

หุ่นยนต์เดินตามเส้นทางที่กำหนด  
AUTOMATIC ROUTH TRACKING SYSTEM



โดย

นายมงคล ภูหัตสวน  
นายสาริต คำเพชร

เลขหมึ.....  
เลขทะเบียน... 46201  
วัน, เดือน, ปี 2 1 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

019 200213

หุ่นยนต์เดินตามเส้นทางที่กำหนด  
AUTOMATIC ROUTH TRACKING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นทางที่กำหนด

ผู้จัดทำ

1. นายมงคล ภูหัดสวน
2. นายสาริต คำเพชร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เดินตามเส้นทางที่กำหนด

AUTOMATIC ROUTH TRACKING SYSTEM

นายมงคล ภูหัตสวน 42015229

นายสาริต คำเพชร 42015242

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



(รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคานำไปใช้

หุ่นยนต์เดินตามเส้นทางที่กำหนด  
AUTOMATIC ROUTH TRACKING SYSTEM

นายมงคล ภูหัตสวง  
นายสาริต คำเพชร  
รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์(อาจารย์ที่ปรึกษา)  
ภาคเรียนที่2 ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์ขนาดพกพามาใช้งานทางด้านควบคุมอย่างแพร่หลาย  
โครงการนี้ได้ใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกในการเขียนแผนที่หรือเส้นทางเพื่อกำหนดการเคลื่อนที่ของหุ่น  
ยนต์ ซึ่งการเขียนแผนที่สามารถทำได้ง่ายตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยวาดแผนที่ผ่านทาง  
จอภาพคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา ทั้งตัวหุ่นยนต์ใช้มอเตอร์กระแสตรงในการเคลื่อนที่ และใช้ไมโคร  
คอนโทรลเลอร์เบอร์89C51เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด

# AUTOMATIC ROUTH TRACKING SYSTEM

Mongkhol Puhattasuan  
Satit Khamphet  
Surapan Airphaiboon(Advisor)  
2001

## ABSTACT

The Pocket Personal Computer is possibly applied in the control system. This project uses visual basic programming language to draw a map of defined path for robot's motion. User directly draw a map on Pocket Personal Computer 's monitor screen . The robot uses 2 direct current motors for moving. All devices in this project are controlled by the 89C51 micro controller.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จด้วยดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆท่าน อาทิ เช่น อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ ซึ่งได้รับคำแนะนำที่ดีตลอดมาช่วยในการหาข้อมูลและอุปกรณ์ต่างๆมากมาย รวมทั้งอาจารย์ท่านอื่นๆ และเพื่อนๆทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจตลอดมา



# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	2
1.3 วิธีดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	
2.1 ทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์	3
2.1.1 ทิศทางการหมุนของมอเตอร์	3
2.2 สถาปัตยกรรมของ L298	4
2.3 สถาปัตยกรรมของ 89C51	5
2.4 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์	5
2.5 การจัดการข้อมูลอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	6
2.6 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	9
2.6.1 อัตราส่งข้อมูล (Baud Rate)	9
2.6.2 การส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1 (Standard UART)	9
2.6.3 อัตราการส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1	10
2.7 การอินเตอร์รัปต์พอร์ตอนุกรมของ MCS-51	11
2.8 พอร์ตอนุกรมของ PC	11
2.9 ระบบการอินเตอร์เฟส RS-232	12
2.10 ความหมายของคลื่นอูลตราโซนิก	14
2.11 ชนิดของคลื่นอูลตราโซนิก	14

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง

หน้า

2.13 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wavelength)	15
2.14 ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิก	15
2.15 การลดทอน (Attenuation)ของคลื่นอุลตราโซนิก	15
2.16 การแยกแยะ (Resolution)	15
2.17 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ	16
2.18 ข้อควรระวังในการใช้งานทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและรับ	16
2.19 การลดสัญญาณรบกวน(Noise)และสภาวะการทำงาน	17
บทที่3 หลักการออกแบบและการทำงาน	
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการ	18
3.2 ส่วนรับข้อมูลจากจอภาพ(Image Data from Monitor)	18
3.3 การออกแบบในส่วนของผู้หุ้ยนยนต์	18
3.3.1 ส่วนควบคุมการทำงาน	18
3.3.2 ส่วนของการตรวจสอบระยะทาง	19
3.4 ส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์	23
3.5 ส่วนควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม	24
3.6 การวัดระยะทางจากล้อของผู้หุ้ยนยนต์	24
3.7 การวางตำแหน่งเซ็นเซอร์	25
3.8 เส้นทางที่ผู้หุ้ยนยนต์สามารถวิ่งผ่านได้	26
3.9 การออกแบบทางซอฟต์แวร์(Software)	26
3.10 Visual Basic ติดต่อกับ Serial Port	27
3.11 หลักการเขียนโปรแกรมบน Visual Basic	29
3.12 โฟล์ดซาร์จแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก	30
3.12.1 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check Run	31
3.12.2 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check In	32
3.12.3 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อยหน่วยเวลา	33
3.12.4 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check Dir	34
3.12.5 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์	35

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.12.6 โพรซีจัวร์จ็ไปแกรมย่อย Check Run1	37
บทที่4 ผลการทดลอง	
4.1 การวัดสัญญาณในขณะที่หุ่นยนต์อยู่ในสภาวะต่างๆ	39
4.1.1 ขณะที่หุ่นยนต์วิ่งตรง	39
4.1.2 ขณะที่หุ่นยนต์กำลังเลี้ยวขวา	40
4.1.3 ขณะที่หุ่นยนต์กำลังเลี้ยวซ้าย	41
4.1.4 ขณะที่หุ่นยนต์ไม่เคลื่อนที่	42
4.2 สภาวะที่หุ่นยนต์ได้รับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม	42
4.3 ผลการวัดระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่	43
4.4 การใช้งานโปรแกรม	44
4.5 การวัดสัญญาณเอาต์พุตของชุดส่งอุตสาหกรรม	45
4.6 การวัดสัญญาณของภากรับ	46
บทที่5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	47
ภาคผนวก ก วงจร	
ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้งาน	
ภาคผนวก ค Data Sheet	
อ้างอิง	

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของไอซีL298	4
รูปที่ 2.3 การจัดเรียงขาของไอซีL298	4
รูปที่ 2.4 การจัดเรียงขาของ 89C51 แบบ DIP	5
รูปที่ 2.5 รูปแบบการรับส่งข้อมูลในโหมด 1	10
รูปที่ 2.6 ขาสัญญาณของ RS -232 แบบ DB9	12
รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายใน MAX 232	13
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการ	18
รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมการทำงานหลัก	19
รูปที่ 3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	20
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความไวของแสงเมื่อใช้ความต้านทานค่าต่างๆ	22
รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์	23
รูปที่ 3.6 วงจรรับส่งพอร์ตอนุกรม	24
รูปที่ 3.7 ลักษณะของลือหุ่นยนต์	24
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการวางเซ็นเซอร์	25
รูปที่ 3.9 รูปแบบเส้นทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้	26
รูปที่ 3.10 การเรียก Components	27
รูปที่ 3.11 การเลือก Mscomm ขึ้นมาไว้ใน Toolbox	28
รูปที่ 3.12 การนำ Mscomm มาใช้งาน	28
รูปที่ 3.13 โปรแกรม Visual Basic ที่ทำการเขียนเสร็จแล้ว	29
รูปที่ 3.14 โฟล์ดซาร์จแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก	30
รูปที่ 3.15 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check Run	31
รูปที่ 3.16 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check In	32
รูปที่ 3.17 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อยหน่วยเวลา	33
รูปที่ 3.18 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check Dir	34
รูปที่ 3.19 โฟล์ดซาร์จโปรแกรม MCS51	36

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 ขณะที่หุ่นยนต์วิ่งตรง	39
รูปที่ 4.2 เอาท์พุทของ L298 ไปควบคุมมอเตอร์ให้วิ่งตรง	40
รูปที่ 4.3 ขณะที่หุ่นยนต์กำลังเลี้ยวขวา	40
รูปที่ 4.4 เอาท์พุทของ L298 ไปควบคุมมอเตอร์ให้เลี้ยวขวา	41
รูปที่ 4.5 ขณะที่หุ่นยนต์กำลังเลี้ยวซ้าย	41
รูปที่ 4.6 เอาท์พุทของ L298 ไปควบคุมมอเตอร์ให้เลี้ยวซ้าย	42
รูปที่ 4.7 เอาท์พุทที่ออกจาก L298 ในสถานะหุ่นยนต์ไม่เคลื่อนที่	42
รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูล D กับ F ที่วัดจากขา TXD ของ MCS- 51	43
รูปที่ 4.9 ลักษณะโปรแกรมที่ใช้งาน	45
รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณความถี่ 40KHz ที่วัดจากขา 3 ของไอซีเบอร์ 555	45
รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณความถี่ 40 KHz ที่ตัวรับอุลตราโซนิกเปรียบเทียบกับตัวส่งอุลตราโซนิก	46

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	6
ตารางที่ 2.2 รีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register)	7
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของรีจิสเตอร์ TMOD	8
ตารางที่ 2.4 โหมดการทำงานของไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์	8
ตารางที่ 2.5 ข้อมูลของรีจิสเตอร์ PCON	10
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของ RS-232	12
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองความไวของเซ็นเซอร์ที่ความต้านทานค่าต่างๆ	21
ตารางที่ 3.2 ค่าความแตกต่างระหว่างสีขาวกับสีดำ	22
ตารางที่ 3.3 สถานะการควบคุมการหมุนของมอเตอร์	23
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่	43

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา(Pocket Personal Computer)ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวันเช่นการจดบันทึกตารางเวลานัดหมาย การใช้งานอินเทอร์เน็ต เหล่านี้เป็นต้น เนื่องจากประโยชน์ในเรื่องความสะดวกและขนาดที่เล็กของเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Pocket Personal Computer) จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะนำคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Pocket Personal Computer) มาใช้ในงานควบคุมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้เกิดโครงการนี้ขึ้นมาโดยอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา(Pocket Personal Computer)มาควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ผ่านพอร์ตอนุกรมตามมาตรฐานการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตสื่อสารของคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้จะลดจำนวนสายส่งลง และในขณะที่การรับการส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลที่ละบิต แต่ก็สามารถส่งข้อมูลได้ทีละหลายๆบิต หากแต่จะต้องมีการตกลงกันระหว่างด้านส่งและด้านรับว่าจะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับต้องรับข้อมูลให้ครบเสียก่อนจึงจะนำข้อมูลไปประมวลผลได้ ส่งผลให้การสื่อสารแบบอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนานอย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเป็นที่นิยมมากกว่าแบบขนาน

โครงการนี้ได้ใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเข้ามาใช้ในการวาดแผนที่เพื่อส่งข้อมูลไปยังหุ่นยนต์เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางที่กำหนด ซึ่งจะสะดวกกว่าแบบเดิมที่ต้องมีการกำหนดเส้นทางที่พื้นเพื่อใช้เป็นสิ่งอ้างอิงให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปสู่จุดหมาย ซึ่งพบว่าไม่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเท่าที่ควร กล่าวคือถ้าต้องนำหุ่นยนต์ไปใช้งานต่างสถานที่ ก็จะต้องสร้างเส้นทางอ้างอิงที่พื้นใหม่ ทำให้เสียเวลาและพื้นที่นั้นๆจะมีเส้นทางที่พื้นทำให้ดูไม่เรียบร้อย ซึ่งโครงการนี้ได้ทำการปรับปรุงเสียใหม่โดยอาศัยวิธีการวาดแผนที่ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา(Pocket Personal Computer)เข้ามาช่วย ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยไม่ต้องวาดสิ่งใดๆลงที่พื้นเลย อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นสูงมากในการนำไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ เพียงแค่วาดแผนที่ใหม่ทางจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Pocket Personal Computer)เท่านั้นหุ่นยนต์ก็สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการได้ทันที

### 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.1.1 เพื่อศึกษาวิธีการใช้งานคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา(Pocket Personal Computer) และการนำมาประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.1.2 เพื่อศึกษาการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม
- 1.1.3 เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.1.4 เพื่อศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และการนำมาประยุกต์ใช้งาน
- 1.1.5 เพื่อให้เกิดความสะดวกในการนำไปใช้งาน

## 1.2 ขอบเขตของโครงการ

- 1.2.1 ใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก ในการสร้างเส้นทางด้วยภาพ
- 1.2.2 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในการควบคุมการทำงานส่วนต่างๆของวงจร
- 1.2.3 สามารถเคลื่อนที่ได้ตามเส้นทางที่กำหนด

## 1.3 วิธีการดำเนินงาน

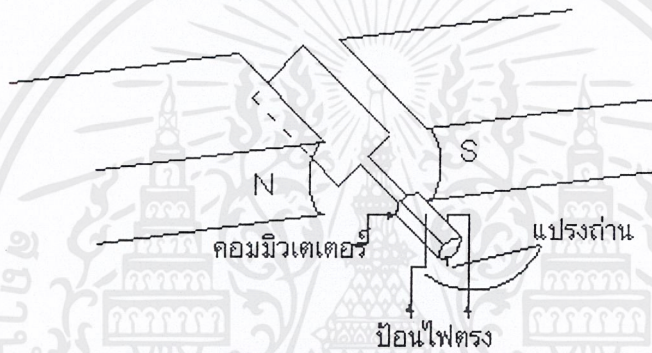
- 1.3.1 ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมทั้งวิซวลเบสิกและแอสแซมบลี
- 1.3.2 ศึกษาวิธีการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก
- 1.3.3 ศึกษาการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม
- 1.3.4 ศึกษาการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51
- 1.3.5 ศึกษาการสร้างออกแบบวงจรควบคุมหุ่นยนต์
- 1.3.6 ทดสอบการทำงาน และปรับปรุงแก้ไข ผลที่ได้จากการทดลอง

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

### 2.1 ทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์

การทำงานของมอเตอร์คือ มอเตอร์หมุนก็ต่อเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า โครงสร้างของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.1 เมื่อป้อนแรงดันไฟตรงเข้าที่แปรงถ่านเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดตัดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงผลักให้ขดลวดหมุน



รูปที่ 2.1 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์

$$T = iB$$

โดยที่  $T$  คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์

$B$  คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

$i$  คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวดในสนามแม่เหล็ก

ถ้าหากกระแสมีค่าสูงสุด ความเร็วเป็นศูนย์ แต่ถ้ากระแสไหลลดลงความเร็วเพิ่มขึ้นแรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหล ในขดลวดของมอเตอร์ มีความสัมพันธ์ดังนี้คือ อัตราความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งแรงบิดสมดุลกับ โหลดที่ต่อเข้ามอเตอร์ อัตราความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถควบคุม โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็ก หรือปรับแรงดันอาร์เมเจอร์ ส่วนการสร้างสนามแม่เหล็กสามารถใช้แม่เหล็กถาวรหรือต่อขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเสียก่อน

#### 2.1.1 ทิศทางการหมุนของมอเตอร์

มอเตอร์ต้องการให้หมุนในทิศทางใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือกับขั้วใต้ และทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ให้

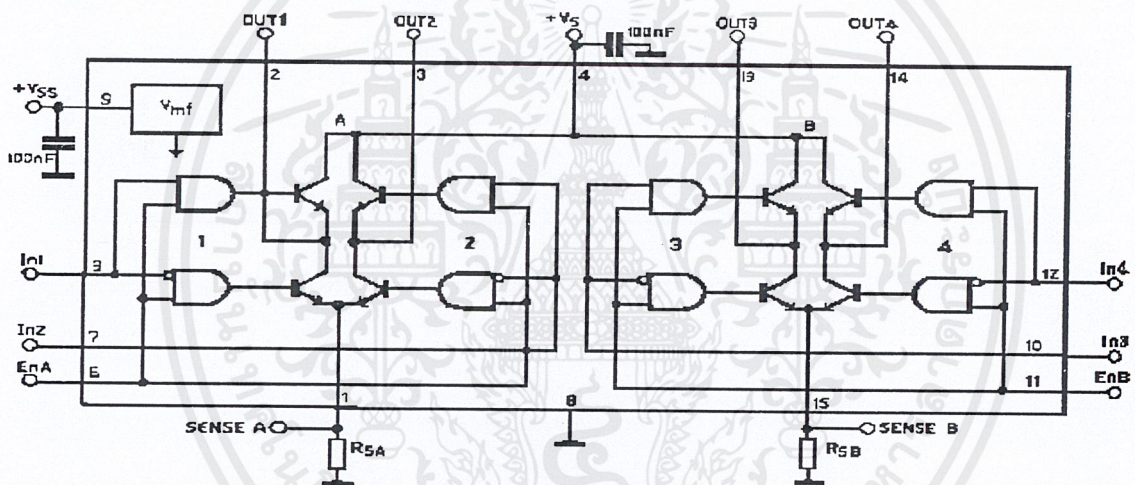
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมหนังสือหรือเอกสารฉบับนี้คืนให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 3

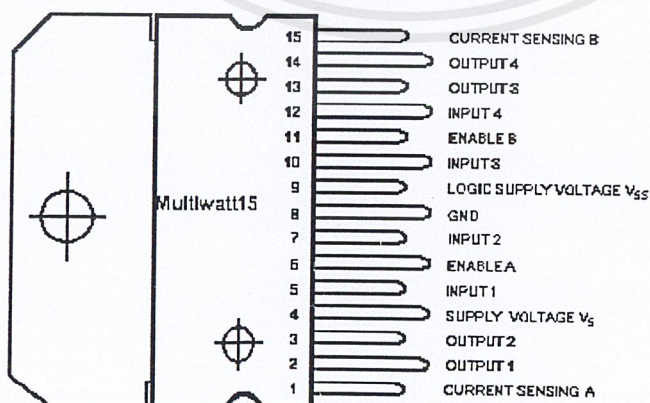
ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิงดังนั้นถ้าต้องการให้มอเตอร์กลับทางหมุน ต้องกลับทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง ถ้ากลับทิศทางทั้งคู่มอเตอร์มีทิศทางหมุนในทางเดิม

## 2.2 สถาปัตยกรรมของ L298

ไอซี L298 เป็นไอซีที่มีคุณสมบัติที่ใช้ในการควบคุมการหมุนได้ทั้ง สเต็ปมอเตอร์ และ ดีซีมอเตอร์ แต่ในโครงงานนี้ได้นำ ไอซี L298 นี้มาใช้ในการควบคุม ดีซีมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมสามารถทำได้ง่ายกว่าการควบคุม สเต็ปมอเตอร์ โดยตำแหน่งขาของไอซี L298 ดูได้จากรูปที่ 2.3 และโครงสร้างภายในของไอซีดูได้จากรูปที่ 2.2 โดยไอซีหนึ่งตัวสามารถใช้ควบคุม ดีซีมอเตอร์ได้ทั้งหมดสองตัว



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของไอซี L298

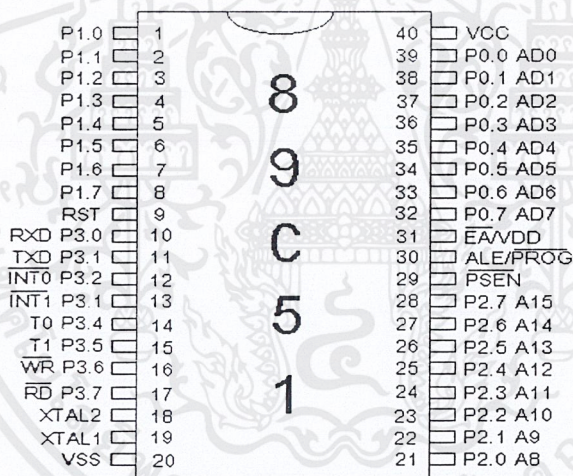


รูปที่ 2.3 การจัดเรียงขาของไอซี L298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 สถาปัตยกรรมของ 89C51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทางสามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 2 ตัวสามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 5 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์



รูปที่ 2.4 การจัดเรียงขาของ 89C51 แบบ DIP

### 2.4 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

พอร์ต ของ MSC-51 จะมีทั้งหมด 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0,1,2,3 ตามลำดับแต่ใน ใช้งานนี้จะใช้เพียง พอร์ต 1,2 กับ 3 เท่านั้น

พอร์ต 1 เป็นพอร์ตอินพุต และ เอาท์พุตขนาด 8 บิต สองทิศทางที่มีการต่อความต้านทานพูลอัพไว้ภายในพอร์ตเรียบร้อยแล้วทางด้านเอาท์พุตของพอร์ตนี้ในส่วนของบัฟเฟอร์สามารถที่จะจ่ายกระแสซิงค์และซอร์ซให้กับอินพุตของอุปกรณ์ไอซีประเภท TTL ได้พร้อมกันถึง 4 อินพุต โดยไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณข้อมูลเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต 2 เป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตขนาด 8 บิต ที่มีการต่อพูลอัพไว้ภายในซึ่งสามารถจ่ายกระแสซิงค์และซอร์ซให้กับไอซีประเภท TTL ได้ 4 อินพุตเช่นเดียวกับพอร์ต 1 เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกในการรับส่งข้อมูลเราจะใช้ตำแหน่งหน่วยความจำแบบ 16 บิต

พอร์ต 3 เป็นพอร์ตอินพุต และ เอาต์พุตขนาด 8 บิต มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 1 ถ้าจะให้พอร์ตนี้เป็น อินพุตพอร์ต ก็ให้ส่ง ลอจิก " 1 " มาที่พอร์ตนี้ก่อน และอีกหน้าที่หนึ่งก็คือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป

พอร์ตทั้งสองสามารถจ่ายกระแสและแรงดันได้  $V_{oh} = 0.9V_{cc}$ ,  $I_{oh} = -10\mu A$  และ  $V_{ol} = 0.45V$ ,  $I_{ol} = 1.6mA$

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่บรรจุอยู่ในวงจรรวมแบบ Dual Inline Package (DIP) ซึ่งแต่ละข้างของ 89C51 มีขาอยู่ข้างละ 20 ขา รวมทั้งหมด 40 ขา

## 2.5 การจัดการข้อมูลอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

พอร์ตอนุกรมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่า ฟูล ดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน โดยทางด้านตัวส่ง (Transmitter) ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ SBUF ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่จะส่งออก การใช้ คำสั่งเขียนหรือโอนย้ายข้อมูลมายังรีจิสเตอร์นี้ จะเป็นการส่งข้อมูลนั้นออกไปยังพอร์ตอนุกรมทางขาสัญญาณ TxD (พอร์ต 3.1) โดยอัตโนมัติ ส่วนด้านตัวรับ (Receiver) ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ SBUF เช่นเดียวกัน แต่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่นำมาจากส่วนของเลื่อนบิตหรือชิฟต์รีจิสเตอร์ (Shift register) ของส่วนจัดการข้อมูลอนุกรมภายใน สัญญาณข้อมูลอนุกรมที่รับเข้าจะผ่านมาจากขาสัญญาณ RxD (พอร์ต 3.0)

พอร์ตอนุกรมของ 80C51 สามารถโปรแกรมให้ทำหน้าที่ในรูปแบบต่างๆกันสี่แบบ (หรือเรียกว่าโหมดการทำงาน) โดยการกำหนดค่าบิต SMO และ SM1 ซึ่งอยู่ภายในรีจิสเตอร์ควบคุมและบอกสถานะ SCON โหมดการทำงานทั้ง 4 แบบของพอร์ตอนุกรม มีดังนี้

### ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

โหมดทำงาน	คำอธิบาย
โหมด 0	เป็นการขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต โดยทำงานร่วมกัน ไอซีชิฟต์รีจิสเตอร์ภายนอกประเภทที่ทีแอลหรือซีมอส

โหมด 1	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART (Universal asynchronous receiver/transmitter) โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 10 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้
โหมด 2	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และกำหนดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลคงที่
โหมด 3	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้

ชิพรีจิสเตอร์ภายในตัวส่งจะทำหน้าที่ในการเลื่อนบิตข้อมูลออกไปภายนอกโดยไม่มี การบัฟเฟอร์ และเมื่อใดที่มีการเขียนข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ SBUF แสดงว่ามีความต้องการที่จะส่ง ข้อมูลนี้ออกไปแบบอนุกรม สำหรับชิพรีจิสเตอร์ทางด้านรับจะทำการเลื่อนบิตข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเก็บ ไว้ เมื่อบิตของข้อมูลที่รับมาครบถ้วนตามจำนวนที่กำหนดไว้ตามลักษณะโหมดการทำงานต่าง ๆ แล้ว จะถูกย้ายไปเก็บยังรีจิสเตอร์ SBUF ต่อไป อย่างไรก็ตาม การย้ายข้อมูลนี้จะเกิดขึ้น ก็ต่อเมื่อรี จิสเตอร์ SBUF นั้นไม่มีข้อมูลที่จะทำการส่งหรือได้ส่งข้อมูลออกไปเสร็จสิ้นแล้ว

### ตารางที่ 2.2 รีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register)

7	6	5	4	3	2	1	0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 098H เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ใช้ควบคุมการ ส่งและรับข้อมูลผ่าน พอร์ตอนุกรม

บิตที่ 6 เป็นบิต SM1 และ บิตที่ 7 เป็น SM0 เป็น 2 บิตที่ใช้งานร่วมกันเพื่อกำหนด โหมดของการรับและส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ค่าใน 2 บิตนี้จะกำหนดโหมดได้

บิต ที่ 5 SM2 บิต เลือ ก การ ทำ งาน แบบ Single Processores Mode หรือ Multiprocessors Mode

1 : เลือก Multiprocessors Mode ใช้ได้กับโหมด 2,3

0 : เลือก Single Processores Mode ใช้ได้กับทุกโหมด

บิตที่ 4 REN บิตควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูลได้

0 : ห้ามรับข้อมูล

บิตที่ 3 TB8 ข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งออกไปในโหมด 2,3 ให้ใส่ในบิตนี้

บิตที่ 2 RB8 ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะมาเก็บในบิตนี้

บิตที่ 1 TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลบิตสุดท้าย

บิตที่ 0 RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูลเสร็จบิตสุดท้ายเข้ามา (บิต TI , RI ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเคลียร์เอง)

### ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของรีจิสเตอร์ TMOD

TIMER 1				TIMER 0			
7	8	6	4	3	2	1	0
GATE	C / T	M1	M0	GATE	C / T	M1	M0

GATE เป็นบิตเลือกการสแตร์ทไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

0 ควบคุมโดย Software

1 ควบคุมโดย Hardware

C / T บิตเลือกการทำงานเป็นไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

0 เป็นการเลือกโหมดไทม์เมอร์(นับจำนวนแมชีนไซเคิล)

1 เป็นการเลือกโหมดเคาน์เตอร์(นับจำนวนพัลส์จากภายนอก)

M1,M0 เลือกโหมดการทำงานได้ 4 โหมด

### ตารางที่ 2.4 โหมดการทำงานของไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์

M1	M0	โหมด	การทำงาน
0	0	0	13บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์
0	1	1	16บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์
1	0	2	8บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์แบบโพลด์ซ้าอัตโนมัติ
1	1	3	8บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์โดยใช้ TLO

## 2.6 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งออกไปทีละ 1 บิตเรียงกันไปจนครบ 8 บิตจากการที่ข้อมูลเรียงกันไปแบบนี้ จึงทำให้จำนวนสายส่งข้อมูลลดลง โดยอาจจะเหลือเพียง 2 เส้นซึ่งเป็นข้อดีอีกอย่างของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม คือ เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลระยะไกล เนื่องจากเราสามารถใส่พอร์ตมาตรฐานต่างๆเข้าช่วย

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างกันอาจแบ่งได้เป็น 3 วิธีใหญ่ คือ

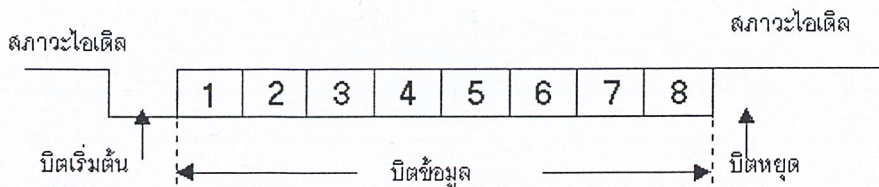
1. การรับส่งข้อมูลทางเดียว (Simplex) คือการสื่อสารข้อมูลที่ตัวส่งทำหน้าที่ส่งอย่างเดียวและตัวรับข้อมูลก็รับข้อมูลอย่างเดียว
2. การรับส่งข้อมูลแบบผลัดกันส่ง (Half Duplex) คือการสื่อสารข้อมูลที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ แต่ต้องสลับกันส่งจะส่งพร้อมกันทั้ง 2 ด้านไม่ได้
3. การรับส่งข้อมูลสวนทางกันได้พร้อมกัน (Full Duplex) คือการสื่อสารข้อมูลที่ผู้ส่งหรือผู้รับสามารถรับส่งข้อมูลได้พร้อมกัน

### 2.6.1 อัตราส่งข้อมูล (Baud Rate)

เนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมเป็นแบบการรับ/ส่งข้อมูล ในลักษณะกลุ่มของบิต (Bit Stream) ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงเรื่องของอัตราความเร็วในการนับ/ส่งบิตเหล่านี้เป็นอันดับแรก โดยทั่วไปจะระบุกันในหน่วยของจำนวนบิตข้อมูลภายในเวลาหนึ่งวินาทีเรียกว่า อัตราบอด (Baud Rate) ตามค่ามาตรฐานเหล่านี้ ได้แก่ 110, 150, 300, 1200, 2400, 4800 และ 9600

### 2.6.2 การส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1 (Standard UART)

การส่งข้อมูลแบบนี้เป็นการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 8 บิตข้อมูล 1 บิตเริ่มต้นและ 1 บิตหยุด การทำงานในโหมดนี้จะทำโดยการกำหนดข้อมูลในรีจิสเตอร์ SCON บิต SM0 และ SM1 บิต ให้มีค่าเป็น "01" ซึ่งเป็นการกำหนดให้รีจิสเตอร์ SBUF กลายเป็นตัวรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิตแบบ ฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex) ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลได้ภายในเวลาเดียวกันโดยใช้ขา RxD ทำหน้าที่รับสัญญาณอนุกรมที่เข้ามา และขา TxD ทำหน้าที่ส่งข้อมูลแบบอนุกรมออกไปภายนอก โดยรูปแบบการส่งข้อมูลได้จากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแบบการรับส่งข้อมูลในโหมด 1

การส่งข้อมูลจะเริ่มด้วยการส่งบิตเริ่มต้น (Start bit = 0) ออกไปก่อนแล้วตามด้วยบิตข้อมูล (โดยส่งบิต 0 ออกไปก่อน) จากนั้นจึงเป็นการส่งบิตหยุด (Stop bit = 1) แฟล็ก TI จะเซ็ทเมื่อข้อมูลครบทั้ง 10 บิต การรับส่งข้อมูลจะเริ่มจากลอจิกในสายสัญญาณเปลี่ยนสภาวะจาก 1 เป็น 0 (ขอบบวกของบิตเริ่มต้น) บิตเริ่มต้นจะถูกข้ามไปไม่สนใจ จะสุ่มข้อมูลอีก 8 บิตที่เหลือเข้ารีจิสเตอร์ เลื่อนบิตภายในพอร์ตอนุกรม เมื่อครบทั้ง 8 บิตแล้วจะเกิด

1. บิต 9 (บิตหยุด) จะถูกเก็บเข้าในบิต RB8 ของ SCON
2. SBUF จะทำการโหลดข้อมูลทั้ง 8 บิตเข้าตัวเอง
3. แฟล็ก RI เซ็ท

### 2.6.3 อัตราการส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าอัตราการส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1 สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการใช้ Timer 1 หรือ Timer 2 ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราการส่งข้อมูลและใช้แฟล็กที่เกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลว์ ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวเฉพาะการใช้ Timer 1 เท่านั้น

เนื่องจากการสร้างอัตราบอดนั้นจะต้องนำบิตในรีจิสเตอร์ PCON มาใช้ในการคำนวณข้อมูลของ TH1(PCON ตำแหน่ง 87H ทำหน้าที่ในการคำนวณข้อมูลที่จะใส่ในรีจิสเตอร์ TH1)

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลของรีจิสเตอร์ PCON

7	8	6	4	3	2	1	0
SMOD	-	-	-	GF1	GF2	PD	IDL

กรณีใช้ Timer 1 ทำงานในโหมด 2 (8-bit automatic reload)

$$\text{ความถี่อัตราบอด} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{\text{Oscillator Frequency}}{12 \times [256 - (TH1)]}$$

โดย SMOD เป็นค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ PCON (มีค่าเป็น 0 หรือ 1) (TH1 เป็นค่าภายใน รีจิสเตอร์ TH1 ซึ่งใช้เป็นค่าสำหรับ Reload)

กรณีใช้ Timer 1 ทำงานในโหมดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โหมด 2

$$\text{ความถี่อัตราบอด} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times (\text{Timer 1 Overflow Rate})$$

## 2.7 การอินเทอร์รัปต์พอร์ตคอนโทรลของ MCS-51

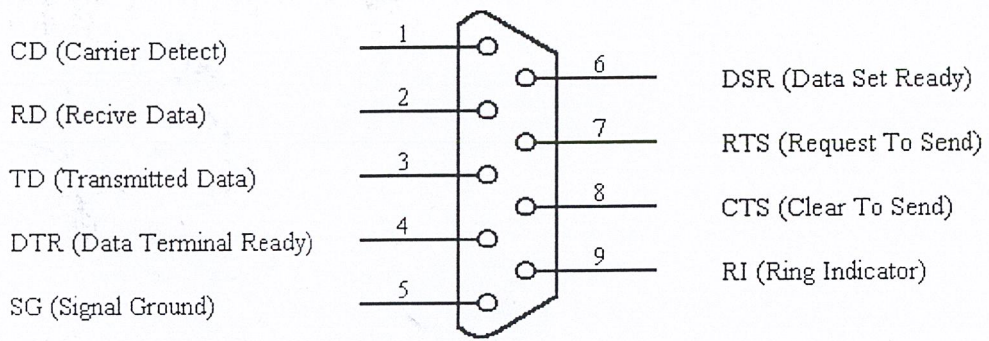
ตามโครงสร้างด้านการจัดการอินเทอร์รัปต์สามารถกำหนดเลือกเพื่อยินยอมหรือไม่ (Enable/Disable) ให้มีการอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตคอนโทรลได้โดยใช้วิธีการกำหนดค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ IE ซึ่งจะมีทั้งแบบที่ระบุถึงอินเทอร์รัปต์โดยรวมทั้งหมด (บิตที่ 7) และอินเทอร์รัปต์แต่ละประเภทได้ ในกรณีที่ที่มีค่าข้อมูลเป็นหนึ่งให้กับบิตจะมีความหมายถึงการยอมให้มีการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้นได้ และในกรณีตรงข้ามกันก็จะไม่ยินยอมให้มีการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น

การกำหนดระดับความสำคัญให้กับสัญญาณอินเทอร์รัปต์สามารถทำได้โดยการกำหนดข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 หรือ 0 ให้กับบิตภายในรีจิสเตอร์ IP (Interrupt Priority) โดยหากว่ามีค่าเป็น 1 ก็จะทำให้สัญญาณอินเทอร์รัปต์นั้น ๆ มีระดับความสำคัญสูงและในกรณีตรงข้ามกันสำหรับกรณีเป็น 0

การจัดการอินเทอร์รัปต์ เมื่อมีการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำคำสั่งที่กำลังดำเนินการอยู่ในเสร็จสิ้น จากนั้นจะทำการเก็บค่าตำแหน่งแอดเดรสคำสั่งที่จะดำเนินการต่อไปไว้ยังบริเวณของหน่วยความจำที่ถูกกำหนดไว้ให้เป็นสแต็ก (Stack) และจะกระโดดไปยังตำแหน่งแอดเดรสที่ได้มีการกำหนดไว้แน่นอนตำแหน่งหนึ่งโดยอัตโนมัติตำแหน่งนี้เรียกว่าอินเทอร์รัปต์แอดเดรส (Interrupt Vector Address) ซึ่งผู้ใช้จะต้องทำการเขียน โปรแกรมย่อยไปยังตำแหน่งแอดเดรสเหล่านี้ไว้ ซึ่งเรียกว่า โปรแกรมย่อยบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine)

## 2.8 พอร์ตคอนโทรลของ PC

พอร์ตคอนโทรลของ PC มีโครงสร้างตามมาตรฐาน EIA (The Electronic Industries Association) หรือมาตรฐานที่ขึ้นด้วย RS (Recommended Standard) โดยโครงการนี้ใช้มาตรฐาน RS-232 ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบ DB-9 ดังรูป



รูปที่ 2.6 ขาสัญญาณของ RS-232 แบบ DB-9

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของ RS-232

พารามิเตอร์	RS-232
โหนดการทำงาน	Single – Ended
จำนวนตัวรับและตัวส่งที่ยอมรับได้	1 ตัวส่ง, 1 ตัวรับ
ความยาวสายสัญญาณ (ฟุต)	50
อัตราส่งข้อมูล (บิต/วินาที)	20 k
Maximum Common Mode (Volt)	+25, -25
Drive Output (Volt)	+5, -5 ต่ำสุด, +15, -15 สูงสุด
Drive Load (Ohm)	3k-7k
Driver Slow Rate	30 v/us
กระแสลิมิตเมื่อเอาต์พุตลัดวงจร	500 mA ลัด กับ Vcc หรือ Gnd
ความต้านทานเอาต์พุตตัวส่ง (Ohm)	NA (Power On) 300 (Power Off)
ความต้านทานอินพุตตัวรับ (Ohm)	3k – 7k

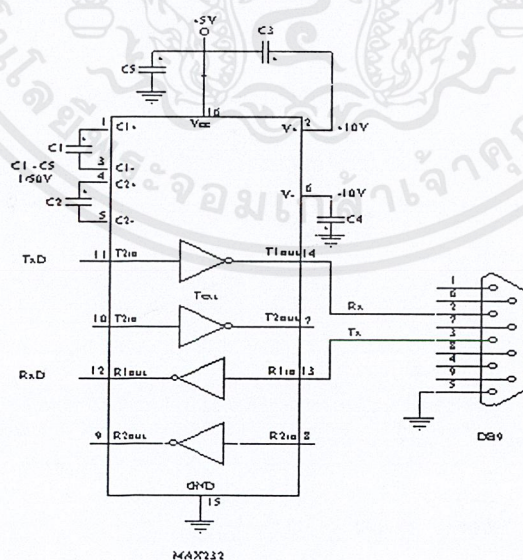
## 2.9 ระบบการอินเทอร์เฟซ RS-232

ในระบบการสื่อสารแบบ RS-232 นั้นจะมีโครงสร้างเป็นแบบจุดต่อจุดเท่านั้น (Point to Point) การส่งข้อมูลระหว่างระบบสัญญาณจะตรงข้ามกับความเป็นจริง คือ ลอจิก "1" นั้นจะมีระดับแรงดัน -3 ถึง -25 โวลต์ ส่วนลอจิก "0" นั้นจะมีระดับแรงดัน +3 ถึง +25 โวลต์ โดยระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่จะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 20,000 บิตต่อวินาที และระยะส่งไม่เกิน 50 ฟุต ซึ่งนี่เป็นข้อเสีย ถ้าจุดที่เราต่อเชื่อมกันนั้นอยู่ไกลเกินไป จะทำให้ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ และเพื่อป้องกันไม่ให้ อุปกรณ์ส่งข้อมูลบนสายเดียวกัน อุปกรณ์จึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน เทอร์มินอลซึ่งใช้สาย เส้นที่สอง สำหรับเอาท์พุท เราจะเรียกว่า DTE (Data Terminal Equipment) เช่น โมเด็ม ซึ่งจะใช้ หัวต่อตัวผู้ สำหรับอินพุท เราจะเรียกว่า DCE (Data Communication Equipment) ซึ่งจะใช้หัวต่อ ตัวเมีย เมื่อเราทราบว่าคุณสมบัติตัวหนึ่งเป็น DTE และอีกตัวหนึ่งเป็น DCE แล้ว ในทางทฤษฎีเราจะ สามารถเชื่อมต่อเข้าด้วยกันอย่างง่าย ๆ โดยการเชื่อมต่อสายที่มีหมายเลขตรงกัน

ในโครงการนี้ เราใช้สายสัญญาณ 3 เส้น คือ สาย TXD ไว้ใช้ในการส่งข้อมูลจากพอร์ต อนุกรม ต่อไปคือสาย RXD เอาไว้ใช้สำหรับการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม และสายอีกเส้นคือ สาย GND เอาไว้เป็นกราวด์ของระบบการส่งข้อมูล โดยเราจะใช้หัวต่อชนิด DB9 เพื่อใช้ในการเป็นหัว ต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทาง COM1 และต่อวงจรตามรูปที่ 2.6 แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของ MCS-51 อยู่ในระดับ TTL ซึ่งมีระดับแรงดัน ไม่เกิน 5 V ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม ของ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงจึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่าน ไอซี MAX-232 เพื่อแปลงระดับสัญญาณ ซึ่ง ไอซี MAX-232 จะทำการแปลงข้อมูลส่งของ MCS-51 จาก ระดับ TTL ไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 มาเป็นระดับ TTL โดยในตัวของ MAX-232 นั้นจะประกอบด้วยขาสัญญาณสำหรับการรับ และการส่งข้อมูลอย่างละ 2 ขด



รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายใน MAX232

## 2.10 ความหมายของคลื่นอุลตราโซนิค

อุลตราโซนิค(Ultrasonic) หมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์จะได้ยินเสียงอยู่ในย่านความถี่ตั้งแต่ 20 Hz ถึง 20KHz คลื่นอุลตราโซนิคที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20KHz

## 2.11 ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิค

คลื่นอุลตราโซนิคที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

### 2.11.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)

คลื่นตามยาว(Longitudinal Wave) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น การเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น และเบาบางสลับกันไป และจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นนี้ในแต่ละปริมาตรของอนุภาค คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆได้นั้น ตัวกลางจะมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

### 2.11.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)

คลื่นตามขวาง(Transverse Wave) คือคลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางเป็นของเหลวและก๊าซได้ ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

### 2.11.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Wave)

คลื่นผิวหน้า (Surface Wave) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางจะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคทั้งในทิศทางตั้งฉากและทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย เพราะเหตุนี้จึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

## 2.12 การเกิดคลื่นอุลตราโซนิก

อุลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปอื่นให้เป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาหรือ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล(Mechanical Wave) อุลตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์(Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

## 2.13 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wavelength)

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งไปจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกันกับความถี่ของแหล่งกำเนิดนั้น

## 2.14 ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิกจะวัดในรูปของความเข้มของคลื่นอุลตราโซนิก มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ( $W/cm^2$ ) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ขนาด 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

## 2.15 การลดทอน (Attenuation)ของคลื่นอุลตราโซนิก

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางลำคลื่นของอุลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้ม ซึ่งเกิดจากการสูญเสียของลำคลื่นอุลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลางและอาจเกิดการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นเคลื่อนที่ผ่านความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ยิ่งความถี่สูงพลังงานจะยิ่งถูกดูดซับมาก

## 2.16 การแยกแยะ (Resolution)

การแยกแยะของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อนสามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อนสองตัวที่อยู่ใกล้กันการแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ

### 2.16.1 การแยกแยะทางด้านข้าง

เป็นความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของเป้าสองอันซึ่งวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่น โดยการแยกแยะทางด้านนี้ ขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นอุลตราโซนิก

## 2.16.2 การแยกแยะตามแนวแกนลำคลื่น

การแยกแยะตามแนวแกนลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนดโดยความยาวของพัลส์สะท้อนของอุลตราโซนิกจากเป้าเล็กๆในทางอุดมคติ พัลส์จะต้องสั้นเพราะถ้ายาวเกินไปพัลส์ที่สะท้อนจากเป้าที่ระยะไกลกว่าจะมาถึงเครื่องรับก่อนที่พัลส์แรกจะหมดไปซึ่งจะทำให้เกิดพัลส์ของคลื่นสะท้อนทั้งสองไม่ซ้อนกัน

## 2.17 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมจะทำให้ชั้นสารเซรามิกโค้งงอ เกิดการอัดอากาศโดยรอบแล้วเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆจากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นงานโค้งงอมากขึ้นหรือทิศทางใด ตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้น โดยทั่วไปกำลังเอาต์พุตที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้สารเซรามิก แต่เอาต์พุตจะสูงที่ค่านี้ โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าชั้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เป็นความถี่ทางกลธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆกำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้

ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชั้นสารเซรามิกนั้นเข้ามาจะทำให้ชั้นสารโค้งงอไปมา และเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงสูงมากอาจมีค่าสูงถึง 100 MΩ แต่ในขณะที่ทำงานค่าความต้านทานจะมีค่าลดลง และค่าไฟฟ้ากระแสสลับจะมีค่าน้อย

## 2.18 ข้อควรรู้ในการใช้งานทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและรับ

1. ไม่ควรให้ทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในไม่ให้เสียหาย

2. ทรานสดิวเซอร์มีขั้วกันอยู่นั้นสามารถทนแรงดันตกคร่อมได้สูงสุดไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่ป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

3. ความถี่เรโซแนนซ์ของตัวทรานสดิวเซอร์ 40 KHz ที่มีขั้วกันคดขยทั่วไป จะผิดพลาดไม่เกิน 1 KHz และแถบความถี่(Bandwidth)ประมาณ 4.5KHz สำหรับตัวส่ง และตัวรับประมาณ 5KHz สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิใช้งานของทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายใน 20 – 60 องศาเซลเซียส

5. ทั้งตัวรับและตัวส่งจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกัน ถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาจะลดลงไปประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่ดงแจ้ง จึงควรพยายามให้ตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงไปหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อยู่ในห้องอาจเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นอุลตราโซนิกสามารถสะท้อนกำแพงและวัตถุที่อยู่ในห้องให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

6. ในกรณีที่ใช้งานเป็นตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขานานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด(Load)ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรอยู่ในช่วง 10 K $\Omega$ - 100K $\Omega$  ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงขึ้นเพื่อให้ได้ตัวรับมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ

7. ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใดรุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ ขอเพียงให้มีควมถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

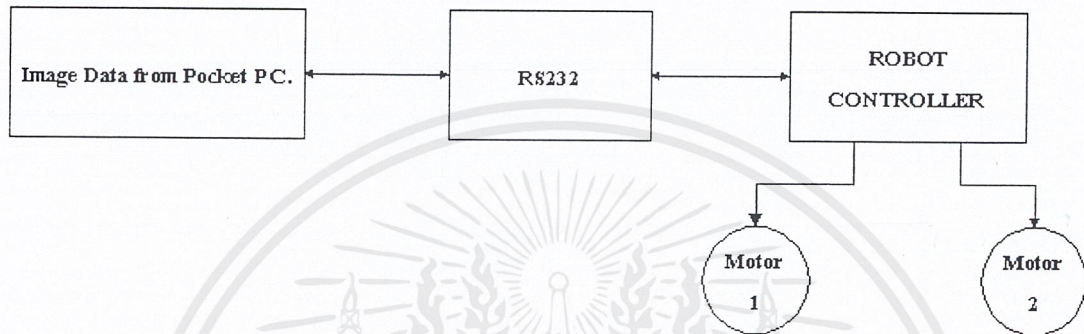
## 2.19 การลดสัญญาณรบกวน(Noise)และสภาวะการทำงาน

ผลที่เกิดจากคลื่นรบกวนและการแทรกสอดนั้น ในการประยุกต์ใช้อุลตราโซนิก คือ การตรวจจับวัตถุได้แต่ในระยะเวลาที่ใกล้กับอุลตราโซนิก และไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีการสะท้อนไม่ดี เนื่องจากความจริงที่ว่า คลื่นอุลตราโซนิกจะสะท้อนได้จากวัตถุเกือบทุกชนิดและง่ายต่อการเบี่ยงเบนวัตถุเหล่านั้น เพื่อให้ปราศจากปัญหาในการทำงาน จะไม่มีวัตถุอื่นใดที่ไม่ใช่เป้าหมายอยู่ภายในขอบเขตนอกสุด ในทางกลับกันวัตถุเป้าหมายต้องอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ที่สามารถตรวจจับได้ทั้งขนาดและรูปร่าง เพื่อป้องกันปัญหาการตรวจจับคลื่นเสียง พื้นผิวของวัตถุควรมีขนาดใหญ่เท่าที่จะเป็นไปได้แบนและมีมุมเอียงไม่เกิน 3 องศากับแกนของอุลตราโซนิก จากข้อกำหนดดังกล่าวเมื่อทำการตรวจจับวัตถุทรงกลมหรือวัตถุที่มีผิวไม่เรียบ(ของแข็ง,ของผสม) ก็จะเกิดปัญหาขึ้นบนผิวขรุขระ มุมเอียงสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 45 องศาเนื่องจากการรวมตัวกับคลื่นสะท้อน การรวมตัวกันนี้ทำให้คลื่นสะท้อนอ่อนลง ซึ่งไม่สามารถตรวจจับได้เมื่อมีการวัดที่ระยะไกลด้วย

# บทที่ 3

## หลักการออกแบบ และการทำงาน

### 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการ

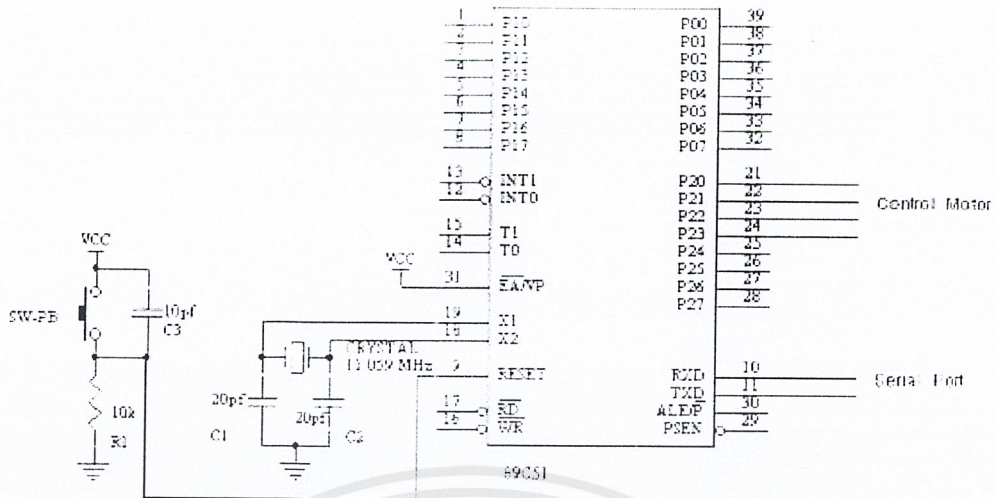
### 3.2 ส่วนรับข้อมูลจากจอภาพ(Image Data from Monitor)

ในส่วนนี้ข้อมูลที่เป็นภาพจะเกิดจากวาดแผนที่ผ่านหน้าจอภาพของคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกมาประยุกต์ใช้งานซึ่งมีโฟลชาร์ตการทำงานแสดงที่ภาคผนวก

### 3.3 การออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์(Hardware)

#### 3.3.1 ส่วนควบคุมการทำงาน

การทำงานวงจรควบคุมส่วนนี้ได้นำชิพยูนิคอร์ 89C51 มาใช้ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดเนื่องจากโครงสร้างภายในมีรอม ขนาด 4 กิโลไบต์ เพื่อต้องการอ่านค่าจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน มาใช้ในการกำหนดทิศทางการเดินทางของรถ



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมการทำงานหลัก

จากรูปที่ 3.2 ซีพียูเบอร์ 89C51 ทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดทิศทาง การเคลื่อนที่ของรถ และยังส่งข้อมูลผ่านทาง พอร์ตอนุกรม เพื่อไปแสดงผลเป็นเส้นทางออกที่หน้าจอ คอมพิวเตอร์

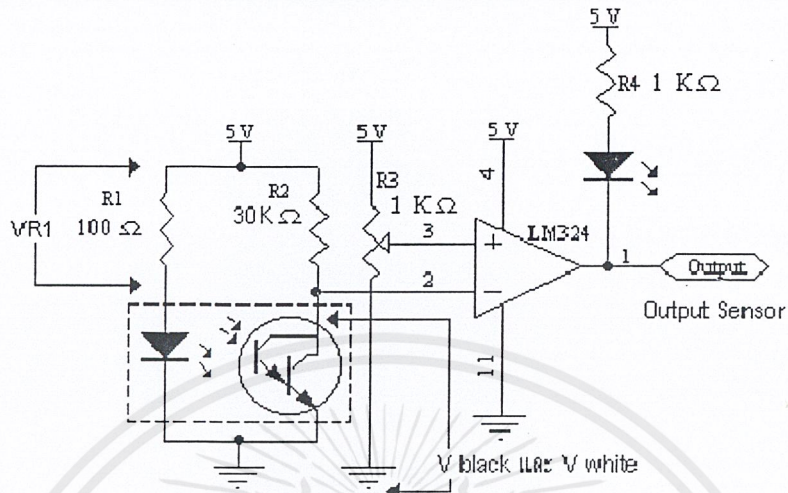
โดยข้อมูลที่ ได้รับมาจากเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ โดยรับอินพุตเข้ามาทาง พอร์ต 1 โดยใช้ P1.0 – P1.7 และใช้ พอร์ต 2 ควบคุม ดิซี มอเตอร์ ผ่านทาง พอร์ต P2.0 – P2.3 และใช้ พอร์ต 3 ในการส่งข้อมูลออก พอร์ตอนุกรม โดยใช้ P3.0 กับ P3.1 ในการติดต่อ กับ คอมพิวเตอร์

### 3.3.2 ส่วนของการตรวจสอบระยะทาง

เนื่องจากออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็น อนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ อัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10,000 เท่า หรือ 1,000,000 เท่า เท่านั้น ซึ่งเรียกว่าอัตราขยายขณะเปิดลูป (Av.) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อย ระหว่างอินพุตทั้งสองข้างของออปแอมป์ เอาต์พุตก็จะสามารถให้สัญญาณสูงชันหลายเท่า แต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ออปแอมป์ ด้วย แต่เอาต์พุตจะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริงเนื่องจากเกิดแรงดันตกคร่อมภายใน ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90 % ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้เป็นคอมพาราเตอร์ (Comparator) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่าง ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์

ถ้าขั้ว ลบ มีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้วบวก เอาท์พุท เป็น ศักดาต่ำ  
 ถ้าขั้ว ลบ มีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้วบวก เอาท์พุท เป็น ศักดาสูง



รูปที่ 3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ในส่วนนี้ได้ใช้ ไอซี เบอร์ LM 324 เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงดันที่ได้รับจากอินพุทเพื่อทำการตรวจเช็คค่าเซนเซอร์อยู่ในสถานะ สะท้อนเส้นสีอะไร

หลักการสะท้อนของแสง คือเมื่อแสงตกกระทบเส้นสีขาวจะเกิดการสะท้อนกลับของแสง และเมื่อแสงตกกระทบเส้นสีดำแสงจะถูกดูดกลืน โดยเมื่อ แสงสะท้อนเส้นสีขาวแรงดันที่ขา อินเวอร์ตติ้ง ของออปแอมป์ จะเป็น 0 ทำให้ เอาท์พุท ที่ออกมา เป็น บวก คือ LED จะดับ และเมื่อแสงตกกระทบเส้นสีดำ แสงจะถูกดูดกลืนไว้ และไม่มีการสะท้อนกลับของแสง ทำให้ที่ขา อินเวอร์ตติ้ง ของออปแอมป์ จะเป็น 1 ทำให้ เอาท์พุท ที่ออกมาเป็น ลบ คือ LED จะติด

คำนวณหาค่าความต้านทาน ( $R_1$ ) ที่ทำให้ LED มีความเข้มแสงสูงสุด โดยกำหนดให้แรงดันตกคร่อม LED = 1.5 V โดยที่ค่าความต้านทานค่านี้ LED จะมีแสงออกมาเข้มที่สุด และมีกระแสที่ไหลผ่าน LED = 35 mA

$$R_1 = (V_{CC} - V_{LED}) / I_{LED}$$

$$R_1 = (5 - 1.5) / 35 \text{ mA}$$

$$R_1 = 100\Omega$$

คำนวณหาค่า ความต้านทานที่ขาคอลเล็กเตอร์ ที่ความถี่แสงที่ LED ปล่อยออกมา โฟโตรีสซิสเตอร์ ที่ใช้จะมีอัตราขยายสูงสุดที่ค่าความต้านทาน ( $R_2$ ) มีค่า = 30 KΩ ดูได้จากกราฟและผลการทดลองข้างล่าง

$$R_2 = (V_{CC} - V_{CE}) / I_C$$

$$R_2 = (5 - 2) / 100 \mu A$$

$$R_2 = 30 K\Omega$$

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองความไวของเซ็นเซอร์ที่ความต้านทานค่าต่างๆ

R <sub>2</sub> = 1K	V <sub>CC</sub>	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V
	V white	4.7 V	4.7 V	4.7 V	4.7 V	4.7 V
	V black	4.7 V	4.7 V	4.7 V	4.7 V	4.7 V
R <sub>2</sub> = 5.6K	V white	4.6 V	4.4 V	4.2 V	4.2 V	3.8 V
	V black	4.6 V	4.4 V	4.2 V	4.6 V	4.0 V
R <sub>2</sub> = 10K	V white	4.4 V	4.2 V	3.8 V	3.6 V	3.4 V
	V black	4.4 V	4.2 V	4.2 V	4.2 V	4.2 V
R <sub>2</sub> = 20K	V white	4.0 V	3.7 V	3.0 V	3.0 V	2.5 V
	V black	4.2 V	4.2 V	4.0 V	4.0 V	3.6 V
R <sub>2</sub> = 30K	V white	3.8 V	3.2 V	2.6 V	1.5 V	0.5 V
	V black	4.0 V	4.0 V	3.9 V	3.7 V	3.5 V
R <sub>2</sub> = 47K	V white	3.2 V	2.8 V	1.8 V	0.6 V	0.6 V
	V black	3.0 V	2.8 V	2.4 V	2.0 V	1.2 V
หาค่า	V <sub>CC</sub>	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V
I <sub>bias</sub>	VR <sub>1</sub>	0 V	0.6 V	1.8 V	2.7 V	3.6 V

โดยที่ V white คือ แรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จากขาคอลเลกเตอร์เทียบกับกราวด์ ในขณะที่เซ็นเซอร์พบเส้นสีขาว และ V Black คือแรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จากขาคอลเลกเตอร์เทียบกับกราวด์ ในขณะที่เซ็นเซอร์พบเส้นสีดำ โดยค่าในตารางนี้ได้ทำการทดลองวัดค่า ที่ความต้านทานค่าต่างๆ และในระดับแรงดันที่แตกต่างกัน โดยเริ่มตั้งแต่ 1 V ไปจนถึง 5 V

เมื่อ ต้องการหาค่า I<sub>bias</sub> สามารถทำได้โดย วัดแรงดันที่ตกคร่อม R<sub>1</sub> ก็จะได้ค่าแรงดัน VR<sub>1</sub> ในระดับแรงดันต่างๆ ตามที่กำหนดไว้

$$\Delta V = (V \text{ black} - V \text{ white})$$

$$I_{bias} = (V_{R_1} / 100)$$

ตารางที่ 3.2 ค่าความแตกต่างระหว่างสีขาวกับสีดำ

$R_2$	$\Delta V = (V_{black} - V_{white})$				
	0	6	18	27	36
$R_2 = 1K$	0	0	0	0	0
$R_2 = 5.6K$	0	0	0	0.4	0.2
$R_2 = 10K$	0	0	0.4	0.6	0.8
$R_2 = 20K$	0.2	0.5	1	1	1.1
$R_2 = 30K$	0.2	0.8	1.3	2.2	3
$R_2 = 47K$	0.2	0	0.6	1.4	0.6
$I_{bias}$ ที่คำนวณได้	0 mA	6 mA	18 mA	27 mA	36 mA

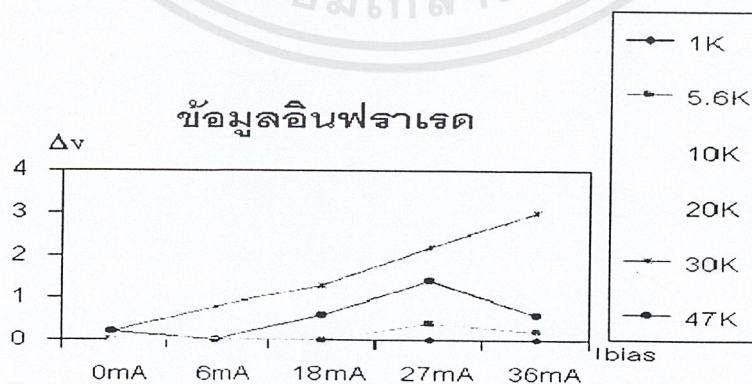
โดยค่าที่ได้จากตารางที่ 3.2 คือค่า  $\Delta V$  และ  $I_{bias}$  จะถูกนำมาใช้ในการวาดกราฟ โดย  $I_{bias}$  จะอยู่ในพิกัด แกน X และ  $\Delta V$  จะอยู่ในพิกัด แกน Y ดังแสดงในรูปที่ 2.10

คำนวณหาค่าความต้านทาน ( $R_3$ ) โดยที่ ค่าความต้านทานค่านี้เป็นค่าความต้านทาน แบบปรับค่าได้ โดยที่ ( $R_3$ ) นี้ทำหน้าที่สร้างแรงดันอ้างอิงให้กับ ออปแอมป์ เพื่อให้ทำการเปรียบเทียบกับแรงดันที่ขาคอลเลกเตอร์ ของ โฟโตทรานซิสเตอร์

กระแสที่ไหลผ่าน  $R_3 = 5 \text{ mA}$

$$R_3 = V_{CC} / I_R$$

$$R_3 = 5 / 5 \text{ mA} = 1 \text{ K}\Omega$$



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความไวของแสงเมื่อใช้ความต้านทานค่าต่างๆ

คำนวณหาค่าความต้านทาน( $R_4$ )ที่เอาท์พุทของออปแอมป์ในวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ที่ทำให้ LED แสดงผลมีความสว่างสูงสุด

แรงดันที่ตกคร่อม LED = 1.5 V และมีกระแสไหลผ่าน 3.5 mA

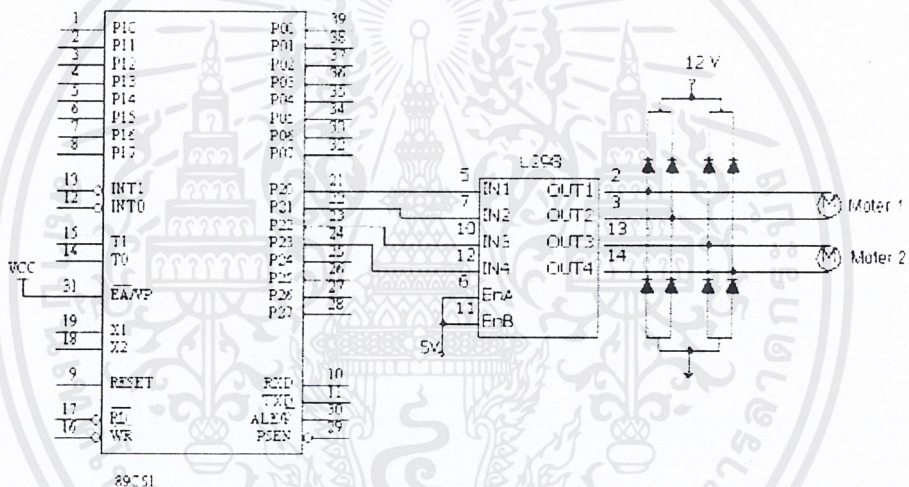
$$R_4 = (V_{CC} - V_{LED}) / I_{LED}$$

$$R_4 = (5 - 1.5) / 3.5 \text{ mA}$$

$$R_4 = 1 \text{ K}\Omega$$

### 3.4 ส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์

จากการศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์กระแสตรงมาแล้ว ได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์ดังนี้



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์

ตารางที่ 3.3 สถานะการควบคุมการหมุนของมอเตอร์

Inputs		Function
$V_{en} = H$	C=H ; D=L	Forward
	C=L ; D=H	Reverse
	C=D	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	C=X ; D=C	Free Running Motor Stop

H = High ( 1 )

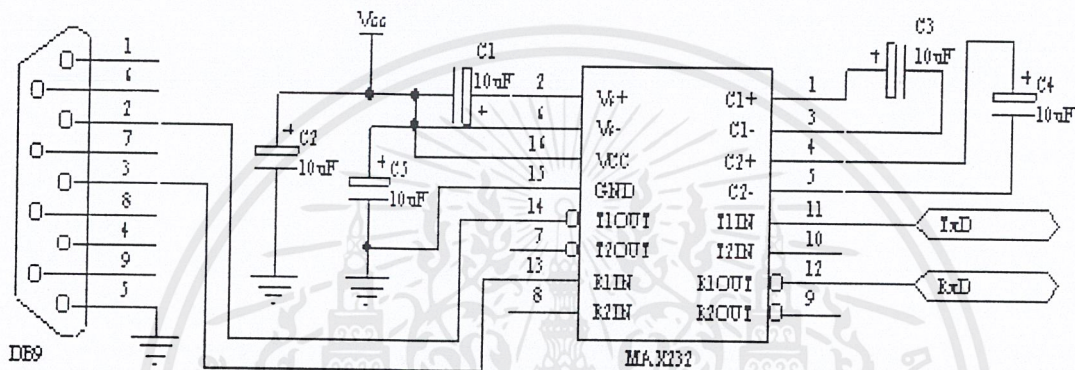
L = Low ( 0 )

C กับ D คือ สภาวะของเอาต์พุตที่ออกจากไอซี L298 เพื่อไปควบคุม มอเตอร์

$V_{en} = H$  ( Enable High Voltage ) โดยทำการเซ็ตที่ขา 6 กับ 11 ของไอซี L298

จากตารางที่ 3.3 เมื่อ I/P ที่เข้ามา ที่ C=H และ D=L จะเป็นการกำหนดให้มอเตอร์หมุนไปข้างหน้า และในทางกลับกัน เมื่อ I/P ที่เข้ามา ที่ C=L และ D=H จะเป็นการกำหนดให้มอเตอร์หมุนถอยหลัง แต่เมื่อ I/P ที่เข้ามาที่ C=D ไม่ว่าจะ เป็น L หรือ H ก็ตาม จะเป็นการกำหนดให้มอเตอร์ หยุดหรือ (Fast Stop)

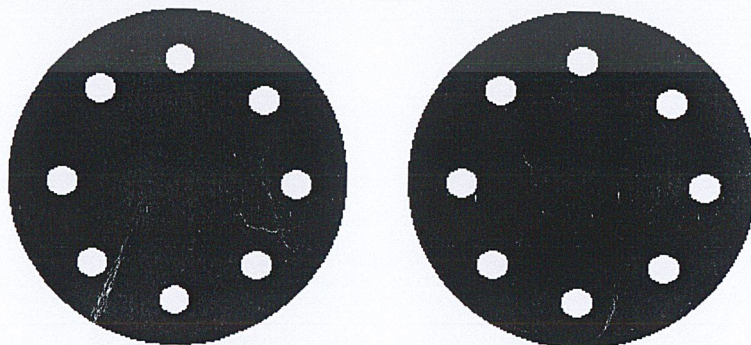
### 3.5 ส่วนควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 3.6 วงจรรับส่งพอร์ตอนุกรม

กำหนดให้รับสัญญาณจากไอซี 89C51 เข้ามาโดยที่ขา TXD ของ 89C51 เข้ามาทางขา 11 ของ Max 232 และ ขา RXD ของ 89C51 เข้ามาทางขา 12 ของ Max 232 และ ส่งสัญญาณออกไปที่ คอมพิวเตอร์ โดย ขา 13 ของ Max 232 ต่อเข้ากับขา 3 ของ DB9 และขา 14 ของ Max 232 ต่อเข้ากับขา 2 ของ DB9

### 3.6 การวัดระยะทางจากล้อของหุ่นยนต์

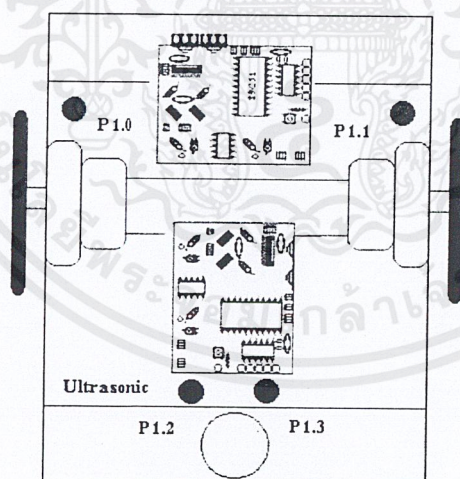


รูปที่ 3.7 ลักษณะของล้อหุ่นยนต์

จากรูปที่ 3.7 ในการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของล้อนั้นจะใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของช่องที่เจาะทะลุโดยจะใช้เซ็นเซอร์ต่อเข้ากับวงจรเปรียบเทียบแรงดันและต่อไปยัง P1.0 และ P1.1 ในการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของล้อนทางด้านขวาและทางซ้ายเมื่อมีการหมุน ส่วนโดยกำหนดให้เมื่อ เซ็นเซอร์ที่ล้อนขวาพบช่องที่แสงลอดออกไปได้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางลอจิกที่เอาต์พุตของวงจรเซ็นเซอร์ ซึ่งจะส่งค่าลอจิกนั้นๆ ไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง P1.0 เพื่อคำนวณระยะทาง แต่ถ้าไม่พบช่อง ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการส่งค่าการหมุนของล้อนผ่าน P2.0 P2.1 P2.2 และ P2.3 และใช้ค่าลอจิกที่ได้จากเซ็นเซอร์แสงทางด้านล้อนซ้ายและขวาของหุ่นยนต์มาทำการปรับความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้หมุนเท่ากันเพื่อจะได้ระยะทางที่ถูกต้องและตรงทิศทางมากยิ่งขึ้น

ในการคำนวณหาระยะทางนั้นจะกำหนดจากขนาดเส้นรอบวงของล้อนหุ่นยนต์ โดยล้อนที่ใช้มีขนาดเส้นรอบวง 25 เซนติเมตร ซึ่งมอเตอร์ต้องทำการหมุนทั้งหมด 4 รอบจึงจะได้ระยะทาง 1 เมตรแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งตัวอักษร S ผ่านพอร์ต TXD เข้าสู่การสื่อสารแบบอนุกรม ค่า S นี้เมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับจะทราบว่าขณะนี้หุ่นยนต์ได้เคลื่อนที่ไปเป็นระยะ 1 เมตรแล้วและจะส่งค่าการเดินหรือวิ่งตรงออกมาตามที่โปรแกรมไว้ที่จอผ่านพอร์ตอนุกรมเข้า RXD ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต่อไป

### 3.7 การวางตำแหน่งเซ็นเซอร์



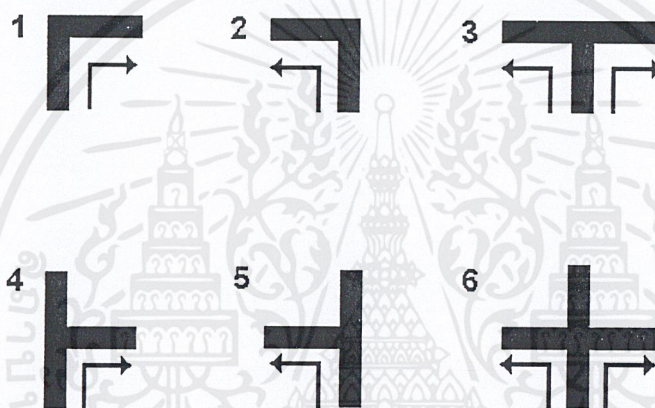
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการวางเซ็นเซอร์

ในการออกแบบเซ็นเซอร์นั้นเราจะใช้เซ็นเซอร์เพียงสองตัวเท่านั้นที่ใช้ในการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้คือเซ็นเซอร์ ซึ่งต่อเข้ากับพอร์ต P1.0 กับ P1.1 ส่วนเซ็นเซอร์ที่ต่อเข้ากับพอร์ต P1.2 P1.3 จะใช้เป็นตัวช่วยให้เกิดการหยุดเคลื่อนที่เมื่อพบสิ่งกีดขวางเพราะพอร์ต P1.2 และ P1.3 ต่อเข้า

กับวงจรรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิค กล่าวคือเมื่อมีวัตถุมาบังคลื่นอุลตราโซนิค คลื่นจะสะท้อนกลับมายังตัวรับและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางลอจิกขึ้นที่วงจรอุลตราโซนิค ลอจิกที่ได้จะส่งเข้าพอร์ต P1.2 และ P1.3 ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้ไปประมวลผลตามโปรแกรมที่เขียนเอาไว้ เพื่อส่งค่าเอาต์พุตผ่าน P2.0 –P2.3 ทำให้มอเตอร์หยุดการหมุน เมื่อสิ่งกีดขวางหายออกไปจากเส้นทางการเคลื่อนที่กระบวนการส่งค่าไปกลับระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์ก็จะเริ่มต้นขึ้นใหม่อีกครั้ง

### 3.8 เส้นทางที่หุ่นยนต์สามารถวิ่งผ่านได้

ทางเลี้ยวซ้ายที่เป็นมุมฉาก และทางเลี้ยวขวาที่เป็นมุมฉาก



รูปที่ 3.9 รูปแบบเส้นทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้

### 3.9 การออกแบบทางซอฟต์แวร์ (Software)

การทำงานของมอเตอร์หรือการเคลื่อนไหวให้มีความสัมพันธ์กัน เพื่อกำหนดการหมุนของล้อเพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ การออกแบบโปรแกรมนี้สามารถแบ่งการเขียนออกเป็น ส่วนๆ คือมีโปรแกรมหลัก และโปรแกรมย่อยเพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป ในโครงการนี้ได้ใช้ภาษาแอสเซมบลี ควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์และใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการป้อนข้อมูลเส้นทางให้เกิดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ผ่านทางหน้าจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา

โครงการนี้ได้มีการเขียนซอฟต์แวร์บน ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยกำหนดค่าต่างๆดังนี้

MOV       SCON,#52H

เป็นการกำหนดว่า ให้ใช้พอร์ตอนุกรม โหมด 1

โหมด 1 มีการส่งข้อมูลที่ละ 10 บิต โดยมี บิตเริ่ม 1 บิต ตามด้วยบิตข้อมูล 8 บิต และ บิตหยุดอีก 1 บิต

MOV TMOD,#20H

เป็นการกำหนดค่าให้ใช้ ไทม์เมอร์ 1 โหมด 2

ไทม์เมอร์ 1 คือการส่งแบบพอร์ตอนุกรม

โหมด 2 คือการส่งทีละ 8 บิต ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

MOV TH1,#0DFH

ใช้ในการเซ็ทค่าบอร์ดเรต ให้มีค่าเท่ากับ 9600 bps ที่ คริสตัล 11.059 MHz

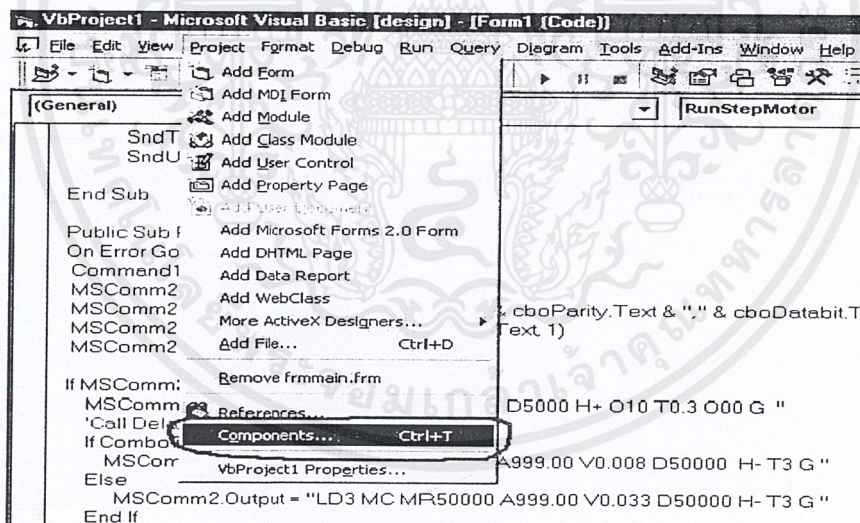
SETB TR1

กำหนดให้ไทม์เมอร์ 1 มีค่าบิตเป็น 1 คือ เริ่มทำงานต่อ ถ้าเป็น 0 หยุดทำงาน

### 3.10 Visual Basic ติดต่อกับ Serial Port

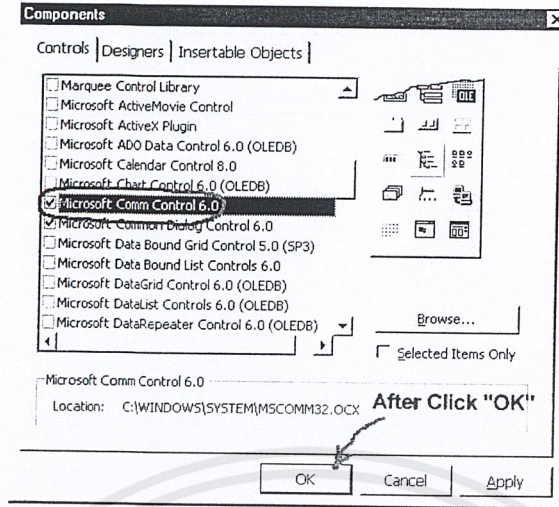
สามารถทำได้โดยใช้ VB Control ที่ชื่อว่า MSComm โดยที่เราต้อง กำหนด Custom Control เข้าไปที่ เมนู Project-->Components แล้วเลือกที่ช่อง MSComm ก็จะปรากฏ เป็นรูปไอคอน โทรศัพท์สีเหลือง ให้คลิกที่ไอคอนลากนำมาไว้บน Form ใน Project ของโปรแกรม เรา โดยสามารถทำตามวิธีที่กล่าวมา ได้ดังรูปต่อไปนี้

1. ขั้นตอนแรก เลือกที่เมนูบาร์ด้านบนของโปรแกรม Visual Basic ดังรูปที่3.10



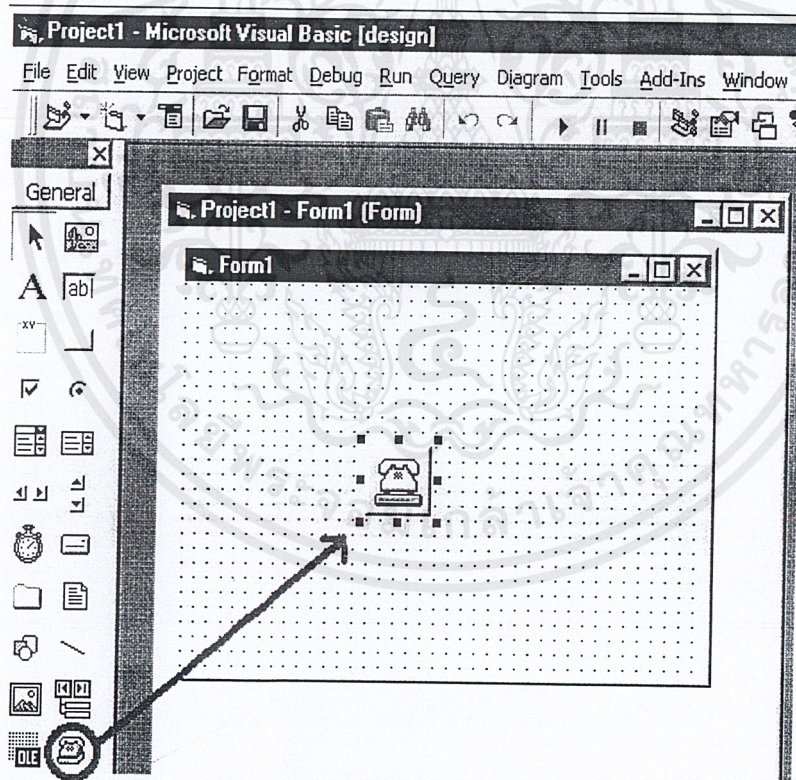
รูปที่ 3.10 การเรียก Components

2. ขั้นที่สอง เลือกชื่อ Control ชื่อ Microsoft Comm Control 6 ดังรูปที่3.11



รูปที่ 3.11 การเลือก Mscomm ขึ้นมาไว้ใน Toolbox

3. ลาก Control ชื่อ Microsoft Comm จากToolBox มาไว้บนFormดังรูปที่3.12



รูปที่ 3.12 การนำ Mscomm มาใช้งาน

### 3.11 หลักการเขียนโปรแกรมบน Visual Basic

1. ต้องทำการให้โปรแกรม Visual Basic สามารถรับ,ส่งข้อมูล ออกพอร์ต อนุกรม ให้ได้ก่อนคำสั่งที่ใช้ในการ เปิด,เปิด พอร์ต คือ

```
MSComm1.PortOpen = True
```

2. กำหนดอัตราการส่งข้อมูลและวิธีการส่ง

-เป็นการบอกว่าจะใช้ พอร์ต com1 หรือ com2

```
MSComm1.CommPort = 1
```

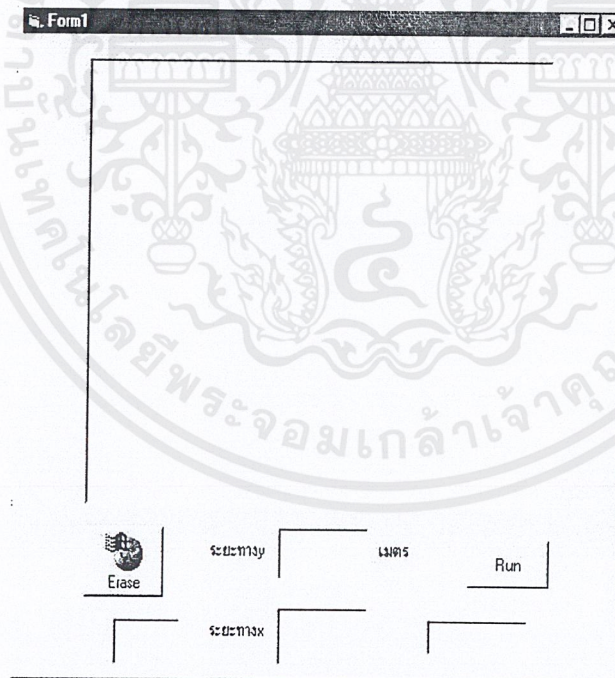
-กำหนดให้มีความเร็วในการรับ,ส่ง หรือ Brad Rate = 9600 ,no parity, 8 data, และ 1 stop bit.

```
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
```

-กำหนดให้ไปอ่านข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ออกมา ที่ละหนึ่งตัว

```
MSComm1.InputLen = 1
```

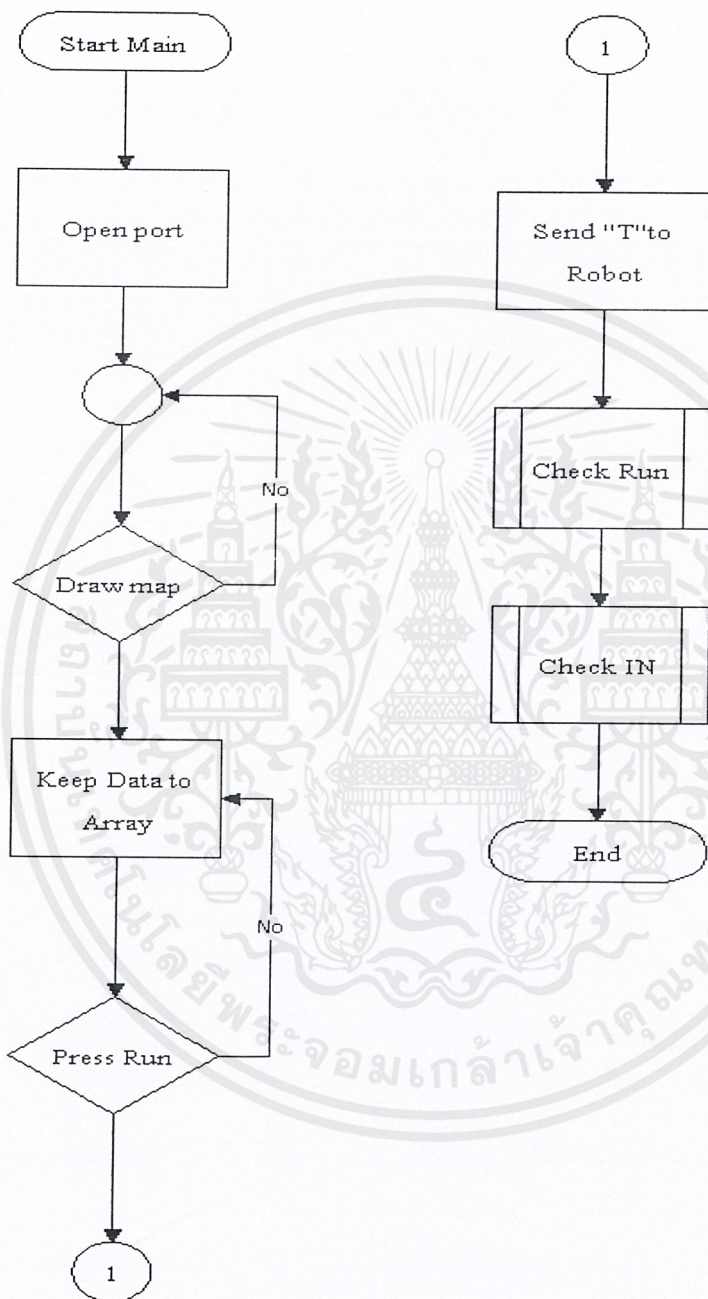
เมื่อเขียน โปรแกรมเสร็จจะได้ โปรแกรมที่มีรูปร่างหน้าตาดังรูป3.13



รูปที่ 3.13 โปรแกรม Visual Basic ที่ทำการเขียนเสร็จแล้ว

### 3.12 โฟล์ชาร์จแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก

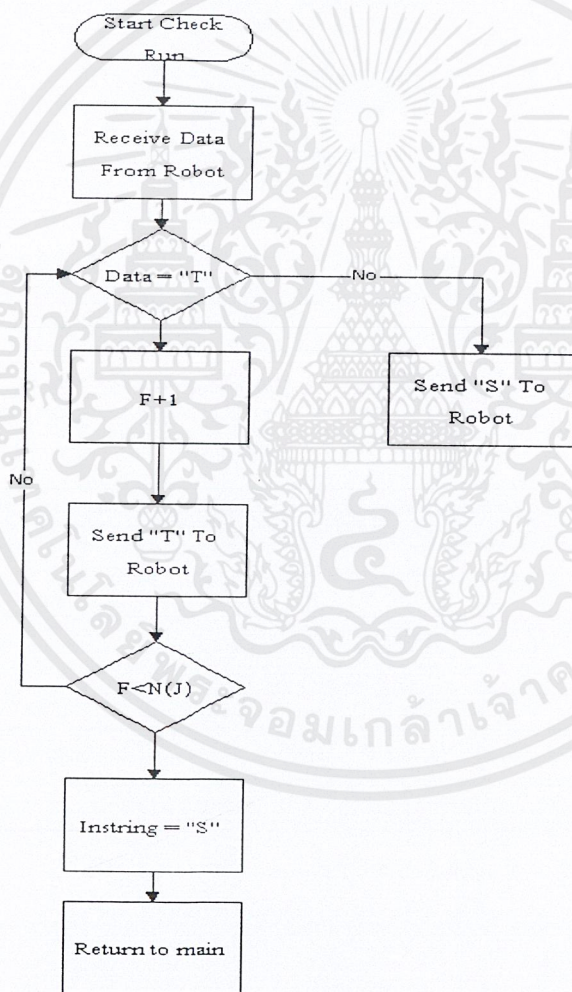
โครงการนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Pocket Personal Computer) สำหรับการโปรแกรมเส้นทางเพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์โดยมีโฟล์ชาร์จแสดงการทำงานดังรูปที่3.14



รูปที่3.14 โฟล์ชาร์จแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก

โดยเริ่มจากการเปิดพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Pocket Personal Computer) และรับข้อมูลระยะทาง การเคลื่อนจากการวัดแผนที่บนหน้าจอภาพ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บลงอาเรย์ ถ้าหากมีการกดปุ่ม Erase จะต้องเริ่มทำการ โปรแกรมเส้นทางใหม่อีกครั้ง จากนั้นถ้ามีการกดปุ่ม RUN จะส่งตัวอักษร " T " ออกไปเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรงไปข้างหน้าเป็นระยะทาง 1 เมตร และจะเรียกโปรแกรมย่อย Check run เมื่อทำโปรแกรมย่อย Check Run เรียบร้อยแล้วจะมีการคืนค่ากลับมาที่โปรแกรมหลัก และทำการเรียกโปรแกรมย่อย Check In เพื่อควบคุมการเคลื่อนและวิ่งตรงอีกครั้งหนึ่ง

### 3.12.1 โพรซีจาร์จโปรแกรมย่อย Check Run

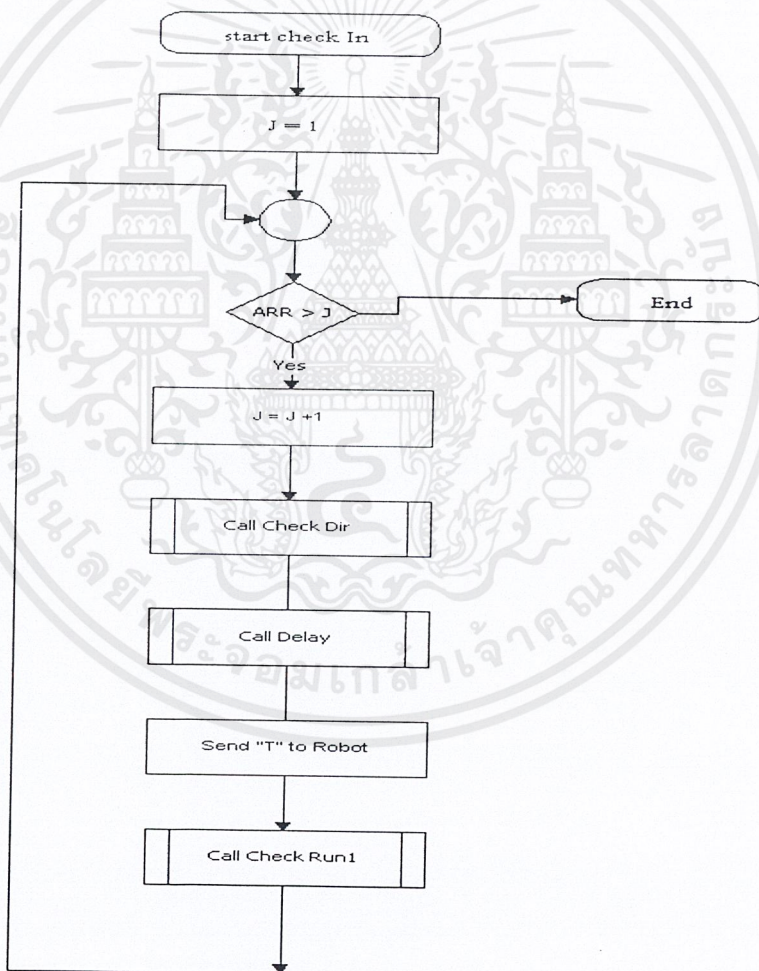


รูปที่ 3.15 โพรซีจาร์จโปรแกรมย่อย Check Run

เริ่มจากการรับข้อมูลอินพุตมาจากหุ่นยนต์และทำการเปรียบเทียบค่าว่าได้รับอักษร “ T ” หรือไม่ถ้าใช่จะบวกค่า F ขึ้นหนึ่งค่าและส่งอักษร “ T ” ออกไปให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรงไปข้างหน้าจนครบค่าระยะทางในอาเรย์ N(j) และจะส่งค่าอักษร “ S ” ออกมาเพื่อแสดงการสิ้นสุดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์ หรือถ้าค่าข้อมูลที่ส่งออกมาจากตัวหุ่นยนต์ไม่เป็นอักษร “ T ” โปรแกรมย่อย Check Run จะส่งอักษร “ S ” ออกไปเพื่อให้หุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่ โพรซีจาร์ตการทำงานของโปรแกรมแสดงไว้ดังรูปที่ 3.15

### 3.12.2 โพรซีจาร์จโปรแกรมย่อย Check In

โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้เพื่อส่งค่าไปควบคุมหุ่นยนต์ทั้งการเลี้ยวซ้ายและขวา โดยมีการทำงานดังรูปที่ 3.16

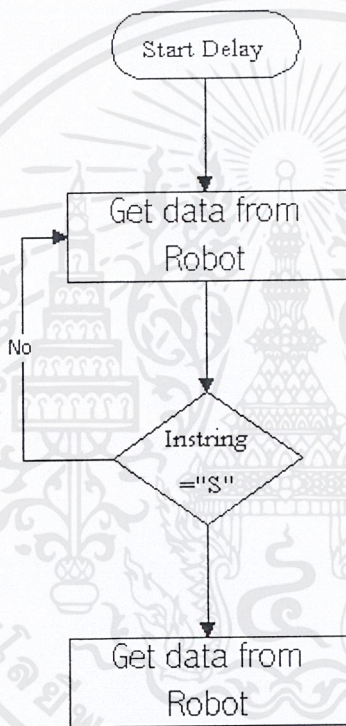


รูปที่ 3.16 โพรซีจาร์จโปรแกรมย่อย Check In

เริ่มจากการรับข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมจากหุ่นยนต์เข้ามา ถ้าโปรแกรมได้รับอักษร “S”ค่า j จะเพิ่มขึ้นหนึ่งค่า เพื่อตรวจสอบว่าได้ทำการเคลื่อนที่ครบทุกเส้นทางแล้วหรือยัง ค่า j ที่เพิ่มขึ้น

หนึ่งค่าจะใช้เป็นตัวอ้างอิงในการทำงานต่อไป และจะทำการเรียกโปรแกรมย่อย Check Dirเพื่อดูว่าต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทางใดคือไปทางซ้าย หรือทางขวา ตามโปรแกรมย่อยที่เขียนไว้ จากนั้นจะส่งค่าย้อนกลับมาหนึ่งเวลา และส่งอักษร “ T ” ออกไปให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และทำการเรียกโปรแกรมย่อย Check run1 เพื่อควบคุมการเลี้ยวและเคลื่อนที่อีกครั้งหนึ่งทำให้หุ่นยนต์เดินทางตามแผนที่ที่วาดเอาไว้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น เมื่อทำงานครบทุกคำสั่งแล้ว โปรแกรมจะจบการทำงานและรอรับค่าเส้นทางใหม่

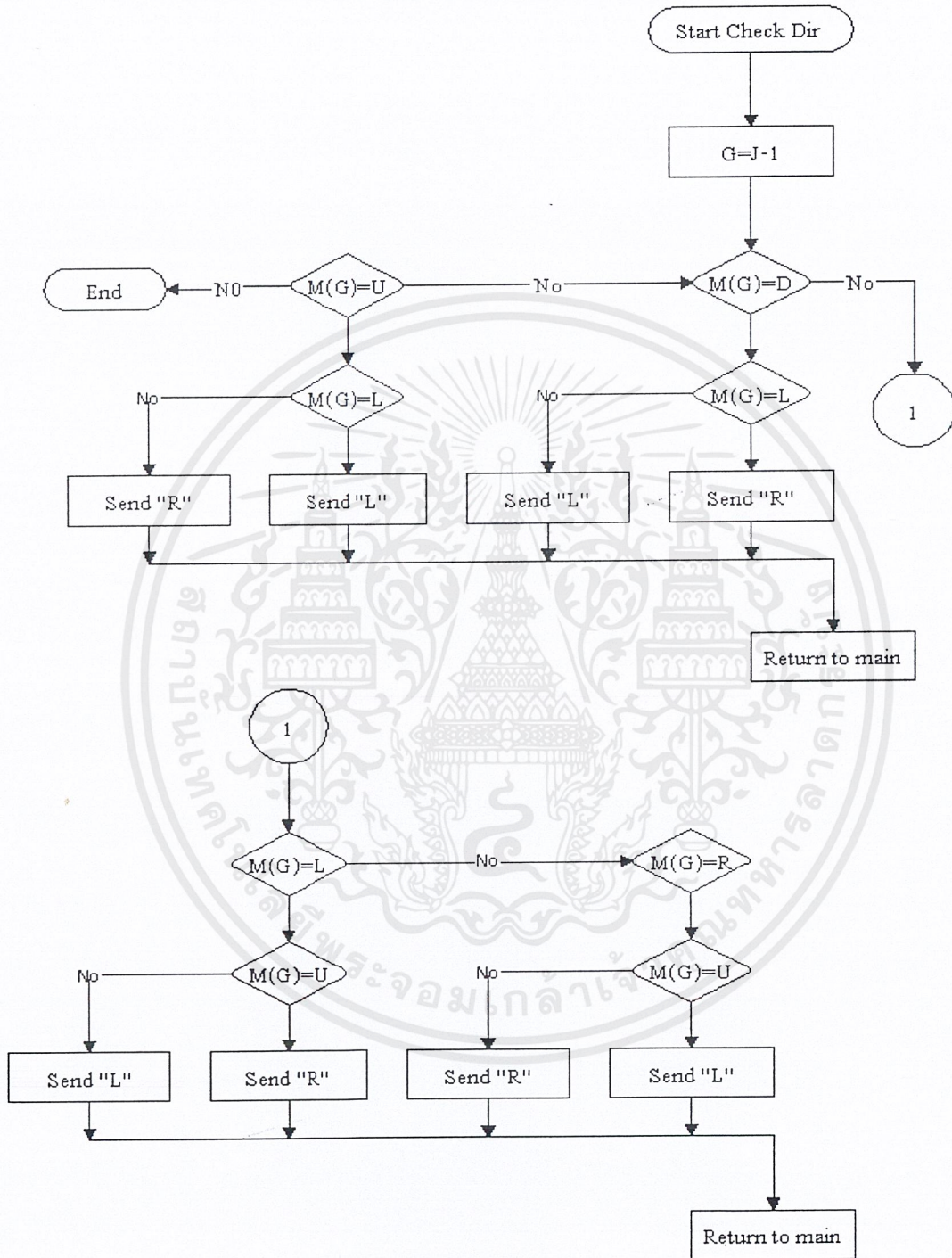
### 3.12.3 โพรซีจัวร์โปรแกรมย่อยหนึ่งเวลา



รูปที่ 3.17 โพรซีจัวร์โปรแกรมย่อยหนึ่งเวลา

โปรแกรมหนึ่งเวลาจะวนรับค่าที่ส่งมาจากหุ่นยนต์จนกว่าจะได้รับอักษร “ S ” กลับมาจึงจะหยุดการทำงานและคืนค่ากลับสู่โปรแกรมหลัก

### 3.12.4 โฟร์ลชาร์จโปรแกรมย่อย Check Dir



รูปที่ 3.18 โฟร์ลชาร์จ โปรแกรมย่อย Check Dir

ทำการลดค่าในอาเรย์ M(G)ลงหนึ่งค่าเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าปัจจุบันซึ่งทำให้ได้ค่าทิศทางการเลี้ยวที่ถูกต้อง โดยมีการทำงานดังนี้

ถ้าค่าในอาเรย์ก่อนหน้านี้มีค่าอักษร " U " และอาเรย์ M(j)เป็นอักษร " L " โปรแกรมจะส่งค่าอักษร " L " ออกพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย แต่ถ้าไม่ใช่จะส่งอักษร " R " ออกมาเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวาแทน

ถ้าค่าในอาเรย์ก่อนหน้านี้มีค่าอักษร " D " และอาเรย์ M(j)เป็นอักษร " L " โปรแกรมจะส่งค่าอักษร " R " ออกพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวา แต่ถ้าไม่ใช่จะส่งอักษร " L " ออกมาเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายแทน

ถ้าค่าในอาเรย์ก่อนหน้านี้มีค่าอักษร " L " และอาเรย์ M(j)เป็นอักษร " U " โปรแกรมจะส่งค่าอักษร " R " ออกพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวา แต่ถ้าไม่ใช่จะส่งอักษร " L " ออกมาเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายแทน

ถ้าค่าในอาเรย์ก่อนหน้านี้มีค่าอักษร " R " และอาเรย์ M(j)เป็นอักษร " U " โปรแกรมจะส่งค่าอักษร " L " ออกพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย แต่ถ้าไม่ใช่จะส่งอักษร " R " ออกมาเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวา แทน

ถ้าค่าอื่นๆที่ได้รับเข้ามาไม่ตรงตามเงื่อนไขนี้ โปรแกรมย่อย Check Dir จะจบการทำงานและคืนค่ากลับโปรแกรมหลัก

### 3.12.5 โฟร์ลซาร์จโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมเริ่มต้นจากการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล(Boud Rate)ในที่นี้ใช้ 19,000 บิตต่อวินาที คอยรับข้อมูลอินพุตที่ส่งเข้าพอร์ต TDX และทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้รับอักษรใด

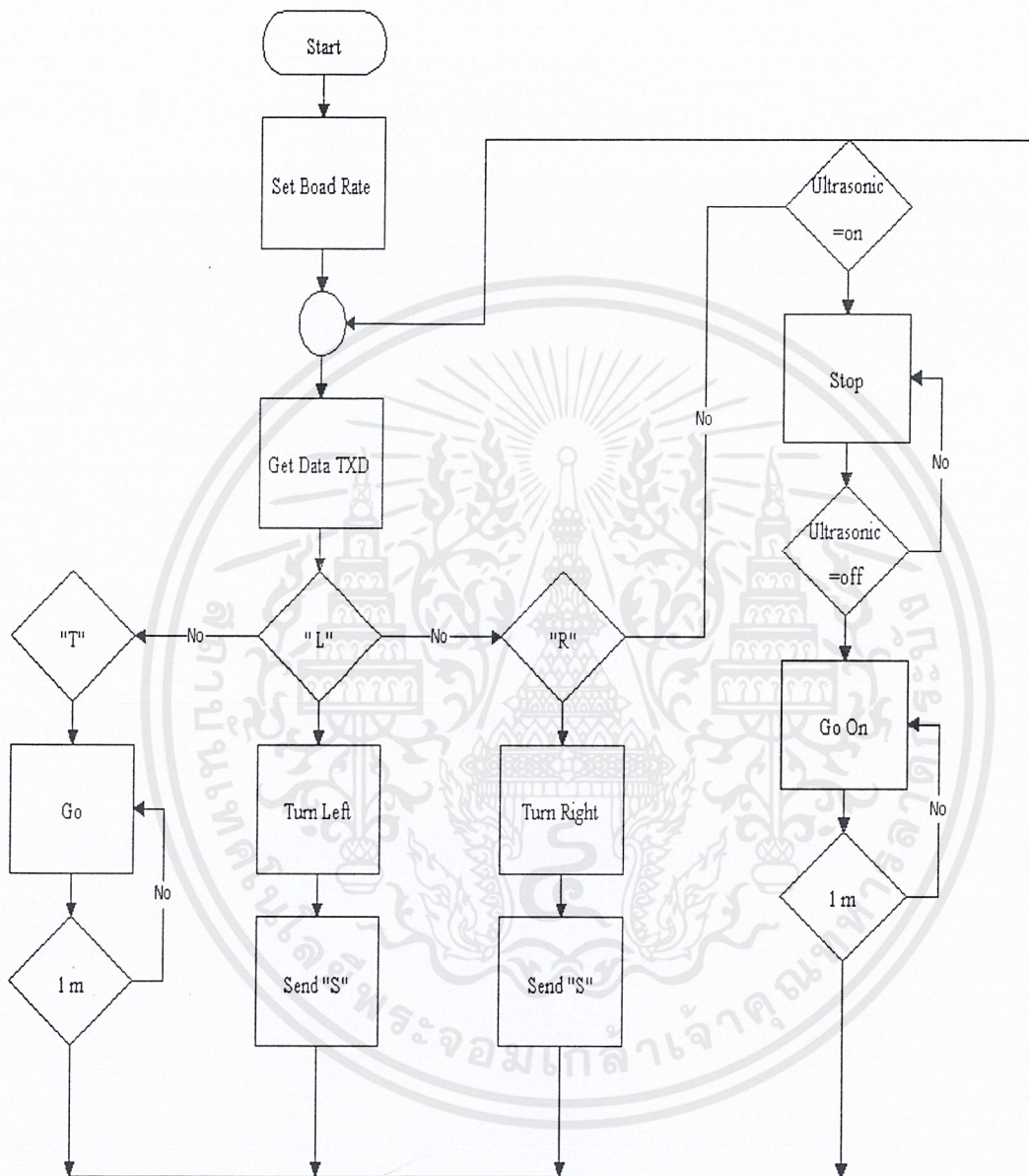
ถ้าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็นอักษร " T " ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์หมุนไปข้างหน้าจนครบระยะ 1 เมตรและรอรับค่าใหม่

ถ้าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็นอักษร " L " ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์หมุนเพื่อทำการเลี้ยวซ้าย และรอรับค่าใหม่

ถ้าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็นอักษร " R " ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์หมุนเพื่อทำการเลี้ยวขวา และรอรับค่าใหม่

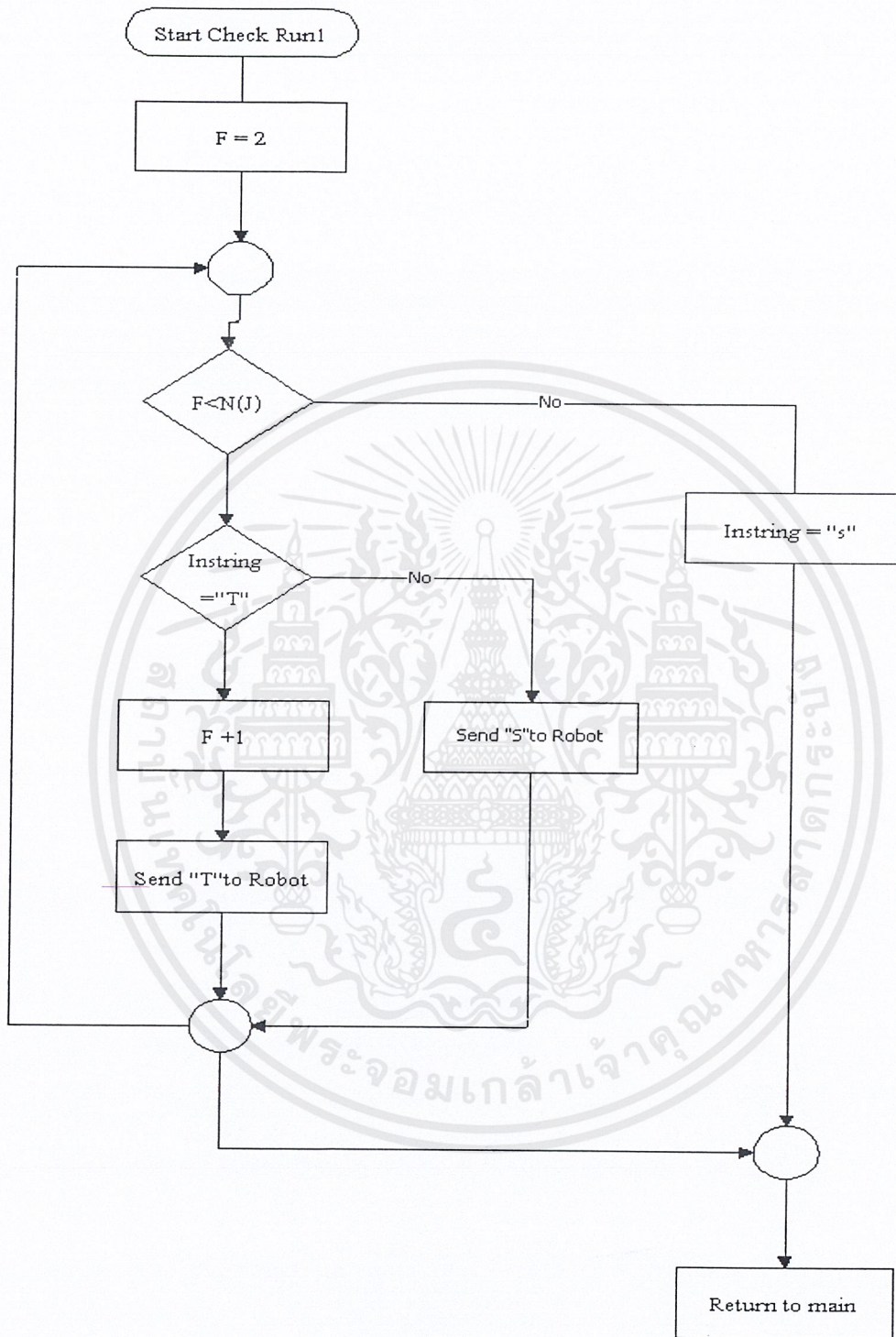
ข้อมูลที่ได้รับเข้ามาจาก P1.0 และ P1.1 มีค่าทั้งสองข้างไม่เท่ากันคือค่าของล้อทางด้านซ้ายไม่เท่ากับทางด้านขวา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์ปรับการหมุนเพื่อให้ล้อทั้งสองข้างหมุนเท่ากันจะได้การเคลื่อนที่ที่ตรงมากขึ้น และรอรับค่าใหม่

ข้อมูลที่รับเข้ามาทางพอร์ต P1.2 และ P1.3 เป็นลอจิกที่ได้จากวงจรอุลตราโซนิกเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่ เมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ข้างหน้า และจะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ต่อไปเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางอีก



รูปที่ 3.19 โปรแกรมจาร์วาโปรแกรม MCS51

### 3.12.6 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check Run1



รูปที่ 3.20 โฟล์ดซาร์จโปรแกรมย่อย Check Run1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 37 การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมในส่วนนี้จะทำการวิ่งตรงเพียงอย่างเดียว โดยรับค่าอินพุต Instring ว่ามีค่าเท่ากับ  
อักษร “T” หรือไม่ถ้าใช่จะทำการเพิ่มค่า F อีกหนึ่งค่า และส่งอักษร “T” ไปควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อน  
ที่ตรงจนกว่าจะครบระยะทาง และส่งค่าอักษร “S” ออกไปควบคุมหุ่นยนต์ให้หยุดการเคลื่อนที่ และ  
คืนค่ากลับสู่โปรแกรมหลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้ 38 การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

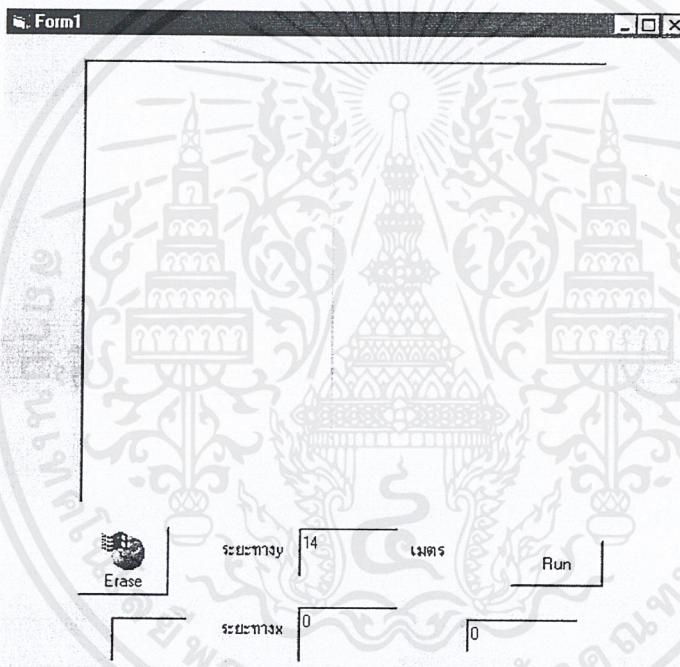
# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

### 4.1 การวัดสัญญาณในขณะที่รถยนต์อยู่ในสถานะต่างๆ

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดสัญญาณในขณะที่หุ่นยนต์อยู่ในสถานะต่างๆ ดังจะได้สัญญาณเอาต์พุต ออกมาในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามสถานะที่หุ่นยนต์ได้รับคำสั่ง

#### 4.1.1 ขณะที่หุ่นยนต์วิ่งตรง



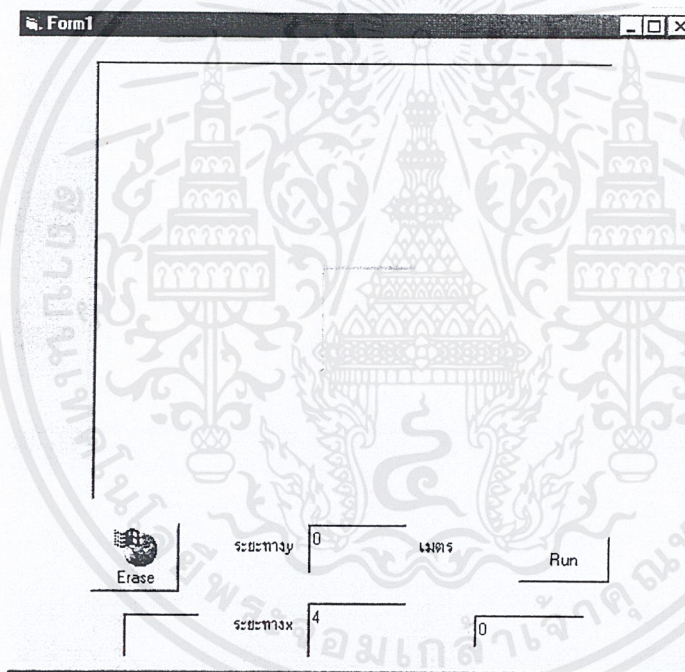
รูปที่ 4.1 ขณะที่หุ่นยนต์วิ่งตรง

ในขณะที่หุ่นยนต์รถกำลังวิ่งตรง และเมื่อทำการจับสัญญาณที่เอาต์พุตของ L298 ที่ไปควบคุมมอเตอร์ให้เดินตรงนั้นสัญญาณที่ได้ จะเป็นดังรูปที่ 4.2 โดยสัญญาณที่ใช้ไปควบคุมมอเตอร์นั้นคือตั้งแต่ P2.0 – P 2.3 เท่านั้น ส่วน P2.4 – P2.7 จะไม่ถูกนำมาใช้

Mode	Search	Sequence	Label	Position	Display	Print
<b>TIMING MODE</b>						
Magnification [x 1]						
Display [ 0] - [ 511]		Window Move [ 256]			500 ns/clk	
Port 2.0	A0					0
Port 2.1	A1					1
Port 2.2	A2					1
Port 2.3	A3					0
Port 2.4	A4					1
Port 2.5	A5					1
Port 2.6	A6					1
Port 2.7	A7					1

รูปที่ 4.2 เอาท์พุทของ L298 ไปควบคุมมอเตอร์ให้วิ่งตรง

#### 4.1.2 ขณะที่ยุ่นยนต์กำลังเลี้ยวขวา



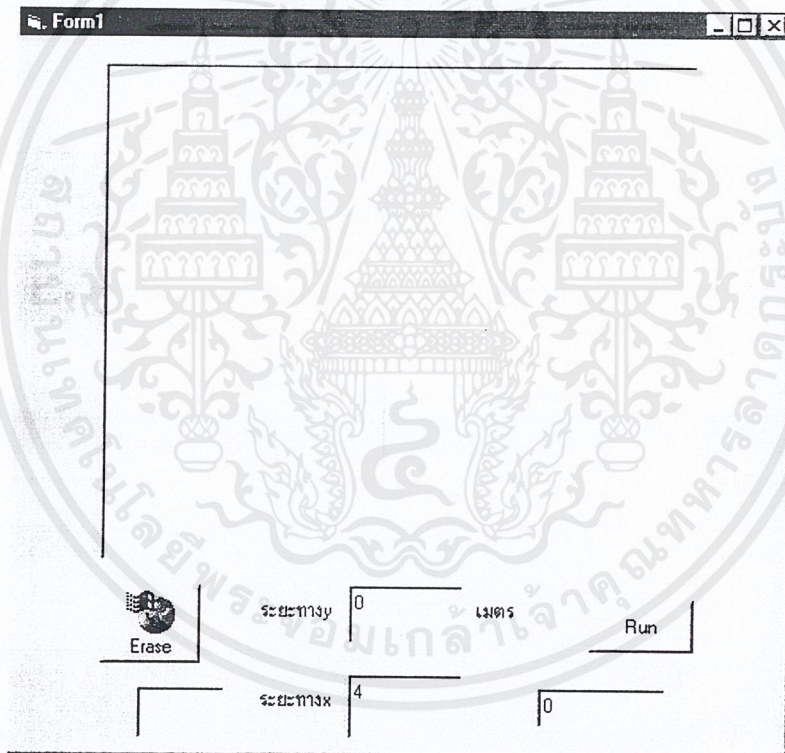
รูปที่ 4.3 ขณะที่ยุ่นยนต์กำลังเลี้ยวขวา

ในขณะที่รถกำลังจะเลี้ยวขวา เมื่อทำการจับสัญญาณที่เอาท์พุทของ L298 ที่ไปควบคุมมอเตอร์ให้เลี้ยวขวานั้น สัญญาณที่ได้ จะเป็นดังรูปที่ 4.4 โดยสัญญาณที่ใช้ไปควบคุมมอเตอร์นั้น คือตั้งแต่ P2.0 – P 2.3 เท่านั้น ส่วน P2.4 – P2.7 จะไม่ถูกนำมาใช้

Mode	Search	Sequence	Label	Position	Display	Print
<b>TIMING MODE</b>						
Magnification [x 1]						
Display [ 0 ] - [ 511]		Window Move [ 256]		500 ns/clock		
Port 2.0	A0					1
Port 2.1	A1					0
Port 2.2	A2					1
Port 2.3	A3					0
Port 2.4	A4					1
Port 2.5	A5					1
Port 2.6	A6					1
Port 2.7	A7					1

รูปที่ 4.4 เอาท์พุทของ L298 ไปควบคุมมอเตอร์ให้เลี้ยวขวา

#### 4.1.3 ขณะที่ยุ่นยนต์กำลังเลี้ยวซ้าย



รูปที่ 4.5 ขณะที่ยุ่นยนต์กำลังเลี้ยวซ้าย

ในขณะที่หุ่นยนต์กำลังจะเลี้ยวซ้าย เมื่อทำการจับสัญญาณที่เอาท์พุทของ L298 ที่ไปควบคุมมอเตอร์ให้เลี้ยวซ้ายนั้น สัญญาณที่ได้ จะเป็นดังรูปที่ 4.6 โดยสัญญาณที่ใช้ไปควบคุมมอเตอร์นั้นคือตั้งแต่ P2.0 – P 2.3 เท่านั้น ส่วน P2.4 – P2.7 จะไม่ถูกนำมาใช้

Mode	Search	sequence	Label	pOosition	Display	Print
<b>TIMING MODE</b>						
Magnification [x 1]						
Display [ 0] - [ 511] Window Move [ 256] 500 ns/clk						
Port 2.0	A0					0
Port 2.1	A1					1
Port 2.2	A2					0
Port 2.3	A3					1
Port 2.4	A4					1
Port 2.5	A5					1
Port 2.6	A6					1
Port 2.7	A7					1

รูปที่ 4.6 เอาท์พุทของ L298 ไปควบคุมมอเตอร์ให้เลี้ยวซ้าย

#### 4.1.4 ขณะที่ยูนิตไม่เคลื่อนที่

อินพุทที่ได้จาก P2.0 - P2.3 จะมีลอจิกที่เหมือนกัน ทำให้มอเตอร์หยุดหมุน ในที่นี้เลือกเป็นระดับลอจิก 1

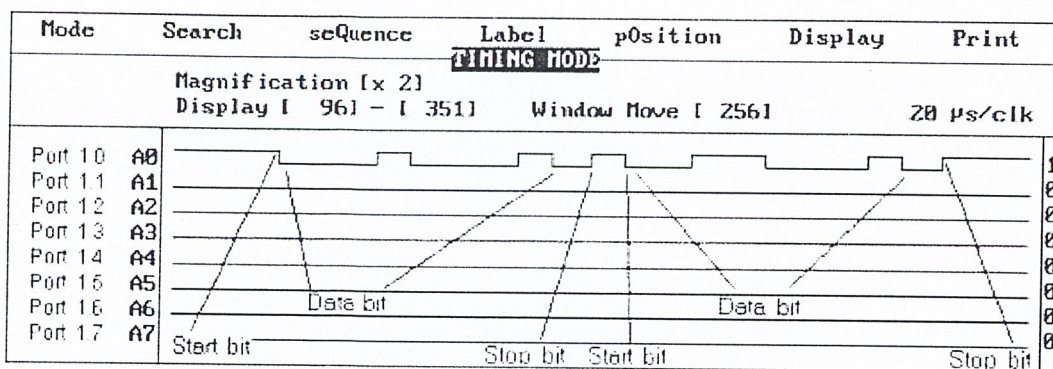
Mode	Search	sequence	Label	pOosition	Display	Print
<b>TIMING MODE</b>						
Magnification [x 1]						
Display [ 0] - [ 511] Window Move [ 256] 500 ns/clk						
Port 2.0	A0					1
Port 2.1	A1					1
Port 2.2	A2					1
Port 2.3	A3					1
Port 2.4	A4					0
Port 2.5	A5					0
Port 2.6	A6					0
Port 2.7	A7					0

รูปที่ 4.7 เอาท์พุทที่ออกจาก L298 ในสภาวะยูนิตไม่เคลื่อนที่

#### 4.2 สภาวะที่ยูนิตได้รับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

จากรูปสัญญาณที่ทำการวัดออกมา ดังรูปที่ 4.8 เมื่อถอดรหัสออกมาจะมีด้วยกันทั้งหมด 20 บิต คือ 0 0010 0010 1 0 0110 0010 1 หนึ่งชุดข้อมูลจะมีด้วยกันทั้งหมด 10 บิต โดยในสิบบิต จะประกอบไปด้วย 8 บิตข้อมูล บิตเริ่มต้น 1 บิต บิตหยุดอีก 1 บิต โดยที่บิตเริ่มจะเป็น 0 และ บิตหยุดจะเป็น 1 ดังนั้นจากชุดข้อมูลที่ได้ 10 บิตแรก คือ 0 0010 0010 1 บิตที่ 1 คือบิตเริ่มต้น และ บิตที่ 10 เป็นบิตหยุด ดังนั้น 8 บิตที่เหลือจะเป็นบิตข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุดๆละ 4 บิต คือ 0010 กับ 0010 โดยบิตต่ำจะอยู่ก่อน บิตสูงดังนั้น 0010 จึงเท่ากับ 4 เมื่อมี 2 ชุดจะได้ 44 ในฐาน 16 จะเท่ากับอักษร D ส่วนอีก 10 บิตที่เหลือ ก็ทำการแบ่งในลักษณะเดียวกันจะได้ 46 ในเลขฐานสิบหก ซึ่งก็คืออักษร F นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 42 การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูล D กับ F ที่วัดจากขา TXD ของ MCS- 51

### 4.3 ผลการวัดระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่

จากการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ตามระยะทางที่กำหนด ได้ผลการทดลองตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่

ระยะทางที่กำหนด(เมตร)	ระยะทางที่วัดได้(เมตร)
0.10	0.10
0.20	0.20
0.30	0.31
0.40	0.41
0.50	0.51
0.60	0.61
0.70	0.71
0.80	0.79
0.90	0.91
1.00	1.05
1.10	1.11
1.20	1.21
1.30	1.31
1.40	1.41

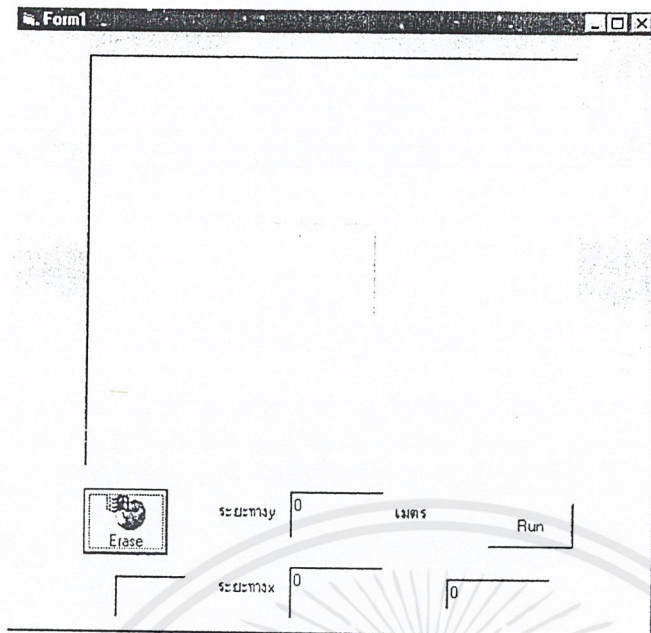
ระยะทางที่กำหนด(เมตร)	ระยะทางที่วัดได้(เมตร)
1.50	1.51
1.60	1.61
1.70	1.72
1.80	1.82
1.90	1.91
2.00	2.02
2.10	2.12
2.20	2.21
2.30	2.34
2.40	2.42
2.50	2.53
2.60	2.62
2.70	2.73
2.80	2.84
2.90	2.92
3.00	3.04

ผลที่ได้จากตารางการทดลองเป็นการวัดระยะทางตรงโดยไม่มีการตั้งให้เลี้ยว หากมีการตั้งเลี้ยวด้วยจะเกิดค่าผิดพลาดไป เป็นระยะทาง บวก ลบ 3 เซนติเมตร

#### 4.4 การใช้งานโปแกรม

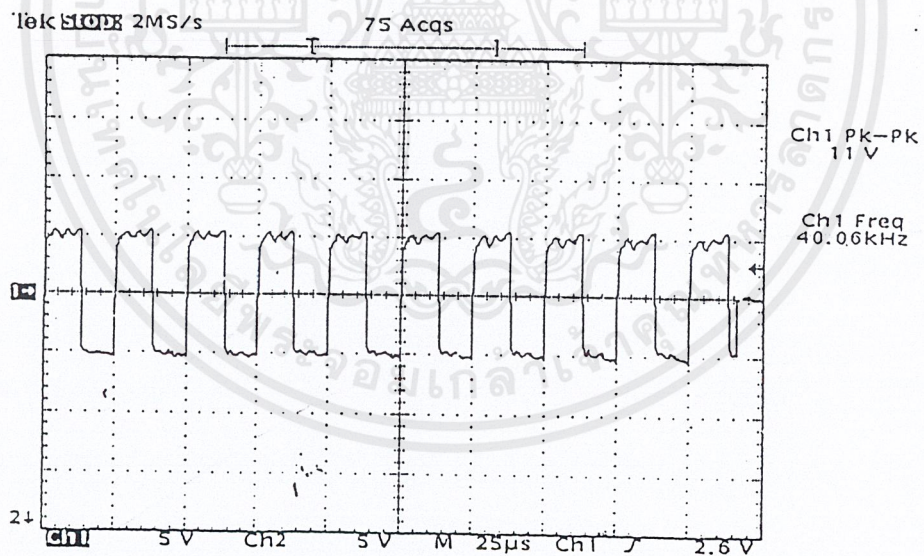
รูปที่ 4.9 นี้เป็นลักษณะหน้าตาของ โปแกรมที่ใช้สั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยการใช้เมาท์ วาดที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.9 เป็นการสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรง 20 เซนติเมตร แล้วเลี้ยวขวา แล้วเคลื่อนที่ไปอีก 15 เซนติเมตร เคลื่อนที่ตรงอีก 40 แล้วเลี้ยวซ้าย เคลื่อนที่ไปอีก 50 เซนติเมตร เคลื่อนที่ตรงไปอีก 40 เซนติเมตร แต่เมื่อทำการวัดระยะที่เคลื่อนที่ไปจริงๆจะได้ระยะทางที่ผิดพลาดไปทั้งสิ้น 6 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะทางผิดพลาดที่เกิดจากการเลี้ยว



รูปที่ 4.9 ลักษณะ โปรแกรมที่ใช้งาน

#### 4.5 การวัดสัญญาณเอาต์พุตของชุดส่งอุตราโซนิก

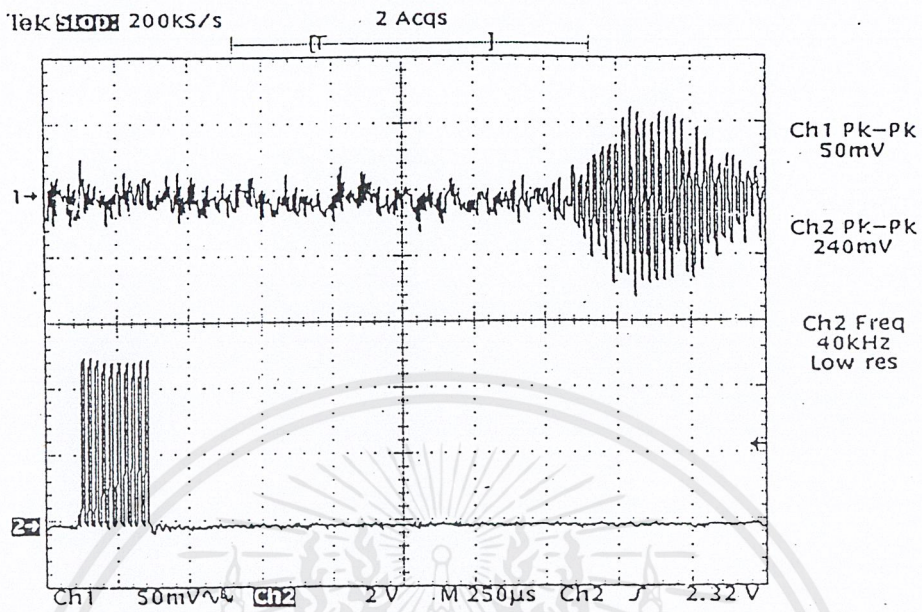


รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณความถี่ 40KHz ที่วัดจากขา 3 ของไอซีเบอร์ 555

สัญญาณที่วัดจากภาคกำเนิดความถี่ 40 KHz ที่ได้จากไอซีไทม์เมอร์เบอร์ 555 โดยวัด

สัญญาณออกที่ขา 3 ของไอซีซึ่งได้เอาต์พุตเป็นพัลส์ความถี่ 40 KHz ดังรูปที่ 4.10

#### 4.6 การวัดสัญญาณของภาครับ



รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณความถี่ 40 KHz ที่ตัวรับอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับตัวส่งอุตสาหกรรม  
CH1: รูปสัญญาณความถี่ 40KHz ที่ตัวรับอุตสาหกรรม  
CH2: รูปสัญญาณความถี่ 40KHz ที่ตัวส่งอุตสาหกรรม

## บทที่ 5

### สรุป และ วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้ผ่านมาแล้ว แสดงให้เห็นว่า โครงการนี้หุ่นยนต์สามารถวิ่งได้โดยอาศัยเส้นทางที่เกิดจากการวาดทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ ข้อมูลเส้นทางที่ได้ถูกส่งผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อเป็นข้อมูลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด แต่การเคลื่อนที่นั้นระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้จริงๆจะผิดพลาดออกไปบ้าง เนื่องมาจากการเคลื่อนที่นี้เป็นแบบระบบเปิดอยู่ยังไม่มีส่วนที่เข้ามาควบคุมให้เป็นระบบที่มีเสถียรภาพ

#### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

น้ำหนักแบตเตอรี่มากเกินไปทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ต้องทำการเปลี่ยนไปใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กมาต่ออนุกรมกัน ล้อหน้าต้องหาวัสดุที่ดีกว่าเดิมเนื่องจากว่ามีความฝืดอยู่มาก ทำให้การเลี้ยวทำได้ยาก และระบบการจับมอเตอร์ยังเป็นระบบเปิดอยู่จึงเกิดปัญหาระยะทางคลาดเคลื่อนจากค่าความผิดพลาดที่สะสมไว้ก่อนหน้า มีผลต่อระยะทางที่วิ่งได้จริงไม่ตรงตามที่กำหนด

#### 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อสำหรับโครงการนี้

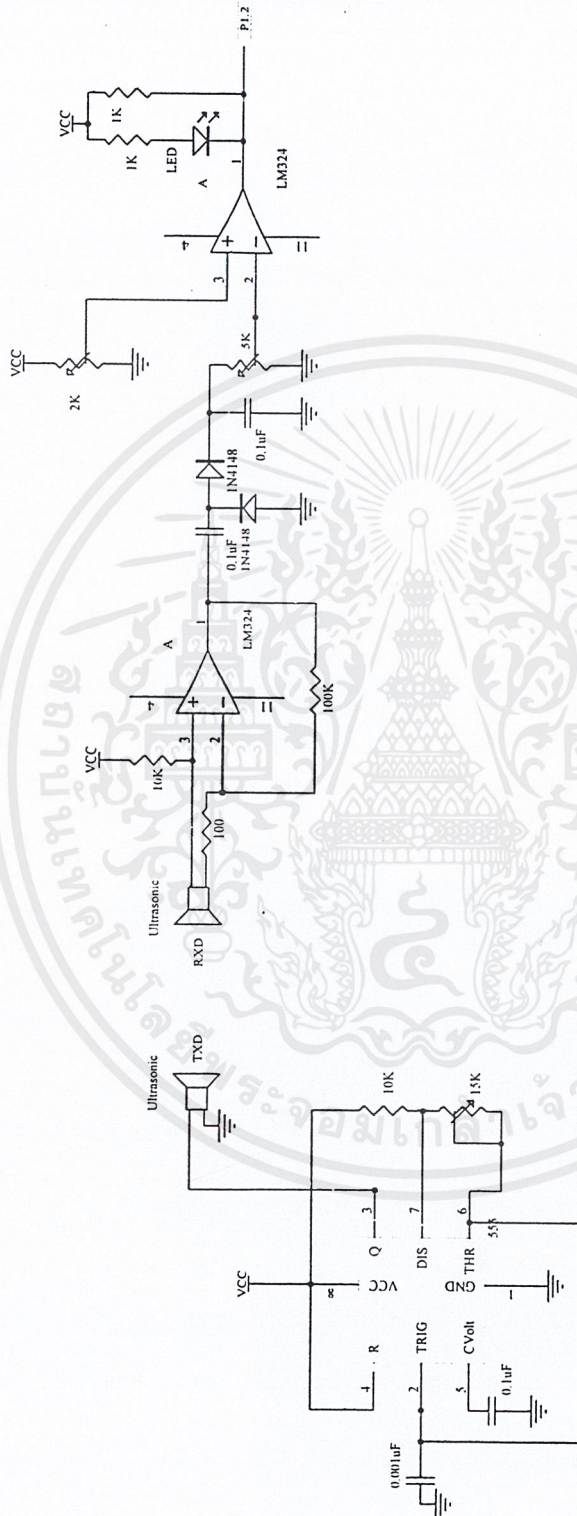
- พัฒนาให้การควบคุมมอเตอร์เป็นระบบปิด
- หาแหล่งพลังงานที่มีน้ำหนักเบามาใช้
- พัฒนาโปรแกรมทั้งใน 89C51 และ Visual Basic ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีก
- พัฒนาให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ตรงทางขึ้น



## ภาคผนวก ก วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





วงจรตรวจจับวัตถุที่มาจากเครื่องเตือนที่ของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกำไร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# โปรแกรมวิชาพลศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Option Explicit
Private bExit As Boolean
MenuBarLib.MenuBarButton
Private SigOldX, SigOldY, SigMoves,
SigCounter As Integer
Private SigData As String
Dim Instring As String
Private BuffStore(0) As String
Dim BUFFER As Variant
Dim PressMouse As Boolean
Dim A As Integer, B As Integer
Dim Aa As Integer, Bb As Integer
Dim C As Integer, D As Integer
Dim P As Integer, Q As Integer
Dim Pp As Integer, Qq As Integer
Dim N(10) As Integer, M(10) As String
Dim I As Integer, ARR As Integer
Dim J As Integer, K As Integer
Dim G As Integer, F As Integer
Dim S As String, T As String
Dim E As Integer, Z As Integer

Comm1.PortOpen = True
Comm1.InputLen = 1
I = 0
J = 1
F = 0
End Sub

Dim Instring As String
Private Sub Label1_Click()
End Sub

Dim PressMouse As Boolean
End Sub

Dim A As Integer, B As Integer
Dim Aa As Integer, Bb As Integer
Dim C As Integer, D As Integer
Dim P As Integer, Q As Integer
Dim Pp As Integer, Qq As Integer
Dim N(10) As Integer, M(10) As String
Dim I As Integer, ARR As Integer
Dim J As Integer, K As Integer
Dim G As Integer, F As Integer
Dim S As String, T As String
Dim E As Integer, Z As Integer

Private Sub MenuBar_ButtonClick(ByVal
Button As MenuBarLib.MenuBarButton)
App.End
End Sub

Private Sub ClearButton_Click()
SignatureBox.Cls
SignatureBox.ForeColor = &HDDDDFF
SignatureBox.ForeColor = &H0
SigMoves = 0
Z = 0
F = 0
I = 0
J = 1
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
End Sub

Private Sub Form_Load()
Set bExit = MenuBar.Controls.AddButton
("bExit")
bExit.Caption = "Exit"
ClearButton_Click
Comm1.Settings = "9600,N,8,1"
Comm1.CommPort = 1
Private Sub SignatureBox_MouseDown
(ByVal Button As Long, ByVal Shift As

```

```

Long, ByVal x As Double, ByVal y As
Double)
A = y
B = x
Aa = y
Bb = x
PressMouse = True
End Sub
Private Sub SignatureBox_MouseMove
(ByVal Button As Long, ByVal Shift As
Long, ByVal x As Double, ByVal y As
Double)
If PressMouse Then
SignatureBox.DrawLine B, A, x, y,
&HFF&
P = Abs(y - Aa) / 8
Q = Abs(x - Bb) / 12
Pp = (y - Aa) / 8
Qq = (x - Bb) / 12
D = Round(P)
C = Round(Q)
B = x
A = y
Text1.Text = C
Text2.Text = D
End If
End Sub
Private Sub SignatureBox_MouseUp(ByVal
Button As Long, ByVal Shift As Long,
ByVal x As Double, ByVal y As Double)
I = I + 1
Z = E
If C > D Then
N(I) = C 'MOVE DISTANT X TO
ARRAY
If Qq < 0 Then 'X
If M(I - 1) = "U" Then
M(I) = "L" 'MOVE DIRECTION
(LEFT) TO ARRAY
Else
M(I) = "R"
End If
Else
If M(I - 1) = "U" Then
M(I) = "R" 'MOVE DIRECTION
(RIGHT) TO ARRAY
Else
M(I) = "L"
End If
End If
Else
N(I) = D 'MOVE DISTANT Y TO
ARRAY
If Pp < 0 Then 'Y
M(I) = "U" 'MOVE DIRECTION
(UP) TO ARRAY
Else
M(I) = "D" 'MOVE DIRECTION
(DOWN) TO ARRAY
End If
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End If
PressMouse = False
End Sub
Private Sub Command1_Click()
ARR = I
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "T"
Comm1.Output = BUFFER
Call CHECKRUN
Call CHECKIN
End Sub
Public Sub CHECKIN()
J = 1
Do While ARR > J
If Instr = "S" Then
J = J + 1
Call CHECKDIR
Call DELAY
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "T"
Comm1.Output = BUFFER
Call CHECKRUN1
End If
Loop
End Sub
Public Sub CHECKRUN()
Do
Instr = Comm1.Input
If Instr = "T" Then
F = F + 1
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "T"
Comm1.Output = BUFFER
Else
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "S"
Comm1.Output = BUFFER
End If
Loop
Instr = "S"
End Sub
Public Sub DELAY()
Do
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "T"
Comm1.Output = BUFFER
End If
Loop While (F + 1) < N(J)
Instr = "S"
End Sub
Public Sub CHECKRUN1()
F = 2
Do While F < N(J)
Instr = Comm1.Input
If Instr = "T" Then
F = F + 1
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "T"
Comm1.Output = BUFFER
Else
Comm1.OutBufferCount = 0
BUFFER = "S"
Comm1.Output = BUFFER
End If
Loop
Instr = "S"
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Instring = Comm1.Input
Loop While Instring = "S"
End Sub
Public Sub CHECKDIR()
G = J - 1
If M(G) = "U" Then
    If M(J) = "L" Then
        Comm1.OutBufferCount = 0
        BUFFER = "L"
        Comm1.Output = BUFFER
    Else
        Comm1.OutBufferCount = 0
        BUFFER = "R"
        Comm1.Output = BUFFER
    End If
Else
    If M(G) = "D" Then
        If M(J) = "L" Then
            Comm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = "R"
            Comm1.Output = BUFFER
        Else
            Comm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = "L"
            Comm1.Output = BUFFER
        End If
    End If
Else
    If M(G) = "L" Then
        If M(J) = "U" Then
            Comm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = "R"
            Comm1.Output = BUFFER
        Else
            Comm1.OutBufferCount = 0
            BUFFER = "L"
            Comm1.Output = BUFFER
        End If
    End If
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# โปรแกรมแอสเซมบลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG 0000H                                CALL DELAY4
MAIN:                                       CALL DELAY4
MOV SCON,#52H                              CALL DELAY4
MOV TMOD,#20H                              CALL DELAY4
MOV TH1,#0FDH                              MOV P2,#0FFH
MOV R0,#00H                                CALL DELAY4
MOV R1,#00H                                CALL DELAY4
MOV R2,#00H                                CALL DELAY4
SETB TR1                                    CALL DELAY4
MOV P1,#0FFH                               LJMP STOP
MOV P2,#0FFH                               L31:CJNE A,#'R',STOP
MOV A,#00H                                 MOV P2,#0FFH
MOV SBUF,A                                 CALL DELAY4
JNB TI,$                                   CALL DELAY4
CLR TI                                      CALL DELAY4
START:                                     CALL DELAY4
MOV R0,#10H                                MOV P2,#0000101B
JNB RI,$                                   CALL DELAY4
MOV A,SBUF                                 CALL DELAY4
CLR RI                                     CALL DELAY4
;*****                                  CALL DELAY4
*****                                    CALL DELAY4
CJNE A,#'L',L31                            CALL DELAY4
CALL DELAY4                                CALL DELAY4
CALL DELAY4                                CALL DELAY4
CALL DELAY4                                MOV P2,#0FFH
CALL DELAY4                                CALL DELAY4
MOV P2,#00001010B                          CALL DELAY4
CALL DELAY4                                CALL DELAY4
CALL DELAY4                                CALL DELAY4
CALL DELAY4                                ;*****
CALL DELAY4                                STOP:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE A,#'S',CHECK
MOV P2,#0FFH
MOV A,#'S'
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
LJMP START
;*****
CHECK:MOV P2,#00001001B
CALL DELAY4
CALL DELAY4
RUN:JNB P1.3,F5
CALL F1
CALL F3
MOV P2,#00001001B
CALL DELAY1
SJMP RUN
F5: JB P1.2,F9
F10:DEC R0
CJNE R0,#00H,F6
MOV P2,#0FFH
CALL DELAY4
CALL DELAY4
CALL DELAY4
CALL DELAY4
MOV A,#'T'
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
LJMP START
;*****
LJMP STOP
;*****
F1:JB P1.0,F2
MOV P2,#00000000B
CALL DELAY1
SJMP F1
F2:RET
;*****
F3:JNB P1.1,F4
MOV P2,#00000000B
CALL DELAY1
SJMP F3
F4:RET
;*****
F7:JB P1.2,F8
MOV P2,#00001001B
CALL DELAY1
SJMP F7
F8:MOV P2,#00001001B
RET
;*****
F9:MOV P2,#00001101B
CALL DELAY8
MOV P2,#00001001B
JB P1.2,F9
LJMP F10
;*****
DELAY1:MOV R5,#0AH
DELAY2:MOV R6,#0AH
DELAY3:DJNZ R6,DELAY3
DJNZ R5,DELAY2
RET
;*****
F6:CALL F7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\*\*\*\*

```
DELAY4:MOV R5,#00H
DELAY5:MOV R6,#0BH
DELAY6:MOV R7,#0BH
DELAY7:DJNZ R7,DELAY7
        DJNZ R6,DELAY6
        DJNZ R5,DELAY5
        RET
```

\*\*\*\*\*

```
DELAY8:MOV R5,#02H
DELAY9:MOV R6,#02H
DELAYA:DJNZ R6,DELAYA
        DJNZ R5,DELAY9
        RET
        END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



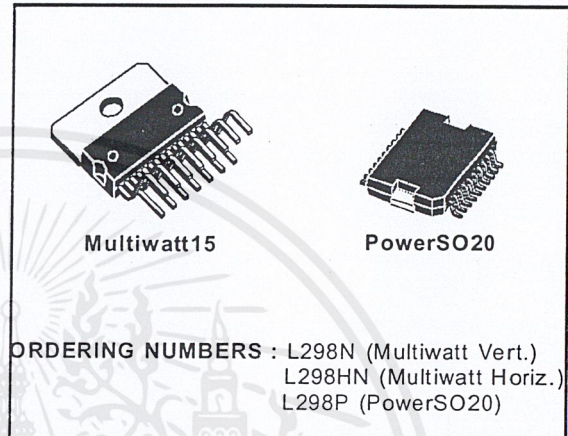
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

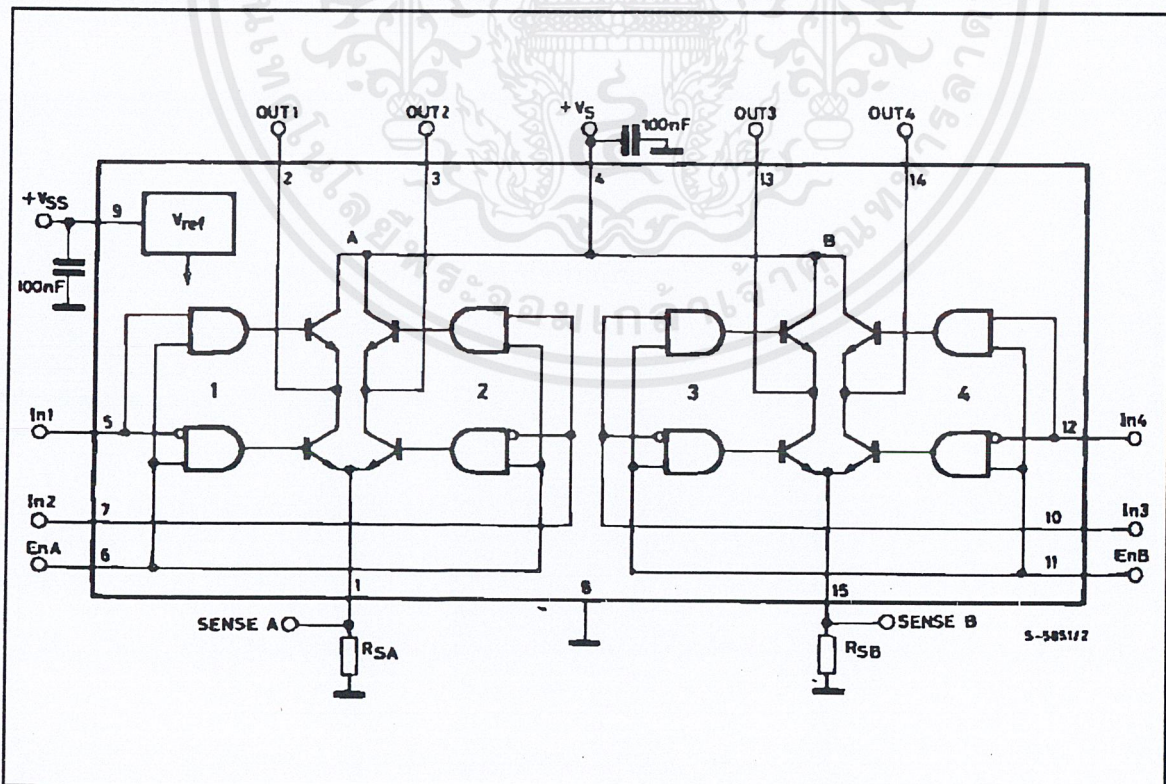
### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

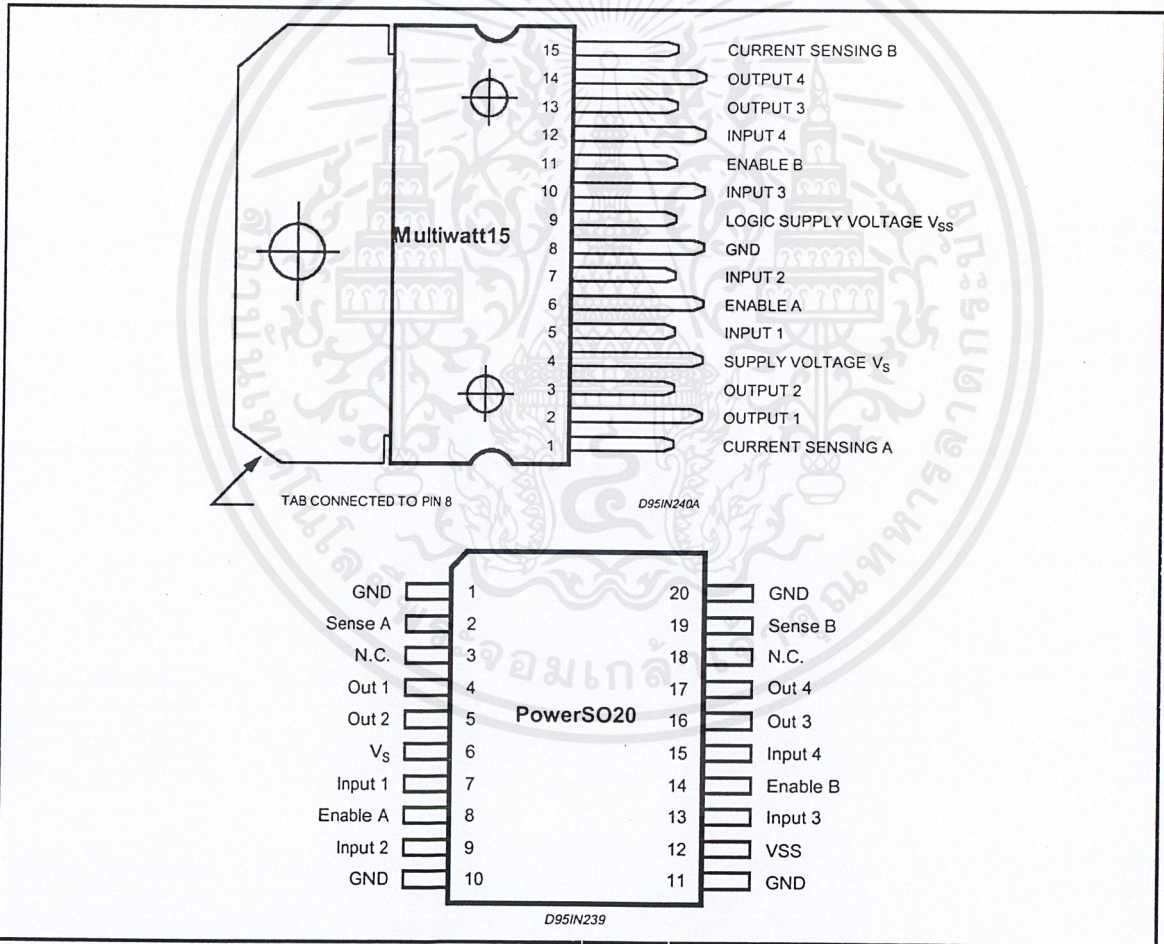
### BLOCK DIAGRAM



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_I, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ )	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$ )	2.5	A
	-DC Operation	2	A
$V_{sens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{op}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

**PIN CONNECTIONS (top view)**



**THERMAL DATA**

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(\*) Mounted on aluminum substrate



## PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V <sub>s</sub>	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V <sub>SS</sub>	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>s</sub> = 42V; V<sub>SS</sub> = 5V, T<sub>j</sub> = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V <sub>s</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5		46	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I <sub>s</sub>	Quiescent Supply Current (pin 4)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0	V <sub>i</sub> = L V <sub>i</sub> = H	13 50	22 70	mA mA
		V <sub>en</sub> = L	V <sub>i</sub> = X		4	mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0	V <sub>i</sub> = L V <sub>i</sub> = H	24 7	36 12	mA mA
		V <sub>en</sub> = L	V <sub>i</sub> = X		6	mA
V <sub>iL</sub>	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V <sub>iH</sub>	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>iL</sub>	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = L			-10	μA
I <sub>iH</sub>	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> -0.6V		30	100	μA
V <sub>en</sub> = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V <sub>en</sub> = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>en</sub> = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = L			-10	μA
I <sub>en</sub> = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> -0.6V		30	100	μA
V <sub>CEsat(H)</sub>	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V <sub>CEsat(L)</sub>	Sink Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V <sub>CEsat</sub>	Total Drop	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T <sub>1</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		1.5		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.2		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		2		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.7		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.7		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.25		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		1.6		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.2		μs
f <sub>c</sub> (V <sub>i</sub> )	Commutation Frequency	I <sub>L</sub> = 2A		25	40	KHz
T <sub>1</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		3		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		1		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.3		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.4		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		2.2		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.35		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.25		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V<sub>sens</sub> min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

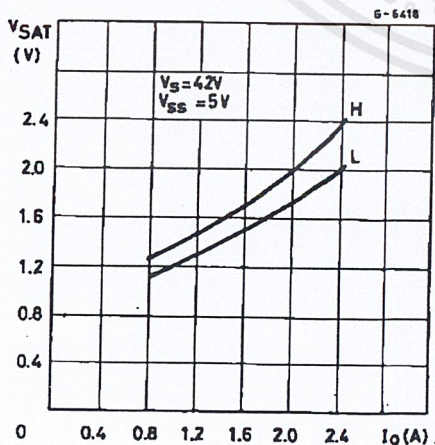
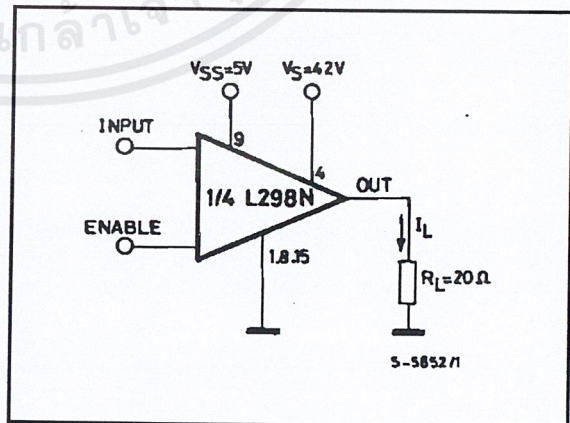


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note: For INPUT Switching, set EN = H  
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

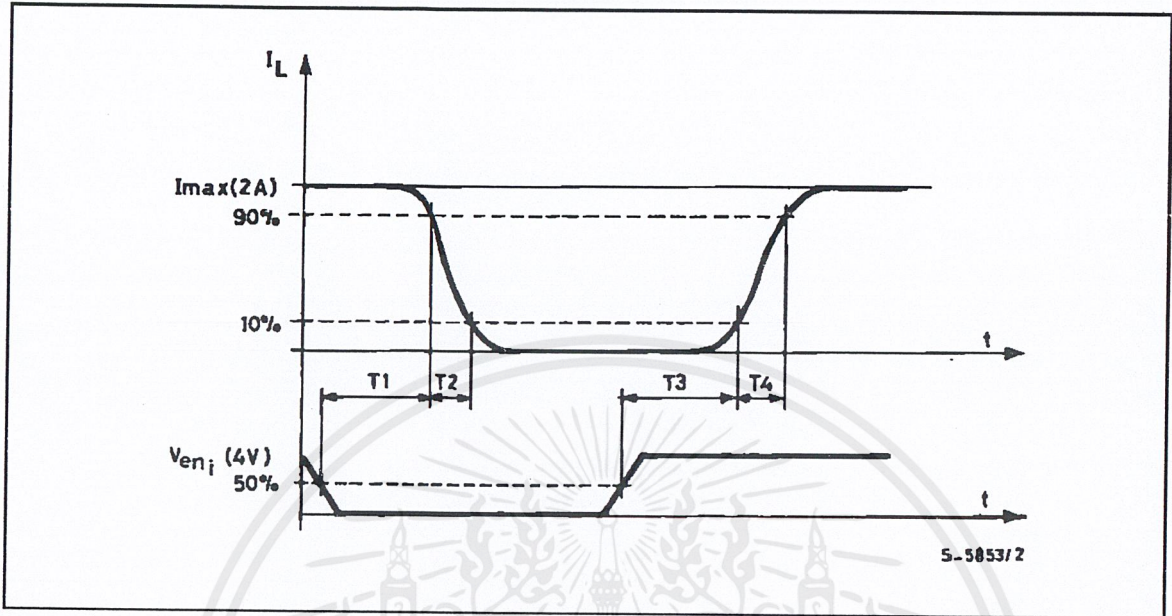
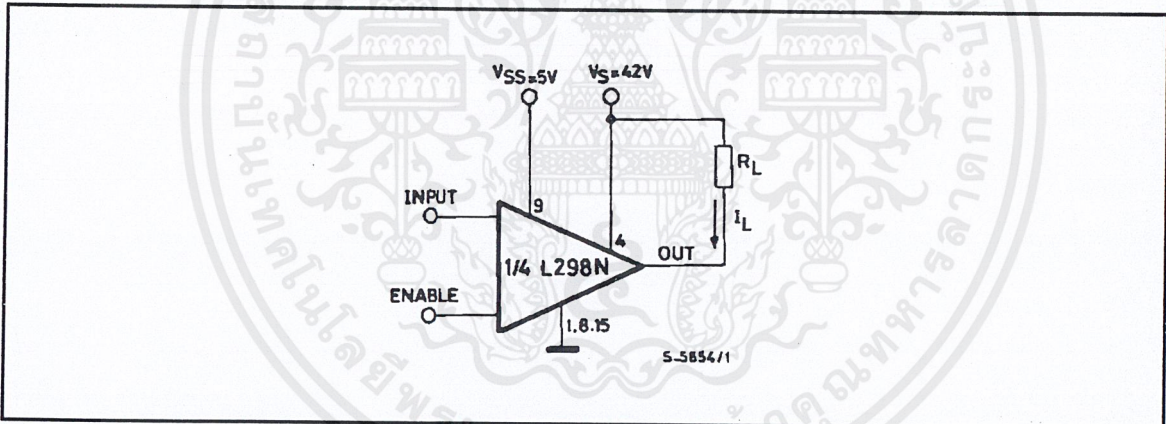


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H  
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

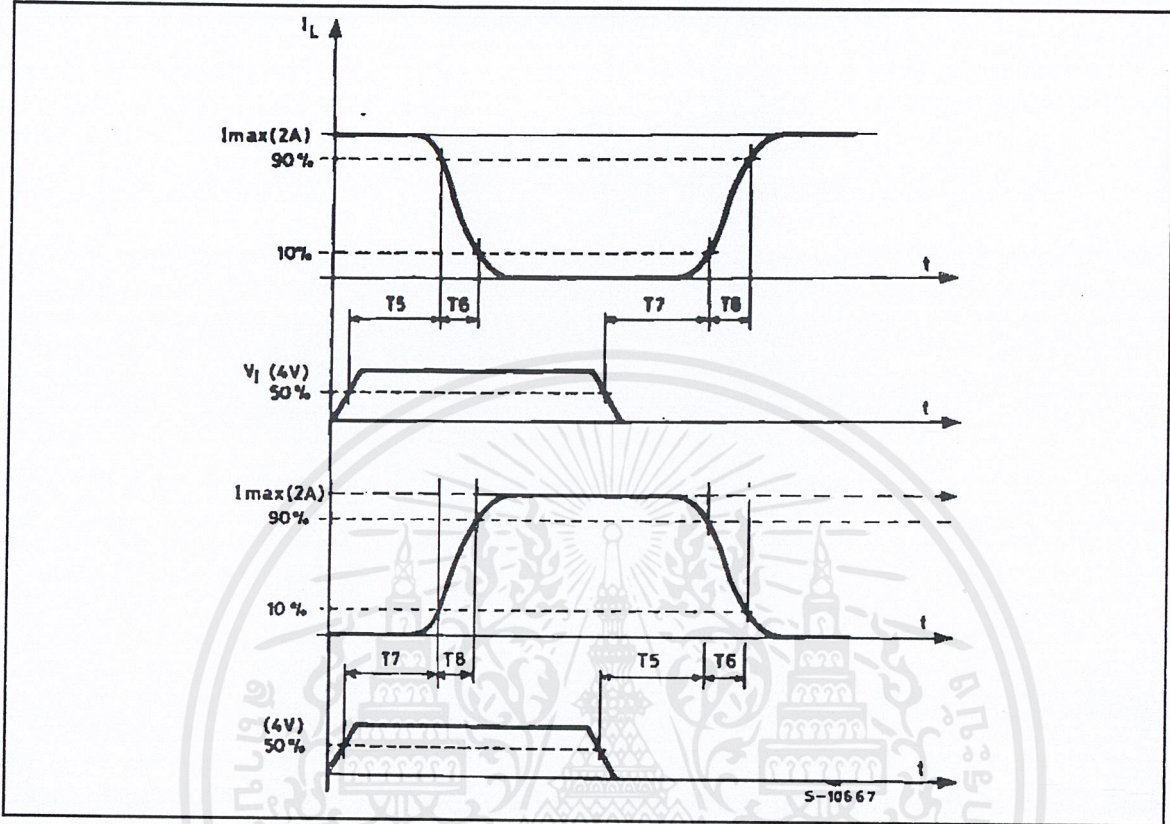
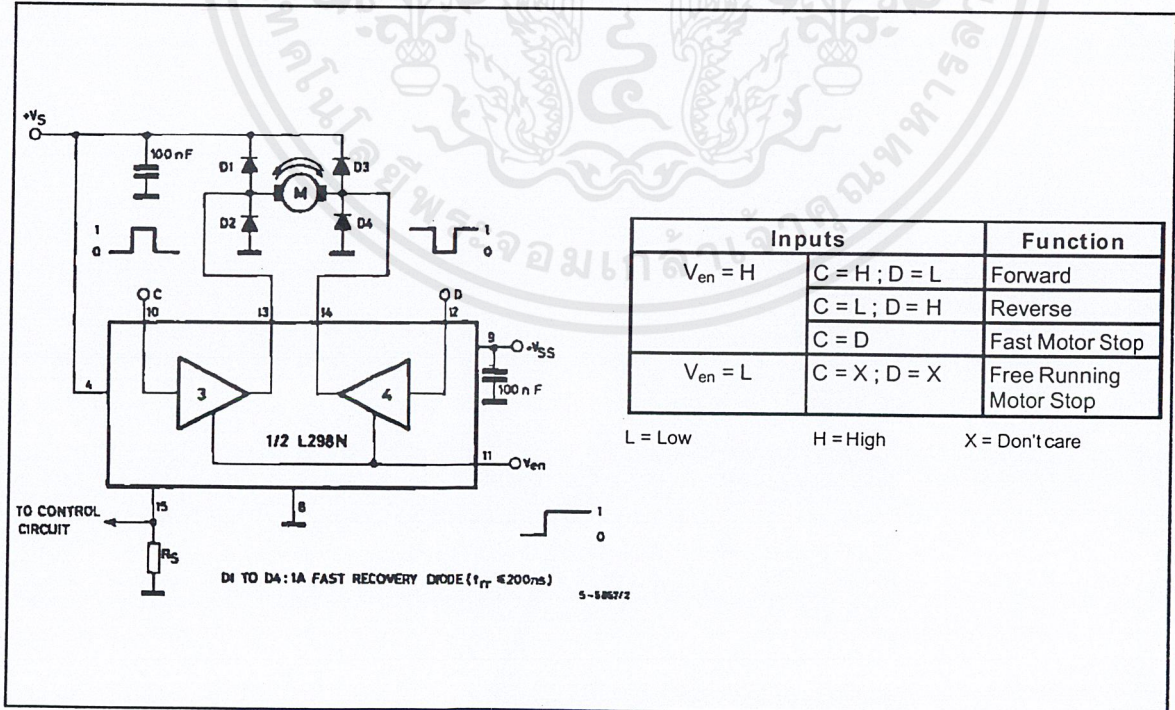
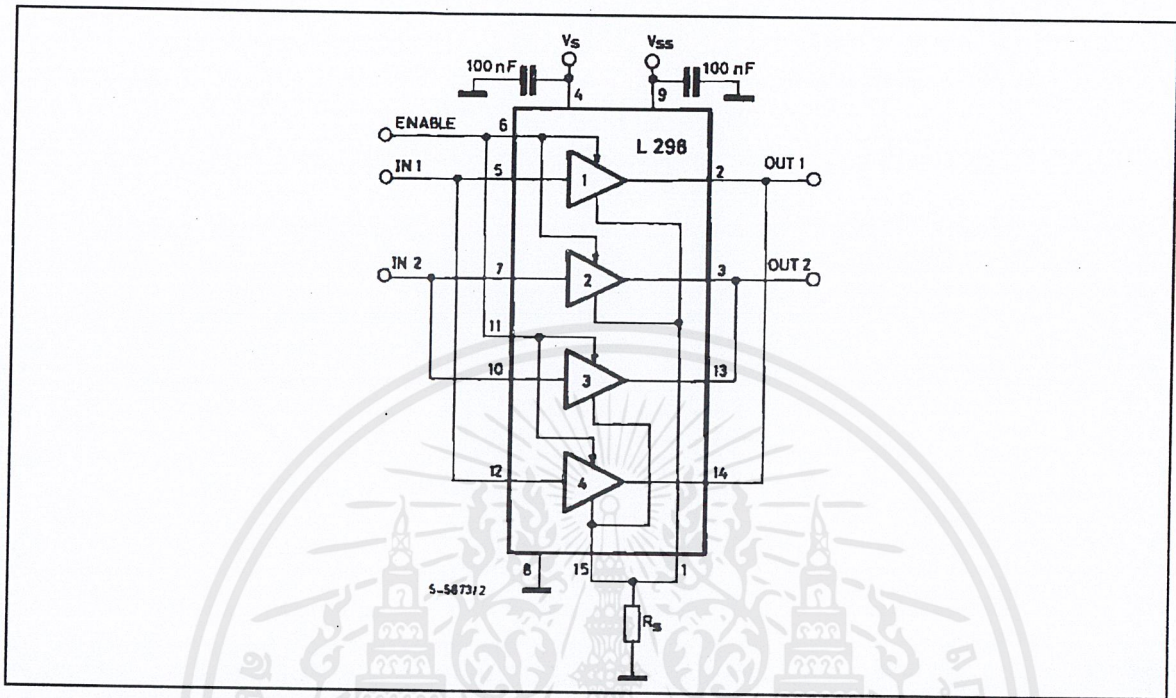


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



**Figure 7 :** For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



## APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

### 1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor ( $R_{SA}$ ;  $R_{SB}$ ) allows to detect the intensity of this current.

### 1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are  $In_1$ ;  $In_2$ ;  $EnA$  and  $In_3$ ;  $In_4$ ;  $EnB$ . The  $In$  inputs set the bridge state when The  $En$  input is high; a low state of the  $En$  input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

## 2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both  $V_s$  and  $V_{ss}$ , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of  $V_s$  that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

## 3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ( $trr \leq 200$  nsec) that must be chosen of a  $V_F$  as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

**Figure 8 :** Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

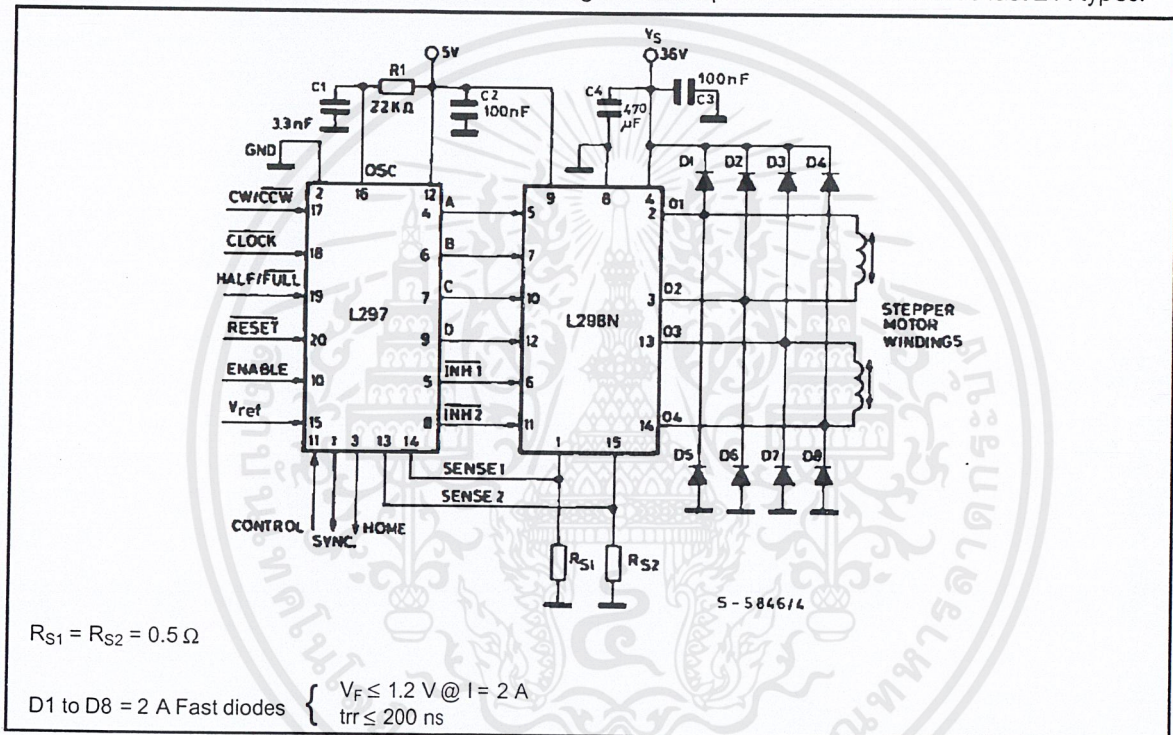
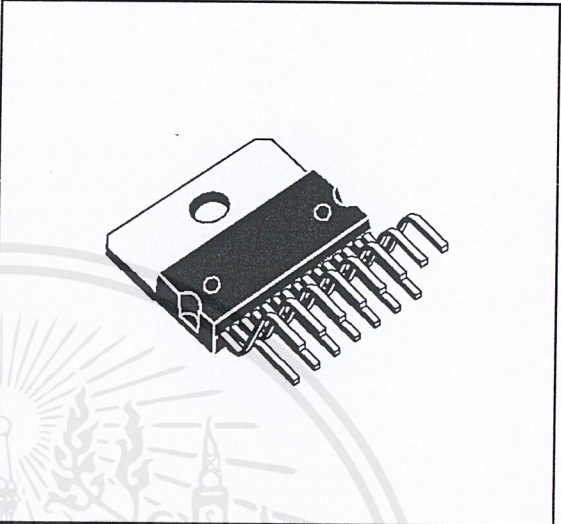


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

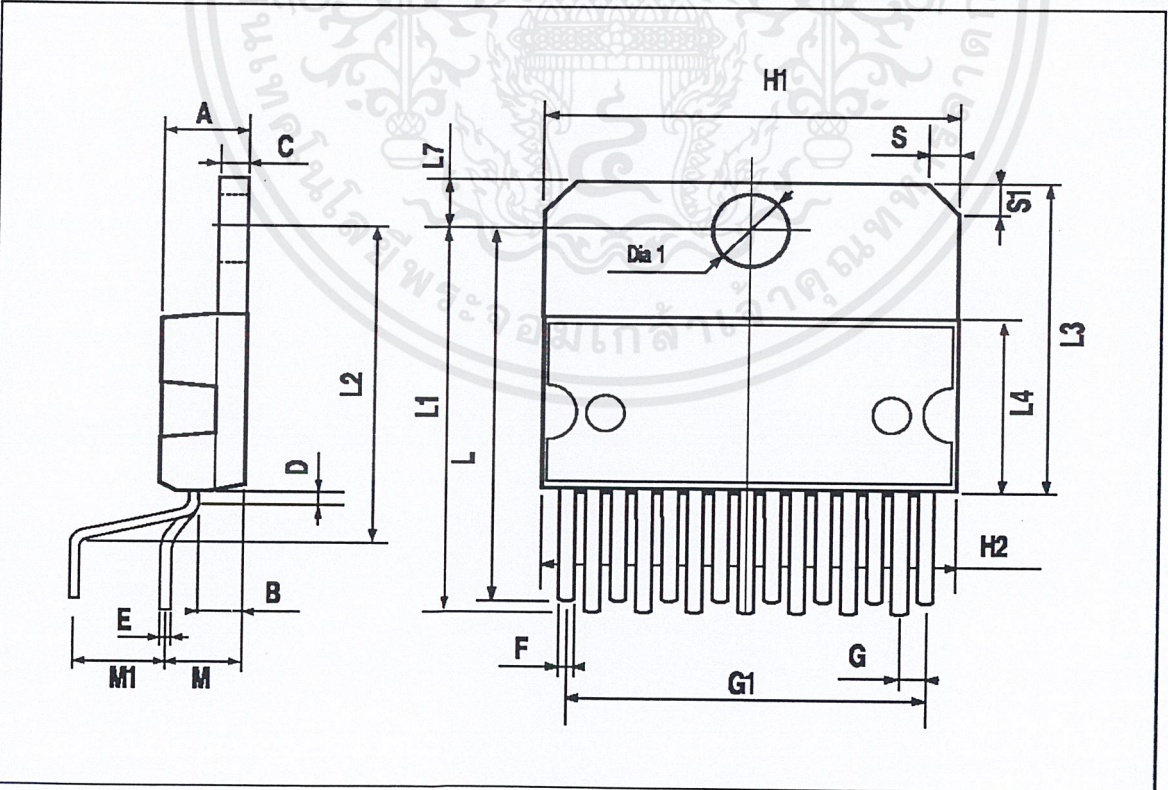


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

**OUTLINE AND MECHANICAL DATA**

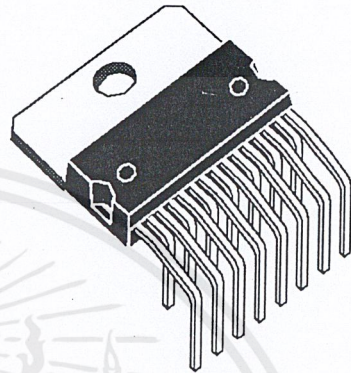


**Multiwatt15 V**

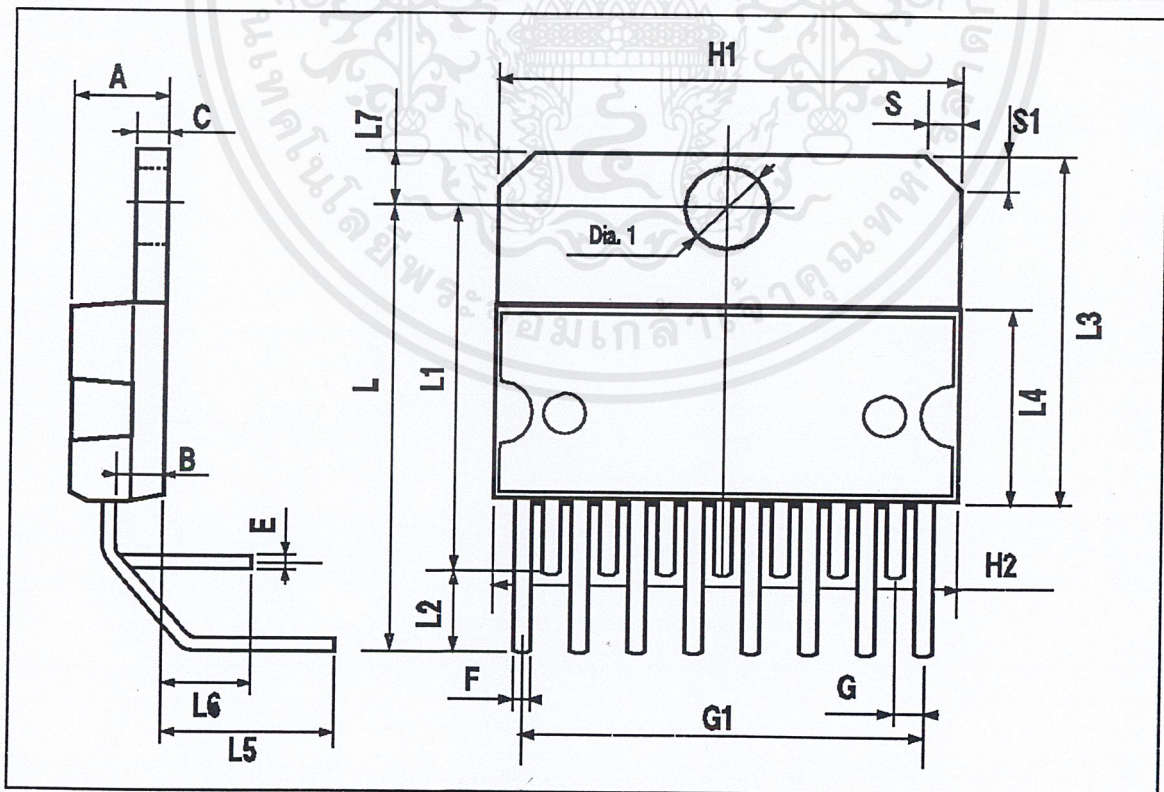


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

## OUTLINE AND MECHANICAL DATA



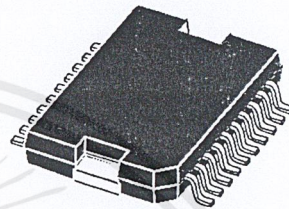
**Multiwatt15 H**



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

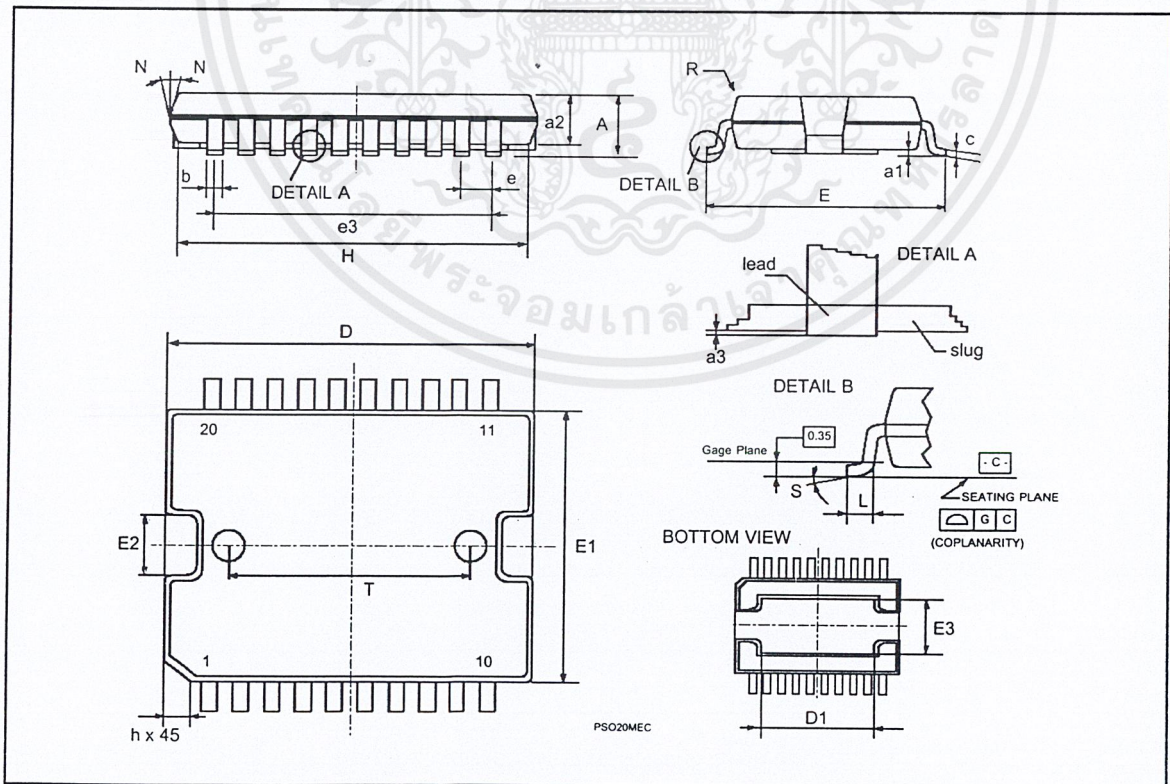
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.  
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").  
 - Critical dimensions "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics  
 © 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved  
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -  
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.  
<http://www.st.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

### General Description

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

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

### Unique Characteristics

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

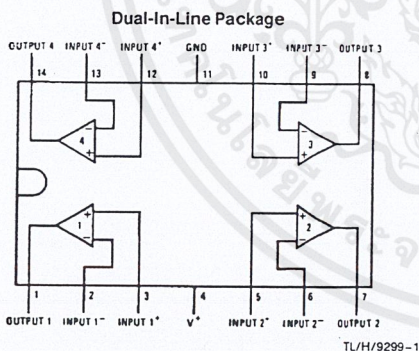
### Advantages

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

### Features

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

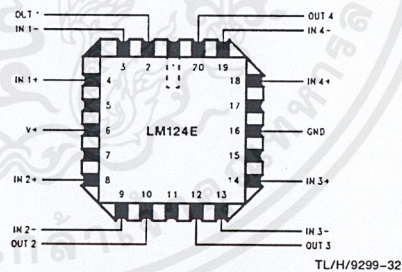
### Connection Diagram



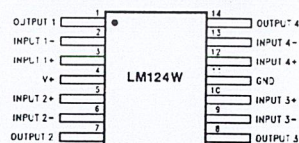
Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883\*\*, LM124AJ/883\*, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N  
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

\*LM124A available per JM38510/11005  
\*\*LM124 available per JM38510/11005



Order Number LM124AE/883 or LM124E/883  
See NS Package Number E20A



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883  
See NS Package Number W14B

## Absolute Maximum Ratings

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

Parameter	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, $V^+$	32V	26V	26V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V	26V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Input Current ( $V_{IN} < -0.3V$ ) (Note 3)	50 mA	50 mA	260°C	260°C
Power Dissipation (Note 1)	1130 mW	1130 mW	215°C	215°C
Molded DIP	1260 mW	1260 mW	220°C	220°C
Cavity DIP	800 mW	800 mW	220°C	220°C
Small Outline Package			250V	250V
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous	250V	250V
$V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$				
Operating Temperature Range	0°C to +70°C	-40°C to +85°C	260°C	260°C
LM324/LM324A				
LM224/LM224A				
LM124/LM124A				

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

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25^\circ C$	1	2	1	3	2	3	2	2	2	2	2	7	mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , (Note 6) $T_A = 25^\circ C$	20	50	40	80	45	100	45	45	45	45	45	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$	2	10	2	15	5	30	3	3	5	5	5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30V$ , (LM2902, $V^+ = 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3	mA
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $R_L \geq 2k\Omega$ , ( $V_O = 1V$ to $11V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.2	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$ , $T_A = 25^\circ C$	50	100	50	100	25	100	25	50	25	100	25	100	
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	50	70	dB
		65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB

**Electrical Characteristics**  $V^+ = +5.0V$  (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	$f = 1 \text{ kHz to } 20 \text{ kHz}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred)													
Output Current	Source	20	40			20	40			20	40			
	Sink	10	20			10	20			10	20			
Short Circuit to Ground	$V_{IN}^+ = 1V, V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50			12	50			12	50			
	$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50			12	50			12	50			
Input Offset Voltage	(Note 2) $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ\text{C}$	40	60			40	60			40	60			
	(Note 5)	4				4				4				
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7	20			7	20			7	20			
	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	30				30				30				
Input Offset Current	$R_S = 0\Omega$	10	200			10	200			10	200			
	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40	100			40	100			40	100			
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30V$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V
	(LM2902, $V^+ = 26V$ )													
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$	25				25				25				V/mV
	(VO Swing = 1V to 11V) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$													
Output Voltage Swing	$V^+ = 30V$	26				26				26				V
	(LM2902, $V^+ = 26V$ )													
VOL	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	27	28			27	28			27	28			
	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5	20			5	20			5	20			
VOL	$V^+ = 5V, R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5	20			5	20			5	20			mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source $V_O = 2V$	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA
	Sink $V_{IN}^- = +1V,$ $V_{IN}^+ = 0V, V^+ = 15V$	10	15	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a  $+125^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $88^\circ C/W$  which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a  $+150^\circ C$  maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . All values of supply voltage in excess of  $+15V$ , continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers. clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the  $V^+$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ C$ ).

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ C$ ).

Note 4: These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM124/LM124A,  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$  for the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM324/LM324A temperature specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .

Note 5:  $V_O \approx 1.4V, R_S = 0\Omega$ , with  $V^+$  from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) for LM2902,  $V^+$  from 5V to 26V.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

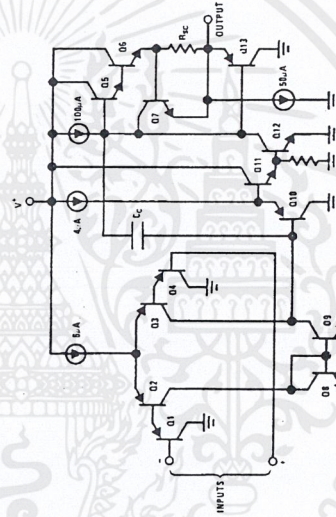
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than  $0.3V$  (at  $25^\circ C$ ). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at  $25^\circ C$ ), but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage ( $+26V$  for LM2902), independent of the magnitude of  $V^+$ .

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

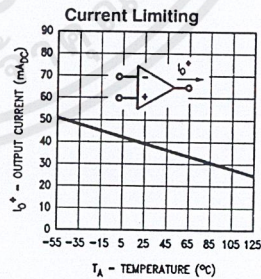
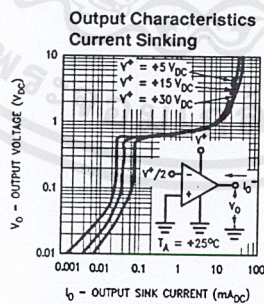
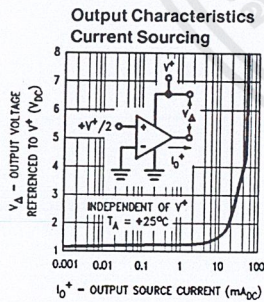
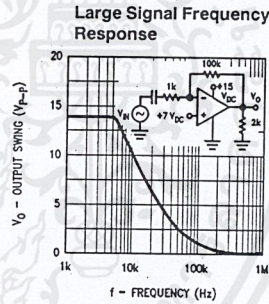
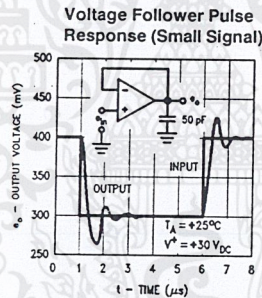
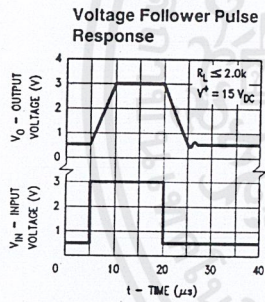
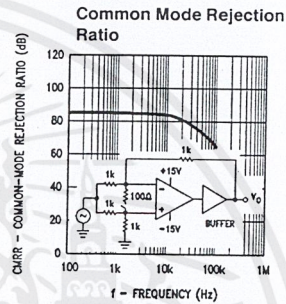
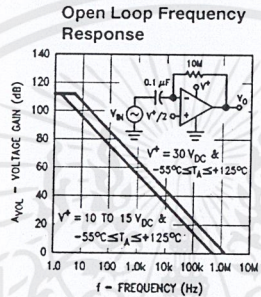
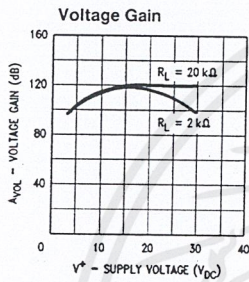
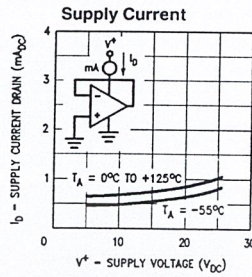
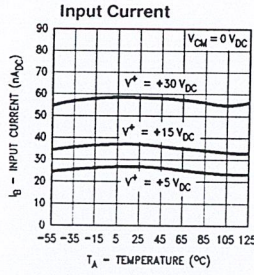
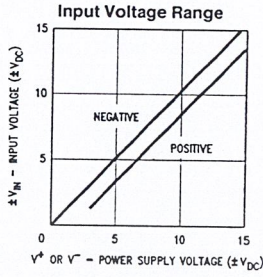
Note 9: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

Note 10: Human body model,  $1.5 k\Omega$  in series with  $100 pF$ .

## Schematic Diagram (Each Amplifier)

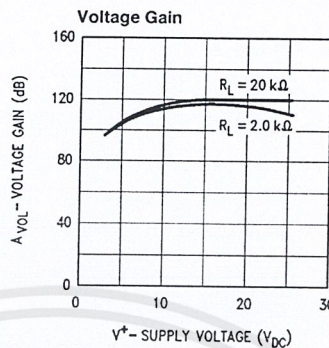
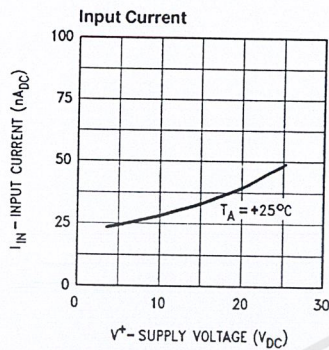


# Typical Performance Characteristics



TL/H/9299-3

## Typical Performance Characteristics (LM2902 only)



TL/H/9299-4

### Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of  $0 V_{DC}$ . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At  $25^\circ\text{C}$  amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of  $2.3 V_{DC}$ .

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3 V_{DC}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of  $50\text{ pF}$  can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

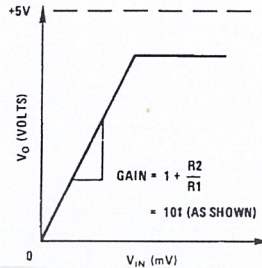
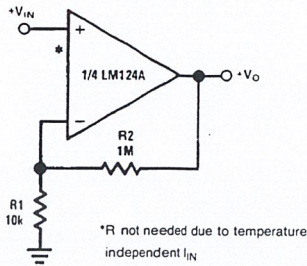
The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from  $3 V_{DC}$  to  $30 V_{DC}$ .

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at  $25^\circ\text{C}$  provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of  $V^+ / 2$ ) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

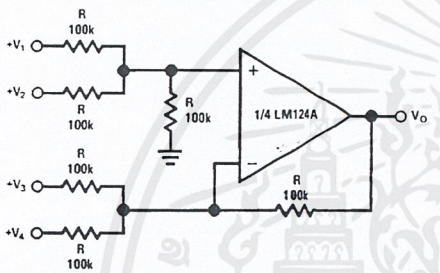
## Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ )

Non-Inverting DC Gain ( $0V$  Input =  $0V$  Output)



TL/H/9299-5

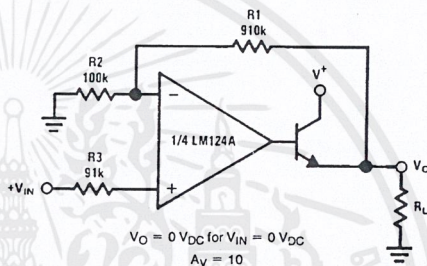
DC Summing Amplifier  
( $V_{IN}'S \geq 0 V_{DC}$  and  $V_O \geq V_{DC}$ )



Where:  $V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$   
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$  to keep  $V_O > 0 V_{DC}$

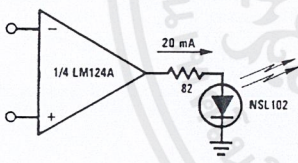
TL/H/9299-6

Power Amplifier



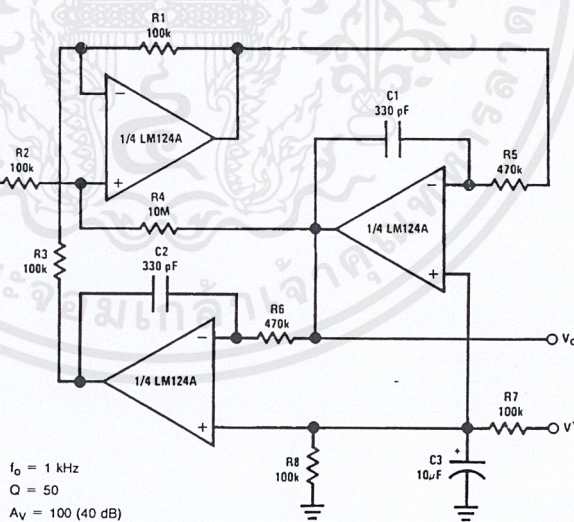
TL/H/9299-7

LED Driver



TL/H/9299-8

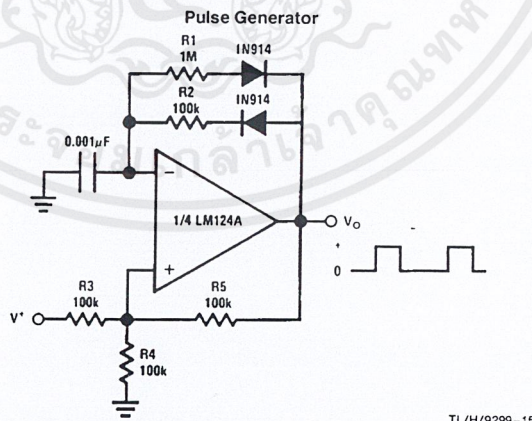
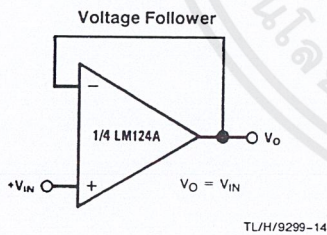
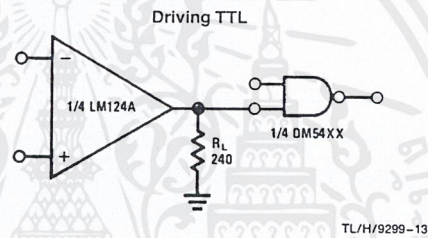
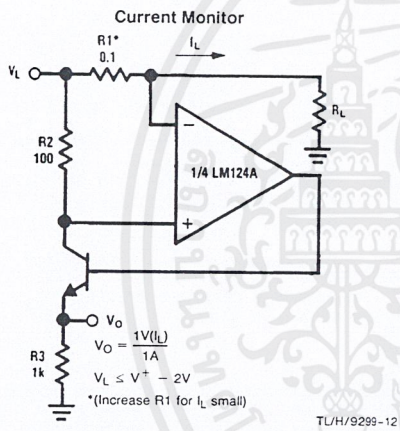
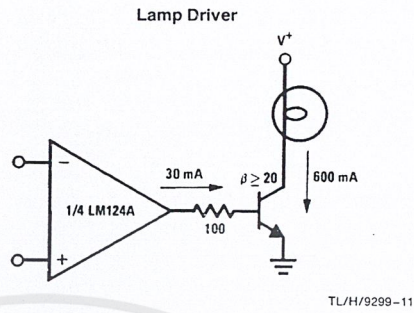
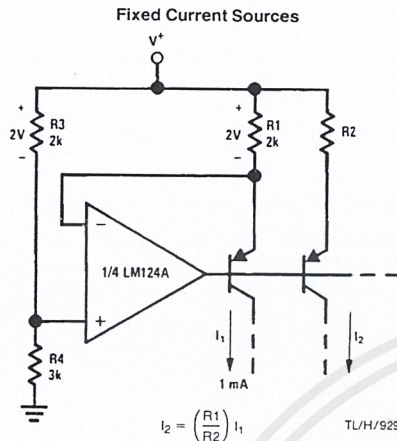
"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 50$   
 $A_V = 100 (40 \text{ dB})$

TL/H/9299-9

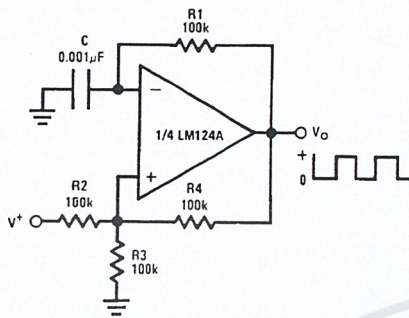
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)



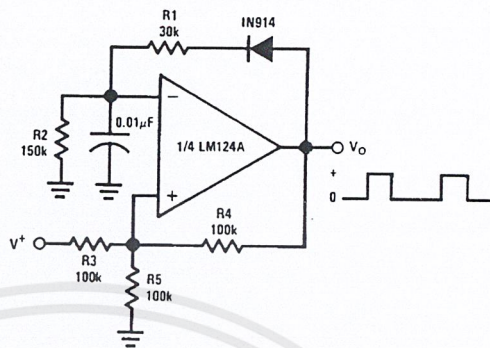
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

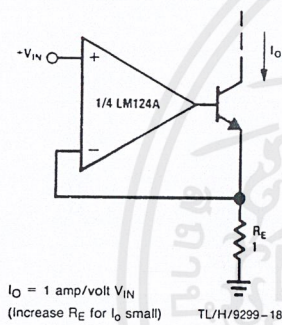
Squarewave Oscillator



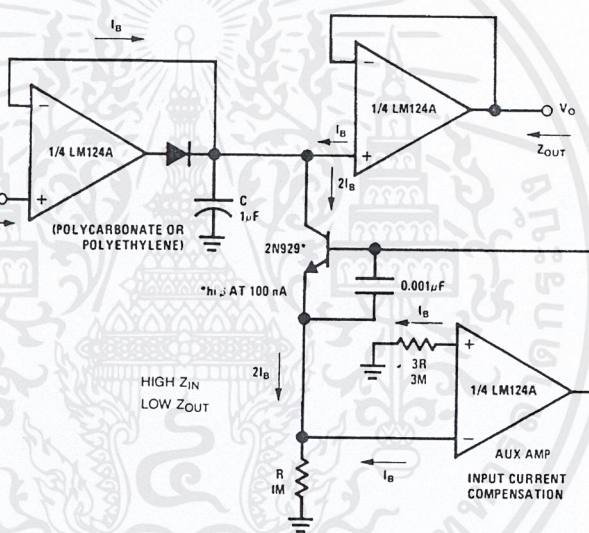
Pulse Generator



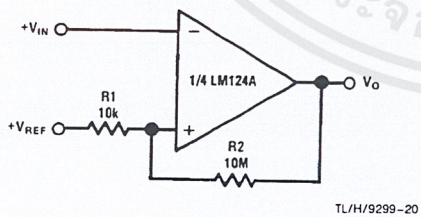
High Compliance Current Sink



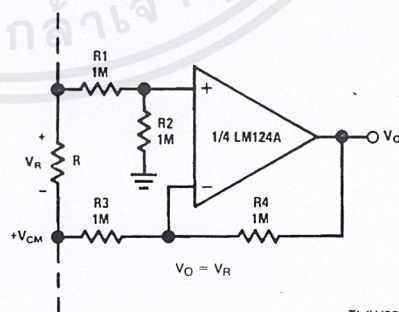
Low Drift Peak Detector



Comparator with Hysteresis

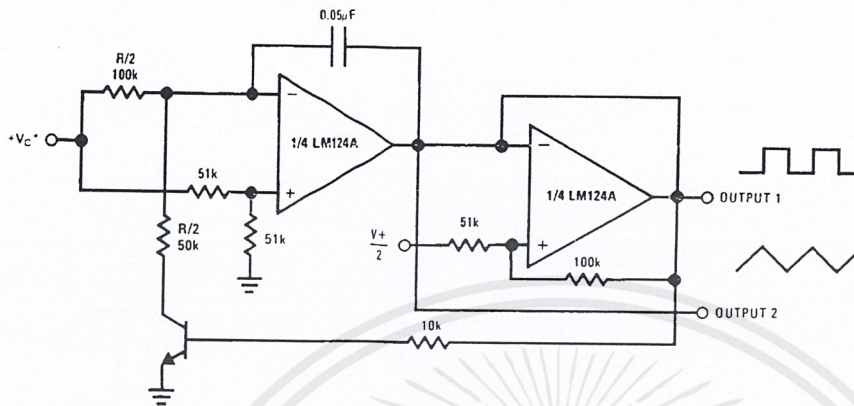


Ground Referencing a Differential Input Signal



## Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

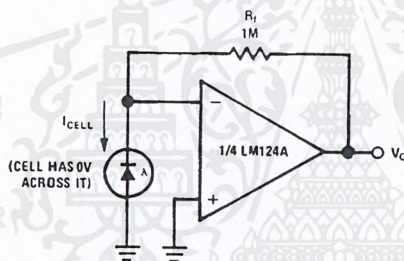
### Voltage Controlled Oscillator Circuit



\*Wide control voltage range:  $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5 V_{DC})$

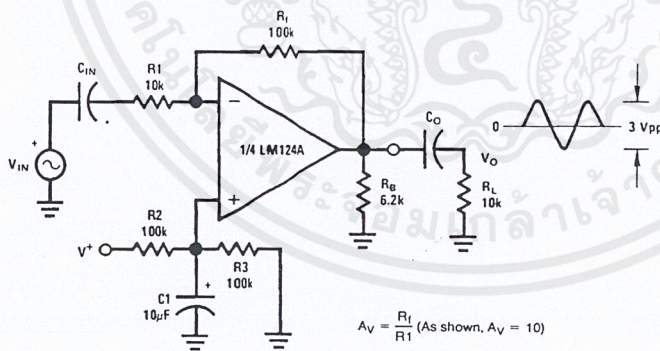
TL/H/9299-22

### Photo Voltaic-Cell Amplifier



TL/H/9299-23

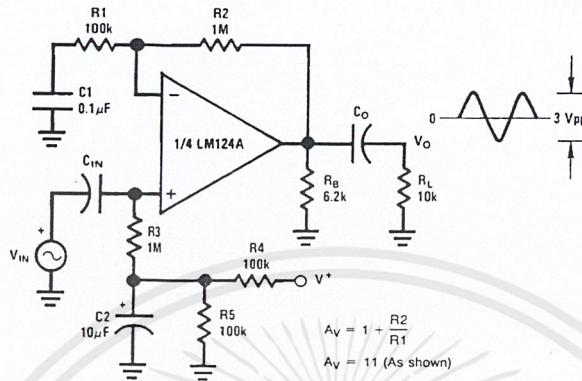
### AC Coupled Inverting Amplifier



TL/H/9299-24

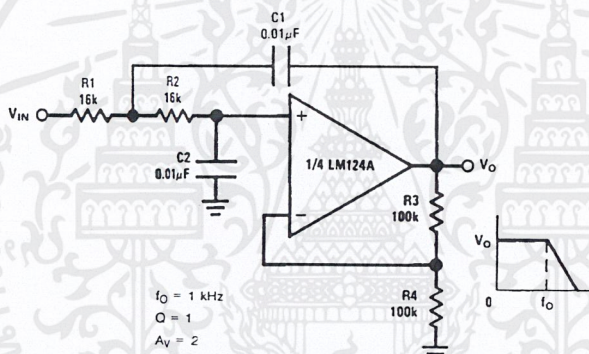
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier



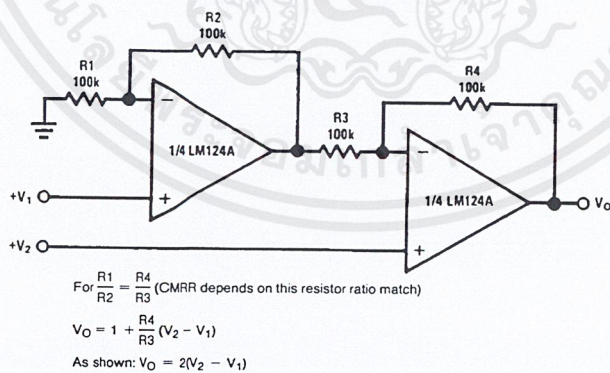
TL/H/9299-25

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



TL/H/9299-26

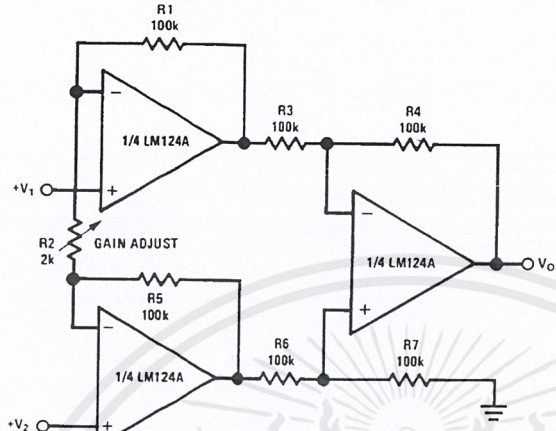
High Input Z, DC Differential Amplifier



TL/H/9299-27

Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier

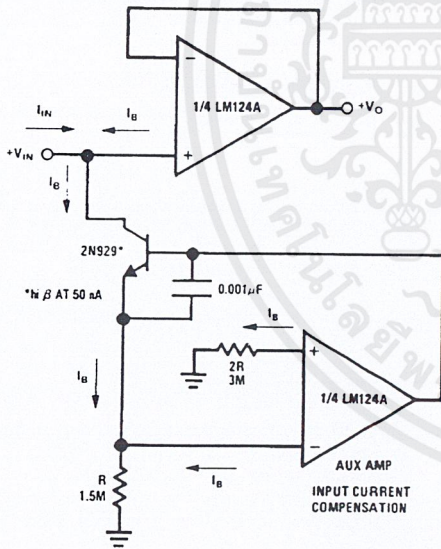


If  $R1 = R5$  &  $R3 = R4 = R6 = R7$  (CMRR depends on match) TL/H/9299-28

$$V_O = 1 - \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

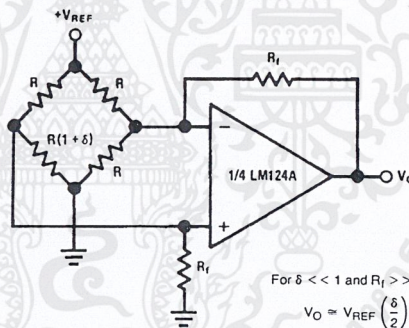
As shown  $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



TL/H/9299-29

Bridge Current Amplifier



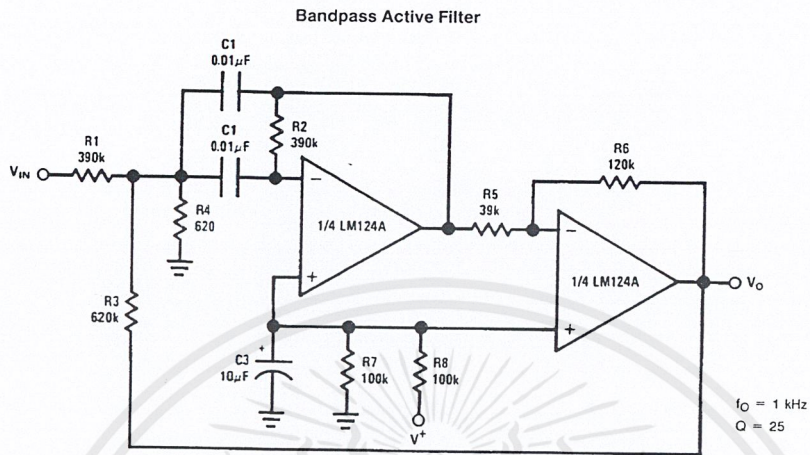
For  $\delta \ll 1$  and  $R_f \gg R$

$$V_O \approx V_{REF} \left( \frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

TL/H/9299-30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

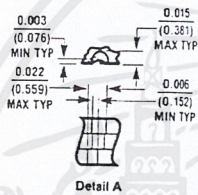
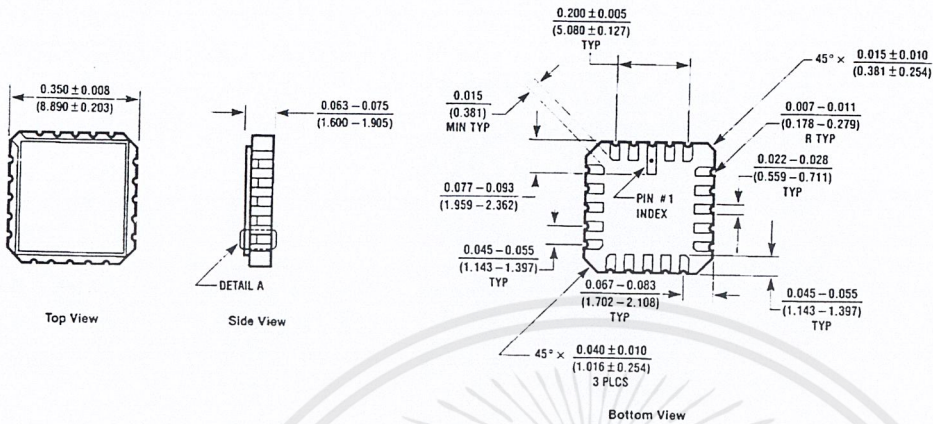
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)



TL/H/9299-31

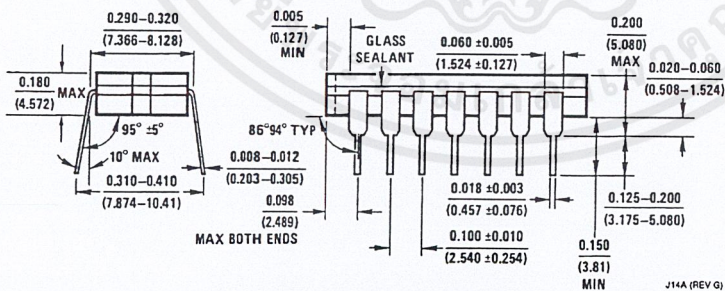
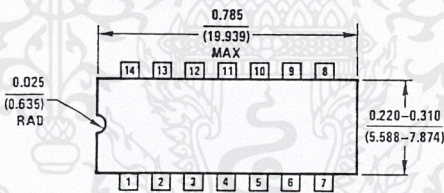
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters)



**Leadless Chip Carrier Package**  
 Order Number LM124AE/883 or LM124E/883  
 NS Package Number E20A

E20A (REV D)

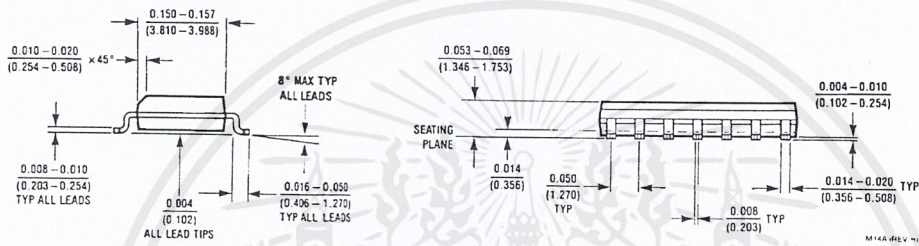
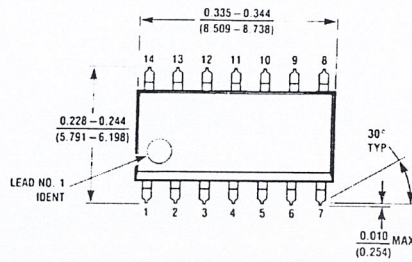


**Ceramic Dual-In-Line Package (J)**  
 Order Number LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J  
 NS Package Number J14A

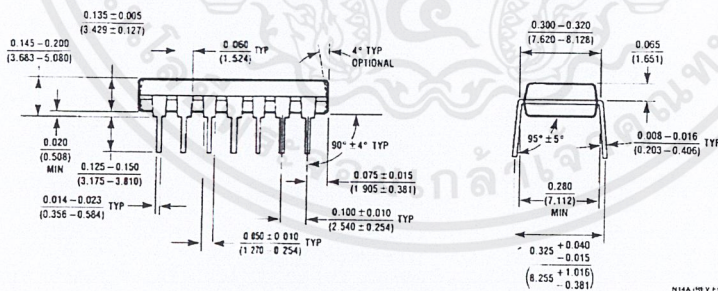
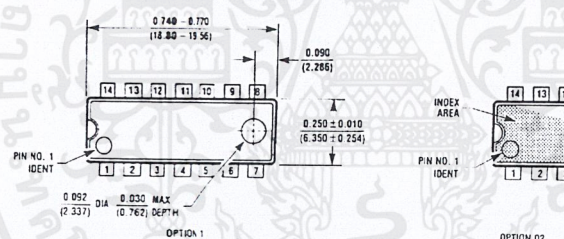
J14A (REV G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



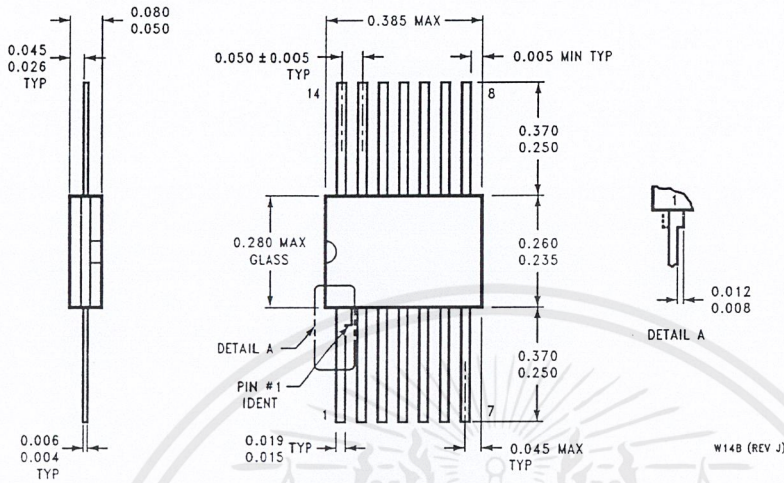
S.O. Package (M)  
Order Number LM324M, LM324AM or LM2902M  
NS Package Number M14A



Molded Dual-In-Line Package (N)  
Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N  
NS Package Number N14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Ceramic Flatpak Package  
Order Number LM124AW/883 or LM124W/883  
NS Package Number W14B

W14B (REV J)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation  
1111 West Bardin Road  
Arlington, TX 76017  
Tel: 1(800) 272-9959  
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe  
Fax: (+49) 0-180-530 85 86  
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com  
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85  
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32  
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58  
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.  
13th Floor, Straight Block,  
Ocean Centre, 5 Canton Rd.  
Tsimshatsui, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: (852) 2737-1600  
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.  
Tel: 81-043-299-2309  
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

## อ้างอิง

- [1] ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ, "การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร, หน้า
- [2] ETT CO.,LTD., "ET-BOARD V4.0" โรงพิมพ์ทิพย์วิสุทธิ์, หน้า 239-254, 2535
- [3] National Semiconductor, "National Operational Amplifiers Databook" National Semiconductor, pp 213-225, 2538
- [4] บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น, "คู่มือ/เทียบเบอร์ ไอซี TTL" บริษัท พี.เอ. ลีฟวิ่ง จำกัด, หน้า 246, 2538

