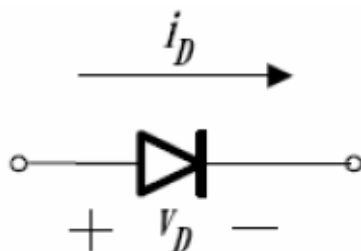
ตัวอย่างการต่อวงจรขยายแบบกลับขั้วแสดงไว้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การต่อวงจรขยายแบบกลับขั้ว

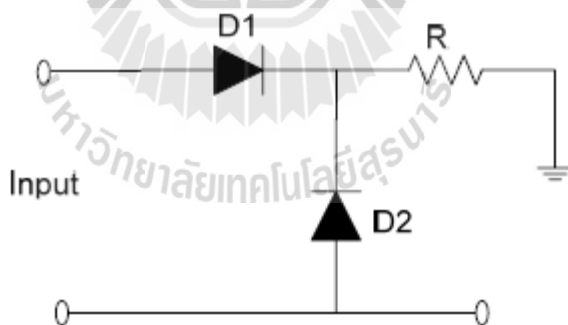
2.5 ไดโอด (Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์สองขั้วมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสแบบไม่เป็นเชิงเส้น วงจรที่มีการใช้งานไดโอด ได้แก่ วงจรเรียงสัญญาณ (rectifier) วงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator) วงจรจำกัดแรงดัน(voltage limiting) เป็นต้น สัญลักษณ์ของไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.19

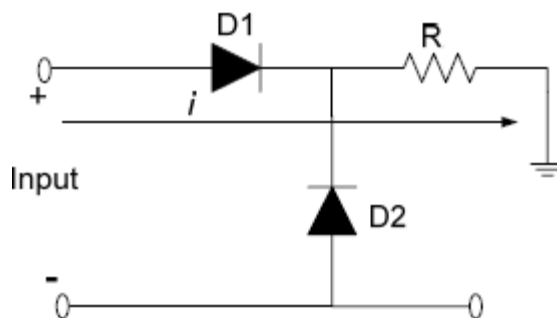


รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของไดโอด

คุณสมบัติของไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียวคือไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ในโครงงานนี้ได้นำเอาไดโอดมาใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier) นำมาต่อในลักษณะดังรูปที่ 2.20 ถ้าป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งวงกให้ไดโอดกระแสไฟฟ้าก็จะไหลดังรูปที่ 2.21 เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งวงกกระแสจะไหลจากขั้วบวกไดโอด D1 แบบไบแอสตรงไปถึงกราวด์ขณะที่กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอด D2 ได้เนื่องจากเป็นไบแอสกลับ ดังนั้นจึงสามารถวัดเอาท์พุทคร่อมตัวต้านทานทางซ้ายเป็นบวกเทียบกับทางขวาที่เป็นลบได้

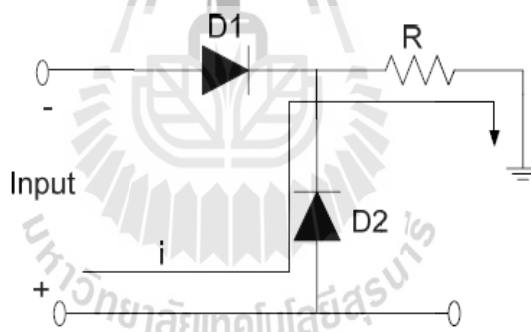


รูปที่ 2.20 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier)



รูปที่ 2.21 การไหลของกระแสเมื่อป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งบวก

ถ้าป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งลบให้ไดโอดกระแสไฟฟ้าก็จะไหลดังรูปที่ 2.22 เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งลบกระแสจะไหลจากขั้วบวกไดโอด D2 แบบไบแอสตรงไปถึงกราวด์ขณะที่กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอด D1 ได้เนื่องจากเป็นไบแอสกลับ ดังนั้นจึงสามารถวัดเอาท์พุตคร่อมตัวต้านทานทางซ้ายเป็นบวกเทียบกับทางขวาที่เป็นลบได้

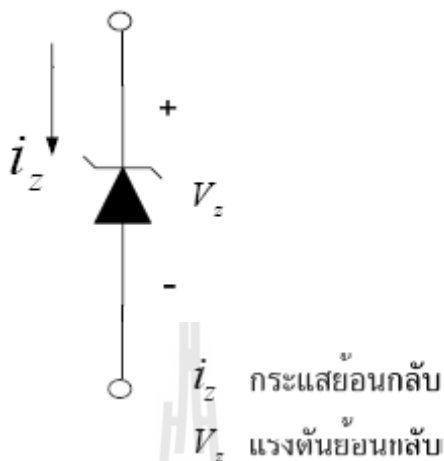


รูปที่ 2.22 การไหลของกระแสเมื่อป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งลบ

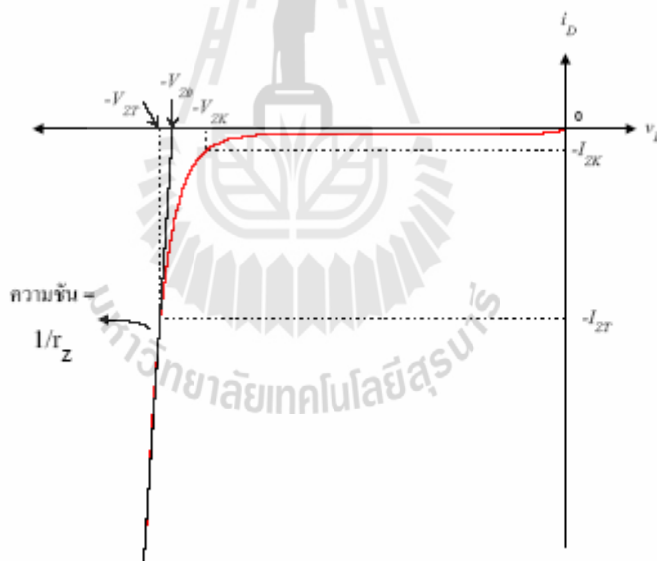
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นไม่ว่ากระแสสลับจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตามทางด้านซ้ายของตัวต้านทาน R จะเป็นบวกเสมอเมื่อเทียบกับทางด้านขวา ดังนั้นแรงดันที่วัดได้จากตัวต้านทาน R จึงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีแรงดันเอาท์พุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 0.25 เท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2.6 ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode)

นำซีเนอร์ไดโอดมาทำเป็นวงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator)



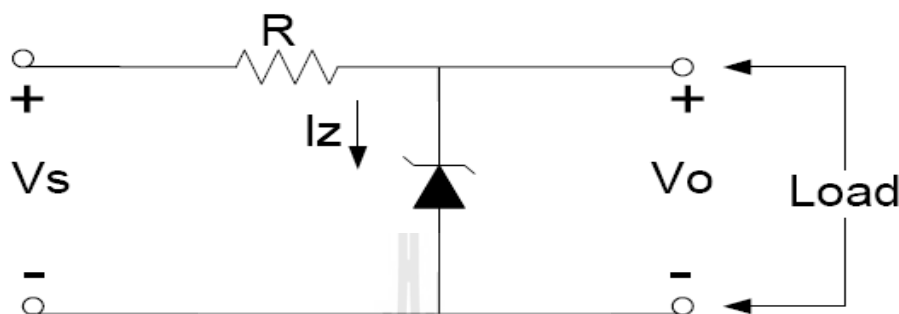
รูปที่ 2.23 (ก) สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 2.23 (ข) กราฟความชันของแรงดันย้อนกลับกระแสย้อนกลับ

จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าถ้ากระแสไหลย้อนกลับที่ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมีค่ามากกว่า i_{ZK} กราฟความชันของแรงดันและกระแสจะเกือบเป็นเส้นตรง ผู้ผลิตมักจะให้ข้อมูลของซีเนอร์ไดโอดในรูปของ V_{ZI} ซึ่งเป็นแรงดันย้อนกลับที่ไหลผ่านไดโอดเท่ากับกระแสทดสอบ i_{ZI} เช่น ซีเนอร์ไดโอดแบบ 6.8 โวลต์ คือซีเนอร์ไดโอดที่มีแรงดันย้อนกลับ V_Z เท่ากับ 6.8 โวลต์ เมื่อมีกระแสย้อนกลับที่ไหลผ่านไดโอดมีค่าตามที่ระบุ (เช่น 10 มิลลิแอมป์) จากรูปจะเห็นว่าเมื่อ V_Z มากกว่า V_{ZK}

ความชันของกราฟจะมีค่าค่อนข้างสูงนั่นคือไดโอดที่ทำงานในย่านนี้จะสามารถรักษาแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันได้อย่างค่อนข้างคงที่แม้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้นำซีเนอร์ไดโอดมาทำเป็นวงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator) โดยมีวงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator) เป็นดังรูปที่ 2.24

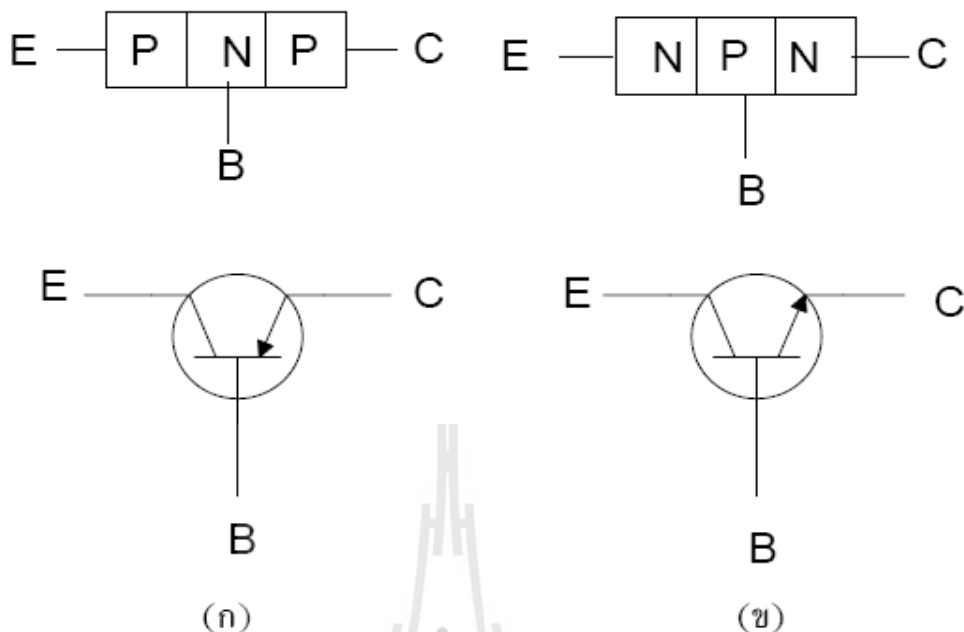


รูปที่ 2.24 วงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator)

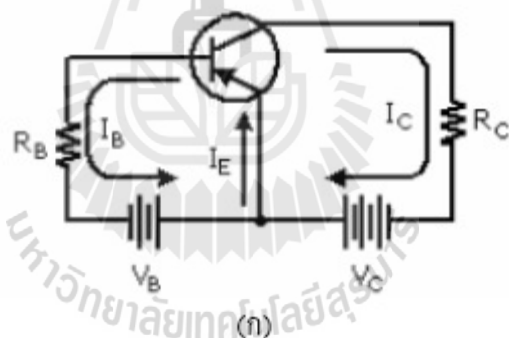
วงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator) มีหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามกระแสที่จ่ายให้กับโหลดและแรงดันอินพุต โดยทั่วไปเราจะใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า line regulation และ load regulation ในการพิจารณาความสามารถของวงจรคงค่าแรงดัน (voltage regulator) พารามิเตอร์ line regulation จะใช้ดูว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ load regulation จะใช้ดูว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อกระแสที่จ่ายให้โหลดมีการเปลี่ยนแปลง (อันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานโหลด) โดยถ้า line regulation และ load regulation ยังมีค่าต่ำแสดงว่าวงจรมีการรักษาระดับแรงดันได้ดี ในอุดมคติ line regulation และ load regulation จะมีค่าเท่ากับศูนย์

2.7 ทรานซิสเตอร์ (transistor)

ทรานซิสเตอร์เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำสามชิ้นมาประกบกัน ส่วนประกอบด้านนอกทั้งสองด้านทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันเรียกว่า อิมิตเตอร์ (Emitter : E) และคอลเลกเตอร์ (Collector : C) ส่วนกลางทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดตรงข้ามเรียกว่า เบส (Base : B) การประกบกันของสารกึ่งตัวนำได้โดยการโด๊ป (dope) สารกึ่งตัวนำที่ขา E มีความหนาของการโด๊ปน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำที่ขา C ของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าของขา E และ C จึงไม่เท่ากัน ทรานซิสเตอร์มีสองชนิดดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) ชนิด PNP (ข) ชนิด NPN



รูปที่ 2.26 (ก) วงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมต่อด้วยทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

จากรูปที่ 2.26 เป็นการต่อวงจรถานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม พิจารณารูปที่ 2.26 (ก) เป็นการต่อวงจรด้วยทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แรงดัน V_B ไบแอสตรงระหว่างขา E และขา B เกิดกระแส I_E ที่ขาอิมิตเตอร์ขณะเดียวกันแรงดัน V_C ซึ่งสูงกว่าแรงดัน V_B ไบแอสกลับระหว่างขา B และขา C ดังนั้นจึงมีโวลทบางส่วนถูกผลักดันให้ข้ามรอยต่อ P-N ไปยังขาคอลเล็กเตอร์เกิดเป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ I_C จะเห็นได้ว่า I_C และ I_B ผลักดันให้ I_E มีค่าสูง และเนื่องจาก V_C ซึ่งสูงกว่าแรงดัน V_B ดังนั้น I_B จึงมีค่ามาก ความสัมพันธ์ของกระแสคือ

$$I_E - I_C = I_B \tag{2.35}$$

สมการที่ (2.35) นี้จะเป็นจริงในการต่อวงจรแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม อัตรากระแสของวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมคือ

$$\beta = I_C / I_B \quad (2.36)$$

แทน $I_E - I_C = I_B$ จากสมการที่ (2.35) ลงในสมการที่ (2.36)

$$\beta = I_C / (I_E - I_C) \quad (2.37)$$

กลับเศษส่วนของสมการที่ (2.37) เป็น

$$(1/\beta) = (I_E - I_C) / I_C = (I_E / I_C) - 1 = (1/\alpha) - 1 = (1 - \alpha) / \alpha$$

ดังนั้น

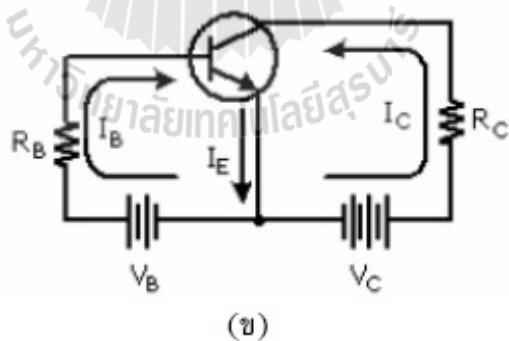
$$\beta = \alpha / (1 - \alpha) \quad (2.38)$$

เนื่องจาก α มีค่าระหว่าง 0.9 ถึง 1.0 ดังนั้น $1 - \alpha$ ในสมการที่ (2.38) จึงมีค่าน้อยมาก β จึงมีค่าสูงมากทรานซิสเตอร์ที่มีขายในท้องตลาดมีค่าอัตราขยายกระแส β ประมาณ 20-200 เท่า อัตราขยายแรงดันแบบอิมิตเตอร์ร่วมคือ

$$A_v = I_C R_C / I_B R_B = \beta (R_C / R_B) \quad (2.39)$$

สมการที่ (2.38) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

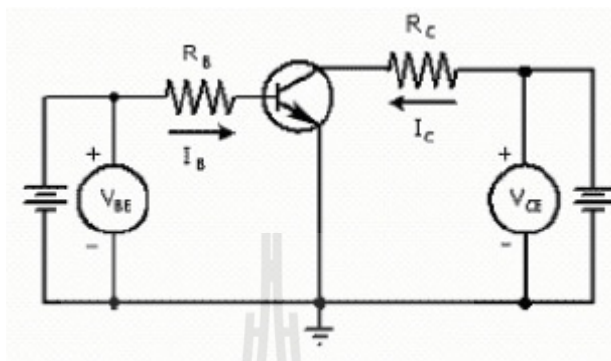
$$\alpha = \beta / (1 + \beta) \quad (2.40)$$



รูปที่ 2.26 (ข) วงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมต่อด้วยทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

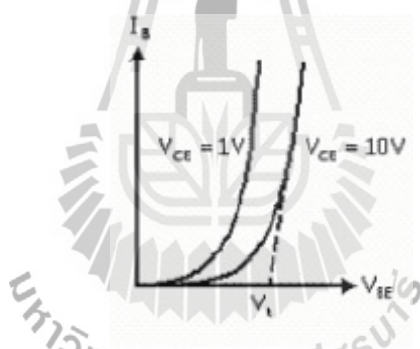
รูปที่ 2.26 (ข) เป็นการต่อวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมด้วยทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ซึ่งมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมที่ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แต่ใช้แรงดันเลี้ยงวงจรกลับขั้วซึ่งกันและกัน ดังนั้น สมการที่ (2.35) ถึง (2.38) สามารถใช้ได้กับวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมชนิด NPN เช่นเดียวกัน

เมื่อทำการทดลองโดยต่อวงจรดังรูปที่ 2.27 (ก) จากพาหะของอิมิตเตอร์ไปถึงคอลเล็กเตอร์จนเกือบหมด มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ไปยังเบส ถ้ากระแสที่เบสเปลี่ยนแปลงกระแสที่คอลเล็กเตอร์ก็เปลี่ยนไปด้วยดังรูปที่ 2.27 (ข) เมื่อ I_B เป็นศูนย์ กระแสคอลเล็กเตอร์ยังคงไหลอยู่เนื่องจากกระแสเวิร์สของคอลเล็กเตอร์ไดโอดดังรูปที่ 2.28



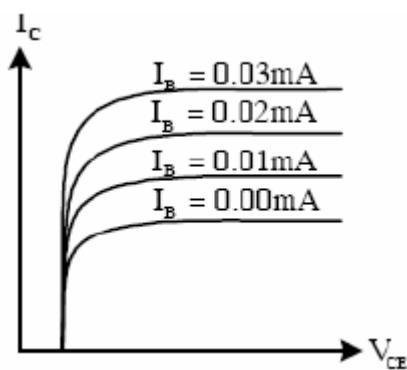
(ก)

รูปที่ 2.27 (ก) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม



(ข)

รูปที่ 2.27 (ข) กราฟระหว่าง I_B และ V_{BE}



รูปที่ 2.28 กราฟระหว่าง I_C และ V_{CE}

2.8 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATMEGA16

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมเอาหน่วยประมวลผลหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้เราสามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้ ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ มีความสามารถในการทำงานมากขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ ไมโคร (micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือ ซีพียู (CPU :Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU ย่อมาจาก Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา ส่วนคำว่า “คอนโทรลเลอร์” (controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

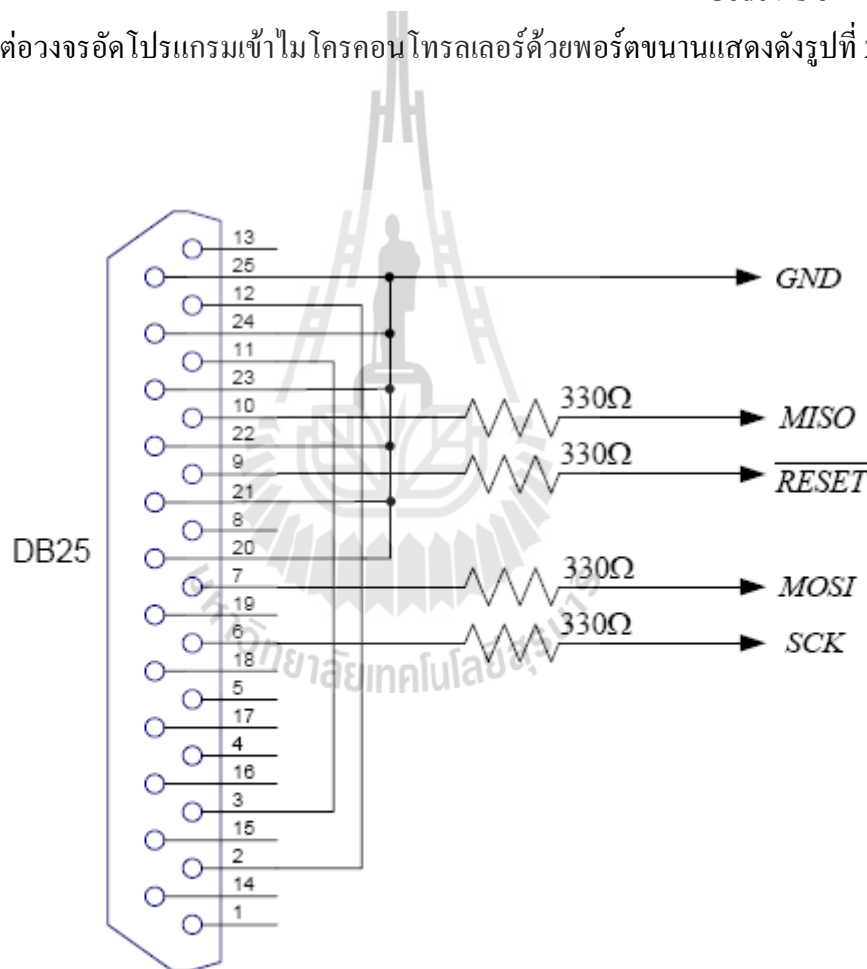
2.8.1 คุณสมบัติที่สำคัญของ AVR ATMEGA16

1. สถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ Advanced RISC (Reduce Instruction Set Computer)
2. มีคำสั่งควบคุมการทำงานมากกว่า 100 คำสั่ง โดยมีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่ง ต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา (1 MIP/1 MHz)
3. มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว (ทำให้สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาC เป็นอย่างมาก)
4. ความเร็วในการทำงาน 1 MIPS ต่อ 1 MHz และมากถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ที่ 6 MHz (ความสามารถในการใช้งานความถี่สัญญาณนาฬิกาขึ้นอยู่กับเบอร์ที่เลือกใช้งาน)
5. หน่วยความจำ ROM แบบ flash (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 16 กิโลไบต์ (เขียน/ลบ ได้ 100,000 ครั้ง)
6. หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 512 ไบต์ (เขียน/ลบ ได้ 100,000 ครั้ง)
7. หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 1 กิโลไบต์
8. ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้งแบบ 8 บิตและ 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์
9. มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟต์แวร์ (Watchdog Timer with On-Chip Oscillator)
10. โมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulator) มีจำนวน 4 ช่อง
11. มีโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 10 บิต มากถึง 8 ช่อง

12. โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก (Analog Comparator)
13. การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือแบบ RS232, SPI (Serial Peripheral Interface) และแบบ I²C เป็นต้น
14. พอร์ตอินพุตเอาต์พุตขึ้นอยู่กับเบอร์ AVR ที่เลือกใช้งาน มีตั้งแต่ 8 ขา จนมากกว่า 100 ขา พอร์ต (ATmega16 มีขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 32 ขา)
15. แรงดันไฟเลี้ยงและความเร็วในการทำงานขึ้นอยู่กับเบอร์ AVR ที่เลือกใช้งาน

2.8.2 การอัปเดตโปรแกรมลงในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์โดยโปรแกรม CodeVisionAVR

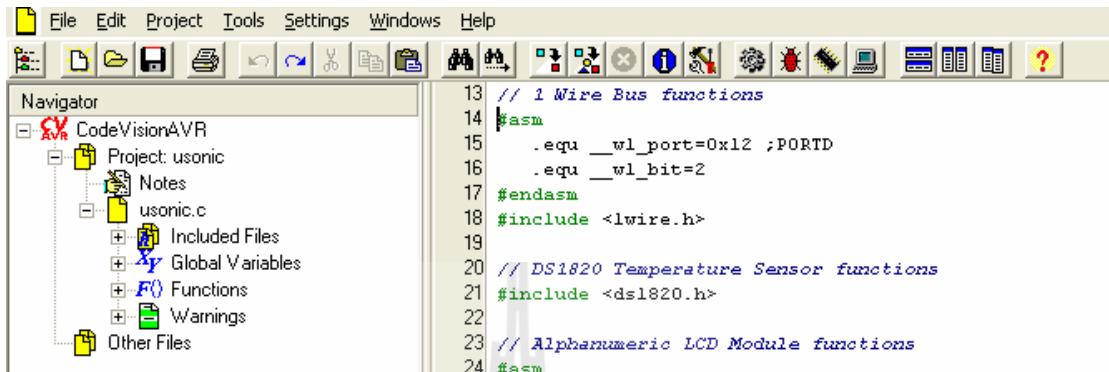
การต่อวงจรอัปเดตโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยพอร์ตขนานแสดงดังรูปที่ 2.29




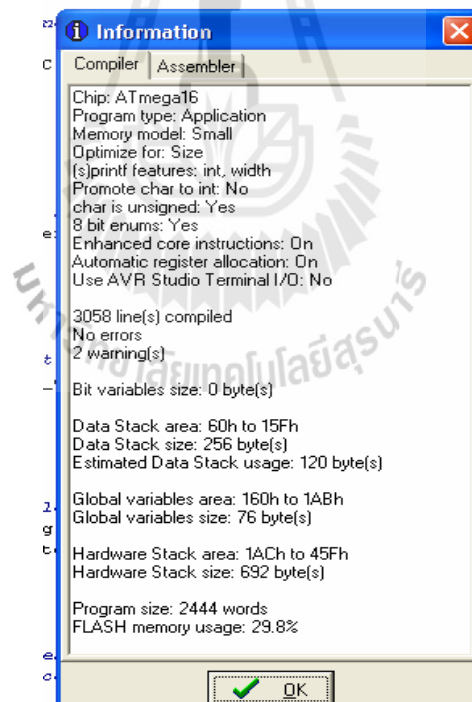
รูปที่ 2.29 วงจรโปรแกรมด้วยพอร์ตขนาน


ขั้นตอนในการการอัดโปรแกรมมีดังนี้

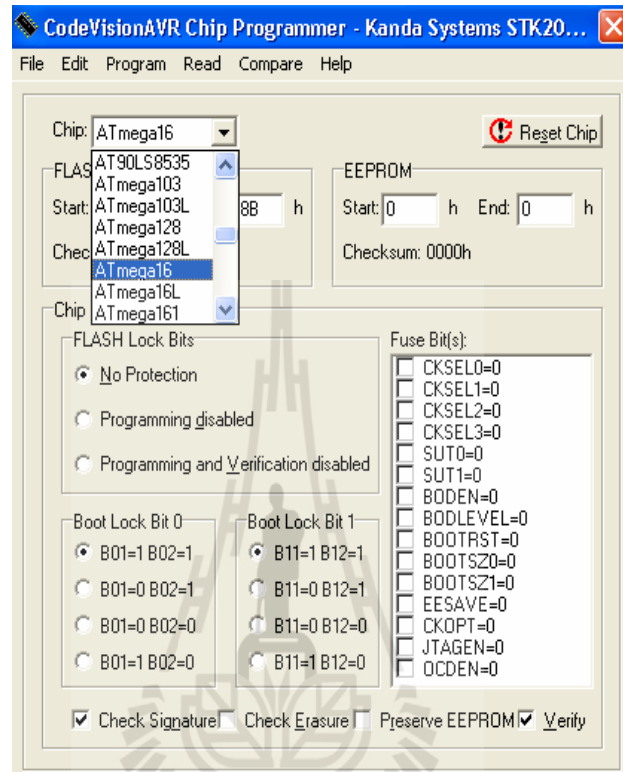
1. เปิดใช้งานโปรแกรม CodeVisionAVR เมื่อเขียนโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว คลิกไอคอน  เพื่อคอมไพล์โปรแกรม



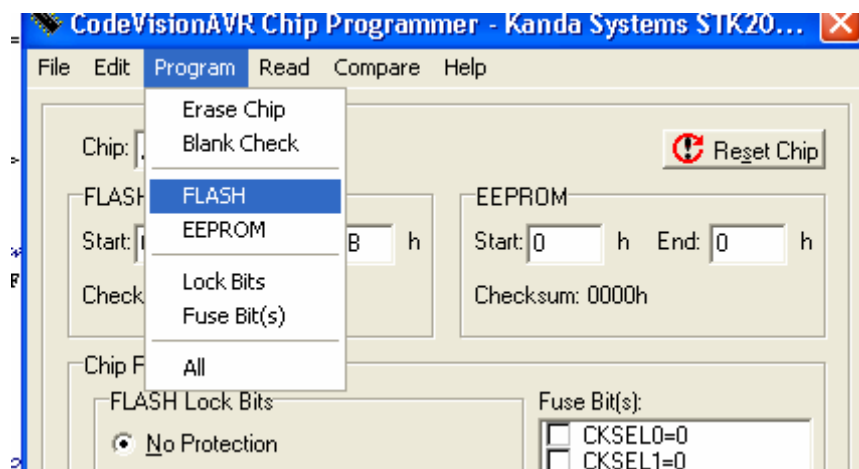
2. เมื่อคอมไพล์ผ่าน คลิกที่ไอคอน  จากนั้นคลิก OK ดังรูปข้างล่าง



3. คลิกที่ ไอคอน  เพื่ออัปเดตโปรแกรม คลิกเครื่องหมายถูกหน้า Check Signature, Check Erasure และ Verify เลือกเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ช่อง Chip เช่น ATmega16



จากนั้น ไปที่เมนู Programคลิก FLASH เพื่อเริ่มอัปเดตโปรแกรมแบบ FLASH ดังรูปข้างล่าง



2.8.3 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จะแตกต่างจากการเขียนโปรแกรมใช้งานบนโปรคอมพิวเตอรืเนื่องจากการเขียนโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ต้องคำนึงถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่เลือกใช้งานเป็นหลัก ซึ่งจะมีคุณสมบัติ ข้อกำหนดและความสามารถแตกต่างกัน การเขียนโปรแกรมควบคุมจึงมีหลักดังนี้

1. ทำความเข้าใจกับส่วนที่ต้องการใช้งานในไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่าโมดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น โมดูลพอร์ท ทำหน้าที่เกี่ยวกับอินพุตและเอาต์พุต โมดูลไทม์เมอร์ เกี่ยวข้องกับการนับเวลาหรือจับเวลา เป็นต้น

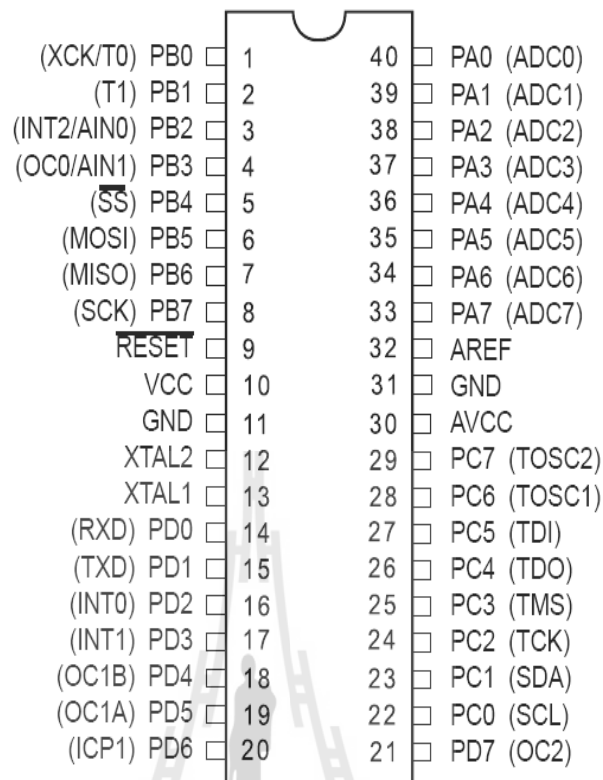
2. เมื่อเข้าใจการทำงานของโมดูลที่ต้องการใช้งานแล้ว ให้ศึกษาและทำความเข้าใจรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโมดูลนั้นๆ เนื่องจากรีจิสเตอร์เปรียบเสมือนการเปิดปิดการใช้งานในโมดูลนั้นๆ เมื่อกำหนดรีจิสเตอร์แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเริ่มทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์

3. รีจิสเตอร์ในบางโมดูลจะมีบิตเฉพาะสำหรับใช้ในการเปิดปิดการใช้งานโมดูล หรือเรียกได้ว่าเป็นสวิตช์หลัก แต่บางโมดูลจะไม่มี เพียงกำหนดรีจิสเตอร์ที่จะใช้งานก็สามารถเริ่มต้นการทำงานได้ทันที

4. บางโมดูลนอกจากการกำหนดเปิดปิดการใช้งานแล้ว ยังต้องมีการกำหนดส่วนการทำงานของโมดูลนั้นๆด้วยเช่นโมดูลที่เกี่ยวข้องกับงานอินเตอร์รัป (งานที่ขัดจังหวะงานหลักที่ทำอยู่) ต้องมีการกำหนดฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับอินเตอร์รัปของโมดูลที่ใช้งานด้วย

5. หลังจากที่กำหนดค่าบิตในรีจิสเตอร์ที่ใช้งานโมดูลแล้ว จากนั้นการเขียนโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานการเขียนโปรแกรมของแต่ละบุคคล รวมถึงพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ หากมีความสามารถในการเขียนโปรแกรมให้ทำงานได้เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เลย ผลลัพธ์การทำงานของโปรแกรมที่ได้ อาจไม่ถูกต้อง เนื่องจากการต่อวงจรใช้งานที่ผิดพลาด ดังนั้นการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องมีพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์บ้าง ซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปตามความต้องการมากขึ้น

2.8.3.1 การทำความเข้าใจเกี่ยวกับโมดูลที่ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATMEGA16 มีขาพอร์ทใช้งานเกี่ยวกับอินพุตเอาต์พุตทั้งหมด 32 ขา (PIN) ประกอบไปด้วยพอร์ท PA, PB, PC, และ PD อย่างละ 8 ขาหรือ 8 บิต ในแต่ละพอร์ทยังมีคุณสมบัติเพิ่มเติมพิเศษที่แตกต่างกันได้อีก เช่น บางพอร์ทเป็นขาพอร์ทอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลแล้วยังมีความสามารถเป็นขาพอร์ทอินพุตสัญญาณแอนาลอกได้เช่นขาพอร์ท PA ลักษณะขาพอร์ทของ AVR ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ขาพอร์ทของ AVR

และมีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ทหลักๆ 3 ตัวคือ PORTx, DDRx และ PINx (x แทนด้วย A, B, C, D) โดยที่ยังไม่รวมรีจิสเตอร์อื่นๆ ที่ใช้กำหนดหน้าที่พิเศษเพิ่มเติม และจากการดูรายละเอียดของรีจิสเตอร์ทั้ง 3 มีคุณสมบัติดังนี้

1. รีจิสเตอร์ PORTx (Port x Data Register) ใช้กำหนดอินพุทเอาพุทขาพอร์ท
2. รีจิสเตอร์ DDRx (Port x Data Direction Register) ใช้กำหนดทิศทางให้ขาพอร์ทเป็นอินพุทหรือเอาท์พุท และต้องกำหนดก่อนการใช้งานพอร์ท (ก่อนการใช้งาน PORTx และ PINx)
3. รีจิสเตอร์ PINx (Port x Input Pins Address) ใช้ในการอินพุทได้อย่างเดียวเท่านั้น

การใช้งานพอร์ทจะไม่มีบิตที่กำหนดการเปิดปิด (สวิตช์หลัก) และส่วนของฟังก์ชันอินเตอร์รัปต์ เมื่อกำหนดค่าในบิตที่ต้องการใช้งานแล้ว จะใช้งานได้ทันที จากหัวข้อ 2.8.2.1 เมื่อดูรายละเอียดเพิ่มเติมของพอร์ท AVR สามารถอ้างอิงได้ที่บิตแต่ละบิตใน DDRx จะสัมพันธ์โดยตรงกับแต่ละบิตของ PORTx และ PINx การกำหนดทิศทางเพื่อใช้งานพอร์ทจะต้องเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ DDRx ว่าต้องการให้ PORTx เป็นอินพุทหรือเอาท์พุท ดังจะแสดงตัวอย่างการกำหนดพอร์ท PA ดังนี้

การกำหนดทิศทางพอร์ตเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ DDRA (บิตใดเป็น 1 จะเป็นเอาต์พุตบิตใดเป็น 0 จะเป็นอินพุต ตามรายละเอียดของคาตาชีท)

DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0
1	1	1	1	0	0	0	0

MSB LSB

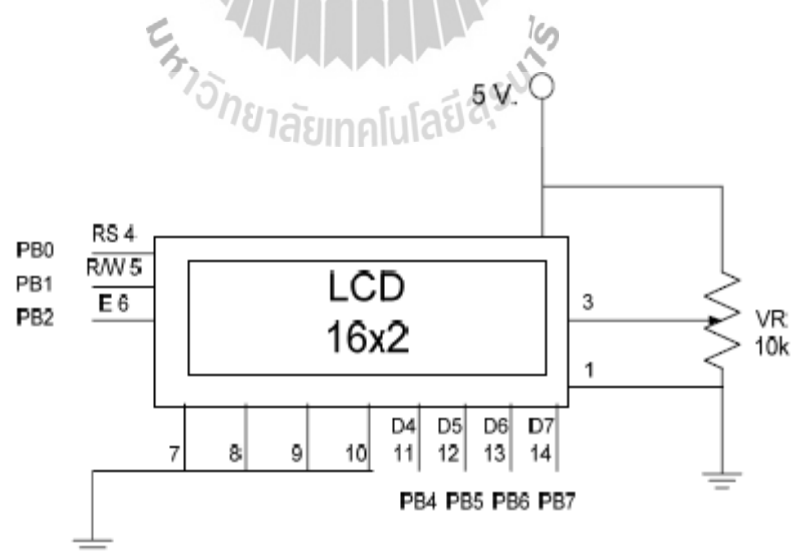
จากการกำหนดค่าในแต่ละบิตข้างต้น ทำให้พอร์ต PA มีคุณสมบัติเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตดังนี้

PA7	PA 6	PA 5	PA 4	PA 3	PA 2	PA 1	PA 0
output	output	output	output	input	input	input	input

MSB LSB

หลังจากกำหนดทิศทางของขาพอร์ตในรีจิสเตอร์ DDRA แล้วพอร์ต PORTA ก็สามารถทำงานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ตามที่กำหนดไว้

2.8.3.2 การใช้งานโมดูล LCD (Liquid Crystal Display module) หน่วยแสดงผลโมดูล LCD แบบตัวอักษร 2 แถวๆละ 16 ตัวอักษร ในที่นี้ยกตัวอย่างการต่อให้ทำงานกับพอร์ต PB มีการต่อใช้งานดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการต่อใช้งาน โมดูล LCD กับพอร์ต PB

รายละเอียดของขาสัญญาณ โมดูล LCD มีดังนี้

ขาที่ 1 คือ GND สำหรับต่อขากราวด์ของวงจร

ขาที่ 2 คือ +Vcc ต่อกับไฟเลี้ยง 5 V.

ขาที่ 3 คือ Vo สำหรับปรับความสว่างของหน้าจอ LCD

ขาที่ 4 คือ RS (Register Select) ขาเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่งหรือข้อมูล ถ้าเป็น 0 จะติดต่อกับคำสั่งและถ้าเป็น 1 จะติดต่อกับข้อมูล

ขาที่ 5 คือ R/W (Read/Write control) ขาอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ โมดูล LCD

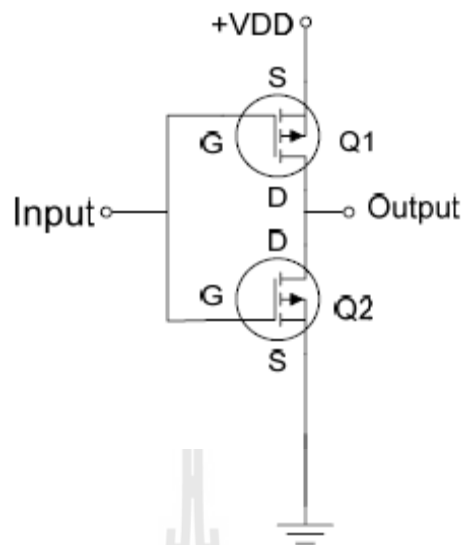
ขาที่ 6 คือ E (Enable) ขาป้อนสัญญาณพัลส์ Enable ให้โมดูล LCD เริ่มทำงาน

ขาที่ 7 ถึง 14 คือ D0 – D7 เป็นขาข้อมูล

2.9 ซีมอสอินเวอร์เตอร์ (CMOS inverter)

การทำงานของซีมอสจะใช้แรงดันระหว่างขาเกต (G) กับซอร์ส (S) เพื่อไปควบคุมความต้านทานระหว่าง ขา เดรน (D) และซอร์ส (S) ให้มีค่าลดลง ($r_{DS,ON} = 1-100\text{m}\Omega$) และทำให้กระแสไหลผ่านมอสเฟตไปได้ มอสเฟตมีค่าเวลาสวิตชิง (Switching time) อยู่ประมาณ 10-100ns ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วสูงสุดในบรรดาอุปกรณ์สวิตชิงในปัจจุบัน ค่าความต้านทานระหว่างขา G และ S จะมีค่าสูงมากทำให้ออกแบบวงจรขับ (Driver circuit) ได้ง่าย แต่ค่าคาปาซิแตนซ์ที่อยู่ระหว่างขา G และ S ก็เป็นปัญหาสำหรับการวงจรขับความถี่สูงซึ่งต้องใช้กำลังสูงขึ้น

วงจรซีมอสอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.32 อินเวอร์เตอร์ Q1 เป็น E-MOSFET ชนิด p แชนแนล จะทำงานเมื่อป้อนลอจิก 0 เข้าขาเกต ส่วนอินเวอร์เตอร์ Q2 เป็นชนิด n แชนแนล จะทำงานเมื่อป้อนลอจิก 1 เข้าขาเกต วงจรนี้จะเปรียบเสมือนวงจรขยายคลาสบี แบบ พูช – พูล อิมิตอร์ ฟอลโลเวอร์ Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงาน ถ้าอินพุตเป็นลอจิก 0 Q1 จะนำกระแสและ Q2 จะไม่นำกระแส เอาต์พุตจะมีสถานะเป็นลอจิก 1 และถ้าอินพุตเป็นลอจิก 1 การทำงานของ Q1 และ Q2 จะสลับกันและเอาต์พุตจะมีสถานะเป็นลอจิก 0 การทำงานดังกล่าวเหมือนการทำงานของนอตเกต ซึ่งมีตารางความจริง ดังตารางที่ 2.2 ข้อดีของวงจรนี้คือ เนื่องจากมอสเฟตมีเวลาสวิตชิง (Switching time) ที่สั้นมากจึงทำให้ค่ากำลังสูญเสียต่ำลง



รูปที่ 2.32 วงจรซีมอสอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 2.2 ตารางความจริงของ CMOS inverter

สถานะของอินพุต	สถานะของเอาต์พุต
ลอจิก 0	ลอจิก 1
ลอจิก 1	ลอจิก 0

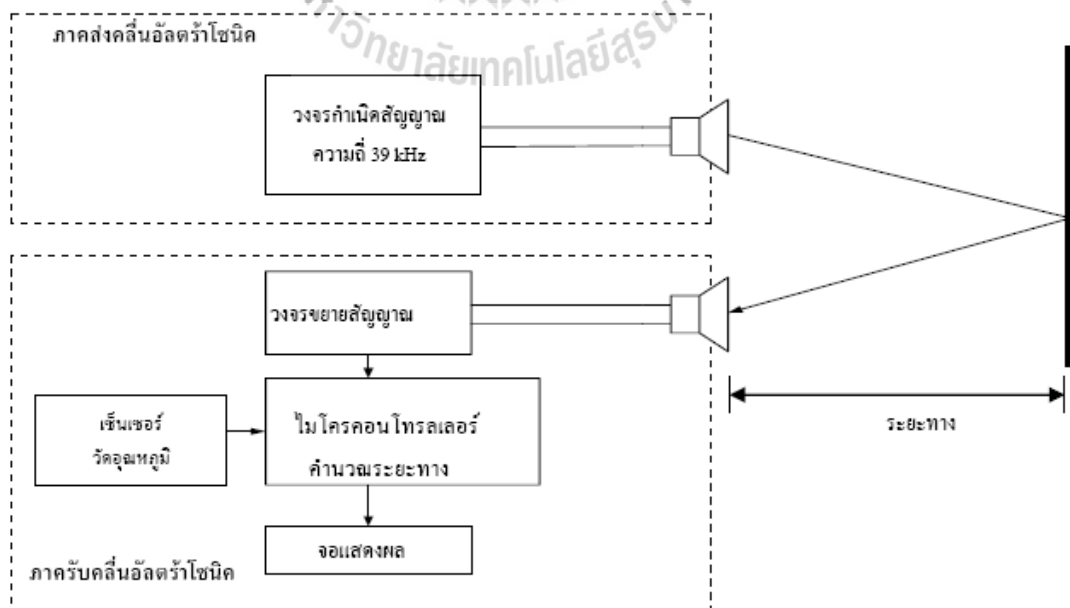
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ภาคส่ง ภาครับและภาคประมวลผล หลังจากนั้นแล้วจึงทำการทดสอบการใช้งานได้จริงของอุปกรณ์แต่ละตัวที่นำมาประกอบ โดยมีหลักการทำงานคือในส่วนของภาคส่งจะใช้ไอซีไทม์เมอร์ในโหมดอะสเทเบิลเป็นตัวสร้างสัญญาณที่มีความถี่ 39 kHz ส่วนในภาครับสัญญาณที่รับได้มีขนาดเล็ก จึงใช้ไอซีออปแอมป์ 2 เซตท เป็นตัวขยายสัญญาณ และภาคประมวลผลจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATMEGA16 โดยนำเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากตัวส่งมายังตัวรับหารด้วยสองเพราะเป็นเวลาที่เกิดการเดินทางไปและสะท้อนกลับมาจากวัตถุ จากนั้นทำการคูณด้วยค่าความเร็วในการเดินทางของคลื่นก็จะได้ค่าระยะทางออกมา โดยค่าระยะทาง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคลื่นจะแสดงผลออกทางจอ LCD (liquid Crystal Display)ต่อไป ส่วนการคำนวณเป็นดังสมการที่ 3.1

$$s = v_t \times (T/2) \quad (3.1)$$

เมื่อ s เป็นระยะทาง (เมตร)
 v_t เป็นความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิใดๆ
และ $(T/2)$ เป็นเวลาที่ส่งคลื่นเสียงออกไปและสะท้อนกลับ



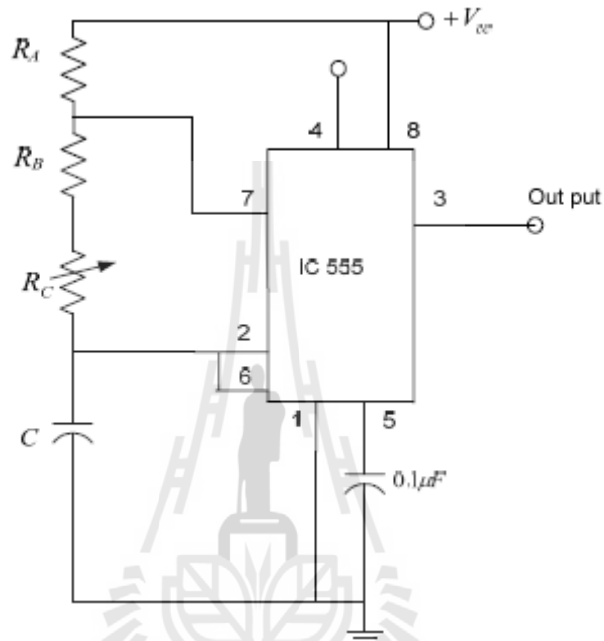
รูปที่ 3.1 การทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

3.1 การออกแบบวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก

ออกแบบวงจรกำเนิดความถี่แบบปรับค่าได้โดยใช้ไอซี 555 แบบอะสเตเบิลมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

- เขียนรูปวงจรกำเนิดความถี่ ดังรูปที่ 3.2

-



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการใช้งานของไอซีเบอร์ 555 แบบอะสเตเบิล

- คำนวณหาค่า R_A , R_B , R_C และ C สมการที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

$$T = T_1 + T_2 \quad (3.2)$$

$$T_1 = 0.693(R_A + R_B + R_C)C \quad (3.3)$$

$$T_2 = 0.693(R_B + R_C)C \quad (3.4)$$

$$f = 1/T = 1/(T_1 + T_2) \quad (3.5)$$

เมื่อ T เป็นคาบเวลาทั้งหมด

T_1 เป็นช่วงเวลา ON ของสัญญาณ

T_2 เป็นช่วงเวลา OFF ของสัญญาณ

และ f เป็นความถี่ที่กำเนิดจากวงจร

ความถี่ที่ต้องการคือ 39 kHz 50% duty ดังนั้นจะหาคาบเวลาทั้งหมดได้จาก

$$T = (1/f) = 1/39\text{kHz} \approx 25.641 \mu\text{s}$$

คิดที่ 50 % duty ดังนั้น $T_1 = T/2 = 25.641 \mu/2 = 12.821 \mu\text{s}$

เลือกค่า $C = 1000\text{pF}$, $R_A = 1.5 \text{ k}\Omega$ และ $R_B = 8.2 \text{ k}\Omega$

จากสมการที่ (3.3) จะได้

$$R_c = \left(\frac{12.821\mu}{0.693 \times 1000\text{p}} \right) - 1.5\text{k} - 8.2\text{k} = 8.8\text{k}\Omega$$

ดังนั้นเลือก $R_c = 10\text{k}\Omega$ ปรับค่าได้

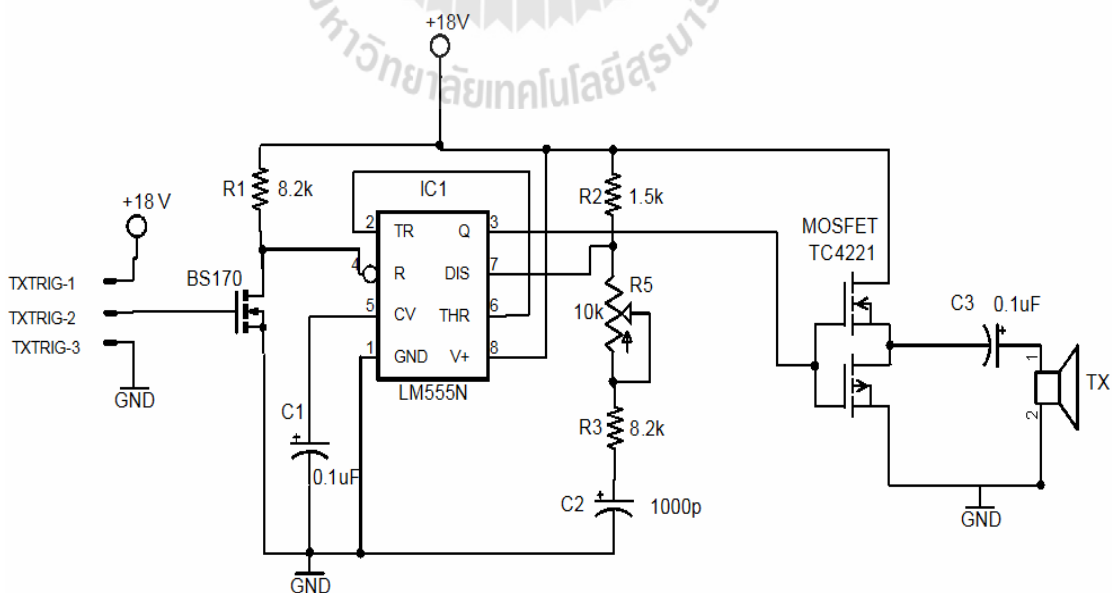
จากสมการที่ (3.3) จะได้

$$T_1 = 0.693 \times (1.5\text{k} + 8.8\text{k} + 8.2\text{k}) \times 1000 \text{ p} = 12.821 \mu\text{s}$$

ดังนั้น

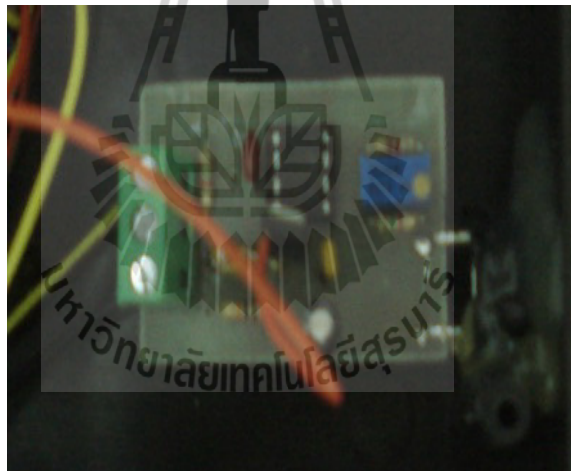
$$\text{Duty cycle} = \frac{T_1}{T} = \frac{12.821\mu\text{s}}{25.641\mu\text{s}} \times 100 \approx 50\%$$

ดังนั้นวงจรกำเนิดสัญญาณนี้จะสามารถปรับความถี่ได้ 39 kHz 50% duty cycle เมื่อต่อมอสเฟตเข้ากับขารี่เซต (ขา4) ของไอซี 555 เพื่อเป็นตัวสวิทซ์ที่ซึ่งให้ไอซี 555 ทำงานและซิมอสเฟตอินเวอร์เตอร์ที่ขา3 ซึ่งเป็นขาเอาพุตของไอซี 555 เพื่อเป็นวงจรขับกำลังตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค เข้าในวงจรรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ไลอะแกรมวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

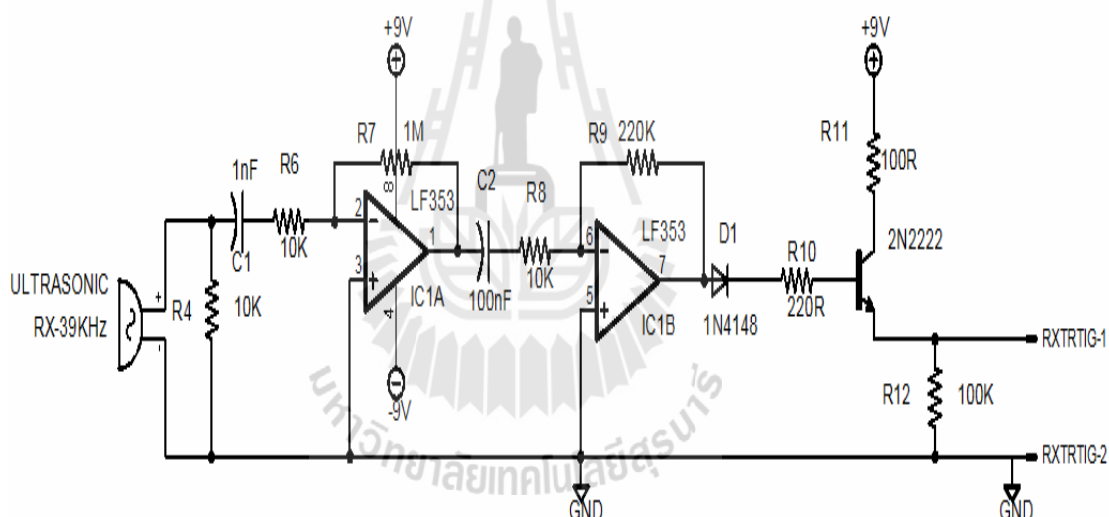
3.1.1 การทำงานของวงจร วงจรในรูป3.3 เมื่อมีสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเป็นลอจิก 0 จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาที่ขาเกตของมอสเฟทเบอร์ BS170 มอสเฟทจะไม่ทำงานทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ความต้านทาน $8.2\ k\Omega$ แรงดันนี้จะเป็นสัญญาณที่เข้าไปยังขาเรีเซ็ทของไอซี 555 เมื่อมีสัญญาณแรงดันตกคร่อมขาเรีเซ็ท ไอซี 555 ก็จะทำงาน ทำให้มีสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขา 3 สัญญาณจากขา 3 นี้จะไปผ่านวงจร MOSFET DRIVER สวิตซ์เชิงความถี่สูง (CMOS inverter)เบอร์ TC4421A ที่ต่ออยู่กับตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อเพิ่มกำลังในการส่งทำให้คลื่นอัลตราโซนิกถูกส่งออกไปทางอากาศ เมื่อสัญญาณเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์เปลี่ยนเป็นลอจิก 1 จะทำให้มอสเฟทเบอร์ BS170 ทำงานจะทำให้ขาเรีเซ็ทของไอซีเบอร์ 555 ถูกต่อลงกราวด์ เมื่อขาเรีเซ็ทไม่มีแรงดันเข้าไอซี 555 ก็ไม่ทำงาน จึงเป็นการหยุดส่งคลื่นอัลตราโซนิก



รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิกจริง

3.2 การออกแบบวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก

เนื่องจากสัญญาณที่รับได้มีขนาดเล็กจึงต้องมีการขยายสัญญาณก่อนแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปป้อนเป็นสัญญาณอินพุตเพื่อสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในลำดับต่อไป วงจรขยายสัญญาณดังรูปที่ 3.5 จะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF353 ซึ่งมีออปแอมป์สองตัวในไอซีตัวเดียว ต่อความต้านทาน $10\text{ k}\Omega$ คร่อมตัวรับเพื่อปรับความไวในการรับสัญญาณและตัวเก็บประจุขนาด 1 nF เพื่อลดสัญญาณรบกวน สัญญาณที่ออกจากวงจรขยายเป็นสัญญาณกระแสสลับ จึงต่อไดโอดเพื่อเรียงกระแสให้มีเฉพาะซีกบวก จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อให้มีกระแสไหลจากขาคอลเล็กเตอร์ผ่านทรานซิสเตอร์มายังขาอิมิตเตอร์ซึ่งทำให้มีแรงดันตกไฟตรงตกคร่อมที่ความต้านทานค่า $10\text{ k}\Omega$ แรงดันที่ได้นี้จะนำไปป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป



รูปที่ 3.5 ไอซีแอมป์ขยายสัญญาณในภาครับคลื่นอัลตราโซนิก

เหตุผลในการเลือกใช้ออปแอมป์ในวงจรขยายสัญญาณ คือ ออปแอมป์มีอัตราขยายแรงดันสูง มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ และมีผลตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดี วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) อัตราขยาย (A) สามารถคำนวณได้จาก

$$A = \frac{V_o}{V_i} \cong \frac{-R_2}{R_1} \quad (3.6)$$

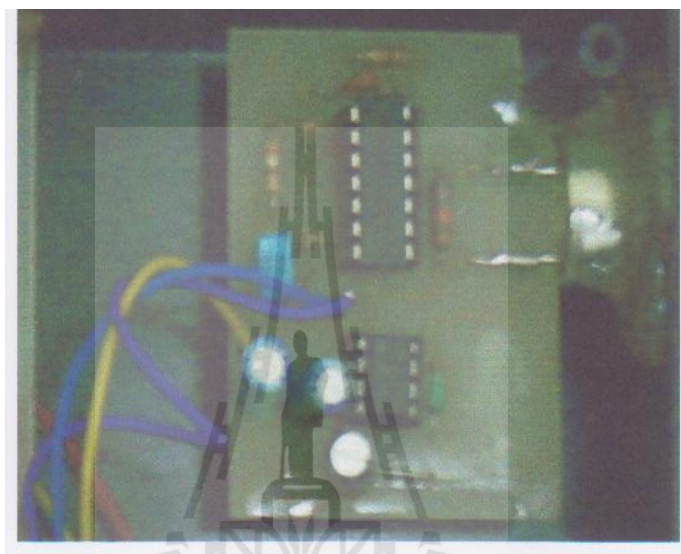
จากรูปที่ 3.6 ใช้สมการที่ (3.6) หาอัตราขยายของออปแอมป์ตัวที่หนึ่งเป็น

$$A_1 = \frac{-1M\Omega}{10k\Omega} = 100 \text{ เท่า}$$

และอัตราขยายของออปแอมป์ตัวที่สองเป็น

$$A_2 = \frac{-200k\Omega}{10k\Omega} = 20 \text{ เท่า}$$

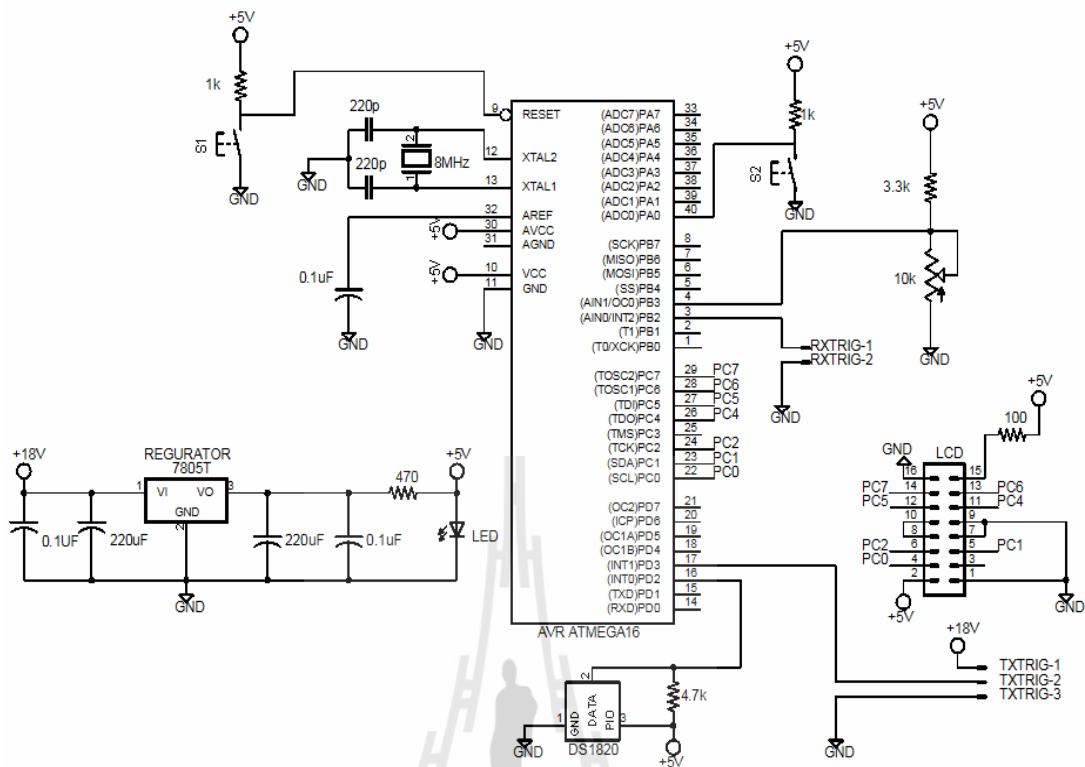
รวมอัตราขยายทั้งหมด คือ $A_1 \times A_2 = 100 \times 20 = 2000$ เท่า



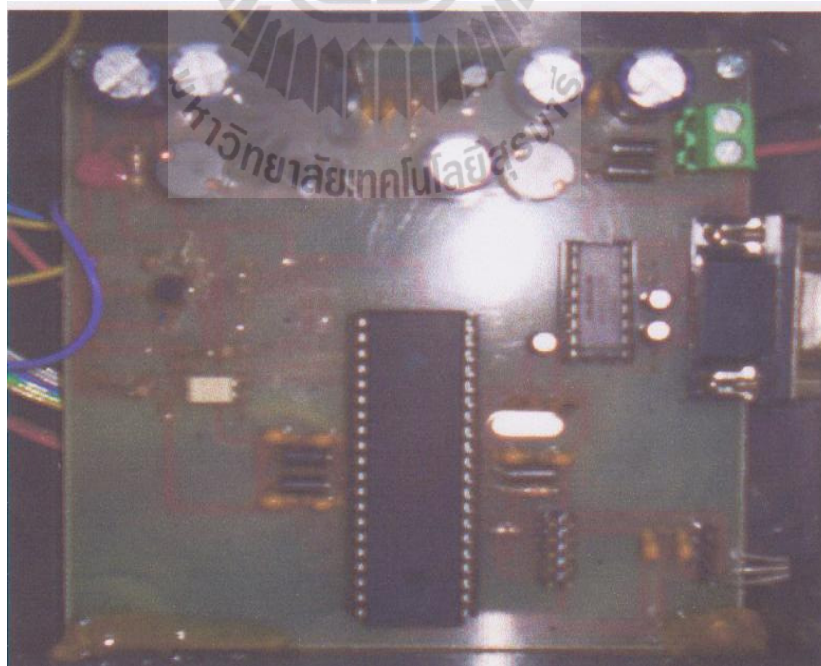
รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณในภาครับคลื่นอัลตราโซนิกจริง

3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และการโปรแกรม

จะคำนวณระยะเวลาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega16 วงจรมีลักษณะการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.7 การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเขียนโปรแกรมคำสั่งภาษาซีให้สร้างสัญญาณนาฬิกาและจับเวลาในการรับส่งคลื่นอัลตราโซนิก แล้วนำมาคำนวณระยะเวลาตามสมการที่ 3.1 ซึ่งมีการนำอุณหภูมิมาเป็นตัวแปรหนึ่งในการคำนวณระยะเวลาด้วย จากนั้นแสดงผลออกทางจอแอลซีดี การทำงานจะเริ่มจากการส่งคลื่นออกไปพร้อมกับตั้งให้ฟังก์ชันจับเวลาทำงาน สัญญาณที่ได้จากวงจขยายสัญญาณในรูปที่ 3.6 จะถูกใช้งานเป็นสัญญาณเปรียบเทียบแรงดันแบบแอนาล็อก ถ้ามีคลื่นสะท้อนกลับมาแรงดันที่ขา 3 จะมากกว่าขา 4 จะทำให้ฟังก์ชันที่ใช้จับเวลาในไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะถูกกระตุ้นให้ทำงานคือหยุดเวลา เมื่อได้ระยะเวลาที่จะสามารถคำนวณระยะเวลาได้ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ในรูปที่ 3.7 แสดงการต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรไฟเลี้ยง 5 v. ปุ่มกดวัดระยะเวลา วงจรต่อจอแอลซีดี วงจรต่อเซ็นเซอร์อุณหภูมิและวงจรเปรียบเทียบแรงดันแอนาล็อก



รูปที่ 3.7 ไลอะแกรมวงจรต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

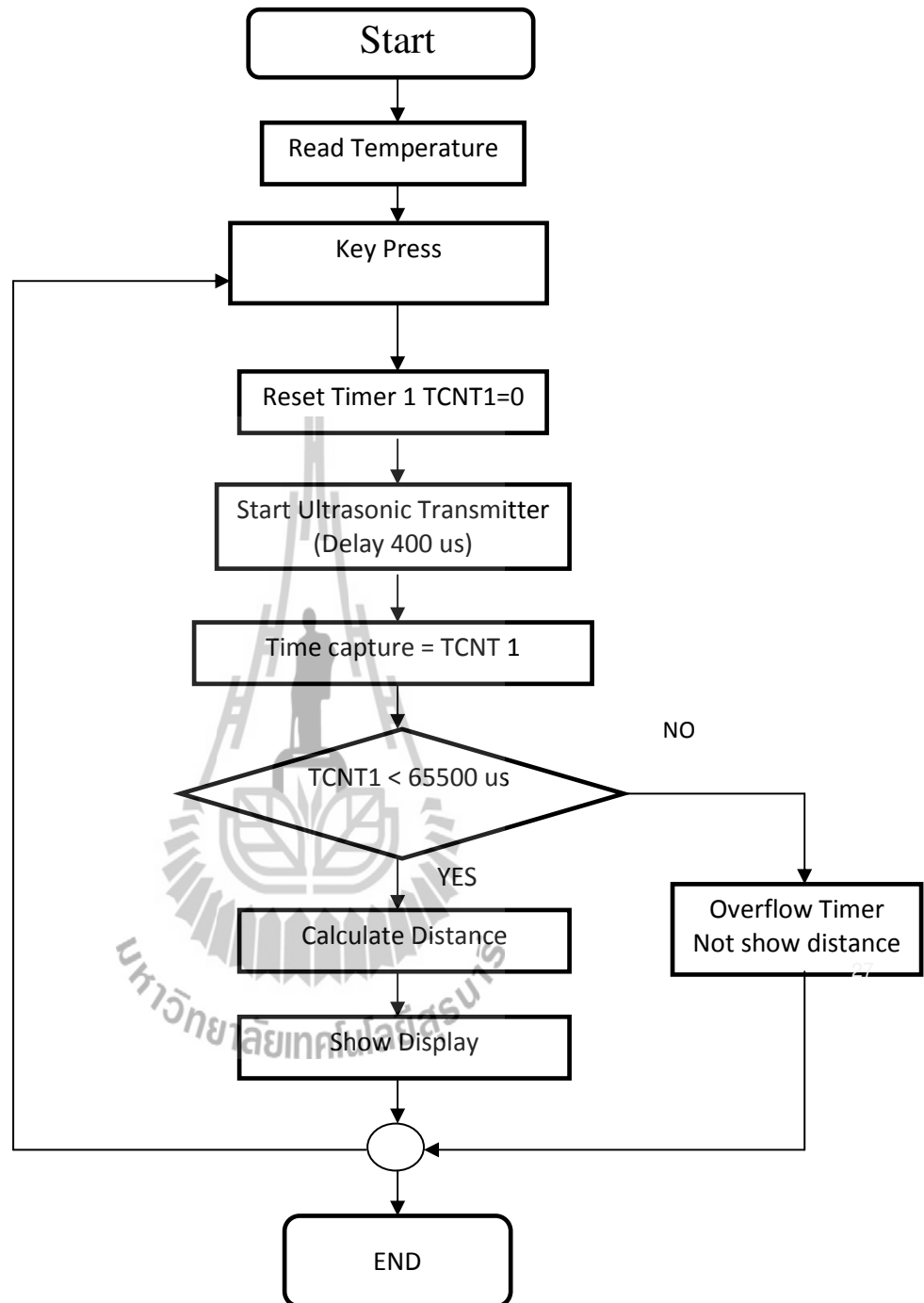


รูปที่ 3.8 วงจรต่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จริง

3.3.1 การเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมมีลำดับการเขียนดัง flow chart ในรูปที่ 3.8 เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม โปรแกรมจะตรวจสอบอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์คือเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ จากนั้นการเปิดใช้งานโมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนาล็อก จากนั้นทำการอ่านค่าอุณหภูมิ เมื่อส่งกดปุ่มสั่งให้เครื่องวัดระยะทาง ให้รีเซ็ตค่าฟังก์ชันไทม์เมอร์ TCNT1 เป็น 0 เพื่อเริ่มต้นค่าใหม่ แล้วสั่งให้ส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไปด้วยเวลา $400 \mu s$ แล้วหยุดส่ง (ส่งคลื่นออกไปชั่วขณะ เพราะถ้าส่งตลอดเวลา คลื่นอาจจะเกิดการแทรกสอดหรือถูกรบกวนจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงอื่นได้) เปิดให้บิต ACO ในโมดูลแอนาล็อกที่ใช้เป็นตัวรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาทำงานได้ เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณที่ส่งวิ่งเข้าหาตัวรับในทันทีที่ส่งสัญญาณออกไป เมื่อบิต ACO เปลี่ยนสถานะหรือ ไทม์เมอร์ TCNT1 จับเวลาได้เกิน $65500 \mu s$ (เป็นค่าที่ตั้งไว้ให้วัดใช้ในการวัดระยะทางได้ไม่เกิน 10 เมตร) แล้วไทม์เมอร์ TCNT1 ถูกเซ็ตให้มีความตามที่จับเวลาได้ จากนั้นตรวจสอบว่าเวลาของ TCNT1 มากเกิน $65500 \mu s$ หรือไม่ ถ้าเวลาน้อยกว่าให้คำนวณระยะทาง และโปรแกรมจะวนกลับไปเริ่มต้นอีกครั้ง แต่ถ้ามากกว่าจะไม่แสดงผลว่าวัดระยะทางได้กี่เมตร จากนั้นโปรแกรมจะวนกลับไปเริ่มต้นอีกครั้ง





รูปที่ 3.9 flow chart

จากนั้นใช้โปรแกรม CodeVisionAVR เพื่อคอมไพล์ โปรแกรมภาษาซี ซึ่งมีโค้ดโปรแกรมและคำอธิบายดังนี้

บรรทัด

โค้ดโปรแกรม

```

1      /*****
2      Project : Ultrasonic Distance Meter
3      Chip type : ATmega16
4      Program type : Application
5      Clock frequency : 8.000000 MHz
6      Memory model : Small
7      External SRAM size : 0
8      Data Stack size : 256
9      *****/
10     #include <mega16.h>
11     // 1 Wire Bus functions
12     #asm
13     .equ __w1_port=0x12 ;PORTD
14     .equ __w1_bit=2
15     #endasm
16     #include <1wire.h>
17     // DS1820 Temperature Sensor functions
18     #include <ds1820.h>
19     // Alphanumeric LCD Module functions
20     #asm
21     .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
22     #endasm
23     #include <lcd.h>
24     #include <stdio.h>
25     #include <stdlib.h>
26     #include <delay.h>
27     #include <math.h>

```

```
28 // Timer 1 overflow interrupt service routine
29 interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
30 {
31 }
32 // Analog Comparator interrupt service routine
33 interrupt [ANA_COMP] void ana_comp_isr(void)
34 {
35 }
36 // Declare global variables
37 char lcd_buffer[33],Tempstring[8];
38 float Tempfloat,distance,dfactor;
39 unsigned char distances[10];
40 void main(void)
41 {
42 // Declare your local variables here
43 /* maximum number of DS18B20 connected to the 1 Wire bus */
44 #define MAX_DEVICES 8
45 /* DS18B20 devices ROM code storage area */
46 unsigned char rom_code[MAX_DEVICES][9];
47 unsigned char i,j,devices;
48 int temp;
49 float temprd;
50 unsigned int timecap;
51 PORTD=0x00;
52 DDRD=0x08;
53 // Timer/Counter 1 initialization
54 // Clock source: System Clock
55 // Clock value: 1000.000 kHz
56 // Mode: Normal top=FFFFh
57 // OC1A output: Discon.
```

```
58 // OC1B output: Discon.
59 // Noise Canceler: Off
60 // Input Capture on Falling Edge
61 // Timer 1 Overflow Interrupt: On
62 // Input Capture Interrupt: Off
63 // Compare A Match Interrupt: Off
64 // Compare B Match Interrupt: Off
65 TCCR1A=0x00;
66 TCCR1B=0x02;
67 TCNT1H=0x00;
68 TCNT1L=0x00;
69 ICR1H=0x00;
70 ICR1L=0x00;
71 OCR1AH=0x00;
72 OCR1AL=0x00;
73 OCR1BH=0x00;
74 OCR1BL=0x00;
75 // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
76 TIMSK=0x04;
77 // Analog Comparator initialization
78 // Analog Comparator: On
79 // Interrupt on Rising Output Edge
80 // Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: On
81 ACSR=0x0F;
82 SFIOR=0x00;
83 // 1 Wire Bus initialization
84 w1_init();
85 // LCD module initialization
86 lcd_init(16);
87 // Global enable interrupts
```

```

88     #asm("sei")
89     PORTD.3 = 1;
90     /* detect how many DS18B20 devices
91     are connected to the 1 Wire bus */
92     devices=w1_search(0xf0,rom_code);
93     lcd_clear();
94     sprintf(lcd_buffer,"%u DS1820\nDevice detected",devices);
95     lcd_puts(lcd_buffer);
96     delay_ms(400);
97     ACSR.0 = 1; //Rising Edge
98     ACSR.1 = 1;
99     ACSR.3 = 0; // Disable interrupt
100    ACSR.7 = 0; // Switch On Analog Comp
101    lcd_clear();
102    lcd_putsf(":-Distance Meter");
103    lcd_gotoxy(17,0);
104    lcd_putsf("^_^ Press Button");
105    while (1)
106    { if(PINA.0 == 0){ // Check Key Press
107    temp=ds1820_temperature_10(&rom_code[0][0]);
108    j+='+';
109    if (temp<0)
110    {
111    j='-';
112    temp=-temp;
113    };
114    temprd=temp/10;
115    //TX usonic
116    TCNT1 = 0;
117    PORTD.3 = 0;

```

```
118     delay_us(400);
119     PORTD.3 = 1;
120     delay_us(1500);
121     // enable interrupt ACSR.ACIE = 0;
122     while(ACSR.5 != 1){
123         if(TCNT1 > 65500) break;
124     }
125     timecap = TCNT1;
126     if(timecap < 65500){
127         //time count in us//= 331 / 1000000 m
128         dfactor = temprd / 273;
129         dfactor = dfactor + 1;
130         dfactor = sqrt(dfactor);
131         dfactor = dfactor * 0.000331;
132         distance = timecap * dfactor;
133         distance=(distance/2)-0.0171; // 0.0171 is error value //this value form testing
134     lcd_clear();
135     ftoa(distance,3,distances);
136     ftoa(temprd,1,Tempstring);
137     lcd_puts(distances);
138     lcd_putsf(" m T=");
139     lcd_puts(Tempstring);
140     lcd_putsf("C");
141     lcd_gotoxy(17,0);
142     sprintf(lcd_buffer," Time=%u uSec",timecap);
143     lcd_puts(lcd_buffer);
144     }else{
145     sprintf(lcd_buffer,"<<Out of range>>\n Time=%u",timecap);
146     lcd_clear();
147     lcd_puts(lcd_buffer);
```

```

148         delay_ms(100);
149     }
150     } // End if key press
151 };
152 }
```

บรรทัดที่ 1 ถึง 9

หมายเหตุของโปรแกรม โดยอยู่ในเครื่องหมาย /*...*/ นอกจากนี้ในโปรแกรม บางบรรทัดยังมี
หมายเหตุรวมอยู่ในบรรทัดของโค้ดโปรแกรมด้วย โดยมีหมายเหตุอยู่หลังเครื่องหมาย //

บรรทัดที่ 10

ผนวกไฟล์ mega16.h โดยใช้คีย์เวิร์ดคอนโทรลไดเรกทีฟ #include<...> ที่ได้
รวบรวมไฟล์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานรีจิสเตอร์และฟังก์ชันต่างๆ

บรรทัดที่ 12 ถึง 18

คำสั่งกำหนดใช้งาน PORT D บิตที่ 2 สำหรับการอ่านอุณหภูมิจากไอซี DS1820

บรรทัดที่ 20 ถึง 22

คำสั่งกำหนดใช้งาน PORT C สำหรับการใช้งาน โมดูลแอลซีดี

บรรทัดที่ 23 ถึง 27

ผนวกไฟล์ที่จะใช้งานในโปรแกรม โดย lcd.h เป็นการเรียกใช้งานฟังก์ชันเกี่ยวกับโมดูลแอลซีดี
stdio.h เป็นการเรียกใช้งานฟังก์ชันเกี่ยวกับชุดคำสั่งมาตรฐานอินพุตและเอาต์พุตในไลบรารีนี้จะมี
ฟังก์ชัน printf() ให้เรียกใช้งานได้ stdlib.h เป็นการเรียกใช้งานฟังก์ชันเกี่ยวกับไลบรารี delay.h
เป็นการเรียกใช้งานฟังก์ชันเกี่ยวกับการหน่วงเวลา และ math.h เป็นการเรียกใช้งานฟังก์ชันที่
เกี่ยวกับการคำนวณด้วยสูตรคณิตศาสตร์

บรรทัดที่ 28 ถึง 35

ฟังก์ชันการใช้งาน โมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนาลอกกับอินเทอร์รัปต์ ฟังก์ชันนี้
ทำหน้าที่เคลียร์รีจิสเตอร์ของไทม์เมอร์ที่เกิดโอเวอร์โฟลว์

บรรทัดที่ 37 ถึง 39

ประกาศตัวแปรเกี่ยวกับค่าอุณหภูมิ ระยะทางและการแสดงผลบนจอแอลซีดี

บรรทัดที่ 40

ฟังก์ชันหลักมีโค้ดคำสั่งภายในเครื่องหมาย {...}

บรรทัดที่ 43 ถึง 46

ประกาศตัวแปรเกี่ยวกับการอ่านค่าอุณหภูมิ

บรรทัดที่ 47 ถึง 50

กำหนดตัวแปรเกี่ยวกับค่าอุณหภูมิและเวลา

บรรทัดที่ 51

กำหนดค่า 0x00 ในเลขฐานสิบหก หรือเท่ากับ 0000 0000 ในเลขฐานสอง ให้กับขาของ PORTD ทุกขาเป็น 0 เพื่อเคลียร์ขาพอร์ต

บรรทัดที่ 52

กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ DDRD เพื่อกำหนดทิศทางพอร์ต โดยกำหนดค่า 0x08 หรือเท่ากับ 0000 1000 ในเลขฐานสอง ส่งผลให้บิตที่ 3 เป็นเอาต์พุต

บรรทัดที่ 53 ถึง 76

กำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ในไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1

บรรทัดที่ 77 ถึง 82

กำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ใน โมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนาล็อก

บรรทัดที่ 84 ถึง 88

กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ โมดูลแอลซีดี

บรรทัดที่ 89 ถึง 96

คำสั่งตรวจสอบค่าใน DS1820 และแสดงผลบนจอแอลซีดีโดยใช้เวลา 400มิลลิวินาทีในการแปลงอุณหภูมิ เพื่อนำค่าที่แปลงได้มาเก็บไว้ในสแควดซ์แพดก่อนที่จะอ่านค่าอุณหภูมิมาใช้งาน

บรรทัดที่ 97 ถึง 100

กำหนดรีจิสเตอร์ ACSR เพื่อเปิดการใช้งาน โมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนาล็อก

บรรทัดที่ 101 ถึง 104

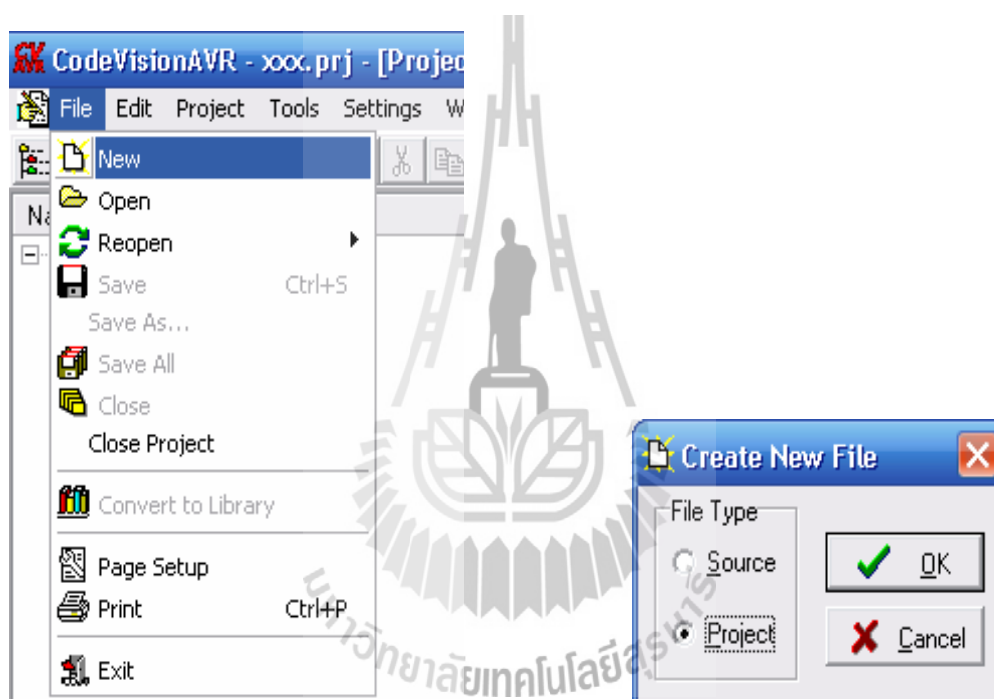
กำหนดค่าการแสดงผลบนจอแอลซีดีเมื่อเปิดเครื่อง

บรรทัดที่ 105 ถึง 140

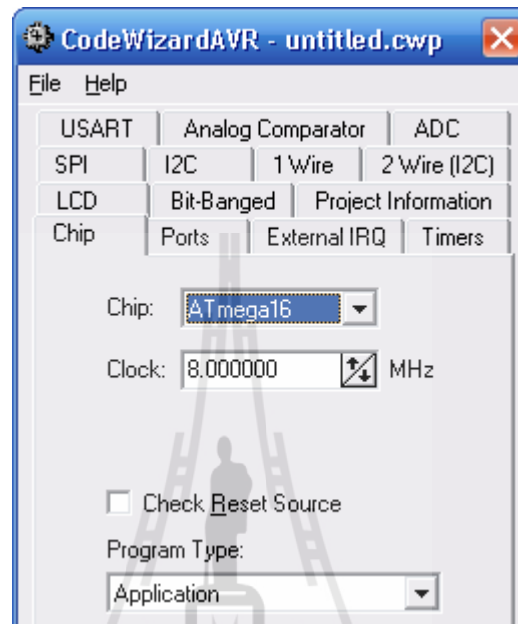
เงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม คือ เมื่อกดปุ่มจะทำให้พอร์ต PA0 เป็นลอจิก 0 โปรแกรมจะเก็บค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ไว้ในหน่วยความจำ และไทม์เมอร์จะเริ่มจับเวลา โดยเริ่มตั้งแต่ค่า 0 และ PORTD.3 จะให้เอาต์พุตเป็น 0 เพื่อป้อนให้วงจรภาครับทำงานเป็นเวลา 400 มิลลิวินาที จากนั้นจึงมีการตรวจสอบบิต ACO ในรีจิสเตอร์ ACSR ในโมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนาล็อก เมื่อเงื่อนไขเป็นจริงก็จะมีการคำนวณและแสดงผลออกทางจอแอลซีดี

ขั้นตอนการเริ่มต้นใช้โปรแกรม CodeVisionAVR ในการเขียนโปรแกรมภาษาซีในโครงการ เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

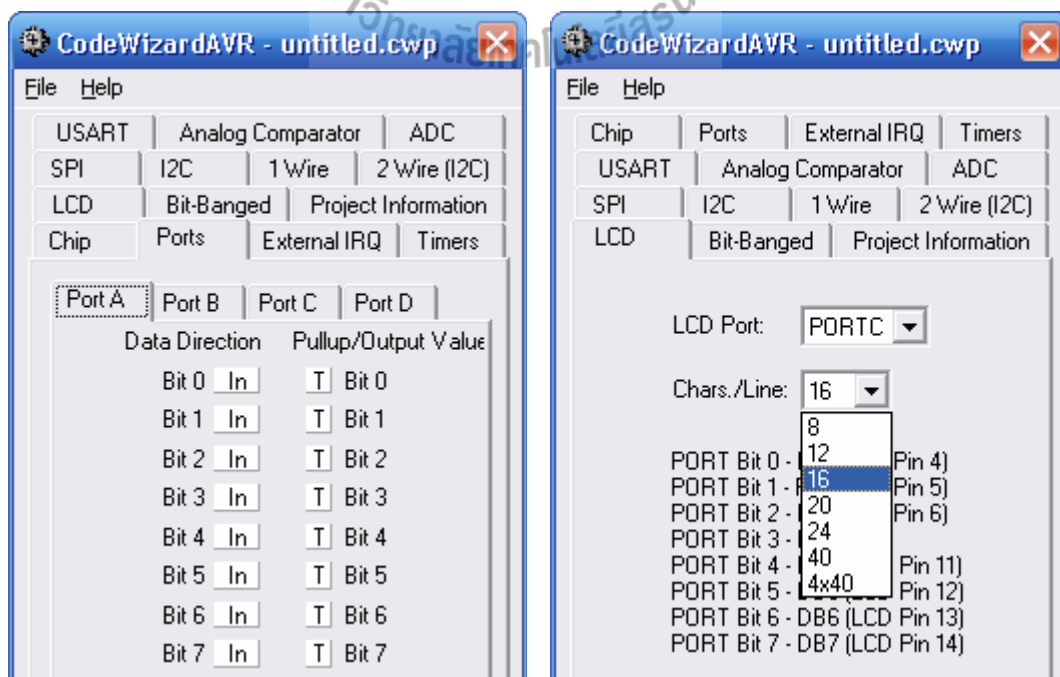
1. เปิดใช้งาน โปรแกรม CodeVisionAVR เมื่อหน้าต่าง โปรแกรมถูกเปิดขึ้นมาเรียบร้อยแล้วให้คลิกที่เมนู file เลือก new จากนั้นเลือก Project แล้วคลิกปุ่ม OK เพื่อเริ่มต้นสร้างโค้ด โปรแกรม แล้วคลิกปุ่ม Yes เพื่อเลือกใช้ CodeWizardAVR ดังแสดงในรูปข้างล่าง



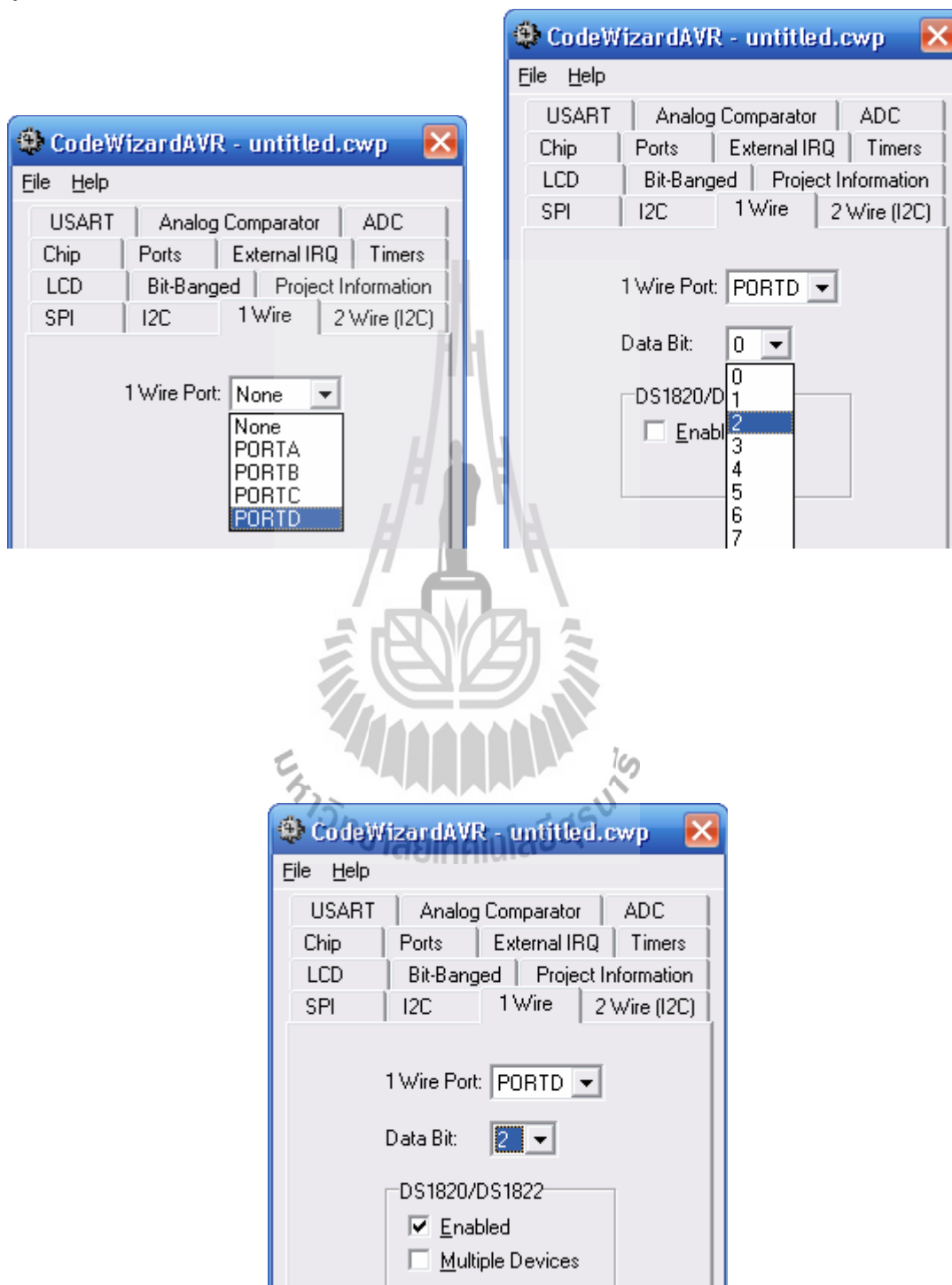
2. เมื่อนำหน้าต่าง CodeWizardAVR แสดงขึ้นมา ให้เลือกแถบ Chip แล้วเลือกเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์และความถี่ของคริสตัลจากรูปข้างล่าง



3. เลือกแถบ Port เพื่อกำหนดว่าจะให้บิตใด PORT เป็นอินพุตและเอาต์พุต จากนั้นเลือกแถบ LCD แล้วเลือก PORTC สำหรับการใช้งาน โมดูลแอลซีดี



4. เลือกแท็บ 1 Wire เพื่อกำหนดการใช้งานของไอซีวัดอุณหภูมิ DS1820 และกำหนดค่าต่างๆดังรูปข้างล่าง



5. เลือกแถบ Timers แล้วคลิกแถบ Timer1 แล้วตั้งค่าต่างๆดังนี้

Clock source: System Clock

Clock value: 1000.000 kHz

Mode: Normal top=FFFFh

OC1A output: Discon.

OC1B output: Discon.

Noise Canceler: Off

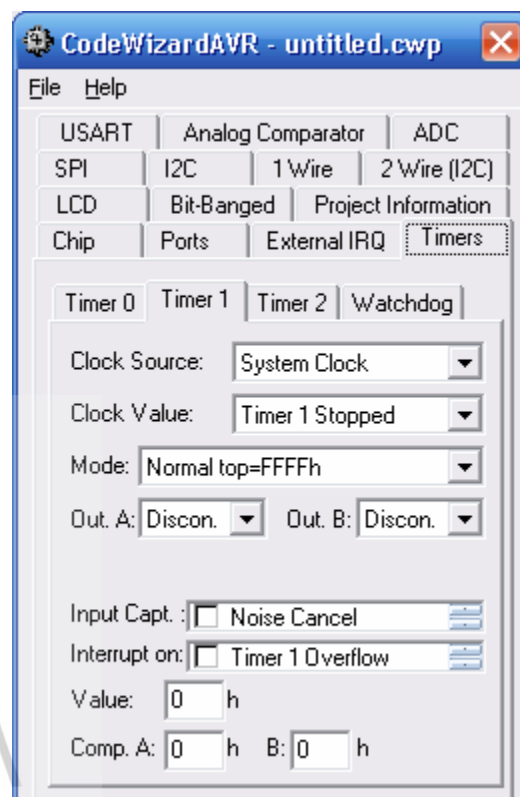
Input Capture on Falling Edge

Timer 1 Overflow Interrupt: On

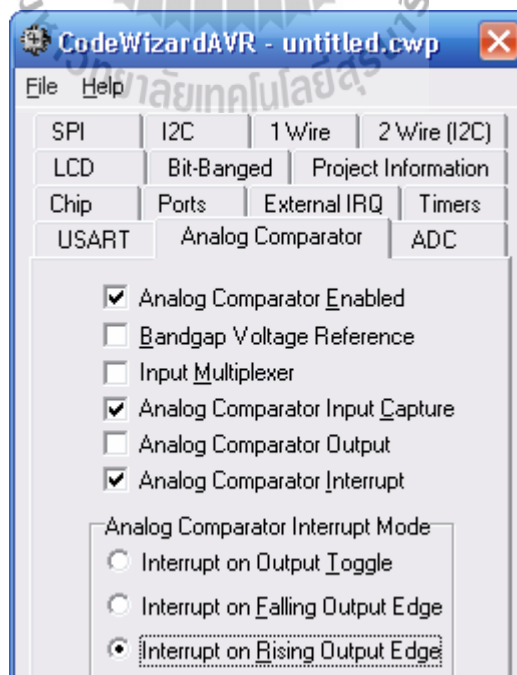
Input Capture Interrupt: Off

Compare A Match Interrupt: Off

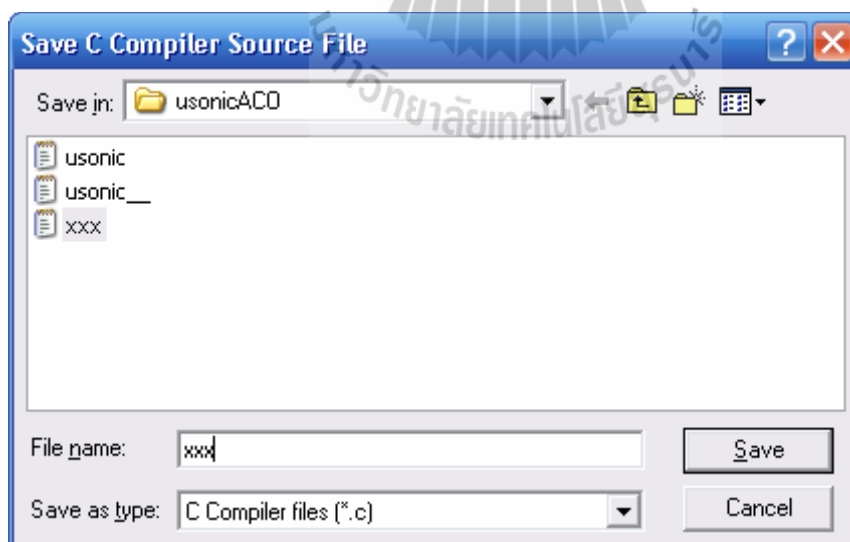
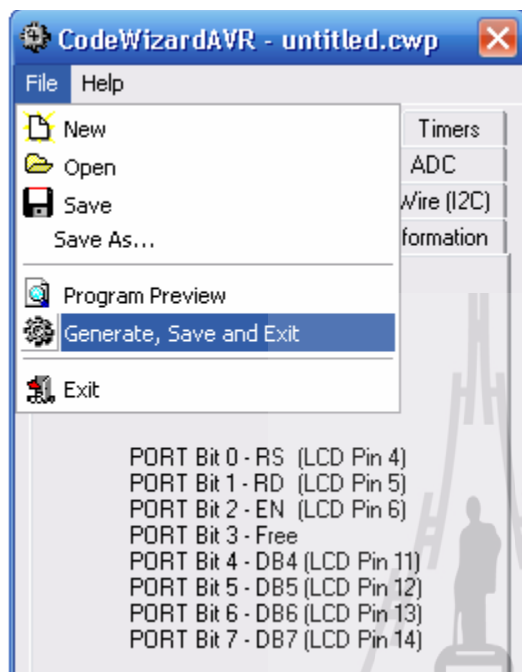
Compare B Match Interrupt: Off



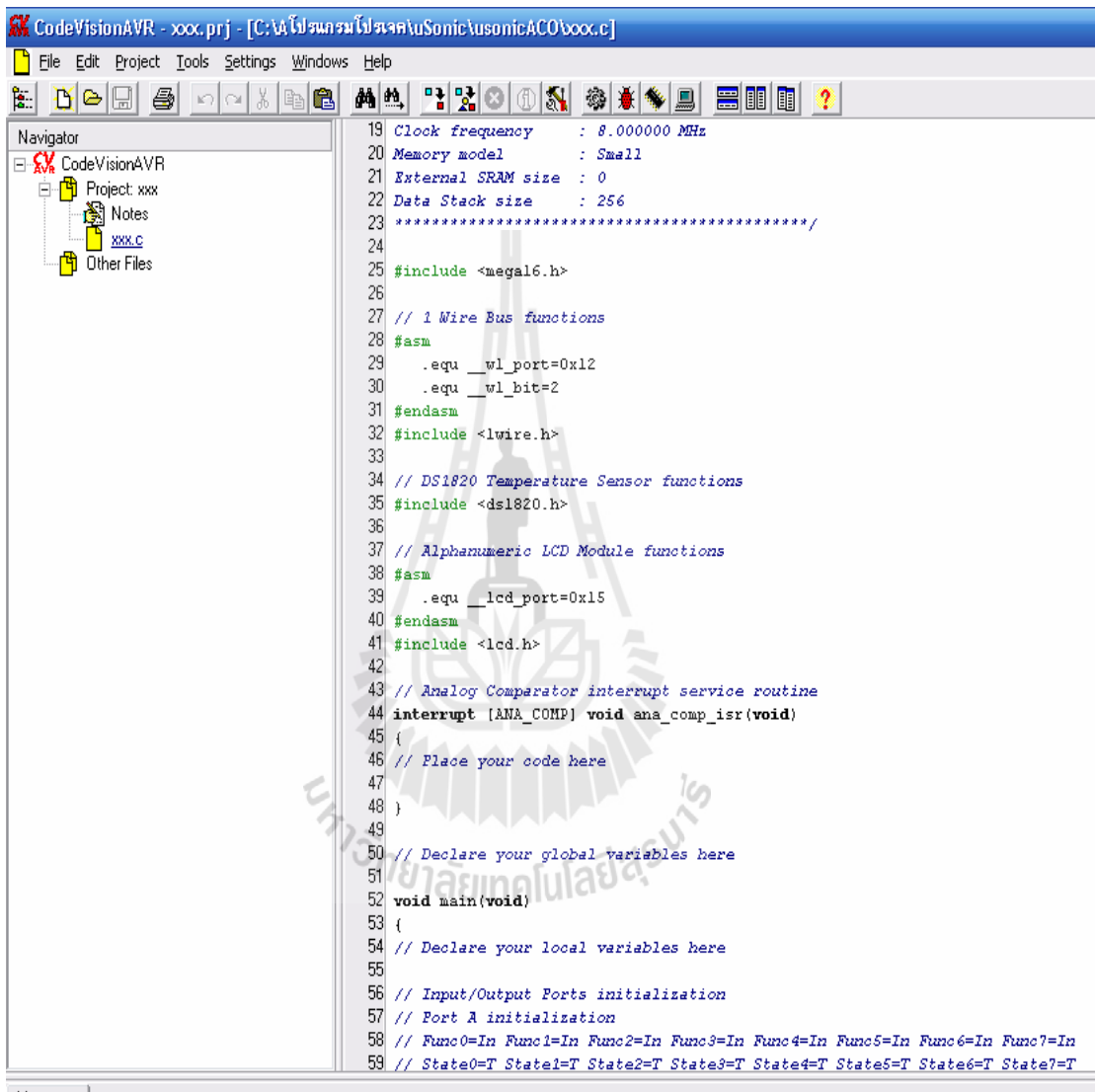
6. เลือกแถบ Analog Comparator แล้วตั้งค่าต่างๆดังรูปข้างล่าง



7. คลิก File เลือก Generat, Save and Exit แล้วเลือกที่สำหรับเซฟไฟล์ จากนั้นตั้งชื่อไฟล์เป็นชื่อเดียวกัน เช่น ชื่อ xxx ทั้งสามนามสกุล



8. เมื่อเซฟไฟล์เรียบร้อยแล้ว จะมีหน้าต่างปรากฏโค้ดที่โปรแกรม CodeWizardAVR สร้างขึ้นมา ให้ จากนั้นให้เข้าไปแก้ไขโค้ด ในส่วนของการประกาศตัวแปรต่างๆ การกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ และเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม



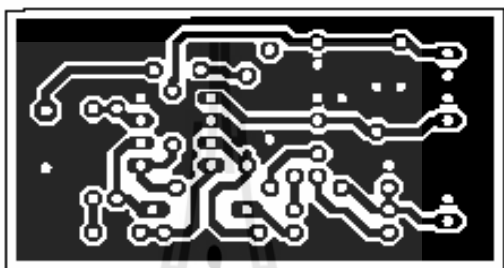
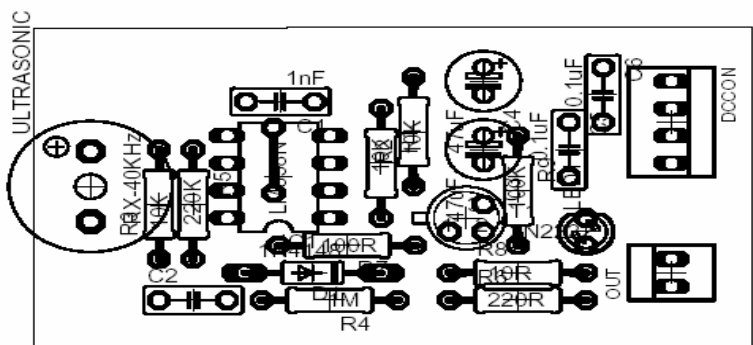
```

CodeVisionAVR - xxx.prj - [C:\โปรแกรมโปรเจกต์\Sonic\usonic\ACO\box.c]
File Edit Project Tools Settings Windows Help
19 Clock frequency : 8.000000 MHz
20 Memory model : Small
21 External SRAM size : 0
22 Data Stack size : 256
23 *****/
24
25 #include <mcp6.h>
26
27 // I Wire Bus functions
28 #asm
29 .equ __wl_port=0x12
30 .equ __wl_bit=2
31 #endasm
32 #include <lwire.h>
33
34 // DS1820 Temperature Sensor functions
35 #include <ds1820.h>
36
37 // Alphanumeric LCD Module functions
38 #asm
39 .equ __lcd_port=0x15
40 #endasm
41 #include <lcd.h>
42
43 // Analog Comparator interrupt service routine
44 interrupt [ANA_COMP] void ana_comp_isr(void)
45 {
46 // Place your code here
47
48 }
49
50 // Declare your global variables here
51
52 void main(void)
53 {
54 // Declare your local variables here
55
56 // Input/Output Ports initialization
57 // Port A initialization
58 // Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In
59 // State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T

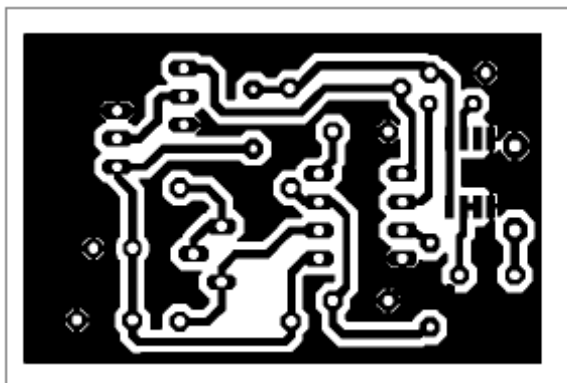
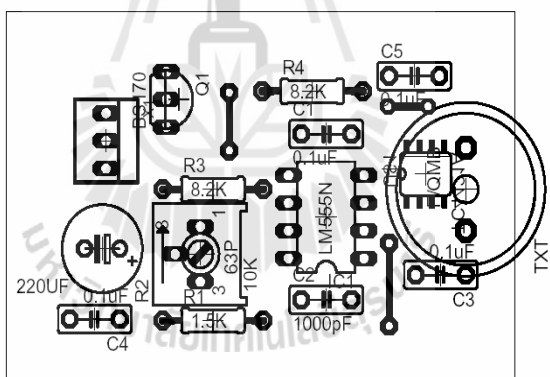
```

3.4 การสร้างวงจร

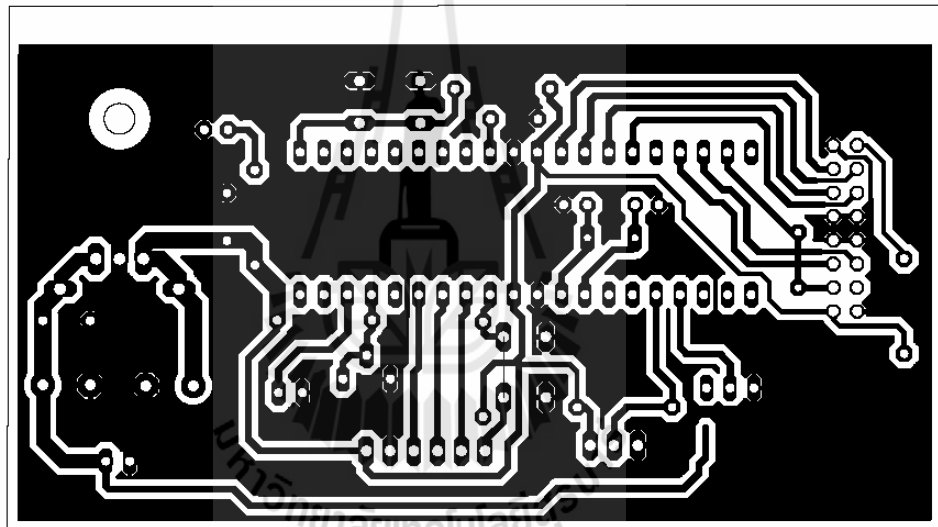
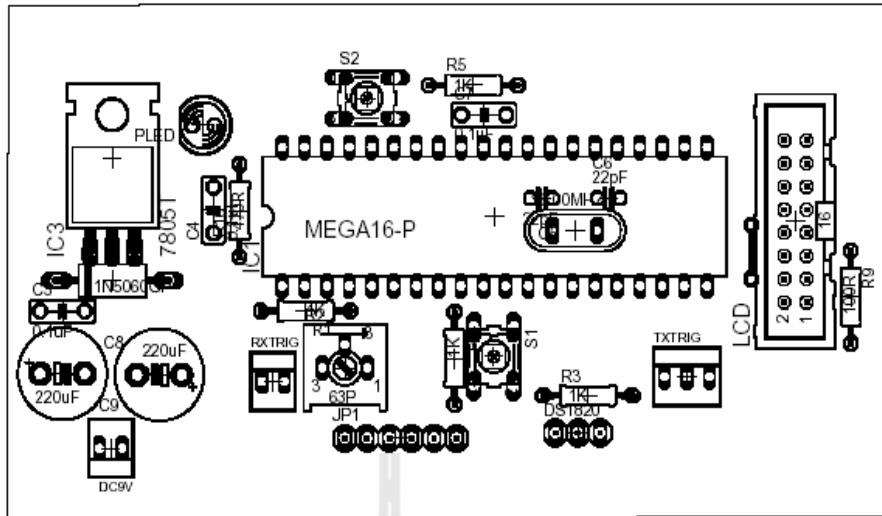
การออกแบบลายวงจรรวม (PCB) จะใช้โปรแกรม EAGLE เวอร์ชัน 4.16 ในการออกแบบลายวงจร ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมและคู่มือการใช้งานได้ฟรีที่ www.cadsoftusa.com วงจรที่ออกแบบเสร็จแล้ว แสดงดังในรูปที่ 3.8 ซึ่งจะแยกบอร์ดวงจรเป็นส่วนภาครับ ภาคส่ง และภาคประมวลผลออกจากกัน เพราะจากการทดลองรวมทุกวงจรไว้ในบอร์ดเดียวกัน พบว่าการทำงานของวงจรไม่มีความเสถียรภาพ



รูปที่ 3.10(ก) ลายวงจรภาครับ



รูปที่ 3.10(ข) ลายวงจรภาคส่ง



รูปที่ 3.10 (ค) ลายวงจรภาคประมวลผล

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 บทนำ

ในการวัดระยะทางนี้เป็นการทดลองโปรแกรมในส่วนภาคแสดงผล เพื่อทดสอบว่าจะสามารถแสดงผลในการวัดระยะทางได้ถูกต้องหรือไม่ โดยทำการวัดที่ระยะทางต่างๆ แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจริงและทำการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ซึ่งการทดลองวัดระยะทางนี้จะให้คลี่นสะท้อนกับผนังคอนกรีตเรียบ

4.2 การทดลองวัดระยะทางโดยให้คลี่นสะท้อนกับผนังคอนกรีตพื้นเรียบ

ทดลองวัดระยะทางโดยการให้คลี่นสะท้อนกับผนังคอนกรีตพื้นเรียบนั้น อุณหภูมิขณะทดลองจะมีค่าแตกต่างกัน และลักษณะการใช้งานเครื่องวัดระยะทางเป็นดังรูป 4.1 คือต้องวางเครื่องวัดให้ตั้งฉากกับวัตถุที่เราจะทำการวัดระยะทาง เพื่อให้ผลการทดลองมีความเที่ยงตรง



รูปที่ 4.1 ลักษณะการใช้งานเครื่องวัดระยะทาง

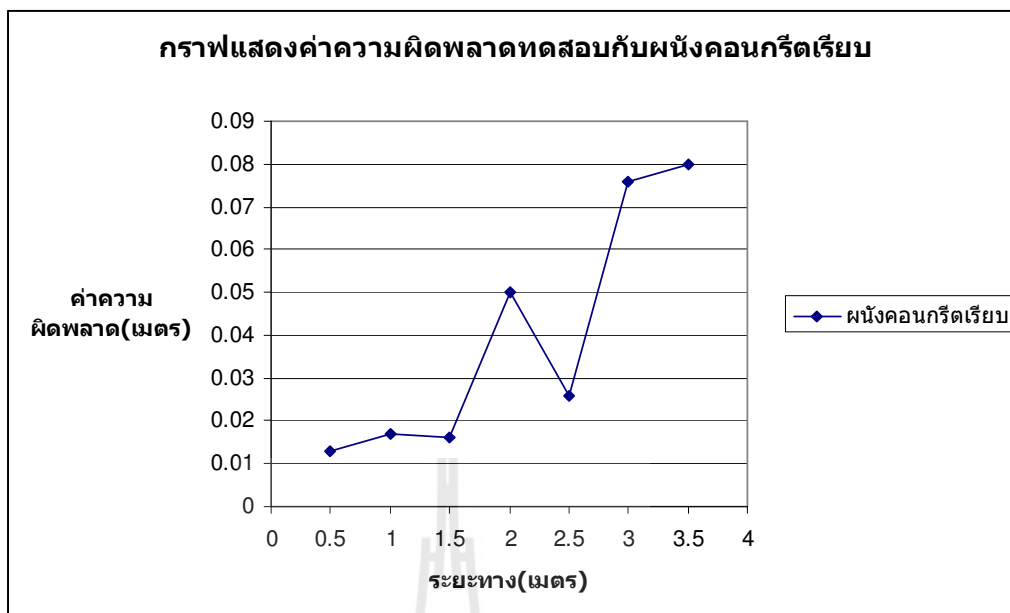
โดยการวัดระยะทางจะทำการวัดค่าทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่าระยะทางที่วัดได้ทั้ง 3 ครั้ง มา คำนวณหาค่า ระยะทางเฉลี่ย(เมตร), ค่าความผิดพลาด(เมตร) และ ค่าความผิดพลาด(%)

$$\text{ระยะทางเฉลี่ย} = \left(\frac{\text{ระยะทางรวม}}{\text{จำนวนครั้งที่ทำการวัด}} \right)$$

$$\text{ค่าความผิดพลาด(\%)} = \left(\frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่าจริง}} \right) \times 100$$

ตารางที่ 4.1 การทดลองวัดระยะทางโดยให้คลื่นสะท้อนกับผนังคอนกรีตพื้นเรียบ

ระยะทาง จริง (เมตร)	ผลวัดครั้งที่ 1	ผลวัดครั้งที่ 2	ผลวัดครั้งที่ 3	ระยะทาง วัดเฉลี่ย (เมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (เมตร)
	ระยะทาง	ระยะทาง	ระยะทาง		
0.50	0.51	0.52	0.51	0.513	0.013
1.00	0.92	0.95	1.08	0.983	0.017
1.50	1.53	1.47	1.55	1.516	0.016
2.00	1.97	1.96	1.92	1.950	0.050
2.50	2.55	2.54	2.49	2.526	0.026
3.00	3.10	3.08	3.05	3.076	0.076
3.50	3.57	3.59	3.58	3.58	0.080



รูปที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดทดสอบกับผนังคอนกรีตเรียบ

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางการทดลองจะเห็นว่าสามารถวัดระยะทางได้ไกลที่สุด 3.50 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เชื่อถือได้ในระดับหนึ่งเพราะค่าความผิดพลาดมีน้อย และยังมีเสถียรภาพในการวัด เพราะถ้าวัดที่ระยะทางไกลเกิน 3.50 เมตร การวัดระยะทางจะทำได้เป็นบางครั้งเท่านั้น ในการวัดระยะทางต้องให้เครื่องวัดระยะทางสูงขึ้นมาจากพื้นเล็กน้อย เพราะคลื่นบางส่วนมีการสะท้อนลงพื้นทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ส่วนการอ่านค่าความผิดพลาดในระยะอื่นๆจะไม่มีความแน่นอน เพราะนอกเหนือจากความผิดพลาดของตัวเครื่องวัดระยะทางแล้ว ยังมีความผิดพลาดจากตัวผู้วัดด้วย แต่โดยรวมแล้วเราสามารถใช้อุปกรณ์วัดระยะทางนี้วัดระยะทางได้อย่างแม่นยำพอสมควร ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดที่น้อยมาก สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับการวัดระยะทางในระยะสั้นๆ

แล้วเมื่อทำการวัดที่ระยะทางต่างๆสังเกตจากรายการสรุปได้ว่า ในการวัดแต่ละครั้งที่ระยะทางเท่ากัน จะเห็นว่าระยะทางที่วัดได้อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าระยะทางจริงก็เป็นไปได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้อง ความถี่เสียงที่เข้ามารบกวน มุมในการวัดวัตถุที่สะท้อนและระยะทางในการวัด ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ถือเป็นปัจจัยภายนอก ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นปัจจัยภายในคือประสิทธิภาพการทำงานของตัวอุปกรณ์นั่นเอง

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยได้อธิบาย ปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการ วิธีแก้ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาต่อไป

5.1 สรุปผลโครงการ

โครงการเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนี้สามารถวัดระยะทางได้ตั้งแต่ 0.5 ถึง 3.50 เมตร โดยได้นำอุณหภูมิของอากาศขณะวัดเข้ามามีผลในการคำนวณระยะทางด้วย โครงการเครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนี้ สามารถนำไปวัดระยะทางโดยประมาณได้และยังสามารถแก้ไขโปรแกรมได้โดยการอัปเดตโปรแกรมใหม่ลงไปใหม่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ สามารถปรับอัตราการขยายของภาครับได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อแบบอินเวสติงแอมพลิไฟร์ แต่ต้องแก้ไขโปรแกรมด้วย การประยุกต์ใช้งานสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับการแสดงผลระยะทาง เช่น เป็นเครื่องช่วยประมาณระยะทางในการจอดหรือการถอยรถยนต์ เป็นต้น

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการและวิธีแก้ปัญหา

1. อุปกรณ์เกิดการชำรุดและเสียบ่อยสาเหตุ เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความบอบบาง และบางตัวต้องมีการบัดกรี และขา IC สั้นมากทำให้ยากต่อการบัดกรี แล้วการทดสอบต้องถอดเข้าออกบ่อยจึงเกิดการชำรุดได้ง่าย จึงแก้ไขโดยถ้า IC ตัวใดมีขาที่สั้น ควรที่จะระมัดระวังในการบัดกรี เพราะเวลาบัดกรีขาของ IC อาจติดกันทำให้เกิดการ Short Circuit ได้ และควรระมัดระวังเรื่องความร้อนในการบัดกรีด้วย เช่น ไม่ควรจี้ขา IC เป็นเวลานานๆ เพราะอาจทำให้ IC พังได้

2. ในการทดลองตอนแรกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กำเนิดสัญญาณความถี่ในภาคส่ง แต่พบว่าวัดระยะทางได้ไม่ไกล เนื่องจากทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ทำโครงการมีความถี่เรโซแนนซ์ 39.0 kHz ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถกำเนิดความถี่ได้ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์ จึงปรับปรุงโดยการใช้ไอซีไทม์เมอร์เบอร์ 555 มากำเนิดสัญญาณแทน เพราะสามารถปรับความถี่ได้ แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ด้วยไอซีเบอร์ 555

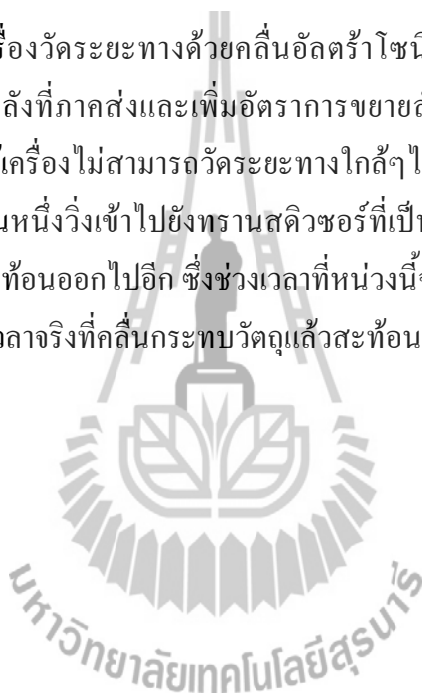
3. การวัดระยะทางในห้องที่มีวัตถุหลายชิ้นจะมีความผิดพลาดมากเพราะคลื่นเสียงอาจจะมีการสะท้อนไปถูกวัตถุที่เราไม่ต้องการวัดมายังตัวรับได้

4. ในการใช้สายโยงจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งนั้นเวลาทำการทดลอง สายจะมีการขยับในบางครั้งทำให้ผลการทดลองไม่ค่อยมีความเสถียรภาพ ทำการแก้ไขโดยนำกาวมาติดยึดสายนั้นไว้ไม่ให้สายขยับ

5. ถ้าแบตเตอรี่อ่อนระยะทางที่วัดได้จะมีค่าความผิดพลาดมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงให้เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกสามารถวัดระยะทางได้ไกลขึ้นสามารถทำได้โดยเพิ่มกำลังที่ภาคส่งและเพิ่มอัตราขยายสัญญาณที่ภาครับ แต่ผลจากการปรับปรุงดังกล่าวจะทำให้เครื่องไม่สามารถวัดระยะทางไกลๆได้อย่างถูกต้อง เพราะช่วงแรกที่ส่งคลื่นออกไปจะมีคลื่นส่วนหนึ่งวิ่งเข้าไปยังทรานสดิวเซอร์ที่เป็นตัวรับโดยทันที ทำให้ต้องหน่วงเวลาในการรับสัญญาณสะท้อนออกไปอีก ซึ่งช่วงเวลาที่หน่วงนี้จะไม่สามารถนำมาคำนวณเป็นเป็นระยะทางได้ เพราะไม่ใช่เวลาจริงที่คลื่นกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมา



เอกสารอ้างอิง

1. มงคล ทองสงคราม, มปป., อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: วี เจ พรินต์ติ้ง
2. ประจัน พลังสันติสุข, 2549, การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ WinAVR (C complier) เล่ม 1, กรุงเทพฯ: แอปซอพท์เทคโนโลยี.
3. สมนึก บุญพาไสว. มกราคม 2549. ตัวรับรู้และทรานสดิวเซอร์.
[<http://www.ipst.ac.th/design/document/Sensor&transducer.pdf#search=%22%E0%B8%95%E0%B8%>]. 30 สิงหาคม 2549.
4. วันชัย คุณากรวงศ์และคณะ, มปป., การคำนวณวงจรทรานซิสเตอร์. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
5. ทนง โชติสรยุทธ์. มปป. เทคนิคการใช้งานอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์สำหรับนักทดลอง. รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์. เล่มที่ 4 หน้า 83.
6. นภัทร วัจนเทพินทร์, 2538, ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์, ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์.
7. วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, 2545, ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาลอก. กรุงเทพฯ: ว. เพ็ชรส-กุล.

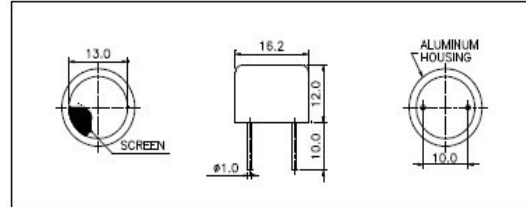


ภาคผนวก

Datasheet



Dimensions: dimensions are in mm



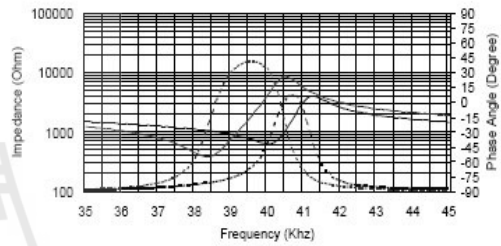
Impedance/Phase Angle vs. Frequency

Tested under 1Vrms Oscillation Level

- 400SR160 Impedance _____
- 400SR160 Phase _____
- 400ST160 Impedance _____
- 400ST160 Phase _____

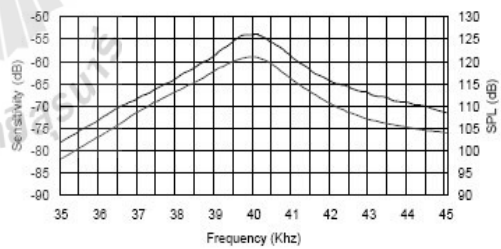
Specification

400ST160	Transmitter
400SR160	Receiver
Center Frequency	40.0±1.0Khz
Bandwidth (-6dB)	400ST160 2.0Khz 400SR160 2.5Khz
Transmitting Sound Pressure Level at 40.0Khz; 0dB re 0.0002µbar per 10Vrms at 30cm	120dB min.
Receiving Sensitivity at 40.0Khz 0dB = 1 volt/µbar	-65dB min.
Capacitance at 1Khz ±20%	2400 pF
Max. Driving Voltage (cont.)	20Vrms
Total Beam Angle -6dB	55° typical
Operation Temperature	-30 to 80°C
Storage Temperature	-40 to 85°C

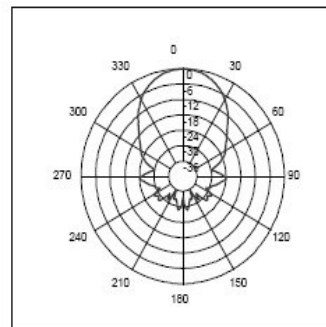


Sensitivity/Sound Pressure Level

Tested under 10Vrms @30cm



Beam Angle: Tested at 40.0Khz frequency



All specification taken typical at 25°C
Closer frequency tolerance can be supplied upon request.

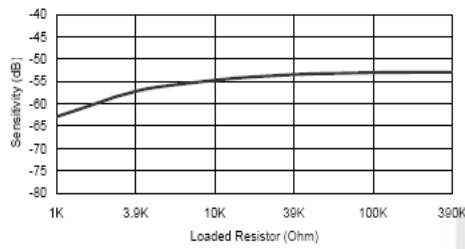
Models available:

1	400ST/R160	Aluminum Housing
2	400ST/R16B	Black Al. Housing
2	400ST/R10P	Plastic Housing
3	400ST/R16F	Al. Housing w/Solid Grid

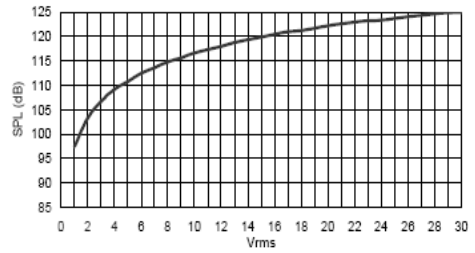
400SR160 Receiver

400ST160 Transmitter

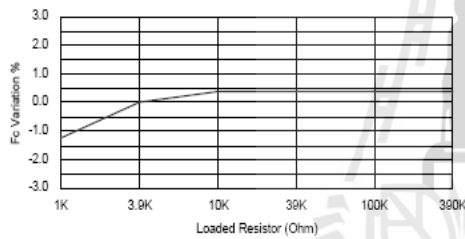
Sensitivity Variation vs. Loaded Resistor



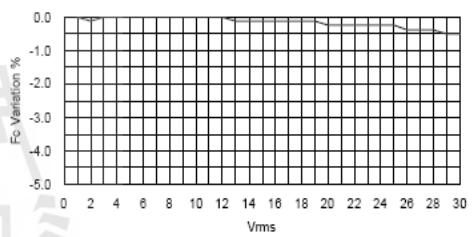
SPL Variation vs. Driving Voltage



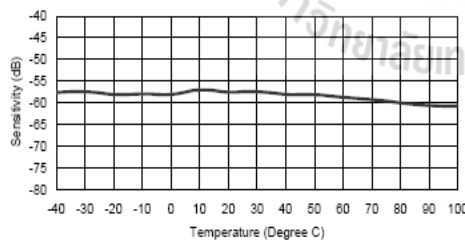
Center Frequency Shift vs. Loaded Resistor



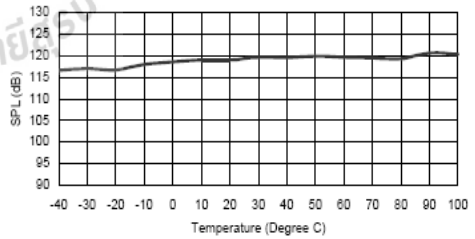
Center Frequency Shift vs. Driving Voltage



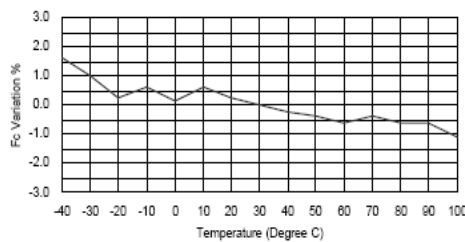
Sensitivity Variation vs. Temperature



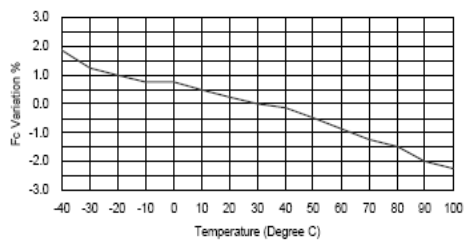
SPL Variation vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature



ประวัติผู้เขียน

นาย เกริกเกียรติ กฤษกลาง เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลใหม่ อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นาย สมชาติ แสนกล้า เกิดเมื่อวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2530 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลเป็นสุข อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนจอมพระประชาสรรค์ อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นาย วิทยา โหมคเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลนอกเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสุรวิทยาคาร อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี