

หุ่นยนต์ดูดฝุ่นพื้นห้อง

FLOOR CLEANER ROBOT



โดย

นางสาวกัญญาณี บุญศรีธธา

นางสาวกาญจนา นุชรักษา

นายไกรสิทธิ์ ฤคคิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

หน้า  
A 1  
หน้า

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 34082  
วัน, เดือน, ปี 1 ต.ค. 2542

รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ดูดฝุ่นพื้นห้อง  
**FLOOR CLEANER ROBOT**

โดย

นางสาวกัลยาณี บุญศรีธธา รหัส 38014019

นางสาวกาญจนา นุชรักษา รหัส 38014020

นายไกรสิทธิ์ ฤคคี รหัส 38014042

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผ.ศ.พิชัย คูศิริวานิชกร

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2541

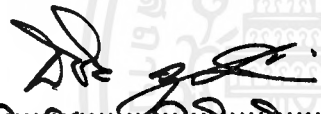
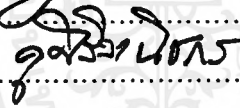
ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ้ยนศคุดฝุ่นพื้นห้อง

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกัลยาณี บุญศรีทธา รหัส 38014019
2. นางสาวกาญจนา นุชรักษา รหัส 38014020
3. นายไกรสิทธิ์ ฤคศิ รหัส 38014042

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(.....  .....) )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ดูดฝุ่นพื้นห้อง

FLOOR CLEANER ROBOT

นางสาวกัญญาณี บุญศรีทธา รหัส 38014019

นางสาวกาญจนา นุชรักษา รหัส 38014020

นายไกรสิทธิ์ ฤคสี รหัส 38014042

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หุ่นยนต์ดูดฝุ่นพื้นห้อง ( FLOOR CLEANER ROBOT )

นางสาวกัลยาณี บุญศรีรักษา

นางสาวกาญจนา นุชรักษา

นายไกรสิทธิ์ ฤทธิ

ผ.ศ. พิชัย คูศิริวานิชกร อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นปฏิญานิพนธ์ที่นำเสนอเกี่ยวกับโครงการหุ่นยนต์ดูดฝุ่น โดยเมื่อโครงการนี้สำเร็จ หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่อย่างสุ่มเพื่อดูดฝุ่นและหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ โดยมีการใช้ไมโครสวิตช์เป็นเซนเซอร์ ส่งค่าอินพุตให้กับคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผลและมีการกลับไปยังตำแหน่งที่ชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อชาร์จไฟใหม่ได้เองโดยอัตโนมัติ โดยการใช้ชุดคร่ำโซนิคเป็นเซนเซอร์ที่ส่งอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ชาร์จแบตเตอรี่

## **FLOOR CLEANER ROBOT**

**Miss. Kanlayanee Boonsattha**

**Miss. Kanchana Nudraksa**

**Mr. Kraisit Rukadee**

**Mr. Pichai Koosiriwanitchakorn Advisor**

**2<sup>nd</sup> Semester , Education Year 1998**

### **Abstract**

This thesis describes a project of the floor cleaner robot . At the end of the project, the robot will be able to move in random direction . It can turn left or turn right when it crash an object by using micro-switches as the sensors to send signal to the controller. The robot can back to the battery charging station automatic by using ultrasonic as a navigator when its battery downs to a preset level.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 จุดประสงค์ของโครงการ	1
1.2 หลักการและการทำงานของหุ่นยนต์คู่มือ	1
1.3 ส่วนประกอบพื้นฐาน	2
1.4 กลไกของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คู่มือ	3
1.4.1 ระบบการเลี้ยวของหุ่นยนต์คู่มือ	4
บทที่ 2 อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	7
2.1 อุลตราโซนิกแบบเปียโซอิเล็กทริก	8
2.2 ตัวส่งและตัวรับ	9
2.3 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งตัวรับ	10
บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	12
3.1 คุณสมบัติของ MCS-51	12
3.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51	13
3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51	14
3.4 ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์	19
3.5 โครงสร้างพอร์ต	19
3.6 โครงสร้างการอินเตอร์รัปต์	20
3.7 กลุ่มคำสั่งใน MCS-51	22
3.8 คำสั่งใน MCS-51	24

	หน้า
บทที่ 4 วงจรและการทำงาน	31
4.1 วงจรภาคส่งสัญญาณที่ตัวหุ้มนยนต์	31
4.1.1 วงจรเร็คแบคเตอร์	32
4.1.2 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	33
4.1.3 วงจรสร้างความถี่ 40 kHz	33
4.1.4 วงจรทวีแรงดัน	34
4.2 วงจรภาครับสัญญาณที่ตัวหุ้มนยนต์	37
4.3 วงจรอินพุตในการหลบหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง	40
4.4 วงจรและส่วนที่เกี่ยวข้องกับที่ชาร์จแบคเตอร์	42
4.5 การทำงานของภาคขับมอเตอร์	46
4.5.1 การทำงานของดีซีมอเตอร์	46
4.5.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์	49
4.5.3 การออกแบบและการสร้างระบบขับเคลื่อน	50
4.6 ส่วนควบคุมโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	46
4.6.1 Flow chart แสดงการทำงาน	46
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	54
5.1 การแสดงผลการทดลองในรูปแบบของสัญญาณที่จุดต่างๆ	54
5.1.1 ผลการทดลองของภาคส่งที่ตัวชาร์จแบคเตอร์	54
5.1.2 ผลการทดลองของภาครับที่ตัวหุ้มนยนต์	56
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์	66
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์คูดุ่น.	3
รูปที่ 1.2 แสดงการเลี้ยวซ้าย - ขวาของหุ่นยนต์	4
รูปที่ 1.3 แสดง โครงสร้างของหุ่นยนต์คูดุ่น	5
รูปที่ 1.4 แสดง โครงสร้างของหุ่นยนต์คูดุ่นด้านข้าง	5
รูปที่ 1.5 แสดง โครงสร้างของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่	6
รูปที่ 1.6 แสดง โครงสร้างของหุ่นยนต์คูดุ่นขณะชาร์จแบตเตอรี่	6
รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ของอุตสาหกรรมสควิเซอร์แบบต่างๆ	8
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	11
รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	12
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51	13
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51	14
รูปที่ 3.5 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน	15
รูปที่ 3.6 แสดงหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด	18
รูปที่ 3.7 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE	19
รูปที่ 3.8 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP	20
รูปที่ 3.9 แสดงหน่วยความจำสำหรับประมวลผลแบบบูลีน	27
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานในส่วนของภาคส่ง	29
รูปที่ 4.2 วงจรเรีคแบตเตอรี่	30
รูปที่ 4.3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์	31
รูปที่ 4.4 วงจรสร้างความถี่ 40 kHz	32
รูปที่ 4.5 วงจรทวิแรงดัน	32
รูปที่ 4.6 การเชื่อมต่อระหว่างไอซี CMOS กับ ไอซี TTL	33
รูปที่ 4.7 วงจรในภาคส่งและส่วนที่เกี่ยวข้อง	34
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ตัวรับ	35

	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรในภาครับสัญญาณที่ตัวหุ่นยนต์	36
รูปที่ 4.10 วงจรภาครับและส่งที่ตัวชาร์จแบตเตอรี่	39
รูปที่ 4.11 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในคีมอเตอร์	40
รูปที่ 4.12 คีมอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กถาวร	41
รูปที่ 4.13 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีพัลส์วิธ โมดูเลชัน	43
รูปที่ 4.14 แสดงวงจรในส่วนควบคุมมอเตอร์	45
รูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	46
รูปที่ 5.1 สัญญาณความถี่ 4 MHz	51
รูปที่ 5.2 สัญญาณความถี่ 40 kHz	52
รูปที่ 5.3 สัญญาณที่ผ่านวงจรทวีแรงดัน	53
รูปที่ 5.4 สัญญาณที่ได้จากการวัดคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับ	54
รูปที่ 5.5 สัญญาณที่ผ่านออปแอมป์ตัวที่ 1 และ 2	54
รูปที่ 5.6 สัญญาณที่วัดได้จากการผ่านวงจรอินทิเกรต	55
รูปที่ 5.7 สัญญาณเอาต์พุตของคิฟแอมป์	55
รูปที่ 5.8 สัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งไปยังคอนโทรลเลอร์	56
รูปที่ 5.9 สัญญาณที่ได้จากการวัดคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับ	57
รูปที่ 5.10 สัญญาณที่ผ่านออปแอมป์ตัวที่ 1 และ 2	57
รูปที่ 5.11 สัญญาณที่วัดได้จากการผ่านวงจรอินทิเกรต	58
รูปที่ 5.12 สัญญาณเอาต์พุตของคิฟแอมป์	58
รูปที่ 5.13 สัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งไปยังคอนโทรลเลอร์	59
รูปที่ 5.14 สัญญาณที่ได้จากการวัดคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับ	60
รูปที่ 5.15 สัญญาณที่ผ่านออปแอมป์ตัวที่ 1 และ 2	60
รูปที่ 5.16 สัญญาณที่วัดได้จากการผ่านวงจรอินทิเกรต	61
รูปที่ 5.17 สัญญาณเอาต์พุตของคิฟแอมป์	61
รูปที่ 5.18 สัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งไปยังคอนโทรลเลอร์	62

## สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์คูดฝุ่น	3
รูปที่ 1.2 แสดงการเกี่ยวขั้วสาย – ขวาของหุ่นยนต์	4
รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างของหุ่นยนต์คูดฝุ่น	5
รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของหุ่นยนต์คูดฝุ่นด้านบน	5
รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่	6
รูปที่ 1.6 แสดงการชาร์จแบตเตอรี่ของหุ่นยนต์คูดฝุ่น	6
รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ของอุตสาหกรรมสวิตเซอร์แบบต่างๆ	8
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	11
รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	12
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51	13
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51	14
รูปที่ 3.5 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน	15
รูปที่ 3.6 แสดงหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด	18
รูปที่ 3.7 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE	19
รูปที่ 3.8 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP	20
รูปที่ 3.9 แสดงหน่วยความจำสำหรับประมวลผลแบบบูลีน	27
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานในส่วนของภาคส่ง	29
รูปที่ 4.2 วงจรเช็คแบตเตอรี่	30
รูปที่ 4.3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	31
รูปที่ 4.4 วงจรสร้างความถี่ 40 kHz	32
รูปที่ 4.5 วงจรทวีแรงดัน	32
รูปที่ 4.6 การเชื่อมต่อระหว่างไอซี CMOS กับ ไอซี TTL	33
รูปที่ 4.7 วงจรในภาคส่งและส่วนที่เกี่ยวข้อง	34
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งการติดตั้งทรานซิสเตอร์ตัวรับ	35

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1	13
ตารางที่ 3.2	18
ตารางที่ 3.3	25
ตารางที่ 3.4	26
ตารางที่ 3.5	27
ตารางที่ 3.6	27
ตารางที่ 3.7	27
ตารางที่ 3.8	28
ตารางที่ 3.9	28
ตารางที่ 3.10	30
ตารางที่ 4.1	38
ตารางที่ 4.2	41

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีได้มีความก้าวหน้ามากและมีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เราเป็นอย่างมาก ดังเช่นได้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานร่วมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด ทำให้มีการทำเป็นแบบอัตโนมัติ สร้างความสะดวกสบายและประหยัดพลังงานแก่มนุษย์ และในโครงการนี้ก็เช่นกัน ได้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์เข้ากับเครื่องดูดฝุ่น โดยที่การทำงานและการเคลื่อนที่นั้นจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

### 1.1 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถดูดฝุ่นและเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้
2. สามารถทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่กลับไปยังที่ชาร์จแบตเตอรี่และทำการชาร์จแบตเตอรี่เองได้เมื่อแบตเตอรี่ที่ตัวหุ่นยนต์นั้นอ่อนกำลัง
3. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมอัตโนมัติ
4. ศึกษาค้นคว้าทดลองและพัฒนาการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงาน ของหุ่นยนต์ดูดฝุ่น

### 1.2 หลักการและการทำงานของหุ่นยนต์ดูดฝุ่น

หลักการและการทำงานของหุ่นยนต์ดูดฝุ่นในโครงการนี้ คือ หุ่นยนต์นั้นจะสามารถเคลื่อนที่อย่างแรนดอมไปทั่วห้องเพื่อทำการดูดฝุ่น และทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ โดยการติดตั้งเซนเซอร์ที่จะทำหน้าที่ในการตรวจจับว่า หุ่นยนต์ชนสิ่งกีดขวางด้านใด แล้วส่งเป็นอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะเป็นตัวควบคุมการขับเคลื่อน ทำให้หุ่นยนต์สามารถเลี้ยวซ้าย ,เลี้ยวขวา หรือว่าเดินหน้า ตามโปรแกรมที่ได้เขียนควบคุมไว้ในกรณีที่ยินพุตที่รับมาจากเซนเซอร์ที่ค่าต่างๆ และเมื่อแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวหุ่น

ขนต์และวงจรภายในนั้นเกิดอ่อนกำลังลง หรือมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ตัวหุ่นยนต์ก็จะมีความสามารถกลับไปยังตำแหน่งที่ชาร์จแบตเตอรี่และทำการชาร์จแบตเตอรี่เองได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งคาดว่าเมื่อโครงการนี้สำเร็จลง หุ่นยนต์นี้จะสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้จริงตามจุดประสงค์

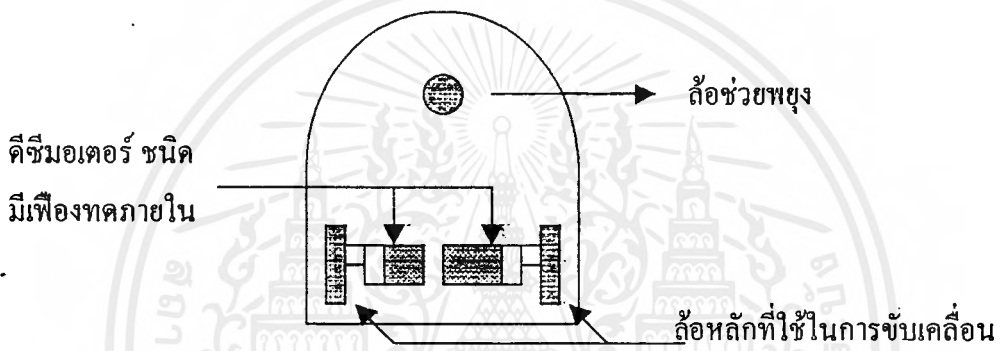
หลังจากที่เราได้ทำให้หุ่นยนต์ของเรานั้นสามารถเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งที่ตั้งของที่ชาร์จแบตเตอรี่ได้เองโดยอัตโนมัติ โดยที่ตัวหุ่นยนต์ของเราจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ตั้งที่ชาร์จแบตเตอรี่ได้เองนั้น เราได้มีการใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ติดตั้งไว้ที่ตัวชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อที่จะส่งสัญญาณบอกตำแหน่งของตัวมันเอง ให้หุ่นยนต์ทราบที่ตำแหน่งใดเมื่อเกิดแบตเตอรี่มีค่าต่ำ และเมื่อตัวหุ่นยนต์ได้ตรวจจับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากที่ชาร์จแบตเตอรี่ ก็จะส่งเป็นอินพุตให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะนำไปประมวลผลแล้วส่งไปควบคุมการขับเคลื่อนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ได้โปรแกรมไว้ในกรณีที่ว่าอินพุตมีค่าที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นตัวหุ่นยนต์ของเราก็จะทำการชาร์จแบตเตอรี่และทำการวิ่งไปดูฝุ่นต่อไปได้ เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มแล้ว

### 1.3 ส่วนประกอบพื้นฐาน

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดูฝุ่นพื้นฐาน โดยที่ในโครงการนี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051
2. วงจรขับเคลื่อน จะเป็นตัวทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้ล้อที่ติดกับมอเตอร์หมุนเพื่อให้หุ่นยนต์ดูฝุ่นเคลื่อนที่ได้ตามที่โปรแกรมไว้
3. ภาคส่งและรับสัญญาณ ที่ตัวหุ่นยนต์และที่ตั้งของตัวชาร์จแบตเตอรี่ โดยภาครับสัญญาณของตัวหุ่นยนต์นั้นจะเป็นส่วนอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์
4. โครงสร้างและรูปร่างของตัวหุ่นยนต์ดูฝุ่น ถูกออกแบบให้ด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์ มีลักษณะโค้ง และให้มีสองล้อหลักในการขับเคลื่อน โดยมีหนึ่งล้อเพื่อช่วยในการทรงตัว
5. ส่วนของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ มอเตอร์ และวงจรในตัวหุ่นยนต์ จะใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 7 นอเมยี และมีส่วนปรับแรงดันจากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟ 5 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรที่ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์
6. เครื่องดูฝุ่น ที่ได้ทำการติดตั้งไว้เพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นตัวทำการดูฝุ่น
7. ส่วนของวงจรที่ใช้ชาร์จแบตเตอรี่

## 1.4 กลไกการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ในการออกแบบการเคลื่อนที่และการทรงตัวของหุ่นยนต์คูดุ่่นั้น จะใช้การขับเคลื่อน 3 ล้อ โดยจะมี 2 ล้อหลักที่ติดกับแกนมอเตอร์เป็นล้อหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อน และอีกหนึ่งล้อที่ใช้ช่วยในการทรงตัวของหุ่นยนต์ โดยมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์คูดุ่่นั้น เราจะใช้มอเตอร์ชนิด ดิซีมอเตอร์ ( DC Motor ) เป็นต้นกำลังสองตัวในการขับเคลื่อน โดยที่จะติดอยู่กับล้อข้างซ้ายและข้างขวา ดังแสดงได้ดังรูปที่ 1.1



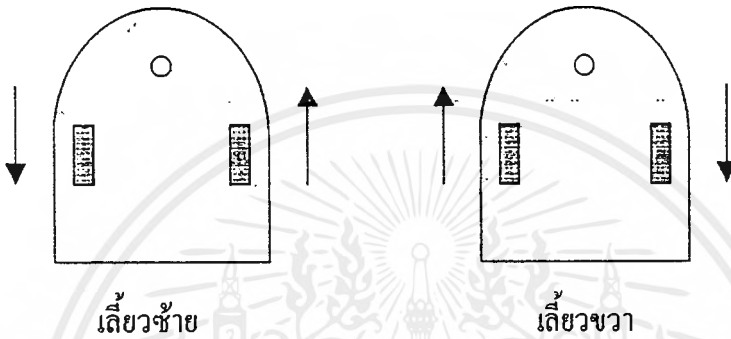
รูปที่ 1.1 แสดงระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์คูดุ่่น

ในโครงการนี้เราเลือกใช้ดิซีมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ก็เนื่องมาจากลักษณะเด่นของมอเตอร์ชนิดนี้คือ มีความเร็วที่คงที่และมีทอร์คสูง สามารถใช้กับไฟกระแสตรงได้ เนื่องจากเราใช้แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่หุ่นยนต์ และเรายังสามารถเพิ่มกำลังในการขับให้สูงขึ้นไปอีกได้ด้วยการเลือกใช้ ดิซีมอเตอร์ชนิดที่มีเฟืองทดอยู่ภายใน ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีกำลังในการขับสูง และในขณะที่น่ามอเตอร์นั้นไปประกอบเข้ากับล้อขับเคลื่อน ก็ยังสามารถใช้เฟืองทด เพื่อลดความเร็วและเพิ่มกำลังในการขับเคลื่อนขึ้น ไปอีกได้

และในส่วนของการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์คูดุ่่นนี้ เราจะใช้ไมโครสวิทช์เป็นเซนเซอร์ตรวจจับ โดยที่จะทำการติดตั้งไมโครสวิทช์ไว้รอบๆ ตัวของหุ่นยนต์ เมื่อหุ่นยนต์วิ่งไปชนสิ่งกีดขวางก็จะไปชนสวิทช์ที่ทำการติดตั้งไว้และจะส่งค่าเป็นอินพุตให้กับคอนโทรลเลอร์ว่าจะโปรแกรมให้ตัวหุ่นยนต์คูดุ่่นเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา, ถอยหลัง หรือเดินหน้าตามค่าอินพุตที่ได้จากการชนสวิทช์ในตำแหน่งต่างๆกัน

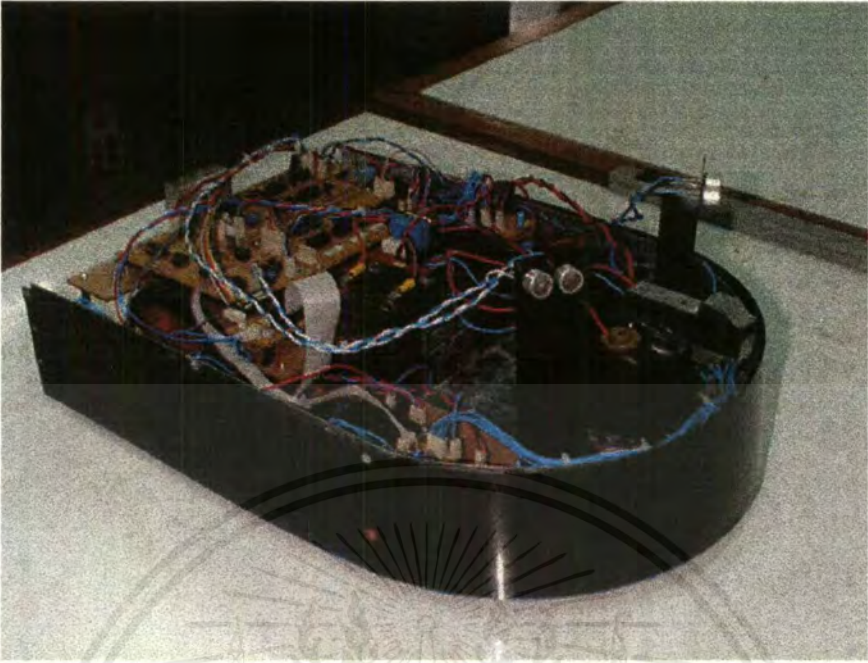
### 1.4.1 ระบบการเลียวของหุ่นยนต์คู่ฝุ่น

ในการเลียวของตัวหุ่นยนต์คู่ฝุ่นนี้ เราสามารถทำได้ด้วยการทำให้ล้อข้างหนึ่งหมุนไปข้างหน้า และล้ออีกข้างนั้นหมุนไปข้างหลัง โดยที่ความเร็วของการหมุนทั้งสองล้อนั้นมีค่าเท่ากัน ก็จะทำให้สามารถเกิดการเลียวได้

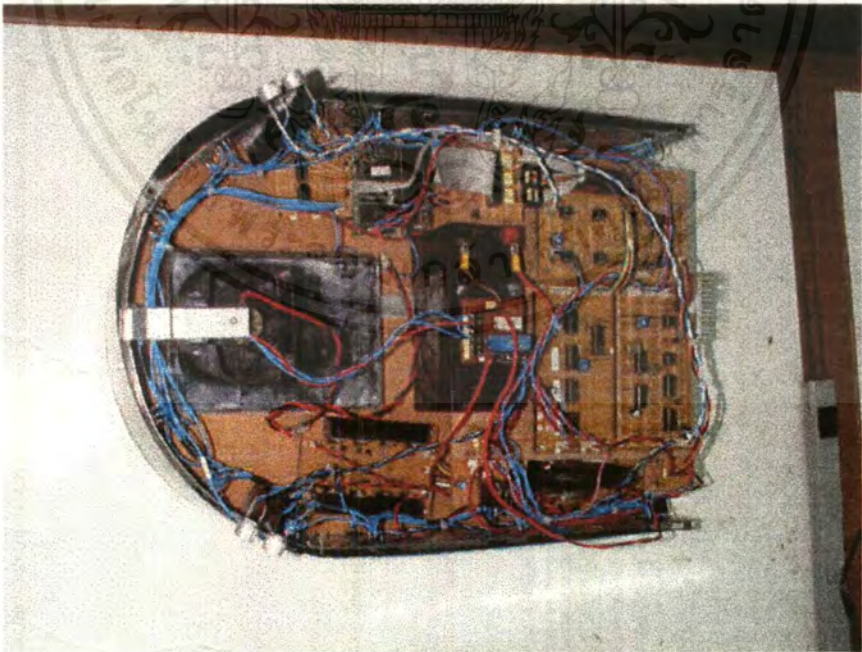


รูปที่ 1.2 แสดงการเลียวซ้าย-ขวา ของหุ่นยนต์

จากรูปนั้นจะเห็นได้ว่า เราสามารถทำให้หุ่นยนต์สามารถเลียวซ้ายได้ด้วยการทำให้ล้อทางด้านขวาหมุนไปข้างหน้า และล้อทางด้านซ้ายนั้นหมุนกลับหลัง และในทำนองเดียวกันนั้นเราก็สามารถทำให้หุ่นยนต์เลียวขวาได้เช่นกัน โดยทำให้ล้อซ้ายหมุนไปข้างหน้าและให้ล้อทางด้านขวานั้นหมุนกลับหลัง ซึ่งในการเลียวนั้นเราจะให้เลียวไปทางใดหรือทิศทางใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดเวลาที่กำหนดไว้ในโปรแกรมนั่นเอง

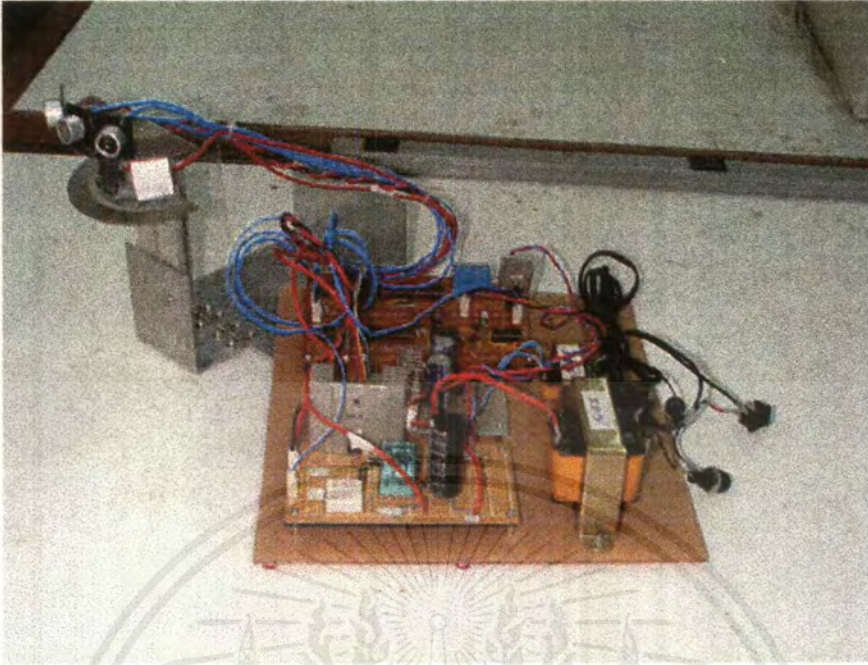


รูปที่ 1.3 แสดง โครงสร้างของหุ่นยนต์คู่ค้อน

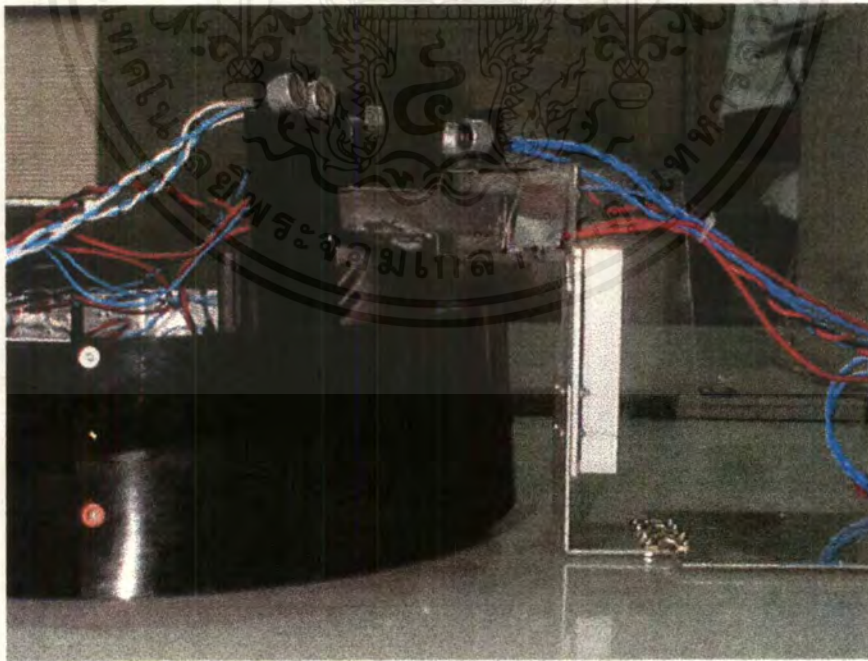


รูปที่ 1.4 แสดง โครงสร้างของหุ่นยนต์คู่ค้อนด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 1.6 แสดงการชาร์จแบตเตอรี่ของหุ่นยนต์คูด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

คลื่นอุลตราโซนิค ( Ultrasonic ) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้ว มนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงประมาณ 15 kHz เท่านั้น แต่ที่มีอายุยังน้อยอยู่ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่าน อุลตราโซนิค มาใช้ก็เพราะว่า เป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เราสามารถตั้งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด ( ช่องที่ให้เสียงนั้นออกมา ) ของตัวให้กำเนิดเสียง เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตร เศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตราโซนิค อย่างเช่น คลื่นความถี่ 40 kHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้ มากๆ คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือ ที่เราเรียกกันว่า การมีทิศทางนั่นเอง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิค ทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล ( Ultrasonic Remote Control ) , เครื่องล้างอุปกรณ์ ( Ultrasonic Cleaner ) โดยทำให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง , เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งเขต ระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา , เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล , ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบาง ส่วนในร่างกาย , ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz เพราะความถี่ที่สูงขึ้นกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไป ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz ก็มีใช้กันในหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ

อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่น ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นเสียงย่าน อัลตราโซนิก กระจายไปในอากาศได้ หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกเป็น ภาษาเทคนิคว่า “อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์”

( Ultrasonic Transduser ) ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ มีหลายแบบขึ้นกับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่

1 แบบเพียโซอิเล็กทริก ( Piezoelectric Transduser ) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล โดยความถี่รีโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

2 แบบแมกนีโตสตริกตีฟ ( Magnetostrictive Transduser ) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานในขดลวด กับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้น

3 แบบ อิเล็กโตรสตริกตีฟ ( Electrostrictive Transduser ) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

## 2.1 ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

ภายในตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ แบบเพียโซอิเล็กทริก จะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิกสี่เหลี่ยม ซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้งสองหน้า เพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขาสองขา ชิ้นสารเซรามิก สองชิ้นประกบกันอยู่ โดยวางให้ขั้วใดโพลทางไฟฟ้าภายในอะคอมของมันมีทิศทางตรงกันข้าม ชิ้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวดังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นขณะทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวดังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 เซนติเมตร ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิด มีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิก เข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวดังทำมาจากโลหะ ก็ควรต่อตัวดังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ ชีลด์ สำหรับบางยี่ห้อ เขาจะต่อขาหนึ่งติดกับตัวดังมาให้เลย เมื่อพลิกดูขา 2 ขาที่โผล่ออกมาจากตัวดัง จะเห็นว่าขาหนึ่งที่ติดกับตัวดัง คุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก ก็คือมีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมาก อาจสูงถึง 100 เมกะโอห์ม แต่ในขณะที่มันทำงาน ความต้านทานทางไฟสลับจะลดลง

เมื่อมีสัญญาณแรงดันเข้ามาตกคร่อมที่ขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิก จะทำให้ชิ้นสารโค้งงอมากหรือน้อยในทิศทางใดตามขนาดของสัญญาณนั้นๆ ทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไป โดยทั่วไป กำลังของเอาต์พุท ที่ออกมาจะคิดประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาต์พุทจะสูงสุด มีค่าประมาณนี้คือเมื่อ

ความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่กำลังความถี่อื่นๆ กำลังเอาต์พุตจะลดลงต่ำกว่านี้มาก ในทำนองกลับกันเมื่อ มีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ ของชิ้นสารเซรามิก เข้ามาจะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมา และเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมารวมชั่วทั้งสองของตัวมันเองได้

## 2.2 ตัวส่งและตัวรับ

โดยทั่วไปแล้ว ทรานสดิวเซอร์จะแบ่งตามลักษณะของตัวส่ง-รับ ได้สองแบบคือ

ก) แบบตัวส่งและตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน

ข) แบบแยกตัวส่งและตัวรับเป็นคนละตัว

แต่ในโครงการนี้เราได้ใช้ทรานสดิวเซอร์แบบแยกตัวส่งและรับจึงขอกกล่าวถึงเพียงชนิดนี้เท่านั้น

ตัวส่ง ( Transmitter ) คืออูลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ที่ถูกออกแบบเจาะจง เพื่อให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แกตัวมันเองออกมาเป็นคลื่นเสียงย่าน อูลตราโซนิก หน้าทีของตัวส่งจึงคล้ายๆ กับ ไมโครโฟน

ตัวรับ ( Reciever ) คืออูลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงย่านอูลตราโซนิก ที่มาตกกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าทีของตัวรับจึงคล้ายๆ กับเป็น ลำโพง

การที่ตัวส่งและตัวรับ มีลักษณะคล้ายๆ กับ ไมโครโฟนและลำโพง จึงมีการเขียนสัญลักษณ์ ของอูลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียน ตามลักษณะหน้าที่ของมัน เช่น ถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็น ไมโครโฟน ดังแสดงได้ดังแบบที่ 1 ในรูปที่ 2.1 แต่ก็มีหนังสือบางเล่ม ที่เขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับและตัวส่ง เป็น ไมโครโฟนหรือลำโพงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนตัวอักษรย่อว่า Tx ( transmitter ), Rx ( receive ) กำกับอยู่ด้วย ในการที่มีการใช้สัญลักษณ์ที่เหมือนกันนั้น ก็เพราะว่า หน้าตาของตัวรับและตัวส่งที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กัน จะมีหน้าตาเหมือนกัน แต่จะมีเพียงสัญลักษณ์ที่ติดกับตัวดังเท่านั้น ที่เป็นตัวบอกว่า ทรานสดิวเซอร์นั้นเป็นแบบตัวรับหรือตัวส่ง และมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก จนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลายๆ การใช้งาน

ความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ก่อกำเนิดความถี่อื่นๆ ก่อกำเนิดเอาต์พุตจะลดลงต่ำกว่านี้มาก ในทำนองกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ ของชิ้นสารเซรามิก เข้ามาจะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมา และเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กลงมาคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้

## 2.2 ตัวส่งและตัวรับ

โดยทั่วไปแล้ว ทรานสดิวเซอร์จะแบ่งตามลักษณะของตัวส่ง-รับ ได้สองแบบคือ

- ก) แบบตัวส่งและตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน
- ข) แบบแยกตัวส่งและตัวรับเป็นคนละตัว

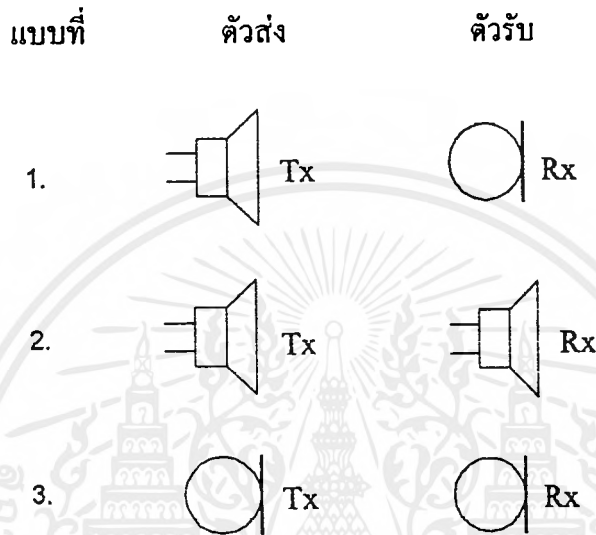
แต่ในโครงการนี้เราได้ใช้ทรานสดิวเซอร์แบบแยกตัวส่งและรับจึงขอกล่าวถึงเพียงชนิดนี้เท่านั้น

ตัวส่ง ( Transmitter ) คืออูดคร้ำโซนิคทรานสดิวเซอร์ ที่ถูกออกแบบเจาะจง เพื่อให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แกตัวมันเองออกมาเป็นคลื่นเสียงย่าน อูดคร้ำโซนิค หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้ายๆ กับ ลำโพง

ตัวรับ ( Reciever ) คืออูดคร้ำโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงย่านอูดคร้ำโซนิค ที่มาตกกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้ายๆ กับเป็น ไมโครโฟน

การที่ตัวส่งและตัวรับ มีลักษณะคล้ายๆกับ ไมโครโฟนและลำโพง จึงมีการเขียนสัญลักษณ์ ของอูดคร้ำโซนิคทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียน ตามลักษณะหน้าที่ของมัน เช่น ถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็น ไมโครโฟน ดังแสดงได้ดังแบบที่ 1 ในรูปที่ 2.1 แต่ก็มีหนังสือบางเล่ม ที่เขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับและตัวส่ง เป็น ไมโครโฟนหรือลำโพงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนตัวอักษรย่อว่า Tx ( transmitter ), Rx ( receive ) กำกับอยู่ด้วย ในการที่มีการใช้สัญลักษณ์ที่เหมือนกันนั้น ก็เพราะว่า หน้าตาของตัวรับและตัวส่งที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กัน จะมีหน้าตาเหมือนกัน แต่จะมีเพียงสัญลักษณ์ที่ติดกับตัวถึงเท่านั้น ที่เป็นตัวบอกว่า ทรานสดิวเซอร์นั้นเป็นแบบตัวรับหรือตัวส่ง และมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก จนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลายๆ การใช้งาน

โดยทั่วไป อุลตราโซนิก ทรานสดิวเซอร์ ที่มีจำหน่ายกันจะมีค่าความถี่ รีโซแนนซ์ ให้เลือกตั้งแต่ 23 kHz ขึ้นไปจนถึง 40 kHz แต่ที่พบเห็นกันบ่อยก็มี รุ่นที่มีความถี่ 40 kHz ที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะมีทิศทางที่ดีกว่า



รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ

### 2.3 ข้อควรรู้ในการใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

ข้อควรรู้ในการใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง และรับ นั้นพอที่จะสรุปเป็นแนวทางในการใช้งานได้ดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เกิดการเสียหายได้
2. ทรานสดิวเซอร์ทั่วไปที่มีขายกันอยู่นั้น จะสามารถทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 โวลต์ ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้
3. ความถี่รีโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของ ทรานสดิวเซอร์ 40 kHz ที่มีขายกันอยู่ทั่วไป นั้นจะมีความผิดพลาดไม่เกิน 1 KHz และมีความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 4.5 kHz สำหรับตัวส่งและจะมีแถบความถี่ประมาณ 5 kHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจได้ว่า ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ นั้นจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ส่งออกมาจากทรานสดิวเซอร์ตัวส่งได้

4. อุณหภูมิการใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. ทั้งทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและรับ จะมีทิศทางที่คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบี่ยงเบนจากแนวแกน ของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 เดซิเบล ในทำนองเดียวกัน ถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ได้ก็จะลดลง จากแนวแกนประมาณ 10 เดซิเบลเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่ง อยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันมากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบน จากกันได้มากหน่อย เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิก สามารถสะท้อนกับกำแพง , พื้นและวัตถุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทิศทาง
6. ในการใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทาน ต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 ถึง 100 กิโลโอห์ม และถ้าในการใช้งานมีสัญญาณรบกวนสูง ควรใช้โหลดที่มีค่าความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ

## บทที่ 3

### ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.1 คุณสมบัติของ MCS-51

คุณสมบัติที่สำคัญของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

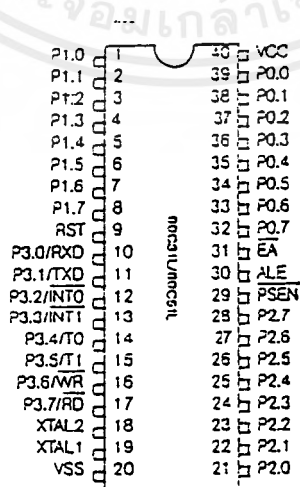
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟคงที่ 5 Volt ชุกเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031,8032 ไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8051 มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและค่า (Program Memory และ Data Memory) แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1  $\mu$ S เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 MHz
- มี Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ต ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- มีคำสั่งในการทำ AND,OR หรือ COMPLEMENT ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-bit I/O Ports	16-bit Timer / Counters	Interrupt Sources / Vectors
8051	8031	-	4K	128	4	2	6/5
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2	6/5
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3	8/6
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2	6/5
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	14/7
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	14/7
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4K	128	4	2	8/7
83C152JA	50C152JA	-	8K	256	5	2	19/11
-	80C152JB	-	-	256	7	2	19/11
83C152JC	80C152JC	-	8K	256	5	2	19/11
-	80C152JD	-	-	256	7	2	19/11
83C451	80C451	-	4K	128	7	2	6/5
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2	9/8

ตารางที่ 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวในตระกูล MCS-51

### 3.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูป 3.1

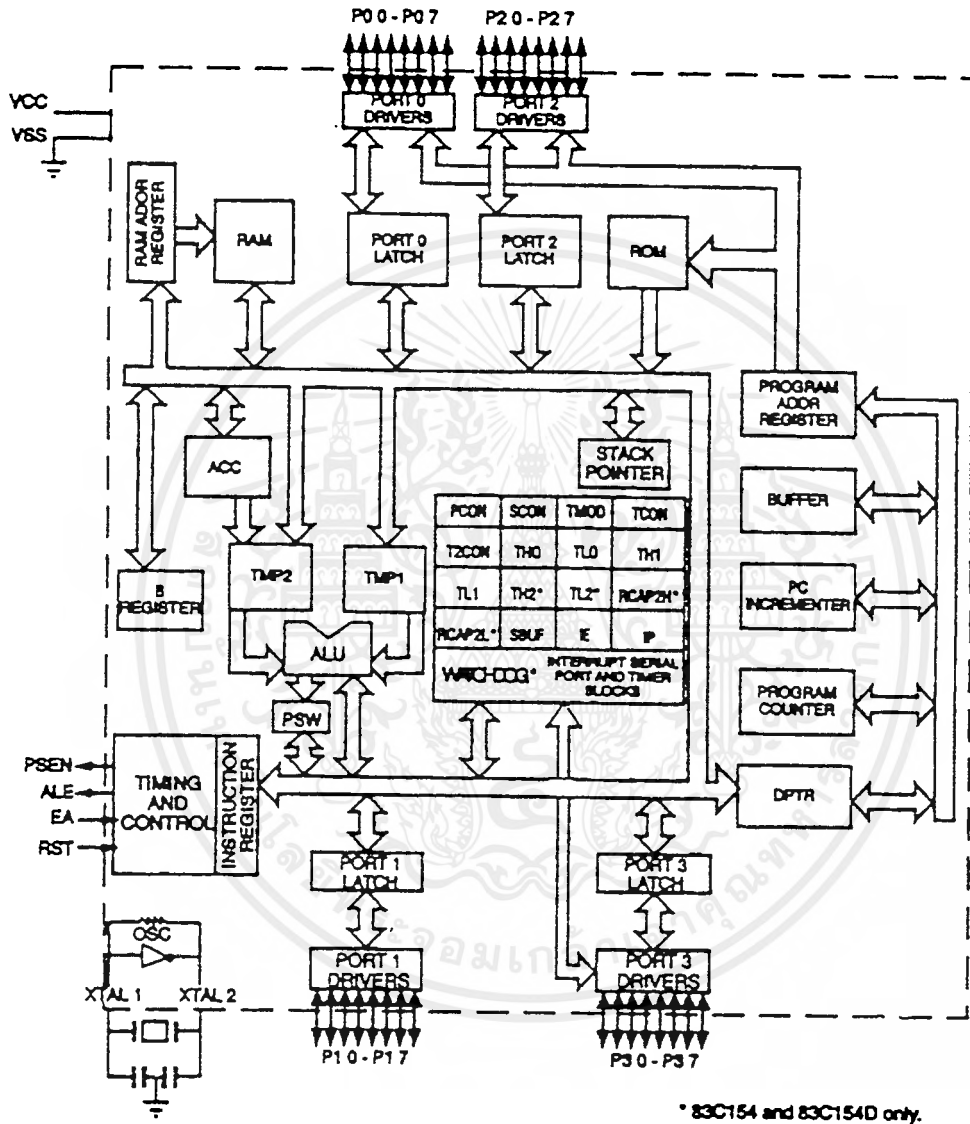


รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งขาของชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดง โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างของหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (program memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (data memory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

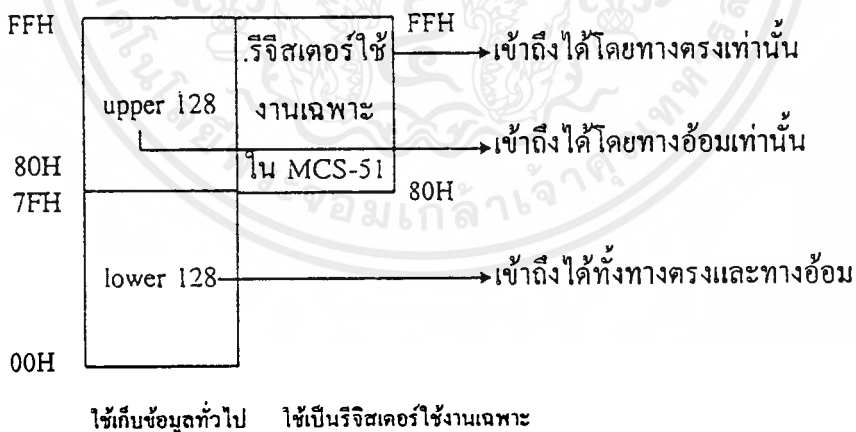
โปรแกรมภายนอกชิป (external program memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0,4,8,16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิปที่ใช้

### 3.3.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป ซึ่งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อย ๆ ดังนี้

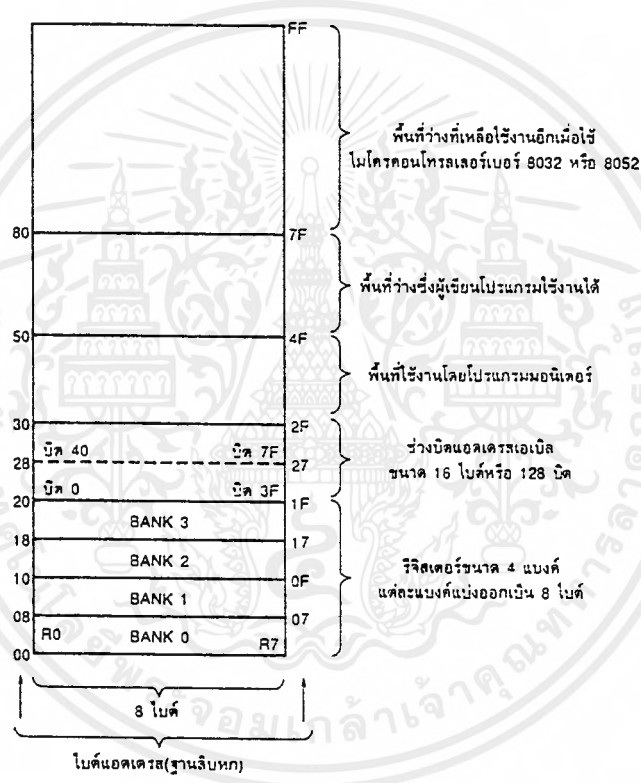
- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (internal RAM)
- ส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (special function register)

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็น รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของชิปผิยู แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้งสองบริเวณดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อว่า โลเวอร์ ( lower ) และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า อับเปอร์ ( upper ) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป ภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์(ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไปเช่นกัน) โดยมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Symbol	Name	Address
*ACC	Accumulator	0E0H
*B	B Register	0F0H
*PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 Bytes	
DPL	Low Byte	82H
DPH	High Byte	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	0A0H
*P3	Port 3	0B0H
*IP	Interrupt Priority Control	0B8H
*IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
*TCON	Timer/Counter Control	88H
*+T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
TH0	Timer 7 Counter 0 High Byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low Byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High Byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low Byte	8BH
+TH2	Timer/Counter 2 High Byte	0CDH
+TL2	Timer/Counter 2 Low Byte	0CCH
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg. High	0CBH
+RCAP2L	Byte	0CAH
*SCON	T/C 2 Capture Reg. Low	98H
SBUF	Byte	99H
PCON	Serial Control	87H
	Serial Data Buffer	
	Power Control	

\* = Bit addressable

+ = 8052 only

### ตารางที่ 3.2 แสดงสัญลักษณ์ ชื่อ และตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ใน SFR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ไทม์เมอร์/เคาเตอร์

ใน MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาหรือเมกซิมไซท์ของวงจรถอดสวิตช์เตอร์ภายใน (ทำงานเป็นคัตไทม์เมอร์) หรือนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก (นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0, T1 ของพอร์ต 3 (ทำงานเป็นเคาน์เตอร์) รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 และรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ (ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 เพิ่มอีกตัว) เมื่อต้องการใช้ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1 จะต้องโหลดค่าที่ต้องการนับไปไว้ในรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับครบจำนวนที่ตั้งไว้จะมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เพื่อบอกให้รีซีพียูทราบ

การควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ สามารถควบคุมได้จากวงจรถอดสวิตช์ (ควบคุมด้วยสัญญาณที่ขา INTO, INT1) หรือควบคุมจากคำสั่งโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MCS-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์ หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอกที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้ในการกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

### 3.5 โครงสร้างพอร์ต

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต (P0, P1, P2, P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนาน 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต ได้ถึง 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต หรือ เอาท์พุทพอร์ตอย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับโปรแกรม พอร์ต 0 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นคาส์บัสและแอดเดรสบัสไปต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไปต์สูง และบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส (สัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูล) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสบัสไปต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้ทั้งหมด แต่พอร์ต 0 จะถูกใช้ทั้งหมด 8 เส้น เพราะต้องใช้เป็นคาส์บัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่ (ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง) ดังนั้นในการออกแบบระบบหากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใดก็จะยิ่งทำให้เหลือจำนวนพอร์ตที่จะนำมาใช้งานลดลง ในการออกแบบจริงจึงต้องพยายาม

ลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

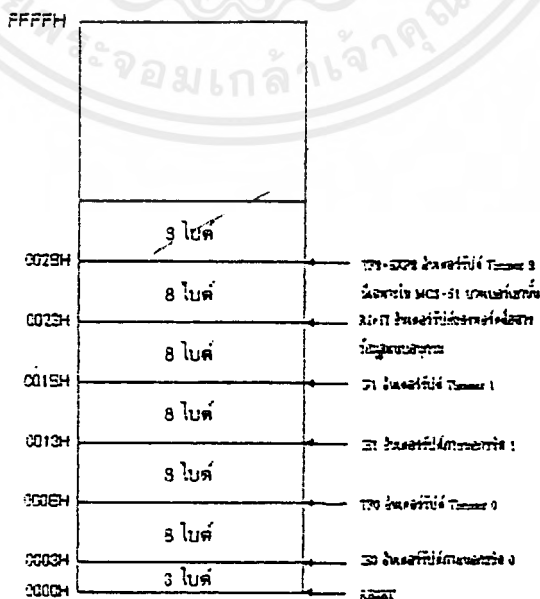
พอร์ต3ซึ่งมีขนาด 8 บิต นอกจากจะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้วมันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์(INT0,INT1)สัญญาณอินพุตที่ต้องการนำสำหรับเคาน์เตอร์(T0,T1)รวมทั้งใช้ในการติดต่อกับสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก(รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD, TXD)อีกด้วย

ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็น อินพุตหรือเอาต์พุต ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่งและเป็นเอาต์พุตในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามในด้านอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล(baud rate)มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110 , 1.2K , 2.4K , 4.8K , 9.6K , 19.2K , 375K ตามมาตรฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 รูปแบบตามความเหมาะสมในแต่ละงาน

### 3.6 โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์

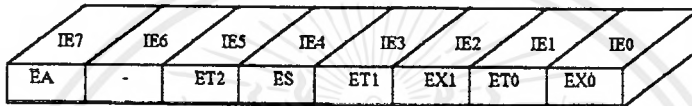
MCS-51 สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิดและที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 นั้นจะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และข้ามไปทำงานโปรแกรมอินเทอร์รัปต์ (interrupt service routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ ดังแสดงในรูป 3.6



รูป 3.6 แสดงหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS-51 ถูกอินเตอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดค่าที่กำหนดในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

3.6.1 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable - Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิตดังรูปที่ 3.7



บิต	ชื่อบิต	
IE7	EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด 0: MCS-51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ใด ๆ ทั้งสิ้น 1: การตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดจะถูกควบคุมโดยตรงจากบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์นี้เช่นกัน
IE6	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน(สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เวอร์ชันใหม่ ๆ ในอนาคต)
IE5	ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์2 เมื่อเกิด overflow (มีเฉพาะใน MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์2 เช่น 8052)
IE4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์1 เมื่อเกิด overflow
IE2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด1
IE1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์0 เมื่อเกิด overflow
IE0	EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด0

**หมายเหตุ** ถ้าบิตที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละบิต มีค่าเป็น 1 หมายถึงอนุญาตให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ หากมีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่ให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้น

รูปที่ 3.7 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE

### 3.6.2 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP (Interrupt Priority Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต ดังรูปที่ 3.8

บิต	ชื่อบิต	
IP7	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ ๆ ในอนาคต)
IP6	-	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ ๆ ในอนาคต)
IP5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของเทอร์มินัล 2
IP4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของเทอร์มินัล 4
IP3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของเทอร์มินัล 1
IP2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1
IP1	PT0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของเทอร์มินัล 0
IP0	PX0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

หมายเหตุ คำในบิตที่กำหนดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัปต์แต่ละชนิด หากเป็น 1 หมายถึง กำหนดให้มีลำดับความสำคัญสูง หากเป็น 0 หมายถึงกำหนดให้มีลำดับความสำคัญต่ำ

รูปที่ 3.8 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

### 3.7 กลุ่มคำสั่งใน MCS-51

คำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 มี 2 ประเภทคือ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลค่าเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และคำสั่งที่ไม่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลจะมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลได้หลายวิธีดังนี้

3.7.1 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง(Direct Addressing) เป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่ง บริเวณหน่วยความจำที่สามารถอ้างได้โดยวิธีนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปรวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

3.7.2 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยอ้อม (Indirect Addressing) เป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม โดยค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะบางตัว นั่นคือวิธีนี้จะใช้ค่าในรีจิสเตอร์เป็นดัชนีตำแหน่งหน่วยความจำ หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีนี้ได้คือ

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่างและ 128 ไบต์บน รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่นอกชิป รีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0,R1 ของแต่ละกลุ่ม
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP (Stack Pointer)
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR (Data Pointer)

การใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมนี้ รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะต้องระบุเครื่องหมาย "@" ไว้ข้างหน้า ดังตัวอย่าง

```
MOV A,@R0
```

```
MOVX @,DPTR,A
```

3.7.3 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (Register Instruction) ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0,R7 ของแต่ละกลุ่ม รีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้น โดยในการทำงานจริง ๆ ซีพียูจะตรวจสอบกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจากบิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW เอง

3.7.4 วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของตัวคำสั่ง (Register Specific) คำสั่งบางคำสั่งของ MCS-51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องดำเนินการกับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใด เช่น ACCUMULATOR,DPTR,SP ดังนั้นในรหัสคำสั่ง(op-code) ของคำสั่งประเภทนี้ MCS-51 จะรู้ได้เองว่าต้องประมวลผลกับรีจิสเตอร์ตัวใด ด้วยเหตุนี้คำสั่งในกลุ่มนี้จึงไม่ต้องบอกตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้ เฉพาะคำสั่งนี้แต่อย่างใดเลย เช่น

```
MOV A,#data
```

```
MOV DPTR,#data
```

จากตัวอย่างนี้เราไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งรีจิสเตอร์ A,DPTR ในรหัสคำสั่งของคำสั่งทั้งสองแต่อย่างใด เพราะ MCS-51 จะทราบเองว่าเป็นรีจิสเตอร์ทั้งสองจากรหัสของคำสั่ง

3.7.5 วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants) เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่งจะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่งทั้งนี้จะต้องใช้เครื่องหมาย "#" ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น

```
MOV A,#100
```

3.7.6 วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวชี้อ้างอิง (Indexed Addressing) ข้อมูลที่ใช้วิธีการแบบนี้จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในหรือภายนอกชิปเท่านั้น จุดประสงค์กานอ้างข้อมูลแบบนี้มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วย

ความจำ สำหรับโปรแกรมซึ่งข้อมูลไม่สูญหายแม้ไม่มีพลังงาน ในการทำงานของคำสั่งที่ใช้วิธีนี้ จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR และ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลซึ่งเก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่ารีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ DPTR, PC จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งต้นของหน่วยความจำ ส่วนที่เก็บข้อมูลที่ต้องการ ส่วนค่าของรีจิสเตอร์ A จะเป็นตัวเลือกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ เช่น

```
MOV A,@A+DPTR
```

```
MOVC A,@A+PC
```

ความจริงการอ้างข้อมูลวิธีนี้ยังมีที่ใช้ในกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม โดยการบังคับให้โปรแกรมกระโดดข้ามไปทำงานที่ตำแหน่งใด ๆ ในหน่วยความจำ ซึ่งมีค่าตำแหน่งเท่ากับผลรวมของค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR กับรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
JMP @A+DPTR
```

เมื่อทราบถึงวิธีการเข้าถึงข้อมูลแบบต่าง ๆ แล้วต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของกลุ่มคำสั่งและคำสั่งแต่ละกลุ่มอย่างคร่าว ๆ

### 3.8 คำสั่งใน MCS-51

คำสั่งทั้งหมดใน MCS-51 สามารถแบ่งเป็นประเภทตามลักษณะการทำงานดังนี้

3.8.1 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instructions) เป็นกลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วยคำสั่งในการบวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งคำสั่งในการเพิ่มค่าข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป โดยมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลที่จะนำมาดำเนินการได้หลายวิธีดังแสดงในตารางที่ 3.3

รหัสบีโบนิก	การทำงาน	แอดเรสโหมด				เวลา ปฏิบัติการ (μS)
		Dir	Ind	Reg	Inm	
ADD A,<byte>	$A = A + \text{<byte>}$	/	/	/	/	1
ADDC A, <byte>	$A = A + \text{<byte>} + C$	/	/	/	/	1
SUBB A, <byte>	$A = A - \text{<byte>} - C$	/	/	/	/	1
INC A	$A = A + 1$	Accumulator only				1
INC <byte>	$\text{<byte>} = \text{<byte>} + 1$	/	/	/		1
INC DPTR	$DPTR = DPTR + 1$	Data Pointer only				2
DEC A	$A = A - 1$	Accumulator only				1
DEC <byte>	$\text{<byte>} = \text{<byte>} - 1$	/	/	/		1
MUL AB	$B:A = B \times A$	ACC and B only				4
DIV AB	$A = \text{Int}[A/B]$ $B = \text{Mod}[A/B]$	ACC and B only				4
DA A	Decimal Adjust	Accumulator only				1

ตารางที่ 3.3 แสดงกลุ่มคำสั่งคณิตศาสตร์ของ MCS-51

ข้อมูลที่เป็นตัวอักษร(byte) หมายถึงข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถใช้วิธีการเข้าถึงได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นกับชนิดของคำสั่ง

3.8.2 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instruction) ประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ เช่น AND, OR, Exclusive-OR, Complement รวมทั้งคำสั่งสำหรับเลื่อนบิตข้อมูลไปทางซ้าย หรือทางขวาโดยผ่านบิต carry flag หรือไม่มีก็ได้ นอกจากนี้ยังมีคำสั่งพิเศษที่ใช้ในการสลับข้อมูล 4 บิตบนและ 4 บิตล่าง (SWAP) ดังแสดงในตารางที่ 3.4

รหัสนิโบนิก	การทำงาน	แอดเรสโหมด				เวลาปฏิบัติการ (μS)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
ANL A,<byte>	A = A . AND . <byte>	/	/	/	/	1
ANL <byte> . A	<byte> = <byte> . AND . A	/				1
ANL <byte>, #data	<byte> = <byte> . AND . # data	/				2
ORL A , <byte>	A = A . OR . <byte>	/	/	/	/	1
ORL <byte> , A	<byte> = <byte> . OR . A	/				1
ORL <byte>, # data	<byte> = <byte> . OR . # data	/				2
XRL A. <byte>	A = A.XOR. <byte>	/	/	/	/	1
XRL <byte>A	<byte> =<byte>.XOR.A	/				1
XRL <byte>, # data	<byte> =<byte>.XOR.# data	/				2
CRL A	A= 00H			Accumulator only		1
CPL A	A=.NOT.A			Accumulator only		1
RL A	Rotate ACC Left 1 bit			Accumulator only		1
RLC A	Rotate Left through Carry			Accumulator only		1
RR A	Rotate ACC Right 1 bit			Accumulator only		1
RRC A	Rotate Right through Carry			Accumulator only		1
SWAP A	Swap Nibbles in A			Accumulator only		1

ตารางที่ 3.4 แสดงกลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ของ MCS-51

3.8.3 กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer Instruction) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูล เพื่อใช้ในการนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล ไปเก็บไว้ยังหน่วยความจำบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่อย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์เพื่อประมวลผล เนื่องจากคำสั่งบางคำสั่งจำเป็นต้องทำงานในรีจิสเตอร์เฉพาะตัวเท่านั้น เช่นคำสั่งในการคูณหรือหารที่ต้องทำงานกับรีจิสเตอร์ A,B เท่านั้น คำสั่งในกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็นกลุ่มคำสั่งย่อย ๆ ดังนี้

- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทั้งภายในและภายนอกชิป

กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มมีดังแสดงในตารางที่ 3.5,3.6 และ3.7

รหัสนิโมนิก	การทำงาน	แอดเรตโหมด				เวลาปฏิบัติ การ(µS)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
MOV A,<src>	A =<src>	/	/	/	/	1
MOV <dest> ,A	<dest> =A	/	/	/		1
MOV <dest> ,<src>	<dest> =<src>	/	/	/	/	2
MOV DPTR,#data16	DPTR=16 bit immediate constant				/	2
PUSH<src>	INC SP:MOV "@SP":<src>	/				2
POP<dest>	MOV <dest> ."@SP":DEC SP	/				2
XCH A,<byte>	ACC and <byte> exchange data	/	/	/		1
XCHD A,@Ri	ACC and @Ri exchange low nibbles		/			1

ตารางที่ 3.5 แสดงกลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลใน MCS-51

ขนาดแอดเรต	รหัสนิโมนิก	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ(µS)
8 บิต	MOVX A,@Ri	Read external RAM @Ri	2
8 บิต	MOVX @Ri,A	Write external RAM @Ri	2
16 บิต	MOVX A,@DPTR	Read external RAM @DPTR	2
16 บิต	MOVX @DPTR,A	Write external RAM @DPTR	2

ตารางที่ 3.6 แสดงกลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลใน MCS-51

รหัสนิโมนิก	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ(µS)
MOVC A,@A+DPTR	Read Pgm Memory at (A + DPTR)	2
MOVC A,@A+PC	Read Pgm Memory at (A + PC)	2

ตารางที่ 3.7 แสดงกลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลใน MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.4 กลุ่มคำสั่งในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม ( Program Control Instructions ) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม ในกลุ่มคำสั่งนี้ยังแบ่งออกเป็นคำสั่งที่ควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยมีเงื่อนไขและไม่มีเงื่อนไข ทำให้การเขียนโปรแกรมสะดวกขึ้น คำสั่งในกลุ่มนี้ทั้ง 2 ประเภทมีดังแสดงในตารางที่ 3.8 และ 3.9

รหัสนิโมติก	การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ(µS)
JMP addr	Jump to addr	2
JMP @A + DPTR	Jump to A+DPTR	2
CALL addr	Call subroutine at addr	2
RET	Return from subroutine	2
RETI	Return from interrupt	2
NOP	No operation	1

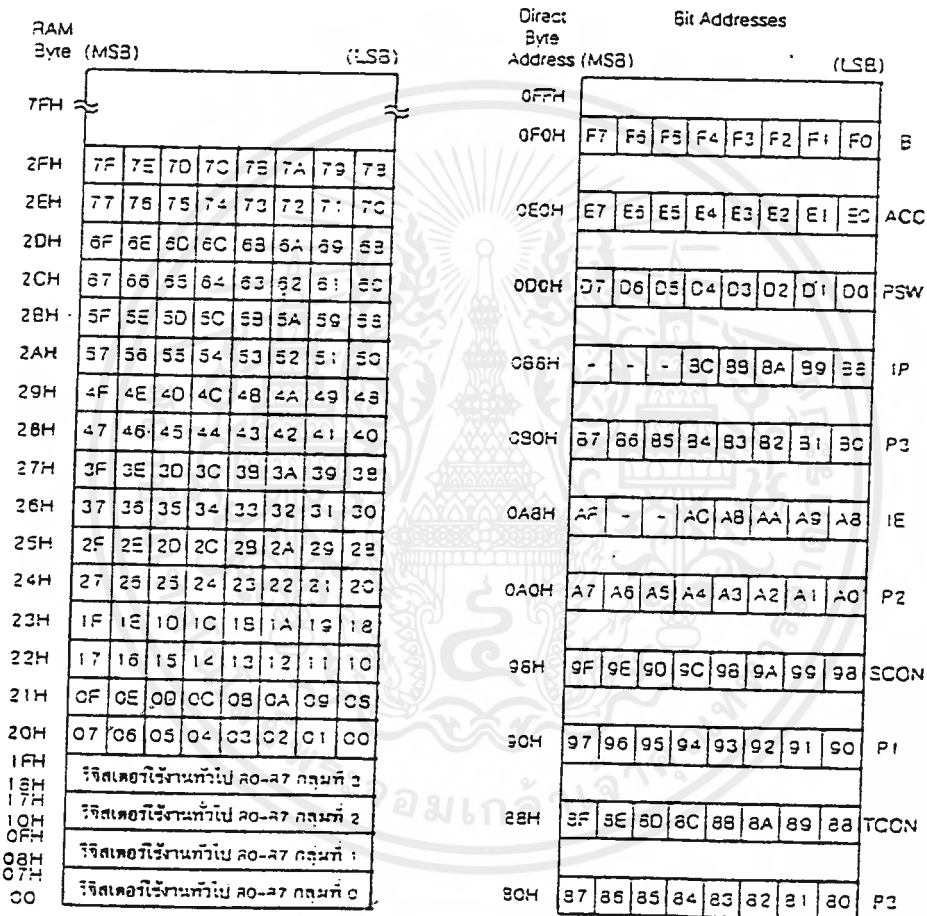
ตารางที่ 3.8 แสดงกลุ่มคำสั่งลำดับการทำงานของโปรแกรมใน MCS-51

รหัสนิโมติก	การทำงาน	แอดเดรสโหมด				เวลาปฏิบัติการ (µS)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
JZ ret	Jump if A = 0	Accumulator only				2
JNZ ret	Jump if A ≠ 0	Accumulator only				2
DJNZ <byte>,ret	Decrement and jump if not zero	/	.	/		2
CJNE A,<byte>,ret	Jump if A ≠ <byte>	/			/	2
CJNE <byte>,#data,ret	Jump if <byte> ≠ data		/		/	2

ตารางที่ 3.9 แสดงกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมใน MCS-51

3.8.5 กลุ่มคำสั่งสำหรับการประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instruction) MCS-51 มีความสามารถพิเศษในการประมวลผลแบบบูลีนซึ่งไม่มีในไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดอื่น การประมวลผลแบบนี้มีไว้ใช้สำหรับงานทางด้านควบคุมโดยเฉพาะ จึงทำให้ MCS-51 เหมาะสมสำหรับที่จะนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างดี

การประมวลผลแบบบูลีนจะเป็นการประมวลผลด้วยข้อมูลขนาด 1 บิต โดยมีหน่วยความจำขนาด 1 บิต สำหรับประมวลผลซึ่งสามารถอ้างตำแหน่งโดยตรง หน่วยความจำนี้จะอยู่บริเวณเดียวกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปและที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.9



(ก) บริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป

(ข) บริเวณรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัว

รูปที่ 3.9 แสดงหน่วยความจำสำหรับประมวลผลแบบบูลีน

หน่วยความจำที่แสดงในรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่าอยู่ในแต่ละบิตของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ไว้เก็บข้อมูลทั่วไป ณ ตำแหน่ง 20H-2FH และที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่มีค่าตำแหน่งสามบิตสุดท้ายเป็น 0 (ค่าแอดเดรสไบต์ค่าเป็น 0000B หรือ 1000B)

ในการประมวลผลแบบบูลีนจะใช้ค่าข้อมูลจากหน่วยความจำขนาด 1 บิตเหล่านี้โดยในการประมวลผลนี้ประกอบด้วย

- เซตบิต
- เคลียร์บิต
- กระทำคำสั่งทางตรรกศาสตร์ระหว่างความจำกับบิต carry flag
- ตรวจสอบสถานะบิตและข้ามไปทำงานในส่วนอื่นของโปรแกรมขึ้นกับสถานะของบิต
- เคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่าง carry flag กับหน่วยความจำ

คำสั่งทั้งหมดในกลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีนดังแสดงในตารางที่ 3.10

รหัสนิมิก		การทำงาน	เวลาปฏิบัติการ( $\mu$ S)
ANL	C , bit	$C = C.AND.bit$	2
ANL	C , /bit	$C = C.AND..NOT.bit$	2
ORL	C , bit	$C = C.OR.bit$	2
ORL	C , /bit	$C = C.OR..NOT.bit$	2
MOV	C , bit	$C = bit$	1
MOV	bit , C	$bit = C$	2
CLR	C	$C = 0$	1
CLR	bit	$bit = 0$	1
SETB	C	$C = 1$	1
SETB	bit	$bit = 1$	1
CPL	C	$C = .NOT.C$	1
CPL	bit	$bit = .NOT.bit$	1
JC	rel	Jump if $C = 1$	2
JNC	rel	Jump if $C = 0$	2
JB	bit , rel	Jump if $bit = 1$	2
JNB	bit , rel	Jump if $bit = 0$	2
JBC	bit , rel	Jump if $bit = 1 ; CLR bit$	2

ตารางที่ 3.10 แสดงกลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

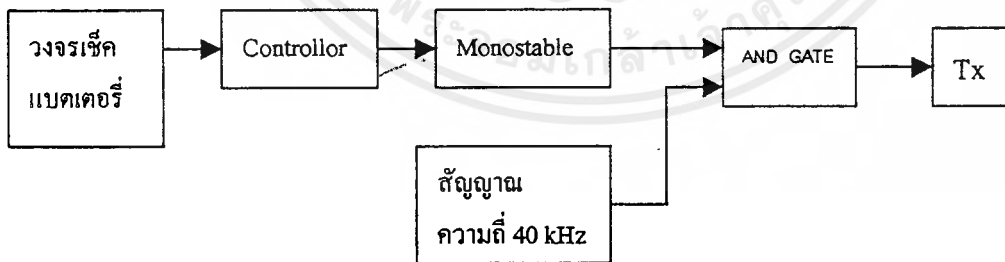
## บทที่ 4

### วงจรและการทำงาน

ตัวหุ่นยนต์คู่หูของเรานั้น จะมีการนำ อุลตราโซนิก ทรานสดิวเซอร์ ติดไว้ที่ตัวหุ่นทั้งตัวรับและตัวส่ง เพื่อทำการส่งคลื่น อุลตราโซนิก ไปยังที่ตัวซาร์จแบคเตอร์ เมื่อตัวหุ่นยนต์นั้นเกิดการ แบคเตอร์ มี ค่าต่ำกว่าค่าที่เรากำหนดไว้ ( ตั้งค่าไว้ที่ 9.6-9.8 โวลต์ ) ซึ่ง จะเกิดเป็นสัญญาณเข้าไปอินเตอร์รัพต์ ที่ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเป็นตัวโปรแกรมให้มีการส่งคลื่นอุลตราโซนิกออกไป เพื่อให้ที่ซาร์จแบคเตอร์รับสัญญาณ จากตัวหุ่น แล้วส่งสัญญาณกลับมาเพื่อบอกตำแหน่งที่ตั้งของตัวมันเอง หลังจากที่ตัวหุ่นได้รับสัญญาณที่ส่งมาจากที่ซาร์จแบคเตอร์แล้วก็จะหยุดการส่งคลื่นอุลตราโซนิก แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะโปรแกรมไปควบคุมการขับเคลื่อนเพื่อทำการหาที่ตั้งของที่ซาร์จแบคเตอร์ต่อไป

#### 4.1 วงจรภาคส่งสัญญาณที่ตัวหุ่นยนต์

วงจรในภาคส่งสัญญาณ นั้นจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ วงจรเช็คแบคเตอร์ ส่งสัญญาณไปบอกยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปโปรแกรมให้ วงจรภาคส่งอุลตราโซนิก ทำการส่งคลื่นอุลตราโซนิก ออกไป ดังสามารถแสดงเป็น บล็อกไดอะแกรม ของการทำงานในส่วนของภาคส่งได้ดังรูปที่ 4.1



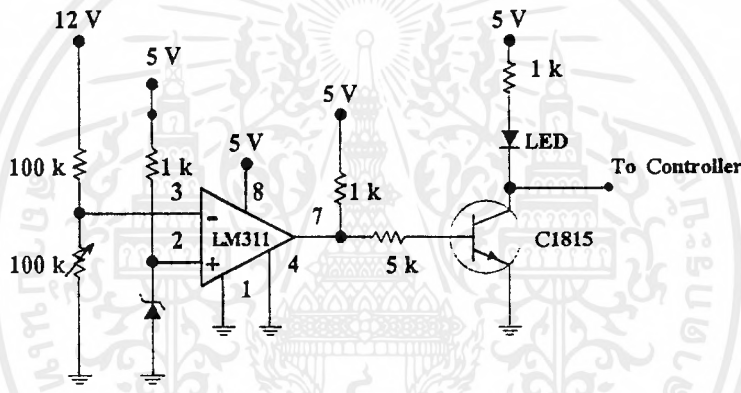
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานในส่วนของภาคส่ง

จากรูปที่ 4.1 นั้นจะเห็นว่าที่ตัวหุ่นยนต์นั้น จะมีการสร้างพัลส์ ( pulse ) โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวทริก ที่วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ แล้วนำสัญญาณที่ได้นี้ไป แอนด์กับสัญญาณที่มาจากวงจร ฮอสซิลเลเตอร์ ที่มีความถี่ขนาด 40 kHz ซึ่งเป็นความถี่ของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ในโครงการนี้เราเลือกใช้ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการแอนด์กันนั้น ส่งเข้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรทีวีแรงดัน ก่อนที่จะถูกส่งไปขับหลอดร้าวโซนิคทรานสดิวเซอร์ตัวส่ง เพื่อส่งสัญญาณออกไป โดยจะมีวงจรและส่วนที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

#### 4.1.1 วงจรเช็คแบตเตอรี่

วงจรมีหน้าที่ในการเช็คแบตเตอรี่ที่ใช้ในตัวหุ่นยนต์ที่มีขนาด 12 โวลต์ นั้นว่ามีค่าต่ำกว่าที่เราตั้งค่าไว้หรือไม่ โดยที่เราทำการตั้งค่าไว้ที่ประมาณ 9.6-9.8 โวลต์ ซึ่งสามารถแสดงรูปของวงจรได้จากรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรเช็คแบตเตอรี่

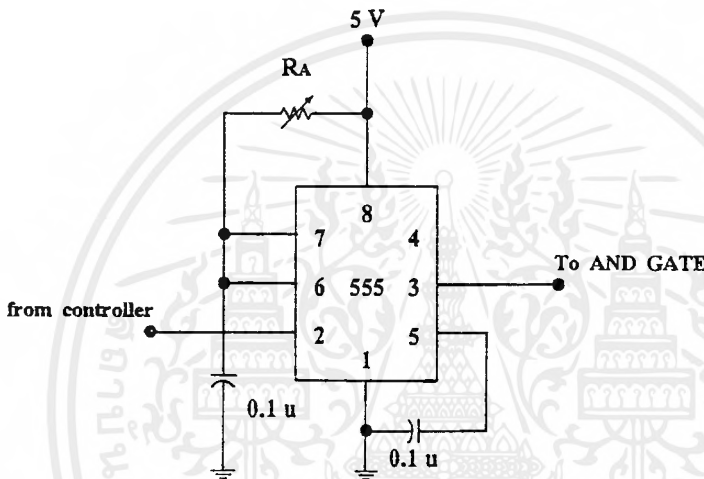
การทำงานของวงจรมีการใช้ ออปแอมป์ LM311 ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันของแบตเตอรี่กับแรงดันที่เราตั้งค่าไว้ โดยในขณะที่แบตเตอรี่ยังมีค่ามากกว่าค่าที่เราตั้งไว้ นั่นเอาต์พุตของ LM311 ก็จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ C1815 ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับสวิทช์ นั้นอยู่ในสถานะ OFF ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหล LED จึงไม่ติด ดังนั้นสัญญาณที่เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีค่าเป็นลอจิก 1 ( 5 โวลต์ ) และในทางกลับกัน หากว่าแบตเตอรี่เกิดแรงดันตกลงต่ำกว่าค่าแรงดันที่ตั้งค่าไว้ ก็จะให้อเอาต์พุตของ LM311 ออกมาประมาณ 5 โวลต์ ทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ใน สถานะออน ( ON ) เกิดกระแสไหล LED จึงติด และสัญญาณที่เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเปลี่ยนจากลอจิก 1 เป็น 0 ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทราบว่า ขณะนี้แบตเตอรี่มีค่าแรงดันต่ำแล้วต้องทำการส่งพัลส์ไปทริกที่ วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์นี้เราสร้างได้ด้วยการใช้ ไอซี 555 แสดงได้ดังรูป 4.3 ซึ่งวงจรนี้จะมีลักษณะสำคัญคือ จะต้องมีการทริกที่ขา 2 ทุกครั้งที่ต้องการสร้างพัลส์ และสร้างพัลส์ได้โดยที่เราสามารถกำหนดความกว้างของพัลส์ได้ โดยการกำหนดค่าของ  $R_A$  และค่าของ  $C$  ดังแสดงได้ดังสมการ

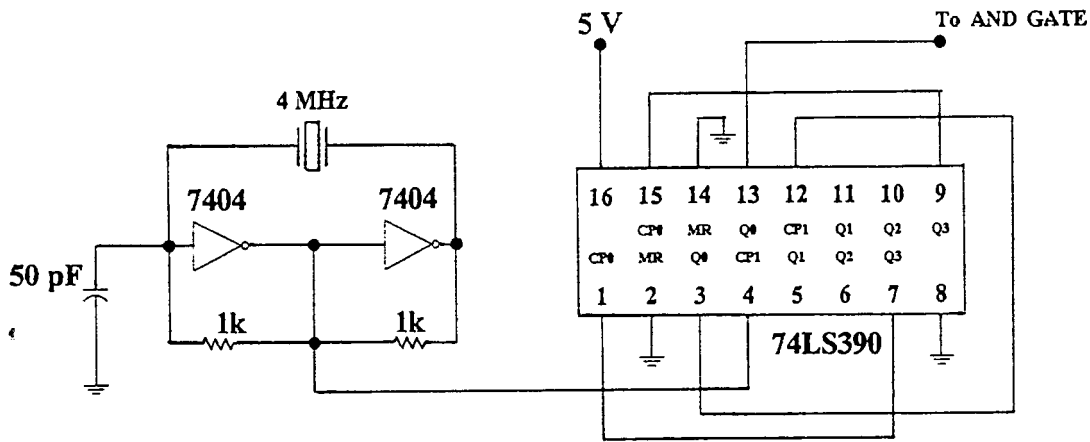
$$T_{high} = 1.1 * R_A * C$$



รูปที่ 4.3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

#### 4.1.3 วงจรสร้างความถี่ 40 kHz

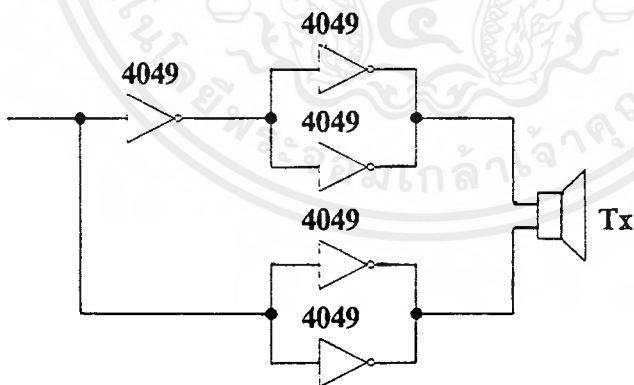
จากวงจรรูปที่ 4.4 นั้นเราจะใช้ คริสตัล 4 MHz เป็นตัวกำเนิดความถี่ โดยที่ความถี่ที่เราต้องการนั้นคือ ความถี่ 40 kHz ซึ่งเป็นความถี่ของออสซิลเลเตอร์ที่เราเลือกใช้ในโครงการ ดังนั้น เมื่อได้ความถี่ 4 MHz จากคริสตัลแล้ว จึงต้องนำมาผ่านวงจรหาร 100 ก่อน โดยการใช้ไอซี 74LS390 เพื่อให้ได้ความถี่ 40 kHz ซึ่งสัญญาณนี้ก็นำไปแอนคกับสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของ วงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์



รูปที่ 4.4 วงจรสร้างความถี่ 40 kHz

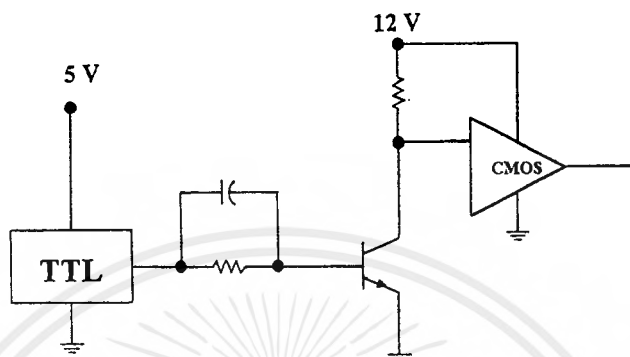
#### 4.1.4 วงจรทวีแรงดัน

จะทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้มีค่ามากขึ้นประมาณสองเท่าตัวของไฟเลี้ยง ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถขับทรานซิสเตอร์ตัวส่งให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากยิ่งขึ้น ซึ่งวงจรนี้จะประกอบด้วยการนำ อินเวอร์เตอร์ มาประกอบกันดังรูป 4.5 ซึ่งจะเห็นว่าเราได้มีการใช้ไอซีซีเอ็มอส (CMOS) เพราะเราสามารถจ่ายไฟให้กับ ไอซีได้มากกว่า ไอซีทีทีแอล (TTL) เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟที่สูงกว่าและนำมาต่อกันแบบทวีแรงดันแล้วก็จะยังสามารถทำให้สัญญาณส่งไปได้ไกลยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.5 วงจรทวีแรงดัน

เห็นได้ว่าในวงจรภาคส่งนั้นได้มีการใช้ทั้ง ไอซีซีมอส (CMOS) และ ไอซีทีทีแอล (TTL) ร่วมกันซึ่งจำเป็นต้องมีวงจรเพิ่มเติมในการเชื่อมต่อดังแสดงได้ดังรูป 4.6

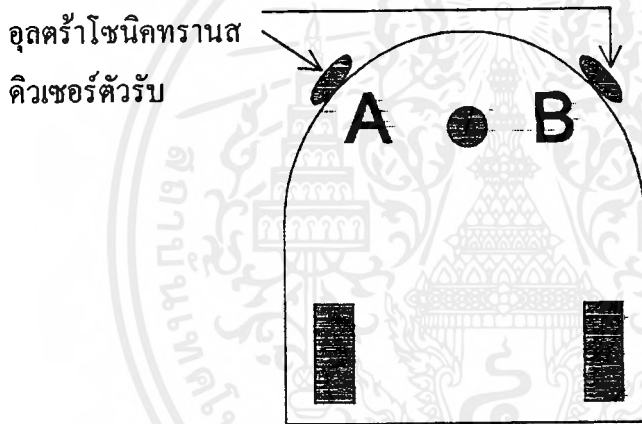


รูปที่ 4.6 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างไอซี CMOS และไอซี TTL



## 4.2 วงจรภาครับสัญญาณที่ตัวหุ่นยนต์

หลังจากที่ตัวหุ่นได้ทำการส่งสัญญาณออกไปแล้ว เมื่อที่ตัวซาร์จแบตเตอรี่ได้รับสัญญาณที่ส่งมาจากตัวหุ่น ก็จะทำการส่งสัญญาณตอบกลับมาให้แก่ตัวหุ่นเพื่อเป็นการบอกตำแหน่งที่ตั้งของตัวซาร์จแบตเตอรี่เอง โดยเมื่อตัวหุ่นได้รับสัญญาณจากตัวซาร์จแบตเตอรี่แล้ว ตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งให้ทำการหยุดส่งสัญญาณที่ตัวหุ่น และทำการค้นหาเส้นทางที่จะไปยังตำแหน่งที่ตั้งของตัวซาร์จแบตเตอรี่ โดยการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ 2 ชุดที่ติดตั้งไว้บนตำแหน่ง ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุตตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวรับ

จะเห็นได้ว่าเมื่อตัวรับที่ตำแหน่ง A และ B สามารถรับสัญญาณจากตัวซาร์จแบตเตอรี่ได้นั้น สัญญาณที่ทั้งสองรับได้นั้น จะมีค่าความเข้มที่แตกต่างกันหรือเท่ากันนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของตัวหุ่น โดยที่เราสามารถหาตำแหน่งของตัวซาร์จแบตเตอรี่ได้จากการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณที่ตัวรับที่ตำแหน่ง A และ B รับได้ ซึ่งเราสามารถแยกเป็นกรณีๆ ได้ 4 กรณีด้วยกันคือ

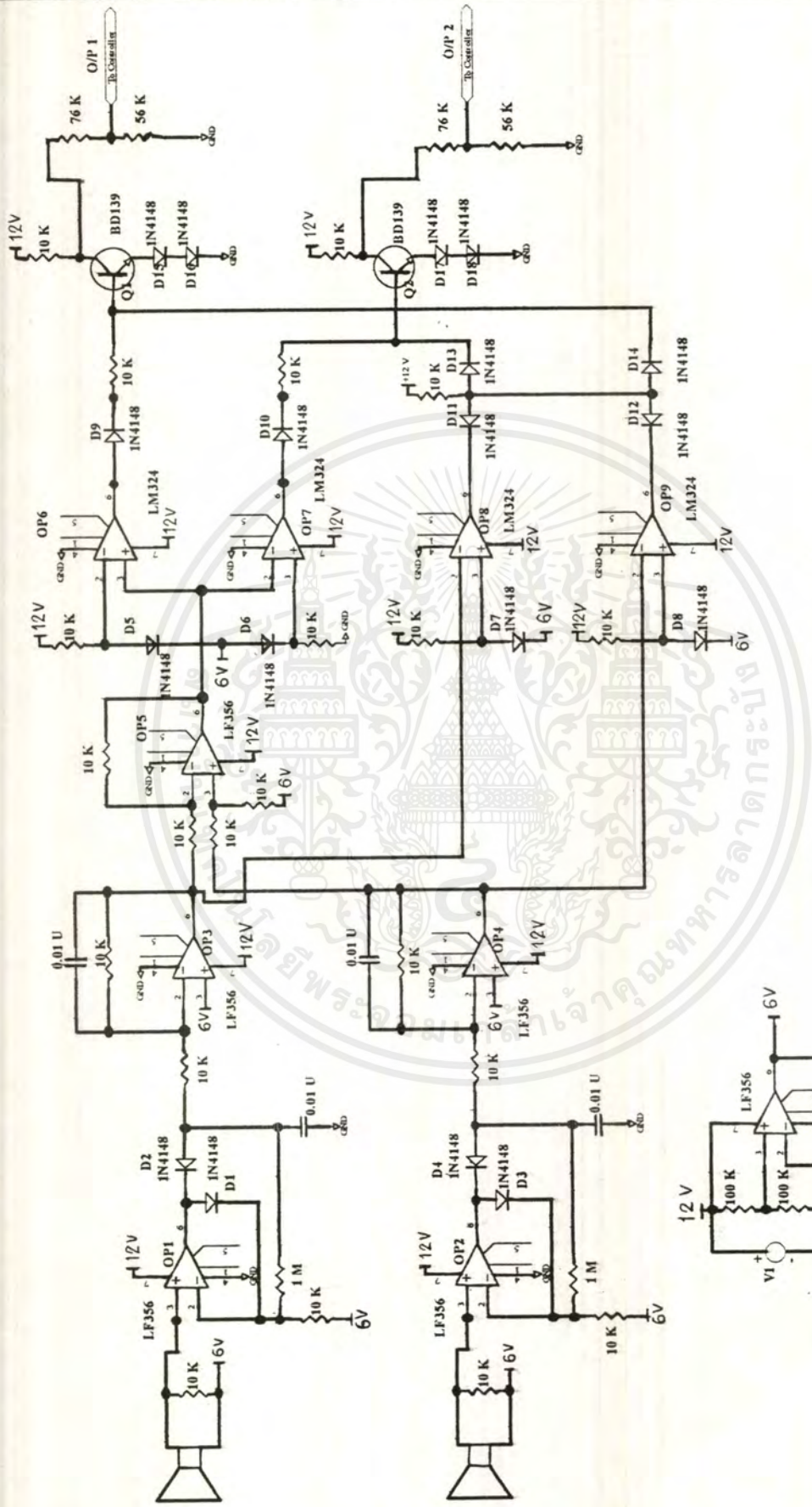
1. A กับ B ไม่สามารถรับสัญญาณได้
2. A รับสัญญาณได้มากกว่า B
3. A รับสัญญาณได้น้อยกว่า B
4. A รับสัญญาณได้เท่ากับ B

จากวงจรรูปที่ 4.9 นั้นเราจะเห็นว่า อุตสาหกรรมสวิตเซอร์แลนด์ทั้ง A และ B นั้นจะผ่าน วงจรเรกติไฟเออร์ พร้อมทั้งมีการขยายสัญญาณไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าจุดอ้างอิงของวงจรมันคือ 6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากที่ตัวหุ่นยนต์นั้นไม่มีไฟลบ จึงต้องใช้ไฟ 6 โวลต์นี้เปรียบเสมือนกราวด์ของวงจร และไฟ 0 โวลต์นั้นก็เสมือนเป็นไฟลบให้แก่ทั้งวงจร จากนั้นสัญญาณนี้จะผ่านวงจรอินติเกรตและขยายสัญญาณอีกครั้งเพื่อให้สัญญาณนั้นเรียบขึ้น แล้วนำสัญญาณจากตัวรับ A และ B ที่ผ่านการเรกติไฟร์ และขยายเรียบร้อยแล้วนำไปเข้า คิฟแอมป์ ที่มีค่าอัตราขยายสัญญาณเป็น 1 เอาต์พุตที่ออกจากคิฟแอมป์จะเป็นค่าผลต่างของความแรงของสัญญาณที่ A และ B รับผิดชอบต่างกัน โดยที่ในกรณีแรกนั้น A และ B ไม่สามารถรับสัญญาณได้ นั้นจะพิจารณาที่ตัวออปแอมป์ตัวที่ 8 และ 9 เอาต์พุตของออปแอมป์ทั้งสองตัวจะมีค่าประมาณไฟเลี้ยง ( 12 โวลต์ ) ซึ่งจะทำให้ไดโอดตัวที่ 11 และ 12 ไม่ทำงาน แต่ไดโอดตัวที่ 13 และ 14 จะทำงาน เป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองอยู่ในสถานะออน ( ON ) เกิดมีกระแสไหล เอาต์พุตที่จุด 1 และ 2 นั้นจึงมีค่าเป็น 0 โวลต์ทั้งคู่ ในกรณีที่สองนั้นถ้า A รับสัญญาณได้แรงกว่า B แล้วเมื่อผ่านคิฟแอมป์ ( ออปแอมป์ตัวที่ 5 ) เอาต์พุตของคิฟแอมป์จะมีค่าน้อยกว่า 6 โวลต์ ทำให้ไดโอดตัวที่ 9 อยู่ในสภาวะรีเวิร์ส ดังนั้นที่เอาต์พุตที่จุด 1 จึงมีค่าเป็น 5 โวลต์ แต่ในทางกลับกันไดโอดตัวที่ 10 อยู่ในสภาวะฟอร์เวิร์ดทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะออน ( ON ) ดังนั้นเอาต์พุตที่จุด 2 จึงมีค่าเป็น 0 โวลต์ ในกรณีที่ 3 นั้นก็จะกลับกันกับกรณีที่สองโดย เอาต์พุตที่จุด 1 จะมีค่าเป็น 0 โวลต์แต่ที่จุด 2 นั้นจะมีค่าเป็น 5 โวลต์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ทำนองเดียวกันกับกรณีที่สอง ส่วนในกรณีสุดท้ายนั้น เอาต์พุตที่จุด 1 และ 2 นั้นจะมีค่าเป็น 5 โวลต์ทั้งคู่ ซึ่งเอาต์พุตทั้งสองจุดนี้เราจะนำเข้าไปต่อที่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะนำไปโปรแกรมเพื่อหาเส้นทางที่จะไปหาตำแหน่งของที่ชาร์จแบตเตอรี่ จากกรณีต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเราสามารถแสดงเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.1

กรณี	เอาต์พุตที่จุด 1	เอาต์พุตที่จุด 2
$A = B = 0$	0 โวลต์	0 โวลต์
$A > B$	5 โวลต์	0 โวลต์
$A < B$	0 โวลต์	5 โวลต์
$A = B > 0$	5 โวลต์	5 โวลต์

ตารางที่ 4.1 แสดงเอาต์พุตที่จุด 1 และ 2 ในกรณีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



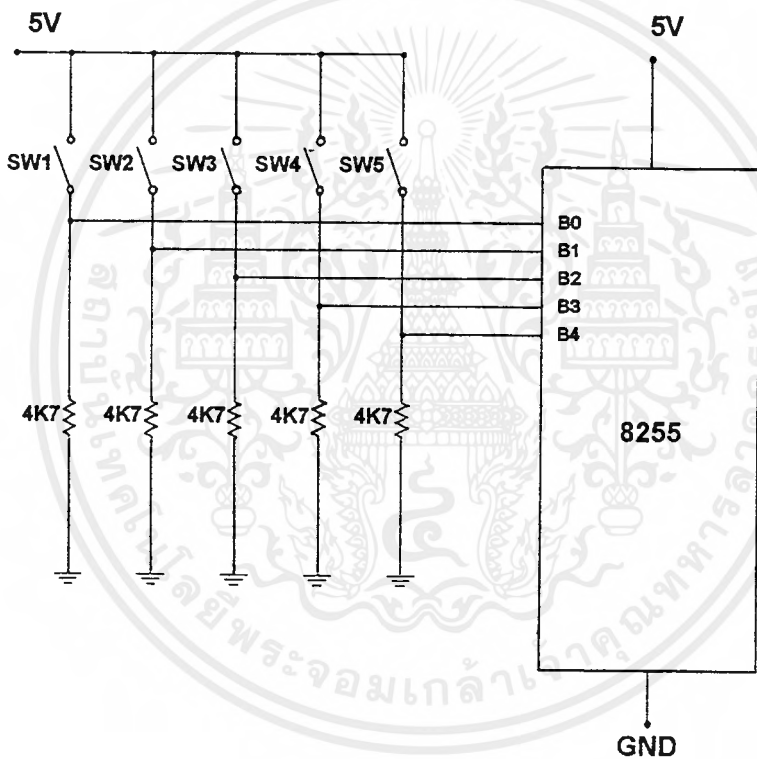
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรในภาคปริศยานที่ตัวหุ่นยนต์

Title	Member	Revision
Date	13 Mar 1999	Sheet of
File	COMPOCOURSE.S31	Drawn by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่มีการเผยแพร่ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วงจรอินพุตในการหลบหลีกเลี่ยงกิ่งขวาง

จากรูป 4.10 จะเป็นการทำงานของไมโครสวิตช์ โดยจะนำไปเป็นอินพุตต่อเข้าไปที่พอร์ต B ของ 8255 ซึ่งเมื่อสวิตช์ตัวใดถูกกด หรือเกิดการชนเกิดขึ้น ก็จะมีค่าส่งไปที่อินพุตพอร์ตนั้นเป็นค่าลอจิก 1 แต่ถ้าไม่เกิดการชน หรือสวิตช์ไม่โดนกด ก็จะแสดงค่าเป็นลอจิก 0 ที่พอร์ตเส้นนั้น ซึ่งจะนำไปเป็นส่วนอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์คู่คู้ต่อไป



รูปที่ 4.10 วงจรอินพุตในการหลบหลีกเลี่ยงกิ่งขวาง

เราสามารถแสดงค่าลอจิกของตำแหน่งสวิตช์ที่โคนชน ( สวิตช์ที่โคนชนจะมีค่าเป็นลอจิก 1 และสวิตช์ที่ไม่โคนชนจะมีค่าเป็นลอจิก 0 ) โดยดูจากรูปที่ 4.10 ซึ่งเรานำไปเป็นค่าอินพุตให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

สวิตช์ที่โคนชน	ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
SW1 หรือ SW2	เลี้ยวซ้าย
SW3 หรือ SW4	เลี้ยวขวา
SW5	ถอยหลังแล้วเลี้ยวซ้าย

ตารางที่ 4.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งสวิตช์ที่โคนชน

#### 4.4 วงจรที่ตัวชาร์จแบตเตอรี่

ในส่วนของวงจรที่เครื่องชาร์จแบตเตอรี่จะประกอบไปด้วย วงจรชาร์จแบตเตอรี่, ส่วนของวงจรรับสัญญาณอัลตราโซนิก และส่วนของวงจรส่งสัญญาณอัลตราโซนิก โดยจะทำงานสัมพันธ์กันดังนี้ เมื่อตัวหุ่นเกิดสถานะแบตเตอรี่มีค่าต่ำ ตัวหุ่นจะทำการส่งสัญญาณอัลตราโซนิกที่มีลักษณะเป็นพัลส์ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งควบคุมโดยโมโนสเตเบิล ( Monostable ) มายังที่เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ทำให้เมื่อเครื่องชาร์จแบตเตอรี่รับสัญญาณจากตัวหุ่นได้ จะนำสัญญาณที่รับมาได้นั้นไปผ่านส่วน ของวงจรขยายสัญญาณ ที่มีอยู่ 2 ชุดด้วยกัน และมีอัตราขยายประมาณ 100 เท่า สัญญาณที่ผ่านการขยายออกมากจะถูกนำไปผ่านไดโอด เรคตีไฟเออร์ ทำให้สัญญาณเหลือเฉพาะซีกบวก จากนั้นนำสัญญาณมาผ่านส่วนของวงจรมิกเซอร์ และต่อเข้ากับ ออร์เกต ( OR GATE ) โดยที่ไม่ว่าส่วนของวงจรขยายตัวใดรับได้ ก็จะทำให้เอาท์พุทของออร์เกตส่งค่าไปทริกที่ ไอซีโมโนสเตเบิล เพื่อทำให้พัลส์ของสัญญาณมีความกว้างมากขึ้นใช้ในการทริกเอสซีอาร์ ( SCR ) ให้ทำงาน เมื่อ เอสซีอาร์ ทำงานจะมีกระแสไหลผ่านตัวมัน ทำให้หลอด แอลอีดี ( LED ) เปล่งแสงแสดงสถานะว่าขณะนี้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ได้รับสัญญาณจากตัวหุ่นแล้วและพร้อมจะส่งสัญญาณกลับไปให้ตัวหุ่นใช้ในการตรวจจับทิศทางเพื่อมายังเครื่องชาร์จแบตเตอรี่

เมื่อเอสซีอาร์ มีกระแสไหลจะส่งสัญญาณผ่าน แนนด์เกต ( NAND GATE ) ไปทำให้แหล่งกำเนิดพัลส์ความถี่ขนาด 40 kHz สามารถผ่านไปยังวงจรทวีแรงดันที่ทำให้ค่าแรงดันสูงขึ้นจากเดิมเป็น 2 เท่า เพื่อนำไปขับหัวอัลตราโซนิกให้ส่งสัญญาณกลับออกไป โดยสัญญาณที่ส่งจากเครื่องชาร์จแบตเตอรี่นี้จะเป็นสัญญาณที่มีลักษณะต่อเนื่องและแตกต่างจากสัญญาณที่ส่งมาจากตัวหุ่นทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนกับตัวหุ่นในการตรวจจับสัญญาณเพื่อบอกทิศทางกลับไปยังที่ชาร์จแบตเตอรี่

เมื่อหุ่นยนต์สามารถกลับมายังที่ชาร์จแบตเตอรี่ได้แล้ว ก็ทำการชาร์จประจุจากวงจรชาร์จแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จประจุได้จนถึงประมาณ 13.6 V ก็จะทำให้ซีเนอร์ไดโอด นั้นทำงานมีกระแสไหลไปทริกขานกทของ เอสซีอาร์ ทำให้ เอสซีอาร์ทำงานซึ่งจะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ ดังนั้นหน้าสัมผัสของรีเลย์ ที่อยู่ในสถานะปกติปิดจึงเปลี่ยนสถานะเป็นปกติเปิด ตัดไฟเลี้ยงที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ซึ่งก่อนที่หุ่นยนต์จะทำการชาร์จแบตเตอรี่นั้นเมื่อมาถึงเครื่องชาร์จ สวิตช์ sw1, sw2, sw3 ทำให้มีกระแสไหลผ่าน K2 และ K3 ซึ่ง K3 ภาวะปกติมันจะอยู่ในลักษณะ ปกติปิด เมื่อมีกระแสไหลผ่านก็จะกลายเป็น ภาวะปกติเปิด และเราได้ใช้ในการควบคุมให้มีการตัดวงจรทั้งหมดที่ตัวหุ่นยนต์ออกในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ ส่วน K2 นั้นก็ทำนองเดียวกันคือ ภาวะปกติจะอยู่ในลักษณะ ปกติปิด เมื่อมีกระแสไหลผ่านก็จะกลายเป็น ปกติเปิด ซึ่งเราจะใช้ควบคุมให้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ทำการหยุดส่งสัญญาณอุลตราโซนิกออกไป เมื่อหุ่นยนต์สามารถกลับมายังเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ได้แล้ว





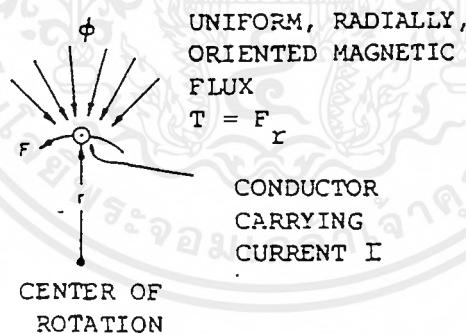


## 4.5 การทำงานของภาคขับเคลื่อนมอเตอร์

จากบทหน้านั้น เราได้ทราบมาแล้วว่าในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์นั้นเราได้ใช้ ดีซีมอเตอร์ (DC Motor) เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน โดยจะมีชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับการทำงานของมอเตอร์แล้วส่งป้อนกลับไปสู่ส่วนประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการออกแบบระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ชุดหุ่นจะอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

### 4.5.1 การทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ โดยมีคุณสมบัติคือ แรงบิดที่เพลลาของ ดีซีมอเตอร์ จะแปรผันตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดที่เพลลาของ ดีซีมอเตอร์ จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในดีซีมอเตอร์

ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำ จะสร้างสนามที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  และขดลวดตัวนำเหล่านั้น อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ  $r$  สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสได้ดังสมการ 4.1

$$T = K \phi I \quad (4.1)$$

- เมื่อ  $T$  คือแรงบิดของเพลานี้ มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N-m)  
 $\phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (waber)  
 $I$  คือกระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)  
 $K$  คือค่าคงที่

จะเห็นได้ว่าแรงบิดของเพลานั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส โดยเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันเอง โดยที่ค่าแรงดันนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของมอเตอร์ และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ของแรงดันย้อนกลับกับความเร็วของเพลามอเตอร์แสดงได้ดังสมการ 4.2

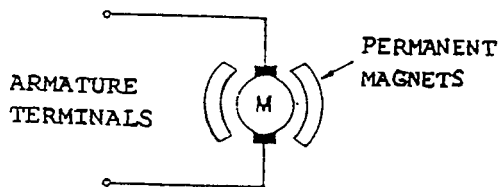
$$E = K\phi\omega \quad (4.2)$$

- เมื่อ  $E$  คือแรงดันย้อนกลับ (back emf) มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)  
 $\phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (waber)  
 $\omega$  คือความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที (rad/s)

ดีซีมอเตอร์ นั้นสามารถแยกประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

- ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
- ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึง ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่เท่านั้น ซึ่งมักจะใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร แสดงได้ดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 ดีซีมอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กแบบถาวร

ในระบบนี้เส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กจะมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนสมการที่ 4.1 และ 4.2 ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นดังต่อไปนี้

$$T = K_t I \quad (4.3)$$

$$E = K_e \omega \quad (4.4)$$

โดยที่เราจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์ , แรงบิด และความเร็วของมอเตอร์เป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นสมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้จะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4.5

$$V = K_e \omega + L di/dt + R_i \quad (4.5)$$

- เมื่อ  $V$  คือแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์  
 $K_e$  คือค่าคงที่ของแรงดันย้อนกลับ (back emf)  
 $L$  คือค่าอินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์  
 $R$  คือค่าความต้านทานของขั้วมอเตอร์

และสมการไดนามิกส์ของมอเตอร์คือ

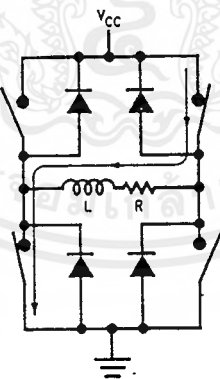
$$T_g = J d\omega/dt + B\omega + T_r + T_L \quad (4.6)$$

- เมื่อ  $T_g$  คือแรงบิดที่กำเนิดโดยอาร์มาเจอร์  
 $J$  คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด  
 $B$  คือสัมประสิทธิ์ของวิสตอสแคมป์ปิ้ง  
 $T_r$  คือแรงบิดเสียดทานภายใน  
 $T_L$  คือแรงบิดโหลด

มอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กถาวร นั้นจะมีข้อดีที่เหนือกว่ามอเตอร์แบบที่มีโครงสร้างของสนามแม่เหล็กด้วยการพันขดลวด คือ ไม่มีกำลังสูญเสียในสนามแม่เหล็ก และมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากัน นอกจากนั้น ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นในสมการที่ 4.1 ยังให้ค่าของกระแสอาร์มาเจอร์ที่สูงกว่า ดีไซน์มอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กเป็นขดลวด เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูงมาก

#### 4.5.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ ( Motor speed control )

การควบคุมความเร็วมอเตอร์สามารถทำได้โดยการควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ หรือโดยการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์มาเจอร์ ซึ่งควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ นั้นสามารถควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงควัตซ์ไซเคิล ( Duty cycle) ของแรงดันที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงควัตซ์ไซเคิล สามารถทำได้โดยใช้วิธีพัลส์วิดท์โมดูเลชัน สามารถแสดงการทำงานได้ดังรูป (4.15) กล่าวคือเมื่อสวิตช์  $T_1$  และ  $T_2$  เปิดและปิด ด้วยความถี่ค่าหนึ่งที่ควัตซ์ไซเคิล  $D = t_p/T$  ก็จะได้รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นพัลส์



รูปที่ 4.15 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีพัลส์วิดท์โมดูเลชัน

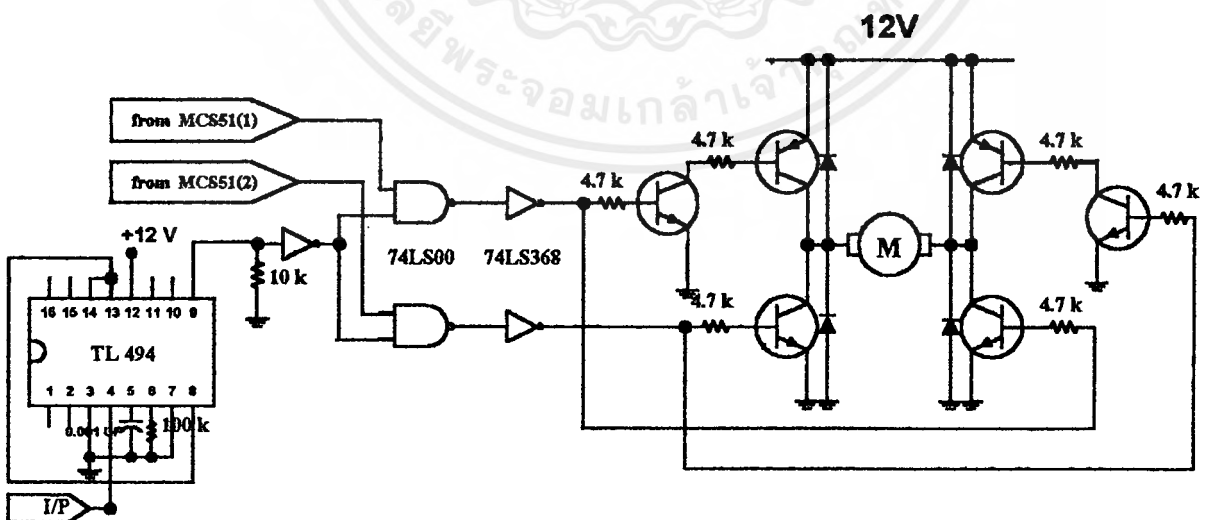
เมื่อสวิตช์  $T_1$  และ  $T_4$  เปิดเป็นเวลา  $t_1$  จะมีแรงดันอินพุท  $V_s$  ตกคร่อมมอเตอร์และถ้าปิดสวิตช์ เป็นเวลา  $t_2$  แรงดันตกคร่อมมอเตอร์จะเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตในหนึ่งคาบเวลาจะได้จาก

$$V_a = 1/T \int_0^T V_m dt = t_1 V_s / T = DV_s \quad (4.7)$$

จากสมการ (4.7) จะเห็นว่าถ้าค่าวิตซ์ไซเคิลเปลี่ยนแปลง ค่าแรงดันเฉลี่ยที่คร่อมมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกัน

#### 4.4.3 การออกแบบและการสร้างระบบขับเคลื่อน

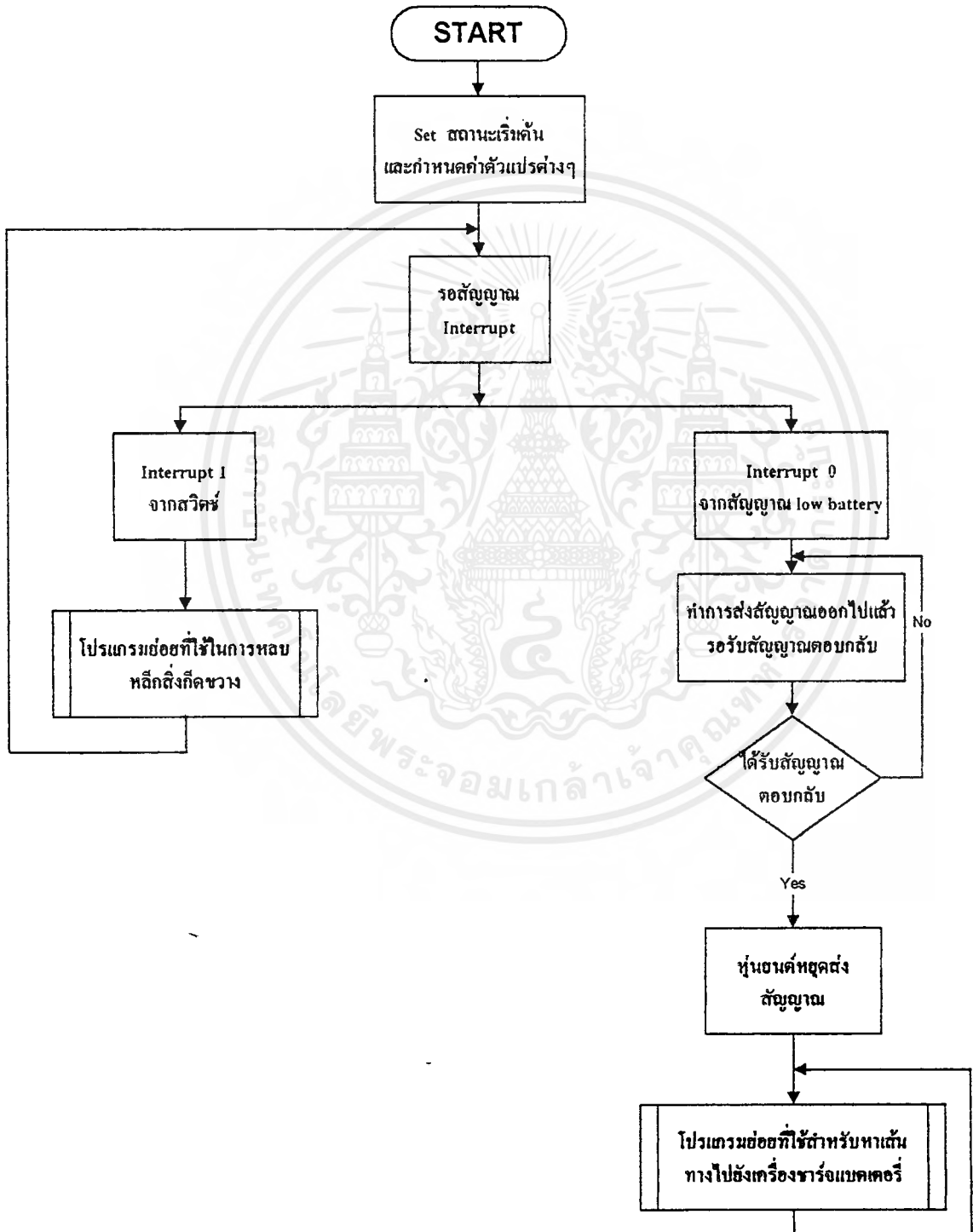
ในระบบขับเคลื่อนได้เลือกใช้คิซิมอเตอร์แบบแรงแม่เหล็กคงที่ ส่วนการควบคุมความเร็วจะใช้พัลส์วิตช์มอดูเลชันร่วมกับบริดจ์แอมพลิไฟโดยมีการทำงานดังนี้ การปรับความเร็วแรงดันที่ขา 4 ของไอซี TL494 (เป็นขา Dead Time control) จะทำให้เอาต์พุตที่ขา 9 เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างแตกต่างกันออกไปขึ้นกับระดับแรงดันนั้นๆ เอาต์พุตจาก TL494 จะต่อเข้ากับวงจรรบริดจ์ โดยผ่านไอซีเบอร์ 74LS368 ซึ่งเป็นไอซี บัฟเฟอร์เพื่อช่วยจ่ายกระแสในการขับทรานซิสเตอร์สำหรับทิศทางการหมุนของคิซิมอเตอร์นั้น จะใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปหน้าหรือหมุนย้อนกลับ



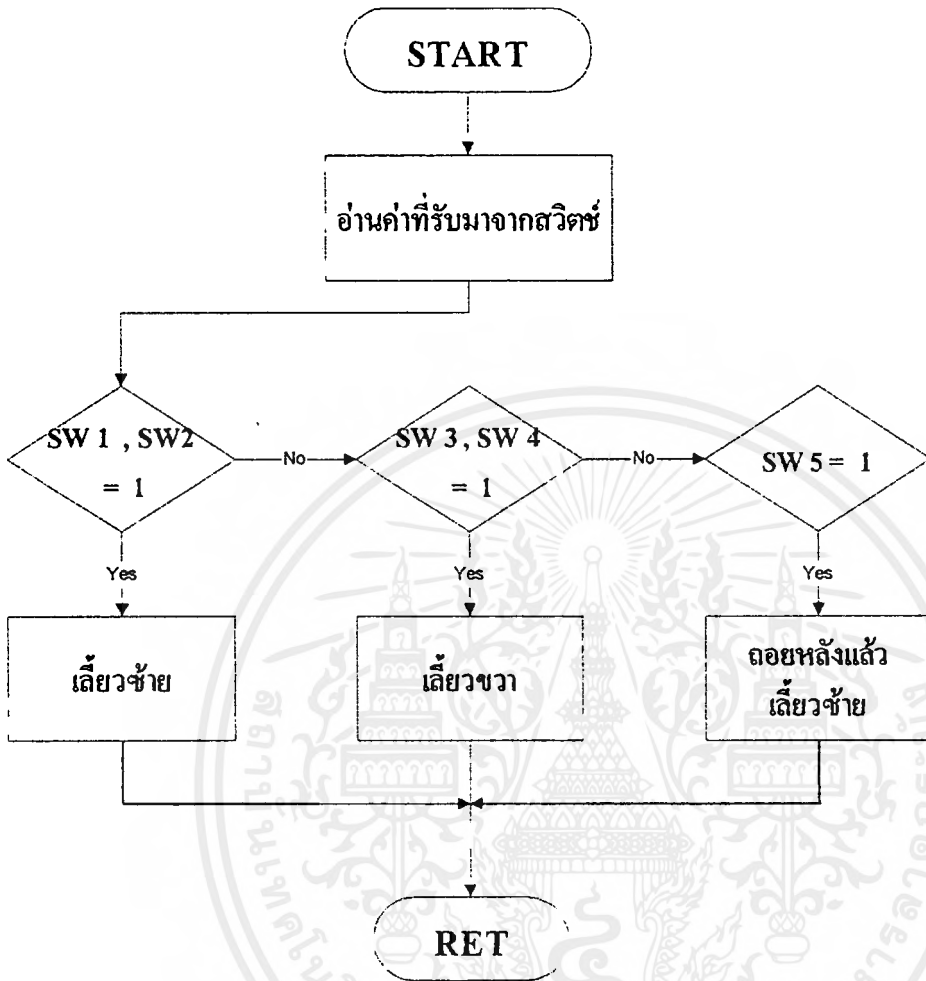
รูปที่ 4.16 แสดงวงจรในส่วนควบคุมมอเตอร์

## 4.6 ส่วนควบคุมโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

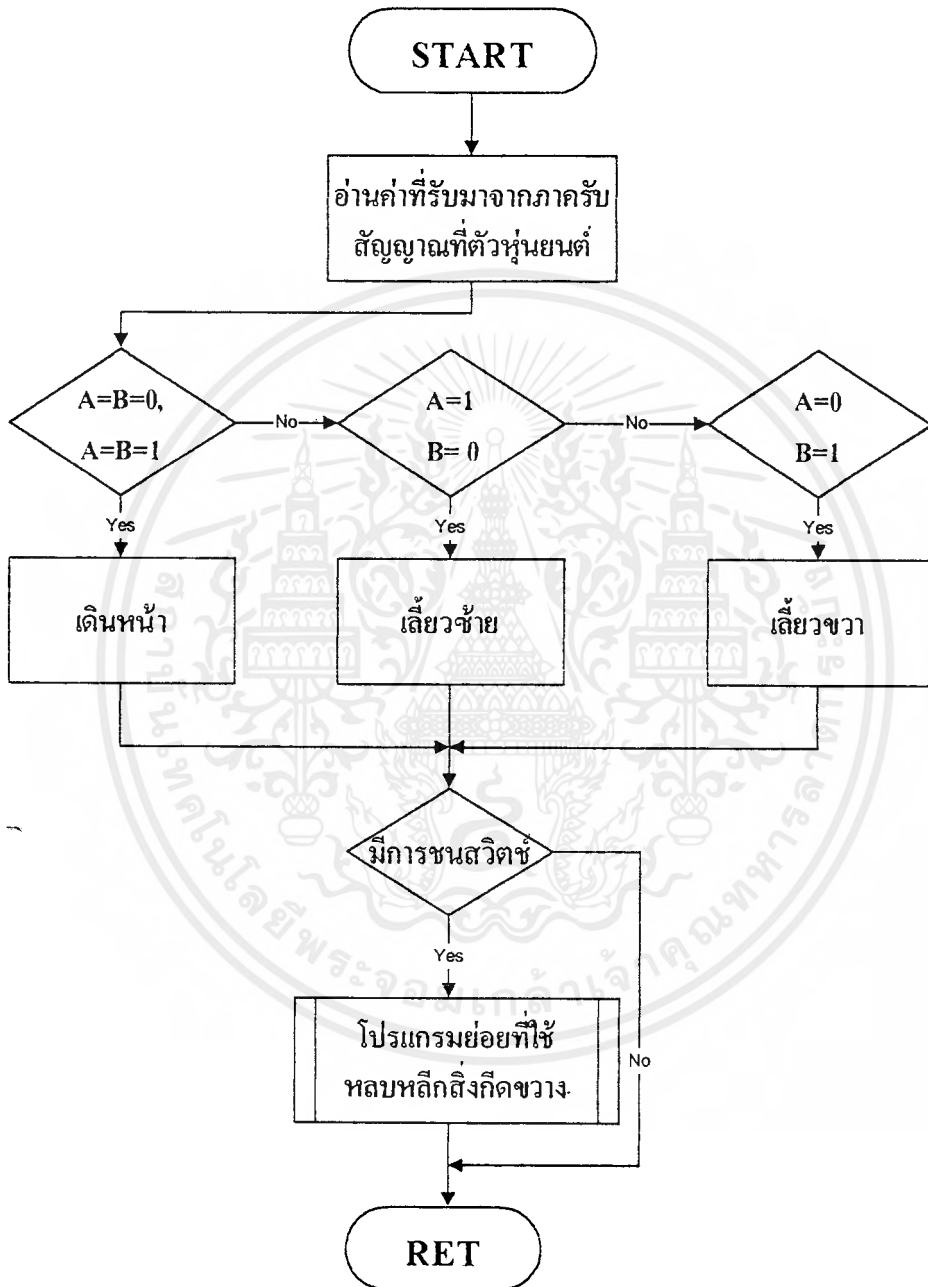
### 4.6.1 Flow chart แสดงการทำงาน



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.17 แสดงขั้นตอนการทำงานหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 4.19 แสดง โปรแกรมย่อยที่ใช้ในการค้นหาเส้นทาง

## บทที่ 5

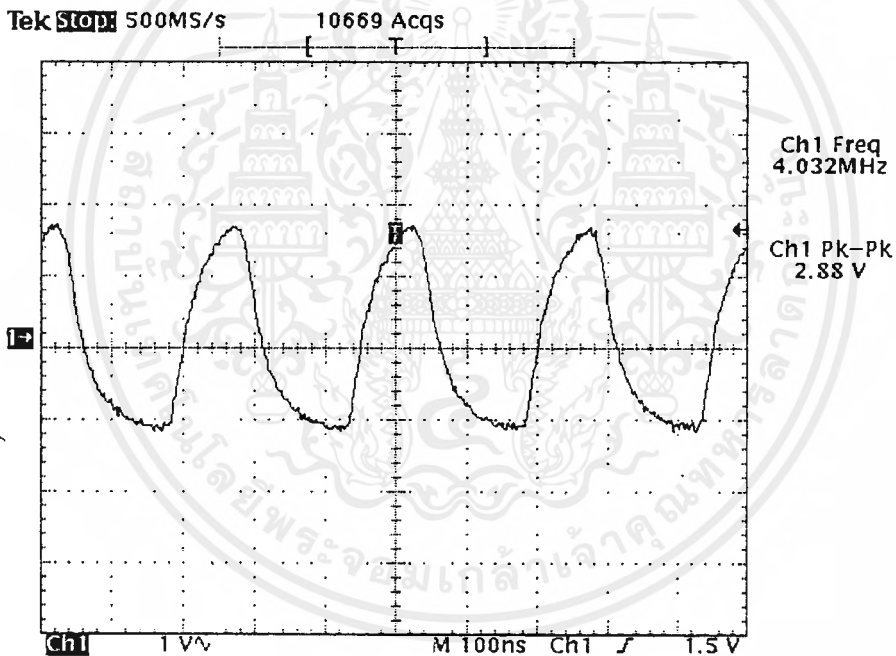
### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 การแสดงผลการทดลองในรูปของสัญญาณที่จุดต่างๆ

##### 5.1.1 ผลการทดลองของภาคส่งที่ที่ซาร์จแบคเตอร์

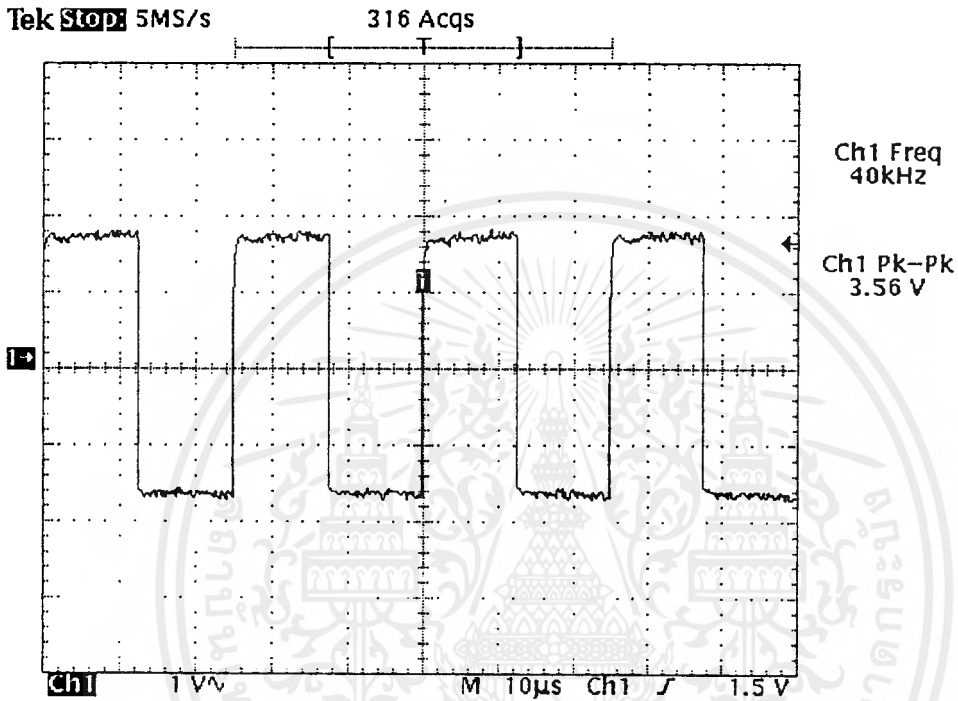
เราสามารถวัดสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรในส่วนของภาคส่งสัญญาณที่ตัวซาร์จแบคเตอร์ได้โดยดูจากรูปวงจรในบทที่ 4

จากวงจรกำเนิดความถี่โดยใช้คริสตัล สามารถวัดสัญญาณความถี่ 4 MHz และได้สัญญาณดัง



รูปที่ 5.1 สัญญาณความถี่ 4 MHz

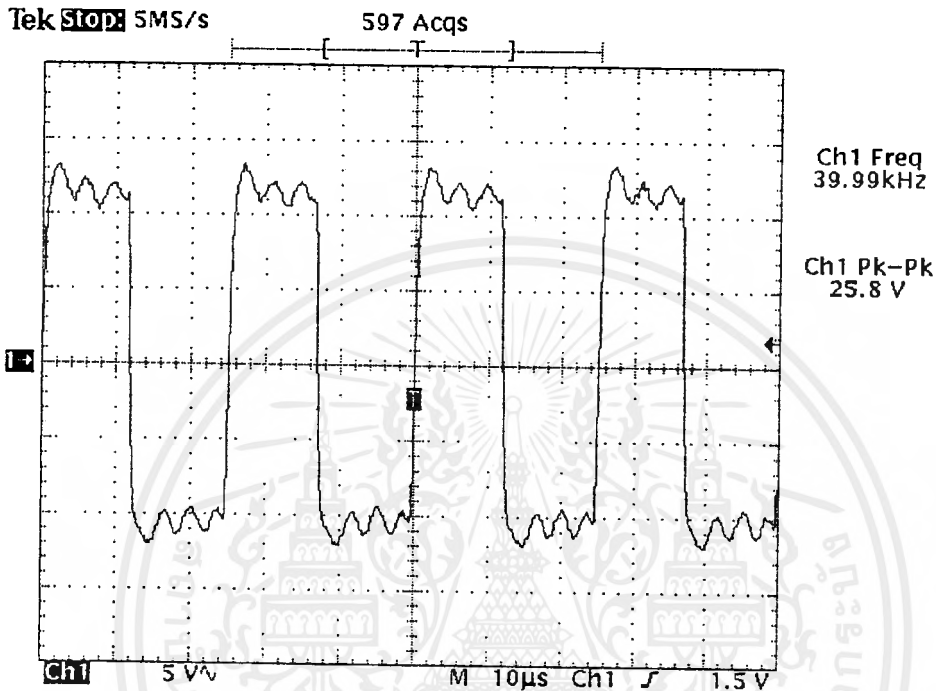
สัญญาณที่ได้จากคริสตัลมีความถี่เท่ากับ 4 MHz เมื่อนำมาผ่านวงจรหารย่อยแล้ว จะทำให้ได้สัญญาณที่มีความถี่เท่ากับ 40 kHz ดังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 สัญญาณความถี่ 40 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่มีความถี่ 40 kHz เมื่อผ่านวงจรทวีแรงดันแล้ว จะสามารถแสดงรูปของสัญญาณได้  
ดังรูปที่ 5.3

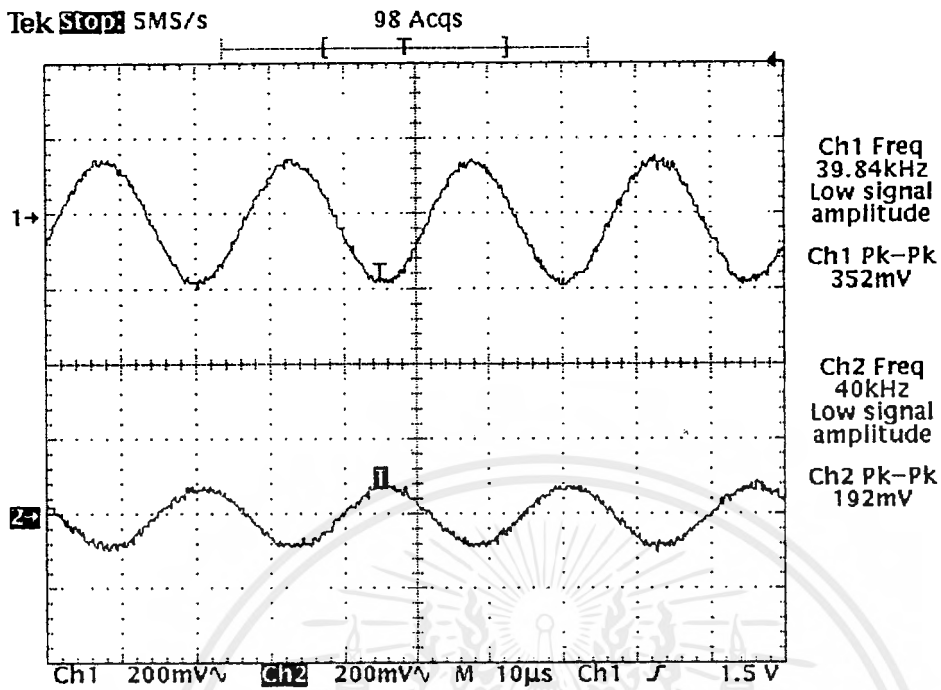


รูปที่ 5.3 สัญญาณที่ผ่านวงจรทวีแรงดัน

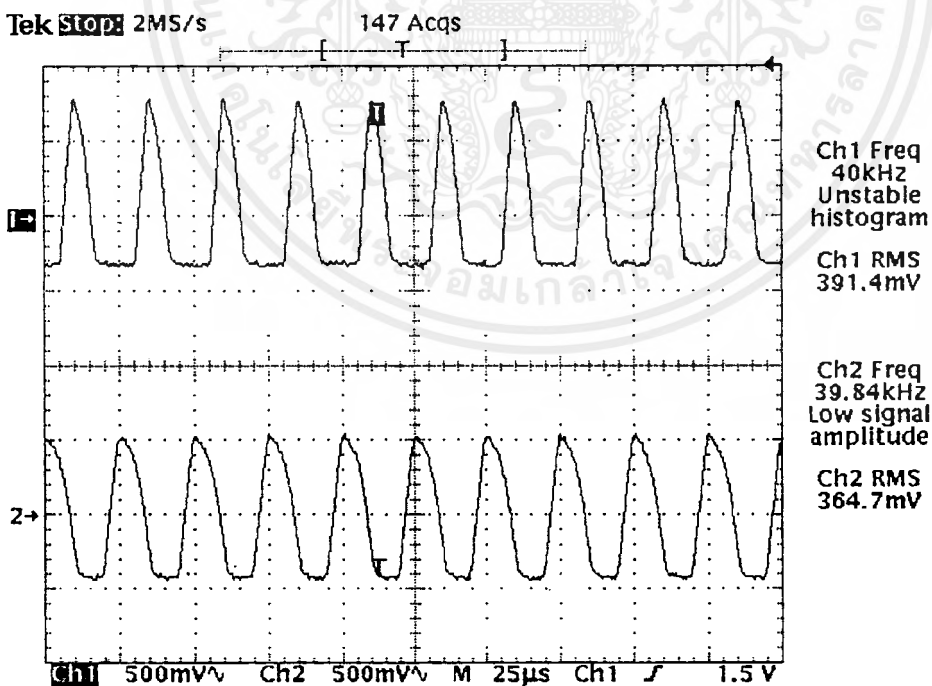
### 5.1.2 ผลการทดลองของภาครับที่ตัวหุ่นยนต์

เราสามารถแสดงสัญญาณในแต่ละจุดของวงจรภาครับของตัวหุ่น โดยสามารถดูรูปวงจรได้จาก  
ในรูปที่ 4.9 ซึ่งมีตัวอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ตัวรับอยู่สองตัว และนำสัญญาณที่วัดได้  
มาเปรียบเทียบกันเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

กรณีแรก สัญญาณที่ตัวรับ A มากกว่า B และมีค่ามากกว่าศูนย์ เราสามารถวัดสัญญาณ ณ จุด  
ต่างๆ ได้โดยที่ CH1 คือสัญญาณที่วัดตัวรับ A และ CH2 คือสัญญาณที่วัดตัวรับ B สามารถแสดงได้ดัง  
รูป 5.4 - 5.8

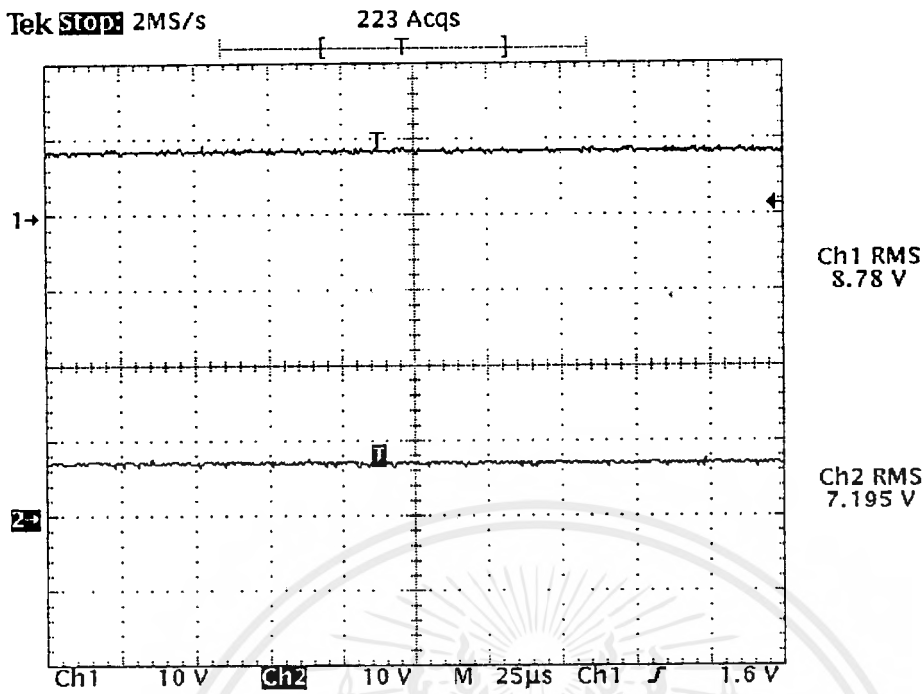


รูปที่ 5.4 สัญญาณที่ได้จากการวัดคร่อมตัวรับ

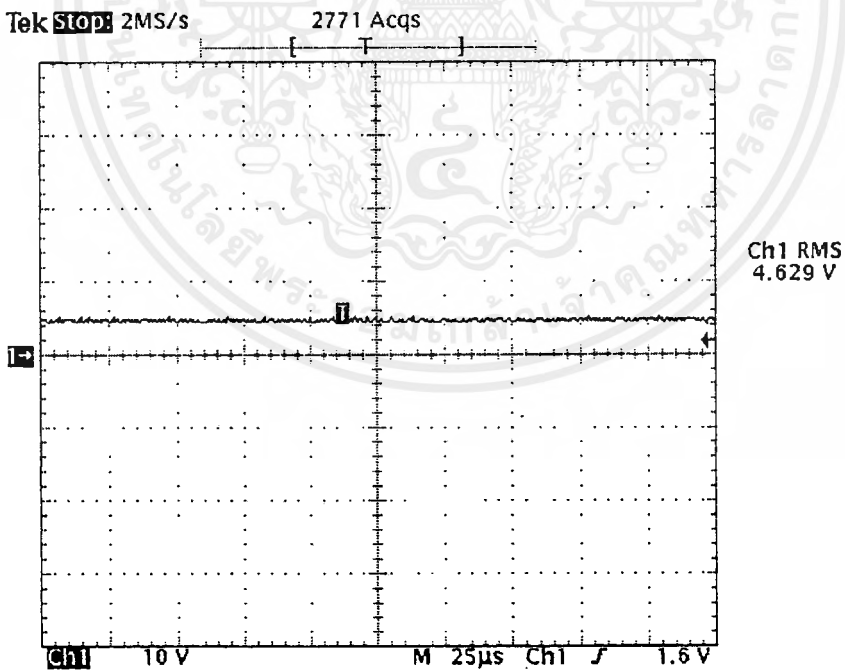


รูปที่ 5.5 สัญญาณที่วัดได้จากการผ่านวงจรเรกติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

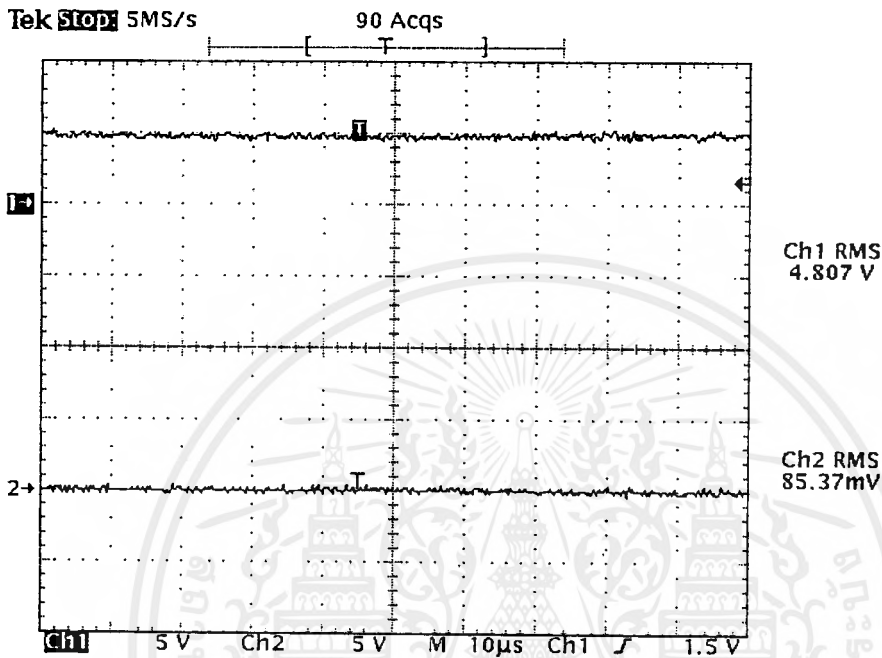


รูปที่ 5.6 สัญญาณที่วัดได้จากการผ่านวงจรมอดูเลเตอร์



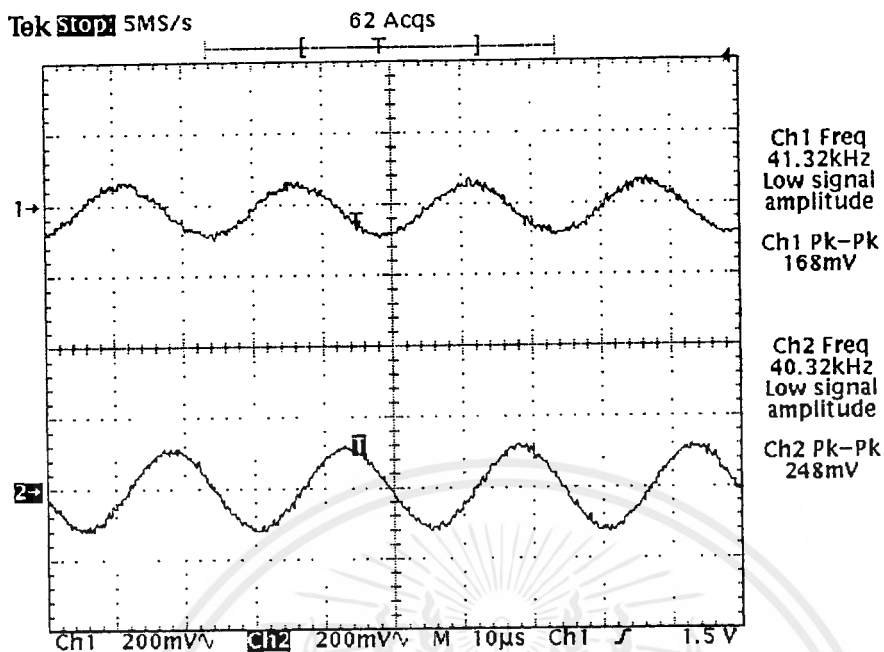
รูปที่ 5.7 สัญญาณที่วัดได้จากเอาต์พุตของคิฟแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

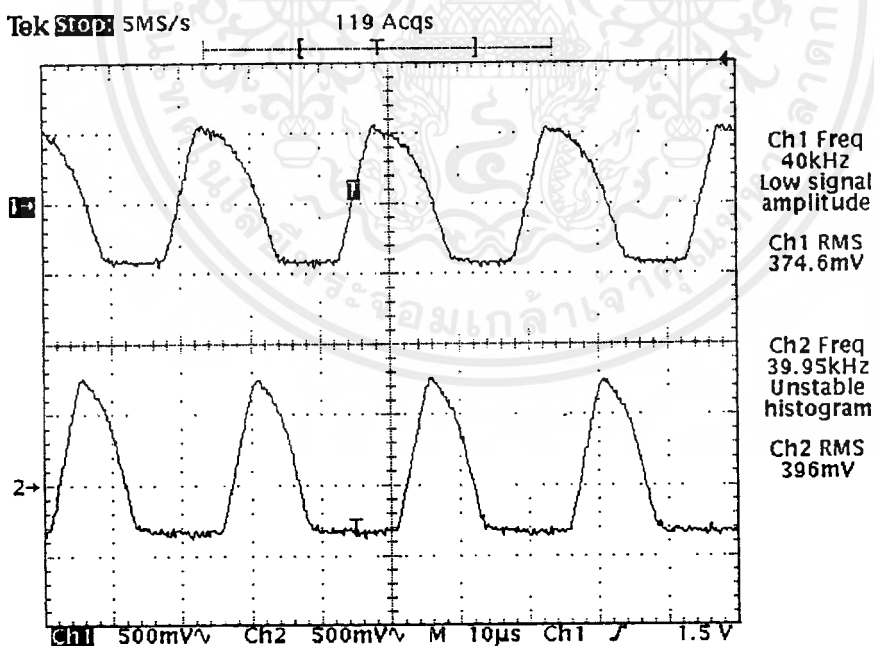


รูปที่ 5.8 สัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งไปยังคอนโทรลเลอร์

กรณีที่สอง ตัวรับ A รับสัญญาณได้น้อยกว่าตัวรับ B เราสามารถจับสัญญาณได้ที่จุดต่างๆ ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้นั้นมีความแตกต่างจากกรณีแรกเป็นตรงกันข้ามกัน ดังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 – 5.13

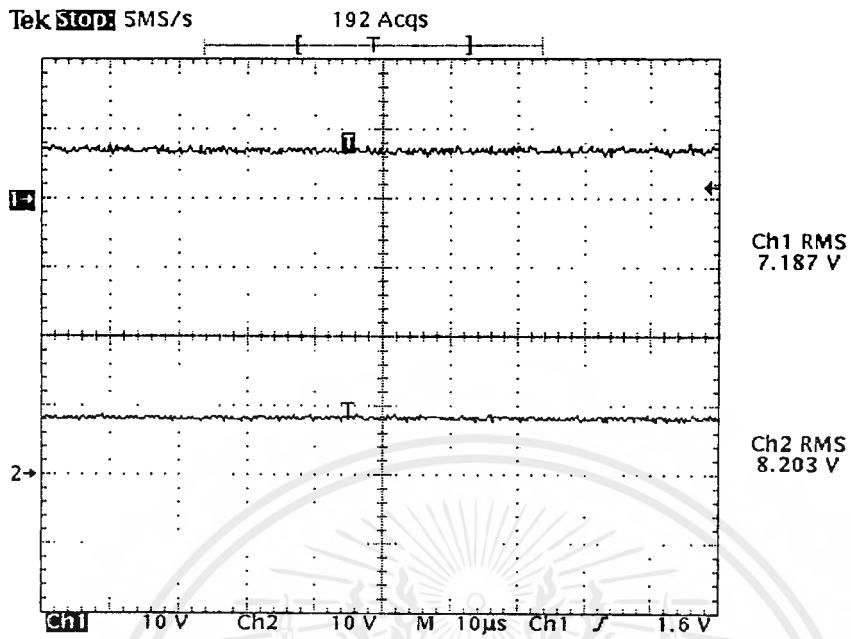


รูปที่ 5.9 สัญญาณที่วัดคร่อมตัวทรานสดิวเซอร์

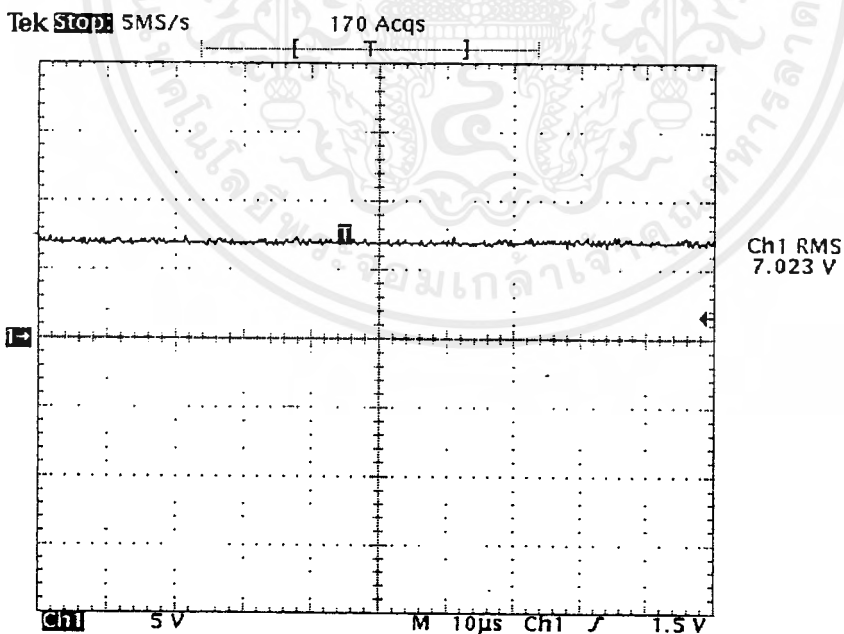


รูปที่ 5.10 สัญญาณที่ได้จากการผ่านวงจรเรกติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 สัญญาณที่ได้จากการผ่านวงจรอินทิเกรต



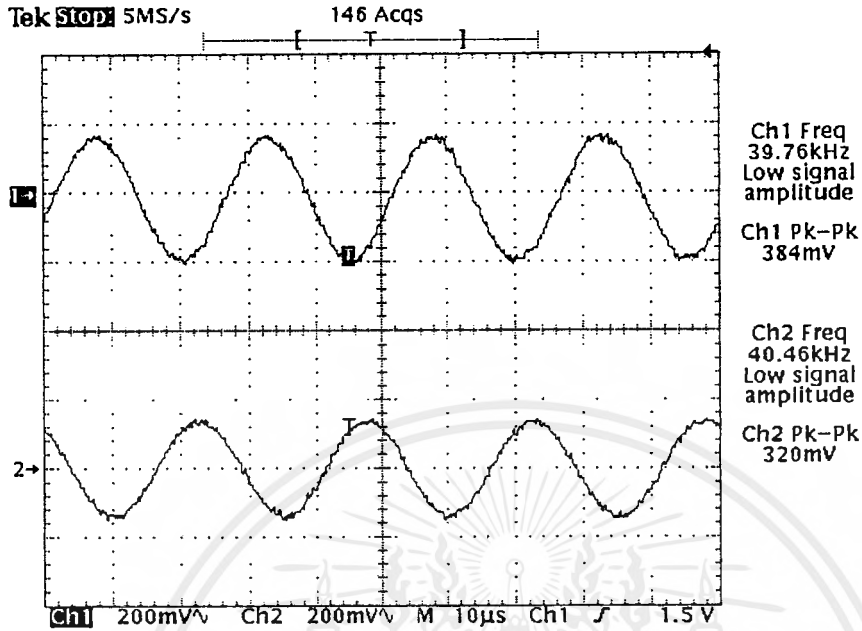
รูปที่ 5.12 สัญญาณเอาต์พุตของคิฟแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

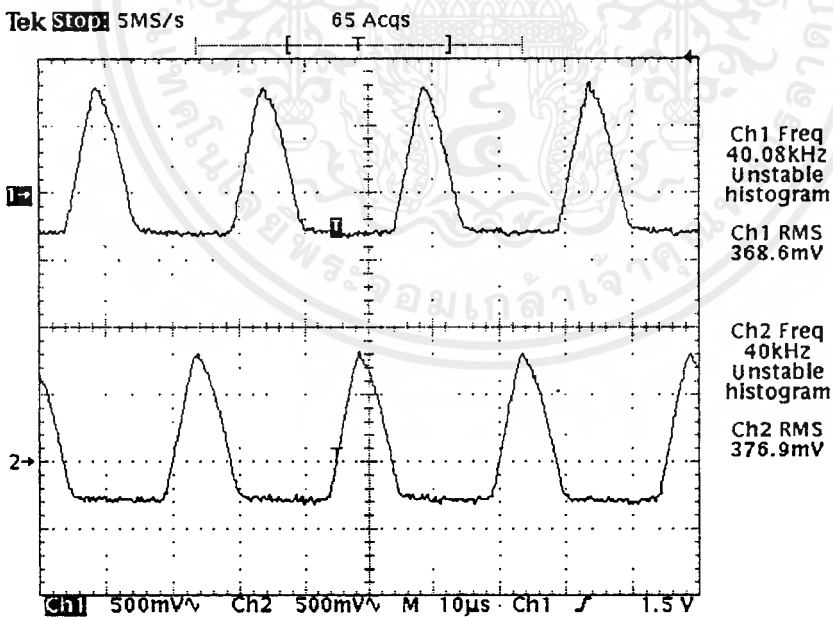


รูปที่ 5.13 สัญญาณที่วัดที่เอาท์พุทที่จะส่งไปยังคอนโทรลเลอร์

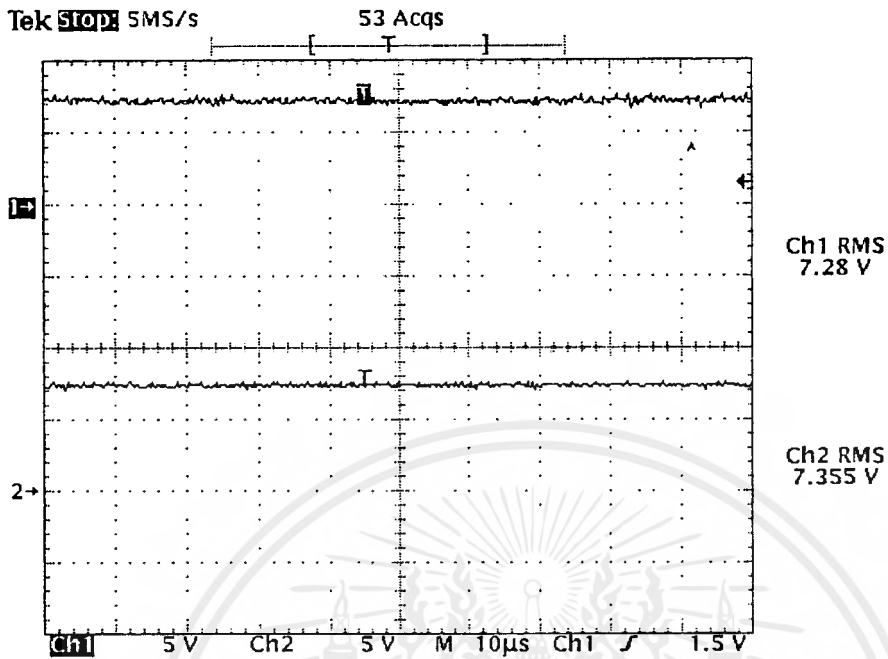
เมื่อตัวรับ A และตัวรับ B สามารถรับสัญญาณได้เท่ากัน และเราสามารถวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรได้ โดยทำการวัดสัญญาณของวงจรรับ A และวัดสัญญาณของวงจรรับ B นำมาเปรียบเทียบกันที่จุดต่างๆ โดยให้ CH1 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากวงจรรับ A ส่วน CH2 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากวงจรรับ B สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 – 5.18



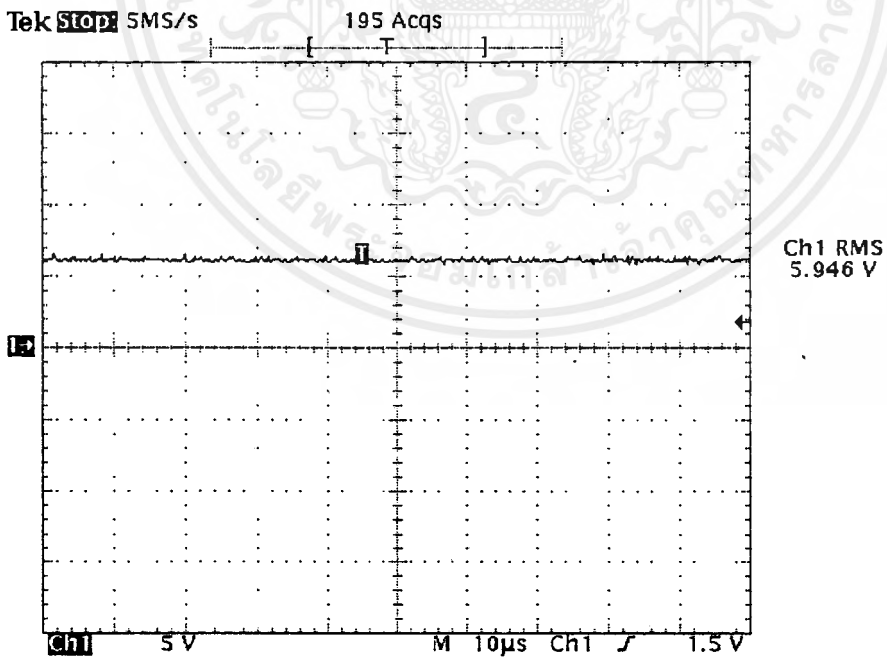
รูปที่ 5.14 สัญญาณที่วัดคร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับ



รูปที่ 5.15 สัญญาณที่ได้จากการผ่านวงจรเรกติไฟเออร์

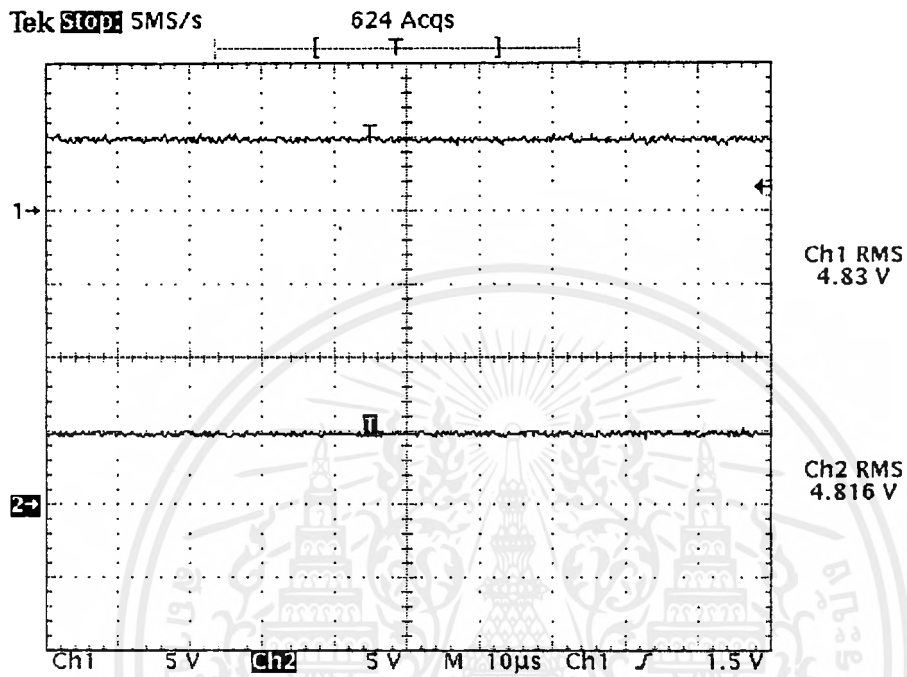


รูปที่ 5.16 สัญญาณที่ผ่านวงจรอินทิเกรต



รูปที่ 5.17 สัญญาณเอาต์พุตของคิฟแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 สัญญาณที่วัดที่เอาต์พุตที่จะทำการส่งไปยังคอนโทรลเลอร์

## บทที่ 6

### สรุปและวิจารณ์

#### สรุป

จากการทำการทดสอบการทำงานของวงจรทั้งหมดที่ได้ทำไปในปีการศึกษานี้ โดยทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆของภาคส่งของตัวซาร์จแบตเตอรี่ และที่ภาครับของตัวหุ่นยนต์ ปรากฏว่า วงจรทั้งสองส่วนสามารถทำงานได้ และเมื่อนำวงจรทั้งหมดมารวมกันแล้วนำไปทดสอบด้วยโปรแกรมที่เขียนควบคุมการทำงานของตัวหุ่นยนต์ ผลการทดลองปรากฏว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้จริง และสามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ตาม โปรแกรมในทิศทางที่ตรงกับค่าอินพุตที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์รับเข้ามาและหาเส้นทางที่จะไปยังเครื่องซาร์จแบตเตอรี่จากค่าที่รับมาจากภาครับสัญญาณของตัวหุ่นยนต์ แต่การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นยังทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

#### ปัญหาที่พบ

จากโครงการที่ได้ทำมานั้น ก็ได้พบกับปัญหาอยู่หลายส่วน ซึ่งเราสามารถพิจารณาและวิเคราะห์ ถึงปัญหาได้ว่าเกิดมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. ปัญหาที่เกิดขึ้นกับส่วนของการเคลื่อนที่ โดยเมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ยังไม่ดีเท่าที่ควรนั้น อาจเกิดจากตำแหน่งที่ติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์ยังไม่เหมาะสมกับการรับส่งสัญญาณ ทำให้เกิดการรับสัญญาณได้ไม่ดี เมื่อผ่านวงจรเปรียบเทียบจึงได้ผลที่ไม่แน่นอนส่งผลเป็นอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2 ไมโครสวิทช์ ที่ใช้เป็นเซนเซอร์ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง หากเกิดการชนอย่างรุนแรงอาจทำให้เกิดการเสียหายได้และยังสิ้นเปลืองด้วย เพราะต้องทำการติดตั้งตัวสวิทช์เป็นจำนวนมากรอบตัวหุ่นยนต์

## แนวทางการแก้ไข

เราสามารถวางแนวทางการแก้ไขไว้โดยคร่าว ๆ คือ

1. การแก้ไขในเรื่องตำแหน่งการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ นั้นเราจะต้องทำการทดลองเพื่อดูผลว่าตำแหน่งใดสามารถรับสัญญาณได้ดี และมีความถูกต้องมากที่สุด
2. เราอาจจะทำการแก้ไขเรื่อง ไมโครสวิทช์ได้ด้วยการหา เซนเซอร์ชนิดอื่นที่มีความทนทานต่อแรงกระแทกมาก และใช้เป็นจำนวนน้อย

## วิจารณ์

จากการทำโครงการ ก็ได้พบกับปัญหาที่ต้องหาวิธีการแก้ไขให้ได้ เพื่อให้งานที่รับผิดชอบนั้นสำเร็จ ซึ่งในบางครั้งนั้นปัญหาที่พบก็เป็นปัญหาที่ไม่คาดคิดว่าจะเกิดขึ้น ก็ต้องทำการค้นหาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุและทำการแก้ไข ซึ่งก็ทำให้เราได้เข้าใจถึงการทำงานของอุตตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์และการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยคาดว่า คงจะสามารถนำโครงการนี้ไปพัฒนาและปรับปรุงโครงการให้ดียิ่งขึ้นไป และสามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างเหมาะสม



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\* PROGRAM CONTROL ROBOT \*\*\*\*\*

```
ORG 0000H
LJMP MAIN
ORG 0003H
ISR0: LCALL I_INT0
      RETI
ORG 0013H
ISR1: LCALL I_INT1
      RETI
```

\*\*\*\*\* INITIAL SET \*\*\*\*\*

```
ORG 0200H
MAIN: LCALL DELAY2
      MOV DPTR,#0003H
      MOV A,#8AH ; A=O/P B=I/P C-UP=I/P C-LOW=O/P
      MOVX @DPTR,A
      MOV DPTR,#0002H
      MOV A,#08H
      MOVX @DPTR,A
      MOV DPTR,#0000H ; USE PORT A FOR SEND SPEED
      MOV A,#0A0H
      MOVX @DPTR,A
      MOV IE,#10010101B
      SETB IT0
      CLR IT1
      MOV P1,#00001010B ; FORWARD
      SJMP $
```

\*\*\*\*\* DELAY TIME 1 ms \*\*\*\*\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY0:  MOV  R1,#02H
DEL02:   MOV  R2,#0FFH
DEL01:   DJNZ R2,DEL01
          DJNZ R1,DEL02
          RET
```

;/

;\*\*\*\*\* DELAY TIME 125 ms \*\*\*\*\*

```
DELAY1:  MOV  R1,#01H
DEL13:   MOV  R2,#0FFH
DEL12:   MOV  R3,#0FFH
DEL11:   DJNZ R3,DEL11
          DJNZ R2,DEL12
          DJNZ R1,DEL13
          RET
```

;\*\*\*\*\* DELAY TIME 500 ms \*\*\*\*\*

```
DELAY2:  MOV  R1,#04H
DEL23:   MOV  R2,#0FFH
DEL22:   MOV  R3,#0FFH
DEL21:   DJNZ R3,DEL21
          DJNZ R2,DEL22
          DJNZ R1,DEL23
          RET
```

;\*\*\*\*\* DELAY TIME 1 sec \*\*\*\*\*

```
DELAY3:  MOV  R1,#08H
DEL33:   MOV  R2,#0FFH
DEL32:   MOV  R3,#0FFH
DEL31:   DJNZ R3,DEL31
          DJNZ R2,DEL32
```

```
DJNZ RI,DEL33
RET
```

;\*\*\*\*\* MOTOR CONTROL \*\*\*\*\*

```
FORWARD: MOV P1,#00001010B
          LCALL DELAY1
          RET
```

```
TURNRIGHT: MOV P1,#00001001B
            LCALL DELAY1
            RET
```

```
TURNLEFT: MOV P1,#00000110B
            LCALL DELAY1
            RET
```

```
BACKWARD: MOV P1,#00000101B
            LCALL DELAY3
            MOV P1,#00000110B
            LCALL DELAY1
            RET
```

;\*\*\*\*\* INTERRUPT SERVICE FOR IE1 \*\*\*\*\*

```
I_INT1:   MOV DPTR,#0001H
CHECK_IN: MOVX A,@DPTR           ; RECIEVE I/P SCAN 5 KEY PASS PORT B
          MOV 0050H,A
          MOV A,#00H
          MOVX @DPTR,A
          LCALL DELAY0
          MOVX A,@DPTR
```

CJNE A,0050H,I\_INT1

;\*\*\*\*\* COMPARE SWITCH EQUAL 0 OR NOT \*\*\*\*\*

CHECK\_SW2: MOV R0,A  
ANL A,#00000100B  
CJNE A,#00H,BACKWARD

CHECK\_SW01:MOV A,R0  
ANL A,#000011000B  
CJNE A,#00H,CHECK\_SW34  
MOV A,R0  
ANL A,#00000011B  
CJNE A,#00H,TURNRIGHT  
LCALL FORWARD  
RET

CHECK\_SW34:MOV A,R0  
ANL A,#00011000B  
CJNE A,#00H,TURNLEFT  
LCALL FORWARD  
RET

;\*\*\*\*\* INTERRUPT SERVICE FOR IE0 \*\*\*\*\*

I\_INT0: MOV DPTR,#0000H ; USE PORT A FOR SEND SPEED  
MOV A,#0A0H  
MOVX @DPTR,A  
MOV P1,#00001010B  
LCALL DELAY2  
LCALL I\_INT1  
MOV P1,#00000000B ; STOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL DELAY2
MOV DPTR,#0002H
MOV A,#01H ; SEND 0001 OUT PORT C-LOW
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY0
MOV A,#00H ; SEND 0000 OUT POPT C-LOW
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY3 ; DELAY TIME = 1sec
MOV DPTR,#0002H
MOVX A,@DPTR ; RECIEVE SIGNAL PASS PORT C-UP
JZ I_INT0
MOV DPTR,#0003H
MOV A,#82H ; A=O/P B=I/P C-UP=O/P C-LOW=O/P
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY2
MOV DPTR,#0002H
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY2
MOV DPTR,#0003H
MOV A,#8AH ; A=O/P B=I/P C-UP=I/P C-LOW=O/P
MOVX @DPTR,A
LCALL DELAY2
MOV DPTR,#0002H
MOVX A,@DPTR
JZ I_INT0

```

;\*\*\*\*\* COMPARE SIGNAL FOR DETECT PATH \*\*\*\*\*

AGAIN: MOV DPTR,#0000H ; USE PORT A FOR SEND SPEED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

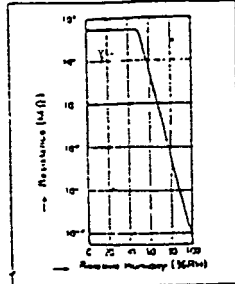
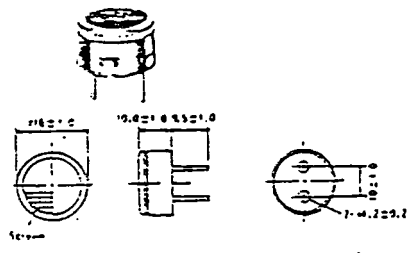
```

MOV  A,#0A0H
MOVX @DPTR,A
MOV  DPTR,#0002H
MOVX A,@DPTR      ; RECIEVE SIGNAL PASS PORT C-UP
ANL  A,#00110000B ; DETECT DATA 2 BIT PORT C-UP
CJNE A,#00000000B,CH0 ; IF A=B=0 DO FORWARD
LCALL FORWARD
LCALL I_INT1
SJMP AGAIN
CH0:  CJNE A,#00110000B,CH1 ; IF A=B=1 DO FORWARD
      LCALL FORWARD
      LCALL I_INT1
      SJMP AGAIN
CH1:  CJNE A,#00100000B,CH2 ; IF A>B (A=1,B=0) DO TURNLEFT
      LCALL TURNLEFT
      LCALL I_INT1
      SJMP AGAIN
CH2:  CJNE A,#00010000B,I_INT0 ; IF A<B (A=0,B=1) DO TURNRIGHT
      LCALL TURNRIGHT
      LCALL I_INT1
      SJMP AGAIN
END

```

### HUMIDITY SENSOR

#### High Humidity Switching Sensor HOS201

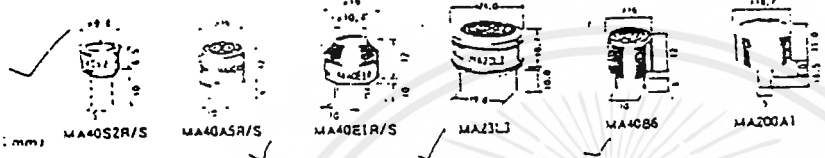


Part Number	HOS201
Operating Voltage	AC1Vmax.
Operating Frequency	50Hz~1KHz
Resistance	1MΩ (75%RH, 25°C), Tol. ±5%RH
Operating Temperature Range	0°C ~ +50°C
Operating Humidity Range	0~100%RH

- Features**
1. Resistance value changes to below 1MΩ from high resistance at relative humidity 75±5%
  2. Performance doesn't become bad even if in dewing.
  3. High accuracy and stabilized operation.
  4. Low price.

### ULTRASONIC SENSOR

#### Ultrasonic Sensor MA Series



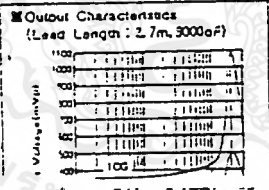
- Applications**
- Remote control of electronic equipment
  - Burglar alarm, Object detection device.
  - Distance measurement device, etc.

Structure	Transmitter or Receiver Use				Both Transmitter and Receiver Use	
	A: Receiver	S: Transmitter	A: Receiver	S: Transmitter	MA40B6	MA200A1
Part Number	MA40S2R/S	MA40ASR/S	MA40E1R/S	MA21J	MA40B6	MA200A1
Features	Miniature size	Wide range	Enclosed type	Wide range	For common use	For high frequency enclosed type
Nominal Freq.		40KHz		2KHz		200KHz
Sensitivity	-74dB min.	-57dB min.	-74dB min.	-70dB min.		
Sound Pressure Level	100dB min.	112dB min.	106dB min.	(102dB)		
Transmitting Sensitivity					-34dB min. at 30cm	-34dB min. at 20cm
Radiation (at -5dB)	100°	57°	100°	30°	40°	
Capacitance	1500pF	2000pF	2000pF	2500pF	1100pF	160pF
Insulation Resist.			100MΩ min.			100MΩ min.
Detecting Distance	1.2~4.0m	0.2~5.0m	0.2~3.0m	0.2~6.0m	0.2~4.0m	0.2~1.0m

1. Value: Typical  
 2. Sensitivity: 0dB=1V/1μ bar, Sound Pressure: distance: 30cm, 0dB=2X10<sup>-11</sup>W/cm<sup>2</sup>  
 3. Transmitting sensitivity: 0dB=20Vdd

### SHOCK SENSOR

#### Shock Sensor PKS Series



Part Number	PKS1-4A1/PKS1-4A10
Output Voltage	10mV/g/1G (25°C, 10Hz~1KHz)
Capacitance	10000pF±3% (25°C/1KHz)
Insulation Resistance	30MΩ min. (100VDC)
Operating Temp. Range	-20~+50°C
Storage Temp. Range	-20~+70°C
Strength of Lead Wire	250g for 1mm, along axis.

- Applications**
- Burglar alarm equipment for automobile, vending machine or shop.

# DATA SHEET

# 80C51-L / 80C31-L

## CMOS SINGLE-CHIP 8 BIT 3V-MICROCONTROLLER

- 80C51-L - CMOS SINGLE-CHIP 8-BIT MICROCONTROLLER with factory mask-programmable ROM
- 80C31-L - CMOS SINGLE-CHIP 8-BIT CONTROL-ORIENTED CPU with RAM and I/O
- 80C51-L/C31-L: 0 TO 6 MHz, VCC = 2.7V TO 6V

### FEATURES

- POWER CONTROL MODES
- 128 x 8 BIT RAM
- 32 PROGRAMMABLE I/O LINES
- TWO 16-BIT TIMER/COUNTERS
- 64K PROGRAM MEMORY SPACE
- FULLY STATIC DESIGN
- HIGH PERFORMANCE SAJI VI CMOS PROCESS
- BOOLEAN PROCESSOR
- 5 INTERRUPT SOURCES
- PROGRAMMABLE SERIAL PORT
- 64K DATA MEMORY SPACE
- TEMPERATURE RANGE: 0 TO 70°C

### DESCRIPTION

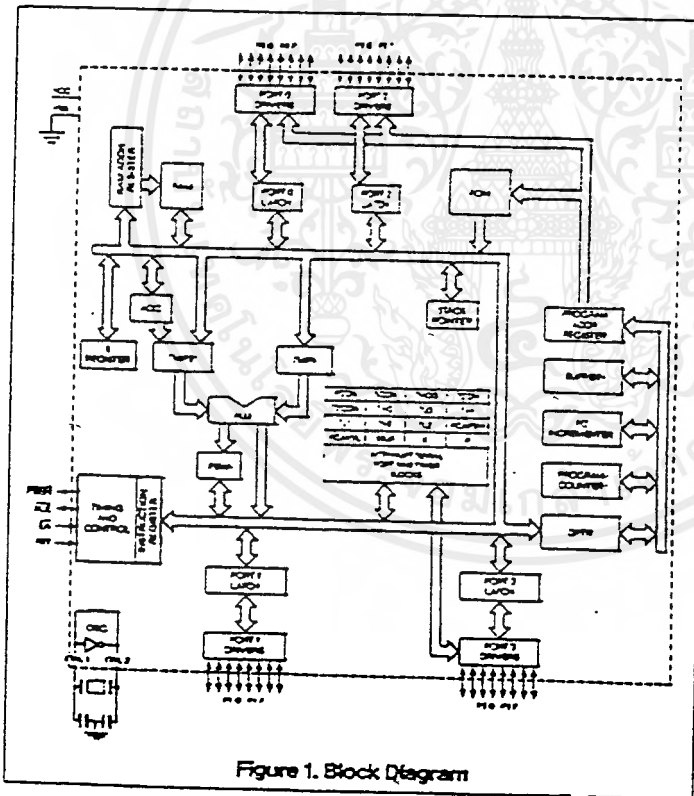


Figure 1. Block Diagram

MHS's 80C51 and 80C31 are high performance CMOS versions of the 8051/8031 NMOS single chip 8 bit  $\mu$ C and is manufactured using a self-aligned silicon gate CMOS process (SAJ1V1).

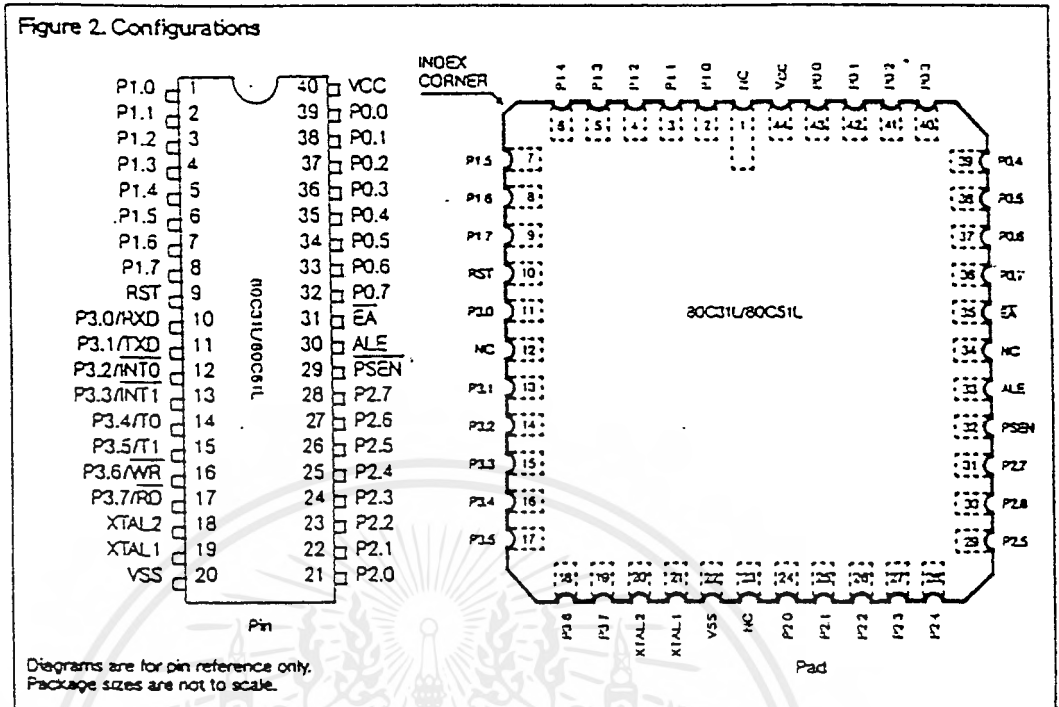
The fully static design of the MHS 80C51/80C31 allows to reduce system power consumption by bringing the clock frequency down to any value, even DC, without loss of data.

The 80C51 retains all the features of the 8051: 4K bytes of ROM; 128 bytes of RAM; 32 I/O lines; two 16 bit timers; a 5-source 2-level interrupt structure; a full duplex serial port; and on-chip oscillator and clock circuits.

In addition, the 80C51 has two software-selectable modes of reduced activity for further reduction in power consumption. In the Idle Mode the CPU is frozen while the RAM, the timers, the serial port; and the interrupt system continue to function. In the Power Down Mode the RAM is saved and all other functions are inoperative.

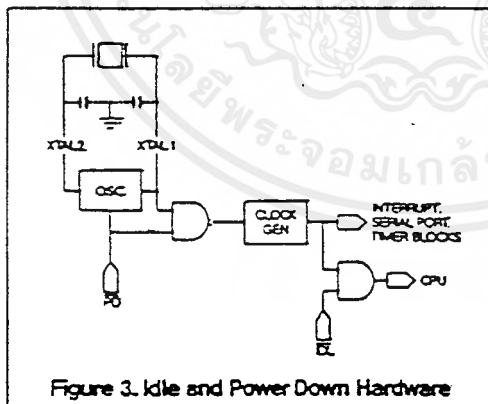
The 80C31 is identical to the 80C51 except that it has no on-chip ROM.

0027/01/1074



**IDLE AND POWER DOWN OPERATION**

Figure 3 shows the internal Idle and Power Down clock configuration. As illustrated, Power Down operation stops the oscillator. Idle mode operation allows the interrupt, serial port, and timer blocks to continue to function while the clock to the CPU is gated off. These special modes are activated by software via the Special Function Register, its hardware address is 87H. PCON is not bit addressable.



PCON: Power Control Register (MSB)

SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL
------	---	---	---	-----	-----	----	-----

(LSB)

Symbol	Position	Name and Function
SMOD	PCON.7	Double Baud rate bit. When set to a 1, the baud rate is doubled when the serial port is being used in either modes 1, 2 or 3.
-	PCON.6	(Reserved)
-	PCON.5	(Reserved)
-	PCON.4	(Reserved)
GF1	PCON.3	General-purpose flag bit.
GF0	PCON.2	General-purpose flag bit.
PD	PCON.1	Power Down bit. Setting this bit activates power down operation.
IDL	PCON.0	Idle mode bit. Setting this bit activates idle mode operation.

If 1's are written to PD and IDL at the same time, PD takes precedence. The reset value of PCON is (0XXX0000).



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias:	
Commercial .....	0°C to 70°C
Industrial .....	-40°C to 85°C
Storage Temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on V <sub>CC</sub> to V <sub>SS</sub> .....	-0.5V to +7V
Voltage on Any Pin to V <sub>SS</sub> .....	-0.5V to V <sub>CC</sub> + 0.5V
Power Dissipation .....	1W*

\* This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package.

**\*NOTICE:**

Stresses at or above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

**DC CHARACTERISTICS**

T<sub>A</sub> = -40°C to 85°C; V<sub>CC</sub> = 2.7V to 6V; V<sub>SS</sub> = 0V; F = 0 to 6 MHz

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit	Test Conditions
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	-0.5	0.2V <sub>CC</sub> -0.1	V	
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (Except XTALs and RST)	0.2V <sub>CC</sub> -0.9	V <sub>CC</sub> +0.5	V	
V <sub>IH1</sub>	Input High Voltage to RST for Reset	0.7V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> +0.5	V	
V <sub>IH2</sub>	Input High Voltage To XTAL 1	0.7V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> -0.5	V	
V <sub>PD</sub>	Power Down Voltage To V <sub>CC</sub> in PD Mode	2.0	6.0	V	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3)		0.45	V	I <sub>OL</sub> = 1.6mA (note 1)
V <sub>OL1</sub>	Output Low Voltage Port 0, ALE, PSEN		0.45	V	I <sub>OL</sub> = 3.2mA (note 1)
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	0.9V <sub>CC</sub>		V	I <sub>OH</sub> = -10μA
		2.4		V	I <sub>OH</sub> = -60μA V <sub>CC</sub> = 5V ± 10%
V <sub>OH1</sub>	Output High Voltage (Port 0 in External in External Bus Mode), ALE, PSEN	0.9V <sub>CC</sub>		V	I <sub>OH</sub> = -40μA
		2.4		V	I <sub>OH</sub> = -400μA V <sub>CC</sub> = 5V ± 10%
I <sub>IL</sub>	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		-50	μA	V <sub>in</sub> = 0.45V
I <sub>LI</sub>	Input Leakage Current		± 10	μA	0.45 < V <sub>in</sub> < V <sub>CC</sub>
I <sub>TL</sub>	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		-500	μA	V <sub>in</sub> = 2.0V
I <sub>CCPD</sub>	Power Supply Current (Power Down Mode)	50	10	μA	V <sub>CC</sub> = 2.0V to 5.5V (note 2)
R <sub>RST</sub>	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C <sub>IO</sub>	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	f <sub>C</sub> = 1MHz, T <sub>A</sub> = 25°C

**Note 1:**

Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause spurious noise pulses to be superimposed on the V<sub>OLS</sub> of ALE and Ports 1 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins make 1-to-0

transitions during bus operations. In the worst cases (capacitive loading 100 pF), the noise pulse on the ALE line may exceed 0.45V with maxi V<sub>OL</sub> peak 0.6V. A Schmitt Trigger use is not necessary.



Table 1. MCS<sup>c</sup>-51 Instruction Set Description

ARITHMETIC OPERATIONS				
Mnemonic		Description	Byte	Cyc
ADD	A,Rn	Add register to Accumulator	1	1
ADD	A,direct	Add direct byte to Accumulator	2	1
ADD	A,@Ri	Add indirect RAM to Accumulator	1	1
ADD	A,#data	Add immediate data to Accumulator	2	1
ADDC	A,Rn	Add register to Accumulator with Carry	1	1
ADDC	A,direct	Add direct byte to A with Carry flag	2	1
ADDC	A,@Ri	Add indirect RAM to A with Carry flag	1	1
ADDC	A,#data	Add immediate data to A with Carry flag	2	1
SUBB	A,Rn	Subtract register from A with Borrow	1	1
SUBB	A,direct	Subtract direct byte from A with Borrow	2	1
SUBB	A,@Ri	Subtract indirect RAM from A with Borrow	1	1
SUBB	A,#data	Subtract immed. data from A with Borrow	2	1
INC	A	Increment Accumulator	1	1
INC	Rn	Increment register	1	1
INC	direct	Increment direct byte	2	1
INC	@Ri	Increment indirect RAM	1	1
INC	DPTR	Increment Data Pointer	1	2
DEC	A	Decrement Accumulator	1	1
DEC	Rn	Decrement register	1	1
DEC	direct	Decrement direct byte	2	1
DEC	@Ri	Decrement indirect RAM	1	1
MUL	AB	Multiply A & B	1	4
DIV	AB	Divide A by B	1	4
DA	A	Decimal Adjust Accumulator	1	1
LOGICAL OPERATIONS				
Mnemonic		Destination	Byte	Cyc
ANL	A,Rn	AND register to Accumulator	1	1
ANL	A,direct	AND direct byte to Accumulator	2	1
ANL	A,@Ri	AND indirect RAM to Accumulator	1	1
ANL	A,#data	AND immediate data to Accumulator	2	1
ANL	direct,A	AND Accumulator to direct byte	2	1
ANL	direct,#data	AND immediate data to direct byte	3	2
ORL	A,Rn	OR register to Accumulator	1	1
ORL	A,direct	OR direct byte to Accumulator	2	1
ORL	A,@Ri	OR indirect RAM to Accumulator	1	1
ORL	A,#data	OR immediate data to Accumulator.	2	1
ORL	direct,A	OR Accumulator to direct byte	2	1
ORL	direct,#data	OR immediate data to direct byte	3	2
XRL	A,Rn	Exclusive-OR register to Accumulator	1	1
XRL	A,direct	Exclusive-OR direct byte to Accumulator	2	1
XRL	A,@Ri	Exclusive-OR indirect RAM to A	1	1
XRL	A,#data	Exclusive-OR immediate data to A	2	1
XRL	direct,A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte	2	1
XRL	direct,#data	Exclusive-OR immediate data to direct	3	2
CLR	A	Clear Accumulator	1	1
CPL	A	Complement Accumulator	1	1
RL	A	Rotate Accumulator Left	1	1
RLC	A	Rotate A Left through the Carry flag	1	1
RR	A	Rotate Accumulator Right	1	1
RRC	A	Rotate A Right through Carry flag	1	1
SWAP	A	Swap nibbles within the Accumulator	1	1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. (Cont.)

DATA TRANSFER				
Mnemonic		Description	Byte	Cyc
MOV	A,Rn	Move register to Accumulator	1	1
MOV	A,direct	Move direct byte to Accumulator	2	1
MOV	A,@Ri	Move indirect RAM to Accumulator	1	1
MOV	A,#data	Move immediate data to Accumulator	2	1
MOV	Rn,A	Move Accumulator to register	1	1
MOV	Rn,direct	Move direct byte to register	2	2
MOV	Rn,#data	Move immediate data to register	2	1
MOV	direct,A	Move Accumulator to direct byte	2	1
MOV	direct,Rn	Move register to direct byte	2	2
MOV	direct,direct	Move direct byte to direct	3	2
MOV	direct,@Ri	Move indirect RAM to direct byte	2	2
MOV	direct,#data	Move immediate data to direct byte	3	2
MOV	@Ri,A	Move Accumulator to indirect RAM	1	1
MOV	@Ri,direct	Move direct byte to indirect RAM	2	2
MOV	@Ri,#data	Move immediate data to indirect RAM	2	1
MOV	DPTR,#data 16	Load Data Pointer with a 16-bit constant	3	2
MOVC	A,@A+DPTR	Move Code byte relative to DPTR to A	1	2
MOVC	A,@A+PC	Move Code byte relative to PC to A	1	2
MOVX	A,@Ri	Move External RAM (8-bit addr) to A	1	2
MOVX	A,@DPTR	Move External RAM (16-bit addr) to A	1	2
MOVX	@Ri,A	Move A to External RAM (8-bit addr)	1	2
MOVX	@DPTRA	Move A to External RAM (16-bit addr)	1	2
PUSH	direct	Push direct byte onto stack	2	2
POP	direct	Pop direct byte from stack	2	2
XCH	A,Rn	Exchange register with Accumulator	1	1
XCH	A,direct	Exchange direct byte with Accumulator	2	1
XCH	A,@Ri	Exchange indirect RAM with A	1	1
XCHD	A,@Ri	Exchange low-order nibble ind RAM with A	1	1
BOOLEAN VARIABLE MANIPULATION				
Mnemonic		Description	Byte	Cyc
CLR	C	Clear Carry flag	1	1
CLR	bit	Clear direct bit	2	1
SETB	C	Set Carry flag	1	1
SETB	bit	Set direct Bit	2	1
CPL	C	Complement Carry flag	1	1
CPL	bit	Complement direct bit	2	1
ANL	C,bit	AND direct bit to Carry flag	2	2
ANL	C,1 bit	AND complement of direct bit to Carry	2	2
ORL	C,bit	OR direct bit to Carry flag	2	2
ORL	C,1 bit	OR complement of direct bit to Carry	2	2
MOV	C,bit	Move direct bit to Carry flag	2	1
MOV	bit,C	Move Carry flag to direct bit	2	2
PROGRAM AND MACHINE CONTROL				
Mnemonic		Description	Byte	Cyc
ACALL	addr 11	Absolute Subroutine Call	2	2
LCALL	addr 16	Long Subroutine Call	3	2
RET		Return from subroutine	1	2
RETI		Return from interrupt	1	2
AJMP	addr 11	Absolute Jump	2	2
LJMP	addr 16	Long Jump	3	2
SJMP	rel	Short Jump (relative addr)	2	2
JMP	@A+DPTR	Jump indirect relative to the DPTR	1	2
JZ	rel	Jump if Accumulator is Zero	2	2
JNZ	rel	Jump if Accumulator is Not Zero	2	2
JC	rel	Jump if Carry flag is set	2	2
JNC	rel	Jump if No Carry flag	2	2

Table 1. (Cont.)

PROGRAM AND MACHINE CONTROL (cont.)				
Mnemonic		Description	Byte	Cyc
JB	bit,rel	Jump if direct Bit set	3	2
JNB	bit,rel	Jump if direct Bit Not set	3	2
JBC	bit,rel	Jump if direct Bit is set & Clear bit	3	2
CJNE	A,direct,rel	Compare direct to A & Jump if Not Equal	3	2
CJNE	A,#data,rel	Compare immed. to A & Jump if Not Equal	3	2
CJNE	Rn,#data,rel	Compare immed. to reg & Jump if Not Equal	3	2
CJNE	@Ri,#data,rel	Compare immed. to ind. & Jump if Not Equal	3	2
DJNZ	Rn,rel	Decrement register & Jump if Not Zero	2	2
DJNZ	direct,rel	Decrement direct & Jump if Not Zero	3	2
NOP		No operation	1	1

**Notes on data addressing modes:**

- Rn - Working register R0-R7
- direct - 128 internal RAM locations, any I/O port, control or status register
- @Ri - Indirect internal RAM location addressed by register R0 or R1
- #data - 8-bit constant included in instruction
- #data 16 - 16-bit constant included as bytes 2 & 3 of instruction
- bit - 128 software flags, any I/O pin, control or status bit

**Notes on program addressing modes:**

- addr 16 - Destination address for LCALL & LJMIP may be anywhere within the 64-k program memory address space
- Addr 11 - Destination address for ACALL & AJMP will be within the same 2-k page of program memory as the first byte of the following instruction
- rel - SJMP and all conditional jumps include an 8-bit offset byte. Range is +127 -128 bytes relative to first byte of the following instruction.

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation 1979



## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

### TL494

#### SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751B  
(SO-16)



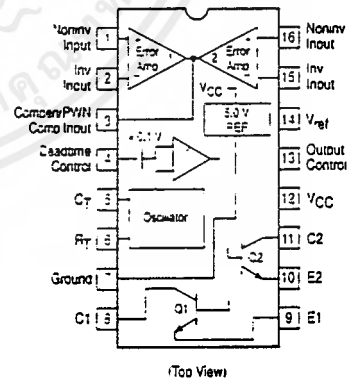
N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 648

**MAXIMUM RATINGS** (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	42		V
Collector Output Voltage	V <sub>C1</sub> , V <sub>C2</sub>	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I <sub>C1</sub> , I <sub>C2</sub>	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V <sub>IR</sub>	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ 45°C	P <sub>D</sub>	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R <sub>θJA</sub>	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T <sub>J</sub>	125		°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range	T <sub>A</sub>	0 to +70		°C
TL494C		-25 to -85		
TL494I				
Derating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	45		°C

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

#### PIN CONNECTIONS



#### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range:	Package
TL494CD	T <sub>A</sub> = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T <sub>A</sub> = -25° to +85°C	Plastic

# TL494

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	$V_{C1}, V_{C2}$	-	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	$I_{C1}, I_{C2}$	-	-	200	mA
Amplified Input Voltage	$V_{in}$	-0.3	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	$I_{fb}$	-	-	0.3	mA
Reference Output Current	$I_{ref}$	-	-	10	mA
Timing Resistor	$R_T$	1.8	30	500	k $\Omega$
Timing Capacitor	$C_T$	0.0047	0.001	10	$\mu$ F
Oscillator Frequency	$f_{osc}$	1.0	40	200	kHz

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ $\mu$ F, $R_T = 12$ k $\Omega$ unless otherwise noted.)

For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>REFERENCE SECTION</b>					
Reference Voltage ( $I_O = 1.0$ mA)	$V_{ref}$	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ( $V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	$Reg_{line}$	-	2.0	25	mV
Load Regulation ( $I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	$Reg_{load}$	-	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ( $V_{ref} = 0$ V)	$I_{SC}$	15	35	75	mA
<b>OUTPUT SECTION</b>					
Collector Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	-	2.0	100	$\mu$ A
Emitter Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	-	-	-100	$\mu$ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ( $V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ( $V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	- -	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ( $V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ( $V_{OC} = V_{ref}$ )	$I_{OCL}$ $I_{OCH}$	- -	10 0.2	- 3.5	$\mu$ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	$t_r$	- -	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	$t_f$	- -	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

## TL494

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ , $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ unless otherwise noted.)

For typical values  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , for min/max values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$V_{IO}$	-	2.0	10	mV
Input Offset Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IO}$	-	5.0	250	nA
Input Bias Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IB}$	-	-0.1	-1.0	$\mu\text{A}$
Input Common Mode Voltage Range ( $V_{CC} = 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$V_{ICR}$	-0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open Loop Voltage Gain ( $\Delta V_O = 3.0\text{ V}$ , $V_O = 0.5\text{ V}$ to $3.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$A_{VOL}$	70	95	-	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ( $V_O = 0.5\text{ V}$ to $3.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$f_{C-}$	-	350	-	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ( $V_O = 0.5\text{ V}$ to $3.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	$\phi_m$	-	65	-	deg.
Common Mode Rejection Ratio ( $V_{CC} = 40\text{ V}$ )	CMRR	65	90	-	dB
Power Supply Rejection Ratio ( $\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$ , $V_O = 2.5\text{ V}$ , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$ )	PSRR	-	100	-	dB
Output Sink Current ( $V_O$ (Pin 3) = 0.7 V)	$I_{O-}$	0.3	-	-	mA
Output Source Current ( $V_O$ (Pin 3) = 3.5 V)	$I_{O+}$	2.0	-1.0	-	mA
<b>PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)</b>					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	$V_{TH}$	-	2.5	4.5	V
Input Sink Current ( $V_{Pin 3} = 0.7\text{ V}$ )	$I_{L-}$	0.3	0.7	-	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)</b>					
Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ to $5.25\text{ V}$ )	$I_{IB (DT)}$	-	-2.0	-10	$\mu\text{A}$
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ( $V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ , $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ ) ( $V_{Pin 4} = 0\text{ V}$ , $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$DC_{max}$	45	48	50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	$V_{th}$	-	2.9	3.3	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$f_{osc}$	-	40	-	kHz
Standard Deviation of Frequency* ( $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 30\ \text{k}\Omega$ )	$\sigma_{f_{osc}}$	-	3.0	-	%
Frequency Change with Voltage ( $V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to $40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$\Delta f_{osc} (\Delta V)$	-	0.1	-	%
Frequency Change with Temperature ( $\Delta T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ , ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ )	$\Delta f_{osc} (\Delta T)$	-	-	12	%
<b>UNDERVOLTAGE-LOCKOUT SECTION</b>					
Turn-On Threshold ( $V_{CC}$ increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$ )	$V_{th}$	5.5	6.43	7.0	V
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open) ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ) ( $V_{CC} = 40\text{ V}$ )	$I_{CC}$	-	5.5	10	mA
Average Supply Current ( $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ , $V_{Pin 4} = 2.0\text{ V}$ ) ( $V_{CC} = 15\text{ V}$ ) (See Figure 12)		-	7.0	-	mA

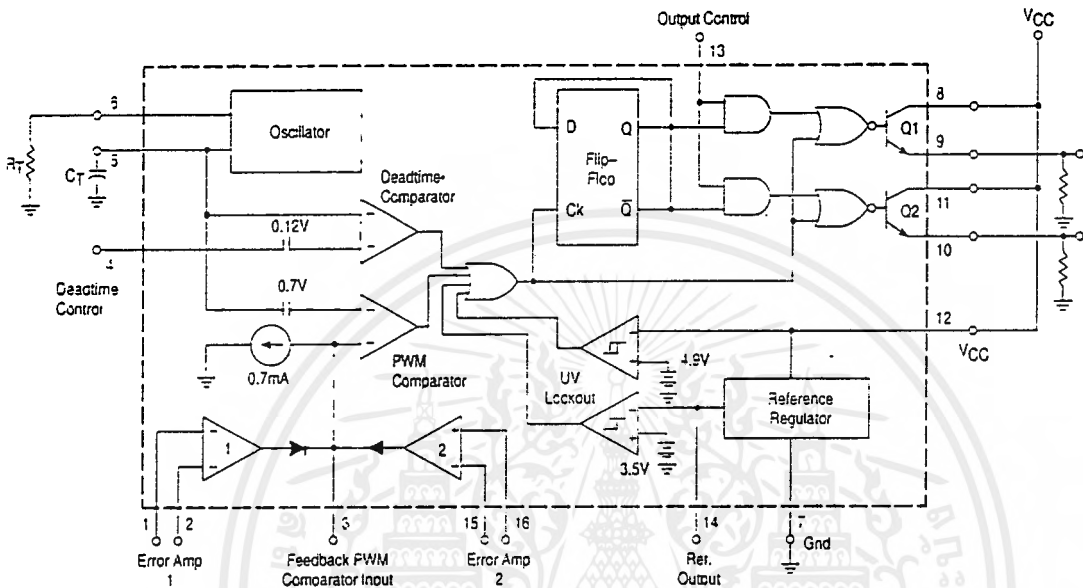
\* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N-1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

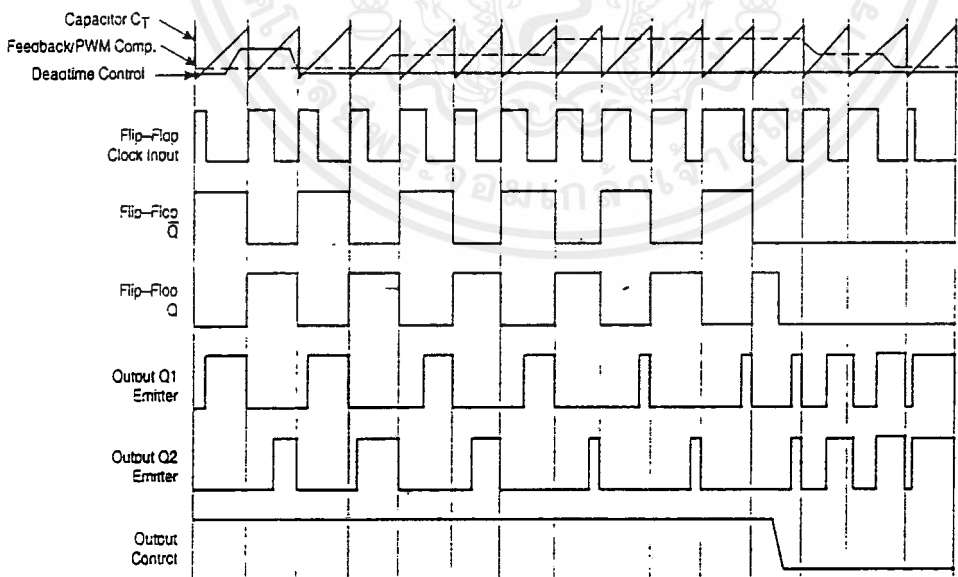
# TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



# TL494

## APPLICATIONS INFORMATION

### Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components,  $R_T$  and  $C_T$ . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor  $C_T$  to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM Q1 and Q2	1.0
$V_{ref}$	Push-pull Operation	0.5

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common mode input range from -0.3 V to  $(V_{CC} - 2V)$ , and

may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor  $C_T$  is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of  $\pm 5.0\%$  with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

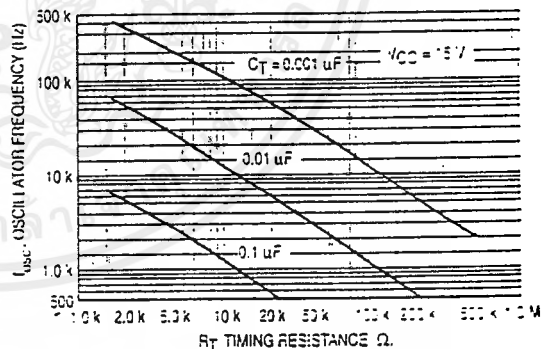


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

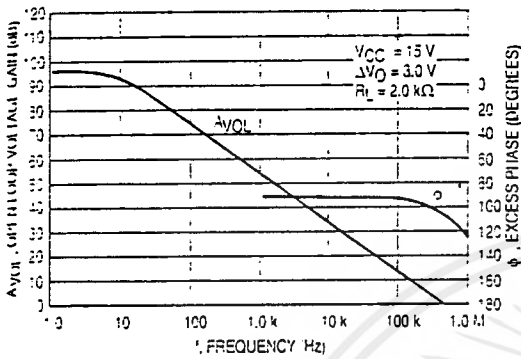


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

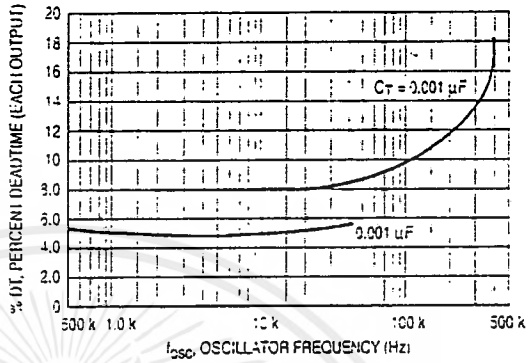


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

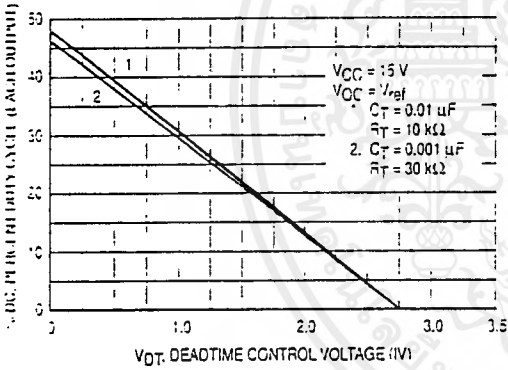


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

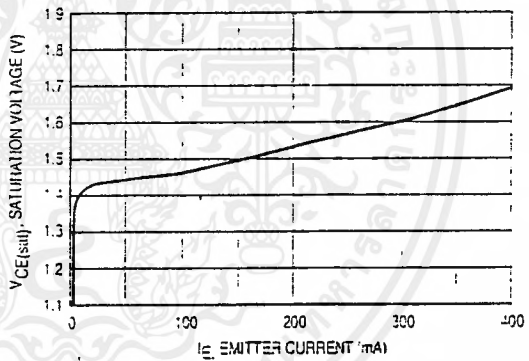


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

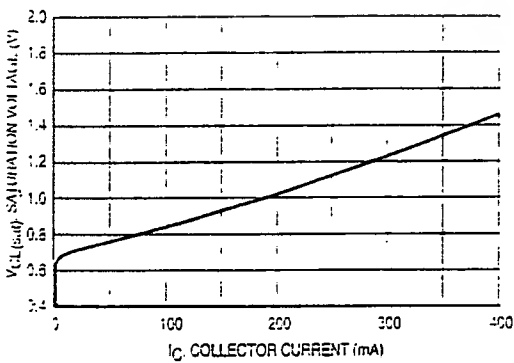
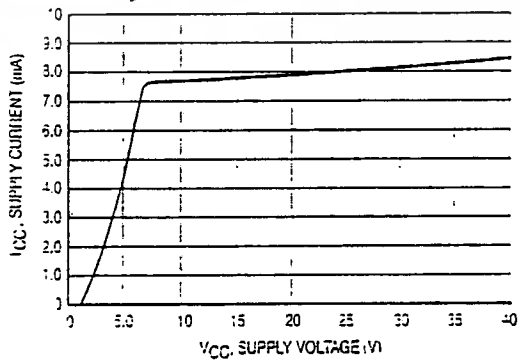


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



3

Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

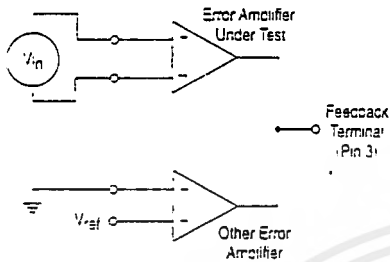


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

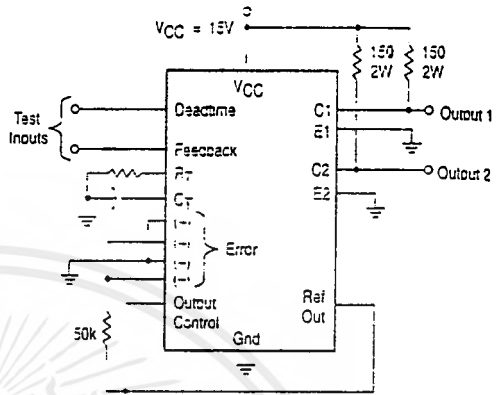


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

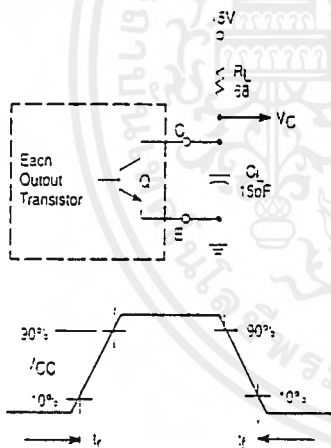
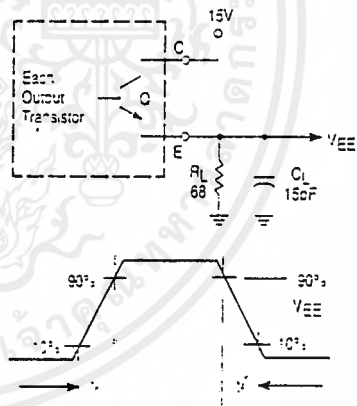
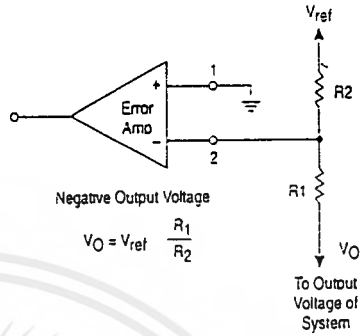
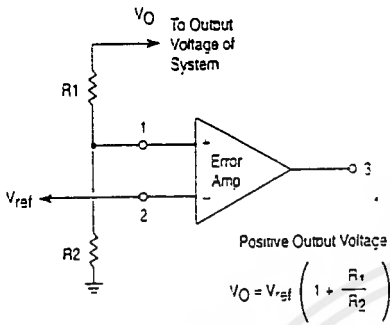


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques



3

Figure 15. Deadtime Control Circuit

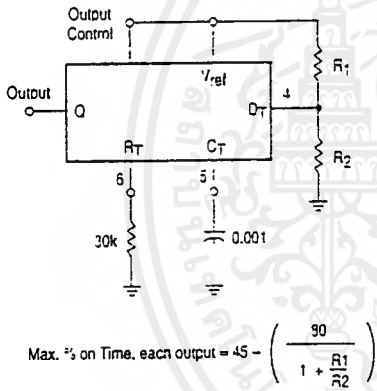


Figure 16. Soft-Start Circuit

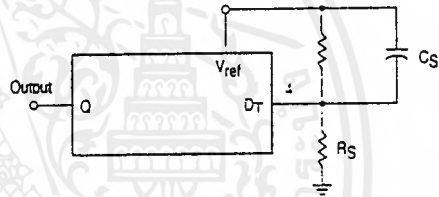
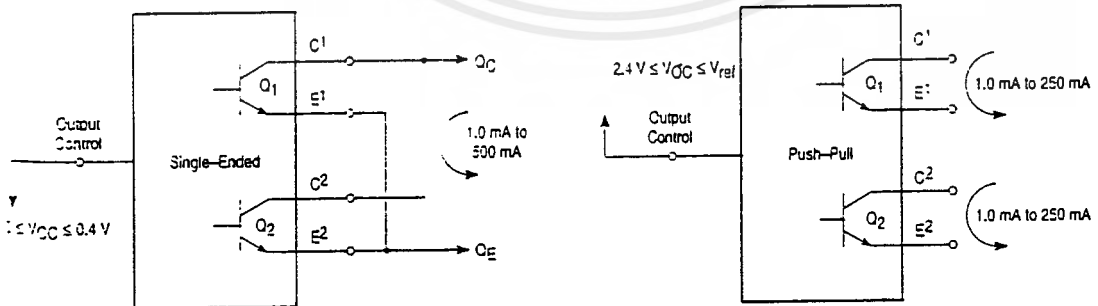


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

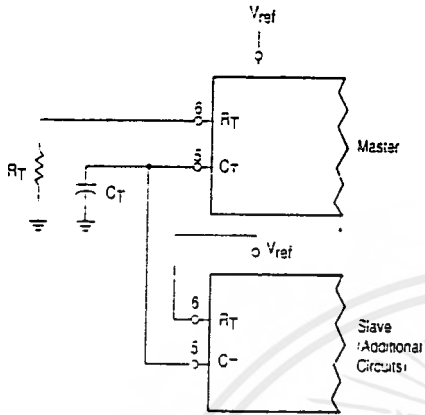


Figure 19. Operation with  $V_{in} > 40 V$  Using External Zener

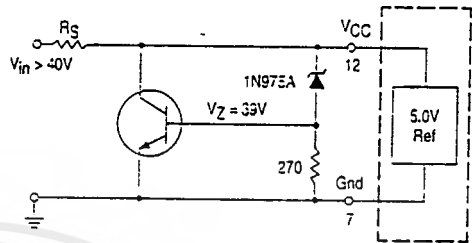
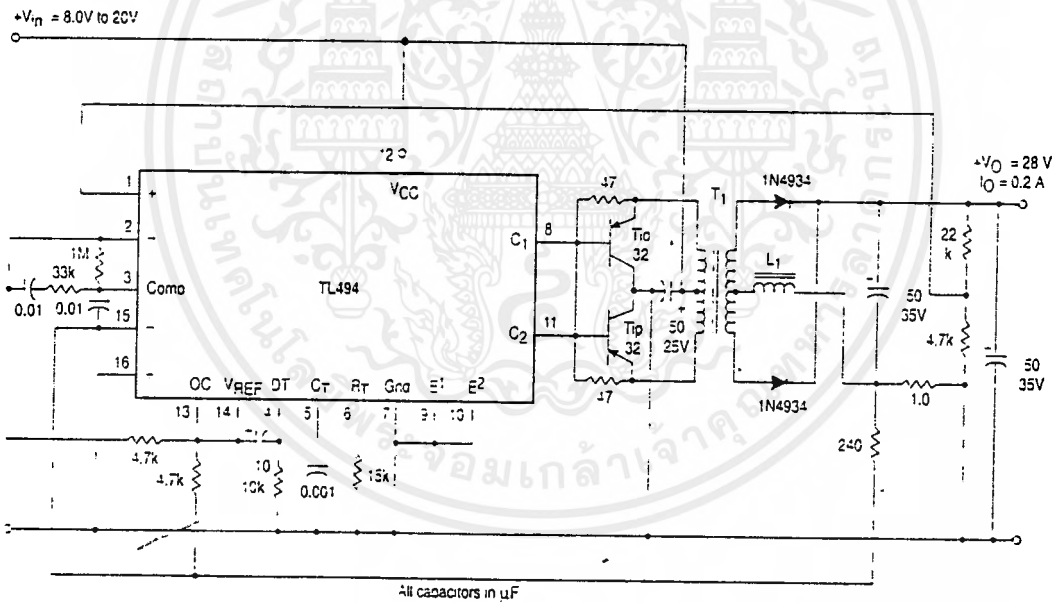


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter



All capacitors in  $\mu F$

Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10 V$ to $40 V$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28 V, I_O = 1.0 mA$ to $1.0 A$	3.0 mV 0.05%
Output Ripple	$V_{in} = 28 V, I_O = 1.0 A$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 29 V, R_L = 0.1 \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 29 V, I_O = 1.0 A$	71%

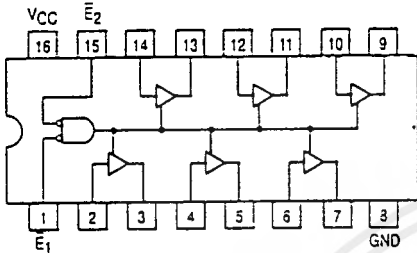
L1 - 3.5 mH @ 0.3 A  
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG  
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG  
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SN54/74LS365A • SN54/74LS366A  
 SN54/74LS367A • SN54/74LS368A

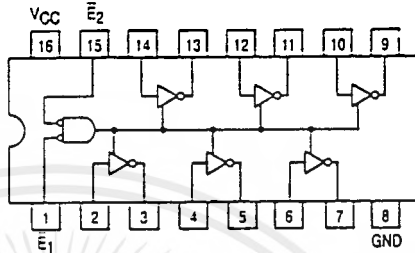
SN54/74LS365A  
 HEX 3-STATE BUFFER WITH  
 COMMON 2-INPUT NOR ENABLE



TRUTH TABLE

INPUTS			OUTPUT
$\bar{E}_1$	$\bar{E}_2$	D	
L	L	L	L
L	L	H	H
H	X	X	(Z)
X	H	X	(Z)

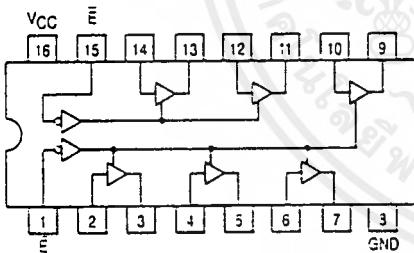
SN54/74LS366A  
 HEX 3-STATE INVERTER BUFFER  
 WITH COMMON 2-INPUT NOR ENABLE



TRUTH TABLE

INPUTS			OUTPUT
$\bar{E}_1$	$\bar{E}_2$	D	
L	L	L	H
L	L	H	L
H	X	X	(Z)
X	H	X	(Z)

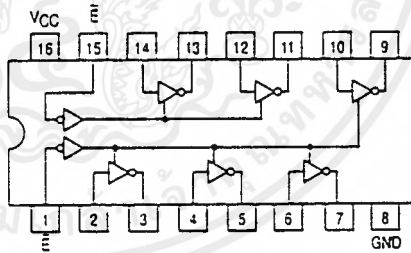
SN54/74LS367A  
 HEX 3-STATE BUFFER  
 SEPARATE 2-BIT AND 4-BIT SECTIONS



TRUTH TABLE

INPUTS		OUTPUT
$\bar{E}$	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

SN54/74LS368A  
 HEX 3-STATE INVERTER BUFFER  
 SEPARATE 2-BIT AND 4-BIT SECTIONS



TRUTH TABLE

INPUTS		OUTPUT
$\bar{E}$	D	
L	L	H
L	H	L
H	X	(Z)

5

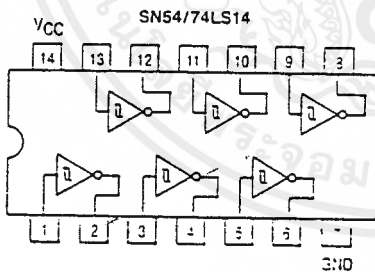
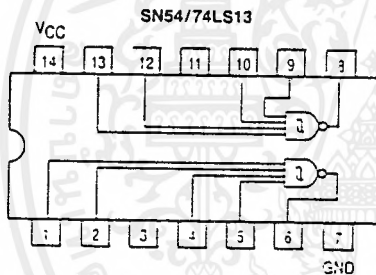


# SCHMITT TRIGGERS DUAL GATE/HEX INVERTER

The SN54LS/74LS13 and SN54LS/74LS14 contain logic gates/inverters which accept standard TTL input signals and provide standard TTL output levels. They are capable of transforming slowly changing input signals into sharply defined, jitter-free output signals. Additionally, they have greater noise margin than conventional inverters.

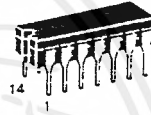
Each circuit contains a Schmitt trigger followed by a Darlington level shifter and a phase splitter driving a TTL totem pole output. The Schmitt trigger uses positive feedback to effectively speed-up slow input transitions, and provide different input threshold voltages for positive and negative-going transitions. This hysteresis between the positive-going and negative-going input thresholds (typically 800 mV) is determined internally by resistor ratios and is essentially insensitive to temperature and supply voltage variations.

### LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS

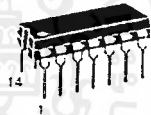


SN54/74LS13  
SN54/74LS14

SCHMITT TRIGGERS  
DUAL GATE/HEX INVERTER  
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 646-06



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic  
SN74LSXXN Plastic  
SN74LSXXD SOIC

### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symool	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
$T_A$	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	$^{\circ}C$
$I_{OH}$	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
$I_{OL}$	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

FAST AND LS TTL DATA

5-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SN54/74LS13 • SN54/74LS14

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$V_{T+}$	Positive-Going Threshold Voltage	1.5		2.0	V	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$
$V_{T-}$	Negative-Going Threshold Voltage	0.6		1.1	V	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$
$V_{T+} - V_{T-}$	Hysteresis	0.4	0.8		V	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$
$V_{IK}$	Input Clam Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN. } I_{IN} = -18\text{ mA}$
$V_{OH}$	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.4	V	$V_{CC} = \text{MIN. } I_{OH} = -400\text{ }\mu\text{A. } V_{IN} = V_{IL}$
		74	2.7	3.4	V	
$V_{OL}$	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	$V_{CC} = \text{MIN. } I_{OL} = 4.0\text{ mA. } V_{IN} = 2.0\text{ V}$
		74	0.35	0.5	V	$V_{CC} = \text{MIN. } I_{OL} = 8.0\text{ mA. } V_{IN} = 2.0\text{ V}$
$I_{T+}$	Input Current at Positive-Going Threshold		-0.14		mA	$V_{CC} = 5.0\text{ V. } V_{IN} = V_{T+}$
$I_{T-}$	Input Current at Negative-Going Threshold		-0.18		mA	$V_{CC} = 5.0\text{ V. } V_{IN} = V_{T-}$
$I_{IH}$	Input HIGH Current		1.0	20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX. } V_{IN} = 2.7\text{ V}$
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX. } V_{IN} = 7.0\text{ V}$
$I_{IL}$	Input LOW Current			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX. } V_{IN} = 0.4\text{ V}$
$I_{OS}$	Short Circuit Current (Note 1)		-20	-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX. } V_{OUT} = 0\text{ V}$
$I_{CC}$	Power Supply Current					$V_{CC} = \text{MAX}$
	Total, Output HIGH	LS13	2.9	6.0	mA	
		LS14	8.6	16	mA	
	Total, Output LOW	LS13	4.1	7.0	mA	
		LS14	12	21	mA	

Note 1. Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

### AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Symbol	Parameter	Max		Unit	Test Conditions
		LS13	LS14		
$t_{PLH}$	Propagation Delay, Input to Output	22	22	ns	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ $C_L = 15\text{ pF}$
$t_{PHL}$	Propagation Delay, Input to Output	27	22	ns	

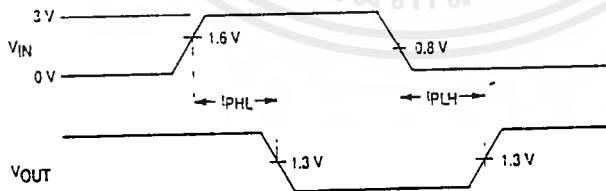


Figure 1. AC Waveforms

SN54/74LS13 • SN54/74LS14

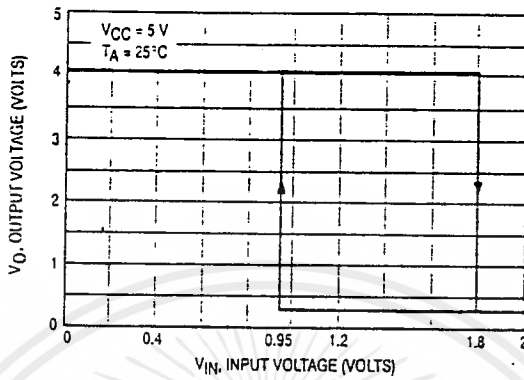


Figure 2.  $V_{IN}$  versus  $V_{OUT}$  Transfer Function

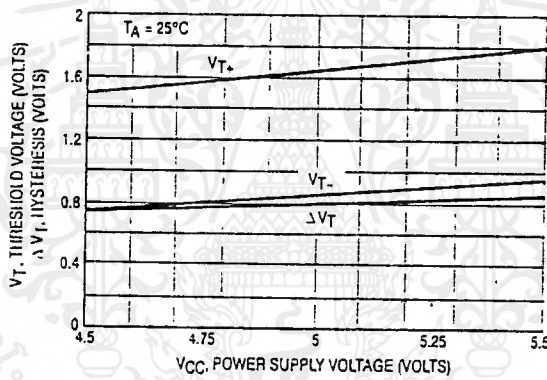


Figure 3. Threshold Voltage and Hysteresis versus Power Supply Voltage

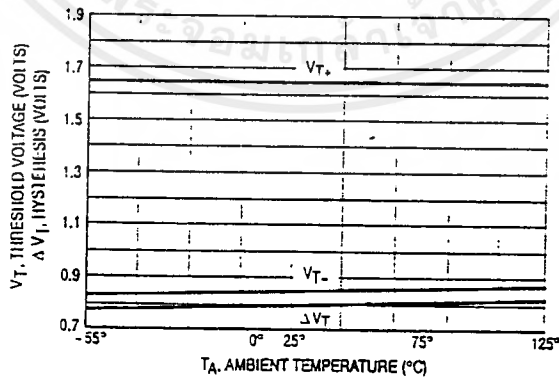


Figure 4. Threshold Voltage Hysteresis versus Temperature

## SN54/74LS390 • SN54/74LS393

SN54/74LS390 BCD TRUTH TABLE (Input on $\overline{CP}_0$ ; $Q_0$ $\overline{CP}_1$ )					SN54/74LS390 + 5 TRUTH TABLE (Input on $\overline{CP}_1$ )					SN54/74LS393 TRUTH TABLE				
COUNT	OUTPUTS				COUNT	OUTPUTS			COUNT	OUTPUTS				
	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$		$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$		$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	
0	L	L	L	L	0	L	L	L	0	L	L	L	L	
1	L	L	L	H	1	L	L	H	1	L	L	L	H	
2	L	L	H	L	2	L	H	L	2	L	L	H	L	
3	L	L	H	H	3	L	H	H	3	L	L	H	H	
4	L	H	L	L	4	H	L	L	4	L	H	L	L	
5	L	H	L	H					5	L	H	L	H	
6	L	H	H	L					6	L	H	H	L	
7	L	H	H	H					7	L	H	H	H	
8	H	L	L	L					8	H	L	L	L	
9	H	L	L	H					9	H	L	L	H	
									10	H	L	H	L	
									11	H	L	H	H	
									12	H	H	L	L	
									13	H	H	L	H	
									14	H	H	H	L	
									15	H	H	H	H	

SN54/74LS390 + 10 (50% @ $Q_0$ ) TRUTH TABLE (Input on $\overline{CP}_1$ , $Q_3$ to $\overline{CP}_0$ )				
COUNT	OUTPUTS			
	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
0	L	L	L	L
1	L	L	H	L
2	L	L	L	L
3	L	H	H	L
4	H	L	L	L
5	L	L	L	H
6	L	L	H	H
7	L	H	L	H
8	L	H	H	H
9	H	L	L	H

H = HIGH Voltage Level  
L = LOW Voltage Level

### GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage	54	4.5	5.5	V
		74	4.75	5.25	
$T_A$	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	°C
		74	0	25	
$I_{OH}$	Output Current — High	54, 74		-0.4	mA
$I_{OL}$	Output Current — Low	54		4.0	mA
		74		8.0	

FAST AND LS TTL DATA

5-342

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SN54/74LS365A • SN54/74LS366A  
SN54/74LS367A • SN54/74LS368A**

**DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE** (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V <sub>IK</sub>	Inout Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	54	2.4	3.4	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>OH</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> per Truth Table
		74	2.4	3.1	V	
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 12 mA, V <sub>CC</sub> = V <sub>CC</sub> MIN, V <sub>IN</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> per Truth Table
		74	0.35	0.5	V	I <sub>OL</sub> = 24 mA
I <sub>OZH</sub>	Output Off Current HIGH			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 2.7 V
I <sub>OZL</sub>	Output Off Current LOW			-20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 0.4 V
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
				0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current E Inputs			-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V
	D Inputs			-20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.5 V Either E Input at 2.0 V
				-0.4	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.4 V Both E Inputs at 0.4 V
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Current (Note 1)	-40		-225	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current LS365A, 367A			24	mA	V <sub>CC</sub> = MAX
	LS366A, 368A			21	mA	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

**AC CHARACTERISTICS** (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = 5.0 V)

Symbol	Parameter	Limits						Unit	Test Conditions
		LS365A/LS367A			LS366A/LS368A				
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
t <sub>PLH</sub> t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay		10 9.0	16 22		7.0 12	15 18	ns	C <sub>L</sub> = 45 pF, R <sub>L</sub> = 667 Ω
t <sub>PZH</sub> t <sub>PZL</sub>	Output Enable Time		19 24	35 40		18 28	35 45	ns	
t <sub>PHZ</sub> t <sub>PLZ</sub>	Output Disable Time			30 35			32 35	ns	C <sub>L</sub> = 5.0 pF



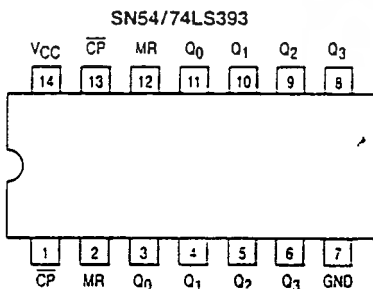
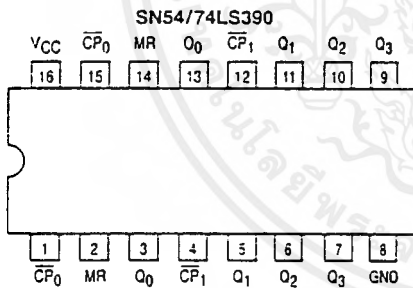
# DUAL DECADE COUNTER; DUAL 4-STAGE BINARY COUNTER

The SN54/74LS390 and SN54/74LS393 each contain a pair of high-speed 4-stage ripple counters. Each half of the LS390 is partitioned into a divide-by-two section and a divide-by five section, with a separate clock input for each section. The two sections can be connected to count in the 8.4.2.1 BCD code or they can count in a biquinary sequence to provide a square wave (50% duty cycle) at the final output.

Each half of the LS393 operates as a Modulo-16 binary divider, with the last three stages triggered in a ripple fashion. In both the LS390 and the LS393, the flip-flops are triggered by a HIGH-to-LOW transition of their CP inputs. Each half of each circuit type has a Master Reset input which responds to a HIGH signal by forcing all four outputs to the LOW state.

- Dual Versions of LS290 and LS293
- LS390 has Separate Clocks Allowing +2, +2.5, +5
- Individual Asynchronous Clear for Each Counter
- Typical Max Count Frequency of 50 MHz
- Input Clamp Diodes Minimize High Speed Termination Effects

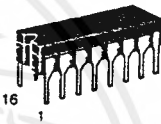
### CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



NOTE:  
The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

SN54/74LS390  
SN54/74LS393

DUAL DECADE COUNTER;  
DUAL 4-STAGE  
BINARY COUNTER  
LOW POWER SCHOTTKY



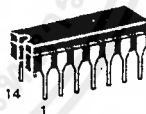
J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 620-09



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 648-08



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751B-03



J SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 632-08



N SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 646-08



D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751A-02

### ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic  
SN74LSXXXN Plastic  
SN74LSXXXD SOIC

## SN54/74LS390 • SN54/74LS393

### PIN NAMES

$\overline{CP}$	Clock (Active LOW going edge) Input to +16 (LS393)
$\overline{CP}_0$	Clock (Active LOW going edge) Input to +2 (LS390)
$\overline{CP}_1$	Clock (Active LOW going edge) Input to +5 (LS390)
MR	Master Reset (Active HIGH) Input
$Q_0-Q_3$	Flip-Flop outputs (Note b)

### LOADING (Note a)

	HIGH	LOW
$\overline{CP}$	0.5 U.L.	1.0 U.L.
$\overline{CP}_0$	0.5 U.L.	1.0 U.L.
$\overline{CP}_1$	0.5 U.L.	1.5 U.L.
MR	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$Q_0-Q_3$	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

### NOTES:

a) 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40  $\mu$ A HIGH/1.6 mA LOW.

b) The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military (54) and 5 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

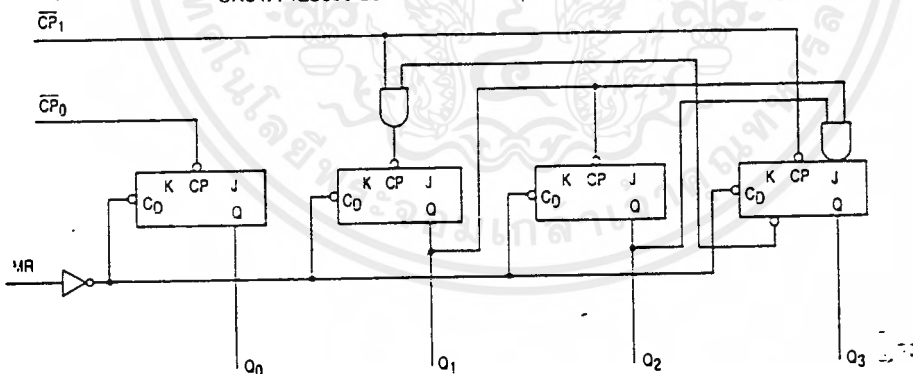
### FUNCTIONAL DESCRIPTION

Each half of the SN54/74LS393 operates in the Modulo 16 binary sequence, as indicated in the +16 Truth Table. The first flip-flop is triggered by HIGH-to-LOW transitions of the CP input signal. Each of the other flip-flops is triggered by a HIGH-to-LOW transition of the Q output of the preceding flip-flop. Thus state changes of the Q outputs do not occur simultaneously. This means that logic signals derived from combinations of these outputs will be subject to decoding spikes and, therefore, should not be used as clocks for other counters, registers or flip-flops. A HIGH signal on MR forces all outputs to the LOW state and prevents counting.

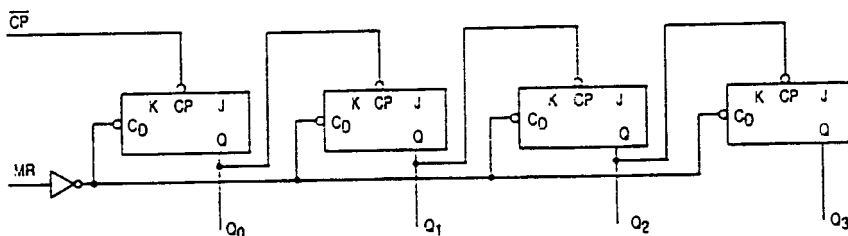
Each half of the LS390 contains a +5 section that is independent except for the common MR function. The +5

section operates in 4,2,1 binary sequence, as shown in the +5 Truth Table, with the third stage output exhibiting a 20% duty cycle when the input frequency is constant. To obtain a +10 function having a 50% duty cycle output, connect the input signal to  $\overline{CP}_1$  and connect the  $Q_3$  output to the  $\overline{CP}_0$  input; the  $Q_0$  output provides the desired 50% duty cycle output. If the input frequency is connected to  $\overline{CP}_0$  and the  $Q_0$  output is connected to  $\overline{CP}_1$ , a decade divider operating in the 8,4,2,1 BCD code is obtained, as shown in the BCD Truth Table. Since the flip-flops change state asynchronously, logic signals derived from combinations of LS390 outputs are also subject to decoding spikes. A HIGH signal on MR forces all outputs LOW and prevents counting.

SN54/74LS390 LOGIC DIAGRAM (one half shown)



SN54/74LS393 LOGIC DIAGRAM (one half shown)



FAST AND LS TTL DATA

5-341

5

## SN54/74LS390 • SN54/74LS393

### DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
$V_{IH}$	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
$V_{IL}$	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
$V_{IK}$	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN.}, I_{IN} = -18 \text{ mA}$	
$V_{OH}$	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	$V_{CC} = \text{MIN.}, I_{OH} = \text{MAX.}, V_{IN} = V_{IH}$ or $V_{IL}$ per Truth Table	
		74	2.7	3.5	V		
$V_{OL}$	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 \text{ mA}$ $V_{CC} = V_{CC} \text{ MIN.}, V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$ per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	
$I_{IH}$	Input HIGH Current			20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_{IN} = 2.7 \text{ V}$	
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_{IN} = 7.0 \text{ V}$	
$I_{IL}$	Input LOW Current	MR		-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX.}, V_{IN} = 0.4 \text{ V}$	
		$\overline{CP}, \overline{CP}_0$		-1.6	mA		
		$\overline{CP}_1$		-2.4	mA		
$I_{OS}$	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX.}$	
$I_{CC}$	Power Supply Current			26	mA	$V_{CC} = \text{MAX.}$	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

### AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C.}, V_{CC} = 5.0 \text{ V}$ )

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$f_{MAX}$	Maximum Clock Frequency $\overline{CP}_0$ to $Q_0$	25	35		MHz	$C_L = 15 \text{ pF}$
$f_{MAX}$	Maximum Clock Frequency $\overline{CP}_1$ to $Q_1$	20			MHz	
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	Propagation Delay, $\overline{CP}$ to $Q_0$	LS393	12	20	ns	
			13	20		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	$\overline{CP}_0$ to $Q_0$	LS390	12	20	ns	
			13	20		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	$\overline{CP}$ to $Q_3$	LS393	-40	60	ns	
			-40	60		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	$\overline{CP}_0$ to $Q_2$	LS390	37	60	ns	
			39	60		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	$\overline{CP}_1$ to $Q_1$	LS390	13	21	ns	
			14	21		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	$\overline{CP}_1$ to $Q_2$	LS390	24	39	ns	
			26	39		
$t_{PLH}$ $t_{PHL}$	$\overline{CP}_1$ to $Q_3$	LS390	13	21	ns	
			14	21		
$t_{PHL}$	MR to Any Output	LS390/393	24	39	ns	

### FAST AND LS TTL DATA

5-343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SN54/74LS390 • SN54/74LS393

AC SETUP REQUIREMENTS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ )

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions
			Min	Typ	Max		
$t_w$	Clock Pulse Width	LS393	20			ns	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$
$t_w$	$\overline{CP}_0$ Pulse Width	LS390	20			ns	
$t_w$	$\overline{CP}_1$ Pulse Width	LS390	40			ns	
$t_w$	MR Pulse Width	LS390/393	20			ns	
$t_{rec}$	Recovery Time	LS390/393	25			ns	

### AC WAVEFORMS

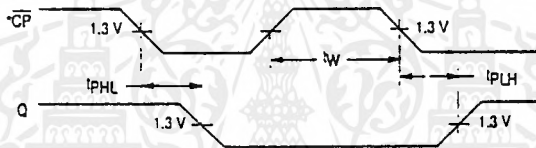


Figure 1

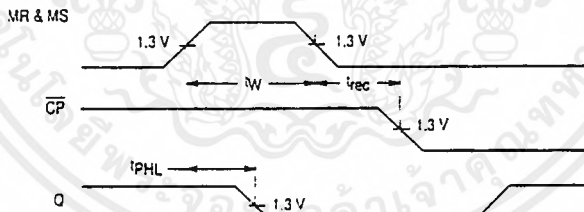




Figure 2

\*The number of Clock Pulses required between  $t_{PHL}$  and  $t_{PLH}$  measurements can be determined from the appropriate Truth Table.

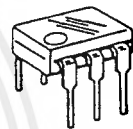
## 6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

These devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Convenient Plastic Dual-in-Line Package
- Most Economical Optoisolator
- High Input-Output Isolation Guaranteed — 7500 Volts Peak
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- UL Recognized. File Number E54915 
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/ 883
- VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

**4N25**  
**4N25A**  
**4N26**  
**4N27**  
**4N28**

6-PIN DIP  
 OPTOISOLATORS  
 TRANSISTOR OUTPUT



CASE 730A-02  
 PLASTIC

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

#### INPUT LED

Reverse Voltage	$V_R$	3	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	120 -	mW mW/°C

#### OUTPUT TRANSISTOR

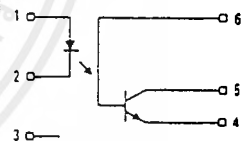
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$	7	Volts
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	70	Volts
Collector Current — Continuous	$I_C$	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 1.76	mW mW/°C

#### TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	$V_{ISO}$	7500	V <sub>ac</sub>
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	250 2.94	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	$T_{sol}$	260	°C

(1) Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

#### SCHEMATIC



1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

## 4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT LED</b>					
Forward Voltage ( $I_f = 10\text{ mA}$ )	$V_f$	—	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.15	Volts
			$T_A = -55^\circ\text{C}$	1.3	
			$T_A = 100^\circ\text{C}$	1.05	
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Capacitance ( $V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_J$	—	18	—	pF
<b>OUTPUT TRANSISTOR</b>					
Collector-Emitter Dark Current ( $V_{CE} = 10\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ )	4N25,25A,26,27	$I_{CEO}$	—	1	nA
	4N28			100	
( $V_{CE} = 10\text{ V}, T_A = 100^\circ\text{C}$ )	All Devices	$I_{CEO}$	—	1	$\mu\text{A}$
Collector-Base Dark Current ( $V_{CB} = 10\text{ V}$ )		$I_{CBO}$	—	0.2	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 1\text{ mA}$ )		$V_{(BR)CEO}$	30	45	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$ )		$V_{(BR)CBO}$	70	100	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage ( $I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$ )		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	Volts
DC Current Gain ( $I_C = 2\text{ mA}, V_{CE} = 5\text{ V}$ )		$h_{FE}$	—	500	—
Collector-Emitter Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}, V_{CE} = 0$ )		$C_{CE}$	—	7	pF
Collector-Base Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}, V_{CB} = 0$ )		$C_{CB}$	—	19	pF
Emitter-Base Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}, V_{EB} = 0$ )		$C_{EB}$	—	9	pF
<b>COUPLED</b>					
Output Collector Current ( $I_f = 10\text{ mA}, V_{CE} = 10\text{ V}$ )	$I_C$	—	2	7	mA
			1	5	
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 2\text{ mA}, I_f = 50\text{ mA}$ )	$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time ( $I_f = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$ )	$t_{on}$	—	2.8	—	$\mu\text{s}$
Turn-Off Time ( $I_f = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$ )	$t_{off}$	—	4.5	—	$\mu\text{s}$
Rise Time ( $I_f = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$ )	$t_r$	—	1.2	—	$\mu\text{s}$
Fall Time ( $I_f = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$ )	$t_f$	—	1.3	—	$\mu\text{s}$
Isolation Voltage ( $f = 60\text{ Hz}, t = 1\text{ sec}$ )	$V_{ISO}$	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ( $V = 500\text{ V}$ )	$R_{ISO}$	$10^{11}$	—	—	$\Omega$
Isolation Capacitance ( $V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{ISO}$	—	0.2	—	pF



### TYPICAL CHARACTERISTICS

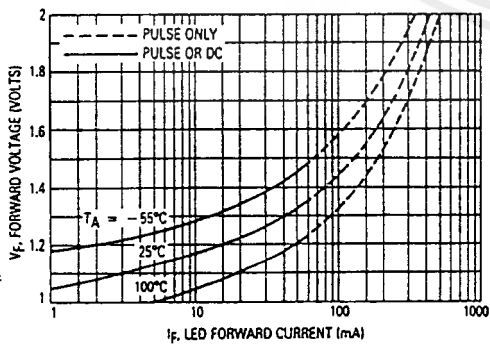


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

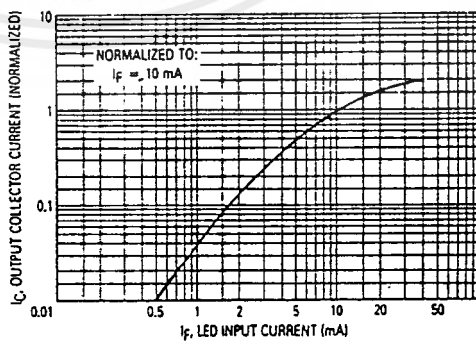


Figure 2. Output Current versus Input Current

# 4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

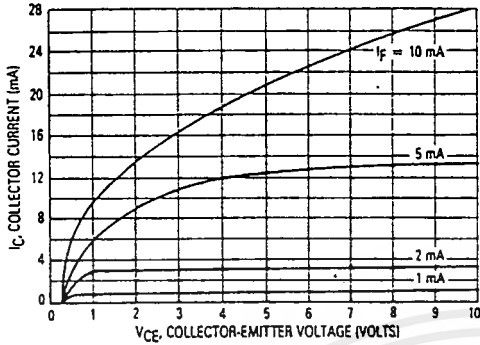


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

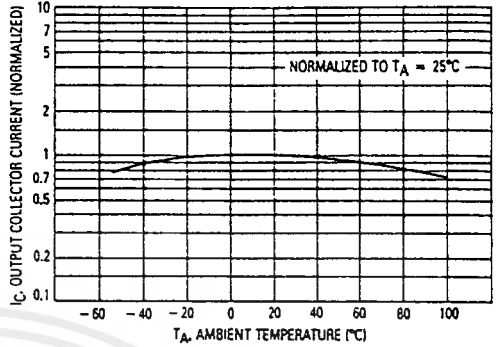


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

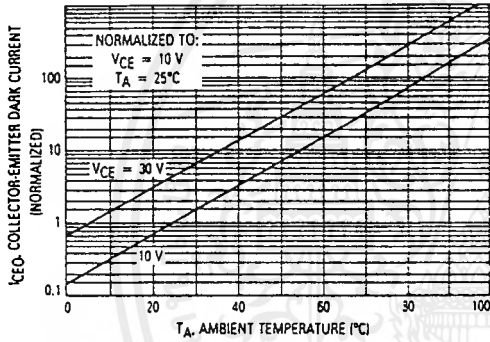


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

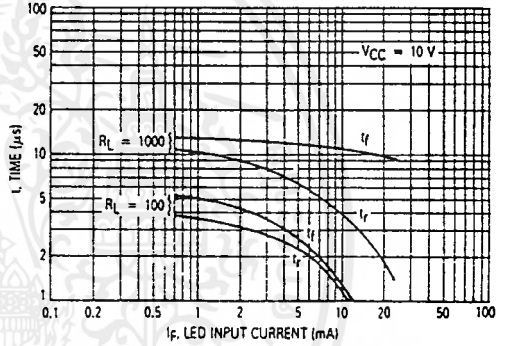


Figure 6. Rise and Fall Times

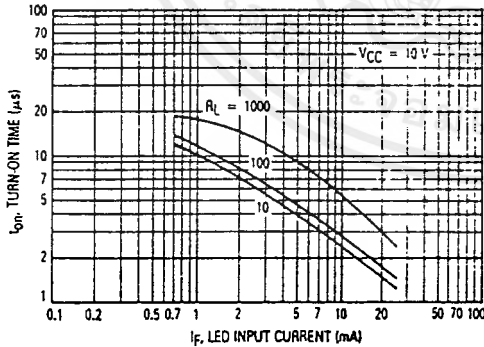


Figure 7. Turn-On Switching Times

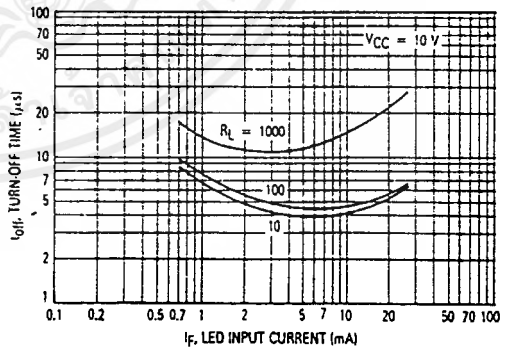


Figure 8. Turn-Off Switching Times

6

## 4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

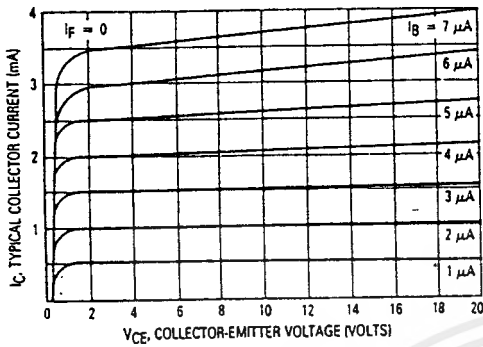


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

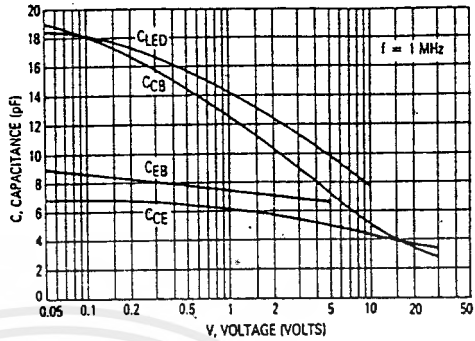


Figure 10. Capacitances versus Voltage

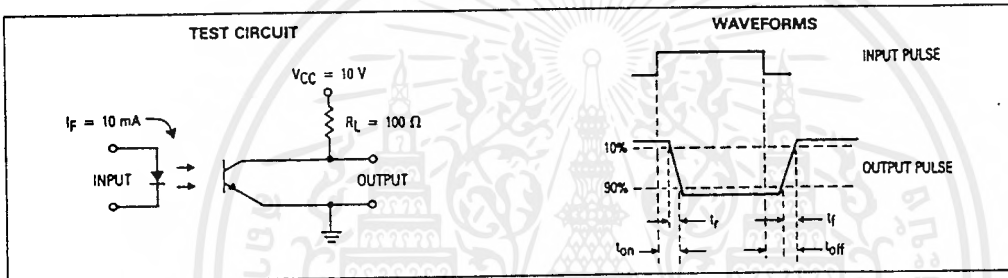
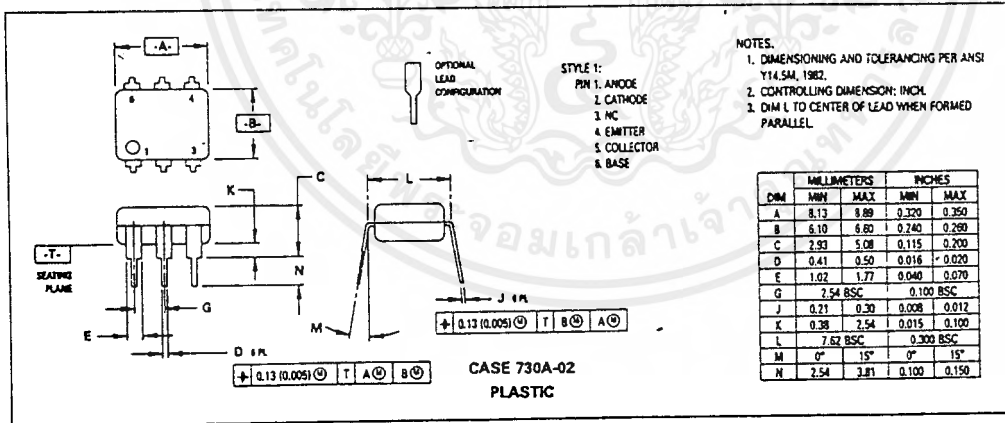


Figure 11. Switching Times

### OUTLINE DIMENSIONS



6

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ อาจารย์ พิชัย คูศิริวานิชกร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และที่จะลืมเสียมิได้ก็คือ เพื่อนๆ ที่ได้คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

.....กัลยาณี.....นุศรัทธา.....

(นางสาวกัลยาณี นุศรัทธา)

.....กาญจนา.....นุชรักษา.....

(นางสาวกาญจนา นุชรักษา)

.....ไกรสิทธิ์.....ฤกษ์ดี.....

(นายไกรสิทธิ์ ฤกษ์ดี)

## หนังสืออ้างอิง

1. ทนง โชติสรยุทธ์, “เทคโนโลยีการใช้งานอุตสาหกรรมอัตโนมัติ”, ทฤษฎีแม่และการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, หน้า 103-118 , 2538 .
2. สุเจตน์ จันทรัมย์, “ ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051 ”, พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2535 .
3. MCS-51 Microcontroller , บริษัทลาร์เวียร์ จำกัด .
4. ดร. โยธิน เปรมปراميรัชต์, “ วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ ”, กันยายน 2526.

