



เครื่องตรวจจับวัตถุ

ULTRASONIC RADAR



โดย

นายเทพฤทธิ์ จึงประวัติ

นายนฤติค ดินเจริญกุล

วัน เดือน ปี..... 1 คค 2511

เลขทะเบียน..... 038367

เลขเรียกหนังสือ..... T.9๓3๙๗๗๖๒๓๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2539

เครื่องตรวจจับวัตถุ
ULTRASONIC RADAR



โดย
นายเทพฤทธิ์ จิ่งประวัตติ
นายณนุชิต สันเจริญกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.สุรภณ สมควรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจจับวัตถุ

ผู้จัดทำ

1. นายเทพฤทธิ์ จิงประวัติ

2. นายนฤชิต สีนเจริญกุล

๓



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สุริยณ สมควรพานิชย์)

เครื่องตรวจจับวัตถุ

นายเทพฤทธิ์ จึงประวัติ
 นายณัฐิต สีนเจริญกุล
 คร.สุวิทย์ สมควรพานิชย์
 อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอถึงการนำเอา เครื่องวัดระยะทางมาประยุกต์ใช้ในงานตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุประมาณช่วงระยะทาง 0.50 - 5 เมตร รอบ ๆ บริเวณที่ต้องการ โดยใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ทั่วไป โครงงานนี้ใช้หลักการของการส่งคลื่นในย่านอุลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นที่มีทิศทางออกไปกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนกลับมา ระยะทางของวัตถุหาโดยการวัดช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างเวลาในการเดินทางของคลื่นที่ส่งออกไปและสะท้อนกับวัตถุกลับมา ซึ่งจะถูกแสดงผลออกมาทั้งตำแหน่ง และระยะทาง ตามการเคลื่อนไหวของวัตถุ ซึ่งมีตัวแปรตามมากับระยะทางที่สามารถวัดได้ ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้น และความดัน ของสภาพอากาศด้วย โดยการติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์อยู่บนแท่นที่หมุนได้ เพื่อให้สัมผัสกับฐานของโครงงานเครื่องตรวจจับวัตถุ โดยโครงงานนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในการตรวจจับระยะทางการเคลื่อนไหวของวัตถุ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของอุลตราโซนิกเรดาร์

ULTRASONIC RADAR

Mr.Thepparit Jungprawat

Mr.Naruchit Sinjarconkul

Dr.Suripon Somkuanpanich

Advisor

1996

ABSTRACT

This thesis presents design ultrasonic rangefinder and following their movements about the room in range from 0.50 to 5 meters by conjunction with personal computer. The principle used in the project is to send a ultrasonic wave to an object and "listens" for the echo. The returning time of the echo is and sent to the computer, to calculate the distance based on the sound speed in air which is dependent on temperature, humidity and climate pressure. The sensor is fixed on to a rotating head which makes the system seam around. This system can then be used to detect the movement, as well as the distance, of the object. This syatem is then normal ultrasouic radar.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
สัญลักษณ์	X
ศัพท์เทคนิค	XI
คำนำ	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอุลตราโซนิก	3
2.1.1 คลื่นอุลตราโซนิก	3
2.1.2 ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิก	4
2.1.2.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)	4
2.1.2.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)	5
2.1.2.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh)	6
2.1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอุลตราโซนิก	6
2.1.3.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)	6
2.1.3.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง	7
2.1.3.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)	8
2.1.3.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)	8
2.1.4 ลักษณะของคลื่น	9
2.1.4.1 ความถี่ (Frequency)	9
2.1.4.2 ความยาวคลื่น (Wavelength)	9
2.1.4.3 ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิก	10
2.2 อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)	12

2.2.1 ประเภทของอุณหภูมิตransducer	12
2.2.1.1 เปีโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer)	12
2.2.1.2 แมกนีโตสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer)	12
2.2.1.3 อิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer)	12
2.2.2 โครงสร้างของเปีโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	12
2.2.3 วงจรเสมือนของเปีโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	13
2.3 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepper motor)	14
2.3.1 หลักการทำงานพื้นฐานของสเต็ปป์มอเตอร์	14
2.3.2 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์	16
2.3.2.1 สเต็ปป์มอเตอร์แบบค่ารีดักชั่นแปรค่าได้	16
2.3.3 วงจรจัดลำดับลอจิก (Logic Sequencer)	19
2.3.4 วงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver Circuit)	20
2.4 การอินเตอร์เฟส	24
2.4.1 พื้นฐานการอินเตอร์เฟส	24
2.4.2 มาตรฐานการอินเตอร์เฟส	25
2.4.2.1 มาตรฐานการอินเตอร์เฟส	25
2.4.3 การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	26
2.4.3.1 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	28
2.4.3.2 ความเร็วในการส่งข้อมูล	30
บทที่ 3 ส่วนประกอบของระบบ	31
3.1 ระบบทางฮาร์ดแวร์	32
3.1.1 วงจรภาควัดระยะทาง	32
3.1.1.1 การออกแบบวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก	32
3.1.1.2 โครงสร้างของวงจรภาควัดระยะทาง	32
3.1.1.3 การออกแบบวงจรภาครับคลื่นอุลตราโซนิก	34
3.1.1.4 การออกแบบวงจรภาคกำเนิดความถี่	35
3.1.2 วงจรควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์	36
3.1.3 วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์	37
3.2 ระบบทางซอฟต์แวร์	37

3.2.1	แผนผังการทำงานของภาษาซี	38
3.2.2	แผนผังการทำงานของภาษาแอสเซมบลี	41
บทที่ 4	ผลการทดลอง	45
4.1	ส่วนทางฮาร์ดแวร์	45
4.1.1	วงจรภาควิเคราะห์ทาง	45
4.1.1.1	การวัดหาสัญญาณต่างๆของวงจร	45
4.1.1.2	การวัดหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทาง	49
4.1.1.3	การหาค่ามุมของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ	51
4.1.1.4	การหาค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณทางเอวาท์ทุท	52
4.1.1.5	การวัดหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร	54
4.1.2	วงจรควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์	57
4.1.2.1	การวัดหาสัญญาณต่าง ๆ	57
4.2	ส่วนของซอฟต์แวร์	59
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	62
บรรณานุกรม		63
ภาคผนวก		64

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอุลตราโซนิก ที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ	3
รูป 2.2. แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว	4
รูป 2.3. แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง	5
รูป 2.4 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น	6
รูป 2.5 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง	7
รูป 2.6 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่	8
รูป 2.7 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง	8
รูป 2.8 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	9
รูป 2.9 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์ เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค	13
รูป 2.10 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	13
รูป 2.11 ตัวคอนโทลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	14
รูป 2.12 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ	15
รูป 2.13 แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์กที่หมุนอาร์เมเจอร์ ให้ไปอยู่ตำแหน่งที่สมดุล	15
รูป 2.14 แสดงโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบมีสเตคเดียว	17
รูป 2.15 แสดงโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส	18
รูป 2.16 แสดงไทมิงไดอะแกรมของการป้อนพัลส์กระตุ้นเฟสเดียว	19
รูป 2.17 แสดงไทมิงไดอะแกรมของการป้อนพัลส์กระตุ้นสองเฟส	19
รูป 2.18 แสดงไทมิงไดอะแกรมของการป้อนพัลส์แบบฮาล์ฟสเต็ป	20
รูป 2.19 วงจรสมมูลย์ของขดลวดในสเต็ปปีงมอเตอร์	21
รูป 2.20 ไคโอคัพเพลตเซอร์	22
รูป 2.21 ไคโอค-ความต้านทานชัฟเฟลตเซอร์	22
รูป 2.22 ซีเนอร์ไคโอคัพเพลตเซอร์	23

รูป 2.23 กราฟเปรียบเทียบผลชีพเพลตเซอร์ของแบบต่าง ๆ	23
รูป 2.24 ตัวขับ 4 เฟสและซีเนอร์ไดโอดชีพเพลตเซอร์ของแบบต่าง ๆ	24
รูป 2.25 แสดงการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ DTE กับ DCE	24
รูป 2.26 อุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE เป็นคู่อุปกรณ์ร่วมที่ทำงานตรงข้ามกัน	25
รูป 2.27 การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	27
รูป 2.28 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	29
รูป 3.1 แสดงโครงสร้างของโครงงานเครื่องตรวจจับวัตถุ	31
รูป 3.2 แสดงแผนผังของวงจรภาควิเคราะห์ทาง	32
รูป 3.3 แสดงแผนผังวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก	32
รูป 3.4 แสดงวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก	33
รูป 3.5 แสดงแผนผังวงจรภาครับคลื่นอุลตราโซนิก	34
รูป 3.6 แสดงวงจรภาครับคลื่นอุลตราโซนิก	34
รูป 3.7 แสดงวงจรภาคกำเนิดความถี่	35
รูป 3.8 แสดงวงจรควบคุมสแต๊ปมอเตอร์	36
รูป 3.9 แสดงวงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์	37
รูป 3.10 แสดงแผนผังการทำงานของภาษาซี	38
รูป 3.11 แสดงแผนผังการทำงานของภาษาแอสเซมบลี	41
รูป 3.12 แสดงแผนผังโปรโตคอลการสื่อสารของภาษาแอสเซมบลี	42
รูป 3.13 แสดงแผนผังการอินเตอร์รัพท์ของ INT1	43
รูป 4.1 แสดงสัญญาณที่คิกคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง	45
รูป 4.2 แสดงสัญญาณนาฬิกาขนาด 2 Hz ซึ่งเป็นฐานเวลาที่ ใช้ในการวิเคราะห์ทางทุก ๆ 0.25 วินาที	46
รูป 4.3 แสดงสัญญาณนาฬิกาขนาด 2 Hz เทียบกับสัญญาณเอาวท์พุท ที่วัดได้ที่ระยะทาง 1.95 เมตร	47
รูป 4.4 แสดงสัญญาณพัลส์เอาวท์พุทที่วัดได้ที่ระยะทางไกลจน ความกว้างพัลส์เอาวท์พุทเท่ากับฐานเวลาในการนับ	48
รูป 4.5 แสดงวงจรภาคนับความถี่	49
รูป 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงกับระยะทางที่วัดได้	51
รูป 4.7 แสดงมุมมองในการรับของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ	51

รูป 4.8 แสดงวงจรการทดลองหาค่าความกว้างพัลส์	52
รูป 4.9 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่	55
รูป 4.10 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่โดยใช้โปรแกรม PSPICE	56
รูป 4.11 แสดงสัญญาณที่เฟส A เทียบกับสัญญาณนาฬิกาที่ป้อน ให้แก่วงจรควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์	57
รูป 4.12 แสดงสัญญาณที่เฟส A เทียบกับสัญญาณ B	58
รูป 4.13 แสดงสัญญาณที่เฟส A เทียบกับสัญญาณ B	58
รูป 4.14 แสดงจอภาพแสดงผลของโครงการเครื่องตรวจจับวัตถุขณะ OFF	59
รูป 4.15 แสดงจอภาพแสดงผลของโครงการเครื่องตรวจจับวัตถุขณะ ON	60
รูป 4.16 แสดงส่วนของโปรแกรมตรวจสอบค่าระยะทาง	61



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 4.1 แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ทำการวัดได้	50
ตาราง 4.2 แสดงการวัดหามุมในการรับที่ระยะห่างต่าง ๆ	52
ตาราง 4.3 แสดงค่าความกว้างพัลซ์ของสัญญาณทางเอวาทัพท	53
ตาราง 4.4 แสดงการหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร	54



สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_c	คาปาซิแตนซ์ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก	F
C_L	คาปาซิแตนซ์ของ Stage (Load) รวมกับ Connecting Cable	F
E	ศักย์ไฟฟ้าของขั้วปลาย	Volt
f	ความถี่	Hz
I	กระแสก่อนจะมีการเทินออฟ	A
M	โมเลกุลของอากาศ	
P	ความดันของก๊าซ	Pascal
R	ค่าคงที่ของก๊าซ	
R_c	Leakage Resistance ของเปียโซอิเล็กทริก	Ω
R_s	ความต้านทานของตัวต้านทานขั้วเพลสเซส	Ω
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ	$^{\circ}\text{K}$
t	อุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
v	ความเร็วของคลื่นเสียง	m/s
V	ปริมาตร	m^3
VDF	ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอดในทิศทาง ที่ไดโอดเปิดวงจร	Volt
Γ	ค่าโมดูลัสของก๊าซ	
ρ	ความหนาแน่นของก๊าซ	kgm^{-3}
λ	ความยาวคลื่น	m

ศัพท์เทคนิค

การเกิดคลื่นนิ่ง	Standing Waves
การแทนที่	Displacement
การแทรกสอดของเสียง	Interference
การบีบอัด	Beats
การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง	Diffraction
การสะท้อนของคลื่นเสียง	Reflection
การหักเหของคลื่นเสียง	Refraction
คลื่นตามขวาง	Transverse Wave
คลื่นผิวหน้า	Surface Waves
คลื่นอัด	Compression
คลื่นอัลตราโซนิก	Ultrasonic Wave
ความยาวคลื่น	Wavelength
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	Personal Computer
จำนวนข้อมูลในการส่ง 1 ครั้ง	Frame
บิตตรวจสอบ	Parity bit
บิตเริ่มต้น	Start bit
บิตหยุด	Stop bit
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	Motor Driver
วงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับ	Sequence Logic
เรขาคณิต	Geometry
สัญญาณเป็นห้วง ๆ	Electrically Pulse
สัญญาณพัลส์นาฬิกา	Clock Pulse
อัตราการส่งข้อมูลเทียบกับช่วงเวลาหนึ่ง ๆ	Baud Rate
ไฮเปอร์ซาวนด์	Hypersound

คำนำ

โครงการนี้เป็น การเสนอถึง การวัดและตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ โดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปภายในบ้าน โดยอาศัยหลักการโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกซึ่งเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถเล็งคลื่นไปยังเป้าหมายตามต้องการระยะทางสามารถวัดโดยเวลาที่คลื่นเดินทางไปและสะท้อนกลับมาโดยอุลตราโซนิกที่นำใช้กับวงจรนั้นมีความถี่ประมาณ 40KHz ที่มีขายกันโดยทั่วไป ไปในส่วนของตัวโครงการนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักใหญ่ ๆ ในการทำงาน อันที่หนึ่งจะอยู่ในส่วนของวงจรภาควัดระยะทาง ส่วนที่สองคือการอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จากนั้นขึ้นตอนความยุ่งยากก็เห็นจะได้แก่การดึงสัญญาณควบคุมต่างๆรวมทั้งเตปิ้งมอเตอร์ด้วย ประกอบกับการเขียนซอฟต์แวร์การทำงานของทั้งหมด โดยแบ่งเนื้อหาเป็นส่วนต่างๆ ตามลำดับดังนี้

บทที่ 1 เป็นส่วนเสนอถึงความสำคัญในส่วนของโครงการ บอกถึงความสามารถการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือการตรวจจับในลักษณะต่าง ๆ

บทที่ 2 สำหรับบทนี้เป็น การเสนอถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ

บทที่ 3 ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึง ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยจะอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างทั้งหมดในการทำโครงการนี้

บทที่ 4 ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึง ผลในการทดลองทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยจะทดลองหาความสามารถในการตรวจจับระยะทางได้ถูกต้องแม่นยำ โกลัโกล มากน้อยเพียงใด รวมทั้งเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการ

บทที่ 5 เป็นบทที่นำเสนอบทสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองจากผลงานที่ได้

บทที่ 1

บทนำ (INTRODUCTION)

โครงการนี้เป็นการศึกษาการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ซึ่งใช้อัลตราโซนิก นำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในการตรวจวัดวัตถุโดยจากวงจรทั่วไป ในการตรวจวัดวัตถุ นั้นสามารถบอกได้เพียงระยะทางระหว่างตัวตรวจวัดวัตถุ ที่ต้องการเพียงอย่างเดียวซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานแต่ในลักษณะของงานบางอย่างที่ต้องการจะรู้ทิศทางหรือตำแหน่งของวัตถุ เช่น การนำไปวางในท่อเพื่อจะตรวจวัดวัตถุสิ่งที่ต้องการ การนำไปวางไว้ในบริเวณห้องเพื่อที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนที่ของวัตถุได้จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น

โครงการอัลตราโซนิก เรดาร์คือ การจำลองรูปแบบของการตรวจวัดวัตถุในลักษณะของเรดาร์ส่วนที่สำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการทำโครงการนี้คืออุปกรณ์ใช้ในการเซ็นเซอร์ซึ่งเราเลือกใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โดยใช้ความถี่ที่ 40 KHz ในการทดสอบและการทดลองทำให้เราจำเป็นต้องหาตัวทรานสดิวเซอร์ที่มีคุณสมบัติโดยหลัก 2 ประการ

1. สามารถจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันเองให้มีค่าสูงที่สุดเพื่อที่กำหนดความแรงโดยการเพิ่มขนาดของสัญญาณของตัวส่ง หมายถึงว่า ถ้าเราสามารถเพิ่มความแรงสัญญาณส่งเพิ่มมากขึ้นเท่าไรมันก็จะมีความสามารถในการตรวจเช็คระยะทางเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

2. เป็นการคำนึงถึงมุมของการ รับ-ส่ง ซึ่งจะต้องมีตัว รับ-ส่ง อยู่ในตัวเดียวกันโดยจะมีผลทำให้มุมอับในการรับส่งสัญญาณน้อยลงมากที่สุด

ส่วนการใช้งานจริงนั้นสามารถหาตัวทรานสดิวเซอร์ที่มีตัว รับ-ส่ง แยกออกจากกันได้เท่านั้น ต้องทำการวางให้ตัวรับกับตัวส่งนั้นอยู่ใกล้ชิดกันมากที่สุดและสามารถทนแรงดันได้ไม่สูงนักประมาณ 20 Vrms เท่านั้น

ด้านการทดลองติดต่อสื่อสารกัน ระหว่าง คอมพิวเตอร์ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เราใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรม มาตรฐานของ RS-232 กำหนดอัตราบอด เท่ากับ 9600 ซึ่งมีความสามารถเพียงพอในการเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลกันได้ โดยโปรโตคอลการสื่อสารคอมพิวเตอร์จะทำการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนทุกครั้ง

ซึ่งเทคนิคในการเขียนโปรแกรมนี้ สามารถที่จะแสดงตำแหน่งของข้อมูลล่าสุดที่ตรวจเช็คอยู่ในขณะนั้นแสดงขึ้นบนจอภาพพร้อมกับระยะทางได้เท่านั้น เพราะมีปัญหาในการจองเนื้อที่ในการเก็บอิมเมจ เพื่อจะแสดงผลออกมาทางจอภาพอีกประการหนึ่ง

การเติบโตของสตีปปีงมอเตอร์นั้น จะเป็นตัวกำหนดความละเอียดในการตรวจจับในแต่ละรอบซึ่งเราต้องควบคุมวงจรจับมอเตอร์ ให้สัมพันธ์กับจังหวะ การตรวจจับสัญญาณของแต่ละครั้งด้วย ส่วนบนจอภาพนั้นได้ทำการแบ่งสเกลไว้อิงกับระยะทางจริงเพื่อเป็นการง่ายในการดูจากสายตาจากจอแสดงผล ได้ซึ่งเป็นขอบข่ายของงานที่ได้ทำมาทั้งหมดของโครงการนี้



บทที่ 2

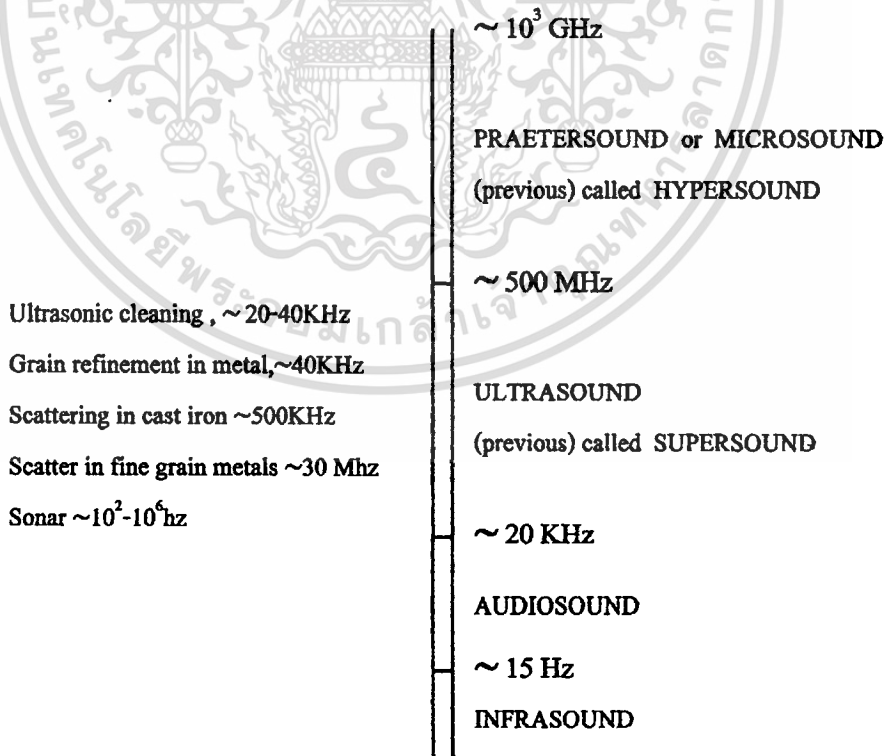
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติ และธรรมชาติของคลื่นอุลตราโซนิก

หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง คือ พัลส์ของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่งถ้าไปกระทบกับวัตถุ พลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่ตัวส่งด้วย แต่การใช้อุปกรณ์ตัวรับที่เหมาะสม (Suitable) จะสามารถรับการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Signal) เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศสามารถที่จะคำนวณระยะทางออกมาได้ เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นจะสามารถทำให้เข้าใจในการทำไปประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี

2.1.1 คลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิก คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ประมาณ 20 KHz ถึง 20 KHz ดังนั้นแล้วคลื่นอุลตราโซนิก จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz จนถึง 10^4 GHz โดยคลื่นที่มีความถี่มากกว่า 10^4 GHz และมีแอมพลิจูด (Amplitude) สูง ๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์”



รูป 2.1 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นอุลตราโซนิก
ที่ถูกนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ

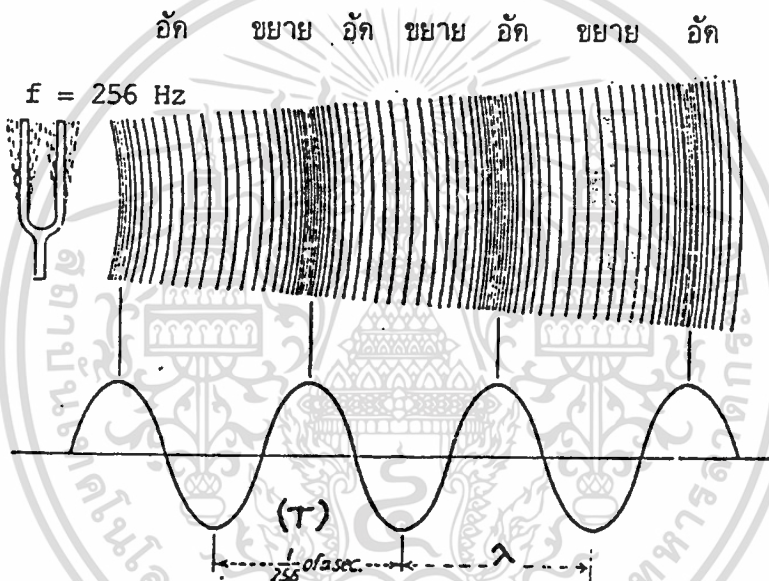
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ชนิดของคลื่นอุทตราโซนิค

คลื่นอุทตราโซนิคที่เดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

2.1.2.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)

คลื่นตามยาวคือ คลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น



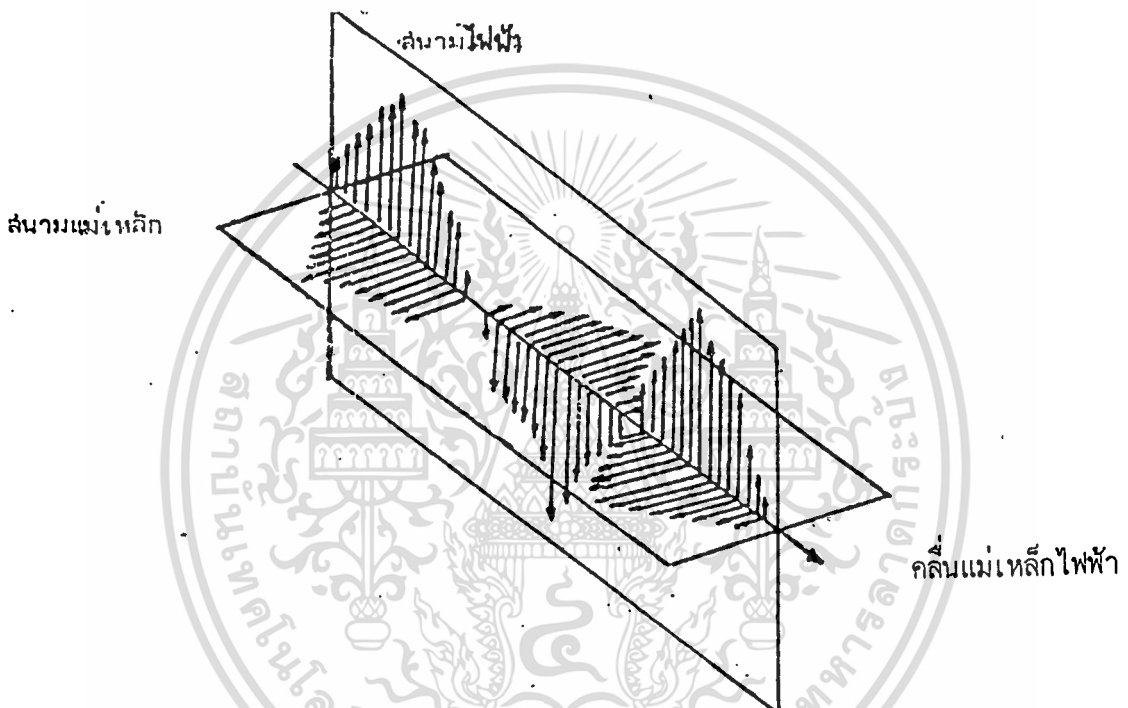
รูป 2.2. แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

จากรูปจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด (Compression) ซึ่งก็คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความชันสูง และคลื่นขยาย (Rarefaction) คือ คลื่นช่วงที่อนุภาคของตัวกลางมีความชันต่ำ และเมื่อนำค่าของความชันที่เปลี่ยนตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปไซน์ (Sine Wave) โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัดท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัดหรือ ส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และที่คาบเวลาเป็น T ซึ่งเท่ากับ $1/f$ โดยจุดที่เป็นเส้นแกนนอนมีค่าความดัน 1 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)

คลื่นตามขวางคือ คลื่นที่ทุก ๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซได้



รูป 2.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียวเช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ดังนั้นการเกิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอื่นเนื่องจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

2.1.2.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh)

คลื่นผิวหน้าคือ คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

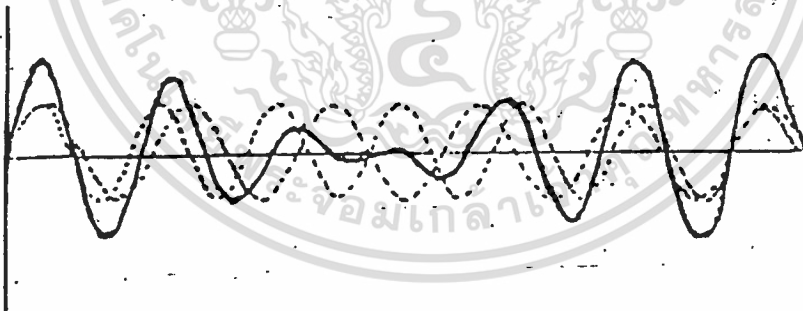
2.1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอุลตราโซนิก

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียง จะแสดงได้ 4 แบบ คือ

2.1.3.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน จึงทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะ คือ

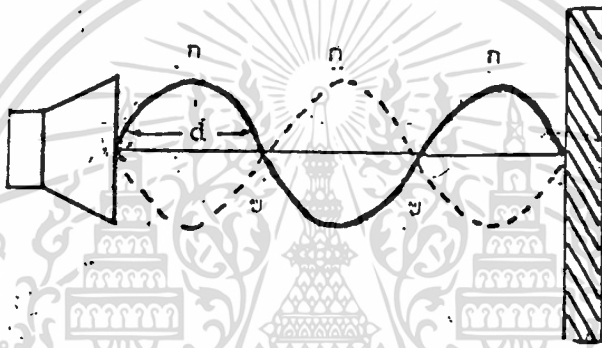
ก). การบีตส์ (Beats) ของคลื่นเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงการบีตส์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูป เป็นการแสดงการบีตส์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งได้คลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนไป ซึ่งประโยชน์ของการบีตส์ของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกันนี้

ข). การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Waves) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นขูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป 2.5

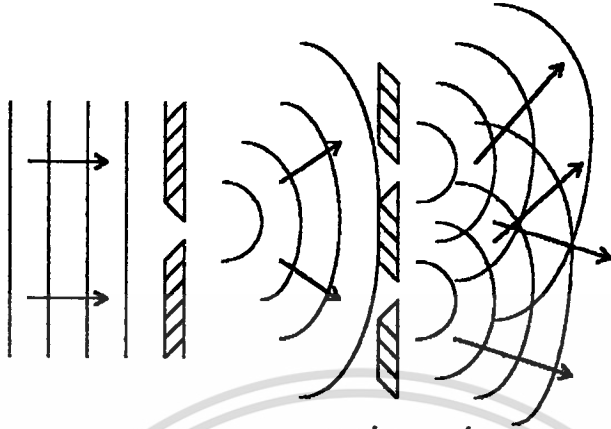


รูป 2.5 แสดงลักษณะของการเกิดคลื่นนิ่ง

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

2.1.3.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)

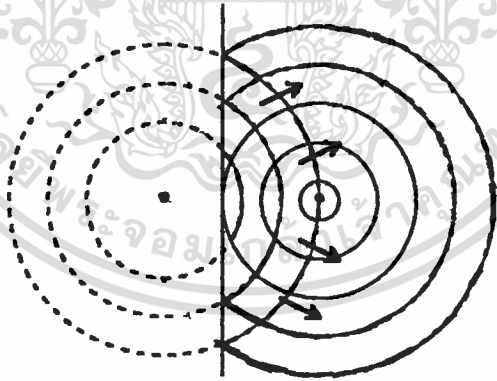
การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลาเช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่อยู่คนละถนนของมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็กๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ
จนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

2.1.3.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

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



รูป 2.7 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง
คลื่นที่สะท้อนกลับมามีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

2.1.3.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.8 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

2.1.4 ลักษณะของคลื่น

2.1.4.1 ความถี่ (Frequency)

ความถี่ คือ จำนวนของการ oscillate ที่สมบูรณ์ จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 Hz มันก็จะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

2.1.4.2 ความยาวคลื่น (Wavelength)

ความยาวคลื่น (Wavelength) คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบรอบ (1 Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefactions) การอัด คือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ ความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการ

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

โดยเมื่อ : v = ความเร็วของการเดินทาง (m/s)

f = ความถี่ (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

ในอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วของคลื่นประมาณ 334 m/s ดังนั้นช่วงความถี่ของคลื่นเสียงระหว่าง 20 ถึง 20 KHz ความยาวคลื่นจะอยู่ระหว่างประมาณ 17 m ถึง 1.7 m ข้อจำกัดของความยาวคลื่นสั้นในอากาศ (อุลตราโซนิก) ถูกตรวจสอบโดยทางเดินที่เป็นอิสระระหว่างโมเลกุลอากาศประมาณ 10^{-8} cm

2.1.4.3 ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโค้งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับทฤษฎีที่แสดงสำหรับความเร็วของคลื่น (c) ในแก๊สอุดมคติ (Ideal Gas) จะเป็นดังนี้

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

โดยที่: v = ความเร็วของคลื่นเสียง (m/s)

Γ = ค่าโมดูลัส (modulus) ของก๊าซ (สำหรับอากาศคือ 1.4)

P = ความดันของก๊าซ (Pascal):

ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเล = 1.01325×10^6 Pascal

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซ (kgm^{-3})

ความหนาแน่นของอากาศ = 1.29

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่ ดังนั้น ค่า $\Gamma = 1.4$ จะได้

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

ดังนั้นถ้าโมเลกุลของอากาศมีมวลเป็น M และปริมาตรเป็น V จะให้ความหนาแน่น

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

จาก

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

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

แต่จาก
$$PV = RT \quad (2.6)$$

โดยที่: R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ

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

จากสมการ 2.7 ความเร็วของคลื่นในแก๊สอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊ส กับ อุณหภูมิ และเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ในความเป็นจริงค่าความเร็วของคลื่น จะขึ้นอยู่กับค่าความดัน และความหนาแน่นของแก๊สด้วย กล่าวคือ ค่าความดันและความหนาแน่นของแก๊สจะลดลง เมื่อความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติ มีความสัมพันธ์ดังสมการคือ

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (2.8)$$

โดยที่: v_1 = ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_1 (m/s)

v_2 = ความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ T_2 (m/s)

T_1 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่หนึ่ง (K)

T_2 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สอง (K)

หรือ

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (2.9)$$

โดยที่: v = ความเร็วเสียงที่อุณหภูมิใด ๆ (m/s)

v_0 = ความเร็วเสียงที่ 0°C (331.5 m/s)

t = อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)

2.2 อุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

2.2.1 ประเภทของอุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

อุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดเป็นคลื่นอุตตราโซนิกกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือ จากพลังงานของคลื่น อุตตราโซนิกแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น ในปัจจุบันอุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ตามหลักการที่ใช้สร้าง คือ

2.2.1.2 เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่รีโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง

2.2.1.3 แมกนีโตสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวด กับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดอยู่

2.2.1.4 อิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล

ซึ่งในโครงการนี้จะกล่าวเฉพาะแบบ Piezoelectric Transducer เท่านั้น ซึ่งใช้พลังงานอย่างมากในปัจจุบัน

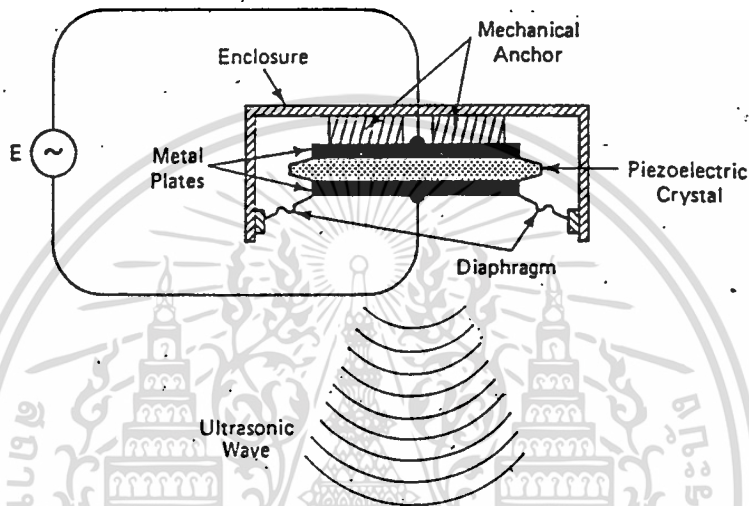
2.2.2 โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างของตัวอุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก โดยภายนอกตัวมักจะสร้างเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงประมาณ 10-25 มม. ด้านหน้าจะทำเป็นช่องเปิดและมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุตตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดนี้ได้โดยสะดวก และตะแกรงนี้ยังป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ อีกเช่น แมลง ฯลฯ ถ้าตัวดังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวดังลงกราวด์ เพื่อชดเชยบางข้อที่ขาข้างหนึ่งจะต่อกับตัวดังเพื่อลงกราวด์ไว้เรียบร้อยแล้ว

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย “ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก” (Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอตซ์ (Quartz) , แบเรียมติตนาเต (Barium titanate), เกลือร็อกเซล (Rochelle salt) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเรียม ติตนาเต ซึ่งได้จากการผสมสารติตนาเตกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1400 องศาเซลเซียส และผลิตออกมาในรูปแบบของชิ้นสาร “เซรามิก” ซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

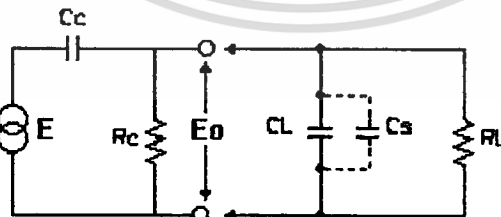
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชั้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปนั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนส์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น



รูป 2.9 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่ว ๆ ไปของทรานสดิวเซอร์
เพียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค

2.2.3 วงจรเสมือนของ เพียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์



รูป 2.10 วงจรเสมือนของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

C_c = คาปาซิแตนซ์ ของชั้นส่วนเพียโซอิเล็กทริก

R_c = Leakage Resistance ของเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

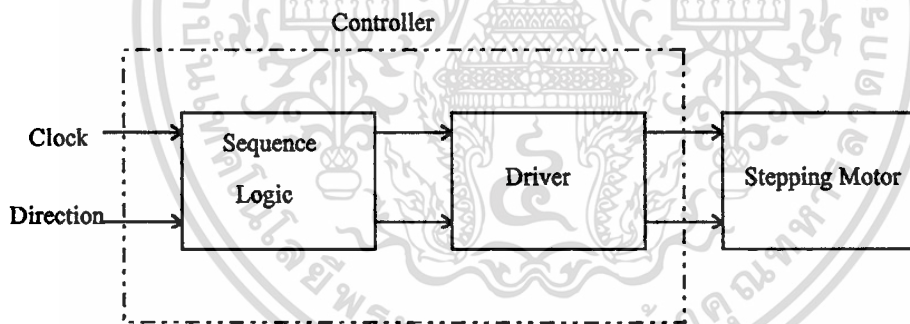
C_L = คาปาซิแตนซ์ของ Stage (Load) รวมกับ Connecting Cable
ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลต์เตจ E_0 ได้มาจากสมการ

$$EO = \frac{ECc}{Cc + CL} \quad (2.10)$$

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลต์เตจมีค่ามาก สามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่า C_L เช่นการนำค่า C_s ต่อขนานเข้าไปที่ความถี่ต่ำโวลต์เตจ E_0 คร่อมโหลดหาได้โดยค่านีแคคแตนซ์ของ C_c และอิมพีแดนซ์ของ C_L และ R_L ที่ต่อขนานกันโวลต์เตจ E_0 ขึ้นกับความถี่และจะลดลงถ้าความถี่ลดลงการตอบสนองความถี่ต่ำสามารถปรับปรุงได้โดย การใช้ทรานสคิวเซอร์ที่มีคาปาซิแตนซ์สูงหรือโดยการเพิ่มความต้านทานโหลด R_L

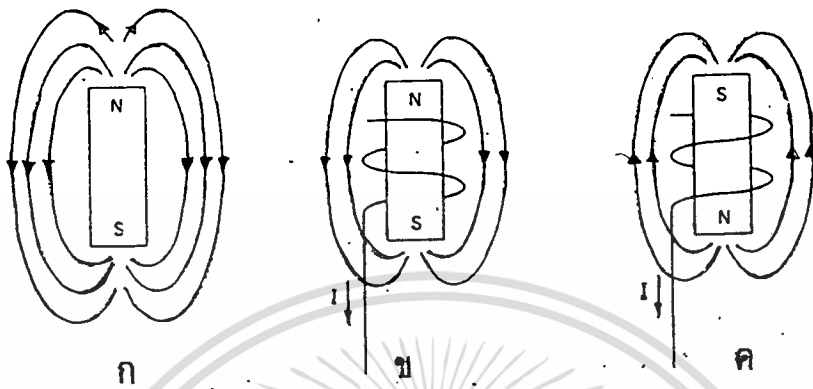
2.3 สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping motor)

2.3.1 หลักการทำงานพื้นฐานของสเต็ปปีงมอเตอร์



รูป 2.11 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์

โดยการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ขึ้นอยู่กับพัลส์ ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์ในลำดับที่ถูกต้อง ดังวงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับ นั้นคือจากรูป 2.11 สเต็ปเปอร์จะเริ่มทำงานเมื่อป้อนสัญญาณพัลส์นาฬิกา และอินพุทสำหรับควบคุมทิศทางหมุน ซึ่งคอนโทรลเลอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์จะอินเตอร์เฟสได้ โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือคอมพิวเตอร์ สเต็ปปีงมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมาก เนื่องจากแต่ละอินพุทพัลส์จะทำให้สเต็ปปีงมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเต็ปอย่างเที่ยงตรง

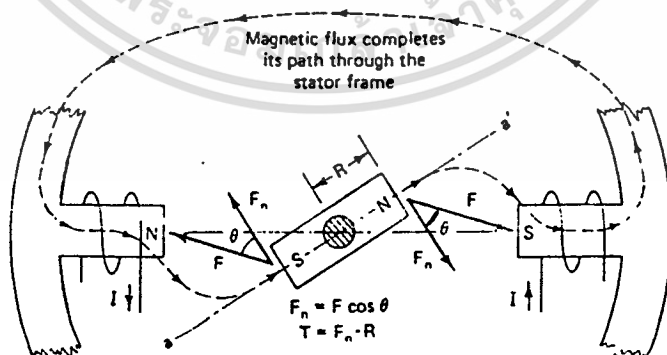


รูป 2.12 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ

ก. สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร

ข. สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส

ค. ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกหันกลับทิศทางและทิศทาง การไหลของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง



รูป 2.13 แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ตำแหน่งที่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.13 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์เมเจอร์มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (Stator)

ตำแหน่งของแกนอาร์เมเจอร์แม่เหล็กคือ $a-a'$ ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ

$$F_n = F \cos \theta \quad (2.11)$$

ทอร์กผลรวม $T = F_n \cdot R \quad (2.12)$

(ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์เมเจอร์ $a-a'$ จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์) ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลายๆ ขั้วรอบๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์เมเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเต็ปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

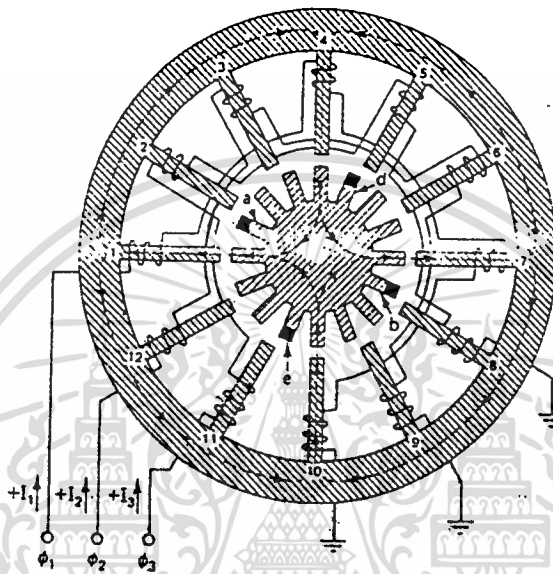
2.3.2 ชนิดของสเต็ปมิ่งมอเตอร์

2.3.2.1 สเต็ปมิ่งมอเตอร์แบบค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้

1. สเต็ปมิ่งมอเตอร์แบบค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้ที่มีสเตคเดียว

(Variable-Reluctance Stepping Motor)

มอเตอร์แบบนี้โรเตอร์ทำด้วยเหล็กอ่อนซึ่งค่าซึมซาบแม่เหล็ก สูงและสามารถให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านได้มากโดยโรเตอร์จะติดอยู่กับแกนมอเตอร์และสเตเตอร์ ติดอยู่กับ โครงของตัวมอเตอร์



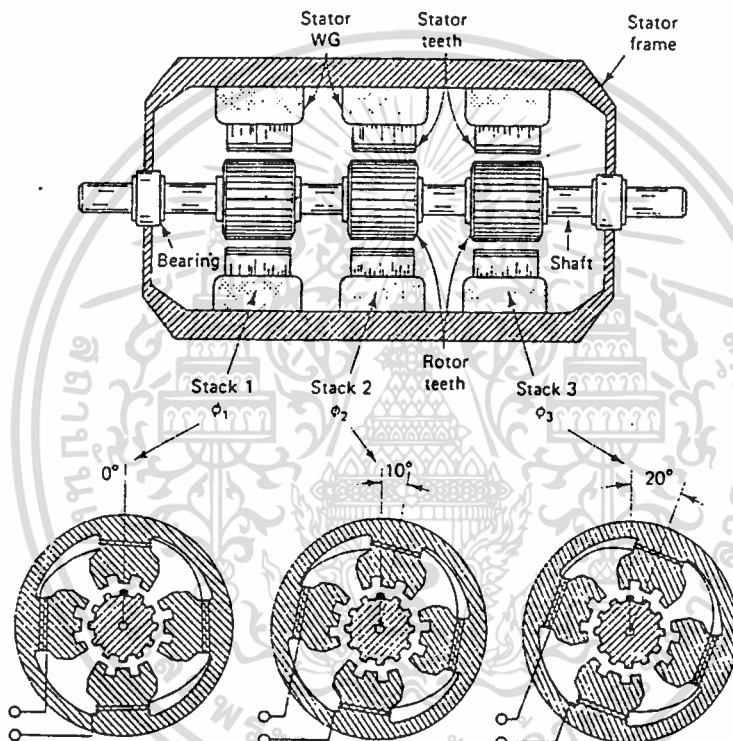
รูป 2.14 แสดงโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบมีสแตคเดียว

จากรูปเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบมีสแตคเดียว มี 3 เฟส แต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้ว หรือขั้วฟันของสเตเตอร์

2. สเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่าได้และมีหลายสแตค (Multi-Stack Variable-Reluctance Stepping Motor)

สเต็ปมอเตอร์แบบรีลักแตนซ์แปรค่าได้ (VR) และมีหลายสแตค สแตคในที่นี้หมายถึงเฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นขั้วฟัน และ โครงร่างของสเตเตอร์ที่อยู่รอบนอก

สเต็ปมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สแตค (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.15 ซึ่งถูกออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสแตคประกอบด้วย 4 โพล และแต่ละโพลมีขั้วฟัน 3 ขั้ว ซึ่งต่างจาก VR สเต็ปมอเตอร์แบบสแตคเดียว (แต่ละโพลจะมีขั้วฟันเดียว)



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส

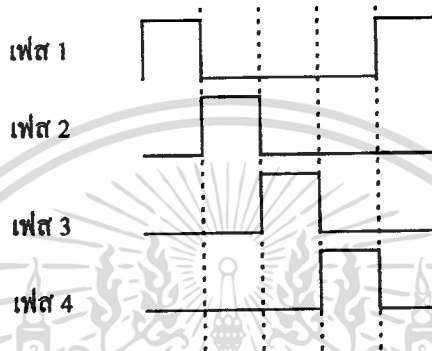
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.3.3 วงจรจัดลำดับลอจิก (Logic Sequencer)

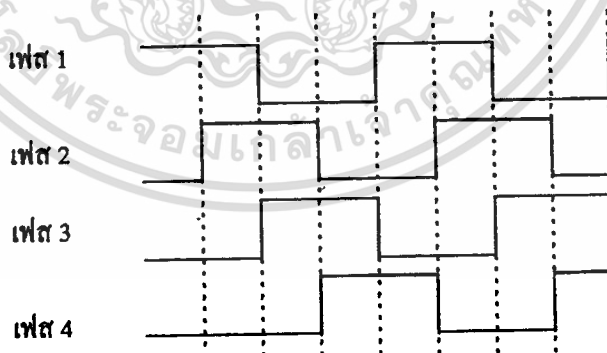
ตัวจัดลำดับลอจิกเป็นวงจรทางลอจิกซึ่งเป็นตัวควบคุมลำดับการกระตุ้นของขดลวดของสเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งในการป้อนพัลส์กระตุ้นเพื่อขับสเต็ปปีงมอเตอร์นั้นมี 3 วิธี

1. การป้อนพัลส์กระตุ้นเฟสเดียว (Single Phase Excitation) เป็นวิธีการป้อนพัลส์ให้กับขดลวดของสเต็ปปีงมอเตอร์ทีละขด



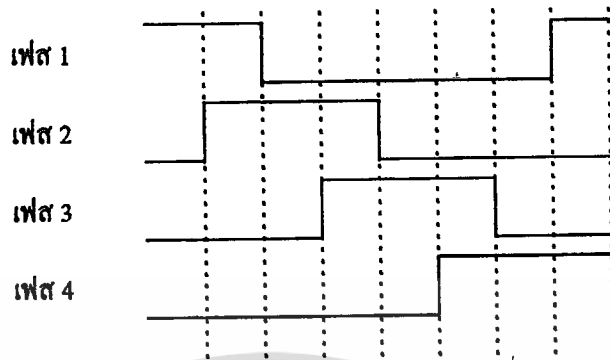
รูป 2.16 แสดงไทมิงไดอะแกรมของการป้อนพัลส์กระตุ้นเฟสเดียว

2. การป้อนพัลส์กระตุ้นสองเฟส (Two Phase Excitation) เป็นวิธีการป้อนพัลส์เข้าขดลวดของสเต็ปเปอร์ทีละ 2 ขด



รูป 2.17 แสดงไทมิงไดอะแกรมของการป้อนพัลส์กระตุ้นสองเฟส

3. การป้อนพัลส์กระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ป (Half Step Operation)

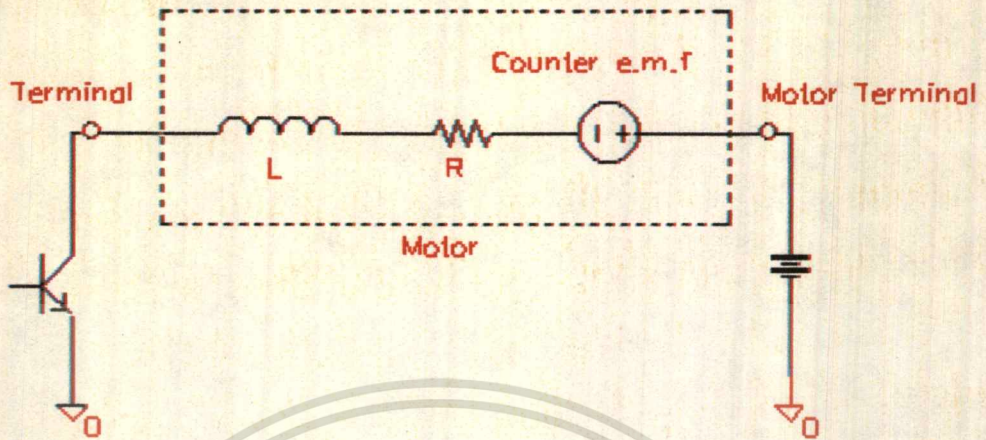


รูป 2.18 แสดงไทมิงไดอะแกรมของการป้อนพัลส์แบบฮาล์ฟสเต็ป

2.3.4 วงจรขับมอเตอร์ (Motor Driver Circuit)

จุดประสงค์ของวงจรขับคือเพื่อให้ได้โวลต์ที่คงและกระแสที่ถูกต้องไปยังมอเตอร์ในช่วงเวลาที่สั้นและลักษณะที่มีประสิทธิภาพ ทิศทางของกระแสในขดลวดของมอเตอร์แบบถาวร และแบบไฮบริดมีความสำคัญเพราะจะต้องใช้ในทิศทางที่เหมาะสมในเวลาต่างๆ แต่สำหรับการขับมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีล็กแคนซ์ จะไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแสที่ไหลในขดลวดเนื่องจากไม่มีขั้วแม่เหล็กอยู่ในตัวมันเลย

วงจรขับมอเตอร์จะรับสัญญาณควบคุมมาจาก วงจรจัดลำดับลอจิกในการสร้างวงจรขับมอเตอร์จะมีปัญหาเกี่ยวกับตัวขับคือ การพันขดลวดบนสเต็ปป์มอเตอร์จะปรากฏเป็นลักษณะของการต่อต้านกันของตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน เมื่อมอเตอร์หมุนแรงเคลื่อน (E.M.F) จะเกิดในขดลวดที่พันวงจรสมมูลของขดลวด แสดงได้ในรูป 2.19 เมื่อทำการออกแบบส่วนขับสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ ตัวสเต็ปป์มอเตอร์,เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และแม้กระทั่งขั้วพลาซพารามิเตอร์ของสเต็ปป์มอเตอร์แปรตามสิ่งรบกวนและลักษณะการทำงาน สมมุติว่าสเต็ปป์มอเตอร์นั้นถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กแต่ใช้ส่งผ่านกำลังสูง อุณหภูมิของตัวอาจสูงได้ถึง 100 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานของขดลวดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20 ถึง 25%



รูป 2.19 วงจรสมมูลของขดลวดในสเต็ปป์มอเตอร์

เมื่อทรานซิสเตอร์ในรูป 2.19 ปิดวงจร โวลต์เตจจะถูกสร้างขึ้นโดยหลักการที่ว่า

$$V = L \left(\frac{di}{dt} \right) \quad (2.13)$$

และโวลต์เตจนี้จะมีผลเสียต่อทรานซิสเตอร์ ดังนั้นจึงมีวิธีการหลายวิธีด้วยกันที่จะลดผลจากโวลต์เตจที่เกิดขึ้นและป้องกันทรานซิสเตอร์ด้วยวิธีการต่างๆ ต่อไปนี้

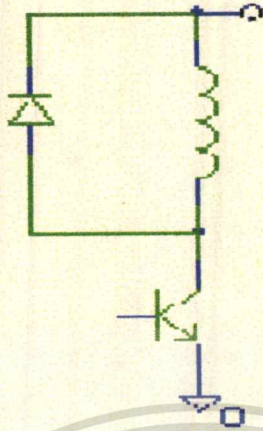
1. ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์

ถ้าหากว่านำไดโอดมาต่อขนานกับขดลวดในลักษณะดังรูป 2.20 กระแสจะไหลวนภายหลังจากทรานซิสเตอร์ปิดวงจร และค่ากระแสจะค่อยๆ ลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าบริเวณขาคอลเลคเตอร์จะเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าของซัพพลาย E รวมกับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดในทิศที่ไดโอดเปิดวงจร วิธีการเช่นนี้เป็นวิธีที่ธรรมดาและแต่ละระยะเวลาที่มีกระแสไหลวนก่อน ขั้วนานจะต้องนำมาพิจารณา มันยังทำให้เกิดแรงบิดในทิศทางตรงข้าม

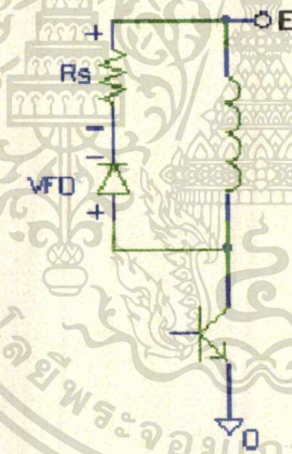
2. ไดโอด/ตัวต้านทาน ชัฟเฟิลเซอร์

ตัวต้านทานถูกนำมาต่ออนุกรมกับไดโอดดังรูป 2.21 เพื่อที่จะลดกระแสไหลวนให้เร็วขึ้น ความต่างศักย์ V_{CE} ที่ปรากฏตรงขาคอลเลคเตอร์เมื่อเกิดการเทินออฟจะเท่ากับ

$$V_{CE} = E + I_{RS} + V_{DF} \quad (2.14)$$



รูป 2.20 ไดโอดซัพเพรสเซอร์



รูป 2.21 ไดโอด-ความต้านทานซัพเพรสเซอร์

เมื่อ E = ศักย์ไฟฟ้าของซัพพลาย

I = กระแสก่อนจะมีการเทินออฟ

R_S = ความต้านทานของตัวต้านทานซัพเพรสเซอร์

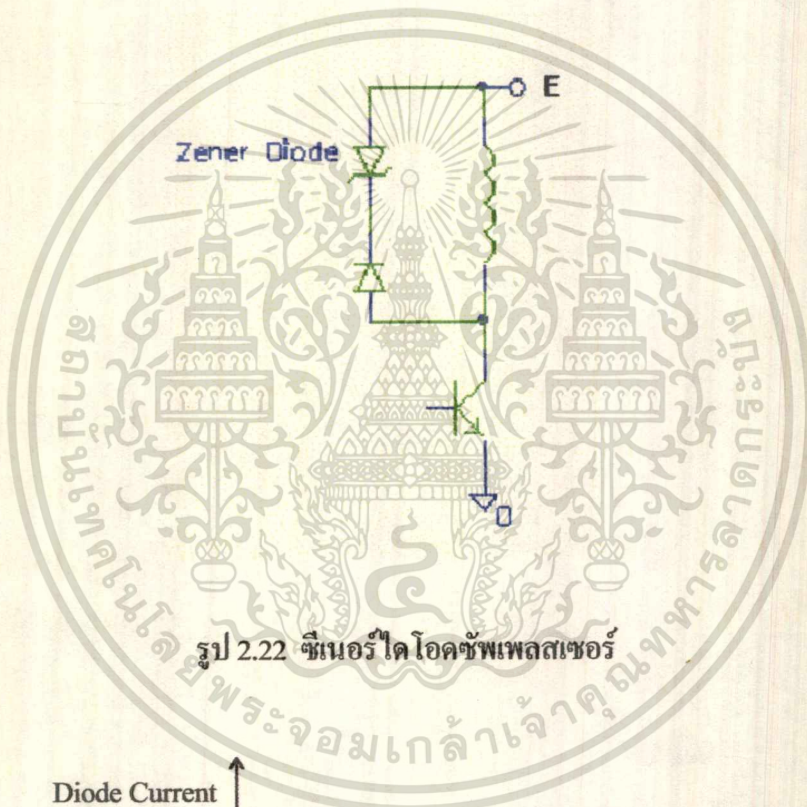
V_{DF} = ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอดในทิศทางที่ไดโอดเปิดวงจร

ยิ่งค่าความต้านทาน R_S มากเท่าไร กระแสที่จะลดลงก็จะมากขึ้นเท่านั้น หลังจาก การเทินออฟ แต่ยิ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าของขาคอลเลคเตอร์มากขึ้น

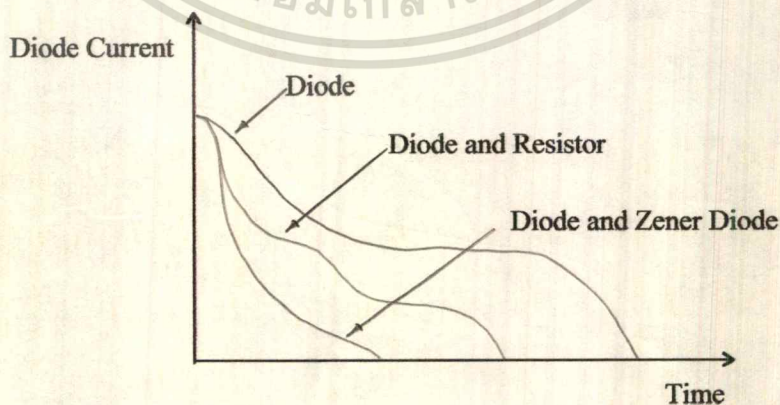
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์

ซีเนอร์ไดโอดถูกใช้บ่อยในการต่ออนุกรมกับไดโอดธรรมดา ดังแสดงในรูป 2.22 เมื่อเปรียบเทียบกับ 2 กรณีที่กล่าวมา วิธีการนี้จะลดกระแสได้รวดเร็วกว่าหลังจากการเทินออฟ (ดูรูป 2.23) ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือศักย์ไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์จะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของซัพพลายร่วมกับศักย์ไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดโดยไม่ขึ้นกับกระแส ซึ่งทำให้การเลือกค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่คอลเลคเตอร์ง่ายมากขึ้น รูป 2.24 แสดงวงจรขับซึ่งใช้ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์สำหรับมอเตอร์ 4 เฟส ความต้านทาน $R1$ และ $R2$ สำหรับการสร้างกระแสกระตุ้นอย่างรวดเร็ว

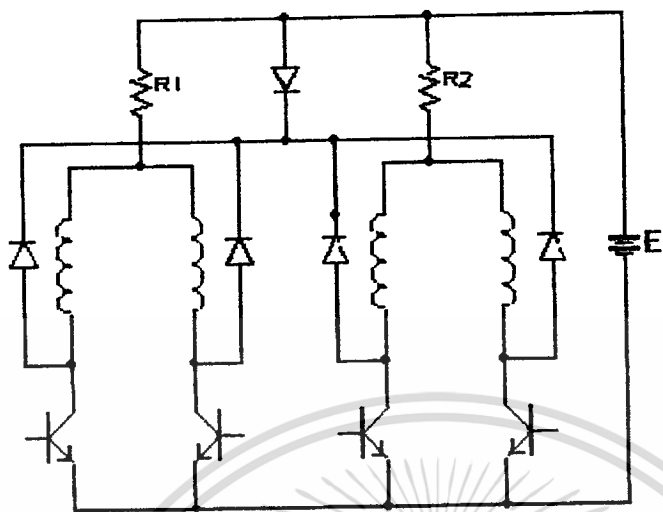


รูป 2.22 ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์



รูป 2.23 กราฟเปรียบเทียบผลชัฟเฟิลเซอร์ของแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.24 ตัวขับ 4 เฟสและซีเนอร์ไดโอดขับเฟสเซอร์ของแบบต่างๆ

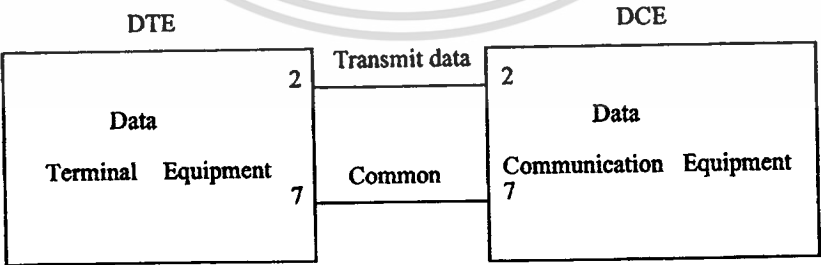
4. คอนเดนเซอร์ขับเฟสเซอร์ วิธีนี้มักใช้กับมอเตอร์ที่มีการพันแบบไบพลา

2.4 การอินเตอร์เฟซ

2.4.1 พื้นฐานการอินเตอร์เฟซ

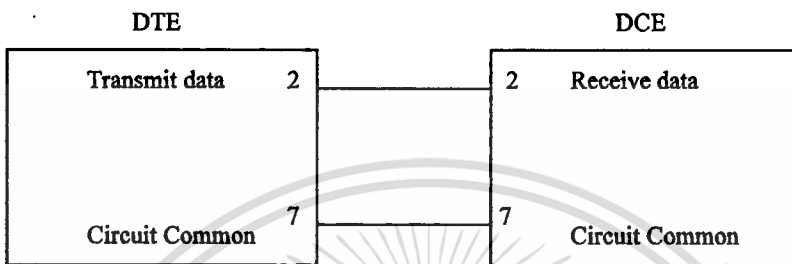
การอินเตอร์เฟซใดๆ จะประกอบด้วย ส่วนของตัวส่งข้อมูลและส่วนของตัวรับข้อมูล

ดังรูป 2.25 เราสมมติให้ส่วนรับข้อมูลเป็นอุปกรณ์ DCE ดังเดิมซึ่งก็คือโมเด็ม



รูป 2.25 แสดงการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ DTE กับ DCE

จากรูปพบว่าข้อมูลที่ถูกส่งออกจากขา 2 ของอุปกรณ์ DTE จะรับเข้าไปยังอุปกรณ์ DCE ทางขา 2 เช่นกัน โดยข้อมูลที่รับได้ที่ขาของตัว DCE จะเป็นข้อมูลตัวเดียวกับที่ปรากฏบนขา 2 ของตัวมันเอง หรือ อีกนัยหนึ่งวลี “ TRANSMIT DATA ” มิได้มีส่วนในการกำหนดว่าอุปกรณ์ใดเป็นตัวต้นทางหรือปลายทาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมมองที่เราพิจารณา



รูป 2.26 อุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE เป็นคู่อุปกรณ์ร่วมที่ทำงานตรงข้ามกัน

โดยจากรูป 2.26 เรากำหนดชื่อของขาคอนเน็คเตอร์ไว้ในตัวอุปกรณ์ โดยข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากขา 2 ของ DTE เป็นข้อมูลตัวเดียวกันกับข้อมูลที่รับเข้ามาทางขา 2 ของ DCE และเมื่อเทอร์มินัลรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดแล้วและส่งต่อไปยังโมเด็ม โมเด็มจะทำการส่งข้อมูลต่อไปทางสายโทรศัพท์ พบว่าทั้งเทอร์มินัลและโมเด็มสามารถเป็นได้ทั้งอุปกรณ์ส่งและรับข้อมูล และยังสามารถส่งและรับข้อมูลในทิศทางตรงข้ามได้อีกด้วย แสดงว่าเป็นการรับส่งข้อมูลได้สองทิศทาง ซึ่งคล้ายกับการติดต่อกันระหว่างโทรศัพท์สองเครื่อง

2.4.2 มาตรฐานการอินเทอร์เฟซ

2.4.2.1 มาตรฐานการอินเทอร์เฟซ

มาตรฐาน RS-232 เป็นมาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งเริ่มแรกในปี 1969 สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกาหรือ EIA (Electronic Industries Association) ได้ร่วมกันจัดตั้งมาตรฐาน EIA RS-232 แต่ต่อมาไม่นานนักได้มีการปรับปรุงแก้ไขเป็น RS-232-C โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อบรรยายคุณลักษณะของการอินเทอร์เฟซระหว่างเทอร์มินัล (Data Terminal Equipment : DTE) กับโมเด็ม (Data Communication Equipment : DCE) เพื่อใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ 4 ส่วนคือ

1. มาตรฐานการอินเทอร์เฟซสำหรับระบบการสื่อสารเฉพาะอย่าง (Standard Interfaces For Selected Communications System Configurations)

2. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ (Electrical Signal Characteristics) ซึ่งเป็นรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่ตัวอินเทอร์เฟซจะส่งออกและรับเข้ามาจากภายนอก ระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงตรรกะ 0 และ 1 จะกำหนดในส่วนนี้

3. คุณสมบัติทางกลไกการอินเทอร์เฟซ คอนเน็กเตอร์ (Interfaces Mechanical Characteristics : Connectors) ซึ่งจะกำหนดว่าตัวอินเทอร์เฟซประกอบด้วยส่วนที่เป็นปลั๊ก (Plug) และเต้าเสียบ (Receptacle) โดยเต้าเสียบจะต้องอยู่บน DCE

4. หน้าที่การทำงานของวงจรแลกเปลี่ยน (Functional Description of Interchange Circuit) ซึ่งจะกำหนดหน้าที่และตั้งชื่อให้กับสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ ที่นำมาใช้

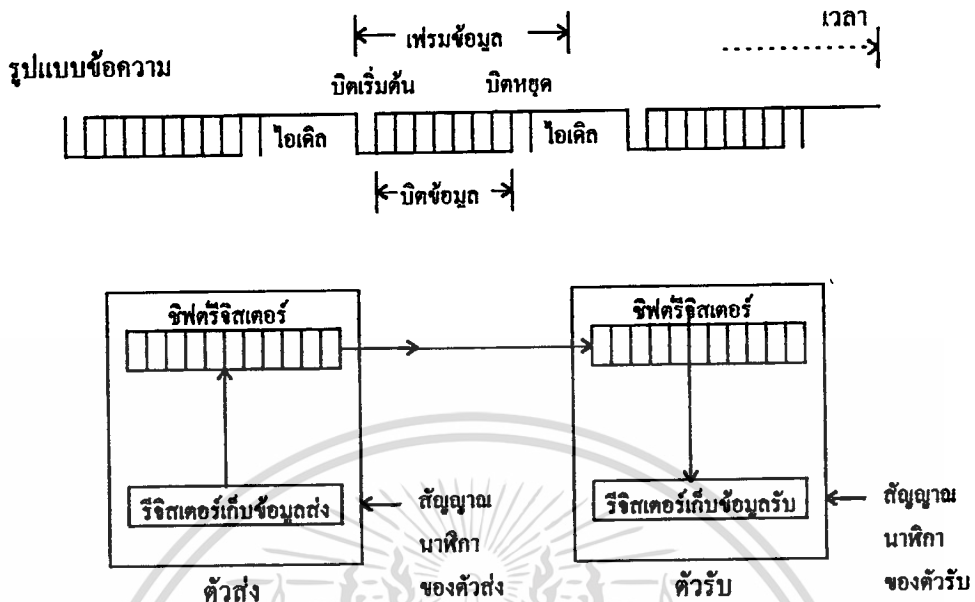
สำหรับในเรื่องของความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS-232 สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110-9,600 บอด ความยาวของสายเชื่อมต่อโดยสัญญาณของมาตรฐานของ RS-232 จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต

และลักษณะสำคัญของระบบ RS-232 คือข้อมูลจะส่งในลักษณะอนุกรม โดยแทนที่จะต้องมีสายสัญญาณ 8 เส้น สำหรับการส่ง 1 ไบท์ ระบบนี้อาจใช้เพียง 2 เส้น หรือมากกว่า(คืออย่างน้อยต้องมีสายสัญญาณ 1 เส้น และ GND 1 เส้น โดยจะให้สัญญาณผ่านทีละบิตเรียงต่อกันไปจนครบไบท์ ซึ่งลักษณะเช่นนี้มีข้อดีคือ จำนวนสายสัญญาณจะลดลงไปมากแม้ความเร็วในการส่งจะน้อยลงก็ตาม

2.4.3 การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสนี้ นิยมใช้มาก ในการสื่อสารข้อมูล ระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เพอร์ipheral การรับส่งข้อมูลแบบนี้มักใช้สายโทรศัพท์เป็นสายนำสัญญาณข้อมูล รูปแบบการรับส่งข้อมูลแสดงดังในรูป 2.27

โดยจะแบ่งส่วนการติดต่อออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนส่งข้อมูล หรือเรียกว่า ตัวส่ง (Transmitter) และส่วนรับข้อมูลหรือตัวรับ (Receiver) ในตัวส่งและตัวรับต่างก็จะมีสัญญาณนาฬิกาควบคุมจังหวะการทำงานในตัวของมันเอง ทำให้การทำงานของทั้ง 2 ส่วนจึงไม่สอดคล้องตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกา หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นอิสระต่อกัน แต่อย่างไรก็ตาม อัตราของสัญญาณนาฬิกาของทั้งตัวส่งและรับต้องเท่ากัน หรือมีความถี่เท่ากัน



รูป 2.27 การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

ตัวส่งสามารถส่งข้อมูลได้ตามต้องการ แต่ก็ต้องมีการตรวจสอบด้วยว่าตัวรับพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ดังนั้นจึงมีการกำหนดสถานะเพื่อบอกให้ตัวรับทราบว่าขณะนี้เริ่มมีการส่งข้อมูลแล้ว โดยปกติระดับลอจิกบนสายรับส่งข้อมูลเป็น “1” เมื่อมีการส่งข้อมูลระดับลอจิกจะตกลงมาเป็น “0” อยู่ช่วงเวลาหนึ่ง หรือเกิดเป็นบิตขึ้น 1 บิต เรียกว่า บิตเริ่มต้น (Start bit) เพื่อบอกให้ตัวรับทราบว่า หลังจากนี้จะมีข้อมูลส่งตามมา การรับส่งข้อมูลต้องสอดคล้องกับอัตราของสัญญาณนาฬิกา ถ้าหากกำหนดว่าอัตราส่งเป็น 1 บิตต่อ 1 มิลลิวินาที เมื่อตัวรับตรวจจับบิตเริ่มต้นได้ก็จะทำการรับค่าในหลายๆ มิลลิวินาทีจนครบ 8 บิต

เมื่อตัวส่งส่งข้อมูลครบ 8 บิตแล้ว จะส่งข้อมูลอีก 1 บิตเพื่อบอกให้ตัวรับทราบว่าได้ส่งข้อมูลครบ 8 บิตแล้วจะสิ้นสุดการส่งข้อความ เรียกบิตนั้นว่า บิตหยุด (Stop bit) มีระดับลอจิกเป็น “1” คือ เมื่อรับข้อมูลได้ครบ 8 บิต ตัวรับจะรับข้อมูลต่อไป หากกระดับลอจิกในสายข้อมูลนั้นเป็น “1” อยู่ยาวนานช่วงหนึ่งตัวรับจะรับรู้ได้ทันทีว่า มีการส่งบิตหยุดมาแล้ว ข้อมูลที่รับได้ก่อนหน้านั้นทั้ง 8 บิต จะถูกถ่ายทอดเข้าไปเก็บในรีจิสเตอร์รับข้อมูล

อัตราการส่งข้อมูลเทียบกับช่วงเวลาหนึ่งๆ เรียกว่า อัตราบอด (Baud rate) อัตรานี้จะเป็นตัวบ่งบอกความเร็วในการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์

ส่วนจำนวนข้อมูลในการส่ง 1 ครั้ง จะเรียกว่า เฟรม (Frame) โดยมีขอบเขตเริ่มต้น ตั้งแต่บิตเริ่มต้นจนถึงบิตหยุด จำนวนข้อมูลที่อยู่ในระหว่างบิตดังกล่าวทั้งสอง คือจำนวนบิตใน 1 เฟรม ในการส่งข้อมูลตามรูป 2.27 ข้อมูล 1 เฟรมจะมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 8 บิต

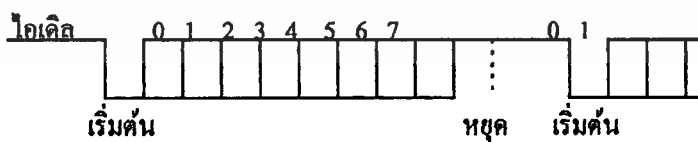
การรับส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อเสียคือ หากอัตราบอดไม่เท่ากันระหว่างตัวรับและตัวส่ง จะทำให้การตรวจนับบิตเริ่มต้นและสิ้นสุด คลอดจนสถานะของข้อมูลไม่แน่นอน ส่งผลให้เกิดการรับส่งข้อมูลผิดพลาดขึ้นได้

การรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสนี้ มักใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เพอร์ipheral เช่น โมเด็ม เม้าส์ พริ้นเตอร์ หรือกระทั่งคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มาตรฐานอื่นหนึ่งที่นิยมใช้ของการรับส่งข้อมูลอนุกรมคือ RS-232 โดยในการรับส่งข้อมูลสามารถใช้สายโทรศัพท์เป็นสายนำสัญญาณได้

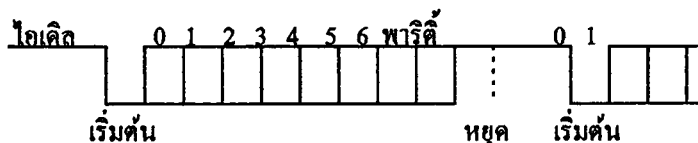
2.4.3.1 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

รูปแบบของข้อมูลจะประกอบด้วยบิตเริ่มต้น บิตหยุด แต่จริงๆ แล้วในรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส มีรายละเอียดมากกว่านั้น

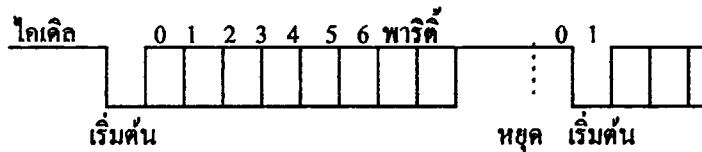
ในรูป 2.28 เป็นรูปแบบของข้อมูลอนุกรมในลักษณะต่างๆ จะเห็นว่าบิตเพิ่มเติมขึ้นมาอีก 1 บิต เรียกว่า บิตพาริตี (Parity bit) บิตนี้เป็นบิตที่ใช้ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งมา มีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่ มันจะแสดงจำนวนของข้อมูล “1” ในข้อมูล 1 เฟรมนั้น ถ้าหากจำนวนข้อมูล “1” มีเป็นจำนวนคู่ (คือ 2,4,6 หรือ 8 ตัว) จะเรียกว่าเป็นพาริตีคู่ (Even parity) แต่ถ้าหากจำนวนข้อมูล “1” เป็นจำนวนคี่ (คือ 1,3,5 หรือ 7 ตัว) จะเรียกว่าเป็นพาริตีคี่ (Odd parity) บิตพาริตีนี้สามารถจะรวมอยู่ในข้อมูลที่มีขนาด 8 บิตได้เช่น รหัส ASCII จะมีบิตข้อมูลอยู่ 7 บิต อีก 1 บิตที่เหลือก็สามารถกำหนดให้เป็นบิตพาริตีได้ หรือจะแยกเพิ่มเติมเป็นอีก 1 บิตก็ได้



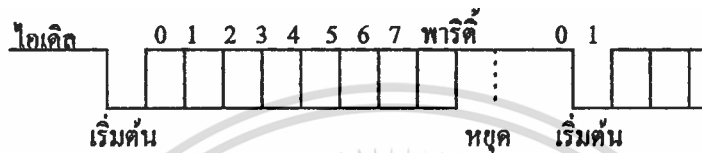
(ก) แบบ 8 บิตข้อมูล 1 บิตหยุด



(ข) แบบ 7 บิตข้อมูล 1 บิตพาริตี 1 บิตหยุด



(ค) แบบ 7 บิตข้อมูล 1 บิตพาริตี 2 บิตหยุด



(ง) แบบ 8 บิตข้อมูล 1 บิตพาริตี 1 บิตหยุด

รูป 2.28 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

ตัวส่งข้อมูลจะเป็นผู้ตรวจสอบและกำหนดบิตพาริตีนี้ โดยตัวรับจะต้องปฏิบัติและกำหนดรูปแบบตาม การกำหนดสถานะของบิตนี้ว่าจะให้เป็น “1” หรือ “0” ขึ้นกับปัจจัยสองประการคือ

1. การกำหนดให้เป็นพาริตีคู่หรือคี่
2. จำนวนข้อมูล “1” ในข้อมูลแต่ละไบต์ที่ต้องการส่ง

ยกตัวอย่าง ต้องการส่งข้อมูลรหัส ASCII ของเลข 8 ข้อมูลรหัส ASCII จะมี 7 บิตคือ 0111000 กำหนดให้บิตที่ 8 เป็นพาริตี โดยถ้าหากจำนวนข้อมูล “1” เป็นคี่ จะเป็นพาริตีคี่ บิตพาริตีจะเป็น “1” แต่ถ้าจำนวนข้อมูล “1” เป็นคู่ก็จะเป็นพาริตีคู่ บิตพาริตีจะเป็น “0” ดังนั้นข้อมูล 1 เฟรมที่จะส่งไปจะมีลักษณะดังนี้

บิตเริ่มต้น	0	1	2	3	4	5	6	บิตพาริตี	บิตหยุด
0	0	0	0	1	1	1	0	1	1

จะใช้บิตพาริตีตรวจสอบความผิดพลาดได้อย่างไร สมมติว่าถ้าหากในการส่งข้อมูลเลข 8 ดังกล่าวเกิดสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ ทำให้บิตที่ 2 เกิดเปลี่ยนสถานะของข้อมูลเป็น “1” ขึ้นมาก็จะทำให้จำนวนข้อมูล “1” เป็นจำนวนคู่ และทางตัวรับก็รับได้เช่นนั้นแต่ที่บิตพาริตี กลับระบุว่า เป็นพาริตีคี่ทั้งๆ ที่ข้อมูลที่รับได้ระบุว่าเป็นพาริตีคู่ ด้วยเหตุนี้เองทำให้ทราบได้ว่า เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำการรับส่งแล้ว

อย่างไรก็ตาม บิตพาริตีนี้จะช่วยตรวจสอบได้คร่าวๆ เพียงเท่านั้นไม่สามารถบ่งบอกว่า ผิดพลาดที่บิตใด ผิดพลาดไปที่บิต

2.4.3.2 ความเร็วในการส่งข้อมูล

ความเร็วของการส่งข้อมูลถูกระบุด้วยหน่วยจำนวนบิตที่ส่งได้ภายใน 1 วินาที (Bit Per Second : BPS) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยอัตราบอด (Baud rate) หรืออัตราในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

การคำนวณความเร็วในการส่งข้อมูล จะรวมข้อมูลทั้งบิตเริ่มต้น บิตข้อมูล บิตพาริตี และบิตหยุด สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\text{BPS} = (\text{จำนวนบิตข้อมูล} / \text{จำนวนบิตใน 1 เฟรม}) * \text{อัตราบอด} \quad (2.15)$$

และถ้าต้องการทราบความเร็วในการส่งข้อมูลอักขระ จะคำนวณได้จากสมการ

$$\text{จำนวนข้อมูลอักขระใน 1 วินาที} = (\text{อัตราบอด} / \text{จำนวนบิตใน 1 เฟรม}) \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) ถ้าเป็นรหัส ASCII จำนวนบิตในข้อมูล 1 อักขระจะเป็น 7 บิต แต่ถ้าเป็นรหัสอื่น เช่น ANSI จะใช้จำนวน 8 บิตในข้อมูล 1 อักขระ ก็ต้องยกตัวอย่างการคำนวณประกอบคำอธิบายให้เห็นจริง

ในการส่งข้อมูลที่มีอัตราบอดเป็น 9,600 ข้อมูล 8 บิต มีบิตหยุด 1 บิต ไม่มีบิตพาริตี คำนวณหาค่า BPS และจำนวนข้อมูลต่อวินาที จากข้อมูลจะได้จำนวนบิตในข้อมูล 1 เฟรม 8 บิตนี้คือ 10 บิต (8 บิตข้อมูล 1 บิตหยุด และ 1 บิตเริ่มต้น)

$$\text{BPS} = (8/10) * 9600 = 7680$$

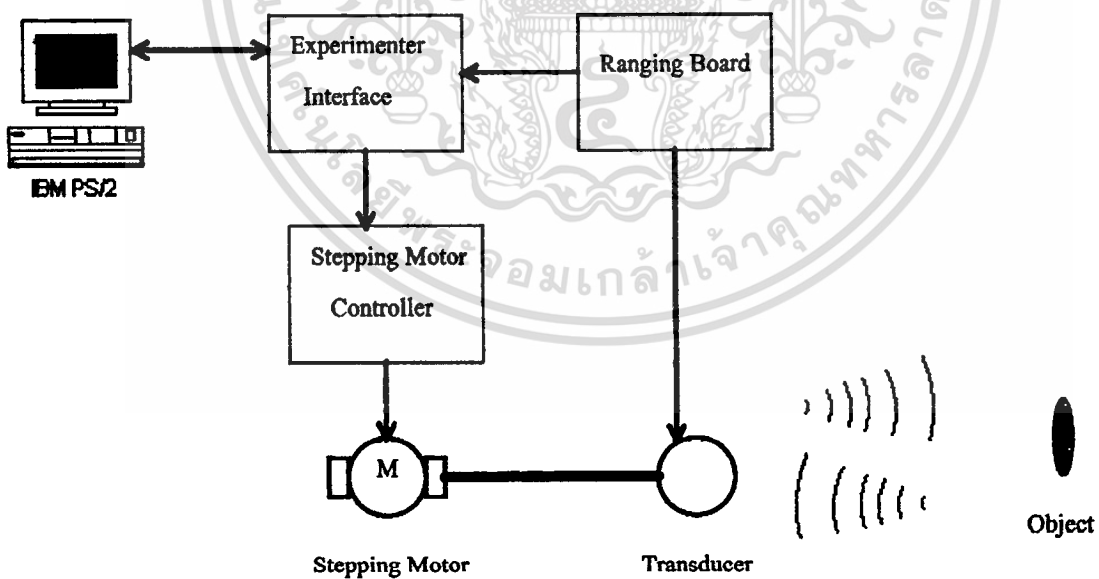
$$\text{จำนวนอักขระต่อวินาที} = 9600/10 = 960 \text{ ตัวต่อวินาที}$$

บทที่ 3

ส่วนประกอบของระบบ

3.1 ระบบทาง Hardware

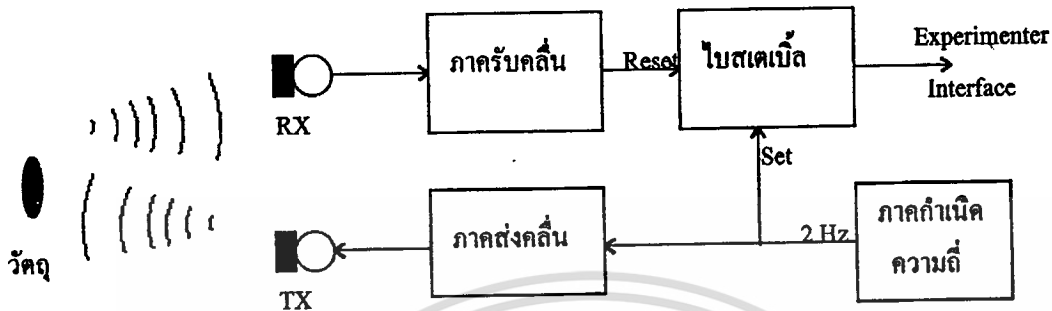
ในระบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของเครื่องตรวจจับวัตถุนี้ จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังรูป 3.1 คือคอมพิวเตอร์จะใช้เป็นตัวแสดงผลของการตรวจจับระยะทางของวัตถุพร้อมทั้งแสดงทิศทางที่ทำการตรวจจับวัตถุ ใต้ส่วนบอร์ดคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวอินเตอร์เฟสระหว่างวงจรภาควิเคราะห์ทางกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการอินเตอร์เฟสจะทำการอินเตอร์เฟสทางพอร์ตอนุกรม (COM1) ซึ่งในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดคอนโทรลเลอร์จะต้องมีการกำหนดโปรโตคอลในการสื่อสารให้สอดคล้องกัน ถึงจะทำการส่งข้อมูลออกไปได้ ส่วนในวงจรภาควิเคราะห์ทางจะเป็นส่วนในการวัดค่าความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตที่ตรวจจับได้จากวัตถุ โดยค่าความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตจะถูกส่งไปให้บอร์ดคอนโทรลเลอร์ เป็นผู้วัดค่าออกมาแล้วจึงส่งต่อให้คอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลเป็นค่าระยะทางที่แท้จริง



รูป 3.1 แสดงโครงสร้างของโครงการเครื่องตรวจจับวัตถุ

3.1.1 วงจรภาควัดระยะทาง (Ranging Board)

3.1.1.1 โครงสร้างของวงจรภาควัดระยะทาง



รูป 3.2 แสดงแผนผังของวงจรภาควัดระยะทาง

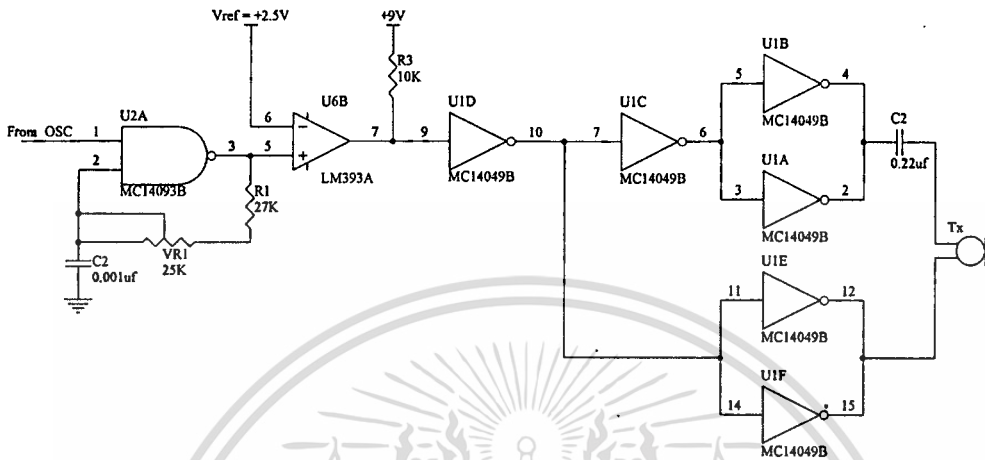
3.1.1.2 การออกแบบวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก

การออกแบบภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิกนั้นเพียงแต่ออกแบบวงจรให้กำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) หรือสัญญาณรูปไซน์ (Sine Wave) หรือเป็นรูปพัลส์ (Pulse) ก็ได้ ที่สามารถสร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant) ของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวส่งที่ใช้ซึ่งวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก โดยทั่วไปนั้นมีวงจรที่สามารถสร้างได้หลายแบบคือ

1. ใช้ IC 555 TIMER ซึ่งสามารถทำการต่อได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งานคือ แบบโมโนสเตเบิ้ล (Monostable) Multivibrator) และแบบอะสเตเบิ้ล (Astable Multivibrator)
2. ใช้ IC คิจิตอลตระกูล CMOS 4000 ซึ่งมีด้วยกันหลายเบอร์ที่สามารถนำมาทำเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ เช่น เบอร์ 4001, 4011 และ 4093 เป็นต้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ IC CMOS เบอร์ 4093 (Quad two-Input NAND Schmitt trigger) มาทำวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก



รูป 3.3 แสดงแผนผังของวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก



รูป 3.4 แสดงวงจรภาคส่งคลื่นอูลตราโซนิค

หลักการทำงานของวงจรภาคส่งคลื่นอูลตราโซนิค

จากวงจรของภาคส่งคลื่นอูลตราโซนิค ซึ่งประกอบด้วย IC CMOS 4093 และอินเวอร์เตอร์อีก 6 ตัว ซึ่ง 4 ตัวแรก คือ U1A กับ U1B และ U1E กับ U1F ซึ่งจะจับคู่กันโดยต่อในลักษณะขนานกันเพื่อให้แรงดันที่ทรานสดิวเซอร์ตัวส่งคลื่นเป็น 2 เท่าของไฟเลี้ยง และ ความถี่ของวงจรถูกกำหนดความถี่นี้สามารถปรับได้โดยการปรับที่ VR1 ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 40 KHz ดังนั้นจึงต้องพยายามปรับ VR1 ให้ได้ความถี่ใกล้เคียง 40 KHz มากที่สุด เพื่อให้ทรานสดิวเซอร์ตัวส่งทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคลื่นที่ถูกส่งออกไปนั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณนาฬิกา (Clock) ดังนั้นจึงต้องต่อภาคกำเนิดความถี่เข้าภาคส่งคลื่นเพื่อให้ภาคส่งคลื่นส่งคลื่นออกไปแค่ช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ซึ่งอาจจะประมาณ 0.3 ms หรือต่ำกว่านั้นก็ได้

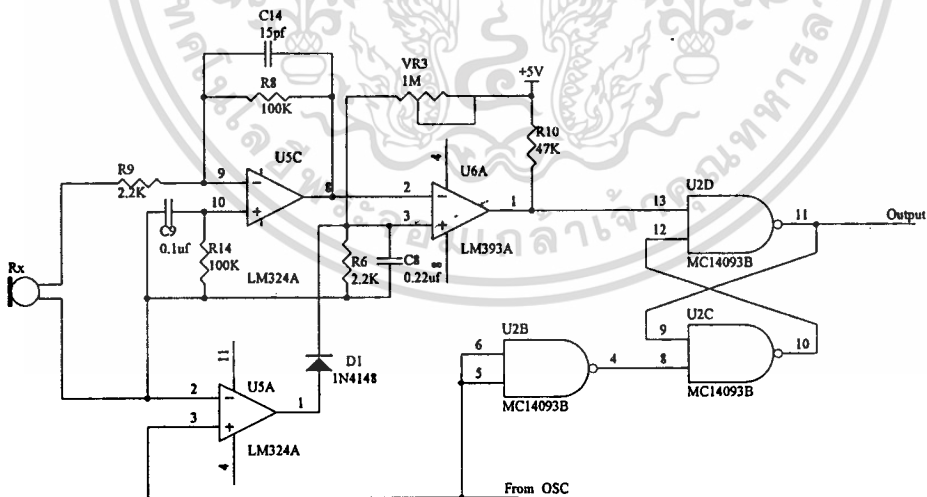
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 การออกแบบวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Receiver)

จากการทำงานของวงจรภาคส่งนั้นทรานสดิวเซอร์ตัวส่งจะส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไปและเมื่อมีการสะท้อนกลับมากกระทบกับทรานสดิวเซอร์ตัวรับ จะเกิดแรงดันขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับ โดยแรงดันนี้จะมีรูปคลื่นออกมาเป็นไซน์ (Sine Wave) ที่มีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่มาตกกระทบตัวมันและจะมีขนาดสูงสุด เมื่อความถี่ของคลื่นเสียงที่เข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ส่วนค่าความถี่อื่นๆ ขนาดสัญญาณจะออกมาน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณที่คร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับให้มีขนาดสูงขึ้น



รูป 3.5 แสดงแผนผังของวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก



รูป 3.6 แสดงวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก

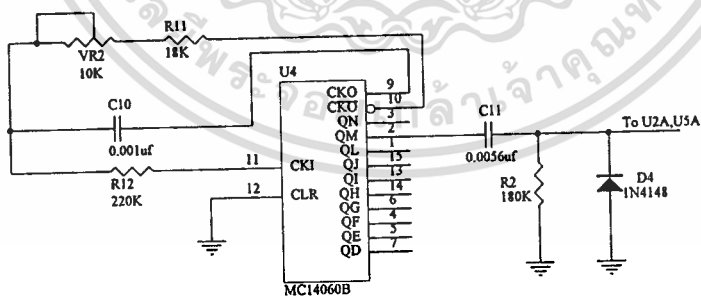
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของวงจรภาครับคลื่นอุลตราโซนิก

เมื่อภาคส่งทำการส่งคลื่นอุลตราโซนิกออกไป และสะท้อนกับวัตถุกลับมาตกกระทบกับทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ก็จะเกิดแรงดันตกคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับขึ้น ซึ่งมีขนาดน้อยมาก และจะมี USC ทำการขยายสัญญาณที่ได้รับจากทรานสดิวเซอร์ตัวรับคลื่นอุลตราโซนิก โดยจะมี อัตราขยายประมาณ 33 dB ($20 \log R8/R9$) โดยC9จะเป็นตัวคัปปลิงแบบไฟสถับและ R4 ช่วยในการปรับแรงดันอินพุตออฟเซต โดยใช้กระแสไบอัสทางด้านอินพุตเป็นตัวช่วยและแรงดันอินพุตออฟเซตก็จะมีค่าน้อยด้วยเมื่อทรานสดิวเซอร์ตัวรับคลื่นอุลตราโซนิกรับคลื่นอุลตราโซนิกที่สะท้อนกับวัตถุกลับมาแล้ว เอาท์พุทของ U7A จะมีลอจิกค่าซึ่งจะมีผลทำให้วงจรไบสเทเบิล (U2C , U2D) ถูกรีเซต ทำให้ได้สัญญาณเอาท์ออกมา

3.1.1.4 การออกแบบวงจรภาคกำเนิดความถี่

ในวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิกนั้นคลื่นที่ส่งออกไป จะถูกทำให้มีความถี่ใกล้เคียงความถี่เรโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง โดยในโครงงานนี้ใช้ทรานสดิวเซอร์ 40 KHz ซึ่งคลื่นอุลตราโซนิก 40 KHz ที่ถูกส่งออกไปนั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณนาฬิกา (Clock) ดังนั้นจึงต้องมีภาคกำเนิดความถี่ป้อนเข้าวงจรภาคส่งคลื่นอุลตราโซนิก เพื่อทำให้คลื่นที่ถูกส่งออกไปเป็นพัลส์ประมาณ 12 พัลส์



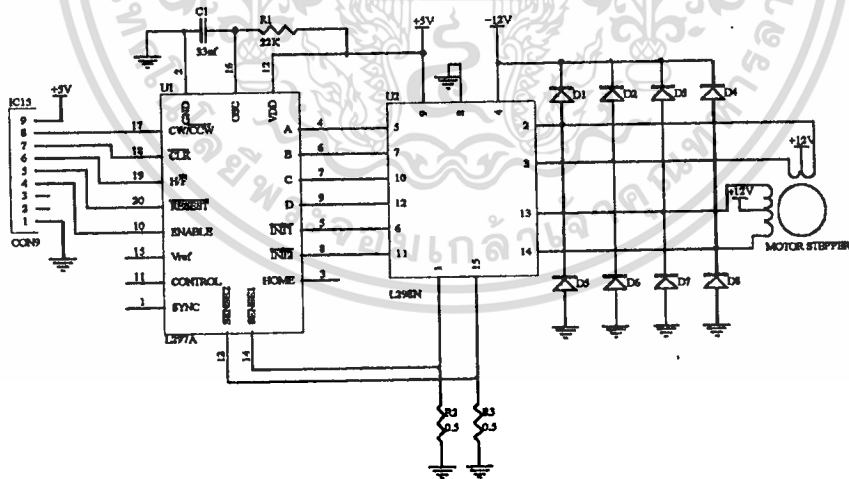
รูป 3.7 แสดงวงจรภาคกำเนิดความถี่

หลักการทํางานของวงจรภาคกำเนิดความถี่

ในส่วนของวงจรภาคกำเนิดความถี่นี้จะถูกสร้างโดย U4 ซึ่งจะมี VR2 เป็นตัวปรับความถี่ซึ่งค่าความถี่นี้จะถูกป้อนเข้า U4 ทำให้เอาต์พุตของ U4 ผลิตความถี่ประมาณ 2 Hz และผ่านวงจรโมโนสเตเบิล R2 และ C11 ซึ่งจะเป็นตัวกำเนิดความถี่ให้ได้ประมาณ 40 KHz ขณะเดียวกันเอาต์พุตของ U5A จะมีระดับลอจิกสูงซึ่งกระแสจะไหลผ่าน D1 เข้าสู่คอมพาราเตอร์ตัวที่ 2 คือ U6A เพื่อขั้วระดับของสัญญาณให้สูงขึ้นและนำไปทริก U2D ได้โดยที่แรงดันทางด้านอินพุตของ U5A ที่ขาอินเวอร์ตจะมีค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ขณะเดียวกันวงจรไบสเทเบิลจะถูกเซตซึ่งเป็นการรอสัญญาณที่กลับเข้ามาของคลื่นที่ส่งออกไป

3.1.2 วงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor Controller)

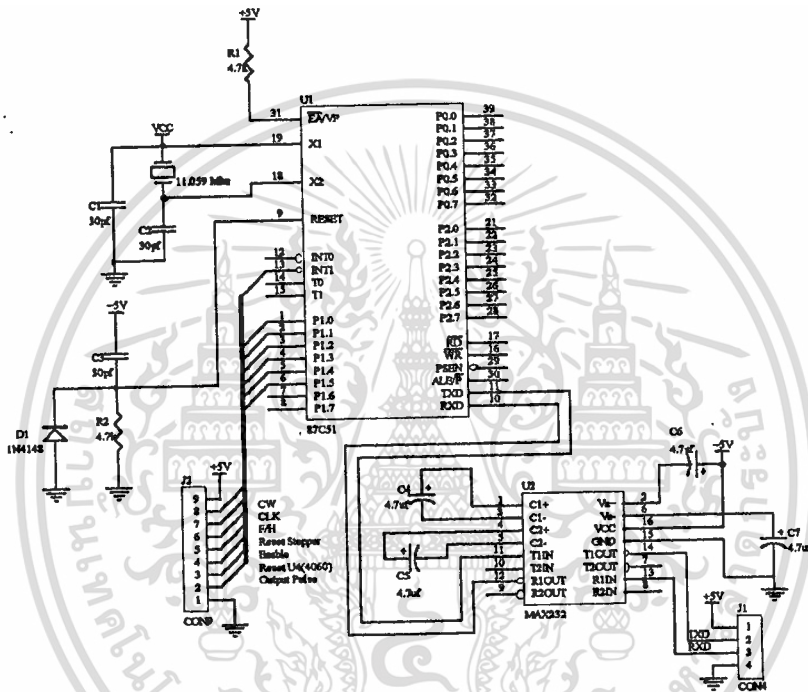
วงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์นี้จะเป็นส่วนควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์โดยที่แกนของสเต็ปมอเตอร์จะติดตั้งทรานสดิวเซอร์ไว้เพื่อทำการวัดในทิศทางต่างๆ โดยมีโครงสร้างของวงจรดังรูป 3.8



รูป 3.8 แสดงวงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์

3.1.3 วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์

วงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์นี้ จะเป็นส่วนของการอินเตอร์เฟสระหว่าง วงจรภาควัดระยะทางกับตัวคอมพิวเตอร์ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ไอซี AT89C51 ซึ่งเป็น Microcontroller ขนาด 8 bit ที่มี PEROM อยู่ในตัวขนาด 4 Kbyte ทำให้สามารถทำการเขียนโปรแกรมและแก้ไขโปรแกรมได้โดยง่าย



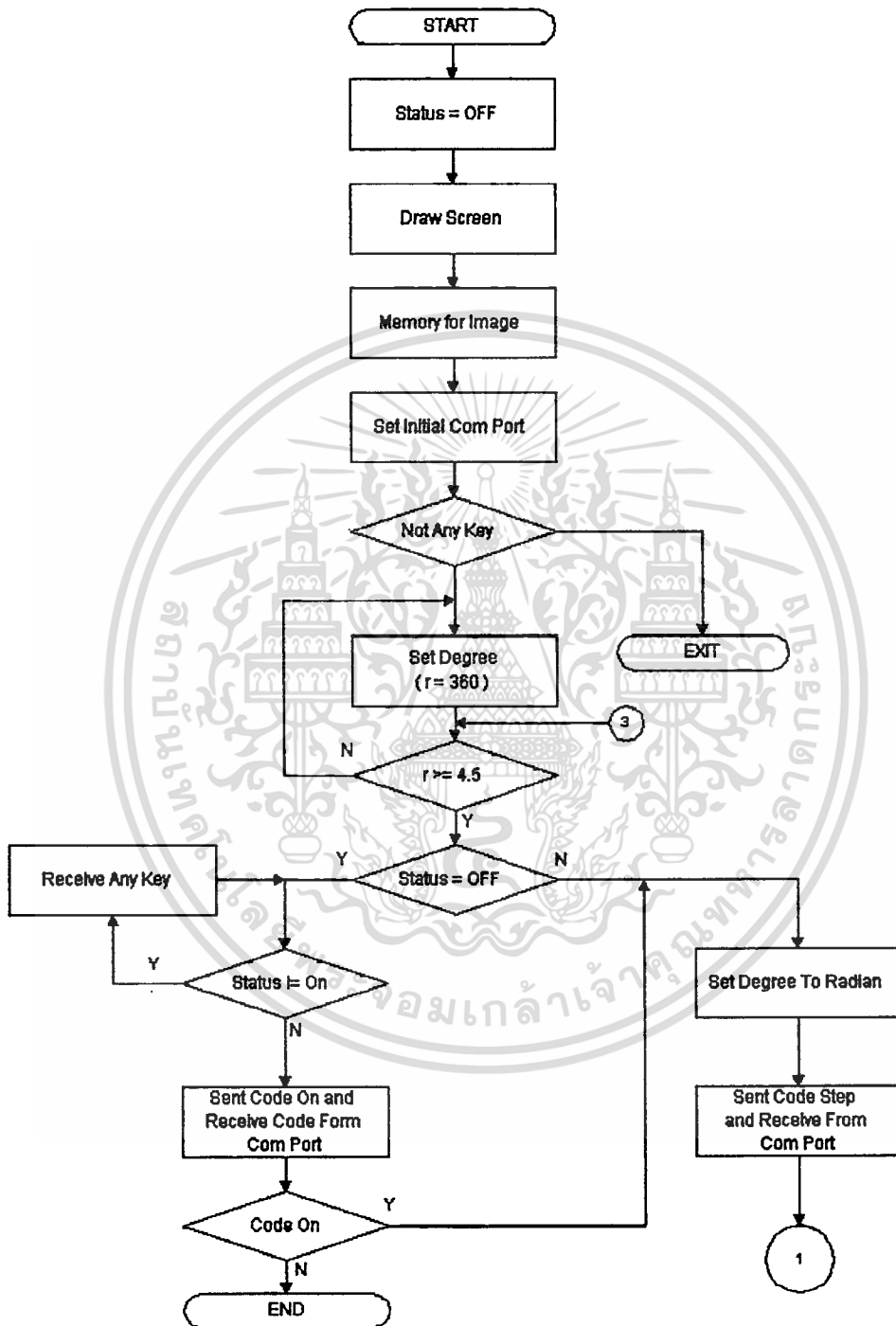
รูป 3.9 แสดงวงจรบอร์ดคอนโทรลเลอร์

3.2 ซอร์ฟแวร์

ในส่วนของซอร์ฟแวร์นี้จะประกอบด้วยส่วนของภาษาซีและภาษาแอสเซมบลี โดยซอร์ฟแวร์ภาษาซีจะเป็นตัวแสดงเมนูของโครงการโดยในเมนูจะมีการแสดงคำสั่งต่างๆ เพื่อส่งค่าไปควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนตามต้องการ แต่ในโครงการนี้จะควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนทิศทางตามเข็มนาฬิกา ก่อนและในส่วนซอร์ฟแวร์ภาษาแอสเซมบลีจะเป็นการกำหนดการอินเตอร์รัพท์ต่างๆ ในการทำงานของบอร์ดคอนโทรลเลอร์ อีกทั้งยังทำการวัดค่าความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตที่เซนเซอร์ได้จากวงจรภาควัดระยะทาง

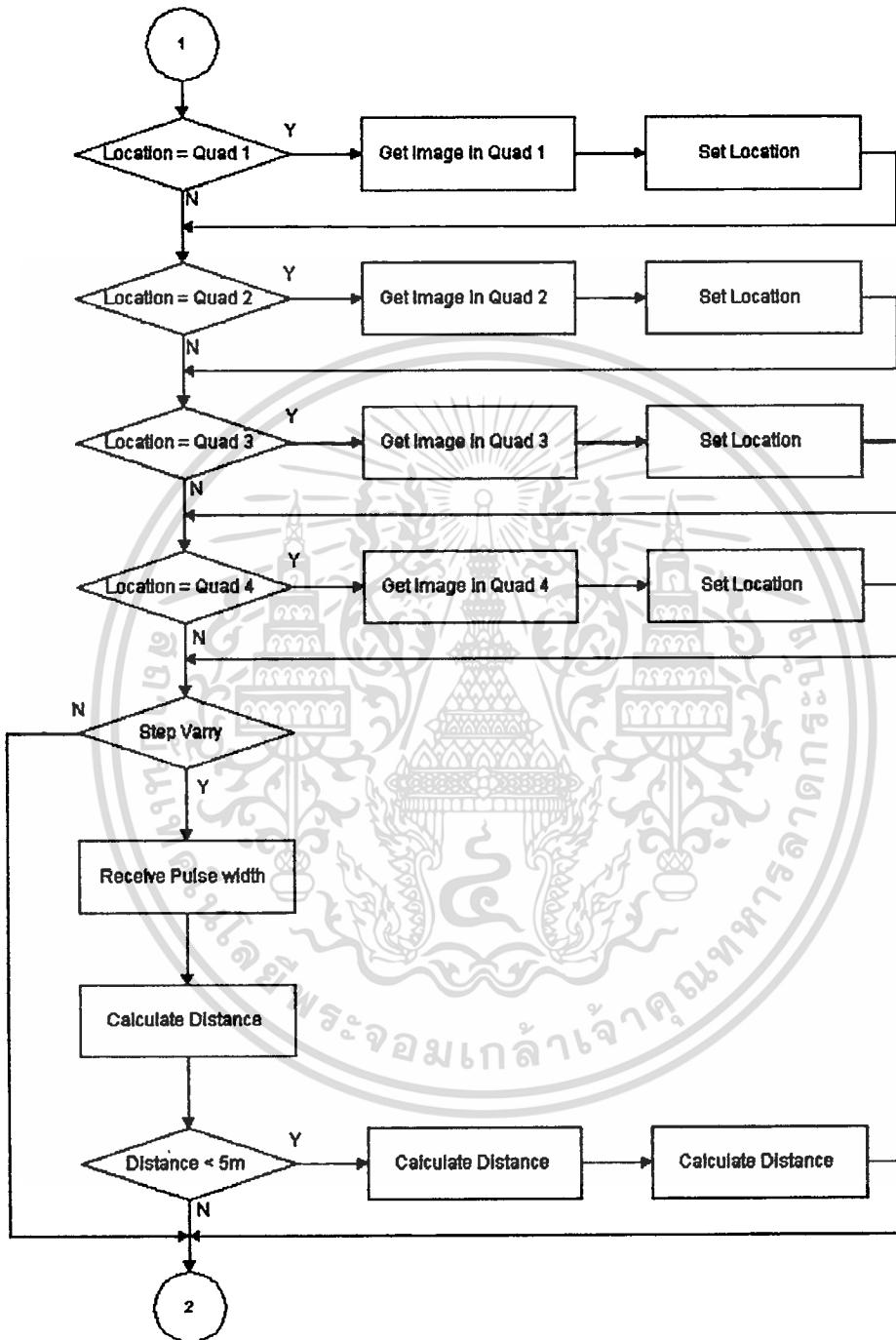
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 แผนผังการทำงานของภาษาซี



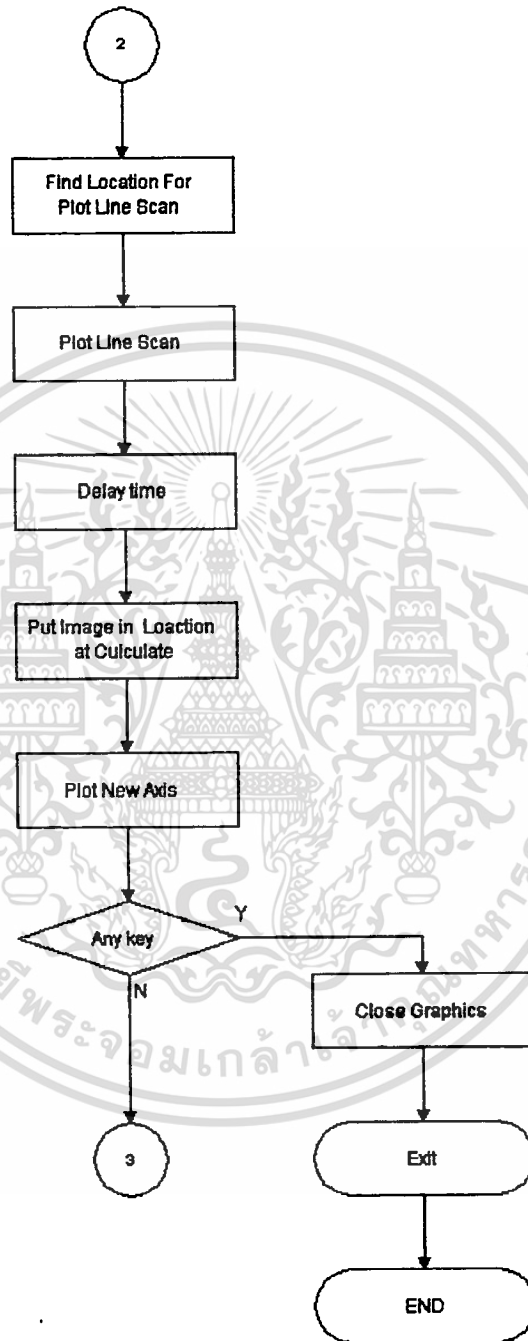
รูป 3.10 แสดงแผนผังการทำงานของภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.10 แสดงแผนผังการทำงานของภาษาซี (ต่อ)

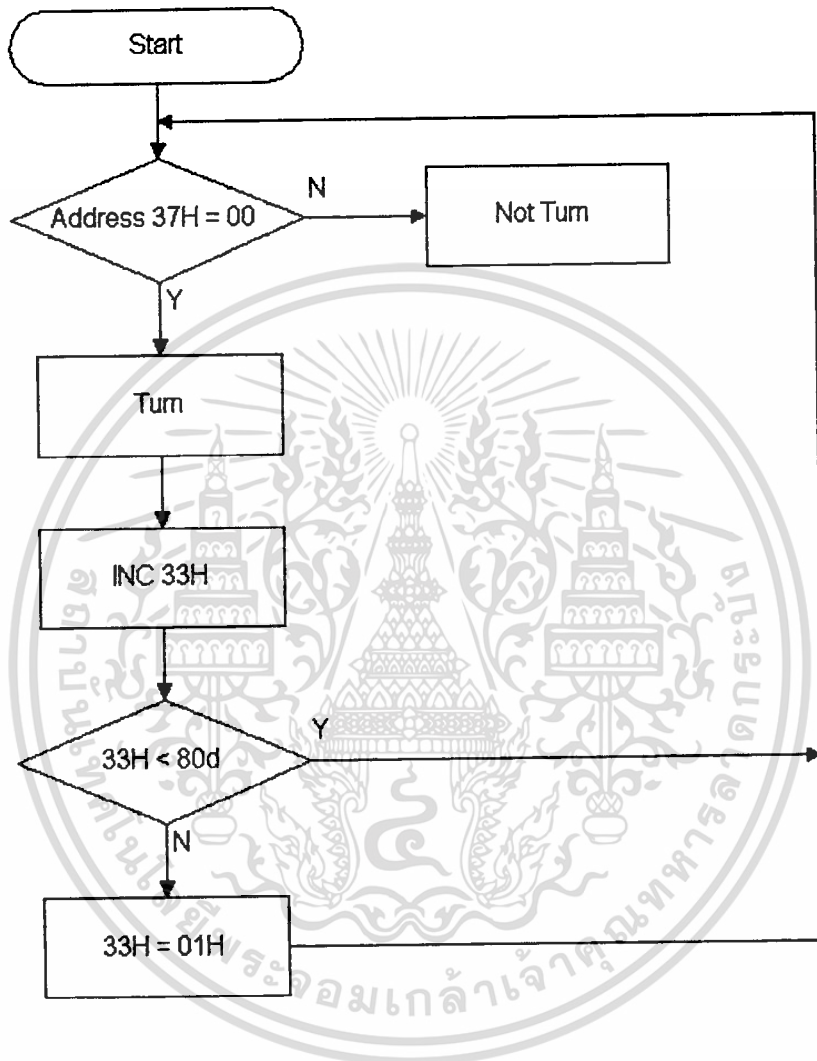
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



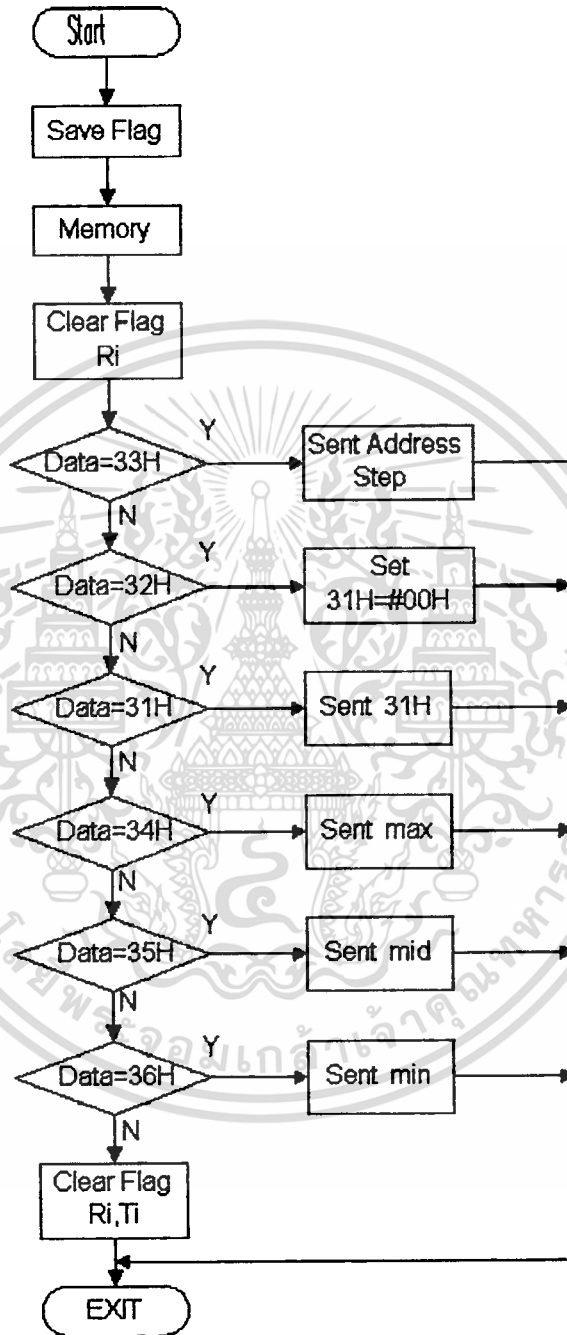
รูป 3.10 แสดงแผนผังการทำงานของภาษาซี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 แผนผังการทำงานของภาษาแอสเซมบลี

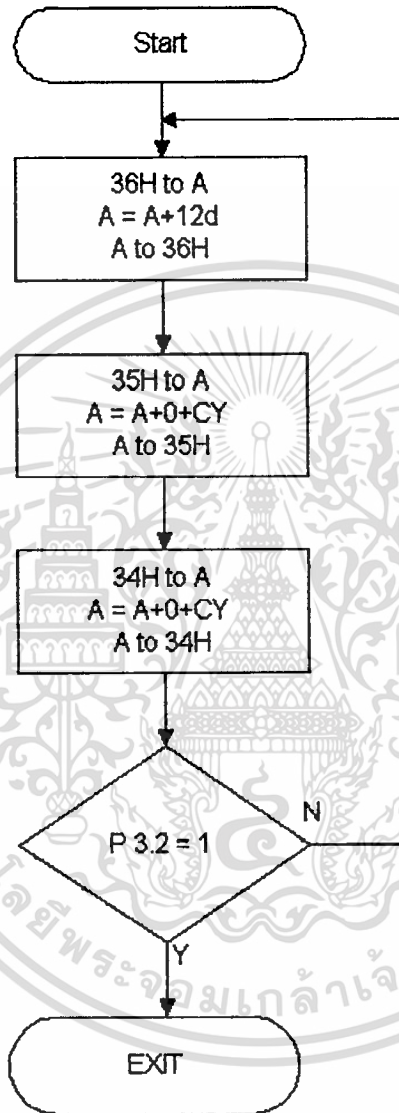


รูป 3.11 แสดงแผนผังการทำงานของภาษาแอสเซมบลี



รูป 3.12 แสดงแผนผังโปรโตคอลการสื่อสารของภาษาแอสเซมบลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.13 แสดงแผนผังการอินเทอร์รัพท์ของ INT1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.11 เป็นการแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก ซึ่งจะกำหนดสถานะแรกเริ่มของโปรแกรมคือ สถานะของการอินเตอร์รัพท์ต่างๆ รวมถึงระดับความสำคัญในการอินเตอร์รัพท์ จากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าในแอดเดรส 37H ซึ่งถ้าค่าเป็น 00H จะทำการตั้งให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุน แล้วโปรแกรมจึงทำการตรวจสอบ จำนวนสเต็ปในแอดเดรส 33H ว่าน้อยกว่า 80 สเต็ปหรือไม่ แล้วจึงทำการวนไปเริ่มโปรแกรมใหม่

จากรูป 3.12 เป็นการแสดงโปรโตคอลการสื่อสาร โดยจากผังงานจะกำหนดให้ การส่งค่า 31H เป็นการแสดงสถานะ OFF ,การส่งค่า 32H เป็นการแสดงสถานะ ON ,การส่งค่า 33H เป็นการให้ทำการส่งค่าสเต็ป ,การส่งค่า 34H เป็นการบอกให้โปรแกรมส่งค่าไบต์สูงของค่าที่ทำการนับ ,การส่งค่า 35H เป็นการบอกให้โปรแกรมส่งค่าไบต์กลางของค่าที่ทำการนับ ,การส่งค่า 36H เป็นการบอกให้โปรแกรมส่งค่าไบต์ต่ำของค่าที่ทำการนับ

จากรูป 3.13 เป็นการแสดงการอินเตอร์รัพท์ของพอร์ต 3.2 ซึ่งจะใช้ในการนับค่าความกว้างของพัลส์เอาต์พุต โดยจะทำการเก็บค่าที่นับไว้ 3 ไบต์ คือ ไบต์สูง(34H) ไบต์กลาง(35H) ไบต์ต่ำ(36H)

บทที่ 4

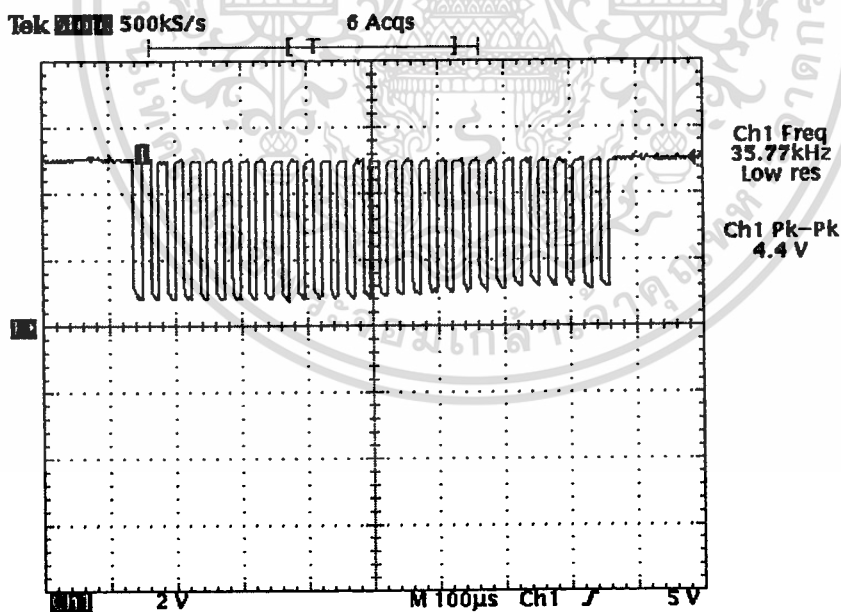
ผลการทดลอง

4.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์

4.1.1 วงจรภาควิเคราะห์ทาง

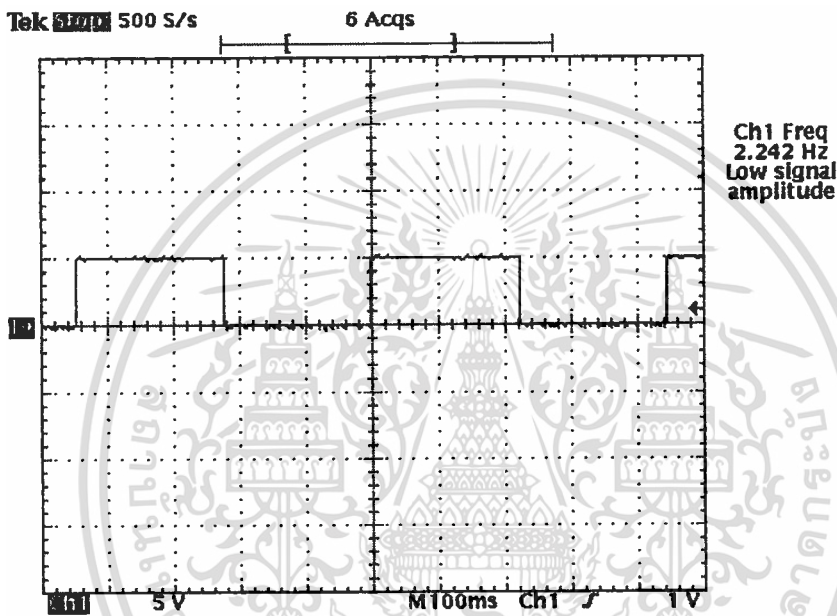
4.1.1.1 การวัดหาสัญญาณต่างๆของวงจร

จากการปรับแต่งในส่วนของวงจรความไวและความถูกต้องของระยะทางโดยแสดงผลบนจอ LCD จะอยู่ในช่วง 0.38 - 3.0 meters การทดลองในการส่งคลื่นทิศทางที่ไกลมากๆ จนไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นวงจรนับก็จะถูกยกเลิกการนับซึ่งจอ LCD จะแสดงผล 0.00 และในส่วนการวัดระยะทางที่ใกล้เกินไปวงจรนับก็จะ RESET เป็นศูนย์อีกเช่นกัน จากการทดลองในตำแหน่งต่างหลายครั้งโดยเทียบกับระยะมาตรฐานกับคัลลิเบรต ในระยะที่ไกลมากขึ้น ถ้ามีปัญหาเรื่องระยะที่ใช้วัดได้ไม่ไกล ต้องทำการเปลี่ยนค่า R8 กับ R9 ซึ่งเป็นตัวกำหนดอัตราการขยายแรงดันของภาครับให้สูงขึ้น $[AV = 20 \text{ LOG } (R8/R9)]$ เป็นภาคที่มีความสำคัญกับการทำงานของระบบ

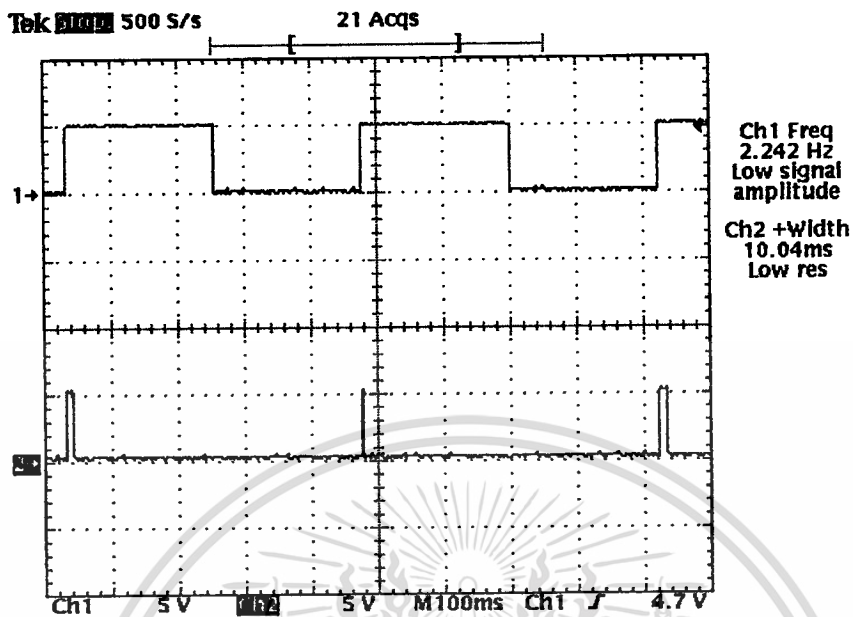


รูป 4.1 แสดงสัญญาณที่ตกคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง

จากรูปเป็นสัญญาณที่คกคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวส่งซึ่งถูกส่งออกไปด้วยความถี่ 40 KHz ซึ่งในการส่งแต่ละครั้งจะมีจำนวนพัลส์ในการส่งประมาณ 28 พัลส์ โดยคำนวณจากช่วงเวลาที่ตั้งพัลส์ถูกแรกถึงช่วงเวลาที่ส่งพัลส์ถูกสุดท้าย (722us) หากด้วยความกว้างของพัลส์ที่ใช้ส่ง(40KHz)

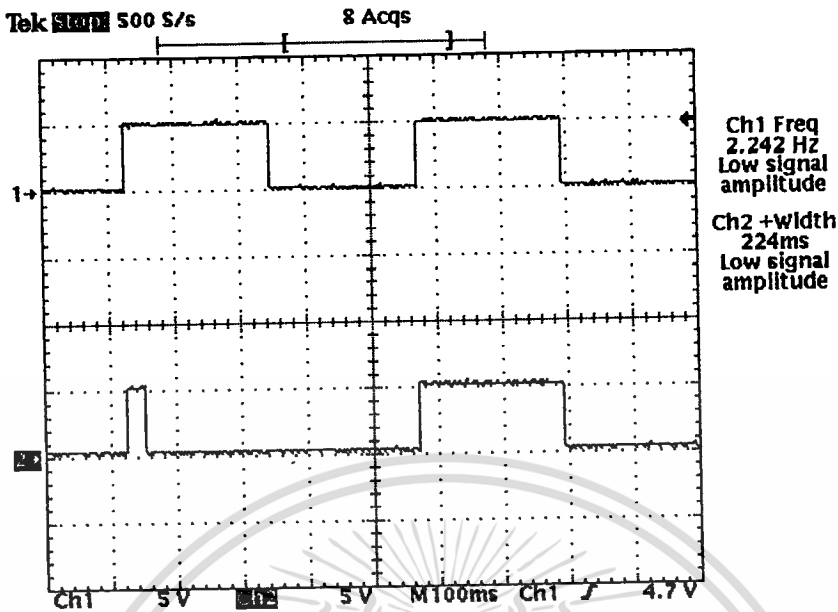


รูป 4.2 แสดงสัญญาณนาฬิกาขนาด 2 Hz ซึ่งเป็นฐานเวลาที่ใช้ในการวัดระยะทางทุก ๆ 0.25 วินาที



รูป 4.3 แสดงสัญญาณนาฬิกาขนาด 2 Hz เทียบกับสัญญาณเอวาท์พุท
ที่วัดได้ที่ระยะทาง 1.95 เมตร

จากรูปในแชนแนล 1 (CH1) จะเป็นสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 Hz มีแอมพลิจูด 5V ส่วน
ในแชนแนล 2 (CH2) จะเป็นสัญญาณเอวาท์พุทพัลส์ที่วัดได้ที่ระยะทาง 1.8 เมตร ซึ่งในรูป
พัลส์เอวาท์พุทที่ได้มีความกว้างพัลส์เท่ากับ 10ms กล่าวคือค่าเวลา 10 ms นี้จะเป็นเวลาดังแต่เริ่ม
คันส่งคลื่นอุลตราโซนิกส่งไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาเพราะฉะนั้นเมื่อทำการคำนวณ
หาระยะทางจริงจะใช้เวลาที่วัดได้หารด้วยสองคือ 5ms แล้วเทียบกับความเร็วของเสียงใน 1
วินาที (346 m/s)



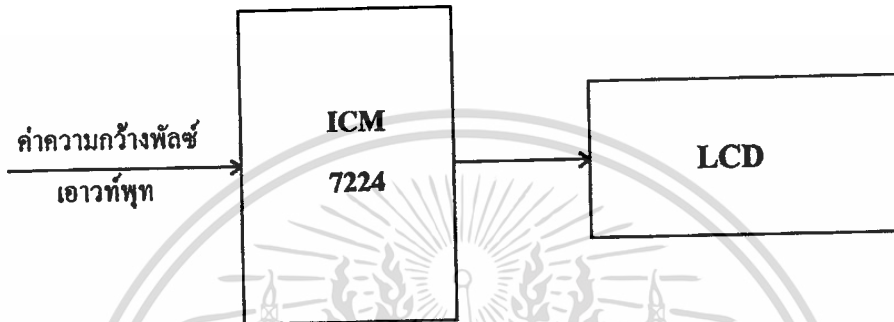
รูป 4.4 แสดงสัญญาณพัลส์เอวาทพุทท์ที่วัดได้ที่ระยะทางไกลจน
ความกว้างพัลส์เอวาทพุทท์เท่ากับฐานเวลาในการนับ

จากรูปในแชนแนล 1 (CH1) จะเป็นสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 Hz ซึ่งเป็นฐานเวลาในการวัดระยะทาง ซึ่งก็คือ ในการวัดหนึ่งครั้งจะวัดได้ระยะทางสูงสุดคือ 250 ms (43 เมตร) ส่วนในแชนแนล 2 (CH2) จะเป็นสัญญาณความกว้างของเอวาทพุทท์พัลส์ที่ได้ เมื่อไม่มีสัญญาณสะท้อนกลับมาจากวัตถุ (วัตถุไกลเกินไป) ความกว้างของพัลส์เอวาทพุทท์ที่ได้มีความกว้างพัลส์เท่ากับ 250 ms คือเท่ากับฐานเวลาในการวัดซึ่งทำให้ไม่สามารถวัดระยะทางได้

ในส่วนของความสมบูรณ์การทำงานของวงจรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการครั้งนี้จะต้องปรับปรุงให้สามารถวัดระยะทางได้ไกลมากขึ้นและมีความถูกต้องแม่นยำเพราะโดยการทดลองระยะทางที่ไกลมากขึ้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นแสดงว่าความแม่นยำในการวัดระยะทางยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความกดดัน และความชื้นของอากาศ เนื่องจากสิ่งเหล่านี้มีผลกับความเร็วเสียงในอากาศ อีกทั้งสามารถปรับให้วงจรมีการตรวจเช็คสัญญาณที่มีการสะท้อนกลับมา เร็วขึ้นหรือช้าลง โดยการเปลี่ยนค่าในส่วนของวงจร IC4 เพื่อความเหมาะสมสำหรับ TIMING DIAGRAM ที่จะต้องมีการอินเตอร์เฟสกับส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.1.2 การวัดหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทาง

ในการวัดหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทาง จะทำการต่อภาควงจรนับขึ้นมา ซึ่งจะใช้การแสดงผลของค่าระยะทางที่ตัว LCD โดยใช้ไอซีเบอร์ ICM 7224 เป็นตัวขับ LCD ดังรูป 4.5

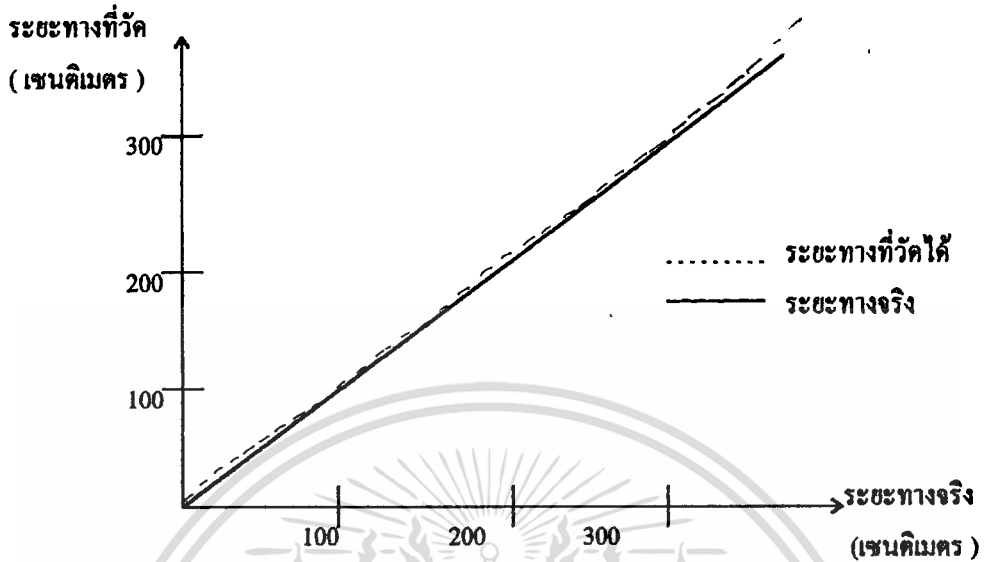


รูป 4.5 แสดงวงจรภาคนับความถี่

ตาราง 4.1 แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ทำการวัดได้

ระยะทางจริง (cm)	ระยะทางที่วัดได้ (cm)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
20	27	35
40	41	2.5
60	57	5
80	78	2.5
100	98	2
120	117	2.5
140	137	2.1
160	157	1.875
180	178	1.1
200	196	2
220	215	2.2
240	233	2.9
260	253	2.6
280	271	3.2
300	293	2.3
320	310	3.0

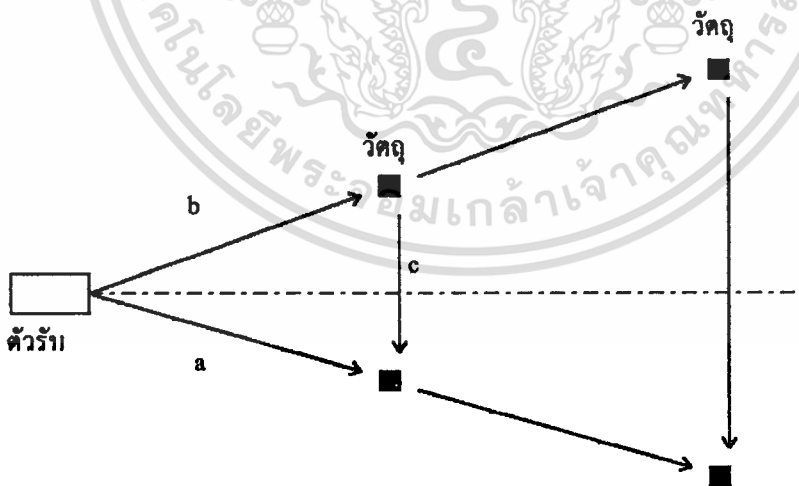
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงกับระยะทางที่วัดได้

4.1.1.3 การหาค่ามุมของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ

การวัดหาค่ามุมของทรานสดิวเซอร์ตัวรับก็คือมุมในการรับสัญญาณที่สะท้อนวัดกลับ
มา โดยทำการทดลองตามรูป 4.7 ซึ่งมุมในการรับประมาณเฉลี่ยแล้ว 37°



รูป 4.7 แสดงมุมในการรับของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ

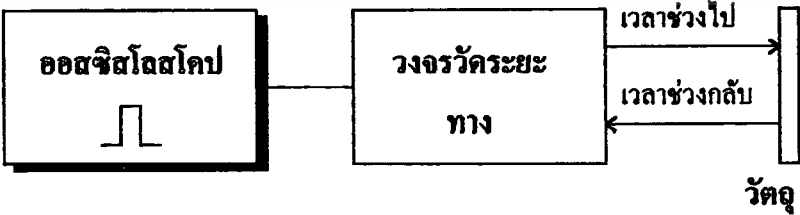
ตาราง 4.2 แสดงการวัดหามุมในการรับที่ระยะห่างต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่างทรานสดิวเซอร์ (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	θ	มุมอับ (cm)
1	72	72	41	37	3
2	76	70	51	40	4.5
4.5	72	75	52	41	12
8	72	73	41	33	16
$\theta = \text{Cos}^{-1} \left[\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right]$					

4.1.1.4 การหาค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณทางเอาต์พุตที่ระยะทางต่าง ๆ

ในการวัดหาค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณเอาต์พุตที่ระยะทางต่าง ๆ นั้นจะนำส่วนของวงจรวัฏระยะทางมาทำการต่อดังรูป 4.8 โดยจะใช้ฮอสติลโลสโคปเป็นตัววัดค่าความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตซึ่งค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณเอาต์พุตนั้นจะเป็นค่าเวลาที่ใช้ในการส่งเมื่อมีวัตถุมากระทบจะสะท้อนกลับมา นั่นคือ ระยะทางจริงๆ จะคำนวณจาก ค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณเอาต์พุตหารด้วยสองแล้วนำมาเทียบกับความเร็วของเสียงที่เดินทางใน 1 วินาที ด้วยระยะทาง 351 เมตร

ระยะทาง = (351 * ค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณเอาต์พุต) / 2



รูป 4.8 แสดงวงจรการทดลองหาค่าความกว้างพัลส์

ตาราง 4.3 แสดงค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณทางเอาวท์พุท

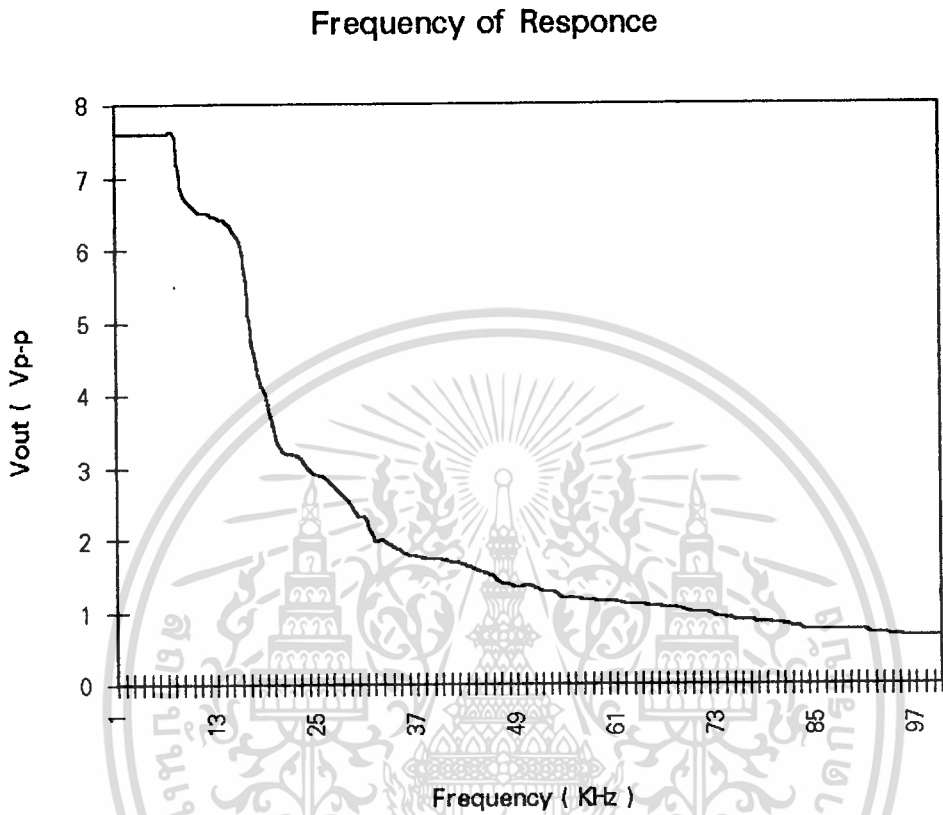
ระยะทาง (cm)	ความกว้างพัลส์ของเอาวท์พุท (ms)
25	1.5
30	1.8
35	2
40	2.3
45	2.6
50	3
55	3.2
60	3.4
65	3.8
70	4
75	4.3
80	4.6
85	4.9
90	5.2
95	5.3
100	5.6
105	6
110	6.3
115	6.6
210	12
215	12.5

4.1.1.5 การวัดหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร

ทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณเข้าจากรีจิสเตอร์เรเตอร์ ที่ความถี่ต่าง ๆ ให้
แก่ขากรับของวงจรวัดระยะทาง โดยการปลดทราบนสควเซอร์ตัวรับออก แล้วจึงป้อนสัญญาณ
จากรีจิสเตอร์เรเตอร์

ตาราง 4.4 แสดงการหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร เมื่อ $V_{in} = 400\text{ mVp-p}$

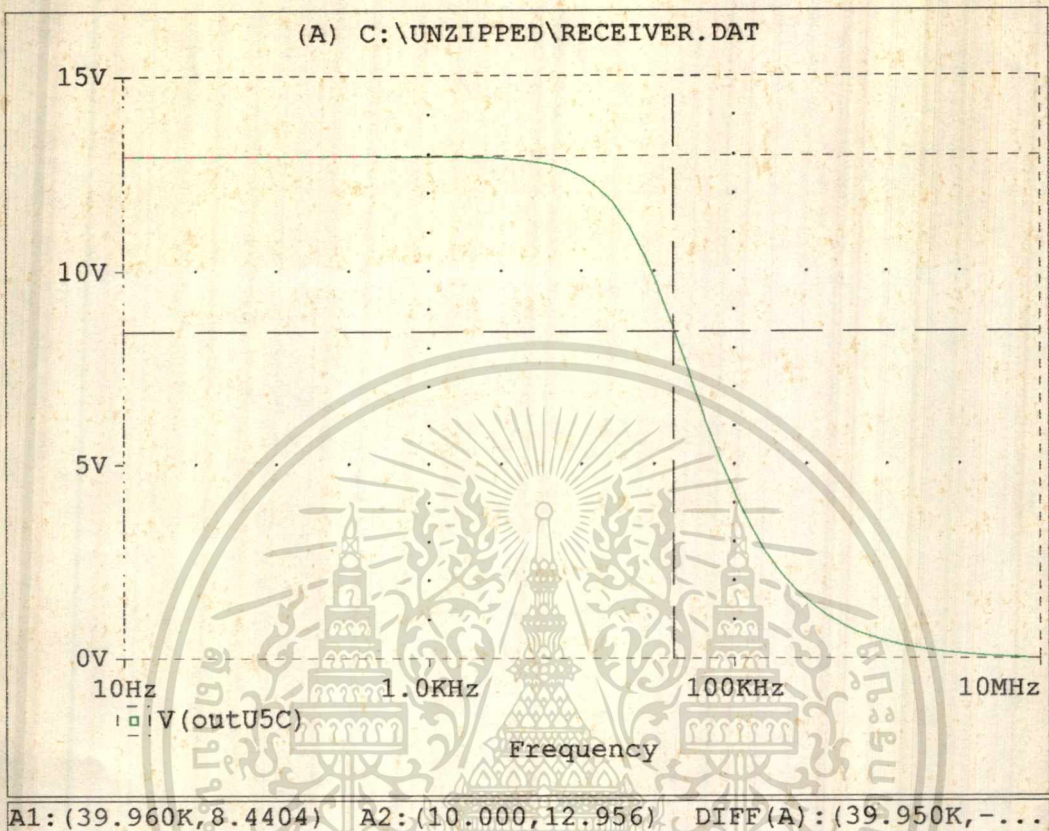
ความถี่ (KHz)	Vout (Vp-p)	อัตราขยาย (dB)
0.1	7.6	25.57
1	7.6	25.57
2	7.6	25.57
3	7.6	25.57
4	7.6	25.57
5	7.6	25.57
6	7.6	25.57
7	7.6	25.57
8	7.6	25.57
9	6.8	24.60
10	6.6	24.34
20	3.52	18.88
30	2.32	15.26
40	1.72	12.66
50	1.38	10.75
60	1.14	9.090
70	1	7.95
80	0.84	6.44
90	0.74	5.34
100	0.66	4.34
200	0.32	-1.93



รูป 4.9 แสดงกราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในการใช้งานจริง

จากรูปแสดงแสดงกราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร เมื่อทำการทดลองโดยใช้ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ทำการป้อนเป็นอินพุต ซึ่งพบว่าที่ความถี่ 40 KHz ค่า Vout ที่วัดออกมาได้จะมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับกราฟในรูป 4.10

Temperature : 27.0



Time : 12:55:39

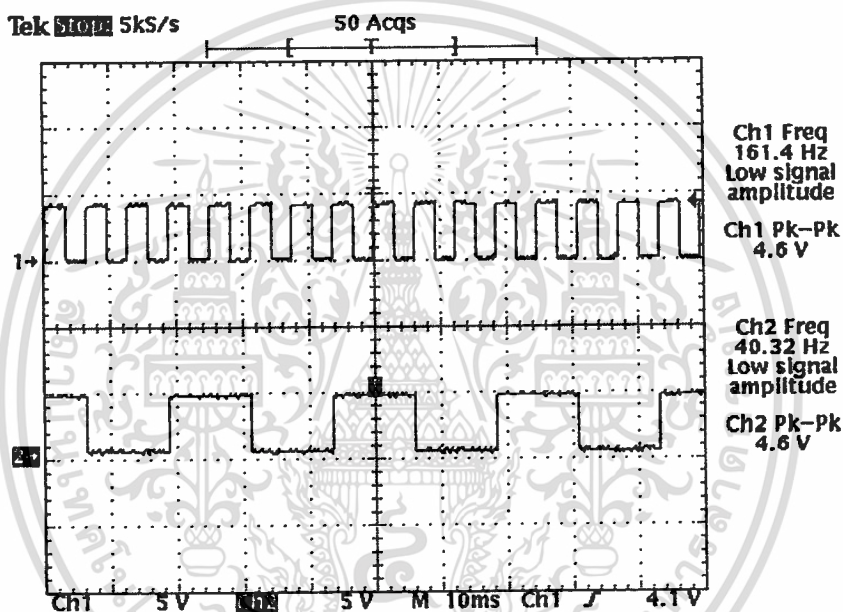
รูป 4.10 กราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่

จากรูปเป็นกราฟแสดงผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คือ โปรแกรม PSPICE ซึ่งในกราฟจะเห็นว่าที่ค่าความถี่ 40KHz วงจรภาครับทำการวิเคราะห์หามีสัญญาณเอาต์พุตออกมา 8.4378 Vp-p ซึ่งจะต่างกับกราฟที่ได้ในรูป 4.9

4.1.2 วงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์

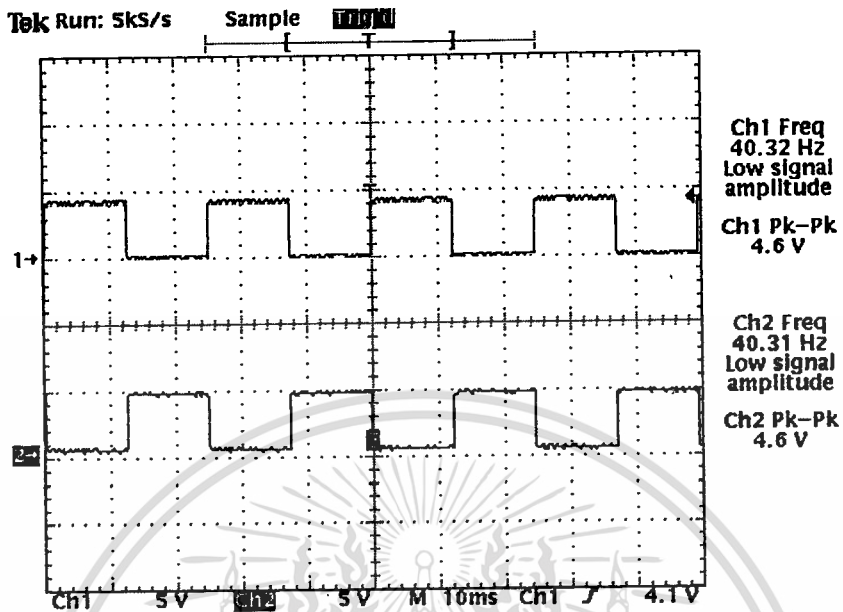
ในการทดลองในส่วนนี้จะใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ เป็นตัวป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่วงจรซึ่งจะพบว่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ที่ป้อนให้วงจรจะต้องอยู่ในช่วง 0-200Hz. ซึ่งถ้าเกินกว่านี้สแต็ปมอเตอร์จะไม่หมุนซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดออสซิลเลชันในสแต็ปมอเตอร์

4.1.2.1 การวัดหาสัญญาณต่างๆ

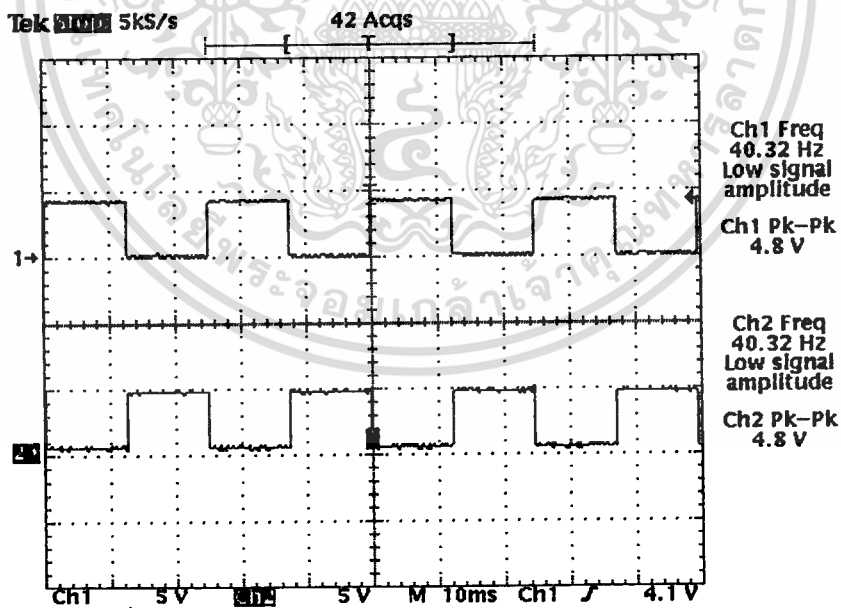


รูป 4.11 แสดงสัญญาณที่เฟส A เทียบกับสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่วงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์

จากรูป แชนแนล 1 จะเป็นสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่วงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์ ซึ่งความถี่จะต้องอยู่ในช่วง 0-200Hz โดยในรูปสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่วงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์ จะมีความถี่ 161 Hz สแต็ปมอเตอร์ จะมีความเร็วในระดับหนึ่ง ส่วนในแชนแนล 2 จะเป็นสัญญาณที่เฟส A ของไอซี L297A ซึ่งเป็นไอซีตัวจลลาคับเฟสที่จะป้อนให้แก่ออสแต็ปมอเตอร์



รูป 4.12 แสดงสัญญาณที่เฟส A เทียบกับสัญญาณ B

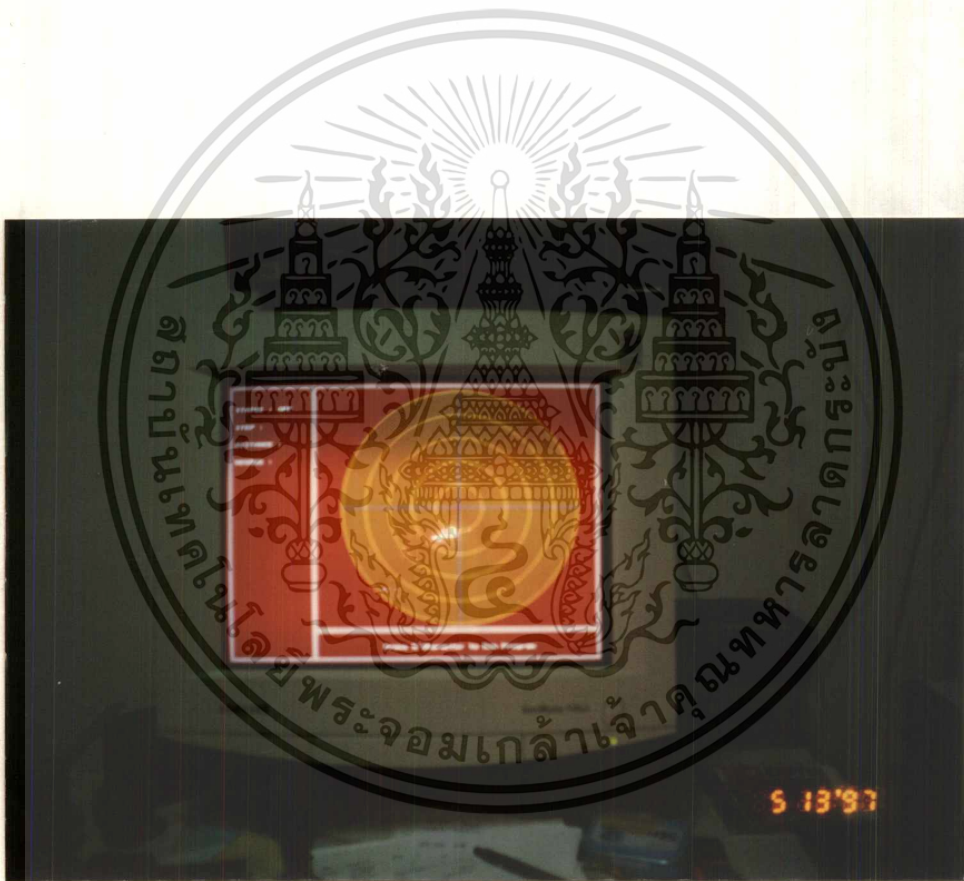


รูป 4.13 แสดงสัญญาณที่เฟส A เทียบกับสัญญาณ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

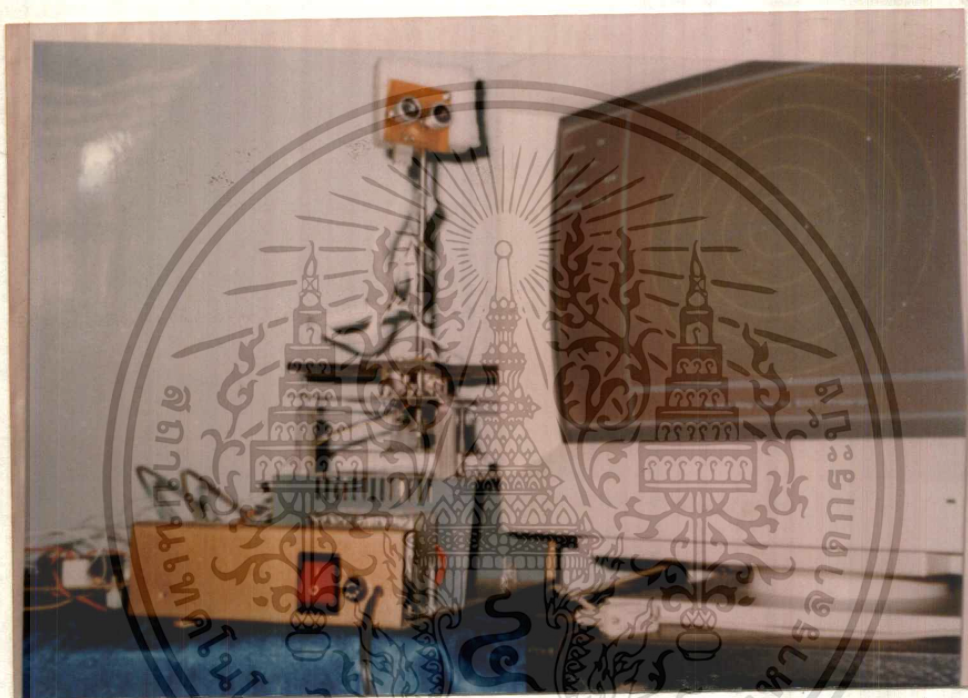
4.2 ผลการทดลองส่วนของซอฟต์แวร์

การทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกมานั้น มีปัญหาในส่วนของผลของการแสดงตำแหน่งจุดบนจอภาพเพราะโดยการใช้เทคนิคที่เขียนโปรแกรมขึ้นมา มันจะไม่สามารถแสดงผลของจุดข้อมูลเดิมค้างไว้ได้ จะแสดงแต่เฉพาะข้อมูลล่าสุดที่ถูก Update ขึ้นมาเท่านั้น เพราะมีปัญหาในการจอง Memory เพื่อเก็บ Image เป็นส่วนๆ ไปซึ่งข้อมูลที่ Update ขึ้นมาอยู่ในส่วนไหนโปรแกรมก็จะทำการจอง Memory เพื่อเก็บภาพรอผลในการแสดงรูปแบบทางหน้าจอออกมาในส่วนนั้น



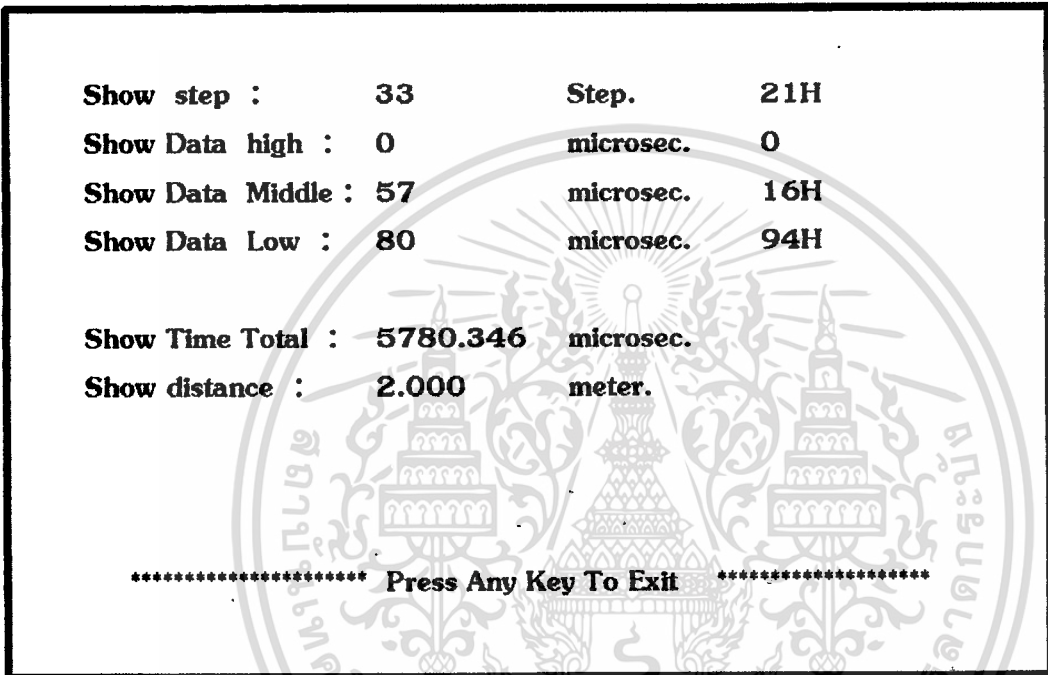
รูป 4.14 แสดงจอภาพแสดงผลของโครงการเครื่องตรวจจับวัตถุขณะ OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.15 แสดงจอภาพแสดงผลของโครงการเครื่องตรวจจับวัตถุขณะ ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.16 แสดงส่วนของโปรแกรมตรวจสอบค่าระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

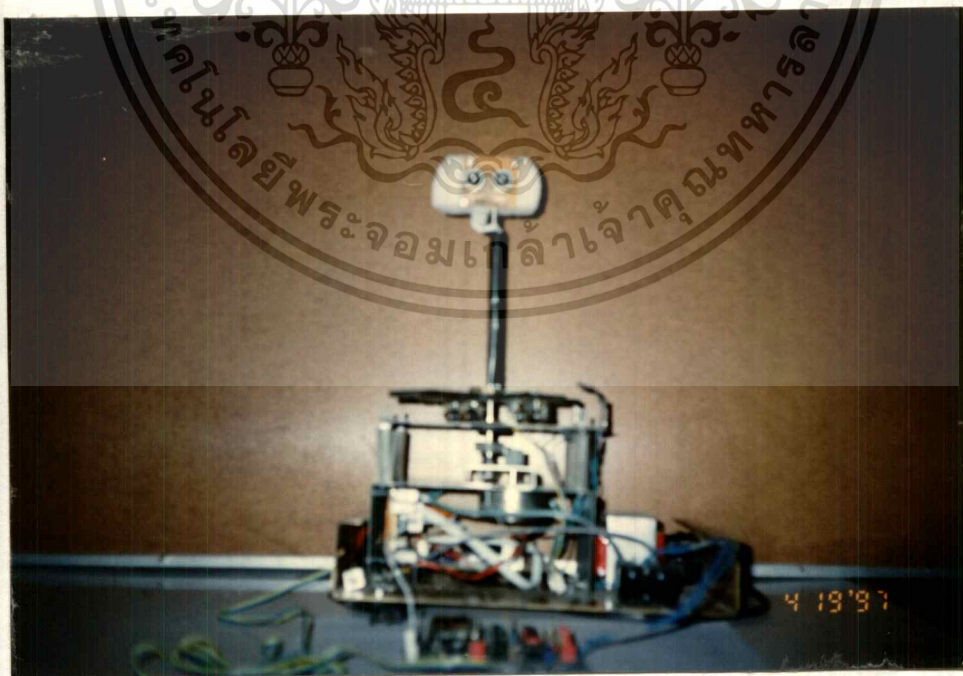
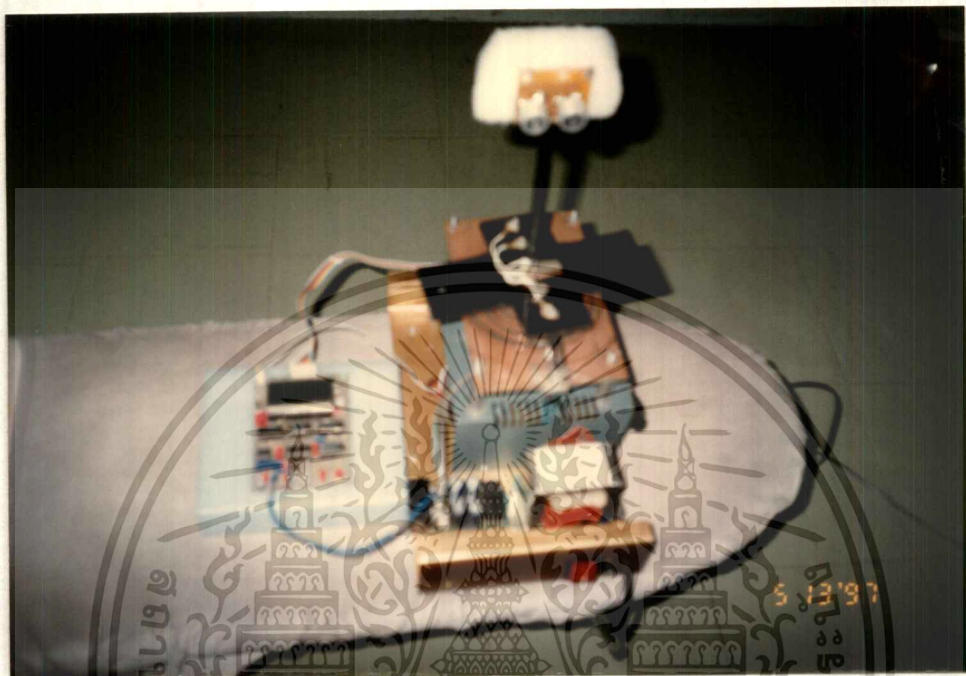


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

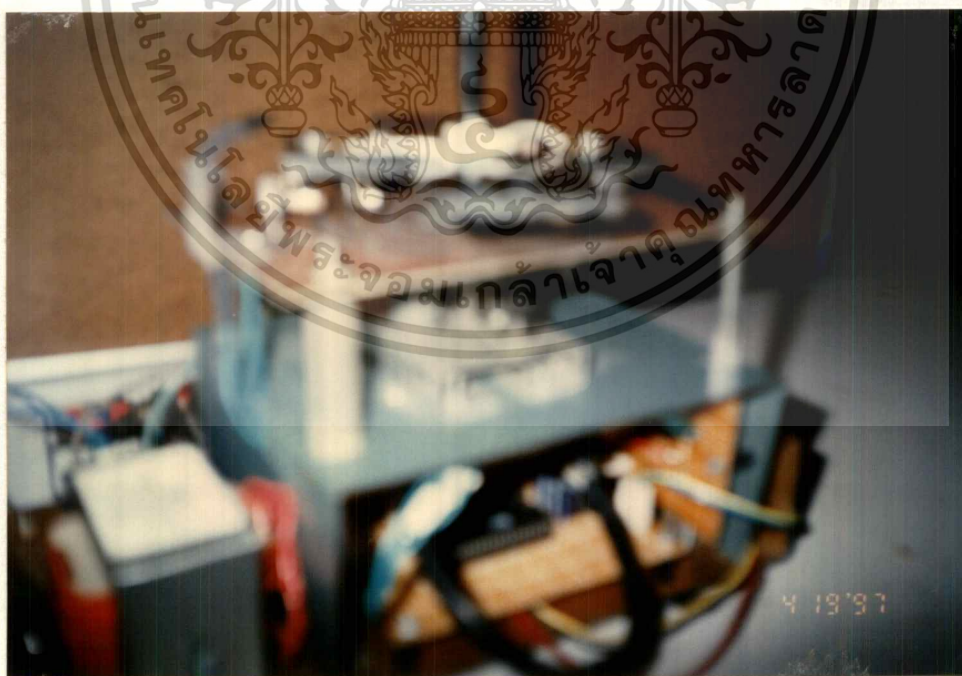
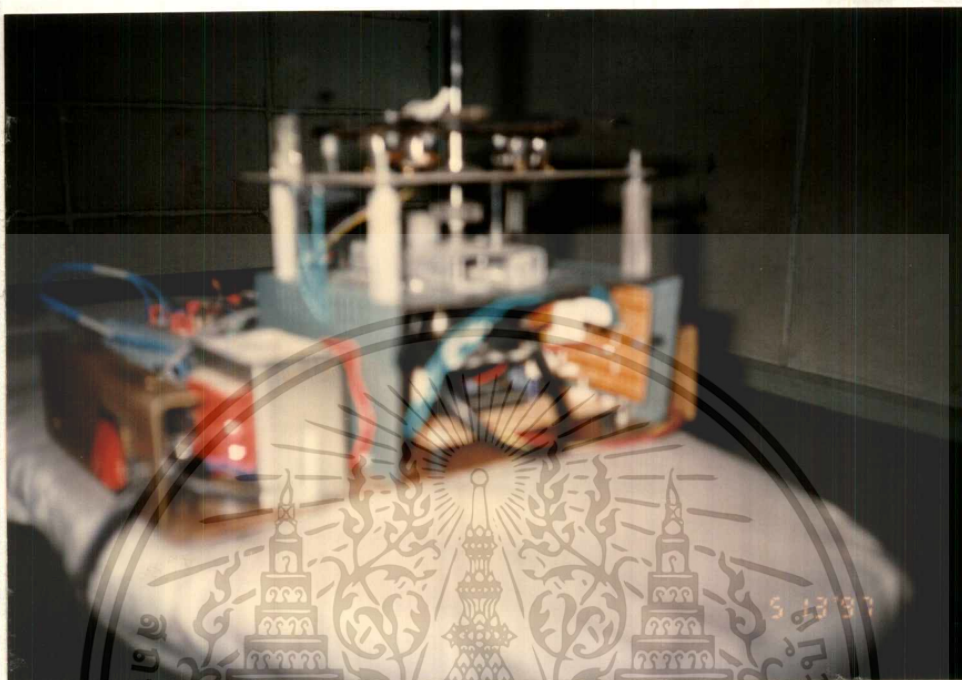


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Drawing of Ultrasonic Radar



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <stdio.h>
#include <graphics.h>
#include <alloc.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>

char abyte;
char *dbuf;
int *sign,*dec;
char *st;
main()
{ int gd=DETECT,gm=0;      /*gd=graphic driver and gm graphic mode*/
  int pmx,pmy;             /*pmx=putimage x and pmy=putimage y*/
  double x,y,b;            /*x axis ,y axis and b=radian*/
  char *image;             /*pointer image*/
  unsigned float r,dis,buf=0,br; /*r=degree,dis=distance,buf=data buffer*/
  int i=0,step,j,k,port=0; /*i,j,k=count , step = step , port=COM1*/
  char status='F';         /*status = "F"-->OFF "N"-->ON */
  unsigned char in;        /*in = input 1 byte*/
  initgraph(&gd,&gm," "); /*initial graphics*/
  draw_screen();           /*write the screen proceduce*/
  image = malloc(imagesize(0,0,200,200)); /*memory allocation*/

  while(status!='N')
  { setcolor(WHITE);
    outtextxy(270,450,"Press N Charactor to Run Program");
    outtextxy(80,40," OFF ");
    while(status!='N')      /*key until = N key*/
    { status=getch();
      if(status=='n')
        status='N';
    }
    bioscom(0,0xe3,port);   /*initial serial port*/
    bioscom(1,0x31,port);   /*sent code senser ON*/
    in = bioscom(2,abyte,port); /*check senser ON*/
    if (in==0x31)
    { setcolor(RED);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    outtextxy(270,450,"Press N Charactor to Run Program");
    fillrec(80,30,120,55,20);
    setcolor(WHITE);
    outtextxy(80,40," ON ");
    outtextxy(280,450,"Press Any Key to EXIT Program ");
}
else
{
    setcolor(RED);
    outtextxy(270,450,"Press N Charactor to Run Program");
    printf("\a");
    setcolor(WHITE);
    outtextxy(300,450,"Disconect Serial Port ");
    delay(5000);
    setcolor(RED);
    outtextxy(300,450,"Disconect Serial Port ");
    setcolor(WHITE);
    outtextxy(280,450,"Press Any Key to EXIT Program ");
    getch();
    closegraph();
    goodbye();
    exit(0);
}
}
while (!kbhit())
{
    bioscom(1,0x33,port); /*sent code receive step*/
    in = bioscom(2,abyte,port);
    step = in;
    r=(step*4.5); /*find degree form step*/
    br=360-r;
    if((step>=0)&&(step<=20)) /*get image quad 1*/
    {
        getimage(400,215,600,415,image);
        pmx=200;pmy=200;
    }
    if((step>20)&&(step<=40)) /*get image quad 2*/
    {
        getimage(200,215,400,415,image);
        pmx=0;pmy=200;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if((step>40)&&(step<=60))                                /*get image quad 3*/
{
    getimage(200,15,400,215,image);
    pmx=0;pmx=0;

}

if((step>60)&&(step<=80))                                /*get image quad 4*/
{
    getimage(400,15,600,215,image);
    pmx=200;pmx=0;

}

b=(r*3.1428)/180;                                         /*change degree -> radian*/
x=400+(200*(cos(b)));                                     /*find x axis*/
y=215+(200*(sin(b)));                                     /*find y axis*/
setcolor(GREEN);
line(400,215,x,y);                                       /*show line scan*/

if (step!=i)                                              /*check step*/
{
    i=step;
    bioscom(1,0x34,port);                                 /*sent code receive byte high*/
    delay(100);
    in = bioscom(2,abyte,port);
    buf=in;

    bioscom(1,0x35,port);                                 /*sent code receive byte middle*/
    delay(100);
    in = bioscom(2,abyte,port);
    buf=(buf*256)+in;

    bioscom(1,0x36,port);                                 /*sent code receive byte low*/
    delay(100);
    in = bioscom(2,abyte,port);
    buf=(buf*256)+in;
    buf=buf*1.085;                                         /*adjust crystal 11.059 MHz*/
    buf=buf/1000;                                           /*change time micro->milli*/
    buf=buf/1000;                                           /*change time milli->second*/
    dis=173*buf;                                           /*find distance*/
    clears();
}

```

```

if (dis<5)                                /*scan distance < 5 meter*/
{ x=400+((dis*40)*(cos(b)));              /*find x axis of pixel*/
  y=215+((dis*40)*(sin(b)));              /*find y axis of pixel*/
  setcolor(BLUE);
  circle(x,y,2);                          /*plot dot at scan*/
  circle(x,y,1);
  st=ecvt(dis,3,dec,sign);                /*change float -> string*/
  dbuf=*st;
  k=0;
  for(j=0;j<=3;j++,k++)
  { if (j==*dec)
    { dbuf[k]='.';
      k++;
    }
    dbuf[k]=st[j];
  }
  setcolor(WHITE);
  outtextxy(100,100,dbuf);                /*display distance*/
  st=ecvt(step,3,dec,sign);               /*change step -> string*/
  dis=step;
  dbuf=*st;
  k=0;
  for(j=0;j<=3;j++,k++)
  { if (j==*dec)
    { dbuf[k]='.';
      k++;
    }
    dbuf[k]=st[j];
  }
  outtextxy(75,70,dbuf);                  /*display step*/
  st=ecvt(br,4,dec,sign);                 /*change degree -> string*/
  dbuf=*st;
  k=0;
  for(j=0;j<=4;j++,k++)
  { if (j==*dec)
    { dbuf[k]='.';
      k++;
    }
  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    dbuff[k]=st[j];
}
    outtextxy(85,130,dbuf);          /*display degree*/
}
}
    delay(10000);                    /*delay time*/
    putimage(200+pmx,15+pmy,image,0); /*put image*/
    setcolor(BLUE);
    line(200,215,600,215);
    line(400,15,400,415);
}
bioscom(1,0x32,port);               /*sent code senser OFF*/
closegraph();
goodbye();
}                                     /*END for Main Program*/
draw_screen()                       /*draw screen proceduce*/
{ int i;
    setcolor(RED);
    for (i=0;i<=350;i++)
        rectangle(0+i,0+i,639-i,479-i);
    setcolor(WHITE);
    rectangle(5,5,635,475);
    rectangle(5,5,150,475);
    rectangle(8,8,147,472);
    rectangle(150,425,635,475);
    rectangle(153,428,632,472);
    rectangle(153,8,632,422);
    setcolor(GREEN);
    for (i=0;i<=200;i=i+4)
    { if((i % 40)==0)
        { setcolor(YELLOW);
            circle(400,215,200-i);
            setcolor(GREEN);
        }
        else
        { circle(400,215,200-i);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
แสดงโปรแกรมภาษาเอสแซมบลีที่ใช้ในโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8051 Cross-Assembler (1.3) (C) 1987, 1989 Binary Technology

	1	
	2	
0000	3	org 0000h
0000 02008F	4	ljmp main
	5	;
0003	6	org 0003H
0003 020026	7	ljmp int_0
	8	;
0023	9	org 0023h
0023 0200EA	10	ljmp serial
	11	;
	12	
0026	13	int_0:
0026 C0E0	14	push acc
0028 C0D0	15	push psw
002A	16	ee:
002A E536	17	mov a,36h
002C 240C	18	add a,#12d
002E F536	19	mov 36h,a
	20	
0030 B296	21	cpl p1.6
	22	
0032 E535	23	mov a,35h
0034 3400	24	addc a,#0
0036 F535	25	mov 35h,a
	26	
0038 E534	27	mov a,34h
003A 3400	28	addc a,#0
003C F534	29	mov 34h,a
	30	
003E 30B2E9	31	jnb p3.2,ee
	32	
0041 C2A8	33	clr ex0
0043 D2B2	34	setb p3.2
	35	
0045 E533	36	mov a,33h
0047 B45005	37	cjne a,#80d,rt1
004A 753301	38	mov 33h,#01h
004D 8008	39	sjmp rt6
004F	40	rt1:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

004F 4003	41		jc rr1
0051 753300	42		mov 33h,#00h
0054 00	43	rr1:	nop
0055 0533	44		inc 33h
0057 D0D0	45	rt6:	pop psw
0059 D0E0	46		pop acc
005B 32	47		reti
	48		
005C 30B315	49	adj:	jnb p3.3,no_adj
005F B291	50		cpl p1.1
0061 7800	51		mov r0,#0h
0063 00	52		nop
0064 D8FE	53		djnz r0,\$
0066 B291	54		cpl p1.1
0068 7900	55		mov r1,#00h
	56		
006A 7800	57	bb:	mov r0,#00h
	58		
006C 00	59	aa:	nop
006D D8FD	60		djnz r0,aa
006F D9F9	61		djnz r1,bb
0071 20B3E8	62		jb p3.3,adj
	63		
0074 22	64	no_adj:	ret
	65		
0075	66	tum:	
0075 B291	67		cpl p1.1
0077 7D08	68		mov r5,#08H
0079 DDFE	69		djnz r5,\$
007B B291	70		cpl p1.1
007D 753400	71		mov 34h,#00
0080 753500	72		mov 35h,#00
0083 753600	73		mov 36h,#00
0086 22	74		ret
	75		
0087 7590FF	76	disable_sp:	mov p1,#11111111B
008A 22	77		ret
	78		
008B 759024	79	enable_sp:	mov p1,#00100100B
008E 22	80		ret
	81		
008F 758140	82	main:	mov sp,#40h
0092 7531FF	83		mov 31h,#0FFh
0095 753A01	84		mov 3ah,#01H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0098 753700	85	mov 37h,#00h	
009B 7538FF	86	mov 38h,#0FFh	
009E 753301	87	mov 33h,#01h	
00A1 759850	88	mov scon,#50h	
00A4 753400	89	mov 34H,#00H	
00A7 753500	90	mov 35H,#00H	
00AA 753600	91	mov 36H,#00H	
00AD 758920	92	mov tmod,#20h	;to=timer ,t1=timebase
00B0 758DFD	93	mov th1,#0fdh	;baud rate=9600
00B3 758BFD	94	mov tl1,#0fdh	
00B6 D28E	95	setb tr1	
00B8 D2AF	96	setb ea	
00BA 759850	97	mov scon,#50h	
00BD 12008B	98	lcall enable_sp	
	99		
00C0	100	process:	
00C0 E531	101	mov a,31h	
00C2 B40003	102	cjne a,#00h,eett	
00C5 02008F	103	ljmp main	
	104		
00C8	105	eett:	
00C8 D2AF	106	setb ea	
00CA D2AC	107	setb es	
00CC D288	108	setb it0	
00CE E537	109	mov a,37h	
00D0 B40015	110	cjne a,#00h,not_turn	
00D3 7537FF	111	mov 37h,#0FFh	
00D6 120075	112	lcall turn	
00D9 D2A8	113	setb ex0	
00DB 1533	114	dec 33h	
00DD 753400	115	mov 34h,#00	
00E0 753500	116	mov 35h,#00	
00E3 753600	117	mov 36h,#00	
00E6 D2A8	118	setb ex0	
	119		
00E8	120	not_turn:	
00E8 80D6	121	sjmp process	
	122		
00EA C0E0	123	serial: push acc	
00EC C0D0	124	push psw	
00EE C2AC	125	clr es	
00F0 3098FD	126	jnb ri,\$	
00F3 E599	127	mov a,stub	
00F5 C298	128	clr ri	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	129	
00F7 B4330C	130	cjne a,#33h,check_32
00FA E533	131	mov a,33h
00FC C299	132	clr ti
00FE F599	133	mov sbuf,a
0100 3099FD	134	jnb ti,\$
0103 020158	135	ljmp exit
	136	
0106	137	check_32:
0106 B4320C	138	cjne a,#32h,check_33
0109 753100	139	mov 31h,#00h
010C 12005C	140	lcall adj
010F 7590FF	141	mov p1,#11111111B
0112 020158	142	ljmp exit
	143	
0115	144	check_33:
0115 B43110	145	cjne a,#31h,check_34
0118 759022	146	mov p1,#00100010B
011B 7531FF	147	mov 31h,#0FFh
011E C299	148	clr ti
0120 F599	149	mov sbuf,a
0122 3099FD	150	jnb ti,\$
0125 020158	151	ljmp exit
	152	
0128	153	check_34:
0128 B4340C	154	cjne a,#34h,check_35
012B E534	155	mov a,34h
012D C299	156	clr ti
012F F599	157	mov sbuf,a
0131 3099FD	158	jnb ti,\$
0134 020158	159	ljmp exit
	160	
0137	161	check_35:
0137 B4350C	162	cjne a,#35h,check_36
013A E535	163	mov a,35h
013C C299	164	clr ti
013E F599	165	mov sbuf,a
0140 3099FD	166	jnb ti,\$
0143 020158	167	ljmp exit
	168	
0146	169	check_36:
0146 B4360C	170	cjne a,#36h,check_37
0149 E536	171	mov a,36h
014B C299	172	clr ti

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

014D F599	173	mov	sbuf,a
014F 3099FD	174	jnb	ti,\$
0152 753700	175	mov	37h,#00h
	176		
0155 020158	177	check_37:	ljmp exit
	178		
0158 C298	179	exit:	clr ri
015A C299	180		clr ti
015C D2AC	181		setb es
015E D0D0	182		pop psw
0160 D0E0	183		pop acc
0162 32	184		reti
	185		
	186		

8051 Cross-Assembler (1.3) (C) 1987, 1989 Binary Technology

aa = 006C	adj = 005C	bb = 006A
check_32 = 0106	check_33 = 0115	check_34 = 0128
check_35 = 0137	check_36 = 0146	check_37 = 0155
disable_sp = 0087	ee = 002A	eett = 00C8
enable_sp = 008B	exit = 0158	int_0 = 0026
main = 008F	no_adj = 0074	not_turn = 00E8
process = 00C0	rr1 = 0054	rr1 = 004F
rt6 = 0057	serial = 00EA	turn = 0075

ภาคผนวก ง.
แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4 Kbytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation : 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8 Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

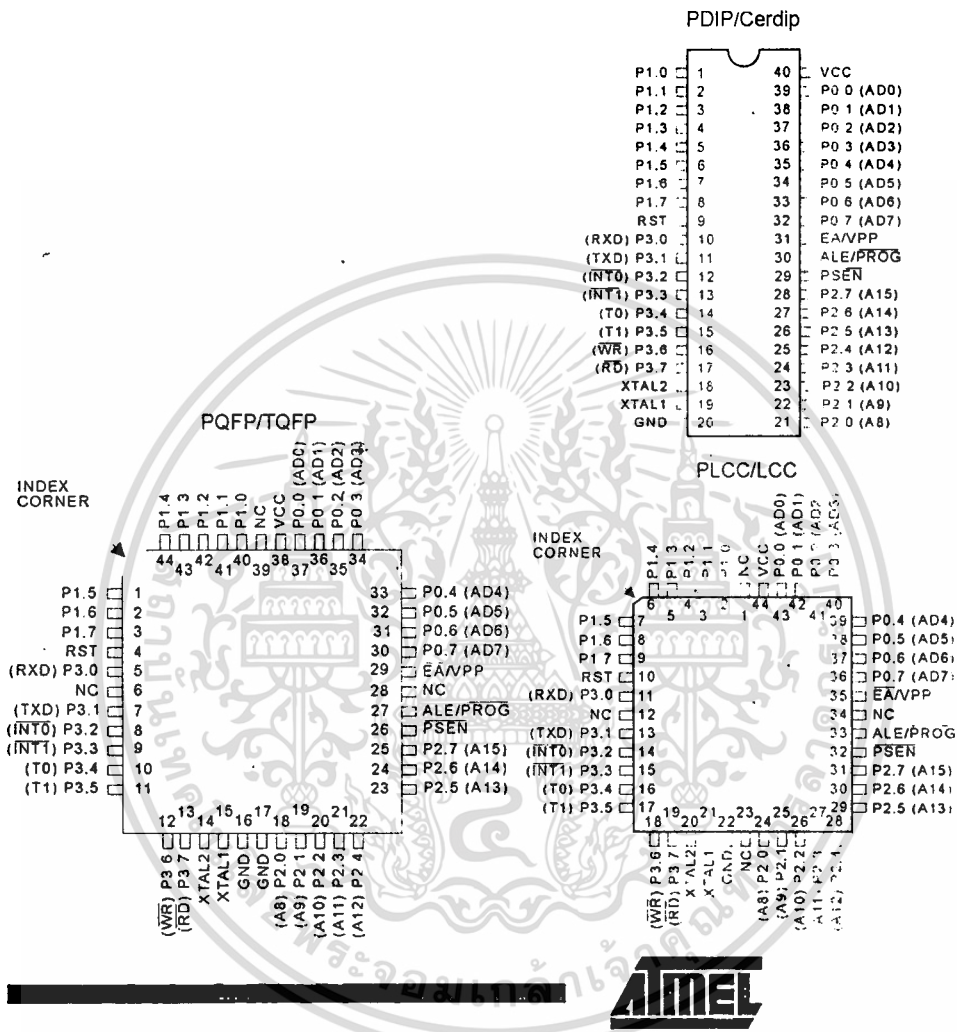
Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4 Kbytes of Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89C51 provides the following standard features: 4 Kbytes of Flash. 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timers/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency.

8-Bit**Microcontroller****with 4 Kbytes Flash**

Pin Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

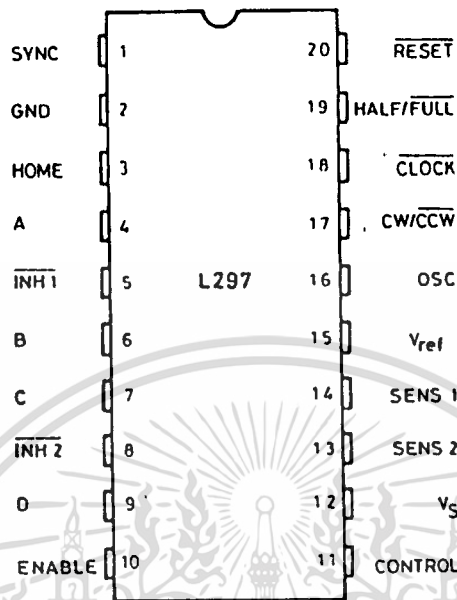
Features

- Normal/wave Drive
- Half/Full Step Modes
- Clockwise/Anticlockwise Direction
- Switchmode Load Current Regulation
- Programmable Load Current
- Few External Components
- Reset Input & Home Output
- Enable Input
- Step-Pulse Doubler (L297A only)

Description

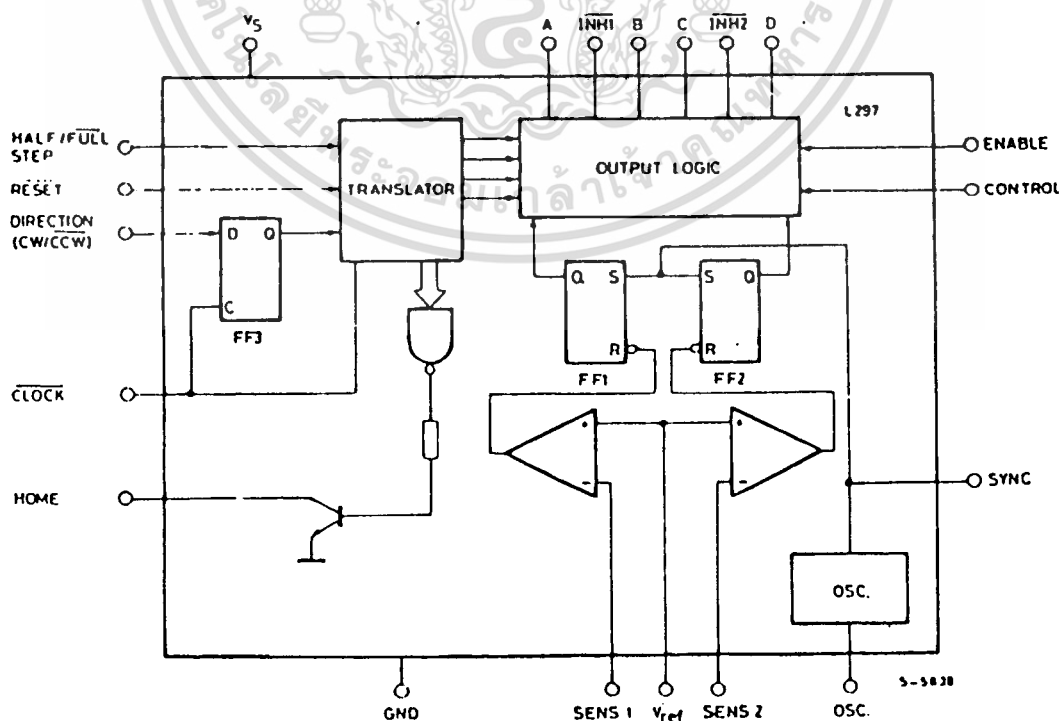
The L297 Stepping Motor Controller IC generates four phase drive signal for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive mode and on chip PWM chopper circuits permit switch-mode control of the current in the windings. A feature of this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced mounted in a 20-pin plastic package, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlington. The L297A also includes a clock pulse doubler.

Pin Connection (L297)



S-5839

Block Diagram (L297)



S-5838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCT PREVIEW

L298 DUAL FULL-H DRIVER

D2942, OCTOBER 1986

- 2 A Per Channel Output Capability
- Wide Range of Output Supply Voltage . . . 5 V to 46 V
- Separate Input-Logic Supply Voltage
- Thermal Shutdown
- Internal Electrostatic Discharge Protection
- High Noise Immunity
- Direct Replacement for SGS L298

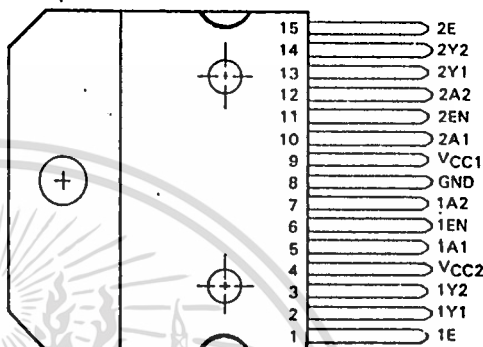
description

The L298 is a dual high-current full-H driver designed to provide bidirectional drive currents of up to two amperes at voltages from 5 volts to 46 volts. It is designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc motors, stepping motors, and other high-current or high-voltage loads in positive-supply applications. All inputs are TTL compatible. Each output (Y) is a complete totem-pole drive with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Each full-H driver is enabled separately. Outputs 1Y1 and 1Y2 are enabled by 1EN and outputs 2Y1 and 2Y2 are enabled by 2EN. When an EN input is high, the associated channels are active. When an EN input is low, the associated channels are off (i.e., in the high-impedance state).

Each half of the device forms a full-H reversible driver suitable for solenoid or motor applications. The current in each full-H driver can be monitored by connecting a resistor between the sense output terminal 1E and ground and another resistor between sense output terminal 2E and ground.

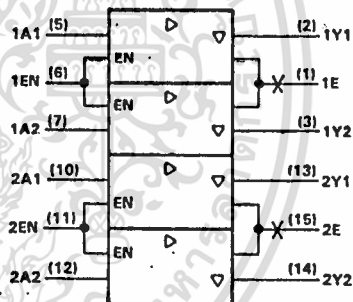
External high-speed output-clamp diodes should be used for inductive transient suppression. To minimize device power dissipation, a VCC1 supply voltage, separate from VCC2, is provided for the logic inputs.

KV PACKAGE
(TOP VIEW)



The tab is electrically connected to pin 8.

logic symbol†

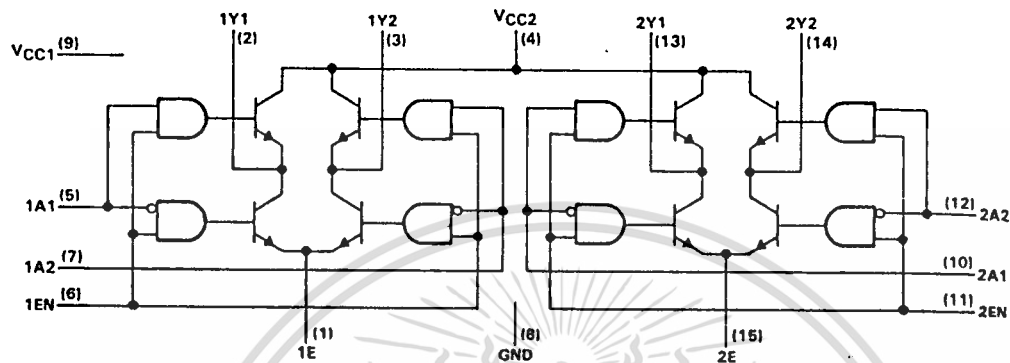


† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

L298
DUAL FULL-H DRIVER

PRODUCT
PREVIEW

logic diagram (positive logic)



absolute maximum ratings over operating temperature (unless otherwise noted)

Logic supply voltage, VCC1, (see Note 1)	7 V
Output supply voltage, VCC2	50 V
Input voltage	7 V
Emitter output (1E and 2E) voltage	-1 to 2.3 V
Peak output current (nonrepetitive, $t_W \leq 0.1$ ms)	± 3 A
(repetitive, $t_W \leq 10$ ms, duty cycle $\leq 80\%$)	± 2.5 A
Continuous output current	± 2 A
Continuous total power dissipation at 75°C case temperature (see Note 2)	25 W
Operating case or virtual junction temperature range	-40°C to 150°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from the case for 10 seconds	260°C

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal.
2. The absolute maximum power dissipation ratings are design goals. For further information contact the factory.

recommended operating conditions

	MIN	MAX	UNIT
VCC1 Logic supply voltage	4.5	7	V
VCC2 Output supply voltage	$V_{IH} + 2.5$	40	V
V _{IH} High-level input voltage	2.3	VCC1	V
V _{IL} Low-level input voltage	-0.3 [†]	1.5	V
I _O Output current		± 2	A
T _A Operating free-air temperature	0	70	°C

[†]The algebraic convention, in which the least positive (most negative designated minimum), is used in this data sheet for logic voltage levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM124/LM224/LM324, LM124A/LM224A/LM324A, LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard $+5\text{ V}_{\text{DC}}$ power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15\text{ V}_{\text{DC}}$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

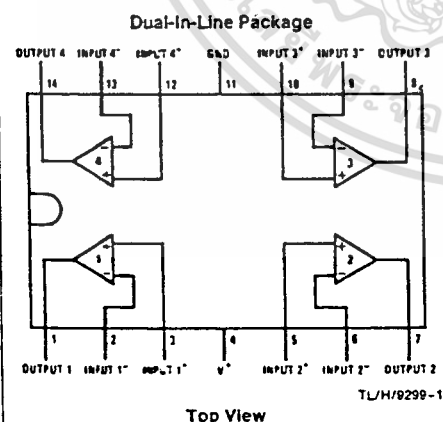
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

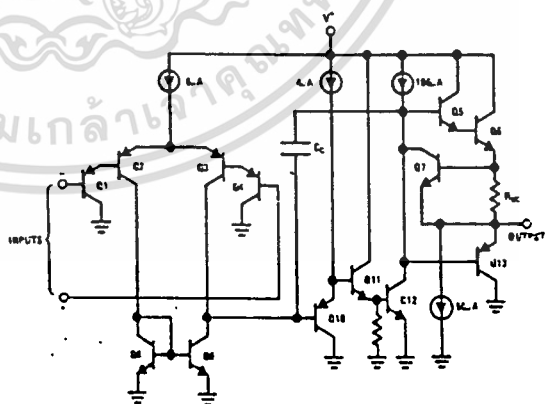
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz
- Wide power supply range:
 - Single supply 3 V_{DC} to 32 V_{DC}
 - or dual supplies $\pm 1.5\text{ V}_{\text{DC}}$ to $\pm 16\text{ V}_{\text{DC}}$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current (temperature compensated) 45 nA_{DC}
- Low input offset voltage and offset current 2 mV_{DC} 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to $V^+ - 1.5\text{ V}_{\text{DC}}$

Connection Diagram



Order Number LM124J, LM124AJ, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324AJ, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

Schematic Diagram (Each Amplifier)



LM124/LM224/LM324/LM124A/LM224A/LM324A/LM2902

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^+	32 VDC or ± 16 VDC	26 VDC or ± 13 VDC	Storage Temperature Range	LM2902 LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A -65°C to +150°C
Differential Input Voltage	32 VDC	26 VDC	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C
Input Voltage	-0.3 VDC to +32 VDC	-0.3 VDC to +26 VDC	Soldering Information	260°C
Input Current	50 mA	50 mA	Dual-In-Line Package	260°C
($V_{IN} < -0.3$ VDC) (Note 3)			Soldering (10 seconds)	215°C
Power Dissipation (Note 1)	1130 mW	1130 mW	Small Outline Package	220°C
Molded DIP	1260 mW	1260 mW	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Cavity DIP	800 mW	800 mW	Infrared (15 seconds)	220°C
Small Outline Package			See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	250V
Output Short-Circuit to GND			ESD Tolerance (Note 10)	250V
(One Amplifier) (Note 2)				
$V^+ \leq 15$ VDC and $T_A = 25^\circ\text{C}$				
Operating Temperature Range	Continuous	Continuous		
LM324/LM324A	0°C to +70°C	-40°C to +85°C		
LM224/LM224A	-25°C to +85°C			
LM124/LM124A	-55°C to +125°C			

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0$ VDC. (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A	LM224A	LM324A	LM124/LM224	LM324	LM2902	Units
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25^\circ\text{C}$	Min Typ Max	Min Typ Max	Min Typ Max	Min Typ Max	Min Typ Max	Min Typ Max	
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	± 1 ± 2	± 1 ± 3	± 2 ± 3	± 2 ± 5	± 2 ± 7	± 2 ± 7	mVDC
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	20 50	40 80	45 100	45 150	45 250	45 250	nADC
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30$ VDC. (LM2902, $V^+ = 26$ VDC), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0 $V^+ - 1.5$ 0	$V^+ - 1.5$ 0	$V^+ - 1.5$ 0	$V^+ - 1.5$ 0	$V^+ - 1.5$ 0	$V^+ - 1.5$ 0	VDC
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30\text{V}$ (LM2902 $V^+ = 26\text{V}$) $V^+ = 5\text{V}$	1.5 3 0.7 1.2	1.5 3 0.7 1.2	1.5 3 0.7 1.2	1.5 3 0.7 1.2	1.5 3 0.7 1.2	1.5 3 0.7 1.2	mADC
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15$ VDC, $R_L \geq 2$ k Ω , ($V_O = 1$ VDC to 11 VDC), $T_A = 25^\circ\text{C}$	50 100	50 100	25 100	50 100	25 100	25 100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0\text{V}$ to $V^+ - 1.5$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	70 85	70 85	65 85	70 85	65 85	50 70	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC, $V^+ = 5$ VDC to 30 VDC (LM2902, $V^+ = 5$ VDC to 26 VDC), $T_A = 25^\circ\text{C}$	65 100	65 100	65 100	65 100	65 100	50 100	dB

Electrical Characteristics V_I = 1.50 V_{DC} (Note 4), unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 6)	1 ~ 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referenced)													
	V _I ⁺ = 1 V _{DC} , V _I ⁻ = 0 V _{DC} , V _O = 15 V _{DC} , V _O = 2 V _{DC} , T _A = 25°C	20	40		20	40		20	40		20	40		dB
Output Current	Source													
	V _I ⁺ = 1 V _{DC} , V _I ⁻ = 0 V _{DC} , V _O = 15 V _{DC} , V _O = 2 V _{DC} , T _A = 25°C	10	20		10	20		10	20		10	20		mADC
Sink														
	V _I ⁺ = 1 V _{DC} , V _I ⁻ = 0 V _{DC} , V _O = 15 V _{DC} , V _O = 200 mV _{DC} , T _A = 25°C	12	50		12	50		12	50		12	50		μADC
Short Circuit to Ground	(Note 2) V _I ⁺ = 15 V _{DC} , T _A = 25°C	40	60		40	60		40	60		40	60		mADC
	(Note 5)		±4			±4			±7			±9		mV _{DC}
Input Offset Voltage	(Note 5)		±7	±20		±7	±20		±7	±30		±7		μV/°C
Input Offset Current	R _S = 0 Ω		±30			±30			±75			±45	±200	nADC
Input Offset Current	I _{IN} (+) = I _{IN} (-), V _{CM} = 0V		±10	±200		±10	±200		±10	±200		±10		pADC/°C
Input Offset Current	R _S = 0 Ω		40	100		40	100		40	200		40	500	nADC
Input Bias Current	I _{IN} (+) or I _{IN} (-)	0	V _I ⁺ = 2	0	V _I ⁺ = 2	0	V _I ⁺ = 2	0	V _I ⁺ = 2	0	V _I ⁺ = 2	0	V _I ⁺ = 2	V _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	V _I ⁺ = 1.30 V _{DC} , V _I ⁻ = 26 V _{DC}	25			25			25			15			V/mV
Input Signal Voltage Gain	V _O Swing = 1 V _{DC} to 11 V _{DC} , R _L = 2 kΩ		26			26			26			22		V _{DC}
Output Voltage (Swing)	V _I ⁺ = 1.30 V _{DC} , R _L = 2 kΩ		27	28		27	20		27	20		27	24	V _{DC}
	(LM2902, V _I ⁺ = 20 V _{DC})													
	V _I ⁺ = 5 V _{DC} , R _L = 10 kΩ	5	20		5	20		5	20		5	20		mV _{DC}



**National
Semiconductor**

LM193/LM293/LM393, LM193A/LM293A/LM393A, LM2903 Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators General Description

The LM193 series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM193 series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near ground
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

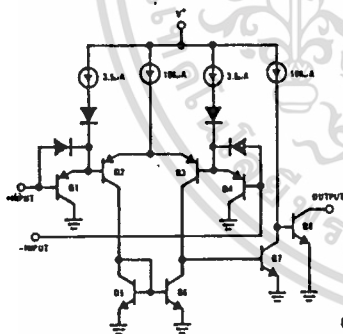
Features

- Wide single supply Voltage range
2.0 V_{DC} to 36 V_{DC}
or dual supplies ± 1.0 V_{DC} to ± 18 V_{DC}
- Very low supply current drain (0.4 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current 25 nA
- Low input offset current ± 5 nA
- Low input offset voltage and maximum offset voltage ± 3 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage, 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

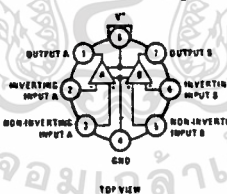
Advantages

- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature

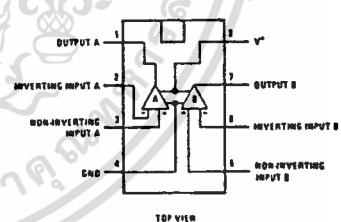
Schematic and Connection Diagrams



Metal Can Package



Dual-In-Line Package



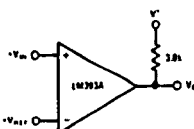
TL/H/5709-1

Order Number LM193H, LM193AH,
LM293H, LM293AH, LM393H
or LM393AH
See NS Package Number H08C

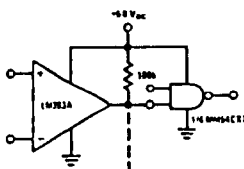
Order Number LM393J, LM393AJ,
LM393M, LM2903M, LM393N,
LM393AN or LM2903N
See NS Package Number J08A,
M08A or N08E

Typical Applications (V⁺ = 5.0 V_{DC})

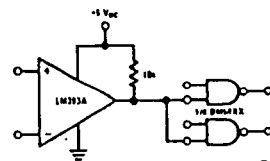
Basic Comparator



Driving CMOS



Driving TTL



TL/H/5709-2

LM193/LM293/LM393, LM193A/LM293A/LM393A, LM2903

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 10)

- Supply Voltage, V^+ 36 VDC or ± 18 VDC
- Differential Input Voltage (Note 8) 36 VDC
- Input Voltage -0.3 VDC to $+36$ VDC
- Input Current ($V_{IN} < -0.3$ VDC) (Note 3) 50 mA
- Power Dissipation (Note 1) 780 mW
- Molded Dip 660 mW
- Metal Can 510 mW
- Small Outline Package Continuous
- Output Short-Circuit to Ground (Note 2)

Operating Temperature Range

- LM393/LM393A 0°C to $+70^\circ\text{C}$
- LM293/LM293A -25°C to $+85^\circ\text{C}$
- LM193/LM193A -55°C to $+125^\circ\text{C}$
- LM2903 -40°C to $+85^\circ\text{C}$
- LM2903 -65°C to $+150^\circ\text{C}$
- LM2903 $+260^\circ\text{C}$

Storage Temperature Range
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)

Soldering Information

- Dual-In-Line Package Soldering (10 seconds) 260°C
- Small Outline Package Vapor Phase (60 seconds) 215°C
- Infrared (15 seconds) 220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.
ESD rating (1.5 k Ω in series with 100 pF) 1300V

Electrical Characteristics ($V^+ = 5$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM193A		LM293A, LM393A		LM193		LM293, LM393		LM2903	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 9)			± 1.0	± 2.0		± 1.0	± 2.0		± 1.0	± 5.0	mVDC
Input Bias Current	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$ with Output In Linear Range, $V_{CM} = 0$ V (Note 5)		25	100		25	250		25	250	nADC
Input Offset Current	$I_{IN}(+) - I_{IN}(-)$, $V_{CM} = 0$ V		± 3.0	± 25		± 5.0	± 50		± 5.0	± 50	nADC
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30$ VDC (Note 6)	0	$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0	VDC
Supply Current	$R_L = \infty$ on All Comparators, $R_L = \infty$ on All Amps, $V^+ = 36$ VDC		0.4 1	1 2.5		0.4 1	1 2.5		0.4 1	1 2.5	mADC mADC
Voltage Gain	$R_L \geq 15$ k Ω , $V^+ = 15$ VDC $V_O = 1$ VDC to 11 VDC	50	200		50	200		50	200		V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} =$ TTL Logic Swing, $V_{REF} = 1.4$ VDC $V_{RL} = 5$ VDC, $R_L = 5.1$ k Ω		300			300			300		ns
Response Time	$V_{RL} = 5$ VDC, $R_L = 5.1$ k Ω (Note 7)		1.3			1.3			1.3		μs
Output Sink Current	$V_{IN}(-) = 1$ VDC, $V_{IN}(+) = 0$, $V_O \leq 1.5$ VDC		16		6.0	16		6.0	16		mADC
Saturation Voltage	$V_{IN}(-) = 1$ VDC, $V_{IN}(+) = 0$, $I_{SINK} \leq 4$ mA		250	400		250	400		250	400	mVDC
Output Leakage Current	$V_{IN}(-) = 0$, $V_{IN}(+) = 1$ VDC, $V_O = 5$ VDC		0.1			0.1			0.1		nADC

Electrical Characteristics (V_{CC} = 5 VDC) (Note 4)

Parameter	Conditions	LM193A		LM293A, LM393A		LM193		LM293, LM393		LM2903		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Typ	Max
Input Offset Voltage	(Note 9)			±4.0			±4.0			±9	±9	mVDC
Input Offset Current	$I_{IN}(+) - I_{IN}(-)$, $V_{CM} = 0V$			±100			±150			±50	±50	nADC
Input Bias Current	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)			300			400			200	200	nADC
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30 VDC$ (Note 6)	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0	VDC
Saturation Voltage	$V_{IN}(-) = 1 VDC$, $V_{IN}(+) = 0$, $I_{SINK} \leq 4 mA$			700			700			700	700	mVDC
Output Leakage Current	$V_{IN}(-) = 0$, $V_{IN}(+) = 1 VDC$, $V_O = 30 VDC$			1.0			1.0			1.0	1.0	μADC
Differential Input Voltage	Keep All V_{IN} 's $\geq 0 VDC$ (or V^- , if Used), (Note 8)			36			36			36	36	VDC

Note 1: For operating at high temperatures, the LM393/LM393A and LM2903 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 170°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM193/LM193A/LM293/LM293A must be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ($P_D \leq 100 mW$), provided the output transistors are allowed to saturate.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V^+ . Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3 VDC$.

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, for the LM193/LM193A, with the LM293/LM293A all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ and the LM393/LM393A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$. The LM2903 is limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 5: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines. Note 6: The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ at 25°C, but either or both inputs can go to 36 VDC without damage, independent of the magnitude of V^+ .

Note 7: The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see typical performance characteristics section. Note 8: Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than $-0.3 VDC$ (or 0.3 VDC below the magnitude of the negative power supply, if used).

Note 9: At output switch point, $V_O \approx 1.4 VDC$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5 VDC to 30 VDC; and over the full input common-mode range (0 VDC to $V^+ - 1.5 VDC$), at 25°C. Note 10: Refer to RETS193AX for LM193AH/military specifications and to RETS193X for LM193H/military specifications.

LM193/LM293/LM393, LM193A/LM293A/LM393A, LM2903