

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบนำวิถีรถไฟฟ้าด้วยอัลตราโซนิกสแกน

NAVIGATION SYSTEM BY ULTRASONIC SCAN
FOR ELECTRIC VEHICLE



๒
๒
๒

เลขหม.....
เลขทะเบียน.....34018..
วัน, เดือน, ปี.....๒๕๕๒

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลางพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงปีการศึกษา 2541 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนำวิถีรถไฟฟ้าด้วยอัลตราโซนิกสแกน
NAVIGATION SYSTEM BY ULTRASONIC SCAN
FOR ELECTRIC VEHICLE



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง **ปีการศึกษา 2541** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบนำวิถีรถไฟฟ้าด้วยอัลตราโซนิกสแกน

ผู้จัดทำ

1. นายสมศักดิ์ พูลสวัสดิ์ เลขประจำตัว 39013214
2. นายศักดิ์กะพันธ์ กล้ายดอกจันทร์ เลขประจำตัว 39013216



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนำวิถีรถไฟฟ้าด้วยอัลตราโซนิกสแกน

นายสมศักดิ์ พูลสวัสดิ์
นายลักกะพันธ์ คล้ายคอกจันทร์
ดร.กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงการ “ระบบนำวิถีรถไฟฟ้าด้วยอัลตราโซนิกสแกน” เป็นการพัฒนากระบวนการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าได้ในสองลักษณะ คือ แบบอัตโนมัติ (AUTOMATIC) และ แบบกึ่งอัตโนมัติ (SEMI-AUTOMATIC) หลักการทำงานประกอบด้วย ตัวส่งและตัวรับสัญญาณจะหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วคงที่ ขณะเดียวกันจะทำการส่งคลื่นความถี่ 40 KHz และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับซึ่งมีความถี่เดียวกันตลอดเวลาสัญญาณที่ได้รับถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 (MCS-51) และใช้จอแอลซีดี (LCD) เป็นหน่วยแสดงตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในทอมของระยะทางและทิศทาง สัญญาณอีกส่วนหนึ่งที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำไปใช้ในการควบคุมการบังคับทิศทางของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NAVIGATION SYSTEM BY ULTRASONIC SCAN FOR ELECTRIC VEHICLE

Mr.Somsak poolsawat

Mr.Sakkapan claydokjan

Dr.Kitipol chitsakul Advisor

1998

ABSTRACT

We have developed the “ NAVIGATION SYSTEM BY ULTRASONIC SCAN FOR ELECTRIC VEHECLE ” for our existing vehicle. With the system, the vehicle can be driven with two modes, automatic mode and semi-automatic mode. The heart of the system is two ultrasonic sensors used as transmitter and receiver the wave of 40 KHz. By continuously scanning, the transmitter and receiver in all direction, the reflecting waves contain the information of position of the obstacles around the vehicle. To obtain this information used for driving control, however, a micro controller (MCS-51) is needs in our system. The direction and distance of the obstacles detected continuously monitor on a LCD and used for command the directions of moving vehicle.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์โครงการ	1
1.2 แนวทางในการทำโครงการ	1
1.3 โครงสร้างปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีของโครงการ	
2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	3
2.1.1 การจัดขาต่าง ๆ ของ MCS-51	4
2.1.2 ความหมายของขาต่าง ๆ	4
2.1.3 ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา	6
2.1.4 โครงสร้างของหน่วยความจำ	6
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นอัลตราโซนิก	13
2.2.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิก	13
2.2.2 คลื่นอัลตราโซนิก	13
2.2.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก	14
2.2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิก	16
2.3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	20
2.3.1 ปราบกฏเปียโซอิเล็กทริก	20
2.3.2 วัสดุเปียโซอิเล็กทริก	22
2.3.3 ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	22
2.3.4 การทำงานของทรานสดิวเซอร์	22
2.3.5 ข้อควรระวังในการใช้งานตัวรับ-ตัวส่งทรานสดิวเซอร์	23
2.4 เทคนิคการใช้ แอลซีดีโมดูล	24
2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ LCD	25
2.4.2 เทคโนโลยีของ LCD	25

	หน้า
2.4.3 ไฟเลี้ยงสำหรับ LCD	26
2.4.4 คอนโทรลเลอร์และการควบคุม	27
2.4.5 การอ่านและการเขียน	30
2.4.6 การเชื่อมต่อ	30
บทที่ 3 ระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโรงงาน	
3.1 โครงสร้างของระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโรงงาน	33
3.2 วงจรภาคส่ง – ภาครับ คลื่นอัลตราโซนิก	34
3.1.1 ภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก	34
3.1.2 ภาครับคลื่นอัลตราโซนิก	35
3.3 วงจรสเต็ปปีงมอเตอร์	36
3.3.1 การทำงานของวงจร	36
3.4 วงจรจับมอเตอร์และโซลินอยด์	39
3.5 วงจรภาคคีย์บอร์ด และ อินเทอร์รัพท์	41
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของโรงงาน	
4.1 การทดสอบวงจรอัลตราโซนิก	44
4.1.1 การวัดสัญญาณ	44
4.1.2 การวัดมุมและระยะทางในการตรวจจับวัตถุ	45
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของตัวรถด้วยโปรแกรมควบคุมการทำงาน	47
4.2.1 การทดสอบโดยใช้โปรแกรมกำหนดเส้นทาง	47
4.3 ภาคทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่	49
4.4 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกในการเคลื่อนที่	50
4.5 การทดสอบการขึ้นพื้นที่ทางลาดเอียง	50
4.6 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า	51
บทที่ 5 ปัญหา สาเหตุ และแนวทางการแก้ไข	
5.1 การรับ – ส่งคลื่นไม่ตรงตำแหน่งเดิม	53
5.2 เกิดมุมบอดในการรับ – ส่งสัญญาณ	54
5.3 ความผิดพลาดที่เกิดจากพลังงานแบตเตอรี่ลดลง	54
บทที่ 6 บทสรุปและแนวทางการพัฒนา	
6.1 คุณสมบัติของ โรงงาน	56

	หน้า
6.2 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง	56
6.3 บทวิจารณ์	57
6.4 แนวทางการพัฒนา	57
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของโครงการ	1
รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขาของ MCS-51	4
รูปที่ 2.2 ขาของ MCS-51 ที่ต่อกับ XTAL	6
รูปที่ 2.3 แสดงหน่วยความจำทั้งแบบไบต์และแบบบิต	8
รูปที่ 2.4 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ที่ถูกนำไปใช้งาน	14
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเกิดรูปตามยาว	14
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเกิดรูปตามขวาง	15
รูปที่ 2.7 แสดงการบีบอัดตัวของคลื่นเสียง 2 คลื่น	16
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง	16
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ	17
รูปที่ 2.10 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบฉากที่เป็นเส้นตรง	17
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	18
รูปที่ 2.12 ผลของเปียโซอิเล็กทริก	21
รูปที่ 2.13 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก	21
รูปที่ 2.14 แสดง การเชื่อมต่อวงจร LCD	31
รูปที่ 2.15 แสดง Timing diagram ของ LCD	32
รูปที่ 3.1 แสดง โครงสร้างของระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโครงการ	33
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก	34
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก	35
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรการควบคุมสแต็ปมอเตอร์	37
รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบคำสั่งการควบคุมการเคลื่อนที่	39
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์และโซลินอยด์	40
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรภาคคีย์บอร์ดและอินเตอร์รัพท์	42
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรภาคประมวลผลและควบคุม	43
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ภาคส่ง (วัดแรงดันที่ขั้วของตัวส่ง)	44
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ภาครับ (วัดแรงดันที่ขั้วของตัวรับ)	45
รูปที่ 4.3 แสดงความต่างของเวลาตั้งแต่เริ่มส่งจนกระทั่งได้รับสัญญาณ	45
รูปที่ 4.4 แสดงมุมมองและระยะทางในการตรวจพื้นที่วัตถุ	46

	หน้า
รูปที่ 4.5 แสดงระยะทางและมุมของคลื่นอัลตราโซนิกเมื่อถูกนำติดตั้งจริงบนรถไฟฟ้า	47
รูปที่ 4.6 แสดงแนวทางการเคลื่อนที่	48
รูปที่ 4.7 แสดงการเคลื่อนที่ของตัวรถไฟฟ้า	49
รูปที่ 5.1 แสดงการรับ - ส่งคลื่นอัลตราโซนิก	53
รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งของตัวตรวจจับสัญญาณที่ได้เพิ่มเติมเข้าไป	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงบิตและหน้าที่ต่าง ๆ ของพอร์ทที่ 3	5
ตารางที่ 2.2 แสดงบิตและหน้าที่ต่าง ๆ ใน PSW	10
ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นในก๊าซต่าง ๆ	19
ตารางที่ 2.4 แสดงตำแหน่งขาต่าง ๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกัน	26
ตารางที่ 2.5 แสดงชุดคำสั่ง 11 คำสั่งที่ใช้ในการประมวลผล ของไอซี HD44780 เพื่อควบคุมโมดูลของแอลซีดี	29
ตารางที่ 4.1 แสดงความผิดพลาดของระยะทางที่วัดได้	46
ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวรถ	48
ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อเป็นการพัฒนาปรับปรุงระบบการนำวิถี (Navigation) ของตัวหุ่นยนต์ให้เกิดความทันสมัย และเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โครงการนี้เป็นเบื้องต้นสำหรับที่จะนำไปสู่การประดิษฐ์การคิดค้น อุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ มากมาย เช่น เครื่องดูดฝุ่น หรือรถนำส่งเอกสารภายในสำนักงาน ฯลฯ รถ หลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติถือว่าเป็นหุ่นยนต์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้ โดยไม่มีการชนหรือกระทบกับสิ่งอื่น

1.2 แนวทางการทำโครงการ

ลักษณะของ โครงการระบบนำวิถีของหุ่นยนต์ด้วยอัลตราโซนิกสแกนประกอบไปด้วย ส่วน ต่าง ๆ ดังนี้คือ

- 1.) ส่วนอินพุท (INPUT)
- 2.) หน่วยประมวลผลกลาง (CENTRAL PROCESSING UNIT : CPU)
- 3.) ส่วนเอาต์พุท (OUTPUT)



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของโครงการ

INPUT : ทำหน้าที่ในการป้อนข้อมูล (DATA) ให้กับหน่วยประมวลผล ซึ่งประกอบไปด้วย

1. SCANNER
2. INITAIL POINT SENSOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3. DISTANCE SENSOR ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง 4. KEY BOARD เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU: ทำหน้าที่ในการประมวลผล (PROCESS) และควบคุม (CONTROL) การทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์

OUTPUT: ทำหน้าที่ในการแสดงผลและนำผลที่ได้จาก CPU ไปควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วย

1. DISPLAY
2. MOTOR & SOLENOID DRIVER
3. STEPPING MOTOR DRIVER

1.3 โครงสร้างปัญญาประดิษฐ์

สำหรับปัญญาประดิษฐ์ฉบับนี้ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงเนื้อหาและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การทำโครงงาน ในบทที่ 3 นั้นได้กล่าวถึงเรื่องของระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่ใช้ประกอบโครงงานพร้อมกับการคำอธิบายการทำงานของแต่ละวงจรอย่างละเอียด สำหรับเรื่องที่จะกล่าวในบทที่ 4 ก็คือ การทดลอง วิธีการทดลอง และผลการทดลอง ส่วนต่าง ๆ ของโครงงาน ในบทที่ 5 เป็นบทสรุปของโครงงาน ปัญหาต่าง ๆ พร้อมทั้งแนวทางในการแก้ไข บทวิจารณ์ และแนวทางในการพัฒนาขั้นต่อไปของโครงงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีของโครงการงาน

ทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่จำเป็นต้องทราบสำหรับการทำโครงการฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาต่อไปนี้

1. ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
2. ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิก
3. ทฤษฎีอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
4. เทคนิคการใช้งานแอลซีดีโมดูล

2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบ ROM บางเบอร์แบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์ มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง และลักษณะของขาต่างๆ จะเหมือนกัน คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

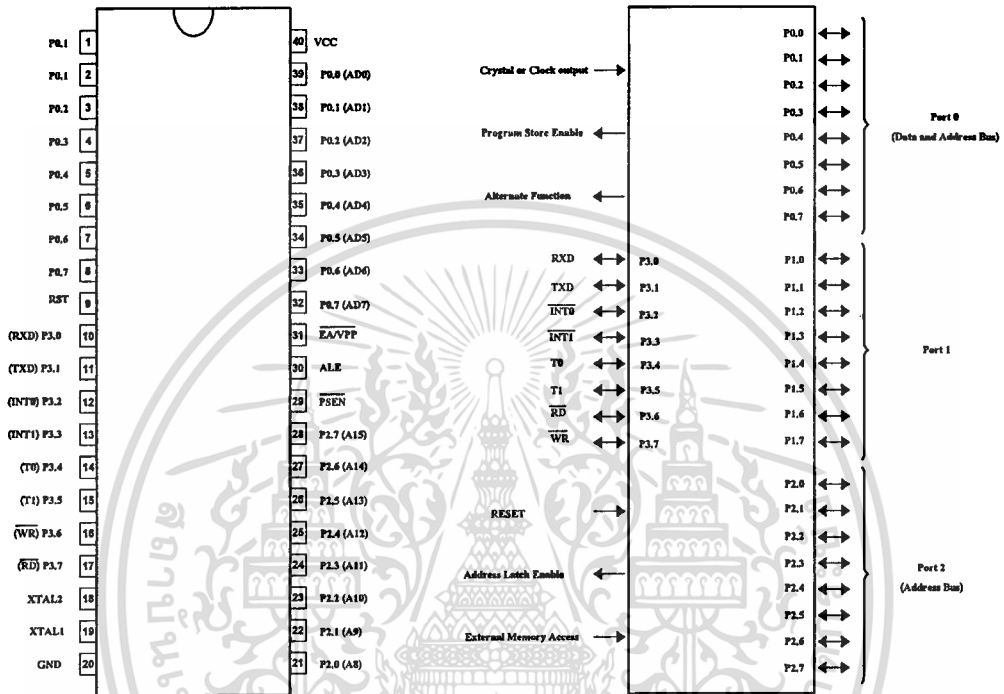
- * มีหน่วยความจำ ROM 4K bytes
- * มีหน่วยความจำ RAM 128K bytes
- * มีพอร์ต I/O ขนาด 8บิต 4 พอร์ต
- * มี Timer 16 บิต 2ตัว
- * สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง
- * มีวงจรรอสซิงลิตเตอร์ละวงจรนาฬิกาบนชิพ
- * มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
- * อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K
- * อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายในได้ 64 K
- * สามารถประมวลผลได้ทีละบิตได้
- * สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- * หนึ่ง วัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาทีขณะทำงานด้วย Clock

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส 12 MHz 2018 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โครงสร้าง IC เป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขาโดยขาต่างๆ จะใช้เป็นพอร์ทอินพุต, เอาท์พุท , ขาสัญญาณ , ขาดำแหน่งหน่วยความจำและขาข้อมูลความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งขาของ MCS-51

2.1.2 ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

1. พอร์ท 0 (Port 0)

พอร์ท 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS - 51 สามารถใช้เป็นอินพุตเอาท์พุทได้จากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขาAddress Bus และ Data Bus อีกด้วย

2. พอร์ท 1 (Port 1)

พอร์ท 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ท ขนาด 8 บิต สามารถอ้างที่ละบิตได้ คือ P1.0, P1.1,.....etc.

3. พอร์ท 2 (Port 2)

พอร์ท 2 ได้แก่ขา ที่ 21-28 จะใช้งานได้ 2 หน้าที คือใช้เป็น พอร์ท 8 บิต กับใช้เป็นขาแอดเดรส 8 บิตในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4. พอร์ต 3 (Port 3)

พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าที่คือ เป็นพอร์ตอินพุทและเอาต์พุท และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ

5. PSEN (Program Store Enable)

ขา PSEN เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขา 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา PSEN จะต่อกับขา Output Enable (OE) ของ EPROM

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RTX	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.1	TDX	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT1	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

ตารางที่ 2.1 แสดงบิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ตที่ 3

6. ALE (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างอิงตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้แก่ขา 30 ขานี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้นจะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับ หน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาทาง Port 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป

7. EA (External Access)

ขา EA ได้แก่ขา ที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก “1” จะใช้กับเบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก “0” จะบอกว่าให้

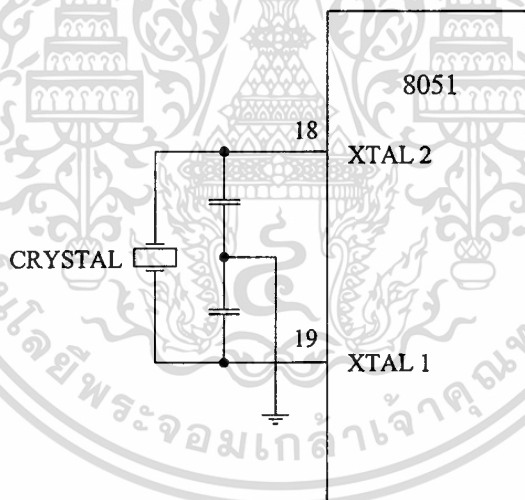
MCS-51 ทำโปรแกรมโดย อ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา EA เป็น “0” ขา PSEN จะแอกทีฟ) ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา EA จะเป็น “0” เสมอ เพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายในและให้ขา EA เป็น “0” ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

8. RST (Reset)

ขา RST ได้แก่ขา 9 จะ ใช้ในการรีเซต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก “1” อย่าง น้อย 2 Machine Cycles จึงจะรีเซตระบบได้

2.1.3 ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ (On-chip Oscillator Inputs)

เป็นวงจร Oscillator บนชิพ ได้แก่ขา 18-19 โดยต่อ Crystal เข้ากับขานี้ โดยปกติมักจะใช้ Crystal ความถี่ 12 MHz กับตัวเก็บประจุหรืออาจจะใช้สัญญาณนาฬิกา จาก TTL Clock Source ต่อ กับ XTAL1 และ XTAL2



รูปที่ 2.2 ขาของ MCS-51 ที่ใช้ต่อกับ XTAL

Power Connections

ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 V ต่อเข้ากับขา Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) จะต่อลง Ground

เอกสารนี้เป็น 2.1.4 โครงสร้างหน่วยความจำ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิดคือ หน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บโปรแกรมนำไปใช้

(ROM) กับหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลในการประมวลผล (RAM) MCS-51 บางเบอร์เช่น 8051,8052 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในชิพ และ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้มากที่สุด 64K และอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้มากที่สุด 64 K สำหรับหน่วยความจำแบบ RAM ภายใน จะประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป , รีจิสเตอร์แบงก์, พื้นที่ใช้งานระดับบิต และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ เราอาจจะเขียนโคแอดแกรมของหน่วยความจำของ 8031 ได้ดังรูปที่ 2.3 โดยในรูปจะบอกด้วยว่าขาใดจะแอดที่ฟ

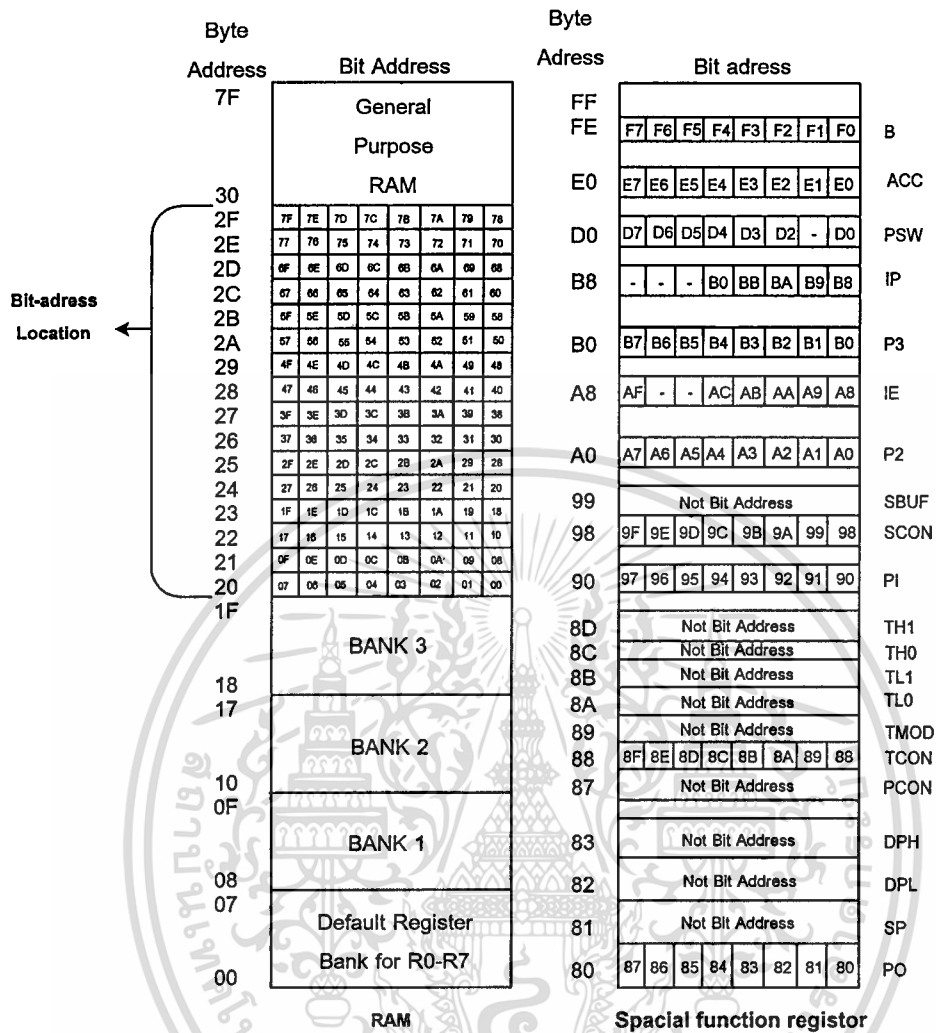
ใน 8031 จะมีหน่วยความจำภายในตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K ตำแหน่ง ถ้าอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมขา PSEN จะแอดที่ฟ นอกจากนี้ 8031 สามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K ตำแหน่ง โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนี้ขา RD และ WR จะแอดที่ฟ สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในนั้นจะแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุดแต่ละชุดเรียกว่ารีจิสเตอร์แบงก์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดยแต่ละชุดประกอบด้วยรีจิสเตอร์ RO ถึง R7
- 2) หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึง ข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH
- 3) หน่วยความจำใช้งานทั่วไปตำแหน่ง 30H ถึง 7FH
- 4) รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ตำแหน่ง 80H ถึง FFH

แผนผังการจัดหน่วยความจำข้อมูลภายในแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 จากแผนผังจะเห็นว่า การอ้างตำแหน่งหน่วยความจำภายในจะอ้างได้สอง แบบ คือการอ้างไปที่ตำแหน่งของไบต์ (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านนอก) หรือการอ้างไปที่ตำแหน่งของบิต (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านใน) โดยตำแหน่งของหน่วยความจำที่อ้างเป็นแบบบิตได้จะมีตำแหน่งบิตที่แน่นอน

2.1.4.1 หน่วยความจำใช้งานทั่วไป

จากรูปจะเห็นว่า ใน 8031 จะมีหน่วยความจำ RAM สำหรับใช้งานทั้งไปจำนวน 80 ไบต์ ตั้งแต่ตำแหน่ง 30H ถึง 7FH ตำแหน่งเหล่านี้สามารถอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode หรือ Indirect Addressing Mode (รายละเอียดจะกล่าวในชุดคำสั่ง) ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่ง 5FH มาเก็บในรีจิสเตอร์ A สามารถเขียนคำสั่งได้เป็น



รูปที่ 2.3 แสดงหน่วยความจำทั้งแบบไบต์และแบบบิต

```
MOV A,5FH
```

การย้ายข้อมูลแบบนี้เป็นการย้ายข้อมูลจากตำแหน่งที่เก็บโดยตรง (ตำแหน่ง 5FH) เรียกว่า การอ้างตำแหน่งแบบ Direct Addressing Mode นอกจากนี้ยังสามารถอ่านข้อมูลโดยใช้รีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 ตรงตัวชี้ตำแหน่งได้ เรียกว่าการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing Mode ตัวอย่างเช่น

```
MOV RO,#5FH
```

```
MOV A,@RO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมด้านบน หมายความว่า เก็บค่า 5FH ไว้ใน R0 จากนั้นอ่านค่าที่ R0 ซึ่งอยู่คือ ตำแหน่ง 5FH มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A ถ้าในตำแหน่ง 5FH มี 80 อยู่ ค่า 80 จะถูกเก็บใน A

2.1.3.2 Bit - Addressing RAM

ใน MCS-51 จะมีหน่วยความจำที่สามารถอ้างอิงข้อมูลในระดับบิตได้ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH รวม 16 ไบต์ โดยสามารถ SET, CLEAR, AND ,OR ทางลอจิกได้ จำนวนบิตที่ใช้งานได้ทั้งหมด มีจำนวน 128 บิต (8บิต X 16 ไบต์) ถ้าต้องการเซตบิตตำแหน่งที่ 67H สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

SETB 67H

2.1.4.3 Register-Banks

หน่วยความจำข้อมูลภายในที่ใช้เป็นชุดรีจิสเตอร์ มีทั้งหมด 32 ตำแหน่ง โดยจะมี 4 ชุด แต่ละชุดมี รีจิสเตอร์ 8 ตัว คือ R0 ถึง R7 โดยที่ชุดแรกจะอยู่ในตำแหน่ง 00H - 07H ถ้าหากจะอ่านค่าจาก ตำแหน่ง 05H มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A จะเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

MOV A,R5

การอ้างตำแหน่ง จะใช้แบบ Register Addressing ซึ่งขนาดของรหัสคำสั่งจะมีขนาด 1 ไบต์แต่ถ้าคำสั่งเขียนคำสั่งเป็น MOV A,05H ผลที่ได้รับจะเหมือนกันแต่ถ้าการเขียนแบบนี้ถ้าแปลงเป็นรหัสคำสั่ง จะมีขนาด เป็น 2 ไบต์ ซึ่งจะทำให้ขนาดของโปรแกรมนานกว่าแบบแรก ในการติดต่อกับ Register Bank นั้น เราสามารถเลือกให้ Bank ไคแอกทีฟ ได้โดยการเขียนข้อมูลไปที่ Program Status Word ซึ่งอยู่ใน ส่วนของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ เช่น ถ้าโปรแกรมให้ Bank 3 แอกทีฟ จะย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A ไปที่ตำแหน่ง 18H ได้ดังนี้

MOV RO , A

ถ้าไม่มีการเลือก Bank จะเป็นการติดต่อกับรีจิสเตอร์ Bank แรกเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.4 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register)

ใน MCS-51 รีจิสเตอร์ จะใช้หน่วยความจำ RAM ภายในชิพ โดยส่วนหนึ่งเป็น รีจิสเตอร์ พิเศษ (Special Function Register : SFR) ซึ่งมีทั้งหมด 21 ตัว โดยรีจิสเตอร์พิเศษต่างๆ จะเริ่มที่หน่วย ความจำตั้งแต่ 80H ถึง FFH ซึ่งมีทั้งหมด 128 ตำแหน่ง แต่จะเป็นรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ เพียง 21 ตำแหน่ง แต่ถ้าเป็น 8032/8051 จะใช้ 26 ตำแหน่ง หรือมี SFR 26 ตัว

Program Status Word

รีจิสเตอร์ ตัวนี้เรียกย่อๆ ว่า PSW จะอยู่ที่ตำแหน่ง DoH ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โดยรีจิสเตอร์นี้จะเป็นตัวบอกสถานะต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
PSW.7	Cy	D7H	Carry Flay
PSW.6	AC	D6H	Auxiliary Carry Flag
PSW.5	F0	D5H	Flag 0
PSW.4	RS1	D4H	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 1
PSW.3	RS0	D3H	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 0
			00 = Bank 0 ; Adress 00H-07H 01 = Bank 1 ; Adress 08H-0FH 10 = Bank 2 ; Adress 10H-17H 11 = Bank 3 ; Adress 18H-1FH
PSW.2	OV	D2H	Overflow Flag
PSW.1	-	D1H	
PSW.0	P	D0H	Parity Flag

ตารางที่ 2.2 แสดงบิตและหน้าที่ต่างๆ ใน PSW

รีจิสเตอร์ B (B Register)

รีจิสเตอร์ B จะอยู่ที่ตำแหน่ง F0H ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถ ใช้งานทั่วไปได้ โดยทั่วไปรีจิสเตอร์นี้จะใช้คูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ Accumulator เช่นการทำคำสั่ง MUL AB ซึ่งเป็นการคูณแบบ 8 บิตโดยที่ผลลัพธ์ ที่ได้จะมีขนาด 16 บิต ซึ่งรีจิสเตอร์ A จะเก็บค่า 8 บิตค่า และรีจิสเตอร์ B จะเก็บ ค่า 8 บิต สูง สำหรับการหารโดยการคำสั่ง DIV AB โดยค่าใน A จะ

ถูกหารด้วย B ผลลัพธ์ที่ได้จะเก็บไว้ใน รีจิสเตอร์ A โดย B จะเก็บค่าเศษจากการหาร รีจิสเตอร์ B นี้สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โดยตำแหน่งของบิตคือ ตำแหน่ง FoH ถึง F7H

ตัวชี้สแตค (Stack Pointer)

Stack Pointer (SP) เป็นรีจิสเตอร์ ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 81H การเขียนค่าเข้าไปที่ตำแหน่ง SP ซึ่อยู่นี้ เรียกว่า “Pushing” สำหรับการอ่านค่าที่ SP ซึ่อยู่ เรียกว่า “Popping” ค่าของ SP จะเพิ่มขึ้นหนึ่งก่อนที่จะเขียนข้อมูลลงไป และจะลดลงหนึ่งเมื่ออ่านข้อมูลออกมาแล้ว หากโปรแกรมทำคำสั่ง CALL จะใช้รีจิสเตอร์สแตคนี้เก็บค่าตำแหน่งเดิมของโปรแกรม (PC) ก่อนที่จะทำโปรแกรมย่อยเมื่อทำโปรแกรมย่อยเสร็จแล้วจะคืนค่าในสแตคให้กับ PC ตามเดิม โดยปกติ ค่า PC จะกำหนดให้อยู่ใน RAM ภายใน ถ้าต้องการให้มี SP เริ่มที่ตำแหน่ง 60H จะต้องเขียนคำสั่งดังนี้

```
MOV SP, #5FH
```

การเขียนคำสั่งข้างบนถ้าใช้กับเบอร์ 8031/8051 จะเก็บค่าสแตคได้ 32 byte เพราะว่าหน่วยความจำของ RAM ภายในจะสิ้นสุดที่ 7FH แต่เรากำหนดให้ SP มีค่าเท่ากับ 5FH ซึ่งจะเริ่มใช้งานที่ตำแหน่ง 60H ถ้าหาก MCS-51 ถูกรีเซ็ต ค่า SP จะถูกกำหนดเองเป็น 07H ซึ่งจะเห็นได้ว่าทับกับ Register Bank 1 ถ้าหากงานที่ออกแบบขึ้น จะต้องใช้ Register Bank 1 ด้วยควรกำหนดค่า SP เสียก่อน

รีจิสเตอร์ Data Pointer (DPTR)

รีจิสเตอร์นี้ใช้สำหรับชี้ตำแหน่งรหัส โปรแกรมหรือข้อมูลในหน่วยความจำโดยเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งประกอบไปด้วยรีจิสเตอร์ 2 ตัว คือ DPL ตำแหน่งที่ 82H โดยจะเก็บเป็น 8 บิต ตำแหน่งที่ 83H โดยจะเก็บค่า 8 บิตสูง รีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะรวมตัวกันกลายเป็นรีจิสเตอร์ 16 บิต ถ้าหากต้องการจะเก็บค่า 55H ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกตำแหน่งที่ 1000H จะเขียนโปรแกรมได้ดังต่อไปนี้

```
MOV A,#55H
```

```
MOV DPTR,#1000H
```

```
MOVX @DPTR ,A
```

เอกสารนี้เป็นบรรทัดแรกจะเป็นการอ้างตำแหน่งแบบ Immediate Addressing ซึ่งจะเก็บค่า 55H ลงในรีจิสเตอร์ A ต่อมาจะเก็บค่า 1000H ลงในรีจิสเตอร์ 16 บิต DPTR เพื่อชี้ไปที่ตำแหน่งหน่วยความจำ

บรรทัดที่ 3 จะเป็นการอ้างตำแหน่งแบบ Indirect Addressing ซึ่งจะเก็บค่าใน A คือ 55H ลงในตำแหน่งที่ DPTR ซึ่งอยู่คือตำแหน่ง 1000H

รีจิสเตอร์พอร์ท (Port Register)

ใน MCS-51 ค่าของพอร์ทจะหมายถึง ค่าของหน่วยความจำด้วย หากต้องการส่งข้อมูลออกไปที่พอร์ท ก็เพียงแต่เขียนข้อมูลไปที่หน่วยความจำตำแหน่งที่พอร์ทนั้นอยู่ และถ้าต้องการที่จะอ่านข้อมูลจากพอร์ท ก็เพียงแต่อ่านข้อมูลจากตำแหน่งที่หน่วยความจำที่พอร์ทนั้นอยู่ ใน MCS-51 พอร์ท 0 จะอยู่ที่ตำแหน่ง 80H ,พอร์ท 1 จะอยู่ที่ตำแหน่ง 90H , พอร์ท 2 จะอยู่ที่ตำแหน่ง AoH และพอร์ท 3 จะอยู่ที่ตำแหน่ง BoH พอร์ท 0,2 และ 3 โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช่ถ้าหากว่าเป็นการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือใช้เป็นพอร์ทพิเศษ (เช่น Interrupts , Serial Port , ฯลฯ) โดยปกติแล้วจะใช้ พอร์ท 1 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ททุกพอร์ทสามารถอ้างข้อมูลในระดับบิตได้

การติดต่อกับพอร์ทในระดับบิตนี้ อาจจะใช้คำสั่งการอ้างอิงข้อมูลระดับบิตได้ เช่นบิต 7ของพอร์ท 1 ตรงตำแหน่งระดับบิตคือ ตำแหน่ง 97H อาจเขียนคำสั่งได้ดังนี้ CLR 97H

รีจิสเตอร์ เวลา (Timer Registes)

ใน MCS-51 เบอร์ 8051 จะมีรีจิสเตอร์ ที่ใช้นับและจับเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัว คือ Timer 0 อยู่ที่ตำแหน่ง 8AH และ 8CH โดยตำแหน่ง 8AH หมายถึง TL0 ซึ่งจะเป็น 8 ไบต์ต่ำ และ 8CH หมายถึง 8 ไบต์สูง TH0 รีจิสเตอร์อีกตัวคือ Timer 1 โดยแบ่งเป็น TL1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8BH เป็นไบต์ต่ำ และ TH1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8DH เป็นไบต์สูง การใช้ Timer จะต้องกำหนดการทำงานในรีจิสเตอร์ TMOD (Timer / Counter Mode Control Register) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 88H เสียก่อน ซึ่งจะได้กล่าวในบทต่อไป

รีจิสเตอร์ พอร์ทอนุกรม (Serial Port Registers)

MCS-51จะมีพอร์ทขนานสื่อสารอนุกรม (Serial Port) อยู่ในชิพ ซึ่งสามารถที่จะรับหรือส่งข้อมูล ได้โดยติดต่อกับรีจิสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 99H โดยถ้าต้องการส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้เขียนข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์นี้ ตัว Serial Port สามารถโปรแกรมให้ทำงานได้ 4 โหมดโดยโปรแกรมผ่านรีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register) ตำแหน่ง 98H ซึ่งจะกล่าวต่อไปภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ อินเทอร์พอร์ท (Interrupt Port Registers)

MCS -51 สามารถ Interrupt ได้ 5 ตำแหน่ง โดยมี 2- Priority ตัว Interrupt นี้จะถูก Disable หลังจากระบบถูกรีเซต และจะ Enabled หลังจากที่เขียนข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์ IE หรือตำแหน่ง A8H ลำดับความสำคัญสามารถเซตได้ที่รีจิสเตอร์ IP หรือตำแหน่ง B8H ซึ่งจะกล่าวต่อไปภายหน้า

Power Control Register (PCON)

รีจิสเตอร์ PCON อยู่ที่ตำแหน่ง 87H ใช้หยุดการทำงานของ MCS-51 โดยจะหยุดจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้ระบบ ทำให้ข้อมูลต่างๆ ภายใน MCS-51 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนอกจากนี้ยังลดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ MCS-51 ลงด้วย

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นอัลตราโซนิค

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบนำวิถีของรถคลื่นที่อัด โนมัต ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับสะท้อนกับวัตถุสิ่งกีดขวางต่างๆ เพื่อที่ว่าจะได้นำเอาสัญญาณที่สะท้อนกลับมาแปลงเป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของรถเคลื่อนที่อัด โนมัต ซึ่งสามารถพูดได้ว่าเป็นการนำวิถีของของหุ่นยนต์นั่นเอง ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้

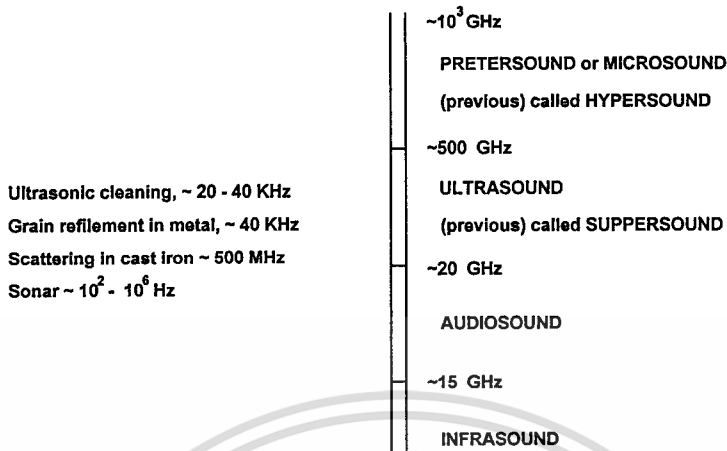
2.2.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิค

หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง คือ พัลส์ของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่ง ถ้าไปกระทบกับวัตถุพลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่ตัวส่งด้วย แต่การใช้วัตถุเป็นตัวรับที่เหมาะสม (Suitable) จะสามารถรับการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Signal) เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศ สามารถที่จะคำนวณระยะทางได้ เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงธรรมชาติของคลื่นจะสามารถทำให้เข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

2.2.2 คลื่นอัลตราโซนิค

คลื่นอัลตราโซนิค คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์จะสามารถได้ยินคลื่นความถี่ประมาณ 20Hz ถึง 20 KHz ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิค จึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz จนถึง 10^4 GHz โดยคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 10^4 GHz และแอมพลิจูด (Amplitude) สูง ๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

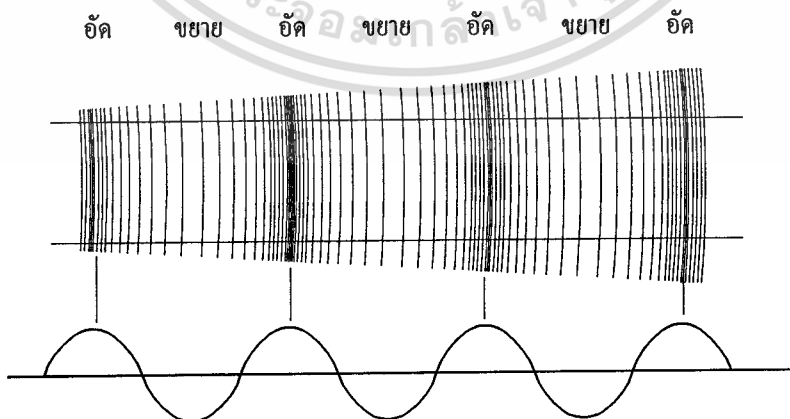


รูปที่ 2.4 แสดงถึงช่วงความถี่ต่าง ๆ ที่ถูกนำไปใช้งาน

2.2.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกที่เดินที่ทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ มีหลายชนิดด้วยกันซึ่งแตกและชนิดแตกต่างกันตามการเคลื่อนของอนุภาคในตัวกลางนั้น

2.2.3.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) คือ คลื่นอนุภาคตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



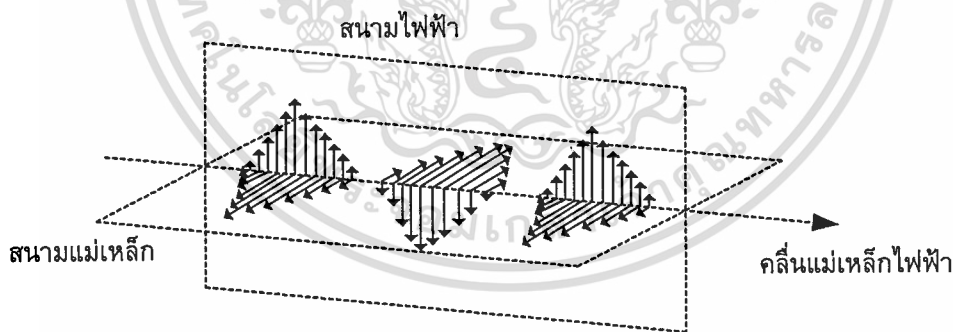
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นคลื่นอัด(Compression) ซึ่งก็คือคลื่นช่วงของอนุภาคของตัวกลาง มีความชันสูง และคลื่นขยาย (Reaction) คือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำและเมื่อนำค่าของความดันที่เปลี่ยนตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปไซน์ (Sine Wave) โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัดและท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยายคือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลาเป็น (T) ซึ่งเท่ากับ $1/f$ โดยจุดที่เป็นแกนนั้นมีความดัน 1 บรรยากาศ

2.2.3.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) คือ คลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่นและสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและก๊าซได้

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวกซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปในทิศทางเดียวเช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป จากต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาค อันเนื่องมาจากการแกว่ง ความหนาของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

2.2.3.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Wave or Rayleigh) คือ คลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่เคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

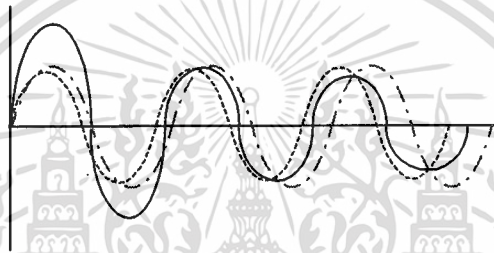
2.2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิก

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียงจะแสดงได้ 4 แบบคือ

2.2.4.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง(Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะคือ

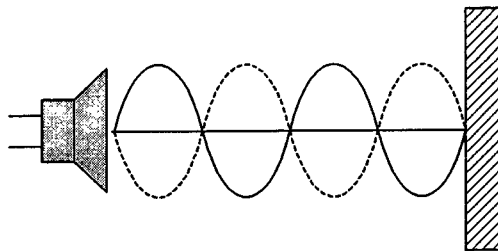
ก. การบีบอัด (Beats) ของคลื่นเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกัน หรือต่างเฟสกันเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งคลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปซึ่งประโยชน์ของการบีบอัดของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกันนี้

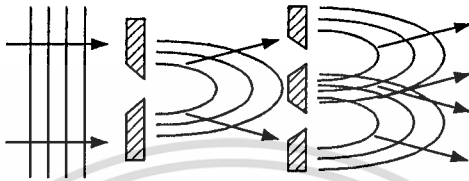
ข.) การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นซูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงกันข้าม ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป เสียงจะมีความเข้มขึ้นสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ $d = \lambda / 2$ M หรือ $L = n(\lambda / 2)$; $n = 1, 2, 3$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

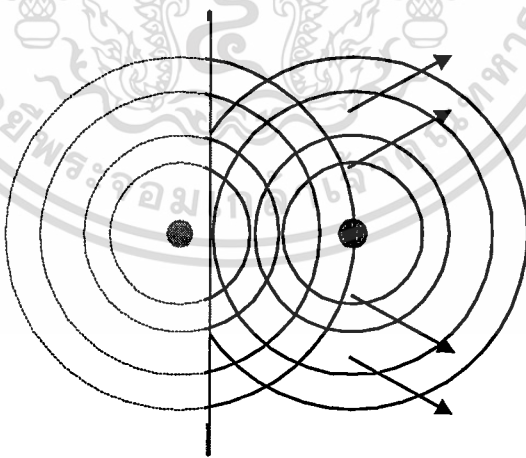
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

2.2.4.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) คือ คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา เช่น ในกรณีที่เราได้ยินเสียงแตรรถที่อยู่คนละมุมถนนของตึก หรือการที่ได้ยินเสียงลอดผ่านช่องเล็กๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบ ๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

2.2.4.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection) คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลางโดยที่มุมสะท้อน และจะทำให้เกิดเสียงก้อง (Echo) ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนี้เป็นครั้งที่สอง

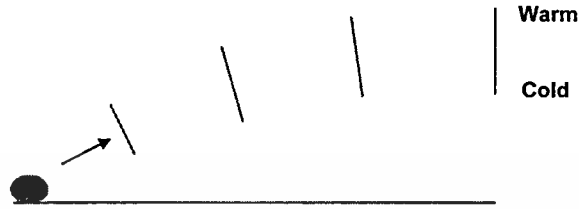


รูปที่ 2.10 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง

คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะมีคลื่นเป็นวงกลมเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction) คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงอยู่



รูปที่ 2.11 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

2.2.4.5 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกลโดยการสั่นไปมาหรือเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลให้เกิดคลื่นย่านอัลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล(Mechanical Wave) อัลตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

1. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อย่างหนึ่ง
2. แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้น
3. แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

* สำหรับเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูก และหาซื้อง่าย

2.2.4.6 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wave Length)

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลทที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาทีคลื่นที่ดูส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบหนึ่งรอบ (1 Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive compression) หรือการเบาบางของอากาศ (rare-fractions) การอัดคือ การที่บริเวณนั้นมีค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่การเกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ
ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กันตามสมการข้างล่าง

$$c = f\lambda$$

C : ความเร็วของการเดินทาง (m/s)

f : ความเร็ว (Hz)

λ : ความยาวคลื่น (m)

2.2.4.7 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่น ในอากาศที่อุณหภูมิปกติความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นดังสมการ

$$v = 331.45 + 0.607t \quad (\text{m/s})$$

v : ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ

t : อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ

GAS	Velocity (m/s)
AIR (DRY 0 1 องศาเซลเซียส)	331.45
ARGON	319
CARBON MONOXIDE	338
CARBON DIOXIDE	259
HELIUM	965
HYDROGEN METHANE	1284

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของคลื่นในก๊าซต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.8 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกจะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

2.2.4.9 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

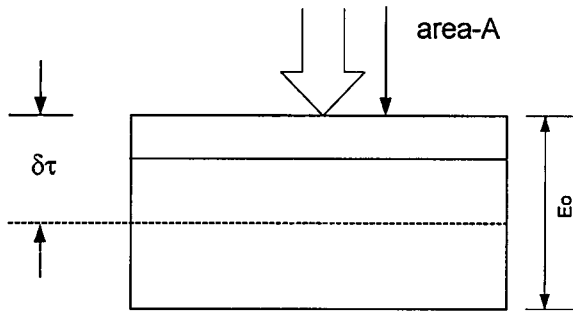
เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการรูดออกของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานยิ่งถูกดูดซับมาก

2.3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

2.3.1 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

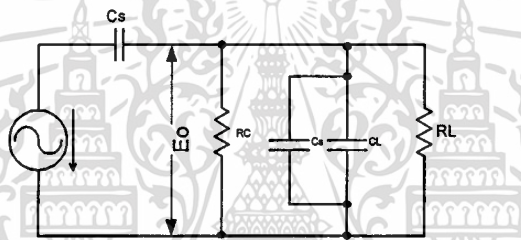
เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ solid crystalline dielectric ดังในรูปที่ 2.12 ก็จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตัล และทำให้ผลึกของคริสตัลผิดรูปไป เช่น พวกวอท์ซ์ (Quartz) ผลก็คือประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลททิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลททิซเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามของคริสตัล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrod) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วน โดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรง (F) ที่มากระทำ



รูปที่ 2.12 ผลของเปียโซอิเล็กทริก

วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.13 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก

C_c : คาปาซิแตนซ์ของชั้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก

R_c : leakage resistance ของเปียโซอิเล็กทริก ปกติจะมีค่าสูงประมาณ $10^8 - 10^{10}$

ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล โดยทั่วไปจะเป็นความต้านทานทางไหล

R_L (ในช่วง $10^6 - 10^7$)

C_L : คาปาซิแตนซ์ ของ subsequent stage (load) ร่วมกับ connecting cable

ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลต์เตจ E_o ที่คร่อมโหลด หาได้โดย C_c และ C_L ค่าเหล่านี้มาได้โดยการการแบ่งโวลต์เตจ โดยโวลต์เตจ E_o ได้จากสมการ

$$E = \frac{EC_c}{(C_c + C_L)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลต์เดจมีค่ามาก สามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่า C_L เช่น การนำค่า CC ต่อขนานเข้าไป ที่ความถี่ต่ำโวลต์เดจ E_0 คร่อมโพลดหาได้โดยค่ารีแอค-แตนซ์ของ CC และอิมพีแดนซ์ของ CL และ RL ที่ต่อขนานกัน โวลต์เดจ E_0 ขึ้นกับความถี่และจะลดลงถ้าความถี่ลดลง การตอบสนองต่อความถี่สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีค่าคาปาซิแตนซ์สูง หรือโดยการเพิ่มความต้านทานทางโพลด RL

2.3.2 วัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก

วัสดุเป็ยโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz , Tourmaline sulphate , Barium Titanate และ Zirconate Titanate (TZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์ และคริสตอลที่เป็นเป็ยโซอิเล็กทริกธรรมชาติมันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่พวกวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไททานเนท เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายในแรงดัน และวางวัสดุที่ได้ในสนามไฟฟ้าที่มีแรงดันของ DC มาก หลังจากขึ้นส่วนนี้ถูกนำในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนาม และประพืดตัวตามคุณสมบัติของเป็ยโซอิเล็กทริกสำหรับขึ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตอลและยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ และทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.3.3 ชนิดของเป็ยโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เป็ยโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.แบบ Generation – action transducer ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก

2.แบบ Motor – action transducer ใช้เป็นตัวส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคจะขึ้นอยู่กัขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้งสองกรณี ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุ

2.3.3 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาคร่อมจะทำให้ขึ้นสารเซรามิก โกงงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วง ๆ (electrically pulse) จากการออสซิลเลท ก็จะทำให้ขึ้นสารโกงงอมากน้อยหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากการออสซิลเลทนั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลทที่ป้อนเข้าขึ้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้น

สารเซรามิกนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาที่พู่จะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มักมีการทำงานตรงข้ามกับตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชิ้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชิ้นสารโค้งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจถึง 100 เมกกะโอห์ม เรียกว่าถ้าเอาอัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ขณะที่มันทำงาน ความต้านทานไฟสลบจะลดลง

2.3.5 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวรับ-ตัวส่งทรานสดิวเซอร์

1. ไม่ควรให้ตัวต้านทานทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ในขีดจำกัดนี้

3. ความถี่เรโซแนนท์(คือความถี่ที่ตัวมันสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 KHz (bandwidth) ที่มีขายโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน +/- 1KHz และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 KHz (bandwidth) สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิที่ใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

5. ตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดของแรงดันที่ออกมาจะลด จึงควรจะทำให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงกันมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องจะเกิดการเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะสามารถสะท้อนกับกำแพง และวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

อัลตราโซนิกนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยที่ใช้เลนส์ที่เรียกว่า Planoconc avelenes วางข้างหน้าของทรานสดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลำแคบ (Beam) นี้จะทำให้ near field สั้นลงและ far field กระจายกว้างขึ้น การทำให้เป็นลำคลื่นเหมาะสำหรับการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นสูงที่เหมาะสมสำหรับที่ใช้ในงานแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 MHz เพื่อใช้ตรวจเนื้อเยื่อ มีการส่งเป็นลำแคบ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีความต้านทานต่อขนาบกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง $10\text{ K}\Omega$ ถึง $100\text{ K}\Omega$ จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยน จาก $100\text{ K}\Omega$ มาเป็น $10\text{ K}\Omega$ ความไวจะลดลงประมาณ $10 - 12\text{ dB}$ แต่ความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีค่าความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมี ความถี่แคบ

7. ตามปกติแล้วสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ ตัวส่งและตัวรับรุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนท์ เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางไฟฟ้า ทางด้านไฟฟ้าสลับเพื่อให้เกิดลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

8. ประโยชน์การใช้งานคลื่นอัลตราโซนิก คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งคลื่น ไปตามเป้าหมายที่ต้องการได้เจาะจง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ทำให้เสียงออกมา) ของตัวที่ทำให้เกิดเสียงความถี่นี้ เช่น คลื่น ความยาว 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตร เศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ทำให้ คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง โดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตร เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่าตัวที่ทำให้เกิดคลื่นเสียงความถี่ นี้มาก ๆ คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลักษณะลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า “มี ทิศทาง” นั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงอัลตราโซนิกทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลาย อย่าง เช่น คลื่นวัดความหนาของวัตถุ โดยส่งเกตุระยะที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกทำแผนที่ ได้ที่ท้องทะเล ส่วนการใช้งานทางการแพทย์ อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

2.4 เทคนิคการใช้งานแอลซีดีโมดูล

เดิมทีเดียวการแสดงผลอาจจะใช้เพียง LED (Light Emitting Diode) เพื่อแสดงสถานะของ สัญญาณ หรืออย่างมากที่สุดก็ใช้ 7-Segment (Seven – Segment) เพื่อแสดงค่าที่เป็นตัวเลขแต่สำหรับใน กรณีที่ต้องการแสดงข้อความ เช่น “Enter access code” หรือ “Select function “ หรือข้อความอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกัน อุปกรณ์ที่น่าจะเหมาะสมกับงานนี้ก็คือจอ LCD (Liquid Crystal Display)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ LCD

LCD เป็นจอแสดงผลที่สามารถแสดงข้อเป็นตัวเลข , ตัวอักษรและสัญลักษณ์อื่น ๆ ซึ่งคงเคยพบการใช้งานอยู่บ้างในเครื่องมือวัด เลเซอร์ปริ้นเตอร์ และงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

คอนโทรลเลอร์ HD44780 เป็นคอนโทรลแบบยัดติดผิวหน้าขนาด 80 ขา จากฮิตาชิ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ให้จอ LCD ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้เป็นการใช้งาน HD44870

2.4.2 เทคโนโลยีของ LCD

แผงของ LCD จะประกอบด้วยเซกเมนต์แสดงผลขนาดเล็กจำนวนมากในเซกเมนต์จะบรรจุชั้นของเหลวเป็นแผ่นบาง ๆ อยู่ระหว่างชั้นของแก้ว ของเหลวนี้เป็นสารประกอบ ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้ามาควบคุมการทำงานหรือการแสดงผลของ LCD เกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมแรงดันที่ตกคร่อมตัวมัน เช่น ถ้าให้แรงดันตกคร่อมเซกเมนต์ ก็จะเกิดสีดำหรือทึบแสงแต่ถ้าเอาแรงนั้นออกเซกเมนต์นั้นก็สว่างหรือโปร่งแสง ด้วยวิธีการจ่ายแรงดันลงจายแรงนี้ก็เพียงพอที่จะควบคุมการแสดงผลตัวเลข ตัวอักษรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ได้ และจากสาเหตุที่จอ LCD ใช้แรงดันควบคุม ดังนั้นจึงกินกำลังงานต่ำและขนาดเล็กแบนราบ

โมดูลของ LCD บางรุ่นอาจจะมี 1 แถว หรือมากกว่า การแสดงผลของจอ LCD จะอยู่ในรูปเมตริกซ์ บางรุ่นแสดงเมตริกซ์ที่มีขนาดกว้าง 5 เซกเมนต์ สูง 8 เซกเมนต์ และสำหรับรุ่น HD44780 สามารถควบคุมการแสดงผลได้สูงถึง 11 เซกเมนต์ ซึ่งเป็นผลดีกับการแสดงตัวอักษรบางตัวเช่น g, p และ q

ตัวอักษรจะถูกสร้าง โดยการปรับตำแหน่งและเซกเมนต์ให้เหมาะสม เช่น ตัวอักษร L จะสร้างจากแนวตั้ง 1 แถวและแนวนอน 1 แถว

ตารางที่ 2.4 แสดงขาสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากการควบคุม LCD ต้องการเวลาเพื่อทำงานตามคำสั่งหรือรับสัญญาณดังนั้นเมื่อใช้คอมพิวเตอร์จะต้องพิจารณาเรื่องเวลาด้วย แต่การเชื่อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์สามารถต่อโดยตรงได้ไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นมาต่อเพิ่ม หรือถ้ามีก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ขา	สัญลักษณ์	ฟังก์ชัน
1	Vss	กราวด์
2	Vdd	+5 โวลต์
3	Vo	ปรับความแสดคงด้วยแรงดัน (0-5 โวลต์)
4	Rs	เลือกรีจิสเตอร์ (0 = รีจิสเตอร์คำสั่งหรือแฟลกแสดงสภาวะการทำงานและตัวนับแอดเดรส ; 1 = รีจิสเตอร์ค่า)
5	R/W	เลือกการอ่านหรือเขียน (0= เขียน ; 1=อ่าน)
6	E	อีนาเบิการอ่านหรือเขียน LCD
7	D0	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตต่ำสุด
8	D1	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตที่ 2
9	D2	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตที่ 3
10	D3	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตที่ 4
11	D4	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตที่ 5
12	D5	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตที่ 6
13	D6	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตที่ 7
14	D7	คาต้าอินพุท / เอาท์พุทบิตสูงสุด

ตารางที่ 2.4 แสดงตำแหน่งขาต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับ LCD

จอ LCD นั้นมีให้เลือกใช้หลายขนาดแต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็เป็นแบบ 1x16 (1 แถว 16 ตัวอักษร), 2x16 (2 แถว 16 ตัวอักษร) ส่วนนั้นถ้าเป็นจอแสดงผลขนาดใหญ่สามารถแสดงตัวอักษรได้ถึง 80 ตัว ซึ่งจะต้องมีวงจรขับหรือชิพคอนโทรลเลอร์เพิ่มขึ้น เพื่อใช้ร่วมกัน HD44780 ที่ต่อสายสัญญาณ 14 เส้นได้

2.4.3 ไฟเลี้ยงสำหรับ LCD

จอ LCD จะใช้ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ ป้อนให้ที่ขา 2 ซึ่งตัวมันกินกระแสเพียงไม่กี่มิลลิแอมป์ ส่วนขา 3 ต่อเพื่อปรับมุมมองการแสดงผลให้เหมาะสม ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับผลของแสงในขณะนั้นด้วย รวมไปถึงตำแหน่งการติดตั้งและอุณหภูมิ

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของ LED และ LCD จะพบว่าในทีี่ ๆ มีความสว่างค่อนข้างสูง LED เกือบจะมองไม่เห็น ส่วน LCD นั้น สามารถอ่านในที่ที่มีแสงสว่างได้เนื่องจากการทำงานของ LED นั้นจะปล่อยพลังงาน ออกมาส่วน LCD นั้นจะใช้การหักเหแสง โดยให้แสงส่งผ่านตัวมัน ซึ่งบางสภาวะ

ในที ๆ มีแสงสว่างน้อยก็ไม่สามารถอ่านจอแสดงผล LCD ได้ วิธีแก้ก็คือการใช้จอ LCD ที่มีแบ็กไลท์ (backlight) ซึ่งเป็นการใช้จาก electrolumine (EL) ซึ่งมีความสามารถในการเรืองแสงได้นำไปติดตั้งไว้ในด้านหลังของจอ LCD โดยที่แผง EL จะทำหน้าที่แพร่กระจายความสว่างจากด้านหลังทำให้ LCD มีความสว่างและทำให้เรามองเห็นได้

การที่จะนำสารเรืองแสง Electrolumine มาใช้งานนั้น ที่ชุดโมดูล LCD ต้องมีแผง EL และชุดแปลงแรงดันเป็นสัญญาณไฟสลับแรงดันสูง โมดูลของ LCD แบ่งออกได้เป็นแบบสะท้อนกลับ (Reflective) แบบนี้ไม่ใช่แหล่งกำเนิดแสงทางด้านหลังส่วนอีกแบบหนึ่งคือแบบสว่างผ่าน (transflective) แบบนี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสงจากด้านหลังหรือไม่ใช้ก็ได้โดยสามารถต่อสวิทช์เข้ากับแหล่งกำเนิดแสงเวลาจะใช้แหล่งกำเนิดแสงก็เปิด หรือถ้าไม่ต้องการใช้ก็ปิดตามต้องการ

2.4.4 คอนโทรลเลอร์และการควบคุม

การที่จะใช้โมดูลของ LCD ในงานใดงานหนึ่งนั้น จะต้องทำความเข้าใจกับตัวควบคุมก่อน HD44780 เป็นตัวควบคุมขนาดเล็กที่คล้ายกับคอมพิวเตอร์โดยจะทำงานทั้งหมด 11 คำสั่งแสดงดังในตารางที่ 2.5 เพื่อควบคุมการทำงานต่าง ๆ เช่นเคลียร์หน้าจอแสดงผล, เขียนตัวอักษร, เลือกดตำแหน่งที่แสดงผลและอ่านข้อมูลจากจอแสดงผล

หน่วยความจำภายใน HD44780 มี 2 ชนิดคือ Character Generator (CG) ROM และ Character-Generator (CG) RAM

CGROM ใช้สำหรับเก็บตัวอักษรเกือบ 200 รูปแบบ เช่น ตัวอักษรภาษาอังกฤษ, ตัวเลขเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์, ลักษณะพิเศษ และอักขรญี่ปุ่น ซึ่งจะถูกกำหนดลงใน ROM ไว้แล้วไม่สามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงได้

CGRAM ใช้เก็บตัวอักษรที่ผู้ใช้ออกแบบขึ้นเองเช่น โลโก้, สัญลักษณ์พิเศษ, อักษรกราฟฟิกง่าย ๆ ที่สามารถออกแบบบนแมตริก 5x8 ได้อักษรที่เขียนขึ้นนี้จะเขียนครั้งละ 5 บิต หลาย ๆ คำ แต่ละคำจะแทนรูปแบบแมตริก 1 แถว แล้วเก็บไว้ใน CGRAM รูปแบบอักษรนี้จะหายไปเมื่อปิดเครื่องและเมื่อจะใช้งานต้องเรียกข้อมูลมาใหม่ หลักจากเปิดเครื่อง

อักษรใน CGROM และ CGRAM เป็นอักษรขนาด 8 บิต (00H ถึง FFH) ซึ่งบางตำแหน่งก็ไม่ได้ใช้ ตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้กันมากจากช่วง 21H ถึง 7DH ซึ่งจะตรงกับตำแหน่งรหัสแอสกีบนคอมพิวเตอร์ เช่น "A" จะถูกเก็บเอาไว้ที่ตำแหน่ง 41H และ "B" จะถูกเก็บไว้ที่ตำแหน่ง 42H เป็นต้น โดยตำแหน่งแอดเดรสจะถูกเก็บอยู่ในเลขฐานสิบหก

IC HD44780 มีรีจิสเตอร์ 2 ตัวคือ Instruction Register (IR) ซึ่งใช้สำหรับเก็บรหัสคำสั่ง และ Data Register (DR) ซึ่งใช้สำหรับเก็บรหัสอักษรเมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลจากไอซีจะต้องเลือกใช้รีจิสเตอร์ให้เหมาะสมเพื่อนำไปต่อกับขา 4 ของ LCD ตามหน้าที่การทำงานที่เราต้องการ

หน่วยความจำ RAM เก็บข้อมูลแสดงผล Display Data (DD) RAM จะเก็บตัวอักษรขนาด 8 บิต ได้มากกว่า 80 ตัวอักษร ไว้ในแอดเดรสแต่ละตำแหน่ง โคจรหัสของตัวอักษรที่เก็บไว้ใน DDRAM จะเป็นตัวกำหนดว่าจะให้แสดงผลตัวอักษรที่ตำแหน่งไหน ในกรณีที่ตัว LCD มี 2 แถว (ถ้าต้องการ ลบแถวแรก) การทำงานของมันจะทำการเลื่อนตำแหน่งซ้ายสุดของแถวนั้นซึ่งเป็นตำแหน่งแอดเดรส สูงก่อน และตำแหน่งต่อไปก็จะเลื่อนตามมาเป็นลำดับจนกว่าจะหมดแถวที่ 1 แล้วแถวที่ 2 จะตามมา เช่น สมมติว่าแถวที่ 1 มีตำแหน่งแอดเดรส เริ่มที่ 0-39H พอหมดแถวที่ 1 แล้วแถวที่ 2 จะถูกลบต่อไป เป็น 40H, 41H, 43H, และต่อ ๆ ไปจนครบ แต่ครั้งที่เขียนอักษรลงในแอดเดรสของ DDRAM แต่ละตำแหน่งแอดเดรสจะเพิ่มตำแหน่งขึ้น โดยอัตโนมัติตามลำดับของการเขียนอักษร ยกเว้นกรณีที่ผู้ใช้ กำหนดตำแหน่งของแอดเดรสที่จะทำการเขียนข้อมูลลงในบางครั้ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าแถวที่ 2 เริ่มที่ตำแหน่งแอดเดรส 40H ดังนั้นถ้าหากผู้ใช้ต้องการให้แสดงที่แถวที่ 2 จะต้องอ้างตำแหน่งแอดเดรส ให้ถูกต้องด้วย เช่น ถ้าจอแสดงผลมี 16 ตำแหน่ง แถวที่ 1 จะสิ้นสุดที่ตำแหน่งที่ 0FH และแถวที่ 2 จะเริ่มต้นที่ 40H ดังนั้นถ้าต้องการย้ายอักษรจากตำแหน่งขวาสุดของแถวที่ 1 ไปยังซ้ายสุดของแถวที่ 2 ผู้ใช้จะต้องอ้างตำแหน่งแอดเดรสไปที่ 40H

นอกจากนี้จอแสดงผลบางรุ่น จะมีแบบอักษรเป็นแบบฟิสิกอล 1 แถว และแบบลจิกอลอีก 2 แถว ซึ่งจะคล้ายกับจอแสดงผลแบบ 2 แถว ในกรณีที่ เป็นจอแสดงผลแบบ 16 ตัวอักษร 8 ตัวอักษร แรกจะเริ่มที่แอดเดรส 0 ถึง 7 และ 8 ตัวอักษรหลังจะเริ่มที่แอดเดรส 40H ถึง 47H ดังนั้นถ้าจะเขียนข้อมูลไปที่ตำแหน่ง 8 ตัวหลัง ต้องกำหนดตำแหน่งไปที่ 40H อย่างไรก็ตามในจอแสดงผลขนาดเล็กจะ ไม่มี DDRAM เนื่องจากว่า DDRAM เป็นแรมสำรองที่มีไว้ให้ผู้ใช้เลือกใช้ตามวัตถุประสงค์

คำสั่ง	รหัสควบคุม										คำอธิบาย	ช่วงเวลาในการประมวลผล
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
เคลียร์จอแสดง	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	เคลียร์หน้าจอแสดงผลและตั้ง เคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งเริ่มต้น	82us - 1.64us
เลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังเริ่มต้น	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	รีเซ็ตเคอร์เซอร์ให้อยู่ที่จุดเริ่มต้นและรีเซ็ตคำสั่ง เลื่อนข้อมูลที่ผ่านมาแล้ว โดยที่ข้อมูลใน DD-RAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	40us - 1.6ms
กำหนดโหมดป้อนข้อมูล	0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	S	กำหนดทิศทางการเลื่อนของเคอร์เซอร์และตัวอักษร คำสั่งนี้ผลเมื่อมีการอ่านหรือการเขียนข้อมูลไปยัง LCD	40us
ควบคุมการแสดงผล	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	ควบคุมให้จอแสดงผลปิดหรือเปิด (D), ควบคุมให้เคอร์เซอร์ปิดหรือเปิด (C) และให้เคอร์เซอร์กระพริบด้วยหรือไม่ (B)	40us
ควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษร	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	ควบคุมการเลื่อนของเคอร์เซอร์และตัวอักษรโดยที่ขี ้อมูลใน DD-RAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	40us
เซตฟังก์ชัน	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	กำหนดโหมดอินเทอร์เฟซ (DL) จำนวนของบรรทัดที่แสดงผล (N) และความละเอียด (F)	40us
เซตแอดเดรสใน CG-RAM	0	0	0	1	ACG						กำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน CG-RAM	40us
เซตแอดเดรสใน DD-RAM	0	0	1	ADD						กำหนดตำแหน่งแอดเดรสใน DD-RAM	40us	
อ่านแฟลกบิวชี	0	1	BF	AC						อ่านสถานะของแฟลกบิวชีและตำแหน่ง แอดเดรสเคาน์เตอร์	1us	
เขียนข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM	1	0	ข้อมูลที่ต้องการเขียน								เขียนข้อมูลจาก CG หรือ DD-RAM ที่กำหนดตำแหน่งแอดเดรสไว้แล้ว	40us
เขียนข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM	1	1	ข้อมูลที่ได้จากการอ่าน								อ่านข้อมูลจาก CG หรือ DD-RAM ที่กำหนดตำแหน่งแอดเดรสไว้แล้ว	40us
	I/D = 1 : เพิ่มค่า I/D = 0 : ลดค่าลง S = 1 : ตัวอักษรถูกเลื่อน S/C = 1 : ตัวอักษรถูกเลื่อน S/C = 0 : เคอร์เซอร์ถูกเลื่อน R/L = 1 : เลื่อนไปทางขวา R/L = 0 : เลื่อนไปทางซ้าย DL = 1 : 8 บิต DL = 0 : บิต N = 1 : 2 บรรทัด N = 0 : 1 บรรทัด F = 1 : 5 x 10 จุด F = 0 : 5 x 7 จุด BF = 1 : การทำงานภายในยังไม่เสร็จสิ้น BF = 0 : สามารถรับคำสั่งใหม่ได้										DD RAM : Display data RAM CG RAM : Character generator RAM ACG : CG RAM address ADD : DD RAM address AC : Address counter * : Don't Care	

ตารางที่ 2.5 แสดงชุดคำสั่ง 11 คำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลของไอซี HD44780 เพื่อควบคุม LCDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การอ่านและการเขียน

จากรูปที่ 2.14 จะแสดง Timing Diagram ของการประมวลผลคำสั่งในการอ่านและการเขียนข้อมูลกับ LCD ขั้นตอนของการเขียนเริ่มจากสัญญาณ RS เข้ามาและให้สัญญาณ R/W มีสถานะเป็น “LOW” หลังจากนั้นประมาณ 140 นาโนวินาที (10^{-9} sec.) สัญญาณอيناเปิดจะมีสถานะเป็น “HIGH” และคงสถานะอยู่อย่างน้อย 450 นาโนวินาที เพื่อที่จะให้ขา DATA D_0-D_7 ส่งสัญญาณอย่างน้อย 195 นาโนวินาทีก่อนที่สัญญาณอيناเปิดจะเป็น “LOW” อีกครั้ง

ส่วนขั้นตอนในการอ่านข้อมูลจะคล้ายกับการเขียนแต่ละสัญญาณ R/W จะเป็น “HIGH” ส่วนสัญญาณข้อมูล D_0-D_7 จะทำงานหลังจากสัญญาณอيناเปิดเป็น “HIGH” แล้วประมาณ 320 นาโนวินาที ไอซี HD44780 จะไม่ทำคำสั่งใหม่ที่เข้ามาจนกว่าจะทำคำสั่งที่กำลังทำอยู่ขณะนั้นจนเสร็จก่อน ซึ่งในกรอบแยกที่ 1 จะแสดงเวลาที่มากที่สุดที่แต่ละคำสั่งใช้ในการประมวลผล แต่ถ้าใช้ภาษาเบสิกหรือภาษาระดับสูงในการโปรแกรมค่าเวลาเหล่านี้อาจไม่ต้องใส่ใจก็มากนัก เพราะว่าตัวโปรแกรมจะเข้าถึงคำสั่งโดยอัตโนมัติอยู่แล้ว ถ้าหากต้องการใช้ชุดโมดูล LCD รับคำสั่งต่อมาทำได้โดยเขียนโปรแกรมหน่วงเวลาหลังจากทำคำสั่งเหล่านั้นหรืออาจจะอ่านแฟลทว้าง (บิต 7) ก็ได้

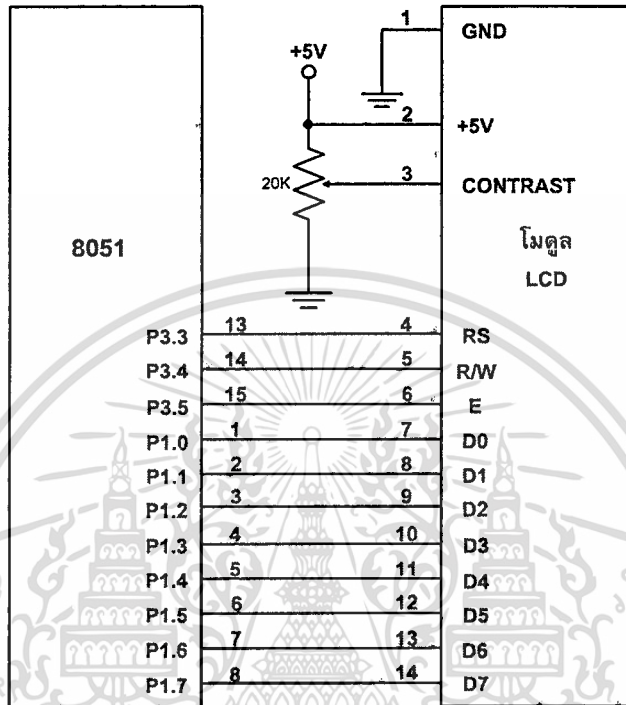
คำสั่งในตารางที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่อของข้อมูลขนาด 8 บิต (D_0-D_7) แต่ถ้าเป็นคอนโทรลเลอร์ HD44780 จะใช้ข้อมูลขนาด 4 บิตเท่านั้น บางครั้งถ้าเรามีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต เราสามารถที่จะต่อใช้ข้อมูลเพียง 4 บิตก็ได้ เพื่อเป็นการประหยัดฮาร์ดแวร์ การใช้ข้อมูลเพียง 4 บิต นี้จะสัญญาณในการส่งข้อมูลทั้งหมด 7 เส้น เท่านั้น (D_4-D_7 , RS, R/W และอينا-เปิด) หรืออาจจะใช้เพียง 6 เส้น ถ้าให้สัญญาณ R/W เป็น “LOW” ตลอดก็สามารถอ่านข้อมูล D_0-D_7 แสดงบนจอแสดงผลได้ อย่างไรก็ตามการที่จะส่งคำสั่งเพื่อใช้กับข้อมูลขนาด 8 บิตนั้น คุณจะต้องส่งข้อมูลบิต D_4-D_7 ไปพร้อมกับสัญญาณ RS และ R/W โดยไม่ต้องใช้บิต D_0-D_3

2.4.7 การเชื่อมต่อ

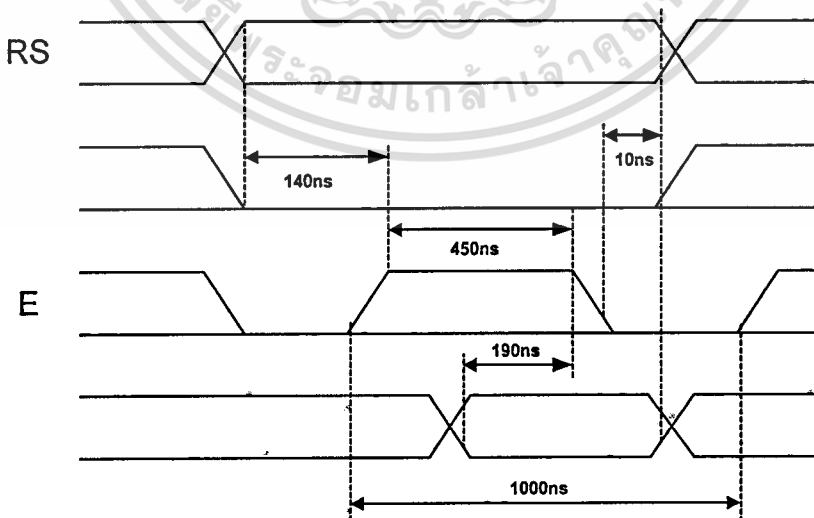
โมดูลของ LCD สามารถที่จะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้หลายเบอร์ดังในรูปที่ 2.14 แสดงการเชื่อมต่อโมดูล LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โดยมีหน้าที่การทำงานของแต่ละขาดังต่อไปนี้คือ ขา 1 ต่อกราวด์ ขา 2 ต่อไฟ +5 โวลต์ ขา 3 ต่อตัวต้านปรับค่าได้แบบโพเทนชิโอมิเตอร์ เพื่อปรับความเข้มและความสว่าง ขา 4, 5 และ 6 ใช้ต่อสัญญาณควบคุมซึ่งในที่นี้จะใช้พอร์ต 3 ของ 8051 เป็นตัวควบคุม ส่วนบัสข้อมูล (DATA BUS) ที่ขา 7 ถึงขา 14 จะต่อกับพอร์ต 1 ของ 8051 เพื่ออ่านและเขียนข้อมูลลงไปยังโมดูล LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นนอกจากจะต้องให้วงจรทำงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วในด้านการติดต่อกับผู้ใช้เป็นเรื่องสำคัญด้วย จอ LCD เป็นอุปกรณ์ที่แสดงผลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ควรจะศึกษาเอาไว้

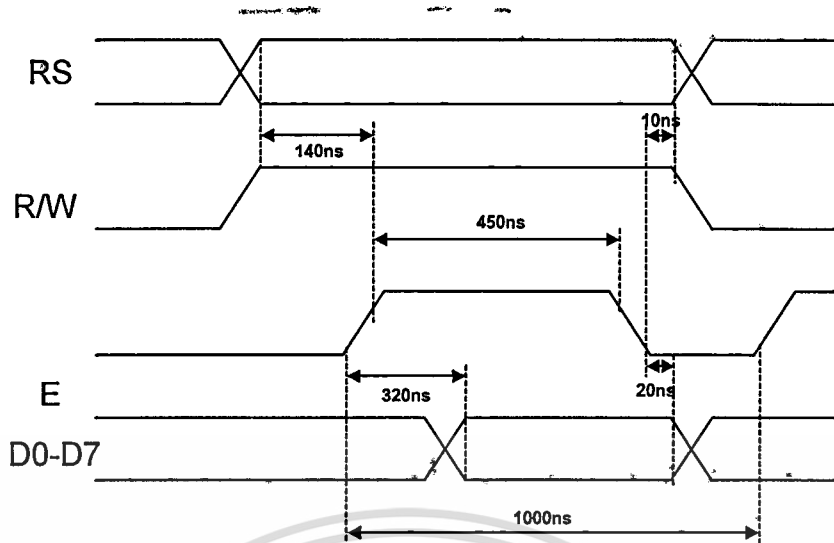


รูปที่ 2.14 แสดงการเชื่อมต่อวงจร LCD



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 2.15 แสดง Timing diagram ของ LCD

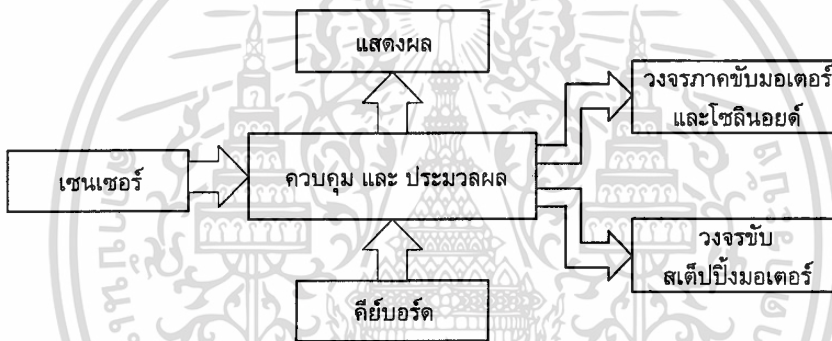
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโรงงาน

3.1 โครงสร้างของระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโรงงาน

โรงงานชิ้นนี้ประกอบไปด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลาย ๆ ส่วน ซึ่งในแต่ละส่วนก็จะมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรและการถูกนำไปใช้งาน แต่ในทุกๆ ส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นระบบจะต้องทำงานให้สัมพันธ์ และสอดคล้องกันจึงจะสามารถทำให้โรงงานสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ โครงสร้างแสดงส่วนประกอบของระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถพิจารณาได้ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับ โรงงาน

การทำงานเริ่มจากเมื่อมีสัญญาณป้อนให้กับหน่วยประมวลผลกลางซึ่งสัญญาณนี้อาจจะมาจากเซนเซอร์หรือมาจากคีย์บอร์ด สัญญาณดังกล่าวจะถูกประมวลผลโดยหน่วยประมวลผลกลาง ต่อจากนั้นค่าต่าง ๆ ที่ได้มาจากหน่วยประมวลผลกลาง ถ้าเป็นระยะทาง หรือมุมก็จะถูกนำไปแสดงที่ภาคแสดงผลและจะมีสัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปควบคุมการทำงานของวงจรขับเคลื่อนให้ตัวรถสามารถเคลื่อนที่ไปได้ อาจจะเป็นการเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางต่าง ๆ หรือเป็นการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง หรือแม้กระทั่งสั่งให้ตัวรถหยุดการเคลื่อนที่ ส่วนในวงจรขับเคลื่อนสตีปิ้งมอเตอร์นั้น จะทำงานสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ไปของตัวรถบนฐานเวลาเดียวกันและสิ่งที่วงจรขับเคลื่อนสตีปิ้งมอเตอร์ต้องทำงานประสานกับหน่วยประมวลผลกลางก็คือ ก่อนที่จะทำการเริ่มเคลื่อนที่ในทุกครั้งมอเตอร์จะต้องหมุนมาอยู่ ณ จุดเริ่มต้นทุกครั้งแล้วจึงจะการทำงานในขั้นถัดไปได้ ใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทำงานปลีกย่อยต่าง ๆ ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนประกอบของวงจร สามารถพิจารณาได้จากหัวข้อต่อไปซึ่งเป็นการอธิบายถึงการทำงานของวงจรและแสดงส่วนประกอบของวงจรที่ใช้ในโครงการงานชิ้นนี้

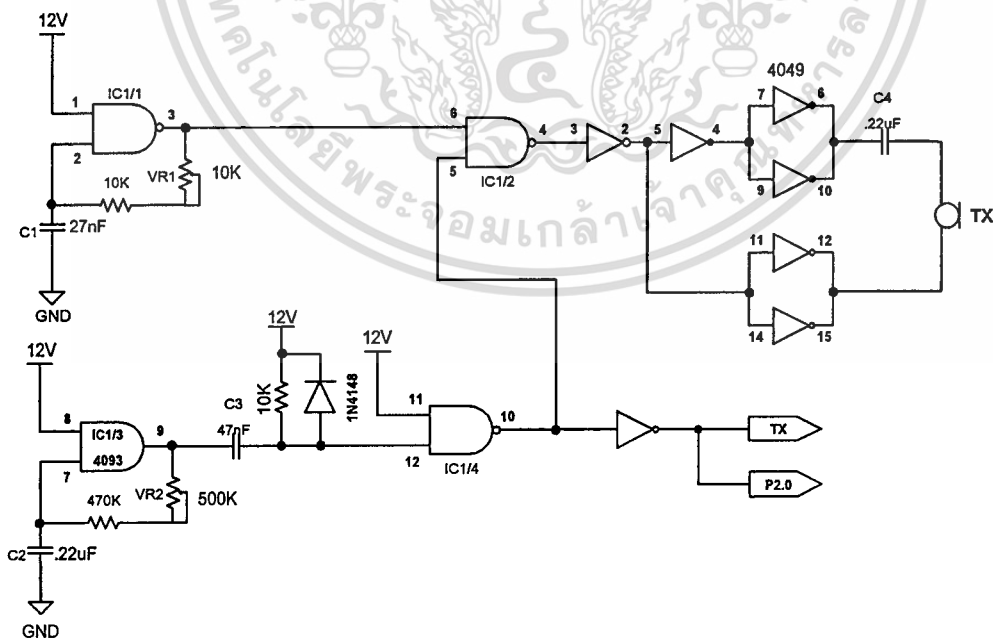
3.2 วงจรภาคส่ง – ภาครับ คลื่นอัลตราโซนิค

วงจรภาคส่งและภาครับสัญญาณเป็นหัวใจสำคัญของระบบนำวิถีเพราะจะมีหน้าที่ในการส่งและการรับคลื่นสัญญาณ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นดวงตา ซึ่งถ้าเกิดมีการทำงานผิดพลาดขึ้นในส่วนนี้แน่นอนที่สุดว่า จะต้องเกิดความล้มเหลวในการนำร่องให้กับรถไฟฟ้าอย่างแน่นอน

การทำงานของวงจรภาคส่งและภาครับสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

ภาคส่งคลื่นสัญญาณทำหน้าที่ในการกำเนิดคลื่นสัญญาณซึ่งในที่นี้ก็คือ คลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 40 KHz ซึ่งจะเป็นความถี่ที่ตัวส่ง (อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ : TX) สามารถทำงานได้ดีที่สุด หมายความว่าแอมพลิจูดที่วัดได้ที่ตัวส่งมีค่าสูงที่สุด จึงทำให้การส่งคลื่นสามารถส่งได้ไกลยิ่งขึ้นนั่นเอง สามารถพิจารณาส่วนประกอบวงจรได้จากรูปที่ 3.2



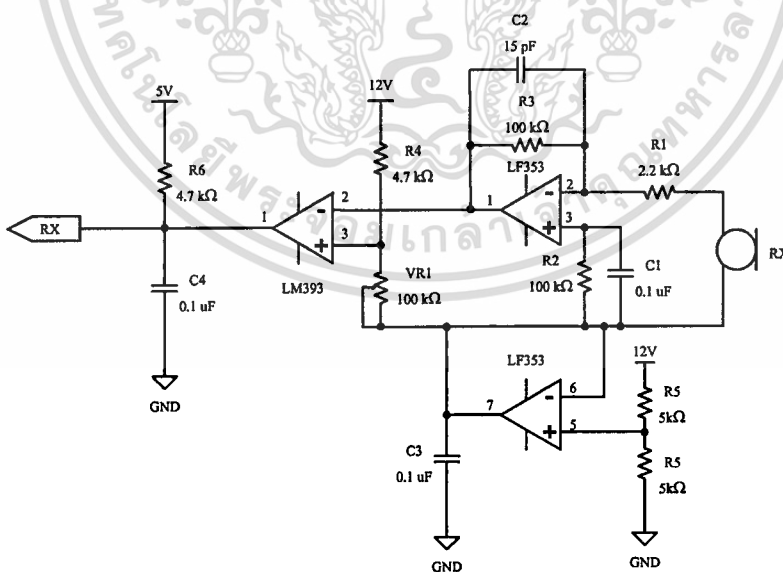
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิคเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรเริ่มจาก IC1/1 ร่วมกับ VR1 R1 และ C1 เป็นตัวกำเนิดความถี่ 40 KHz และมี VR2 R2 และ C2 ทำงานร่วมกันเพื่อกำเนิดความถี่ 4Hz แล้วนำเอาสัญญาณความถี่ที่ทั้งสองมาผสมกันโดยผ่าน IC1/2 สัญญาณที่ได้ออกมาที่ขา 4 ของ IC1/2 จะเป็นสัญญาณที่อยู่ในลักษณะของความถี่สูงรวมอยู่บนความถี่ต่ำ สัญญาณดังกล่าวจะถูกนำไปผ่าน IC2 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Buffer ช่วยให้สัญญาณที่ได้เป็นขนาดสองเท่าของแรงดันไฟเลี้ยง ซึ่งในที่นี้จะมีแรงดันขนาด 24 โวลต์ สัญญาณที่ได้ดังกล่าวทางด้านบวกจะผ่านตัวเก็บประจุค่าหนึ่งซึ่งมีค่าประมาณ .22 μF ซึ่งจะให้ค่าความต้านทานประมาณ 18 โอห์มที่ความถี่ ประมาณ 40KHz ทำหน้าที่ในการกันแรงดันไฟตรงที่จะผ่านเข้าไปทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับตัวทรานซิสเตอร์

ดังนั้นแรงดันที่ได้ดังกล่าวจะตกคร่อมอยู่ที่ตัวส่งทำให้เกิดการส่งคลื่นที่มีความถี่เท่ากับ ความถี่ของสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวส่งออกมาอย่างมีทิศทาง ซึ่งคลื่นความถี่ดังกล่าวจะไปตกกระทบกับวัตถุใด ๆ ที่อยู่ในรัศมีของคลื่น เมื่อคลื่นตกกระทบก็จะมีคลื่นสะท้อนกลับมายังตัวรับ

3.2.2 ภาครับคลื่นอัลตราโซนิก

ภาครับคลื่นทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่ได้รับมาเป็นแรงดันแล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ซึ่งสามารถพิจารณาจาวงจรภาครับคลื่นได้จากรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรมีสามารถอธิบายได้ดังนี้ โดยเริ่มจากเมื่อมีสัญญาณคลื่นมาตกกระทบกับตัวรับ (RX) ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดแรงดันค่าน้อย ๆ อยู่ในระดับมิลลิโวลต์ (mV) ขึ้นที่ขั้วของตัวรับ ค่าแรงดันดังกล่าวจะถูกขยายโดย IC3 (LF353) ทำให้แรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับโวลต์ (V) แรงดันดังกล่าวจะถูกนำไปผ่านวงจรคอมพาราเตอร์อีกครั้งเพื่อเป็นการกลับเฟสของสัญญาณ และเพื่อเป็นการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นเท่ากับขนาดของไฟเลี้ยง สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของวงจรมคอมพาราเตอร์ยังคงเป็นลักษณะของสัญญาณความถี่สูงรวมมากับบนสัญญาณความถี่ต่ำ สุดท้ายสามารถที่จะกำจัดสัญญาณความถี่สูงได้ โดยนำสัญญาณดังกล่าวมาผ่านวงจรแถบความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งประกอบไปด้วย C 0.1uF และ R 4.7k สัญญาณที่ได้จะเหลือเฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำซึ่งมีค่าประมาณ 4 Hz จะถูกส่งไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปประมวลผลและควบคุมต่อไป

3.3 วงจรสเต็ปปีงมอเตอร์

ภาคขับเคลื่อนมอเตอร์เป็นวงจรส่วนสำคัญ ที่จะไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ โดยเฉพาะมอเตอร์ที่เป็นสเต็ปปีงมอเตอร์ (stepping motor) นั้น การควบคุมการหมุนจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะซับซ้อนอยู่พอสมควร เราสามารถที่จะออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ได้หลายๆ แบบ และมีวงจรรวม (Integrate circuit) หลายๆ เบอร์ เช่น L297A ซึ่งทำงานร่วมกับ L298N เป็นต้น ส่วนในโครงการนี้จะเลือกใช้ IC เบอร์ UCN 5804 B ข้อดีคือสามารถออกแบบวงจรได้ง่าย สะดวกแก่การใช้งาน และประสิทธิภาพสูง ข้อเสียคือ ราคาค่อนข้างสูง และต้องอาศัยวงจรมานำสัญญาณนาฬิกาจากข้างนอก สามารถพิจารณาการทำงานของวงจรได้ดังนี้

3.3.1 การทำงานของวงจร

วงจรมบูรณะของการควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 วงจรก็ประกอบได้หลายส่วนประกอบหรือหลายส่วนที่เกี่ยวข้องและต้องต่อร่วมกับไอซีขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวเก่งคือ UCN5804B ที่ภายในตัวไอซีนี้ประกอบรวมเอาส่วนของทรานซิลิเตอร์เพาเวอร์ไว้ภายในตัวเสร็จสรรพทำให้สะดวกสบายในวงจรประกอบด้วยส่วนสวิทช์ควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์, ชุด LED แสดงผลการทำงานในแต่ละเฟส, ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาฐานเวลาควบคุมความเร็ว, แหล่งจ่ายไฟและไอซีขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ด้วยส่วนประกอบเหล่านี้จึงทำให้สามารถที่จะควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ให้หมุนได้อย่างต่อเนื่องหรือแบบเป็นสเต็ปทั้งแบบหมุนเร็วและแบบหมุนช้า นอกจากนั้นแล้วยังควบคุมทิศทางหมุนได้ทั้งหมดตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาได้ นอกจากนี้สวิทช์ควบคุมยังทำการควบคุมรูปแบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ด้วยพร้อมกับการหยุดหมุนโดยขณะที่ทำงานอยู่ได้คล้ายกับเป็นการเบรก

แบบการขับทางเอาต์พุท โดยดูได้จากตารางรูปแบบการขับซึ่งการควบคุมในส่วนนี้จะป็นหน้าที่ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะส่งค่าควบคุมผ่านมาทางพอร์ท P0.0 และ P0.1 ส่วน LED₁- LED₄ ที่ต่อ อยู่ทางเอาต์พุทของแต่ละเอาต์พุทนั้นจะเป็นตัวแสดงผลการขับของแต่ละเอาต์-พุท โดยเมื่อเอาต์พุทใด ถูกขับขณะนั้น LED ที่ประจำอยู่แต่ละเอาต์พุท นั้นก็จะติดสว่างด้วย โดยมี R₆ เป็นตัวจำกัดกระแสให้กับ LED ที่ตำแหน่ง +VIN สำหรับมอเตอร์นั้นสามารถรับได้สูงสุด 35 โวลท์ 1.25 แอมป์แบบต่อเนื่อง จึงสามารถขับสเต็ปป์มอเตอร์ได้หลายขนาดและการใช้งานกว้างขึ้น ในตำแหน่งของ VR1 นั้นหาก ต้องการค่าอัตราการหมุนที่ช้าที่สุดก็สามารถเปลี่ยนค่า VR1 เป็นค่า 5-10 MΩ ได้

ขา 15 ของ IC₂ เป็นขาควบคุมการหมุนในลักษณะหมุนหรือหยุดหมุน (ON หรือ OFF) โดยคำสั่งจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนสวิทช์ S₃ เป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์ (หมุนซ้าย หรือขวา) แต่สำหรับการใช้สวิทช์ S₁ และ S₂ เป็นการควบคุมที่ขา 9 และ 10 ของ IC₂ เป็นการเลือกรูปแบบการขับเอาต์พุท โดยดูตามรูปที่ 3.4 ให้ ซึ่งต้องทำการเซตตำแหน่งสวิทช์ตามต้องการให้หมุน โดยเลือกได้ทั้งที่ละสเต็ป, หนึ่งเฟส, สองเฟสหรือเป็นการเบรค(หยุดหมุนในขณะที่ทำการขับออกทางเอาต์พุทที่ตำแหน่งเฟสใดเฟสหนึ่งของมอเตอร์ในนี้กำหนดไว้ที่เฟสของขดลวดA) ในการเบรคจังหวะนี้จะทำให้แกนมอเตอร์ไม่เกิดการลื่น ไถลหรือหมุนด้วยมือเปล่าได้ต่างจากการหยุดหมุนที่ไม่มีการขับออกทางเอาต์พุทเพราะสามารถที่จะหมุนแกนมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ได้ด้วยมือเปล่า

LED₁-LED₄ ที่ต่ออยู่ทางเอาต์พุทนั้นจะเป็นตัวแสดงผลการขับของแต่ละเอาต์พุท โดยเมื่อเอาต์พุทใดถูกขับขณะนั้น LED ที่ประจำอยู่ในขณะนั้นก็จะติดแสงสว่างด้วย โดยมี R₁ เป็นตัวจำกัดกระแสให้กับ LED ส่วนตัวต้านทาน R₅ และ R₆ เป็นตัวต้านทานจำกัดกระแสให้มอเตอร์เรียกว่าตัวต้านทาน “ บัลลาสต์” (ballast resistors) จะช่วยป้องกันการ ทำงานหนักเกินไปของมอเตอร์ในแต่ละขดเมื่อบางครั้งยังไม่มีการขับหรือในกรณีเกิดการเบรคก็จะทำให้ขดใดขดหนึ่งถูกขับด้วยและอาจเกิดความร้อนขึ้นสูงเกินได้หากขับด้วยค่ากระแสที่สูงๆ โดยปกติตัวต้านทานนี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 20-60 โอห์ม ขนาดตั้งแต่ 5 วัตต์ ขึ้นไป และยังช่วยลดค่ากระแสเพื่อป้องกันมอเตอร์โดยจะเป็นสัดส่วนกันของความเร็วในการหมุนกับอัตราการเดินกำลังงานตัวต้านทานนี้ก็จะทำให้เกิดการแบ่งแรงดันกันระหว่างตัวต้านทานกับขดลวดของมอเตอร์และจะทำให้เกิดการหน่วงขึ้นในขดลวดมอเตอร์ซึ่งเป็นค่า LR ไทม์-คอนสแตนต์ เมื่อค่าตัวต้านทานเพิ่มขึ้นค่าเวลาคงที่ก็จะลดลง โดยปกติค่าเวลาคงที่ที่ขดลวดของมอเตอร์จะประมาณ 50 มิลลิวินาทีหรือ 10 มิลลิวินาที โดยเมื่อคิดตาม “กฎของเลนซ์” (Lenz's)

ที่ตำแหน่ง +V_{in} สำหรับมอเตอร์นั้นสามารถรับได้สูงสุด 35 โวลท์ 1.25 แอมป์แบบต่อเนื่อง จึงสามารถต่อขับสเต็ปเปอร์ ได้หลายขนาดและการใช้งานกว้างขึ้น ในตำแหน่งของ VR₁ นั้นหาก

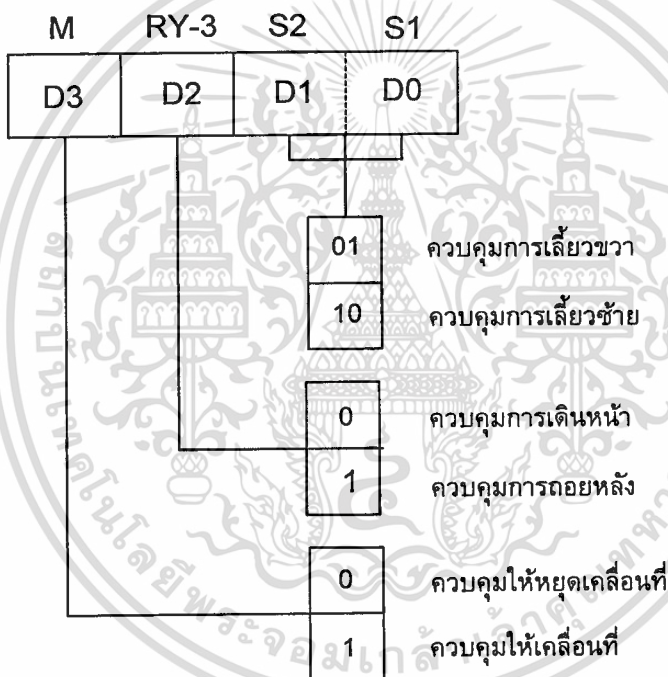
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการค่าอัตราการผลิตที่ช้าที่สุดสามารถเปลี่ยนค่า VR₁ เป็นค่า 5-10 เมกะโอห์มได้ ส่วน IC₃ เป็น Regulate 5 โวลต์ สำหรับเลี้ยงภายในวงจร

3.4 วงจรขับมอเตอร์และโซลินอยด์

จากการที่ออกแบบโครงสร้าง ของตัวรถให้มีระบบขับเคลื่อนโดยอาศัยมอเตอร์ DC 12 V และใช้โซลินอยด์เป็นตัวควบคุมให้เกิดการเคลื่อนและเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับโปรแกรมในการควบคุมระบบการเคลื่อนที่ของตัวรถ จึงต้องอาศัยข้อมูลดิจิทัล ขนาด 4 บิต เพื่อการควบคุมการทำงานของตัวรถดังนี้



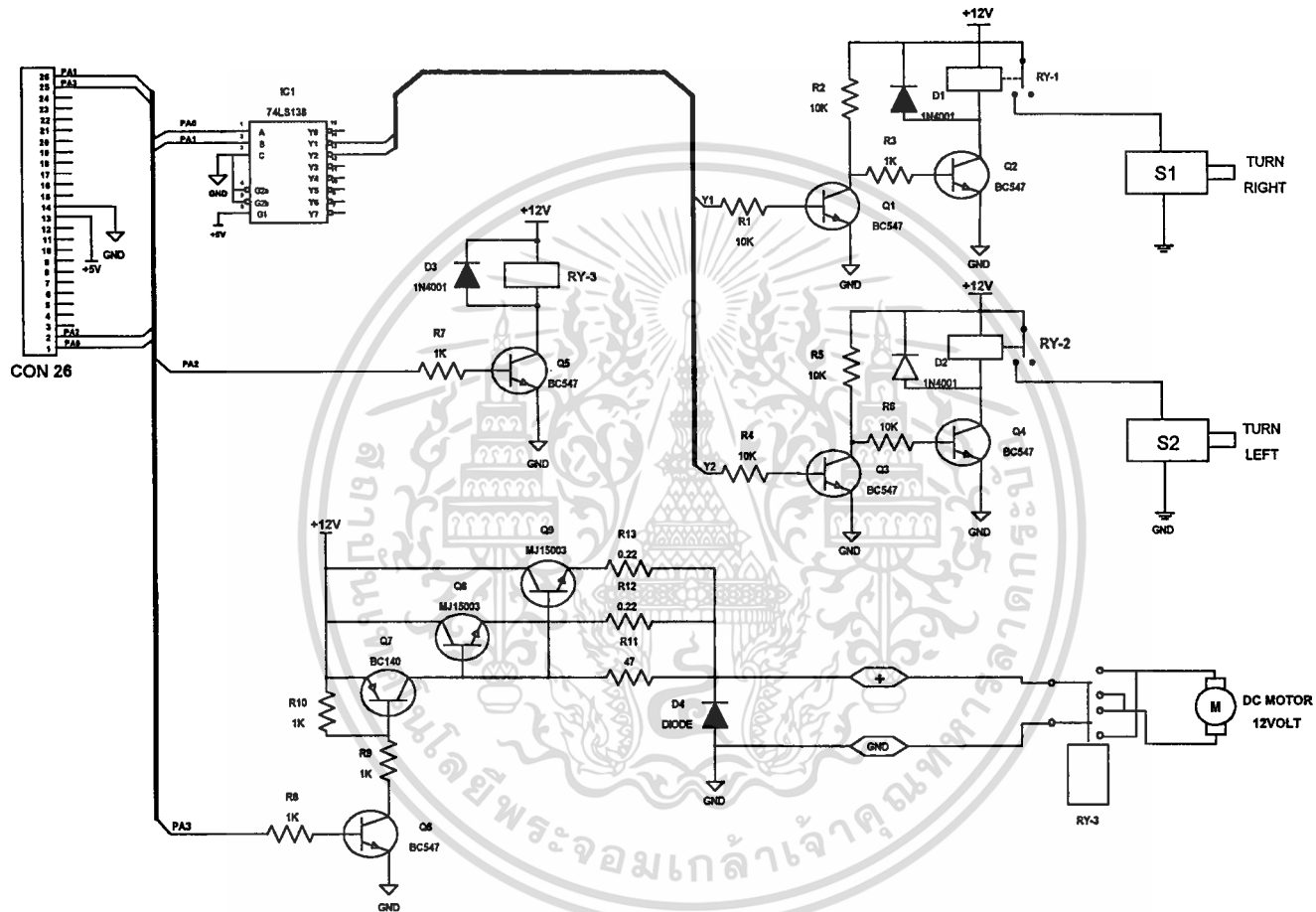
รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบคำสั่งการควบคุมการเคลื่อนที่

จากรูปแบบคำสั่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

-บิต D1 และ D0 เป็นบิตควบคุมโซลินอยด์ เพื่อให้เกิดการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา ซึ่งหาก D1=D0 จะไม่เป็นคำสั่งใช้งาน

-บิต D2 เป็นบิตควบคุมรีเลย์ที่ทำหน้าที่สลับขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อเป็นตัวกำหนดการหมุนมอเตอร์ไปทางด้านหรือหมุนถอยหลัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรภาคขับมอเตอร์และโซลินอยด์

-บิต D3 เป็นบิตควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ทำงานและหยุดการทำงานหรือให้มอเตอร์หมุนช้าหรือเร็ว โดยสัญญาณอินพุตที่บิตเป็นพัลส์จากรูปแบบคำสั่งที่ได้ สามารถนำมาออกแบบเป็นวงจรสมบูรณที่ที่ได้ดังรูป

จากวงจรรูปที่ 3.6 สามารถอธิบายการทำงานได้โดยเริ่มจากสัญญาณคำสั่งขนาด 4 บิต จะถูกส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้พอร์ท PA ตำแหน่งบิตที่ PA_0 – PA_7 และ PA_1 เทียบเป็น D_0 – D_7 ตามลำดับเพื่อควบคุมส่วนต่าง ๆ ซึ่งเริ่มจาก PA_0 ถึง PA_7 เป็นสัญญาณอินพุตให้ IC decoder 74LS138 ทำการถอดรหัสให้โซลินอยด์ S_1 ทำงานให้เกิดคำสั่งลิ้วขวาเมื่ออินพุต PO_0 และ PO_1 เป็นลอจิก “1” และ “0” ตามลำดับ ซึ่งจะได้สัญญาณ ลอจิก “0” Y_1 และทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำหน้าที่กลับแรงดันลอจิกเป็น “1” เพื่อให้ขั้วทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงานนำกระแสให้ Relay-1 ทำงานเป็นผลให้มีกระแสไหลผ่านโซลินอยด์ S_1

และจากการทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่ออินพุต PA_0 และ PA_1 เป็นลอจิก “0” และ ลอ-จิก “1” จะทำให้โซลินอยด์ S_2 ทำงานเกิดเป็นคำสั่งในการลิ้วซ้าย และหาก PA_0 และ PA_7 มีระดับลอจิก นอกเหนือจากทั้ง 2 กรณีนี้แล้ว โซลินอยด์ทั้งสองจะไม่ทำงาน

สัญญาณ PA_2 จะเป็นสัญญาณควบคุมให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเมื่อมีลอจิก “1” เพื่อให้ Relay-3 ทำงานสลับขั้วของมอเตอร์เพื่อให้เกิดการเตรียมพร้อมในการเดินหน้าหรือถอยหลัง

สัญญาณ PA_3 เป็นสัญญาณควบคุมทางเดินของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟของมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานโดยอาศัยลอจิก “1” ควบคุมให้ Q_6 นำกระแสให้ Q_6 Q_7 และ Q_8 นำกระแสไปสู่มอเตอร์ โดยมีแรงดันที่คร่อม R_{11} ทำให้ Q_8 Q_9 นำกระแสในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

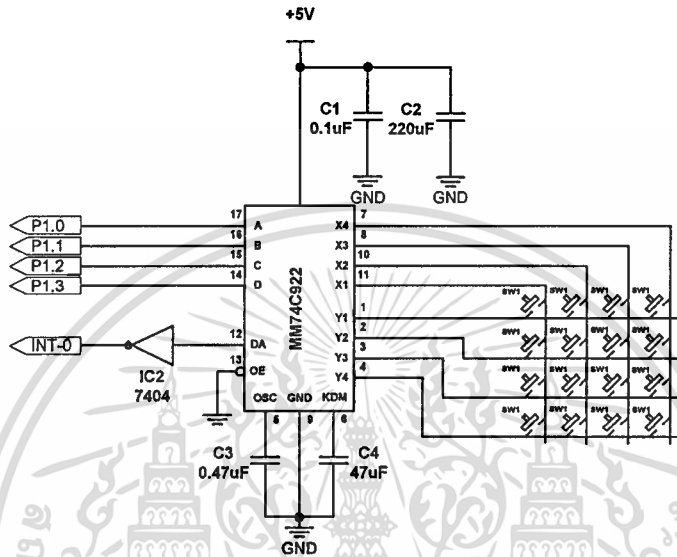
* หมายเหตุ เมื่อให้ PA_0 และ PA_1 มีลอจิกเป็น “01” และ “10” ตัวรถจะไม่เคลื่อนที่จนกว่าสัญญาณที่ PA_3 จะเป็นลอจิก “1”

3.5 วงจรภาค KEY BOARD & INTERRUPT

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการรับข้อมูลจากหลายแหล่งข้อมูล ภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปประมวลผลการทำงานตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้และในโครงการนี้ แหล่งข้อมูลที่ป้อนให้แก่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์คือคีย์บอร์ดและสัญญาณที่มีมาจากวงจรรับคลื่นอัลตราโซนิก สามารถพิจารณาวงจรของภาคคีย์บอร์ดได้จากรูปที่ 3.7

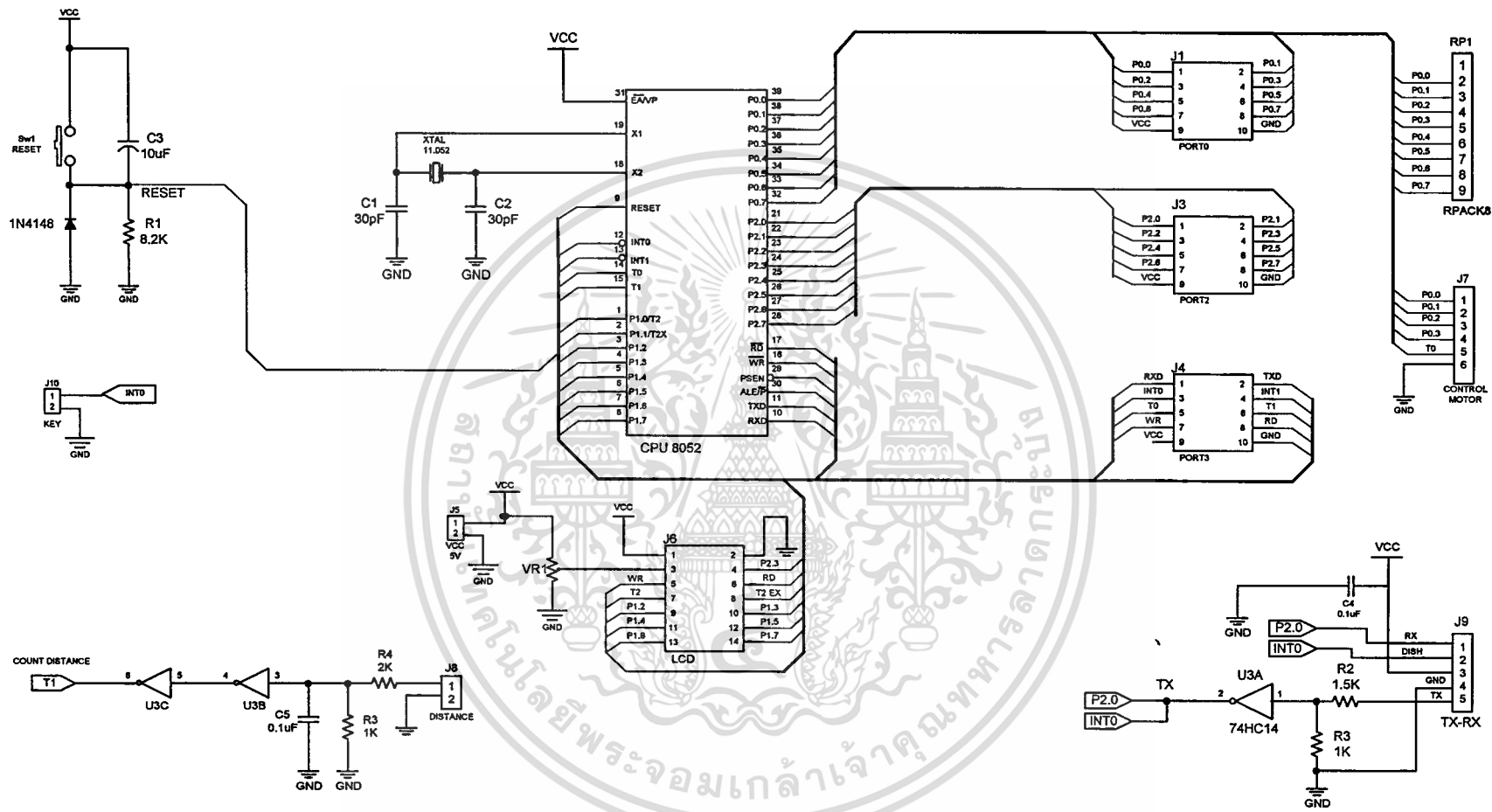
จากวงจรในส่วนของแหล่งข้อมูลจากการกดสวิตช์ SW_0 – SW_{15} อาศัย IC MM74C922 ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเข้าใหม่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การถอดรหัสข้อมูล ขนาด 4 บิตเข้าที่พอร์ท P1.0 – P1.3 และทุกการกดสวิตช์ตัวใด ๆ IC นี้จะสร้างเมื่อกำลังไฟขึ้นที่ขั้ว VCC และถ้าขั้ว GND ไม่ดีต้องอย่างอื่นของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

สัญญาณ Interrupt นี้ผ่าน IC₂ ซึ่งเป็น NOT GATE เป็นสัญญาณ INTO ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทราบว่าได้มีการกดสวิทช์แล้วจากวงจร Key board เพื่อการทำงานที่สอดคล้องกัน



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรภาค Key board & Interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรประมวลผลและความคุม

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบของโครงการ

4.1 ก่อนการประกอบระบบอิเล็กทรอนิกส์ของสแกนเนอร์เข้ากับตัวรถได้ทำการทดสอบการทำงานและลักษณะสำคัญของโครงการดังนี้

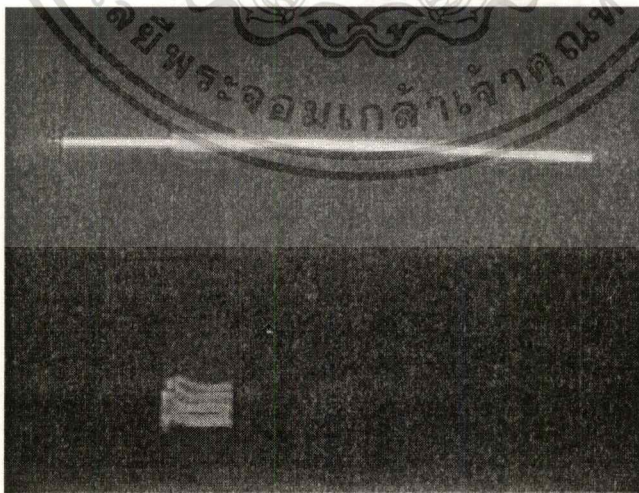
4.1.1 การวัดสัญญาณ

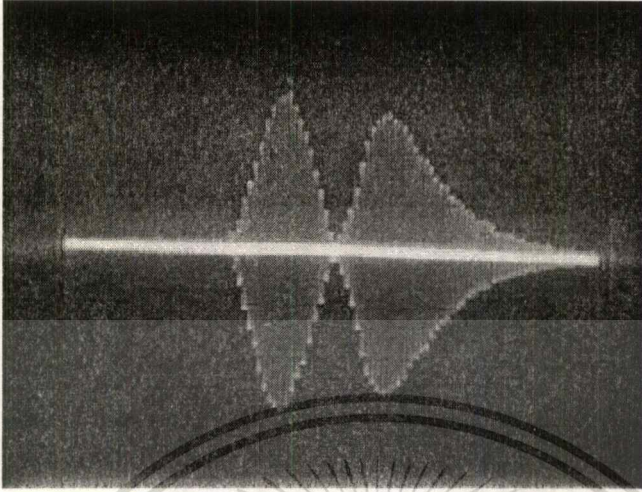
อุปกรณ์

- Oscilloscope Tektronic TDS 360
- Digital Camera
- Power supply 12 Vdc , 5Vdc
- วัสดุผิวเรียบ

การทดสอบ

- ป้อนไฟเลี้ยงแก่วงจร
- ตั้งระยะห่างจากทรานสดิวเซอร์ถึงวัสดุผิวเรียบ ประมาณ 1 เมตร
- ปรับ VR₁ (10K) เพื่อเปลี่ยนความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่จะส่งให้ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวส่งและตัวรับ โดยใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณที่ตัวรับและตัวส่งสัญญาณ
- บันทึกรูปสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ





รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ภาครับ (วัดที่ขั้วของตัวรับ)

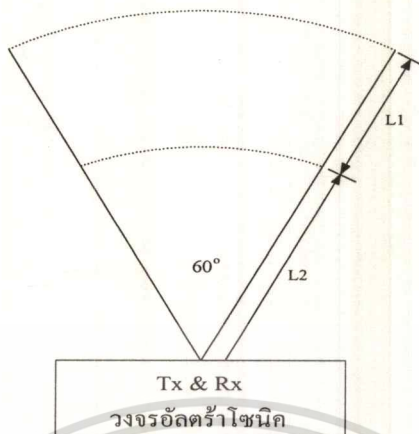


รูปที่ 4.3 แสดงความต่างของเวลาดั้งแต่เริ่มส่งจนกระทั่งได้รับสัญญาณ

4.1.2 การวัดมุมและระยะทางในการตรวจจับวัตถุ

- การทดลองทำโดยให้ชุดส่งและชุดรับคลื่นอัลตราโซนิกอยู่กับที่ และเคลื่อนย้ายวัตถุจากชุดตัวรับ-ส่ง ในระยะทางและมุมต่างๆ กัน และวัดแรงดันที่ขา 1 ของ IC เบอร์ LM353 หากตรวจพบวัตถุจะสามารถวัดแรงดันได้เท่ากับ +12V ซึ่งได้บริเวณในการตรวจพบวัตถุดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงมุมและระยะทางในการตรวจพบวัตถุ

L2 เป็นระยะทางที่สามารถตรวจพบวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

L1 เป็นระยะทางที่สามารถตรวจพบวัตถุได้แต่ประสิทธิภาพลดลง

ระยะทางจริง (cm)	ระยะทางที่วัดได้ (cm)	ระยะทางที่ผิดพลาด (cm)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
20	20	0	0.000
30	30	0	0.000
50	49	1	2.000
70	71	1	1.428
90	89	1	1.111
100	101	1	1.000
120	121	1	0.833
150	148	2	1.333
180	182	2	1.111
200	197	3	0.500
210	205	5	2.380
240	230	10	4.166
260	250	10	3.846
280	265	15	5.357
300	280	20	6.666

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางที่ 4.1 แสดงความผิดพลาดของระยะทางที่วัดได้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงระยะทางและมุมของคลื่นอัลตราโซนิก
เมื่อถูกนำมาติดตั้งจริงบนรถไฟฟ้า

4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของตัวรถด้วยโปรแกรมควบคุมการทำงาน

4.2.1 การทดสอบโดยใช้โปรแกรมกำหนดเส้นทาง

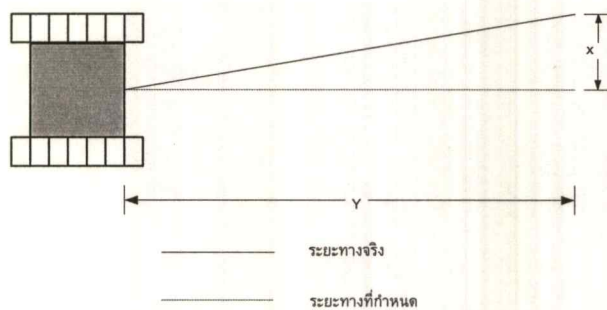
- เขียนโปรแกรมการทำงาน โดยกำหนดชื่อไฟล์เป็น MANUAL.ASM
- แปลงไฟล์ MANUAL.ASM เป็น MANUAL.HEX โดยใช้โปรแกรม SXA51 โดยพิมพ์ SXA51 MANUAL.ASM
- โหลด MANUAL.HEX ลงใน EPROM EMULATOR
- ประกอบ EPROM EMULATOR กับไมโครคอนโทรลเลอร์
- ต่อระบบควบคุมต่าง ๆ กับตัวรถต้นแบบ
- เปิดสวิทช์เครื่องและกำหนดเส้นทางเพื่อบันทึกผลดังนี้

การทดลอง

ก) ความผิดพลาดของระยะทางและแนวทางการเคลื่อนที่

- ป้อนข้อมูลเส้นทางเพื่อให้ตัวรถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงระยะทาง 10 เมตร ดังนี้
บรรทัดที่ 1 FRONT X = 10 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงแนวทางการเคลื่อนที่

ผลการทดลอง

การทดลอง ครั้งที่	ระยะทาง X	เปอร์เซ็นต์ (%)	ระยะทาง Y	θ องศา
	เมตร	ผิดพลาด		
1	9.98	0.2	0.16	0.91
2	10	0	0.15	0.859
3	9.99	0.1	0.16	0.91
4	9.975	0.25	0.18	1.03
5	9.99	0.1	0.16	0.91
ค่าเฉลี่ย	9.987	0.13	0.162	0.923

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวรถ

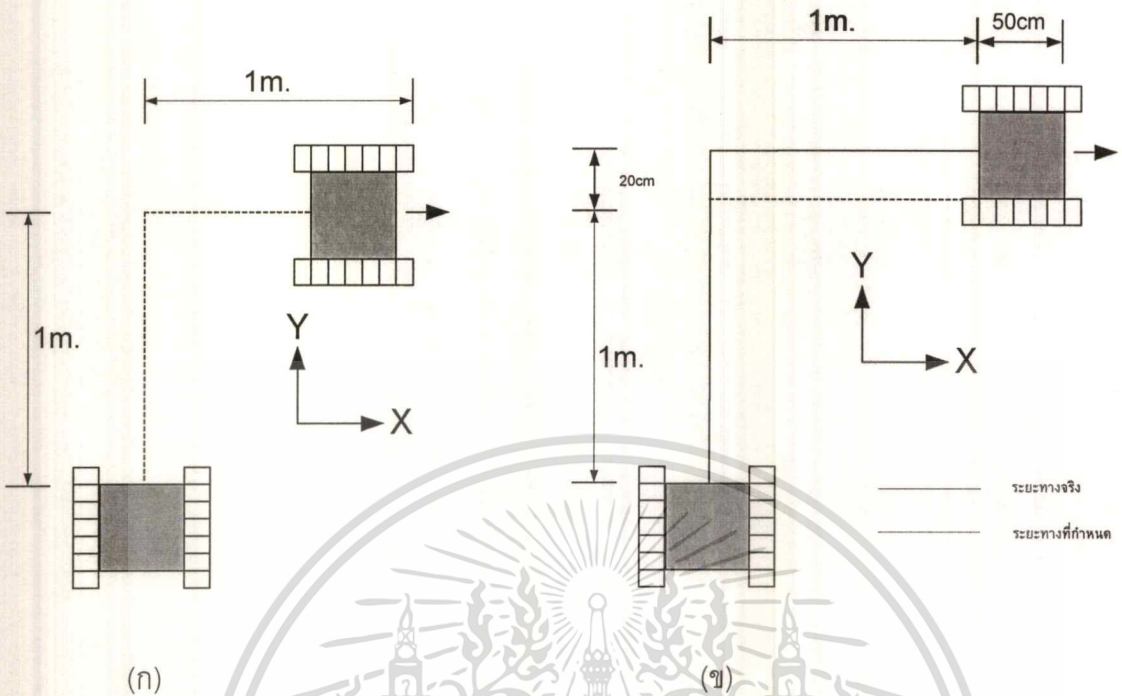
- เปอร์เซนต์ผิดพลาดของระยะทางการเคลื่อนที่เป็น 0.13%
- มุมผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็น 0.923 องศา

ข) ความผิดพลาดของระยะทางที่เกิดจากการเลี้ยว

- ป้อนข้อมูลของเส้นทางการเคลื่อนที่ เพื่อให้ตัวรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า 1 เมตร แล้วเลี้ยวขวาและเดินต่อเป็นระยะทาง 1 เมตร เพื่อทดสอบตำแหน่งของตัวรถ

บรรทัดที่ FRONT X = 1 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
RIGHT X = 1 m.
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการเคลื่อนที่ของตัวรถ

- (ก) เส้นทางและเป้าหมายที่กำหนด
- (ข) เส้นทางที่เคลื่อนที่จริง

ผลการทดลอง

- ผลที่ได้จากให้รถเคลื่อนที่ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จะมีค่าผิดพลาดไปจากที่กำหนดไว้ดัง

รูปที่ 4.7 (ข)

จากรูปมีค่าผิดพลาด	ทางแกน X ประมาณ	50 cm
ค่าผิดพลาด	ทางแกน Y ประมาณ	20 cm

4.3 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่

อุปกรณ์

- นาฬิกาจับเวลา
- ตลับเมตรใช้วัดระยะทาง

การทดลอง

- กำหนดระยะทาง 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 - บังคับให้รถเคลื่อนที่ในระยะทางที่กำหนด พร้อมทั้งจับเวลาในการเคลื่อนที่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดลอง

- ในระยะทาง 10 เมตรใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 60.6 วินาที นำมาคำนวณเป็นความเร็วของการเคลื่อนที่ เท่ากับ 594 เมตร/ชม.

4.4 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกในการเคลื่อนที่

อุปกรณ์

- ลูกตุ้มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม จำนวน 10 ลูก

การทดลอง

- ใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 1 ลูก
- วัดความเร็วในการเคลื่อนที่และบันทึกผลการทดลอง
- ทำการเพิ่มน้ำหนัก แล้ววัดความเร็วในการเคลื่อนที่ใหม่จนครบ 10 ลูก

ผลการทดลอง

- แม้จะทำการเพิ่มน้ำหนักจนครบ 30 กิโลกรัม (10 ลูก) ความเร็วในการเคลื่อนที่ก็ไม่ลดลง คือยังคงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ 594 เมตร/ชั่วโมง

4.5 การทดสอบการขึ้นพื้นที่ลาดเอียง

อุปกรณ์

- พื้นที่ลาดเอียง 15, 30 และ 45 องศา (การทดลองในครั้งนี้จะใช้พื้นปูนซีเมนต์)

การทดลอง

- บังคับรถให้เคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นที่ลาดเอียง ที่มีความชัน 15 องศา
- วัดความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่
- ทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนพื้นที่ลาดเอียงเป็น 30 และ 45 องศา ตามลำดับ

ผลการทดลอง

- พื้นที่ลาดเอียงที่ความชัน 15 องศา และ 30 องศา ตัวรถยังคงสามารถรักษาความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ได้ตรง และมีความเร็วเท่ากับ 594 เมตร/ชั่วโมง
- พื้นที่ลาดเอียงที่ความชัน 45 องศา ตัวรถไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ เนื่องจากน้ำหนักของตัวรถ ทำให้ตัวรถลื่นไถล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

อุปกรณ์

- มิเตอร์ SUNWA YX-361TR
- ตัวต้านทาน 0.055 โอห์ม 20 วัตต์ (ขนานตัวต้านทาน 0.22 โอห์ม 5 วัตต์ จำนวน 4 ตัว)

การทดลอง

- ทำการต่ออนุกรมตัวต้านทาน 0.055 โอห์ม 20 วัตต์ เข้ากับ DC MOTOR ซึ่งเป็นตัวต้นกำลัง
- วัดแรงดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน 0.055 โอห์ม พร้อมกับคำนวณค่ากระแสที่ไหลผ่านและบันทึกผล
- ทำการทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวต้านทานไปอนุกรมกับโซลินอยด์

ผลการทดลอง

อุปกรณ์	แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน 0.055 โอห์ม (V)	กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ (A)	กำลังตกคร่อมตัวอุปกรณ์ (W)
มอเตอร์ DC 12 V	0.2	3.7	44.4
โซลินอยด์	1.32	24	288
วงจรควบคุมการทำงาน	0.021	0.363	5.77

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า

หาเวลาการใช้งานเฉลี่ยต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

แบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นแบตเตอรี่ขนาด 12 V 45Ah

ระยะเวลาที่ใช้งานนานที่สุดคิดจากกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ปริมาณกระแสจากแบตเตอรี่ / ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ = $(45/3.7) = 12.16$ ชม.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ใช้งานสั้นที่สุดคิดจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ทั้งหมดที่ได้ทำการทดลองวัดมาแล้ว

- ปริมาณกระแสในแบตเตอรี่ / ปริมาณกระแสรวมทั้งหมด = $(45/28.063) = 1.6$ ชม.

ระยะเวลาใช้งานเฉลี่ย $(12.16 + 1.6)/2 = 6.88$ ชม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ปัญหา สาเหตุและแนวทางแก้ไข

5.1 การส่ง-รับ คลื่นไม่ตรงตำแหน่งเดิม

เป็นปัญหาที่สำคัญมากเพราะว่าเมื่อคลื่นถูกส่งไปไม่ซ้ำในตำแหน่งเดิมของการหมุนแต่ละรอบแต่โปรแกรมได้ได้กำหนดจำนวนครั้งของการส่งและมุมของการส่งที่แน่นอนอยู่แล้ว ดังนั้นจะทำให้ตัวรถทำงานผิดพลาดเมื่อเกิดการไม่สอดคล้องระหว่างตัวโปรแกรมและตัวข้อมูลที่ป้อนให้



รูปที่ 5.1 แสดงมุมของการรับ-ส่งคลื่นอัลตราโซนิก

สาเหตุ

- เกิดมาจากสเต็ปปีงมอเตอร์ที่นำมาใช้ไม่เหมาะสมทั้งเรื่องของแรงดันไฟตรงที่ใช้และแรงบิด (ทอร์ค)
- เกิดมาจากฐานเวลาของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์กับฐานเวลาของภาคประมวลผลและควบคุมเป็นคนละฐานเวลา

แนวทางการแก้ไข

- เปลี่ยนสเต็ปปีงมอเตอร์ให้มีแรงดันไฟตรงที่ต้องการสอดคล้องกับแรงดันไฟตรงที่สามารถจ่ายให้ได้ และจะทำให้ได้แรงบิดที่ดีด้วยสำหรับโครงการชิ้นนี้ใช้ +12Vdc
- กำหนดฐานเวลาของทั้งวงจรทั้งหมดให้เป็นฐานเวลาเดียวกัน
- เพิ่มวงจรตรวจจับตำแหน่งเริ่มต้นให้กับตัวสแกนสัญญาณเพื่อจะให้ทราบตำแหน่งการส่งจริงกับตำแหน่งในโปรแกรมตรงกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 เกิดมวบอดในการรับส่งสัญญาณ

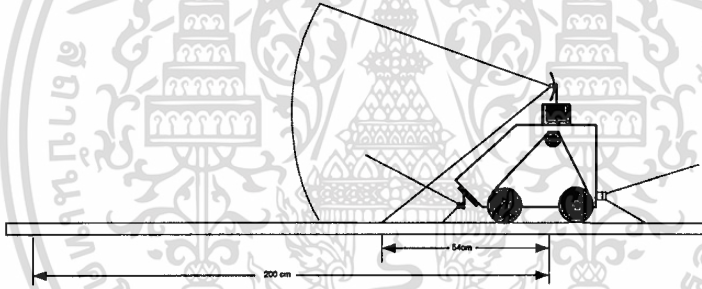
เป็นปัญหาในกรณีที่วัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำมากๆ หรือ พื้นที่ข้างหน้าหรือข้างหลังเป็นที่ต่ำและแบนไค

สาเหตุ

- เกิดจากในโครงการนี้มีตรวจจับสัญญาณเพียงชุดเดียวและยังถูกติดตั้งอยู่ในที่สูง
- การปรับมุมของตัวตรวจจับสัญญาณเป็นไปได้อย่างจำกัด

แนวทางการแก้ไข

- เพิ่มวงจรตรวจจับสัญญาณที่บริเวณด้านล่างและด้านหลังของตัวรถเพื่อคอยตรวจสอบพื้นที่ด้านล่างและวัตถุกีดขวาง
- ทำฐานรองของตัวสแกนสัญญาณให้สูงขึ้นเพื่อจะได้สามารถปรับมุมการรับสัญญาณได้มากขึ้น



รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งของตัวตรวจจับสัญญาณที่ได้เพิ่มเติมเข้าไป

5.3 ความผิดพลาดที่เกิดจากพลังงานของแบตเตอรี่ลดลง

ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อสั่งให้รถทำงานไปสักระยะหนึ่ง พบว่าจะเกิดความผิดพลาดในการเลี้ยวเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

สาเหตุ

- เนื่องจากในโครงการนี้ได้ใช้โซลินอยด์ของรถยนต์เป็นตัวบังคับเลี้ยวและปลด คลัทช์ ซึ่งจะกินกระแสประมาณ 24 A ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานอย่างมากต่อการเลี้ยวของตัวรถในแต่ละครั้ง
- เกิดการลัดวงจรระหว่างแบตเตอรี่กับ โครงสร้างของตัวรถทำให้โซลินอยด์กินกระแสอยู่

ตลอดเวลาจึงเกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการแก้ไข

- หมั่นชาร์ตแบตเตอรี่ให้มีพลังงานพอใช้ตลอดเวลา และไม่ควรรีบบatteryที่หมดอายุการใช้งาน
- ทำการปรับปรุงโดยใช้โซลินอยด์ที่เล็กลงและกินกระแสต่ำลง
- ตรวจสอบวงจรต่างๆ รวมถึงการใช้สายไฟที่เหมาะสมกับค่ากระแสที่ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและแนวทางการพัฒนา

6.1 คุณสมบัติของโครงการ

จากการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปลักษณะคุณสมบัติของโครงการดังนี้

ความเร็วในการเคลื่อนที่	594 เมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุกในการเคลื่อนที่	30 กิโลกรัม
การเคลื่อนที่บนพื้นที่ลาดเอียง	30 องศา
กำลังงานที่ใช้ทั้งหมด	336.76 วัตต์
ระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยต่อการประจุแบตเตอรี่	6.88 ชั่วโมง
น้ำหนักของตัวรถ	21.7 กิโลกรัม
น้ำหนักของแบตเตอรี่ ขนาด 12 V 45 Ah	13 กิโลกรัม
ระยะการตรวจจับของอัลตราโซนิก	4 เมตร
ระยะการตรวจจับสัญญาณหวังผล	2 เมตร
ความผิดพลาดของระยะทางที่วัดได้ที่น้อยที่สุด	0.00 %
ความผิดพลาดของระยะทางที่วัดได้ที่มากที่สุด	6.66 %
มุมในการตรวจจับวัตถุของอัลตราโซนิก	60 องศา
การส่งและรับสัญญาณจะเกิดขึ้น	8 ครั้ง/รอบ
ระยะผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง	0.13 %
มุมการเคลื่อนที่เบี่ยงเบน	0.923 องศา

6.2 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

จากคุณสมบัติของโครงการสามารถเห็นได้ว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ค่อนข้างช้า แต่สามารถปรับปรุงให้มีความเร็วมากขึ้น โดยการเปลี่ยนเฟืองส่งกำลังที่มอเตอร์ให้มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้งานอยู่ ส่วนการรับน้ำหนักบรรทุกของตัวรถสามารถรับได้ถึง 30 กิโลกรัม และสามารถเคลื่อนที่ไปบนพื้นที่ลาดเอียงที่มีความชัน 30 องศา โดยความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่จากโครงสร้างของตัวรถจำเป็นต้องใช้โซลินอยด์ เพื่อเกิดการปลดคลัทช์สติกให้เกิดการเคลื่อนที่นั้น ใช้กระแสสูงถึง 24 แอมป์ ทำให้เกิดกำลังสูญเสีย 288 วัตต์ ทำให้ระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยมีค่าต่ำ ซึ่งถ้าใช้โซลินอยด์ที่กินกระแสเพียง 12 แอมป์ ระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 7.74 ชั่วโมง ดังนั้นถ้าสามารถหาโซลินอยด์ที่กินกระแสน้อย ๆ ก็จะสามารถทำให้ระยะเวลา

ใช้งานเฉลี่ยของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้น ในการเคลื่อนที่ของตัวรถจะมีความผิดพลาด 0.13 % และ มุมเบี่ยงเบนไป 0.923 องศา ประกอบกับระยะทางผิดพลาดที่เกิดจากการเลี้ยว ทำให้การเคลื่อนที่ของตัวรถตามที่กำหนด เพื่อให้ไปถึงเป้าหมาย เกิดความผิดพลาดทางแกน $X = 2.426\%$ และ ทางแกน $Y = 6.531\%$

ในการติดตั้งตัวตรวจจับสัญญาณบนตัวรถจะต้องคำนึงถึงมุมของตัวตรวจจับสัญญาณและต้องคำนึงถึงความสูงของการติดตั้งต้องให้พอดีกันมิฉะนั้น การตรวจวัดสัญญาณต่าง ๆ จะเกิดการผิดพลาดได้ และการกำหนดมุมตกกระทบของคลื่นอัลตราโซนิกกับพื้นนั้นจะต้องทำให้เกิดมุมกว้างที่สุดเท่าที่จะทำได้เพราะจะทำให้สามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ในตำแหน่งต่ำ ๆ ได้ดี

ปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นในขณะนี้ คือ ระบบอัตโนมัติไม่สามารถทำงานได้ เนื่องมาจากการเก็บข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดความคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดเอาไว้ในโปรแกรมควบคุมการทำงาน และยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบกึ่งอัตโนมัติเพราะตัวรถไม่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้จึงทำให้เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางเหล่านั้น แต่อย่างไรก็ดีตัวรถยังสามารถทำงานในระบบ Manual โดยการป้อนค่าระยะทางและเส้นทางในพิกัด X และพิกัด Y ได้ดีในระดับหนึ่ง

6.3 วิจารณ์

ตลอดระยะเวลาของการทำโครงการมาทั้งหมด ต้องประสบกับปัญหาต่าง ๆ เช่น การ เช่นปัญหาในการออกแบบวงจรรับส่งคลื่นสัญญาณซึ่งจะมีปัญหาใหญ่ในเรื่องของสัญญาณรบกวน ปัญหาในการทำชุดสแกนสัญญาณ ซึ่งจะมีปัญหาใหญ่ในการทำหน้าสัมผัส ปัญหาของการ sync สัญญาณระหว่างตัวตรวจจับสัญญาณกับหน่วยประมวลผลซึ่งในขณะนี้ยังคงเป็นปัญหาใหญ่ส่งผลให้ระบบการนำวิถีของตัวรถไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ในส่วนของการทำงานของระบบต่าง ๆ อยู่ในระดับเป็นที่น่าพอใจเพราะส่วนส่ง-รับสัญญาณก็สามารถทำงานได้ดี ส่วนของวงจรอื่น ๆ ก็สามารถทำงานได้อย่างดี

เนื่องการทำโครงการในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาของความเป็นไปได้ของโครงการเท่านั้น จึงต้องมีการปรับปรุงและแก้ไขอีกเป็นอย่างมาก เชื่อแน่ว่าถ้าได้รับการปรับปรุงอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง ระบบการนำวิถีด้วยระบบอัลตราโซนิกสแกนจะเป็นอีกโครงการหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อระบบอุตสาหกรรม และอื่น ๆ อีกมากมาย

6.4 แนวทางการพัฒนา

ในการพัฒนาระบบการนำวิถีของรถไฟฟ้าด้วยอัลตราโซนิกสแกนสิ่งที่จะต้องปรับปรุงต่อจากนี้ก็คือ จะต้องออกแบบการติดต่อระหว่างตัวตรวจวัดสัญญาณกับหน่วยประมวลผลให้สามารถทำงานได้สอดคล้องกันมากกว่านี้ แลเปลี่ยนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถที่จะนำไปประยุกต์ติดกล้องโทรทัศน์และระบบควบคุมด้วยสัญญาณวิทยุ ให้สามารถเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ผู้บังคับต้องการ หรือนำไปใช้ในการโปรแกรมสำหรับการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติในงานทำความสะอาด หรืออาจจะนำไปใช้เป็นรถส่งเอกสารภายในอาคารก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

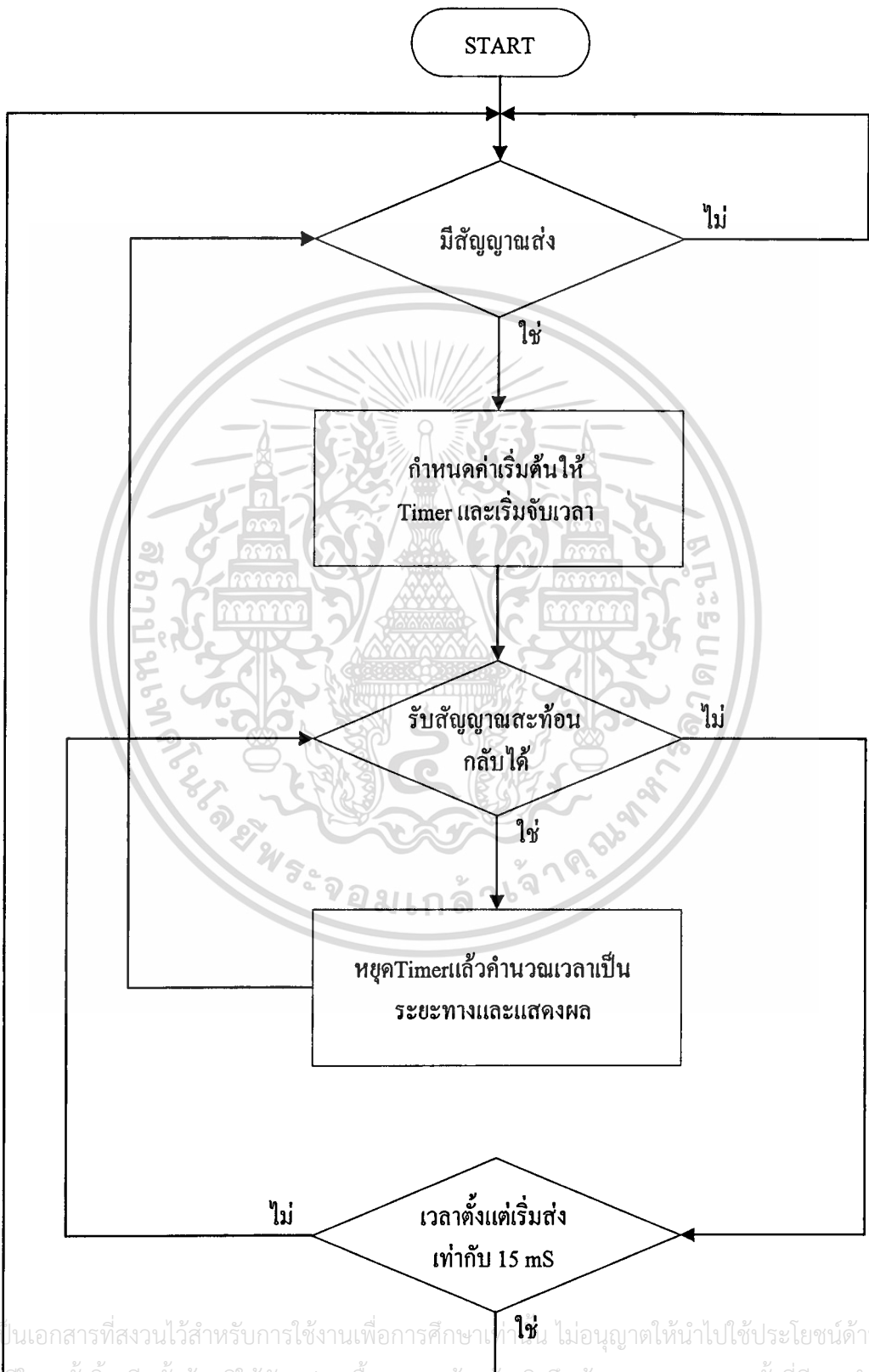
1. จิรติญฐ์ กระเช้าเพชร , ชนะ บริพนธ์มถลล, วรภิจ เต็มทอง “ รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539
2. ชีรวัดน์ ประกอบผล “ การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น)
3. โครงการงานบอร์ดควบคุม “ สเต็ปเปอร์มอเตอร์” วารสารเซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 169 , หน้า 45-49 มีนาคม 2540
4. HENRY W. OOT member of Technical staff Bell laboratories “ NOISE REDUCTION TECHNIQUE IN ELECTRONIC SYSTEMS “ A Wiley-Interscience Publication
5. ZDENKO FIGULA “ ULTRASONIC MEASUREMENT AND TECHNOLOGIES”
6. Don Lancaster , Revised by howard M.berlin “ CMOS COOKBOOK” Engineering laboratories
7. RM mastston “ MODERN CMOS CIRCUITS MANUAL” BH NEWNES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart ของโปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องวัดระยะทาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดระยะทางและมุม

ORG 0000H

LJMP MAIN

-----;

ORG 0003H

LJMP INT_0

-----;

ORG 000BH

LJMP INT_TIMER0

-----;

ORG 001BH

CLR TR1

CLR TF1

RETI

-----;

ORG 0100H

-----;

***** RAM ภายในตำแหน่ง 30H-40H ใช้เป็น Buffer สำหรับแสดงผล LCD *****

-----;

MAIN: MOV 30H,#44H

MOV 31H,#49H

MOV 32H,#53H

MOV 33H,#54H

MOV 34H,#41H

MOV 35H,#4EH

MOV 36H,#54H

MOV 37H,#20H

MOV 38H,#3DH

MOV 39H,#20H

MOV 3AH,#20H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV 3BH,#20H
MOV 3CH,#20H
MOV 3DH,#20H
MOV 3EH,#63H
MOV 3FH,#6DH
MOV 40H,#41H
MOV 41H,#4EH
MOV 42H,#47H
MOV 43H,#4CH
MOV 44H,#45H
MOV 45H,#20H
MOV 46H,#3DH
MOV 47H,#20H
MOV 48H,#20H
MOV 49H,#20H
MOV 4AH,#20H
MOV 4BH,#2EH
MOV 4CH,#20H
MOV 4DH,#64H
MOV 4EH,#65H
MOV 4FH,#67H

```

-----;

; *****ส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับ SET UP LCD*****;

----- CLEAR LCD CONTROL SIGNALS -----;

```

CLR P2.3
CLR P3.6
CLR P3.7

```

----- BEGIN INITIALIZATION BY SETTING 8 BIT INTERFACE 3 TIMES -----;

```

ACALL LCDDELAY
MOV P1,#30H
SETB P3.7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR P3.7
ACALL LCDDELAY
MOV P1,#30H
SETB P3.7
CLR P3.7
ACALL LCDDELAY
MOV P1,#30H
SETB P3.7
CLR P3.7
ACALL LCDDELAY

```

-----SET UP DISPLAY IN DESIRED CONFIGURATION-----;

```

MOV A,#38H
ACALL WRITEINST
MOV A,#0CH
ACALL WRITEINST
MOV A,#01H
ACALL WRITEINST
MOV A,#06H
ACALL WRITEINST

```

-----WRITE MESSAGE TO DISPLAY-----;

```

MOV R2,#10H
MOV A,#80H
ACALL WRITEINST
MOV R1,#30H
LCD1:
MOV A,@R1
ACALL WRITECHAR
INC R1
DJNZ R2,LCD1

```

```

MOV R2,#10H
MOV A,#0C0H
ACALL WRITEINST

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R1,#40H
LCD2: MOV A,@R1
ACALL WRITECHAR
INC R1
DJNZ R2,LCD2
LJMP MAIN1
;-----DELAY , USED IN INITIALIZATION ONLY -----;
LCDDELAY: MOV DPTR,#0000H
LOOP: INC DPTR
MOV R1,DPH
CJNE R1,#0BH,LOOP
RET
;-----WRITE A CHARACTE TO THE DISPLAY -----;
WRITECHAR: ACALL BUSYWAIT
CLR P3.6
SETB P2.3
MOV P1,A
SETB P3.7
CLR P3.7
RET
;-----WRITE AN INSTRUCTION TO THE DISPLAY -----;
WRITEINST: ACALL BUSYWAIT
CLR P3.6
CLR P2.3
MOV P1,A
SETB P3.7
CLR P3.7
RET
;-----WAIT UNTIL MODULE IS READY -----;
BUSYWAIT: MOV P1,#0FFH
CLR P2.3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB P3.6
SETB P3.7
BUSY:    JB    P1.7,BUSY
        CLR  P3.7
        RET

```

```

-----;
;**** ส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานให้ระบบต่างๆทำงานพร้อมกัน(SYNC)****;
-----;

```

```

MAIN1:   LCALL DELAY1S
        CLR  P2.7
        CLR  P0.0      ;MODE TWO PHASE
        CLR  P0.1      ;MODE TWO PHASE
        CLR  P0.3      ;CONNECT PULSE

```

```

WAITORG: JB    P2.2,WAITORG
        SETB P0.0
        SETB P0.1
        LCALL DELAY1S
        LCALL DELAY1S
        SETB EA
        SETB ET1
        SETB ET0
        SETB PT1
        SETB PT0
        SETB PX1
        SETB IT0
        SETB IT1
        MOV  TMOD,#00010101B
        MOV  TH0,#0FEH
        MOV  TL0,#70H
        CLR  TF1
        MOV  TH1,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV TL1,#00H
WAITTX: JB P2.0,WAITTX
MOV 71H,#09H
LCALL MUL16BIT
CLR P0.0
CLR P0.1
SETB TR0
SETB TR1
MOV R2,#00H
MOV R3,#0EH
WAITRX: JNB P2.1,OUT1
DJNZ R2,WAITRX
DJNZ R3,WAITRX
LJMP OUT2
OUT1: CLR TR1
LCALL DISTANT
MOV A,70H
LCALL ASCIIDIST
LCALL ASCIIANG
LCALL DISPLAY
LCALL DELAY1S
LCALL DELAY1S
OUT2: SETB EX0
S JMP $
;-----;
;*****โปรแกรมย่อยอินเตอร์รัพท์ 0 เป็นโปรแกรมหลักในการหาระยะทางและมุม*****;
;-----;
INT_0: CLR TR1
CLR TF1
MOV TH1,#00H
MOV TL1,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV 71H,#09H
LCALL MUL16BIT
SETB TR1
MOV R2,#00H
MOV R3,#0DH
WAITRE: JNB P2.1,OUT11
DJNZ R2,WAITRE
MOV A,#00H
MOV B,#00H
DIV AB
DIV AB
DJNZ R3,WAITRE
LJMP OUT22
OUT11: CLR TR1
LCALL DISTANT
MOV A,70H
LCALL ASCIIDIST
LCALL ASCIANG
LCALL DISPLAY
OUT22: RETI

```

-----;
; ***** โปรแกรมย่อยอินเทอร์รัพท์ Timer 0 ใช้สำหรับกำหนดค่ามุมในการวัด *****;
;-----;

```

INT_TIMER0: CLR TR0
CLR TF0
MOV TH0,#0FEH
MOV TL0,#70H
SETB TR0
RETI

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-----;
; *****โปรแกรมย่อยสำหรับแสดงผลบนจอ LCD *****;
-----;

DISPLAY: MOV R2,#10H
 MOV A,#80H
 LCALL WRITEINST
 MOV R1,#30H

LCD11: MOV A,@R1
 LCALL WRITECHAR
 INC R1
 DJNZ R2,LCD11

 MOV R2,#10H
 MOV A,#0C0H
 LCALL WRITEINST
 MOV R1,#40H

LCD22: MOV A,@R1
 LCALL WRITECHAR
 INC R1
 DJNZ R2,LCD22
 RET

-----;
; *****โปรแกรมย่อยใช้สำหรับคูณเลข 16 บิต เพื่อคำนวณค่ามุมในการวัดระยะทาง *****;
-----;

MUL16BIT: MOV R0,TL0
 MOV R1,TH0
 CLR C
 MOV A,R0
 SUBB A,#70H
 JNC SUBB16
 CLR C
 MOV A,#0FFH

```

SUBB A,#70H
ADD A,R0
INC A
DEC R1
SUBB16: MOV R2,A
MOV A,R1
CLR C
SUBB A,#0FEH
MOV R3,A
MOV A,R2
MOV B,71H
MUL AB
MOV 72H,A
MOV 73H,B
MOV A,R3
MOV B,71H
MUL AB
ADD A,73H
MOV 73H,A
RET

```

-----;

;โปรแกรมย่อยสำหรับเปลี่ยนเลขฐาน16 ขนาด16 บิต เป็นเลขฐาน 10 แล้วแปลงเป็นรหัส ASCII ด้วย;

-----;

```

ASCIIANG: MOV R0,#74H
MOV R1,#04H
MOV R5,#00H
MOV A,72H

```

```

CONV3: MOV B,#0AH

```

```

DIV AB

```

```

CONV1:

```

```

MOV R2,A

```

```

MOV R3,B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,73H
JZ CONV2
DEC 73H
MOV A,#0FFH
MOV B,#0AH
DIV AB
MOV R4,A
MOV A,B
INC A
ADD A,R3
MOV B,#0AH
DIV AB
CLR C
ADDC A,R4
JNC CONV4
INC R5
CLR C
ADDC A,R2
JNC CONV5
INC R5
CONV4: CLR C
ADDC A,R2
JNC CONV5
INC R5
CONV5: SJMP CONV1
CONV2: MOV @R0,B
INC R0
MOV A,R2
MOV 73H,R5
MOV R5,#00H
DJNZ R1,CONV3
MOV A,#30H
ADD A,77H
MOV 48H,A
MOV A,#30H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADD A,76H
MOV 49H,A
MOV A,#30H
ADD A,75H
MOV 4AH,A
MOV A,#30H
ADD A,74H
MOV 4CH,A
RET

```

-----;
; โปรแกรมย่อยสำหรับเปลี่ยนเลขฐาน 16 ขนาด 8 บิต เป็นเลขฐาน 10 แล้วแปลงเป็นรหัส ASCII ด้วย;
-----;

ASCIIDIST:

```

MOV R0,#00H
MOV R1,#00H
MOV R2,#00H
MOV B,#0AH
DIV AB
MOV R0,B
MOV B,#0AH
DIV AB
MOV R1,B
MOV R2,A
MOV A,#30H
ADD A,R0
MOV 3CH,A
MOV A,#30H
ADD A,R1
MOV 3BH,A
MOV A,#30H
ADD A,R2
MOV 3AH,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET

*****โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณระยะทาง*****

DISTANT: MOV A,TL1

 MOV B,#36H

 DIV AB

DIST2: MOV R0,A

 MOV R1,B

 MOV A,TH1

 JZ DIST1

 DEC TH1

 MOV A,#0FFH

 MOV B,#36H

 DIV AB

 MOV R2,A

 MOV A,B

 INC A

 ADD A,R1

 MOV B,#36H

 DIV AB

 ADD A,R2

 ADD A,R0

 SJMP DIST2

DIST1: MOV 70H,R0

 CLR C

 MOV A,R1

 SUBB A,#1BH

 JC DIST3

 INC 70H

DIST3: RET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอแนะนำให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-----;
; *****โปรแกรมย่อยสำหรับหน่วงเวลา 1วินาที*****;
-----;

```
DELAY1S:      MOV  R2,#00H  
              MOV  R3,#0AH  
              MOV  R4,#00H
```

```
DELAY1:      DJNZ R2,$  
             DJNZ R3,DELAY1  
             MOV  R3,#0AH  
             DJNZ R4,DELAY1  
             RET
```

-----;
END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LF353 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

General Description

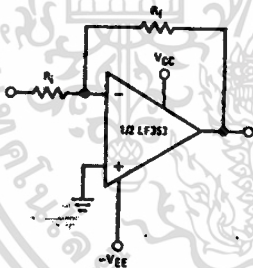
These devices are low-cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF353 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

Features

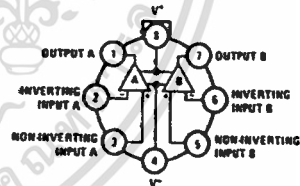
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 3.6 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion $A_V=10$, $R_L=10k$, $V_O=20V_{p-p}$, $BW=20\text{ Hz}-20\text{ kHz}$ <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



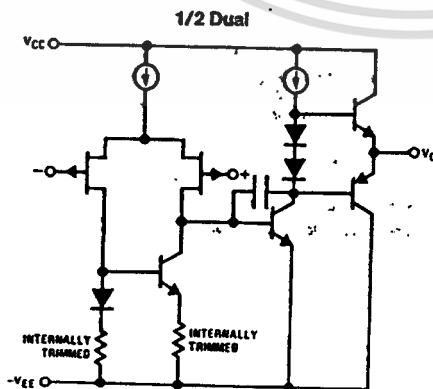
Connection Diagrams

Metal Can Package (Top View)

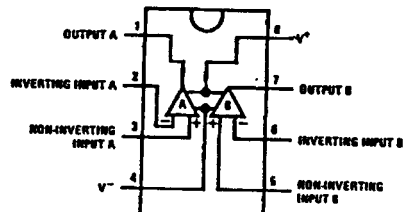


Order Number LF353H
See NS Package Number H08A

Simplified Schematic



Dual-In-Line Package (Top View)



Order Number LF353M or LF353N
See NS Package Number M08A or N08E

Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation	(Note 1)
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T _J (MAX)	150°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
ESD Tolerance (Note 7)	1700V
θ _{JA} M Package	TBD

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10kΩ, T _A = 25°C Over Temperature		5	10 13	mV mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ		10		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _J = 25°C, (Notes 4, 5) T _J ≤ 70°C		25	100 4	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _J = 25°C, (Notes 4, 5) T _J ≤ 70°C		50	200 8	pA nA
R _{IN}	Input Resistance	T _J = 25°C		10 ¹²		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ±15V, T _A = 25°C V _O = ±10V, R _L = 2 kΩ Over Temperature	25	100		V/mV V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ±15V, R _L = 10kΩ	±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S = ±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	70	100		dB
I _S	Supply Current			3.6	6.5	mA

AC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T _A = 25°C, f = 1 Hz - 20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V _S = ±15V, T _A = 25°C	8.0	13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V _S = ±15V, T _A = 25°C	2.7	4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A = 25°C, R _S = 100Ω, f = 1000 Hz		16		nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J = 25°C, f = 1000 Hz		0.01		pA/√Hz

Note 1: For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W typ junction to ambient for the N package, and 158°C/W typ junction to ambient for the H package.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: The power dissipation limit, however, cannot be exceeded.

Note 4: These specifications apply for V_S = ±15V and 0°C ≤ T_A ≤ +70°C. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at V_{CM} = 0.

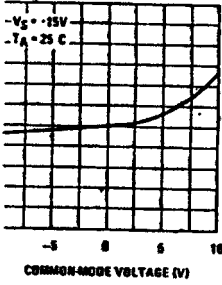
Note 5: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. T_J = T_A + θ_{JA} P_D where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 6: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. V_S = ±6V to ±15V.

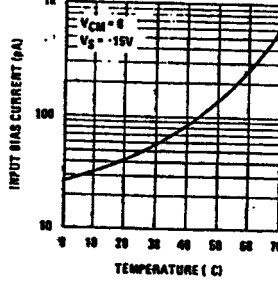
Note 7: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

Performance Characteristics

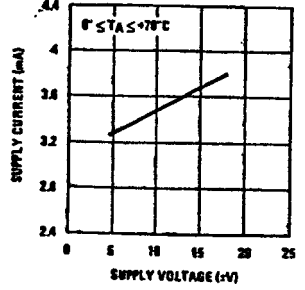
Input Bias Current



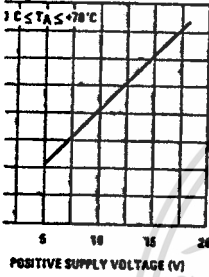
Input Bias Current



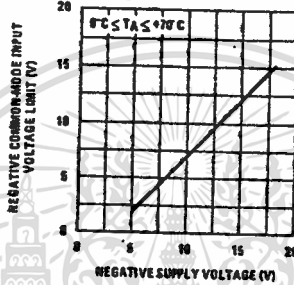
Supply Current



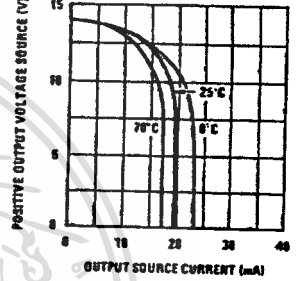
Positive Common-Mode Input Voltage Limit



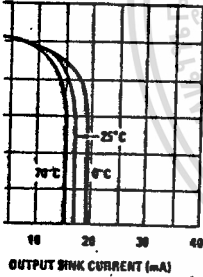
Negative Common-Mode Input Voltage Limit



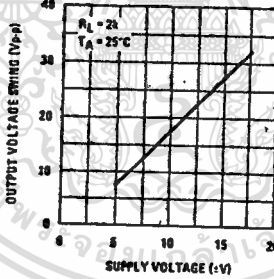
Positive Current Limit



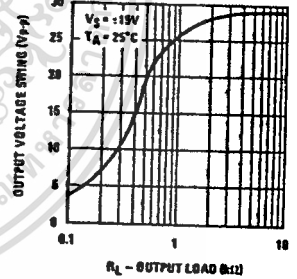
Negative Current Limit



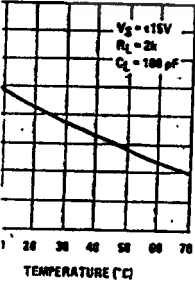
Voltage Swing



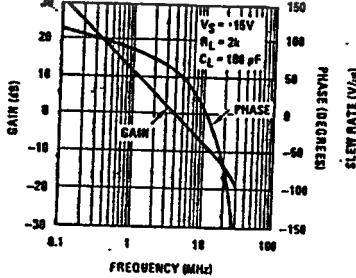
Output Voltage Swing



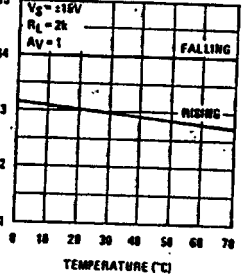
Gain Bandwidth



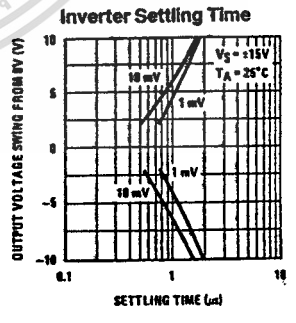
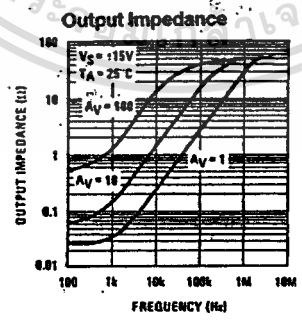
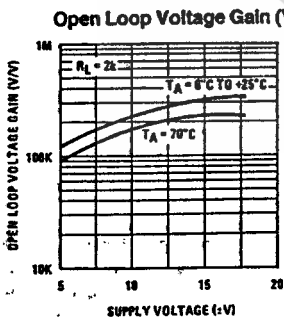
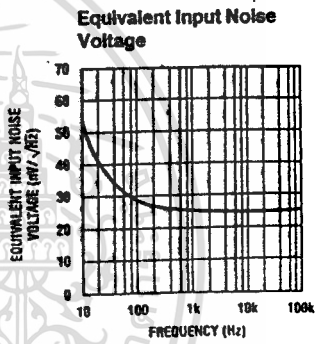
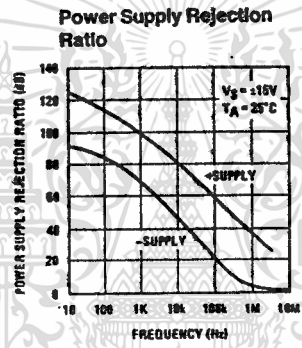
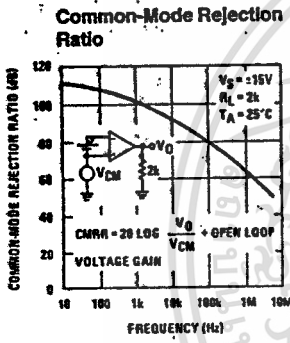
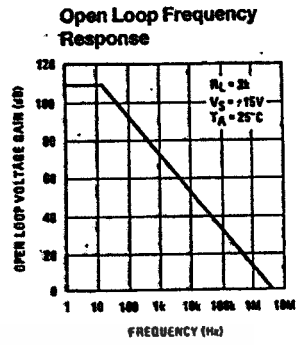
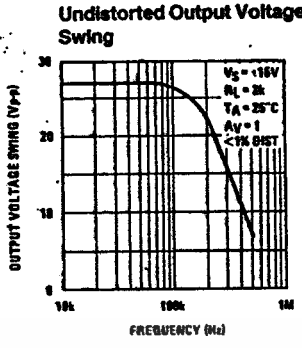
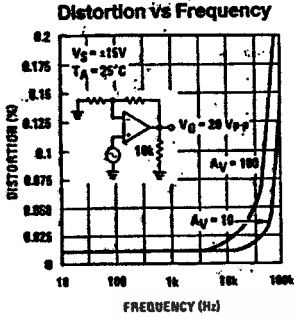
Bode Plot



Slew Rate



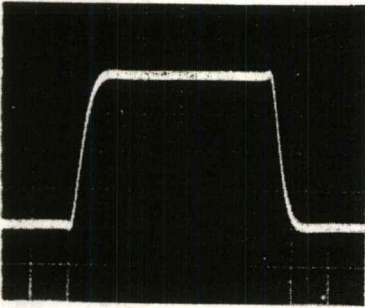
Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/5649-3

Response

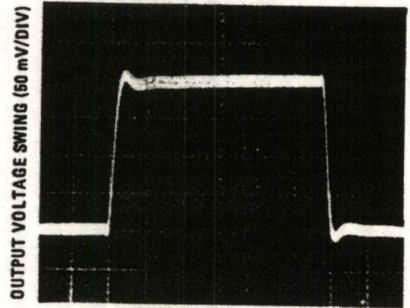
Small Signaling Inverting



TIME (0.2 μ s/DIV)

TL/H/5649-4

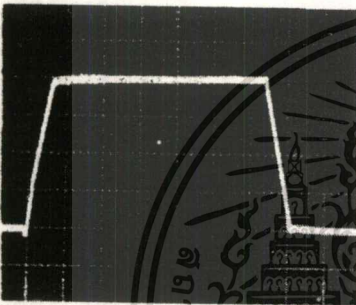
Small Signal Non-Inverting



TIME (0.2 μ s/DIV)

TL/H/5649-5

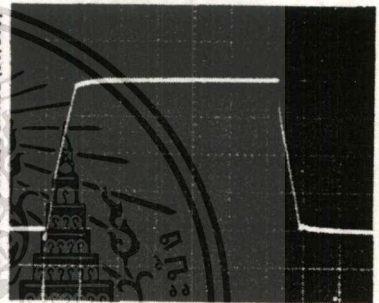
Large Signal Inverting



TIME (2 μ s/DIV)

TL/H/5649-6

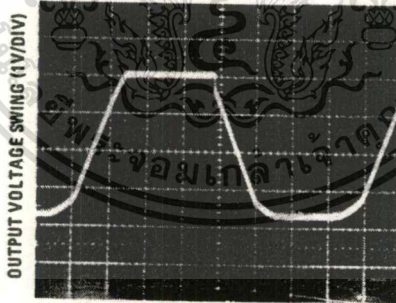
Large Signal Non-Inverting



TIME (2 μ s/DIV)

TL/H/5649-7

Current Limit ($R_L = 100\Omega$)



TIME (5 μ s/DIV)

TL/H/5649-8

Operation Hints

These are op amps with an internally trimmed input stage and JFET input devices (BI-FET II). These large reverse breakdown voltages from gate to drain eliminating the need for clamps across the source, large differential input voltages can easily be tolerated without a large increase in input current. Common differential input voltage is independent of common-mode voltages. However, neither of the input voltages should exceed the negative supply as this will cause currents to flow which can result in a destroyed

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Application Hints (Continued)

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifiers will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 5V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

Each amplifier is individually biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 6V$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The amplifiers will drive a 2 k Ω load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range of 0°C to +70°C. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

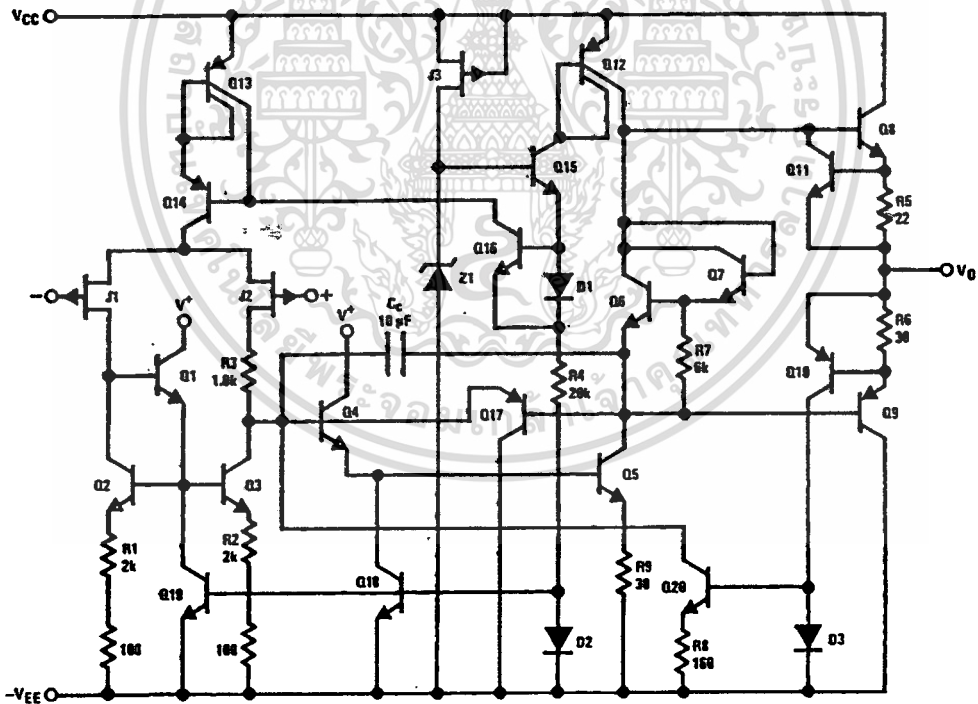
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards

in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

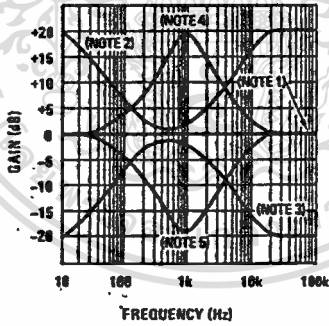
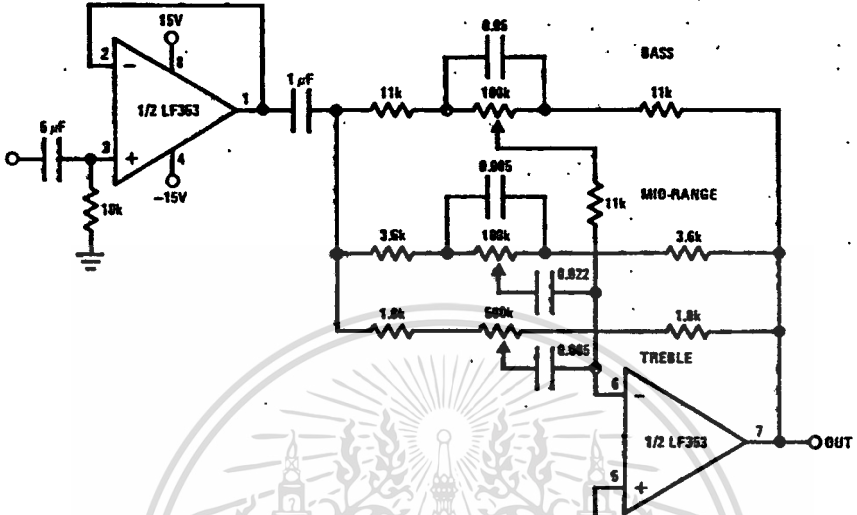
Detailed Schematic



TL/H/5649-9

Applications

Three-Band Active Tone Control



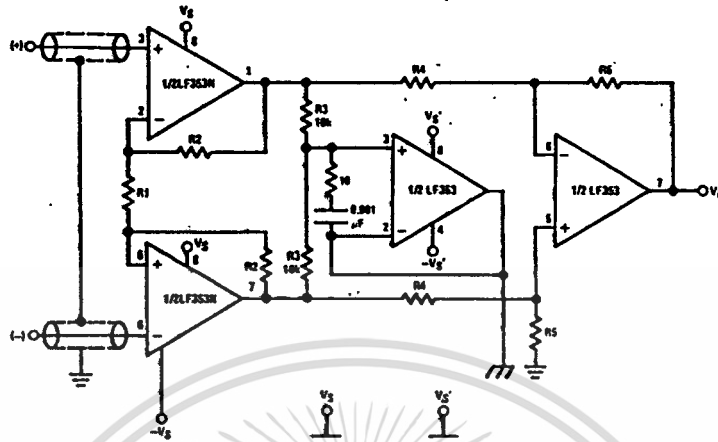
- Note 1: All controls flat.
- Note 2: Bass and treble boost, mid flat.
- Note 3: Bass and treble cut, mid flat.
- Note 4: Mid boost, bass and treble flat.
- Note 5: Mid cut, bass and treble flat.

- All potentiometers are linear taper
- Use the LF347 Quad for stereo applications

TL/H/5649-10

Typical Applications (Continued)

Improved CMRR Instrumentation Amplifier

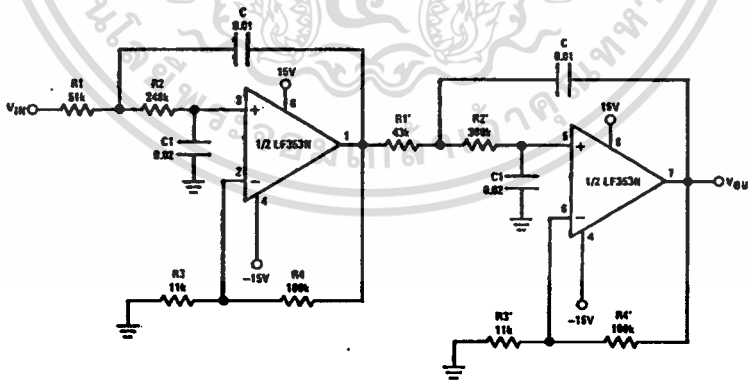


$$A_V = \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_5}{R_4}$$

m and g are separate isolated grounds
 Matching of R2's, R4's and R5's control CMRR
 With $A_{V_T} = 1400$, resistor matching = 0.01%: CMRR = 136 dB

- Very high input impedance
- Super high CMRR

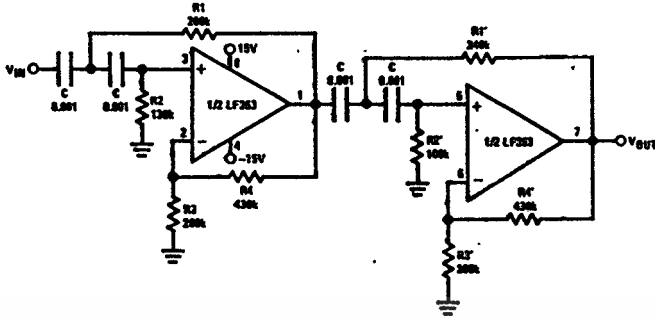
Fourth Order Low Pass Butterworth Filter



- Corner frequency (f_c) = $\sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C C_1}} \cdot \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{1}{R_1' R_2' C C_1}} \cdot \frac{1}{2\pi}$

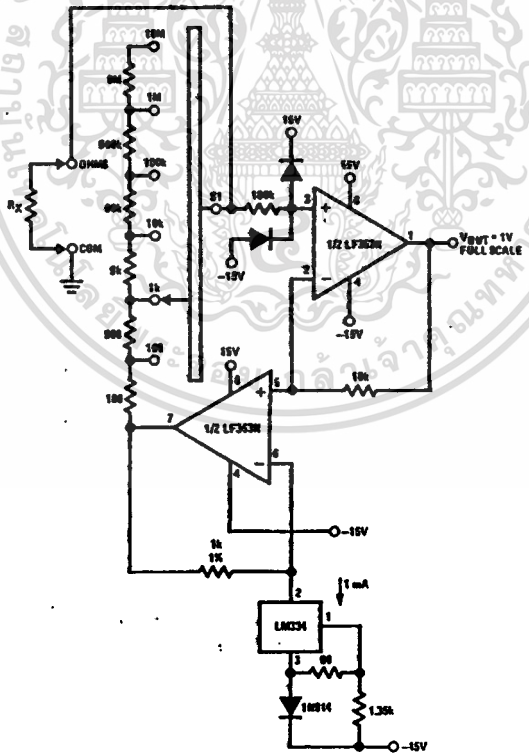
- Passband gain (H_0) = $(1 + R_4/R_3) (1 + R_4'/R_3')$
- First stage $Q = 1.31$
- Second stage $Q = 0.541$
- Circuit shown uses nearest 5% tolerance resistor values for a filter with a corner frequency of 100 Hz and a passband gain of 100
- Offset nulling necessary for accurate DC performance

Fourth Order High Pass Butterworth Filter



- Corner frequency (f_c) = $\sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C^2}} \cdot \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{1}{R_1' R_2' C'^2}} \cdot \frac{1}{2\pi}$
- Passband gain ($H_0 = (1 + R_4/R_3)(1 + R_4'/R_3')$)
- First stage Q = 1.31
- Second stage Q = 0.541
- Circuit shown uses closest 5% tolerance resistor values for a filter with a corner frequency of 1 kHz and a passband gain of 10.

Ohms to Volts Converter



$$V_O = \frac{1V}{R_{LADDER}} \times R_X$$

Where R_{LADDER} is the resistance from switch S1 pole to pin 7 of the LF353.

LM193/LM293/LM393/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

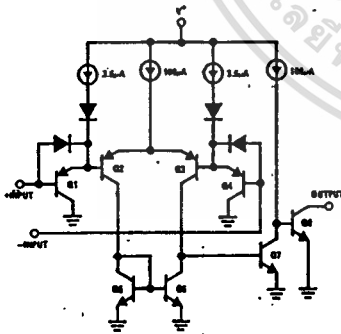
Features

- Wide supply Voltage range
single or dual supplies 2.0V to 36V
 $\pm 1.0V$ to $\pm 18V$
- Very low supply current drain (0.4 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current 25 nA
- Low input offset current and maximum offset voltage ± 5 nA
 ± 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

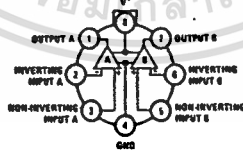
Advantages

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

Schematic and Connection Diagrams

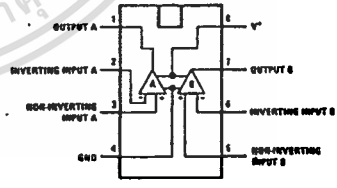


Metal Can Package



Order Number LM193H,
LH193H/883*,
LM193AH, LM193AH/883,
LM293H, LM293AH, LM393H
or LM393AH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package



Order Number LM193J/883*,
LM193AJ/883,
LM393J, LM393AJ,
LM393M, LM2903M, LM393N,
LM2903J or LM2903N
See NS Package Number J08A,
M08A or N08E

*Also available per JM38510/11202

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

Operating Temperature Range

LM393/LM393A
LM293/LM293A
LM193/LM193A
LM2903

0°C to +70°C
-25°C to +85°C
-55°C to +125°C
-40°C to +85°C
-65°C to +150°C
+260°C

Storage Temperature Range

Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)

Soldering Information

Dual-In-Line Package

Soldering (10 seconds)

Small Outline Package

Vapor Phase (60 seconds)

Infrared (15 seconds)

260°C
215°C
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 kΩ in series with 100 pF)

1300V

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

Parameter	Conditions	LM193A		LM293A, LM393A		LM193		LM293, LM393		LM2903		Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min		Typ	Max
Input Offset Voltage	(Note 9)	1.0	2.0		1.0	2.0	1.0	5.0	1.0	5.0	2.0	7.0	mV	
Input Bias Current	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)	25	100		25	250	25	100	25	250	25	250	nA	
Input Offset Current	$I_{IN}(+) - I_{IN}(-)$ $V_{CM} = 0V$	3.0	25		5.0	50	3.0	25	5.0	50	5.0	50	nA	
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	$R_L = \infty$													
	$V^+ = 5V$	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.4	1.0		mA	
	$V^+ = 36V$	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5		mA	
Voltage Gain	$R_L \geq 15 k\Omega, V^+ = 15V$ $V_O = 1V$ to 11V	50	200		50	200	50	200	50	200	25	100	V/mV	
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}, V_{REF} = 1.4V$ $V_{RL} = 5V, R_L = 5.1 k\Omega$	300			300		300		300		300		ns	
Response Time	$V_{RL} = 5V, R_L = 5.1 k\Omega$ (Note 7)	1.3			1.3		1.3		1.3		1.5		μs	
Output Sink Current	$V_{IN}(-) = 1V, V_{IN}(+) = 0, V_O \leq 1.5V$	6.0	16		6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	mA	
Saturation Voltage	$V_{IN}(-) = 1V, V_{IN}(+) = 0, I_{SINK} \leq 4 mA$	250	400		250	400	250	400	250	400	250	400	mV	
Output Leakage Current	$V_{IN}(-) = 0, V_{IN}(+) = 1V, V_O = 5V$	0.1			0.1		0.1		0.1		0.1		nA	

Electrical Characteristics ($V^+ = 5V$) (Note 4)

Parameter	Conditions	LM193A		LM293A, LM393A		LM193		LM293, LM393		LM2903		Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min		Typ	Max
Input Offset Voltage	(Note 9)			4.0		4.0		9		9		9 15	mV	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$			100		150		100		150		50 200	nA	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)			300		400		300		400		200 500	nA	
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	V
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, I_{SINK} \leq 4 mA$			700		700		700		700		400 700	mV	
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 30V$			1.0		1.0		1.0		1.0		1.0	μA	
Differential Input Voltage	Keep All $V_{IN}'s \geq 0V$ (or V^- , if Used), (Note 8)			36		36		36		36		36	V	

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 $-0.3V$.

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 36V 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.

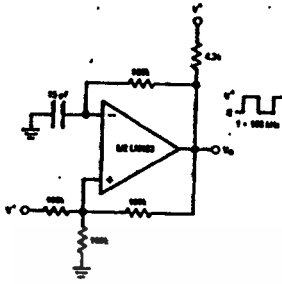
Note 8: Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than $-0.3V$ (or 0.3V below the magnitude of the negative power supply, if used).

Note 9: At output switch point, $V_O = 1.4V, R_B = 0\Omega$ with V^+ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to $V^+ - 1.5V$), at 25°C.

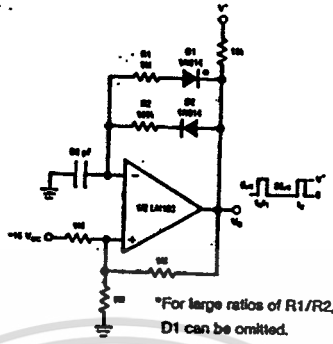
Note 10: Refer to RETS193AX for LM193AH military specifications and to RETS193X for LM193H military specifications.

Typical Applications (Continued)

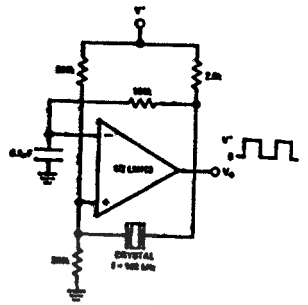
Squarewave Oscillator



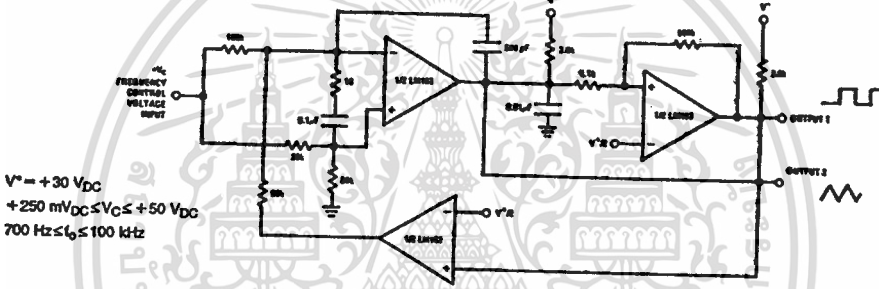
Pulse Generator



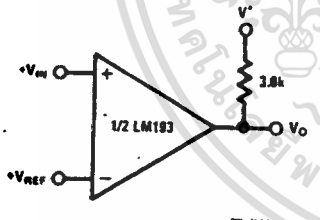
Crystal Controlled Oscillator



Two-Decade High-Frequency VCO

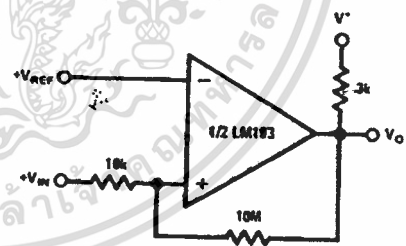


Basic Comparator



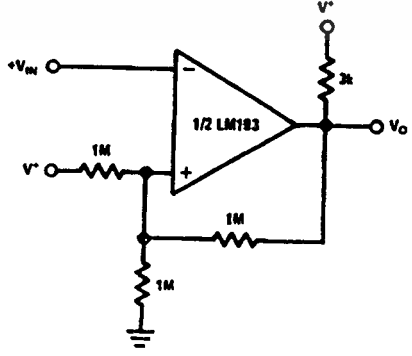
TL/H/5700-6

Non-Inverting Comparator with Hysteresis



TL/H/5700-5

Inverting Comparator with Hysteresis

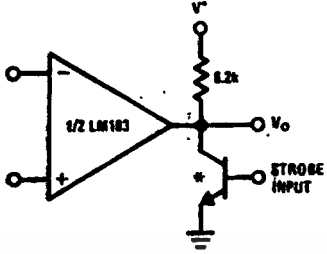


TL/H/5700-9

TL/H/5700-10

Typical Applications (Continued)

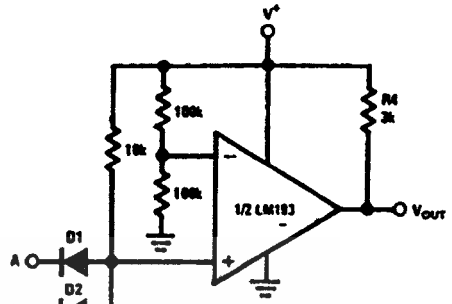
Output Strobing



OR LOGIC GATE WITHOUT PULL-UP RESISTOR

TL/H/5709-11

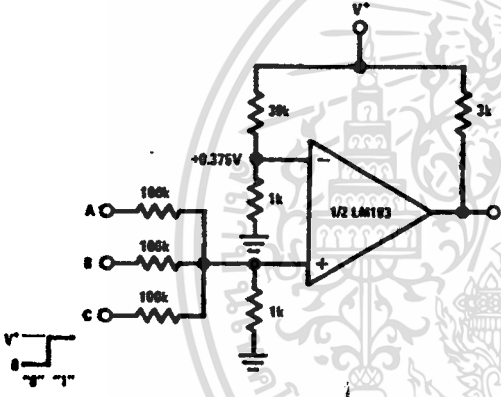
Large Fan-In AND Gate



ALL DIODES 1N914

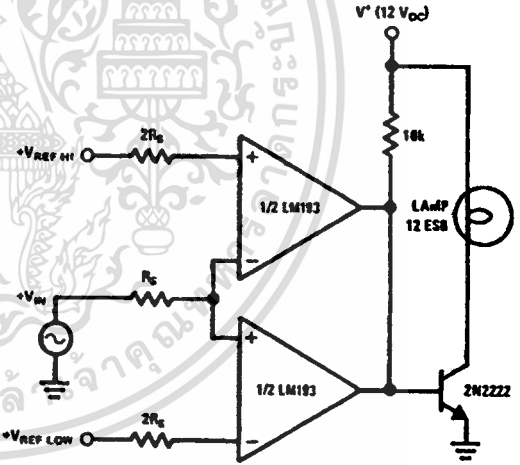
TL/H/5709-14

AND Gate



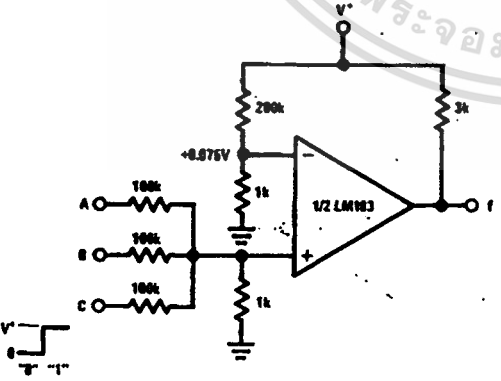
TL/H/5709-12

Limit Comparator



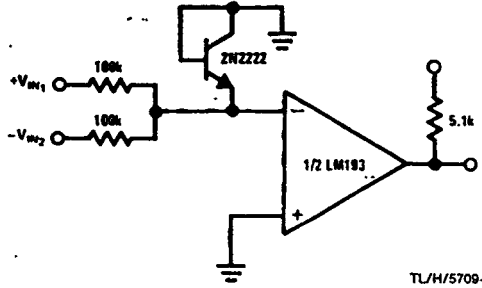
TL/H/5709-15

OR Gate



TL/H/5709-13

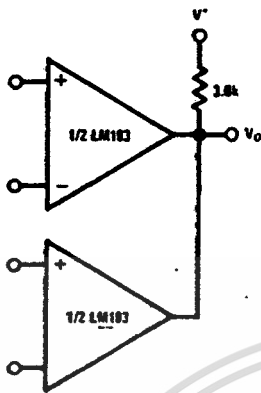
Comparing Input Voltages of Opposite Polarity



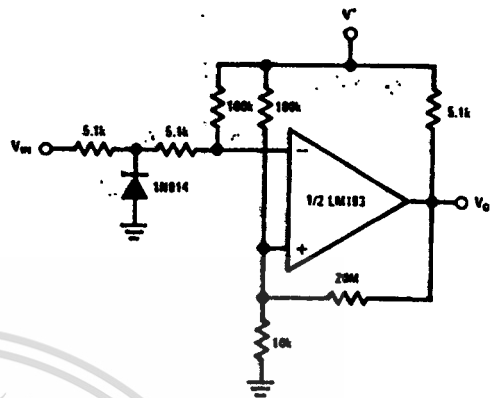
TL/H/5709-16

Typical Applications (Continued)

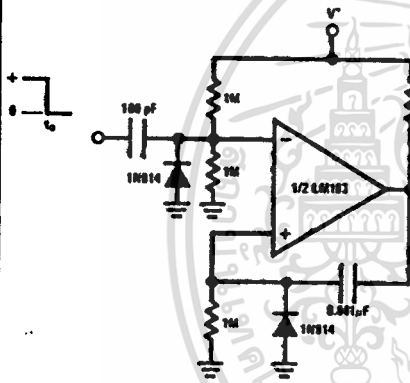
ORing the Outputs



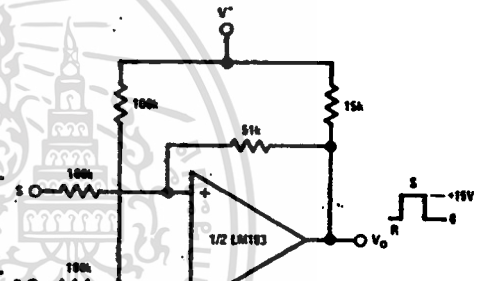
Zero Crossing Detector (Single Power Supply)



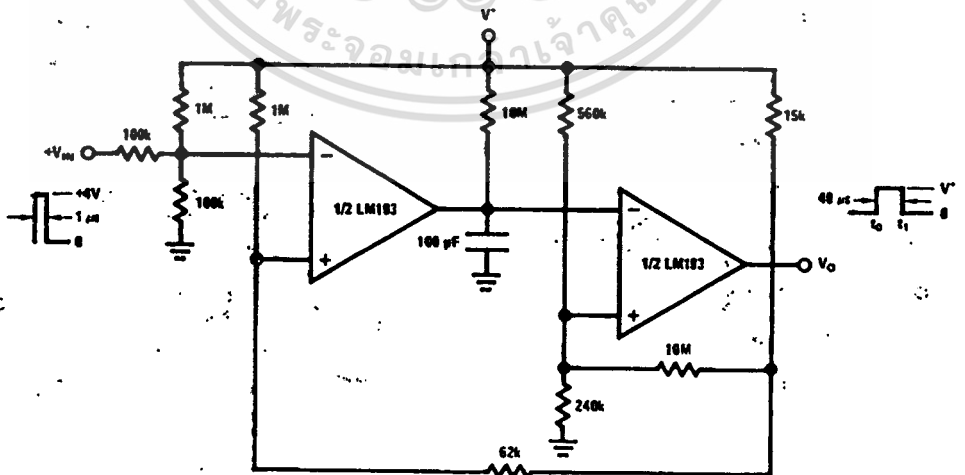
One-Shot Multivibrator



Bi-Stable Multivibrator



One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



TL/H/5709-17

TL/H/5709-21

TL/H/5709-22

TL/H/5709-24

TL/H/5709-23

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการ “ระบบนำวิถีรถไฟด้วยอัลตราโซนิกสแกน” จะไม่สำเร็จล่วงไปได้เลย ถ้าปราศจากความช่วยเหลือและสนับสนุนในการค้นคว้าทดลอง เอกสารข้อมูล กำลังใจ และที่สำคัญที่สุด คือ งบประมาณจากบุคคลทั้งหลาย

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือเป็นพิเศษดังมีรายชื่อดังต่อไปนี้

ดร.กิติพล ชิตสกุล ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นผู้ให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ด้วยดีตลอดมา

คุณวุฒิกร จิรวุฒิโชติ (คุณแด้) ปิยะมิตรที่แสนดี เป็นผู้ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับเครื่องมือการทดลอง คู่มือต่าง ๆ ตลอดจนคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำโครงการ

คุณชลธิชา วิวัฒน์สวัสดิ์สินนท์ (คุณตุ๊กตา) เป็นผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งกำลังกาย กำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดทำปริญญาานิพนธ์

คุณเกียรติโรจน์ ต้นติมาลา เพื่อนที่แสนดีที่คอยช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาตลอดมา

พี่ชาย พี่สาว ที่น่ารักเป็นผู้ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณ และขอบขอบคุณบรรดามิตรสหายทุกคนที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ

ที่สุดอย่างยิ่งขอขอบคุณงามความดีให้แก่คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้