

รถยนต์วิ้งอัตโนมัติ  
AUTOMATIC CAR



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 50397  
วัน,เดือน,ปี 1 3 11.11.2547

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

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์วิงอัตโนมัติ  
AUTOMATIC CAR



ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง รถยนต์วิ่งอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1. นาย ชนะ ปิยนันทวารินทร์
2. นาย ชัยวุฒิ ชารีงาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์วิงอัติโนมัติ  
AUTOMATIC CAR

นาย ชนะ ปิยนันทวารินทร์ รหัส 42010071

นาย ชัยวุฒิ ชารีงาม รหัส 42010080

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบ



( ศศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูรณ์ )

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รถยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

นาย ชนะ ปิยนันทวารินทร์

นาย ชัยวุฒิ ชาริงาม

ผศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

โครงการชิ้นนี้เป็นโครงการเกี่ยวกับการทดลองสร้างรถ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ไปยังเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งในการเคลื่อนที่นั้นจะต้องสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่วางอยู่บนพื้นได้เองด้วย โครงการนี้ใช้เซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดเป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรเมื่อพบสิ่งกีดขวาง ในการเคลื่อนที่ของรถนั้นเราใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน แต่เนื่องจากที่จะทำให้รถสามารถเดินในสิ่งแวดล้อมจริงได้นั้นมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเราจึงต้องจำกัดสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองไม่ให้มีความซับซ้อนเกินไปนัก

## AUTOMATIC CAR

Chana Piyananthawarin

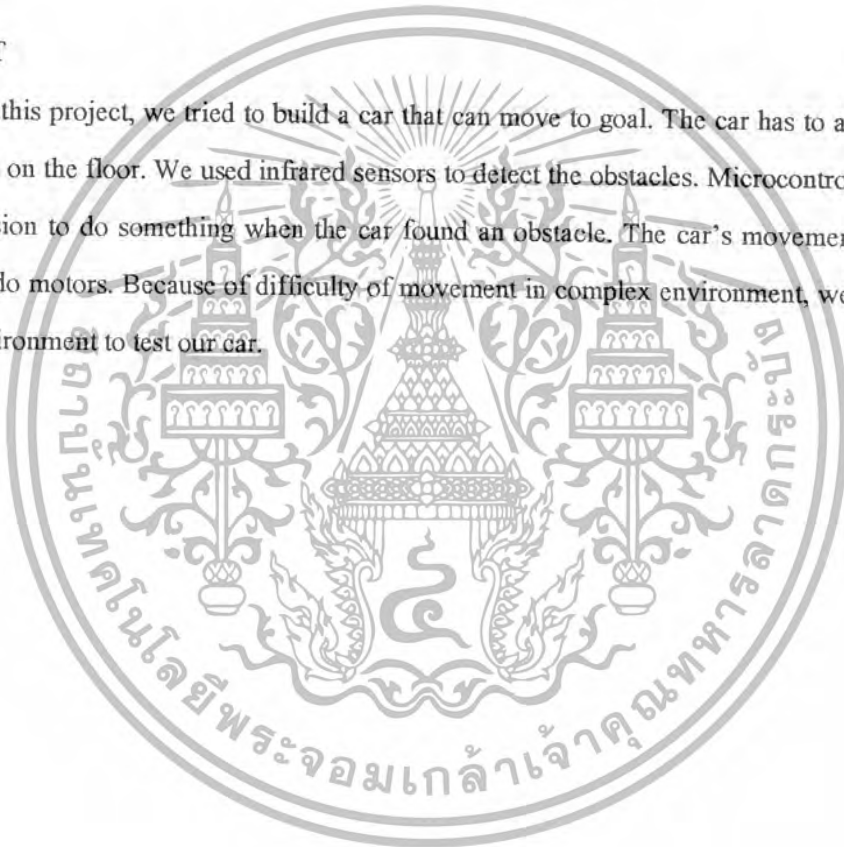
Chaiyawut Charingam

Dr. Suraphun Airpaibul Advisor

2002

### ABSTACT

In this project, we tried to build a car that can move to goal. The car has to avoid crashing an obstacle on the floor. We used infrared sensors to detect the obstacles. Microcontroller is used to make decision to do something when the car found an obstacle. The car's movement is made by using two do motors. Because of difficulty of movement in complex environment, we have chosen simple environment to test our car.



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ใช้เวลาในการศึกษาหาข้อมูลรวบรวมข้อมูลและเก็บรายละเอียดต่างๆ ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานประมาณหนึ่งปีการศึกษา ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการทำงานได้พบกับอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ก็สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน และผู้จัดทำหวังว่าความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่ได้จากการทำงานในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานครั้งต่อไป

ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ท่านอื่นๆ และเพื่อนๆ ร่วมคณะทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนผู้จัดทำเป็นอย่างดี ตลอดจนบิดา มารดาและญาติพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้จัดทำมาโดยตลอดจนงานนี้บรรลุจุดประสงค์ที่ได้ตั้งใจไว้

ทั้งนี้ทางผู้จัดทำได้ขอขอบคุณผู้ร่วมงาน และบุคคลอื่นๆ ที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญยิ่งที่ทำให้ผู้จัดทำสามารถทำงานได้อย่างที่ตั้งใจไว้

.....  
(นายชนะ ปิยนันทวารินทร์)

.....  
(นายชัชวดี ชารีงาม)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	1
<b>บทที่ 2</b> บทถือโดยคณะกรรมการ	2
<b>บทที่ 3</b> หลักการทำงาน	3
3.1 ส่วนวงจรตรวจจับวัตถุ	3
3.2 ส่วนควบคุมการทำงานหลัก	5
3.3 ส่วนควบคุมการทำงานมอเตอร์	8
3.4 ส่วนของการตรวจสอบระยะทาง	9
<b>บทที่ 4</b> ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	13
4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	13
4.1.1 คุณสมบัติของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ของตระกูล MCS-51	13
4.1.2 โครงสร้างภายในของ 8051	13
4.1.3 พอร์ตของ 8051	14
4.1.4 ฝั่งเวลาของซีพียู	16
4.1.5 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ	16
4.1.6 การสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม ของ MCS-51	18
4.1.6.1 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON	16
4.1.6.2 การสื่อสารระหว่างซีพียูหลายตัว	21
4.2 อุปกรณ์เซ็นเซอร์	25
4.2.1 สวิตช์กลไก	25
4.2.2 ตัวตรวจจับวัตถุ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3	สวิทช์ปรอท	28
4.2.4	ตัวตรวจจับแม่เหล็ก	28
4.2.5	อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง	29
4.2.5.1	โฟโต้เซลล์	29
4.2.5.2	โฟโต้ทรานซิสเตอร์	30
4.2.5.3	อินฟราเรด แอลอีดี	32
4.2.5.4	ออปโตไอโซเลเตอร์	33
4.2.5.4.1	ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดคู่	35
4.2.5.4.2	ตัวตรวจจับการสะท้อน	35
4.2.6	อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้ในหุ่นยนต์	35
4.2.6.1	สวิทช์สัมผัส	36
4.2.6.2	อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	36
4.2.6.3	อินฟราเรดเซนเซอร์	36
4.2.7	วงจรมินิฟราเรดเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ตรวจจับใน โครงงาน	37
บทที่ 5	ผลการทดลอง	38
5.1	Drive Motor Circuit	38
5.2	Infrared Sensor Circuit	38
5.3	Counter Circuit	39
5.4	Microcontroller Circuit	40
5.5	Source Circuit	41
5.6	รถวิ่งโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง	42
5.7	การตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางในรูปแบบต่างๆ	43
5.8	รถวิ่งโดยมีสิ่งกีดขวาง	44
บทที่ 6	สรุปและวิจารณ์	45
	ภาคผนวก ก. Source Code	
	ภาคผนวก ข. บล็อกไดอะแกรม	
	ภาคผนวก ค. Data Sheet	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.1.1 วงจรภาคส่ง	3
รูปที่ 3.1.2 วงจรภาครับ	3
รูปที่ 3.1.3 สัญญาณที่ได้จากเอาต์พุทของ IC 555	4
รูปที่ 3.2.1 วงจรควบคุมการทำงานหลัก	6
รูปที่ 3.3.1 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์	8
รูปที่ 3.3.2 ไอซี L293D	9
รูปที่ 3.4.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	10
รูปที่ 4.1.1 แสดง 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS - 51	13
รูปที่ 4.1.2 แสดงตำแหน่งขาของ 89C2051	14
รูปที่ 4.1.3 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0	14
รูปที่ 4.1.4 แสดงผังเวกการทำงานของแต่ละคำสั่ง	16
รูปที่ 4.1.5 แสดงบิตของรีจิสเตอร์ SCON	18
รูปที่ 4.1.6 สัญญาณของการส่งข้อมูลของโหมด 1	20
รูปที่ 4.1.7 แสดงสัญญาณของการส่งข้อมูลของโหมด 2 และ โหมด 3	21
รูปที่ 4.1.8 แสดงการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แบบจุดต่อจุดและหลายจุด	22
รูปที่ 4.1.9 แสดงข้อมูลกำหนดตำแหน่ง ( Address Byte )	23
รูปที่ 4.1.10 แสดงข้อมูลข่าวสาร ( Data Byte )	23
รูปที่ 4.2.1 วงจรใช้ในการแก้ไขการเกิดสวิตช์เบาซ์	26
รูปที่ 4.2.2 ภาพตัดแสดงโครงสร้างของสวิตช์อ่อนตัว	27
รูปที่ 4.2.3 วงจรประยุกต์ใช้งานของสวิตช์อ่อนตัว	27
รูปที่ 4.2.4 วงจรประยุกต์ใช้งานสวิตช์ปรอทตรวจจับความเอียง	28
รูปที่ 4.2.5 วงจรเตือนภัยประยุกต์ใช้งานสวิตช์แม่เหล็ก	29
รูปที่ 4.2.6 วงจรCVOควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตเซลล์	30
รูปที่ 4.2.7 วงจรควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตเซลล์	31
(ก) วงจรทำงานเมื่อแสงตกกระทบ	31
(ข) วงจรหยุดทำงานเมื่อมีแสง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.8	วงจรประยุกต์ใช้งานอินฟราเรดแอลอีดี	32
	(ก) วงจรภาคส่ง	32
	(ข) วงจรภาครับ	32
รูปที่ 4.2.9	(ก) โครงสร้างของออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์อย่างง่าย	33
	(ข) วงจรประยุกต์ใช้งานออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์	33
รูปที่ 4.2.10	(ก) โครงสร้างของออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์แบบคู่	34
	(ข) การประยุกต์ใช้งานออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์	34
รูปที่ 4.2.11	(ก) ลักษณะภายในของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน	34
	(ข) วงจรใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน	34



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1	4
ตารางที่ 3.4.1	11
ตารางที่ 3.4.2	12
ตารางที่ 4.1.1	19
ตารางที่ 4.3.1	26
ตารางที่ 5.1	38
ตารางที่ 5.2.1	38
ตารางที่ 5.2.2	39
ตารางที่ 5.3	40
ตารางที่ 5.6	42
ตารางที่ 5.8	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

โครงการนี้เป็นโครงการเกี่ยวกับการทดลองสร้างรถ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งในการเคลื่อนที่นี้จะต้องสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่วางอยู่บนพื้นได้เองด้วย โครงการนี้ใช้เซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดเป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวตัดสินใจว่าจะทำอะไรเมื่อพบสิ่งกีดขวาง ในการเคลื่อนที่ของรถนั้นเราใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน แต่เนื่องจากที่จะทำให้รถสามารถเดินในสิ่งแวดล้อมจริงได้นั้นมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเราจึงต้องจำกัดสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองไม่ให้ความซับซ้อนจนเกินไปนัก

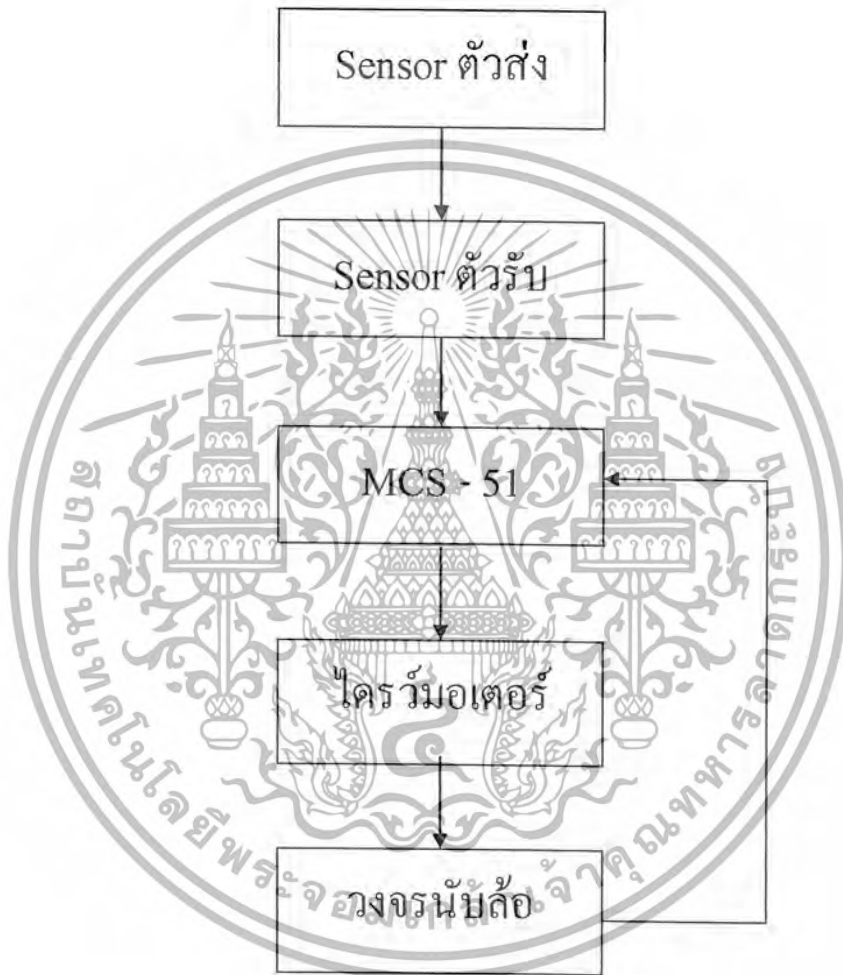
หลายวิธีสำหรับเวลาจริง (real-time) การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่และการออกแบบแนวคิดได้รายงานไว้ในหลายๆ วิธีนี้มีพื้นฐานมาจาก สนามศักย์ประดิษฐ์ (Artificial potential) มากที่สุด เช่น วิธีสนามศักย์ (Potential Field Method) สนามศักย์ทั่วไป (Generalized Potential Field) สนามแรง (Force Field) สนามแรงเหมือนจริง (Virtual Force Field) และเดินเข้าหาเรียงจุดหมาย (Goal Relocation Approach)

อย่างไรก็ตามวิธีสนามศักย์ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด และความยากที่จะพัฒนารถเคลื่อนที่เพราะติดด้านจลศาสตร์ ด้วยเหตุผลหลักที่รถเลี้ยวเป็นวงกลม และไม่สามารถคงเส้นทางเดิม หรือเส้นทางใหม่ได้อย่างทันทีทันใด มากกว่านั้นข้อจำกัดบนรถเคลื่อนที่ในเส้นทางที่เปลี่ยนไปตลอดจะไม่สามารถใช้วิธีสนามศักย์ได้

วิธีต่อไปนี้เป็นทางเลือกทางเดินสำหรับเส้นทางโรงงาน ใช้รูปแบบที่ง่าย สูตรของแผนผังที่เราตั้งเป้าหมายการตัดสินใจที่ดีที่สุด ภายใต้ความไม่แน่นอนของการอ่านค่าของตัวตรวจรู้ (Sensor) เราแสดงการตัดสินใจทางทฤษฎีที่พัฒนา เพื่อแก้ปัญหาหลบหลีกสิ่งกีดขวางเราอธิบายจากกฎและความน่าจะเป็นของรูปแบบตัวตรวจรู้ที่สร้าง เพื่อลดความไม่แน่นอนของการรับข้อมูลอินฟราเรด ความสำเร็จขั้นต้นของ อัลกอริทึม (Algorithm) ของทางเดินโรงงานของฟังก์ชันหาย (loss function) และการสร้างใหม่ (recursive) กฎการตัดสินใจ Bayes สุดท้ายนี้เราแสดงผลบนการพัฒนาจริง

## บทที่ 2

### บล็อกไดอะแกรม



ในการทำงานของรถยนต์วิ่งไปยังเป้าหมายที่กำหนดจะเริ่มค้นทำงานที่ sensor ตัวส่งที่ส่งแสงอินฟราเรดที่มีความถี่ 38 kHz ไปยังตัวรับเพื่อนำผลที่ได้ไปยัง MCS - 51 เพื่อใช้ประมวลผลในการหลบหลีกวัตถุที่ขวางขณะเคลื่อนที่โดยผลจาก MCS - 51 จะนำไปใช้ในการไมโครมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนส่งผลให้วงจรมับัสทำงาน ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จากวงจรมับัสจะส่งไปยัง MCS - 51 ทำให้สามารถคำนวณระยะทางและกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### หลักการทํางาน

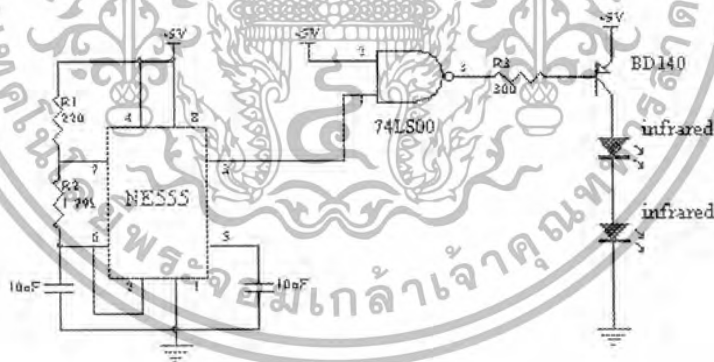
จากที่ได้กล่าวถึงการทำงานของรถและบล็อกไดอะแกรมไปแล้วพอสังเขปแล้วในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานโดยละเอียดในแต่ละส่วน โดยจะกล่าวถึงส่วนประกอบของโครงการให้ทราบเสียก่อนว่าประกอบไปด้วยอะไรบ้างแล้วจะกล่าวถึงหลักการทํางานต่อไป เมื่อทราบส่วนประกอบของโครงการนี้แล้ว ก็เป็นการสร้างชุดวงจรขึ้น โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. ส่วนวงจรตรวจจับวัตถุ
2. ส่วนควบคุมการทํางาน
3. ส่วนควบคุมการทํางานมอเตอร์
4. ส่วนของการตรวจสอบระยะทาง

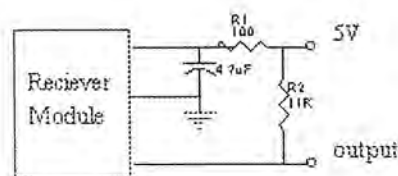
#### 3.1 ส่วนวงจรตรวจจับวัตถุ

ในโครงการนี้ในส่วนของวงจรตรวจจับวัตถุประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

1. วงจรภาคส่ง
2. วงจรภาครับ



รูปที่ 3.1.1 วงจรภาคส่ง

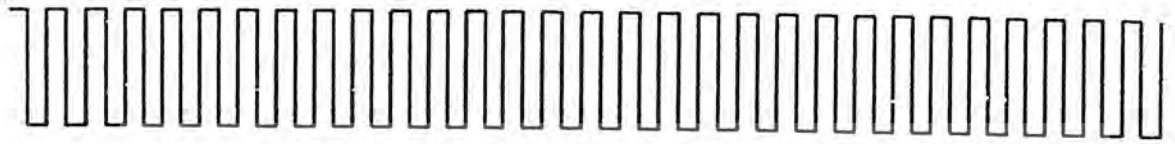


รูปที่ 3.1.2 วงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน

วงจรภาคส่งอินฟราเรดจะเริ่มดำเนินงานที่ IC 555 เพื่อใช้สร้างสัญญาณแคเรียร์ 38 KHz ซึ่งรูปแบบของความถี่นั้นจะอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม ที่มีความกว้างของพัลส์ดังรูปที่ 3.1.3



รูปที่ 3.1.3 สัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของ IC 555

จากรูปจะเห็นว่าช่วงเวลาของ  $t_1$  และ  $t_2$  เราสามารถที่จะกำหนดได้ว่าให้มีความกว้างเป็นเท่าไร โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น เราให้ความกว้างของ  $t_1 = t_2$  นั่นคือ Duty Cycle เท่ากับ 50% ซึ่งเราสามารถออกแบบได้

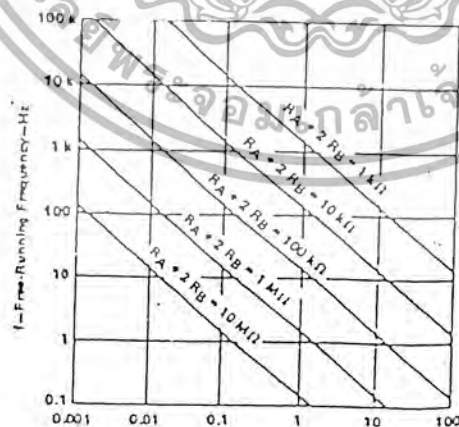
$$\text{จากสมการ } t_1 + t_2 = T = 0.693 (R_1 + 2R_2)C$$

$$\text{และ } F = 1.44 / (R_1 + 2R_2)C$$

แทนค่า  $F = 38 \text{ kHz}$  จะได้

$$38 \times 10^3 = 1.44 / (R_1 + 2R_2)C$$

จากสมการข้างต้นเรามี ตัวแปร 2 ตัวคือ R และ C การออกแบบเราจะกำหนดของ C ก่อนเพราะมีค่าเฉพาะและหาได้จากตารางความสัมพันธ์ตารางที่ 3.1



ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่า R, C และ ความถี่

จากตารางเลือกค่า  $C = 0.01 \mu\text{F}$

จะได้  $38 \times 10^3 = 1.44 / (R_1 + 2R_2) \times 0.01 \times 10^{-6}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1 + 2R_2 = 1.44 / (38 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6})$$

$$= 3.8 \text{ kHz}$$

$$\text{ให้ } R_1 = 220 \Omega$$

$$220 + 2R_2 = 38 \times 10^3$$

$$R_2 = (38 \times 10^3 - 220) / 2$$

$$= 1.79 \text{ k}\Omega$$

$$\text{ค่าDuty Cycle} = (R_1 + R_2) / (R_1 + 2R_2)$$

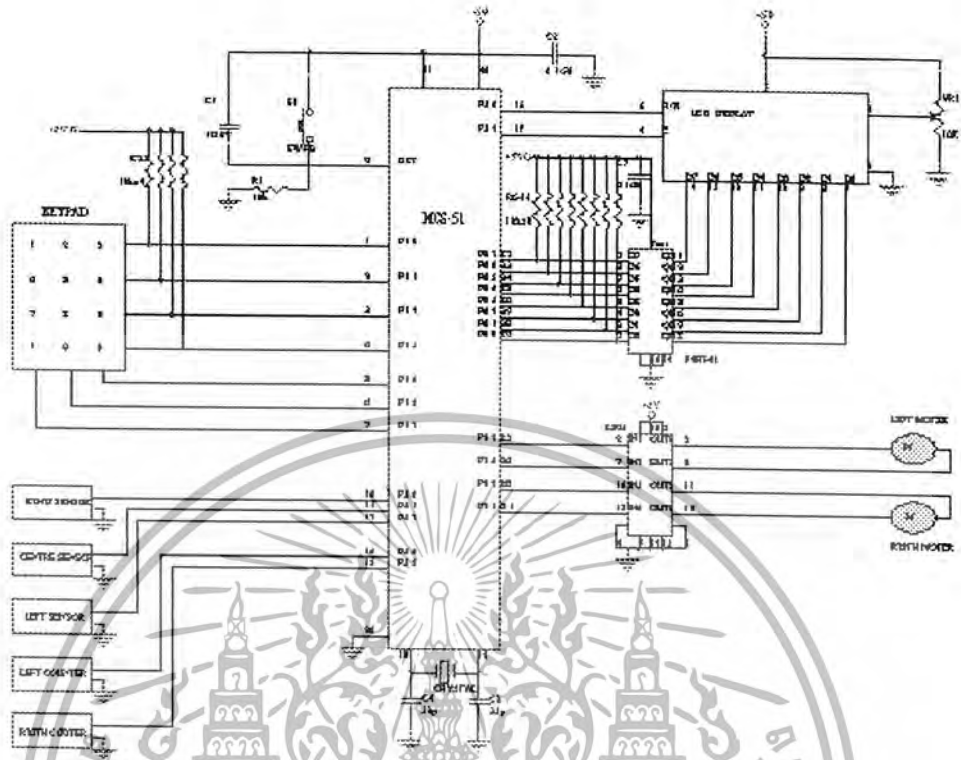
$$= (220 + 1790) / (220 + 2 \times 1790)$$

$$= 53 \%$$

จากค่าที่คำนวณได้เราจะได้แคเรียร์ 38 kHz เพื่อนำข้อมูลส่งไปกลับแสงอินฟราเรดเพื่อไปยัง วงจรภาครับที่มีโมดูลตัวรับหรือReceiver Module เป็นส่วนรับสัญญาณอินฟราเรดที่สำเร็จรูป มีความสามารถหลายอย่างคือ มีวงจรขยายสัญญาณอยู่ภายในตัว มีแบนด์พาสฟิลเตอร์ ดีมอดคูเลเตอร์ เป็นต้น โมดูลตัวรับจะรับสัญญาณดิจิทัลที่ถูกมอดูเลตด้วยความถี่ประมาณ 38 kHz เท่านั้นซึ่งจะไม่รับสัญญาณจากแหล่งอื่นที่ความถี่ไม่ตรงกับ 38 kHz หลังจากได้รับสัญญาณจากโมดูลตัวรับเรียบร้อยแล้ว สัญญาณที่ได้ก็นำเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ที่ขา 10,11,12 ซึ่งเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณเข้ามาแล้วก็จะมาตรวจสอบสัญญาณว่าเป็นสัญญาณควบคุมที่ส่งมาหรือไม่ ถ้าตรงกับสัญญาณควบคุมที่ตั้งไว้ก็จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรมอเตอร์เตอร์ผ่านทาง พอร์ต 2.1 , 2.2 , 2.3 และ 2.7

### 3.2 ส่วนควบคุมการทำงานหลัก

ในการทำงานวงจรควบคุมส่วนนี้ได้นำชิพยูนิคอร์ 89C51 มาใช้ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดเนื่องจากโครงสร้างภายในมีรอม ขนาด 4 กิโลไบต์ เพื่อต้องการอ่านค่าจากวงจรเซ็นเซอร์ มาใช้ในการกำหนดทิศทางการเดินทางของรถ



รูปที่ 3.2.1 วงจรควบคุมการทำงานหลัก

3.2.1 โปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ

การทำงานของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ จะถูกควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 โดยในตอนแรกจะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ จากนั้นจะทำการรับค่าระยะทางเป้าหมายในพิกัด (X,Y) จากคีย์บอร์ด และสุดท้ายรถจะวิ่งไปยังเป้าหมายโดยสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งสามารถแสดงได้โดยแผนภาพการไหลดังรูป

3.2.2 โปรแกรมควบคุมให้รถวิ่งไปยังเป้าหมาย

ขั้นตอนของโปรแกรมแสดงได้ดังรูป ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือขั้นตอนแรกจะเป็นการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ต่างๆ เช่น กำหนดโหมดไทมเมอร์คาน์เตอร์ จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าถึงเป้าหมายหรือยัง ถ้ายังไม่ถึงเป้าหมายก็จะไปตรวจสอบเซ็นเซอร์ว่าตรวจพบวัตถุหรือไม่ ถ้าเซ็นเซอร์ตรวจไม่พบวัตถุก็จะไปตรวจสอบระยะเป้าหมายอีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้าเซ็นเซอร์ตรวจพบวัตถุก็จะทำการเลี้ยวหลบตามลักษณะของพิกัดข้อมูลตำแหน่งวัตถุที่เซ็นเซอร์ตรวจพบซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ถ้าบิขข้อมูลตำแหน่งวัตถุที่เซ็นเซอร์ตรวจพบมีค่าเป็น 000 ( เซ็นเซอร์ทั้ง3ตัวตรวจพบวัตถุ ), 011( เซ็นเซอร์ตัวทางซ้ายตรวจพบวัตถุ ), 001 ( เซ็นเซอร์ตัวทางซ้ายและเซ็นเซอร์ตัวกลางตรวจพบวัตถุ ), 101 ( เซ็นเซอร์ตัวกลางตรวจพบวัตถุ ), 010 ( เซ็นเซอร์ตัวทางซ้ายและเซ็นเซอร์ตัวทางขวาตรวจพบวัตถุ ) โปรแกรมจะให้รถจะเลี้ยวหลบทางขวา

2. ถ้าบิขข้อมูลตำแหน่งวัตถุที่เซ็นเซอร์ตรวจพบมีค่าเป็น 100 ( เซ็นเซอร์ตัวทางขวาและเซ็นเซอร์ตัวกลางตรวจพบวัตถุ ), 110 ( เซ็นเซอร์ตัวทางขวาตรวจพบวัตถุ ) โปรแกรมจะให้รถจะเลี้ยวหลบทางซ้ายเมื่อทำการเลี้ยวหลบแล้ว โปรแกรมก็จะกลับไปตรวจสอบระยะเป้าหมายอีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งถึงระยะพิกัดเป้าหมายโปรแกรมก็จะสิ้นสุดการทำงาน

### 3.2.3 โปรแกรมวัดระยะทาง

การวัดระยะทางในการเคลื่อนที่ของรถ จะอาศัยการนับพัลซ์จากการหมุนของมอเตอร์

สำหรับการคำนวณระยะทางนั้นสามารถทำได้ดังนี้

- เส้นรอบวงของล้อยาว 22 เซนติเมตร
- รถเคลื่อนที่ครบ 1 รอบสามารถนับพัลซ์ได้ 16 พัลซ์
- ถ้ารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 30 เซนติเมตร จะคิดเป็นจำนวนพัลซ์เท่ากับ  $(16/22) * 30 = 22$  พัลซ์ โดยประมาณ

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้โปรแกรมสามารถรู้ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ได้โดยการนับจำนวนพัลซ์นั่นเอง สำหรับโปรแกรมวัดระยะทาง จะทำโดยการเก็บค่าระยะทางเป้าหมายไว้ในรีจิสเตอร์(ระยะทางเป้าหมายจะอยู่ในรูปของจำนวนพัลซ์)แล้วควบคุมให้เคาน์เตอร์นับจำนวนพัลซ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางเป้าหมายกับค่าระยะทางที่นับได้ถ้าระยะทางทั้ง 2 เท่ากันแสดงว่ารถได้เคลื่อนที่มาถึงเป้าหมายแล้วโปรแกรมก็จะจบการทำงาน

### 3.2.4 โปรแกรมควบคุมการเลี้ยว

ในการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา เพื่อไม่ให้เสียระยะทางที่เกิดจากการเลี้ยวจึงต้องให้ล้อข้างหนึ่งหมุนไปข้างหน้าอีกข้างหมุนกลับหลังเป็นระยะทางที่เท่ากันเพื่อให้รถหมุนรอบจุดศูนย์กลาง

การเลี้ยวจะควบคุมให้รถเลี้ยวเป็นมุมฉากเพื่อให้รถอยู่บนแกนของพิกัดเป้าหมาย ในการเลี้ยวจะมีการคำนวณดังนี้

- ระยะห่างระหว่างล้อมีค่าเท่ากับ 31.5 เซนติเมตร
- ล้อทั้ง 2 ต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางที่อยู่ระหว่างล้อเป็นแนวโค้งของวงกลม
- ระยะจากจุดศูนย์กลางระหว่างล้อ ไปยังล้อแต่ละด้านคิดเป็น  $(31.5/2)$  เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การที่จะให้รถเลี้ยวเป็นมุมฉากจะต้องให้ล้อของรถแต่ละด้านหมุนไปเป็นระยะทางเท่ากับหนึ่งในสี่ของเส้นรอบวง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $(1/4) * 2\pi * (31.5/2) = 24.75$  เซ็นติเมตร คิดเป็นจำนวนพัลส์เท่ากับ  $(16/22) * 24.75 = 18$  พัลส์

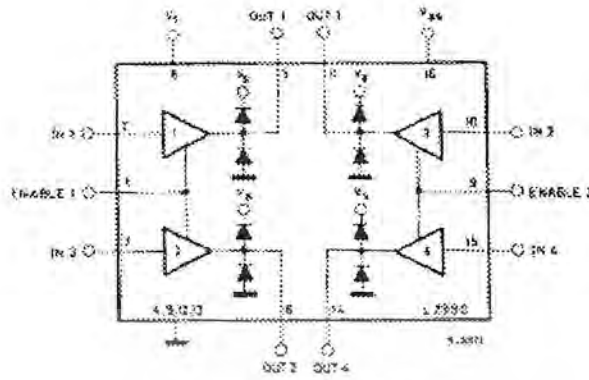
สำหรับโปรแกรมควบคุมการเลี้ยวแสดงได้ดังแผนภาพการไหลรูป ซึ่งเป็นโปรแกรมการเลี้ยวขวาสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ เริ่มต้นจะมีการกำหนดคาน์เตอร์ทั้ง 2 ข้างเป็นโหมด 2 ซึ่งเป็นไทเมอร์คาน์เตอร์ 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ มีการกำหนดค่าเริ่มของการนับ ในส่วนโปรแกรมจะทำการตรวจสอบบิต TF0 และ TF1 ว่ามีการเซ็ทหรือไม่ ( เกิดโอเวอร์โฟลวหรือไม่ ) ถ้าพบว่าบิตข้างใดเกิดการเซ็ทก็จะทำการปิดมอเตอร์ข้างนั้นจนกระทั่งปิดมอเตอร์ครบทั้ง 2 ข้าง

### 3.3 ส่วนควบคุมการทำงานมอเตอร์

จากการศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์กระแสตรงมาแล้ว ได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์ดังนี้



รูปที่ 3.3.1 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 3.3.2 ไอซี L293D

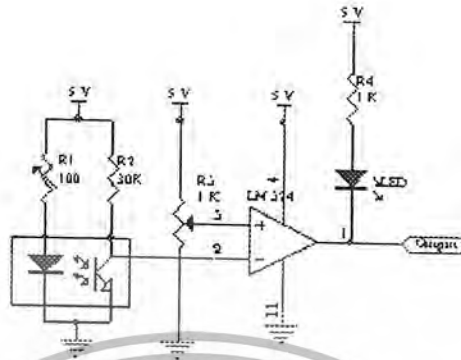
จากการทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์ อินพุตทุกตัวจะได้อาจมาจาก พอร์ต 2 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ P2.0 – 2.3 ซึ่งเมื่อผ่าน ไอซี L293D เอาท์พุทที่ได้จะใช้ในการควบคุม มอเตอร์โดยดูได้จากตารางที่ 3.3.1 สภาวะการควบคุมการหมุนมอเตอร์

### 3.4 ส่วนของการตรวจสอบระยะทาง

เนื่องจากออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติอัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10,000 เท่า หรือ 1,000,000 เท่า เท่านั้น ซึ่งเรียกว่าอัตราขยายขณะเปิดลูป (Av.) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อย ระหว่างอินพุททั้งสองข้างของออปแอมป์ เอาท์พุทก็จะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นไปหลายเท่า แต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ออปแอมป์ด้วย แต่อเอาท์พุทจะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริงเนื่องจากเกิดแรงดันตกคร่อมภายใน ดังนั้นแรงดันเอาท์พุทสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90% ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้เป็นคอมพาราเตอร์ (Comparator) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาท์พุทจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่าง ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์

ถ้าขั้วลบมีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้วบวก เอาท์พุท เป็น ศักดาต่ำ  
ถ้าขั้วลบมีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้วบวก เอาท์พุท เป็น ศักดาสูง



รูปที่ 3.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ในส่วนนี้ได้ใช้ ไอซีเบอร์ LM 324 เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงดันที่ได้รับจากอินพุทเพื่อทำการตรวจเช็คค่าเซนเซอร์ที่อยู่ในสถานะ สะท้อนเส้นสีอะไร

หลักการสะท้อนของแสง คือเมื่อแสงตกกระทบเส้นสีขาวจะเกิดการสะท้อนกลับของแสง และเมื่อแสงตกกระทบเส้นสีดำแสงจะถูกดูดกลืน โดยเมื่อ แสงสะท้อนเส้นสีขาวแรงดันที่ขา อินเวอร์ตติ้งของออปแอมป์ จะเป็น 0 ทำให้เอาท์พุทที่ออกมาเป็น บวก คือ LED จะดับ และเมื่อแสงตกกระทบเส้นสีดำ แสงจะถูกดูดกลืนไว้ และ ไม่มีการสะท้อนกลับของแสง ทำให้ที่ขาอินเวอร์ตติ้ง ของออปแอมป์จะเป็น 1 ทำให้เอาท์พุทที่ออกมาเป็น 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 ความต้านทานที่ขาคอลเลกเตอร์ ที่ความถี่แสงที่ LED ปล่อยออกมา โฟโตทรานซิสเตอร์ ที่ใช้จะมีอัตราขยายสูงสุดที่ค่าความต้านทาน ( $R_2$ ) มีค่า = 30 K $\Omega$  ดูได้จากผลการทดลองข้างล่าง

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

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

$$R_2 = 30 \text{ K}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4.1 ผลการทดลองความไวของเซ็นเซอร์ที่ความต้านทานค่าต่างๆ

$R_2=1K$	$V_{CC}$	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
$R_2=5.6K$	$V_{WHITE}$	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
$R_2=10K$	$V_{WHITE}$	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
$R_2=20K$	$V_{WHITE}$	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
$R_2=30K$	$V_{WHITE}$	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
$R_2=47K$	$V_{WHITE}$	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	$V_{CC}$	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V
$I_{BIAS}$	$VR_1$	0 V	0.6 V	1.8 V	2.7 V	3.6 V

โดยที่  $V_{WHITE}$  คือ แรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จากขาคอลเล็กเตอร์เทียบกับกราวด์ ในขณะที่เซ็นเซอร์พบเส้นสีขาว และ  $V_{BLACK}$  คือแรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จากขาคอลเล็กเตอร์เทียบกับกราวด์ ในขณะที่เซ็นเซอร์พบเส้นสีดำ โดยค่าในตารางนี้ได้ทำการทดลองวัดค่า ที่ความต้านทานค่าต่างๆ และในระดับแรงดันที่แตกต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 1 V ไปจนถึง 5 V

เมื่อต้องการหาค่า  $I_{BIAS}$  สามารถทำได้โดย วัดแรงดันที่ตกคร่อม  $R_1$  ก็จะได้ค่าแรงดัน  $VR_1$  ในระดับแรงดันต่างๆ ตามที่กำหนดไว้

$$\Delta V = (V_{BLACK} - V_{WHITE})$$

$$I_{BIAS} = (VR_1/100)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4.2 ค่าความแตกต่างระหว่างสีขาวกับสีดำ

$R_2$	$\Delta V = (V_{\text{BLACK}} - V_{\text{WHITE}})$				
$R_2=1K$	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
$I_{\text{BIAS}}$ ที่คำนวณได้	0 mA	6 mA	18 mA	27 mA	36 mA

คำนวณหาค่าความต้านทาน ( $R_3$ ) โดยที่ค่าความต้านทานค่านี้เป็นค่าความต้านทาน แบบปรับค่าได้ โดยที่ ( $R_3$ ) นี้ทำหน้าที่สร้างแรงดันอ้างอิงให้กับ ออปแอมป์ เพื่อให้ทำการเปรียบเทียบกันแรงดันที่ขาคอลเลกเตอร์ ของ โฟโตทรานซิสเตอร์

กระแสที่ไหลผ่าน  $R_3 = 5 \text{ mA}$

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

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

คำนวณหาค่าความต้านทาน ( $R_4$ ) ที่เอาท์พุทของออปแอมป์ในวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ที่ทำให้ LED แสดงผลมีความสว่างสูงสุด

แรงดันที่ตกคร่อม LED = 1.5 V และมีกระแสไหลผ่าน 3.5 mA

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

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

$$R_4 = 1K\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

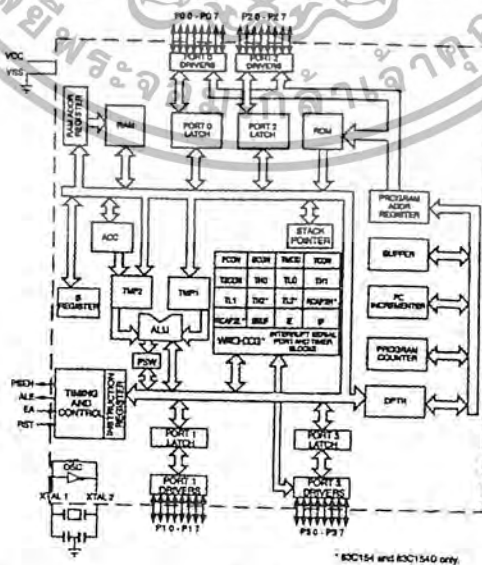
#### 4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS - 51

##### 4.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ของตระกูล MCS - 51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม ( Program Memory ) ขนาด 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ( Data memory ) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไป มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- มีโปรแกรมเมอร์ เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด
- รับอินเทอร์รัพท์ได้ 6 แห่ง 5 เวกเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ตแบบ Full Duplex เก็บรูปได้ 4 ไทมด
- มีคำสั่งในการทำ AND , OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

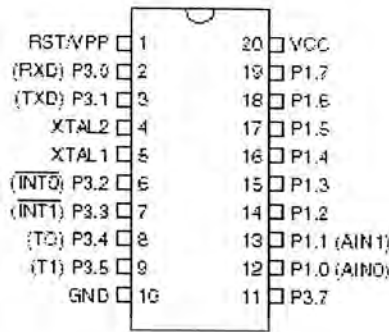
##### 4.1.2 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS - 51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 4.1.1 แสดง 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS - 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



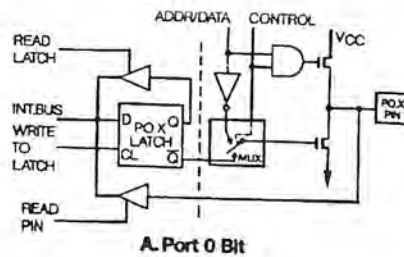
รูปที่ 4.1.2 แสดงตำแหน่งขาของ 89C2051

### 4.1.3 พอร์ตของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขาซึ่งมีขาต่างๆดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ + 5V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ( P0.0-P0.7) มีโครงสร้างแบบ Open-Drain Bi-directional ดังรูปที่ 3.3

พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ( P0.0-P0.7) ใช้งานได้ 2 หน้าที่คือ แอคเตสบัส และ ดาต้าบัสเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็นไอโอพอร์ต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “ 1 ” ไปยังพอร์ตนี จะมีผลให้ Q ของ D-FF เป็น “ 1 ” ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ตนีโดยส่งสัญญาณ READ LATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบนและการอ่าน Port ( pin ) จะใช้สัญญาณ READ ( pin )



รูปที่ 4.1.3 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ท 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 แต่จะใช้ความ  
ต้านทานภายในพูลอัพแทน

พอร์ท 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 0 โดยมี FET  
ตัวถ่วงตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน พอร์ทนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือสามารถ  
ใช้เป็นแอดเดรสบัสขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอพอร์ทใช้งานทั่วไปเมื่อจะ ใช้งาน  
เป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก “ 1 “ มาที่พอร์ท นี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF

พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา ( P3.7-P3.0 ) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 ทำงานได้ 2  
หน้าที่ คือเป็นไอโอพอร์ทถ้าจะให้มันเป็นอินพุทต้องส่งลอจิก “ 1 “ มาที่พอร์ทนี้ก่อน และ  
อีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้ามาไปสัญญาณต่างๆมี  
ดังนี้

- P3.0/RXD ( Serial Input Port ) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม ( UART )
  - P3.1/TXD ( Serial Output Port ) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม ( UART )
  - P3.2/INT0 ( External Interrupt 0 ) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0
  - P3.3/INT1 ( External Interrupt 1 ) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1
  - P3.4/T0 ( Counter 0 External Input ) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 0
  - P3.5/T1 ( Counter 1 External Input ) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 1
  - P3.6/ $\overline{WR}$  ( External Data Memory Write Strobe ) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลง  
หน่วยความจำข้อมูลภายนอก
  - P3.7/ $\overline{RD}$  ( External Data Memory Read Strobe ) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจาก  
หน่วยความจำข้อมูลภายนอก
- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแอสซิงโครนัสไบต์ค่า (A7-A0) ที่ส่งออกมาจาก  
พอร์ท (0) สัญญาณนี้จะแอสซิงโครนัสทุกๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมกซ์ซินไซเคิล
- $\overline{PSEN}$  (ขา 29) เป็นขาสโตรบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก สัญญาณนี้จะ  
ส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซินไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มี  
สัญญาณออกที่ขา
- $\overline{EA}$  (ขา 31) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก
- บิต “ 0 “ จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ
- บิต “ 1 “ จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RST (ขา 9) ขารีเซ็ต จะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเคิล
- XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทของวงจรรอสซิงเทเตอร์ภายใน
- XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุทของวงจรรอสซิงเทเตอร์ภายใน

4.1.4 ฝั่งเวลาของซีพียู (CPU Timing)



รูปที่ 4.1.4 แสดงฝั่งเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง

การทำงานใน 1 คำสั่งต่ำสุดกินเวลาเพียง 1µS ซึ่งจะใช้คล็อกไปเท่ากับ 12 ลูก โดยปกติซีพียู จะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อก 12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ 1µS

4.1.5 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ( Program Memory )
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ( Data Memory )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ

8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 จะมี ROM ขนาด 8 กิโลไบต์

- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ( RAM ) แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในชิพมีเพียง

128 ไบต์ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพมีความจุ 64 กิโลไบต์

- พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น ( Indirect Address Area )

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ ( 80h-FFh ) เป็นพื้นที่ซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์โดยส่วนแรกจะเป็น SFR แอดเดรสและ Indirect Address Area ดังนั้นถ้าต้องการติดต่อกับ SFR ต้องใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น ( Direct Address Area ) ส่วนพื้นที่อีกส่วนจะเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมเท่านั้น ( Indirect Address Area ) ส่วนตำแหน่ง ( 00h-7Fh ) จะเข้าถึงข้อมูลได้ทั้ง 2 แบบ

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม ( Direct and Indirect Address Area )

พื้นที่ 128 ไบต์ ดังกล่าวจะแบ่งเป็น 3 ส่วน

1) รีจิสเตอร์แบงก์ ( Register Bank 0-3 )

ตั้งแต่ตำแหน่ง ( 00h-1Fh ) เป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ ( 0-3 ) โดยแบ่งเป็นแบงค์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์ ( แต่ละแบงค์ จะมีรีจิสเตอร์ R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7 ) ถ้าชิพทำงานอยู่ที่แบงค์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ตก็จะกลับมาทำงานที่แบงค์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทั้งนี้

2) บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งอ่านเขียนทีละบิตได้ ( Bit Address Area )

พื้นที่ตั้งแต่แอดเดรส ( 20h-2Fh ) จำนวน 16 ไบต์หรือแบ่งเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิตซึ่งตำแหน่งบิตนี้มีดังนี้ 00,01,02,03,04,05,06,07 จนถึง 2Fh

3) บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป ( Scratch Pad Area )

พื้นที่ตั้งแต่ ( 30h-7Fh ) จะเขียนข้อมูลได้ที่ละไบต์เท่านั้นไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ ถ้าย้ายเนื้อที่สแตคมาบริเวณนี้ต้องระวังในการเขียนข้อมูลมาทับสแตค

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C2051 เป็นประเภท CMOS 8 Bit ไมโครคอมพิวเตอร์ ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง มีส่วนของหน่วยความจำที่สามารถโปรแกรมใหม่และลบข้อมูลใน ROM ได้ ประเภท Flash Programmable and Read Only Memory (PEROM) จำนวน 2 กิโลไบต์ และ 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 98C4051 ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานของ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ของตระกูล MCS-51 โดยบริษัท Atmel Corporation เป็นไมโครคอมพิวเตอร์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาถูก มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานได้หลายด้าน และหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งคุณสมบัติโดยทั่วไปจะเหมือนกับไมโคร-คอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051 ดังนั้น จึงได้รับการผลิตขึ้นมาให้มีส่วนของ Memory ที่สามารถโปรแกรมใหม่ได้โดยง่าย (PEROM) จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีแบบใหม่

#### 4.1.6 การสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม ของ MCS-51

การสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการส่งข้อมูลครั้งละบิตแบบต่อเนื่องกันไปโดยส่งบิตต่ำออกไปก่อนแล้วตามด้วยบิตสูง ซึ่งแตกต่างกับการส่งข้อมูลแบบขนานที่ส่งข้อมูลทุกบิตออกไปพร้อมกัน การส่งข้อมูลแบบขนานจะใช้สายสัญญาณ 1 เส้นต่อ 1 บิต แต่การส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวสำหรับข้อมูลทุกบิต

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีโครงสร้างที่สำคัญหลายอย่างเช่นความเร็วในการส่งข้อมูลซึ่งเรียกว่า Baud rate มีหน่วยเป็น บิต/วินาที เช่นความเร็ว 1200 , 2400 , 4800 หรือ 9600 เป็นต้น หากใช้ความเร็ว 2400 บิต/วินาที จะใช้เวลาในการส่ง 1 บิตเท่ากับ  $1/2400$  วินาที ซึ่งสามารถคำนวณเวลาในการส่งข้อมูลได้

ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Port) ที่สามารถรับและส่งข้อมูลแบบ Full Duplex อยู่ 1 พอร์ต การรับส่งแบบ Full Duplex หมายถึงว่าพอร์ตอนุกรมสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน การควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมทางด้านส่งและรับข้อมูล ทำโดยการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมชื่อ SCON

##### 4.1.6.1 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON

รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์เฉพาะที่ทำหน้าที่ควบคุมโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม และเป็นที่ยึดข้อมูลบิตที่ 9 ของการรับข้อมูล ( บิต TB8 และ RB8 ) และมีแฟล็กของการร้องขออินเทอร์รัพต์ของพอร์ตอนุกรมรวมอยู่ด้วย บิตต่างๆดังแสดงในรูป 3.5 การควบคุมการทำงานเราจะกำหนดบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ตัวนี้ด้วย คำสั่งการโอนย้ายข้อมูล(MOV) หรือ ใช้คำสั่งการเซต(SET) หรือ เคลียร์ (CLR)บิต ก็ได้เนื่องจาก รีจิสเตอร์ SCON อ้างอิงตำแหน่งแบบบิตได้

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

SCON : Serial Port Control Register

รูปที่ 4.1.5 แสดงบิตของรีจิสเตอร์ SCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ SCON เป็นดังนี้

- SM0 และ SM1 เป็นบิตกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมซึ่งมี 4 โหมดดังนี้

ตารางที่ 4.1.1 แสดงการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม

SM0	SM1	โหมด	การทำงาน	อัตรารับส่ง
0	0	0	Shift Register	$f_{osc}/12$
0	1	1	8 bit UART	Variable
1	0	2	9 bit UART	$f_{osc}/32$ หรือ $f_{osc}/64$
1	1	3	9 bit UART	Variable

- SM2 เป็นบิตควบคุมให้ทำงานในลักษณะการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวเข้าด้วยกัน สำหรับการใช้งานในโหมด 2 หรือ โหมด 3 เป็นดังนี้  
 $SM2 = 1$  จะทำให้แฟลกอินเตอร์รัพต์ทางด้านรับ (RI) ไม่ถูกเซตเมื่อรับข้อมูลเข้ามาแล้วมีค่าบิตที่ 9 เป็น 0 (อยู่ในบิต RB8) สำหรับการทำงานในโหมด 1 ถ้าเซต  $SM2 = 1$  แฟลกอินเตอร์รัพต์ทางด้านรับ (แฟลก RI) จะไม่ถูกเซตหากข้อมูลที่รับเข้ามาไม่มี STOP BIT การใช้งานในโหมด 0 ต้อง กำหนด  $SM2 = 0$
- REN เซตหรือรีเซ็ต ด้วยซอฟต์แวร์เป็นตัวควบคุมการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ดังนี้
  - 1 = ให้มีการรับข้อมูล
  - 2 = ไม่ให้มีการรับข้อมูล
- TB8 เป็นบิตข้อมูลที่ 9 ที่ต้องการส่งในโหมด 2 และ 3 สามารถเซตหรือเคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์
- RB8 เป็นบิตเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาบิตที่ 9 ในโหมด 2 หรือ 3 สำหรับการทำงานในโหมด 1 หากกำหนดให้ บิต  $SM2 = 0$  บิต RB8 จะเป็นค่าของ STOP BIT ที่รับเข้ามา สำหรับโหมด 0 ไม่มีการใช้ RB8
- TI แฟลกของการอินเตอร์รัพต์ด้านส่งข้อมูล แฟลกนี้จะถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อจบการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือเมื่อเริ่มต้นส่ง STOP BIT ในโหมด 1, 2 หรือ 3 เราต้องเคลียร์แฟลกนี้ด้วยซอฟต์แวร์ เมื่อจบโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ของการส่งข้อมูล

แล้ว

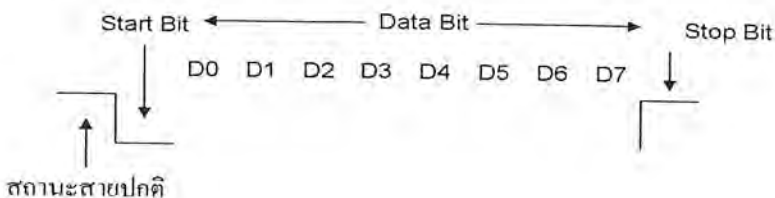
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RI แฟล็กอินเตอร์รัพต์ด้านรับข้อมูล ถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อข้อมูลบิตที่ 8 ในโหมด 0 ถูกรับเข้ามาหรือเมื่อ STOP BIT ถูกรับเข้ามาในครั้งแรกในโหมด 1, 2 หรือ 3 เราต้องเคลียร์แฟล็กนี้ด้วยซอฟต์แวร์เมื่อจบโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ของการรับข้อมูลแล้ว

การส่งและรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมจะมีรีจิสเตอร์ ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลอยู่ 1 ตัวคือรีจิสเตอร์ SBUF การส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำโดยการใส่ข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ SBUF การอ่านข้อมูลจากภายนอกที่รับเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมจะอ่านจากรีจิสเตอร์ SBUF เช่นกัน วงจรด้านรับจะมีบัฟเฟอร์ขนาด 1 ไบต์ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่รับเข้ามาประกอบอยู่ภายใน (การมีบัฟเฟอร์รับข้อมูลทำให้ด้านรับสามารถรับข้อมูล ไบต์ที่ 2 เข้ามาได้ทันทีหลังจากข้อมูล ไบต์แรกเข้ามาแล้วแม้ยังไม่ถูกอ่านออกไป แต่ถ้าข้อมูลไบต์แรกยังไม่ถูกอ่านก่อนที่ข้อมูล ไบต์ที่ 2 จะเข้ามาครบข้อมูล ไบต์ที่ 2 จะถูกยกเลิก)

การทำงานของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 โหมดคือ โหมด 0, 1, 2 และ 3 แต่ละโหมดมีการทำงานดังต่อไปนี้

- โหมด 0 ข้อมูลขนาด 8 บิต แบบอนุกรมรับเข้ามาทางขา RXD และ ข้อมูล 8 บิต ส่งออกแบบอนุกรมทางขา TXD การรับและส่งข้อมูลจะเริ่มจากบิตต่ำ (LSB) ก่อน อัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) จะเป็น 1/12 เท่าของสัญญาณนาฬิกา
- โหมด 1 ใช้การรับและส่งข้อมูลแบบ 10 บิต ซึ่งข้อมูลอนุกรม 10 บิตเข้ามาทาง RXD และข้อมูลขนาด 10 บิต ส่งออกทางขา TXD โดยข้อมูล 10 บิตประกอบด้วย 1 Start bit (ค่า 0) ตามด้วย 8 บิตข้อมูล(การรับ/ส่งจะเริ่มจากบิตต่ำก่อน) และ 1 Stop bit (ค่า 1) ด้านรับข้อมูลจะนำค่า Stop bit ที่รับเข้ามาไปเก็บในบิต RB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราการรับส่งข้อมูลในโหมดนี้สามารถกำหนดได้ตามต้องการ



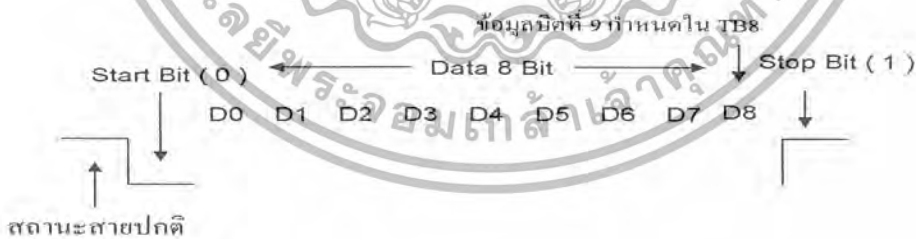
รูปที่ 4.1.6 สัญญาณของการส่งข้อมูลของโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหมด 2 ใช้การรับส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ข้อมูลแบบอนุกรมรับเข้ามาทางขา RXD และส่งออกไปทางขา TXD ซึ่งข้อมูล 11 บิต ประกอบด้วย 1 Start bit (ค่า 0) ตามด้วย 8 บิตข้อมูล (การรับ/ส่งเริ่มจากบิตต่ำก่อน) , 1 บิตข้อมูลที่กำหนดค่าได้ และ 1 Stop bit (ค่า 1) สำหรับด้านส่งข้อมูลบิตที่ 9 จะกำหนดไว้ใน TB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งเราสามารถกำหนดเป็น 1 หรือ 0 ก็ได้ ในการใช้งานเราอาจใช้บิตข้อมูลบิตที่ 9 เป็นบิตตรวจสอบ (Parity) ก็ได้ โดยการนำค่าในแฟลก P มากำหนดให้กับ TB8 เมื่อข้อมูล 8 บิตมาจากแอดคิวิติวเมเตอร์ ซึ่งจะทำให้เราได้การตรวจสอบการส่งข้อมูลแบบพาริตีคู่ ในกรณีของการรับข้อมูลจะนำข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาไปเก็บในบิต RB8 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON ส่วน Stop bit จะไม่มีการนำมาเก็บ อัตราการรับและส่งข้อมูลในโหมดนี้จะเลือกใช้ความเร็วได้ 2 ค่าคือ 1/31 หรือ 1/64 เท่าของสัญญาณนาฬิกา

- โหมด 3 การทำงานในโหมด 3 จะมีลักษณะคล้ายกับโหมด 2 แต่ในโหมด 3 เราสามารถกำหนดอัตราการรับและส่งข้อมูลได้ตามต้องการ

การทำงานของพอร์ตอนุกรมทั้ง 4 โหมด การส่งข้อมูลจะเริ่มขึ้นเมื่อมีการกำหนดข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ SBUF ซึ่งการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ SBUF จะใช้คำสั่งการโอนย้ายข้อมูล เช่น `MOV SBUF,#15H` หรือ `MOV SBUF,@R1` ก็ได้ การรับข้อมูลในโหมด 0 จะเริ่มรับข้อมูลเมื่อค่าของบิต `RI=0` และ `REN=1` ส่วนในโหมดอื่นๆ การรับข้อมูลจะเริ่มขึ้นเมื่อกำหนดบิต `REN=1` และมี Start bit เข้ามาที่ขา

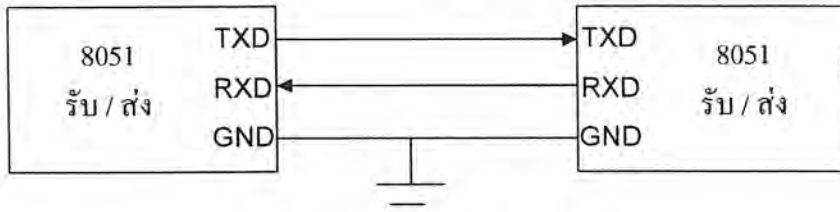


รูปที่ 4.1.7 สัญญาณของการส่งข้อมูลของโหมด 2 และ โหมด 3

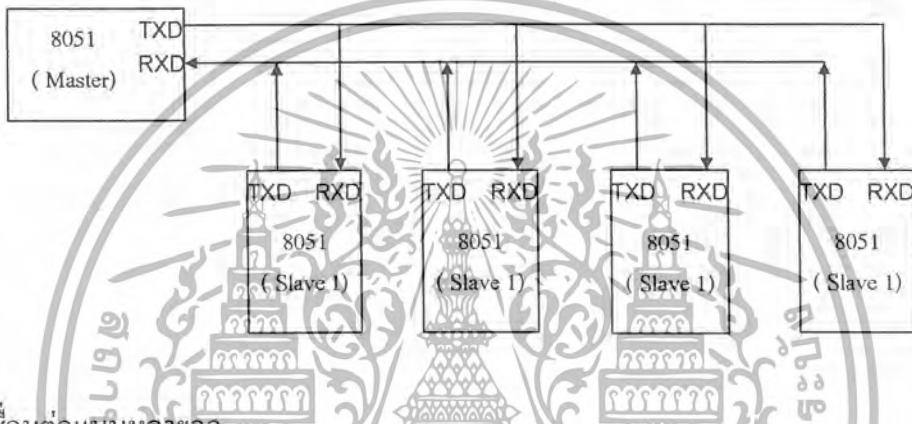
4.1.6.2 การสื่อสารระหว่างซีพียูหลายตัว (Multi Processor Communication )

การติดต่อสื่อสารทั่วไปจะใช้การติดต่อสื่อสารแบบจุดต่อจุดซึ่งมีตัวส่ง 1 ตัวและตัวรับ 1 ตัว แต่ในบางครั้งการควบคุมจำเป็นต้องทำการสื่อสารแบบหลายจุด ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 สามารถเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูลกันได้หลายตัว ดังแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในรูปที่ 3.8 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การต่อแบบจุดต่อจุด



(ข) การเชื่อมต่อแบบหลายจุด

รูปที่ 4.1.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แบบจุดต่อจุดและหลายจุด

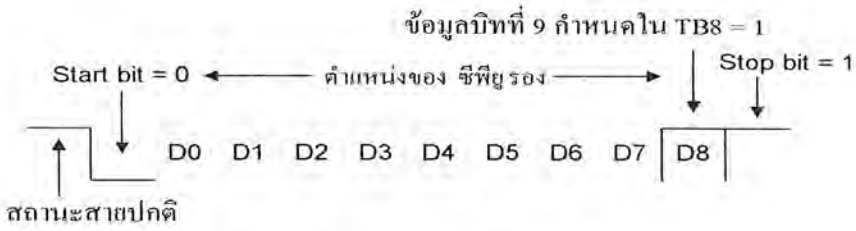
การทำงานของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในโหมด 2 และโหมด 3 มีการทำงานพิเศษ ที่สามารถใช้สำหรับการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างชิพหลายตัวได้ การทำงานทั้ง 2 โหมดนี้ข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกนำไปเก็บในบิต RB8 เราสามารถโปรแกรมเพื่อกำหนดให้พอร์ตอนุกรมส่งสัญญาณร้องขออินเตอร์รัพต์ได้เมื่อรับข้อมูลเข้ามาแล้วได้ค่าใน RB8 = 1 ซึ่งการควบคุมนี้กำหนดจากการเซตบิต SM2 ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON การทำงานในการเชื่อมต่อสื่อสารกับชิพหลายตัวจะมีลักษณะการทำงานดังนี้ ในระบบที่เชื่อมต่อแบบหลายจุดเรากำหนดให้ชิพตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นชิพผู้หลัก (Master) สำหรับควบคุมการติดต่อกับชิพตัวอื่นๆ ซึ่งเรียกว่าเป็นชิพผู้รอง (Slave) สัญญาณ TXD ของชิพผู้หลักต่อเข้ากับสัญญาณ RXD ของชิพผู้รองทุกตัว ทำให้ข้อมูลจากชิพผู้หลักสามารถส่งไปยังชิพผู้รองได้ทุกตัว ที่ตัวชิพผู้รองจะมีตำแหน่งของตัวเอง(Address) ที่กำหนดไว้จากโปรแกรมหรือฮาร์ดแวร์ โดยมีการแบ่งลักษณะของข้อมูลที่ใช้ส่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1) ข้อมูลที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Address Byte)

ข้อมูลที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่ง จะมีค่าบิตข้อมูลบิตที่ 9 (D8) มีค่าเป็น 1 ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของชิพผู้รอง ที่ชิพผู้หลักต้องการติดต่อกับชิพผู้รองด้วย ลักษณะของข้อมูลที่กำหนดตำแหน่ง

แสดงในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.9 แสดงข้อมูลกำหนดตำแหน่ง (Address Byte)

2) ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลข่าวสาร (Data Byte)

เป็นไบต์ที่ใช้สำหรับการรับและส่งข้อมูล และนำไปใช้งานโดยข้อมูลไบต์นี้จะกำหนดค่าให้บิตที่ 9 (D8) เป็น 0 ซึ่งรูปแบบของไบต์ข้อมูลจะเป็นดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 4.1.10 แสดงข้อมูลข่าวสาร (Data Byte)

เมื่อซีพียูหลักต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์ออกไปให้ซีพียูรองตัวใดตัวหนึ่งในหลายๆตัว  
 ชั้นแรกซีพียูหลักต้องส่งค่า 1 ไบต์ ซึ่งถือเป็นตัวบอกตำแหน่งของซีพียูรอง (Address byte) ออกไป  
 ก่อนเพื่อเป็นการเลือกซีพียูรองที่ต้องการให้รับข้อมูล โดยข้อมูล 1 ไบต์นี้จะแตกต่างกับข้อมูลอื่นๆ  
 คือบิตที่ 9 มีค่าเป็น 1 ข้อมูลไบต์นี้ถูกส่งออกไปยังซีพียูรองทุกตัว หากเรากำหนดให้ซีพียูรองทุกตัวมี  
 ค่าบิต SM2 = 1 เมื่อซีพียูรองทุกตัวได้รับข้อมูลไบต์ตำแหน่งแล้วจะเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้นภายในตัว  
 ซีพียูรอง ซีพียูรองจะทำการตรวจสอบว่าตำแหน่งที่รับมานั้นมีค่าตรงกับตัวเองหรือไม่ ซีพียูรอง  
 ตำแหน่งที่มีค่าตำแหน่งตรงกับตำแหน่งที่รับได้จะทำการเคลียร์บิต SM2 และเตรียมรับข้อมูลที่เป็น  
 ข่าวสารต่อไป สำหรับซีพียูรองตำแหน่งที่ไม่ตรงกับตำแหน่งที่รับมาจะยังคงค่า SM2 = 1 อยู่ต่อไป  
 และจบโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัพต์แล้วกลับไปทำโปรแกรมที่ค้างอยู่ และรอการ  
 อินเตอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นจากการรับ ไบต์ตำแหน่งในครั้งใหม่อีก หลังจากซีพียูหลักส่งข้อมูลไบต์แรกซึ่ง  
 เป็นตำแหน่งออกไปแล้ว จะเริ่มส่งข้อมูลซึ่งถือเป็น ไบต์ข้อมูลมีบิตที่ 9 เป็น 0 ตามออกไป ข้อมูลนี้  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีเพียงซีพียูที่มีตำแหน่งตรงกันเท่านั้นที่รับข้อมูลไว้ การส่งข้อมูลก็จะเป็นระหว่างซีพียูหลักกับซีพียูรองที่มีตำแหน่งตรงกันเท่านั้น เมื่อการส่งข้อมูลสิ้นสุดลงซีพียูหลักจะต้องส่งข้อมูลไบต์สุดท้ายที่ใช้เป็นตัวบอกให้ด้านรับทราบว่าสิ้นสุดข้อมูล ซึ่งอาจใช้รหัส ASCII ค่า 03 (ETX End of text) หรือ 04 (EOT End of transmission) ก็ได้ เมื่อซีพียูรองได้รับรหัสนี้แล้วก็จะทราบว่าเป็นข้อมูลตัวสุดท้ายและหยุดการรับข้อมูล แล้วเซตค่าบิต SM2 = 1 เพื่อเริ่มต้นรอรับการส่งข้อมูลที่เป็นตำแหน่งในรอบต่อไป

บิต SM2 จะไม่มีผลในโหมด 0 สำหรับการใช้งานในโหมด 1 หาก SM2 = 1 การอินเตอร์รัพต์ของการรับข้อมูลจะไม่เกิดขึ้นหากไม่มี Stop bit เข้ามา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 อุปกรณ์เซ็นเซอร์

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของอินพุตที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกต่างๆ เรียกว่าตัวตรวจจับหรือเซ็นเซอร์ (sensor) ซึ่งมันจะทำการเปลี่ยนแปลงความรู้สึกต่างๆ ที่ได้รับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งอาจจะเป็นแรงดันหรือกระแสก็ได้ และส่งให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตีความหมายและนำผลดังกล่าวไปใช้งานได้ตามต้องการ

ตัวตรวจจับแบบง่ายๆ พื้นฐานที่เราคุ้นเคยกันดี เช่น สวิตช์กลไก, สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch), เซลล์รับแสงม โฟโตคัปเปออร์, ตัวตรวจจับตำแหน่ง, ตัวจับแรง, ตัวตรวจจับอุณหภูมิ, ตัวตรวจจับเสียง เป็นต้น ตัวตรวจจับต่างๆ เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของตัวตรวจจับแต่ละชนิดให้ได้เข้าใจกันต่อไป

### 4.2.1 สวิตช์กลไก (MECHANICAL SWITCHES)

สวิตช์กลไกที่เราพบเห็นและใช้กันมาโดยตลอด ก็จัดเป็นตัวตรวจจับชนิดหนึ่งด้วย สวิตช์กลไกนี้จะรับแรงกระทำจากภายนอก เพื่อใช้เป็นแรงกระทำต่อหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าใช้เปิดหรือปิดตามต้องการในสวิตช์กลไกที่ทำงานแบบชั่วคราว การกระทำของหน้าสัมผัสจะเปิดหรือปิดเพียงชั่วขณะจากนั้นก็กลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมของในตอนเริ่มแรก ไม่ใคร่สวิตช์มีจะมีขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งได้ง่ายแล้วถูกนำไปใช้เป็นสวิตช์ในการบอกตำแหน่งเป็นส่วนใหญ่

สวิตช์กลไกที่ได้กล่าวมานี้ ยังสามารถแบ่งออกได้สองแบบตามลักษณะการใช้งานในทางพาณิชย์และแบบที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม

แบบที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มักจะถูกใช้ในระบบแสงสว่าง เครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน เช่น เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

สวิตช์แบบที่ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่ มักจะใช้งานกับวงจรที่มีกระแสไหลผ่านหน้าสัมผัสมากกว่า 5 แอมแปร์ ตัวถังของสวิตช์จะถูกออกแบบและยึดติดอย่างดีเพื่อป้องกันแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนจากภายนอก สวิตช์แบบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายๆ แบบมักจะมีการชิลด์ป้องกันฝุ่น, ความสกปรก, น้ำมัน, สารเคมี และทนต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้ โดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงๆ

การสึกกร่อนของหน้าสัมผัสและการเกิดประกายไฟระหว่างหน้าสัมผัส เป็นสองปัญหาใหญ่ของสวิตช์แบบกลไกนี้ วัสดุจำพวกทอง, เงิน, พัลลาเดียม, พลาตินัม, โมลิบดีนัม และทังสเทน จึงถูกนำมาใช้เป็นหน้าสัมผัสของสวิตช์เพราะสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดีและมีค่าความต้านทานต่ำ แต่กระนั้นก็ดีโลหะเหล่านี้เมื่อผ่านการใช้งานในระยะเวลาหนึ่ง จะเกิดออกไซด์ (oxide)

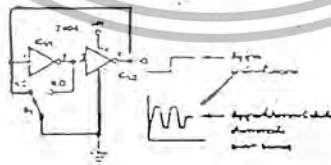
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นมีลักษณะเป็นชั้นของออกไซด์บางๆ เคลือบบนผิวของหน้าสัมผัสและผิวของ โลหะ เป็นผลทำให้คุณสมบัติในการนำไฟฟ้าลดต่ำลง

ตารางที่ 4.2.1 คุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสสวิตช์

ชนิดโลหะ	ความต้านทาน ( $\mu\Omega/cm$ )	ความต้านทานการเกิดออกซิเดชั่น	ผลจากการเกิดประกายไฟ
ทอง	2.42	ดีที่สุด	ผิวโลหะเป็นหลุม
โมลิบดีนัม	5.70	ดี	ผิวโลหะเป็นหลุม
พัลลาเดียม	11.00	พอใช้	ต้านทานการเกิดประกายไฟ
แพลตินัม	10.60	ดีมาก	ต้านทานการเกิดประกายไฟ
เงิน	1.63	ดีที่สุด	ผิวโลหะเป็นหลุม
ทังสเตน	5.52	ดี	ต้านทานการเกิดประกายไฟ

ในเรื่องของการเกิดประกายไฟบนหน้าสัมผัสของสวิตช์นั้น จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสวิตช์ ดังกล่าวถูกนำมาใช้กับวงจรไฟฟ้าที่มีการใช้กระแสค่อนข้างสูง เมื่อใช้สวิตช์กับโหลดที่ดังกระแสดูงๆ จะเกิดประกายไฟกระโดดข้ามช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสตรงที่เกิดประกายไฟสึกกร่อนเป็นหลุมได้เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากประกายไฟ ในตารางที่ 4.2.1 นั้นแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต่างๆ ของโลหะหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้สร้างหน้าสัมผัสสวิตช์



รูปที่ 4.2.1 วงจรใช้ในการแก้ไขการเกิดสวิตช์เบาซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่มักจะพบเสมอในสวิตช์กลไกก็คือ ปัญหาสัญญาณรบกวน หรือที่เราคุ้นเคยกับคำว่า สวิตช์เบาซ์ (switch bounce) จากผลดังกล่าวนี้เมื่อนำสวิตช์มาใช้กับวงจรไฟฟ้า จะไม่มีปัญหามากนัก แต่เมื่อนำมาใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะกับวงจรดิจิทัลแล้วจะก่อปัญหาได้อย่างมากเลยทีเดียว

#### 4.2.2 สวิตช์อ่อนตัว (FLEX SWITCHES)

สวิตช์อ่อนตัวมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.2.3 สวิตช์อ่อนตัวนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับการสัมผัสหรือความตึงที่เกิดขึ้นจากแรงได้ ตัวสวิตช์สามารถทำงานได้โดยอาศัยแรงที่กระทำบนพื้นรับแรงของสวิตช์ การใช้งานสวิตช์แบบนี้จะต้องระมัดระวังเรื่องของความชื้นและน้ำมันค่อนข้างมาก การใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นงานประเภทตรวจจับน้ำหนัก และระบบส่งสัญญาณเตือนภัย เป็นต้น



รูปที่ 4.2.2 ภาพตัดแสดง โครงสร้างของสวิตช์อ่อนตัว

รูปที่ 4.2.3 วงจรประยุกต์ใช้งานของสวิตช์อ่อนตัว

ในรูปที่ 4.2.3 เป็นวงจรส่งเสียงสัญญาณเตือนภัย โดยมีสวิตช์อ่อนตัวเป็นตัวตรวจจับ เมื่อสวิตช์อ่อนตัวถูกกดจนหน้าสัมผัสภายในสัมผัสกันจะทำให้ไอซี LM 555 (IC<sub>1</sub>) ทำงานส่งเสียงสัญญาณเตือนออกมาโดยความถี่ของเสียงที่ได้ถูกกำหนดจากค่า R<sub>1</sub> และ C<sub>2</sub> แห่หลังจากที่หน้าสัมผัสแยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกออกจากกันแล้ว วงจรก็ยังส่งเสียงสัญญาณเตือนต่อไประยะหนึ่ง ระยะเวลาดังกล่าวถูกกำหนดโดยค่าของ  $R_3$  และ  $C_1$  ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการและวงจรที่แสดงไว้ก็เป็นตัวอย่างง่ายๆ ตัวอย่างหนึ่งในการประยุกต์ใช้งาน

#### 4.2.3 สวิตช์ปรอท (MERCURY SWITCHES)

ปรอทเป็นโลหะตัวนำที่ติดลึกลับสภาพเป็นขอลเหลว ณ อุณหภูมิห้อง ปรอทถูกนำมาสร้างเป็นสวิตช์อีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า สวิตช์ปรอท โดยปรอทจะถูกบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว และมีหน้าสัมผัสสองหน้าสัมผัส เมื่อปรอทเคลื่อนที่ไปแตะกับหน้าสัมผัสทั้งสองทำให้ความต้านทาน ลดต่ำลงจนเป็นสวิตช์ปิดวงจร ในหลอดแก้วที่บรรจุปรอทไว้จะบรรจุก๊าซเฉื่อย (ก๊าซไนโตรเจน) เอาไว้เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์และประกายไฟที่หน้าสัมผัสของสวิตช์



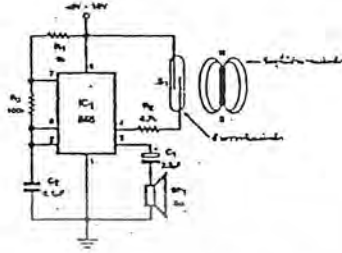
รูปที่ 4.2.4 วงจรประยุกต์ใช้งานสวิตช์ปรอทตรวจจับความเอียง

ในรูปที่ 4.2.4 เป็นตัวอย่างวงจรการใช้งานสวิตช์ปรอทในการตรวจจับความเอียงแบบง่ายๆ การทำงานเมื่อสวิตช์ปรอทติดตั้งไว้ในแนวระนาบ ตามปกติสวิตช์ปรอทจะเปิดวงจรของอินพุทของอินเวอร์เตอร์เกต (ขา 1 ของ IC) มีสถานะลอจิกเป็น “0” เอาท์พุทจึงเป็นลอจิก “1” เป็นผลทำให้ LED ไม่สว่าง เมื่อสวิตช์ปรอทที่ติดตั้งไว้เกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปจากแนวระนาบหรือเกิดจากการเอียงออกจากแนวระนาบไปในจุดที่กำหนด ปรอทที่ถูกบรรจุอยู่ภายในจะเคลื่อนที่ไปแตะหน้าสัมผัสของสวิตช์จนครบวงจรเป็นสวิตช์ปิด ขาอินพุทของอินเวอร์เตอร์เกตจึงมีสถานะลอจิกเป็น “1” เอาท์พุทจึงเป็นลอจิก “0” ทำให้ LED ติดสว่างขึ้นและเราก็สามารถนำผลอันนี้ไปใช้งานได้ทันที

#### 4.2.4 ตัวตรวจจับแม่เหล็ก (MAGNETIC PROXIMITY SENSOR)

ตัวตรวจจับแม่เหล็กจะทำหน้าที่ในการตรวจจับอำนาจแม่เหล็กใดๆ ก็ตามที่เข้ามาใกล้ๆ กับตัวตรวจจับในระยะ และความเข้มที่กำหนดจนสามารถรับรู้ได้ ตัวตรวจจับแม่เหล็กหรือเรียกอีก

อย่างหนึ่งว่า สวิตช์แม่เหล็ก (magnetic switch) จะถูกออกแบบไว้ทั้งในลักษณะปกติปิดวงจรหรือปกติเปิดวงจร เพื่อให้สะดวกในการประยุกต์ใช้งานหลายลักษณะ



รูปที่ 4.2.5 วงจรเตือนภัยประยุกต์ใช้งานสวิตช์แม่เหล็ก

ตัวอย่างการนำเอาตัวตรวจจับแม่เหล็กมาใช้ในงานแสดงดังรูปที่ 4.2.5 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวงจรในรูป 4.2.3 เพียงแต่อาศัยตัวตรวจจับต่างชนิดกัน การทำงานกล่าวคือเมื่อมีอำนาจแม่เหล็กเข้ามาในบริเวณที่ตัวตรวจจับแม่เหล็กสามารถรับรู้ได้ หน้าสัมผัสของสวิตช์จะปิดวงจร เป็นผลทำให้ LM 555 ถูกอินทิเกรตสามารถทำงานได้และส่งสัญญาณออกมา คือเมื่ออำนาจแม่เหล็กที่เข้ามาจางหายไป เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์เปิดวงจร วงจรจึงหยุดส่งสัญญาณออกมามันจะมีความถี่ของวงจรนี้จะถูกกำหนดโดยค่าของ  $R_3$  และ  $C_2$

#### 4.2.5 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (OPTO DEVICE)

อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงเป็นการนำเอาผลของแสงสว่างมาเปลี่ยนแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อสามารถนำมาใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงที่เราคุ้นเคยกันดี ก็มีอยู่หลายชนิด ดังจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.2.5.1 โฟโตเซลล์ (Photo cells)

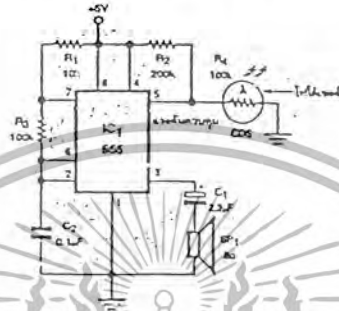
โฟโตเซลล์เป็นตัวตรวจจับทางแสงแบบพื้นฐานที่มีใช้กัน ตัวตรวจจับแบบนี้มีโครงสร้างที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่ขั้วต่อใช้งานสองขั้ว เมื่อมีแสงมาตกกระทบกับตัวตรวจจับชนิดนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานบนโฟโตเซลล์ตามการเปลี่ยนแปลงของแสงที่เปลี่ยนไป โฟโตเซลล์มักจะสร้างมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือ แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdSe)

โฟโตเซลล์ที่สร้างมาจากแคดเมียมเทลลูไรด์จะใช้เวลาประมาณ 10 มิลลิวินาทีในการตอบสนองต่อความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไป ส่วนโฟโตเซลล์ที่สร้างจากสารแคดเมียมซัลไฟด์จะใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงประมาณ 100 มิลลิวินาที จากผลของการตอบสนองต่อแสงที่ค่อนข้างช้า เช่นนี้ ทำให้การใช้งานเชื่อมต่อกับวงจรดิจิทัลค่อนข้างลำบากและมีปัญหาบ้างเล็กน้อย แต่โฟโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ก็สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้มากตามปริมาณความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไปมากๆ ได้ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง

ค่าความต้านทานของตัวโฟโตเซลล์ขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้ในการผลิต ส่วนใหญ่แล้วค่าความต้านทานขณะไม่ได้รับแสงอาจจะสูงถึง 1 เมกะโอห์มหรือมากกว่านั้น ส่วนค่าความต้านทานขณะที่ได้รับแสงเต็มที่จะมีค่าประมาณ 250 โอห์มหรือต่ำกว่านั้น



รูปที่ 4.2.6 วงจร CVO ควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตเซลล์

จากวงจรรูปที่ 4.2.6 เป็นวงจรที่นำเอาโฟโตเซลล์มาประยุกต์ใช้งานในวงจรผลิตความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสงที่เปลี่ยนไป ค่าความต้านทานของ  $R_2$  และ  $R_1$  (โฟโตเซลล์) จะต่อร่วมกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อจ่ายแรงดันควบคุมให้กับขา 5 ของ IC<sub>1</sub> ซึ่งเป็นขาควบคุมแรงดัน เมื่อปริมาณของแสงที่ตกกระทบตัว โฟโตเซลล์เพิ่มมากขึ้นความต้านทานของโฟโตเซลล์ จะลดค่าลงแรงดันที่ขา 5 จึงเปลี่ยนแปลงต่ำลง เป็นผลทำให้เอาต์พุตของ IC<sub>1</sub> มีค่าสูงขึ้น ซึ่งความถี่พื้นฐานจะถูกกำหนดโดยค่าของ  $R_3$  และ  $C_2$  ส่วนย่านการเปลี่ยนแปลงของความถี่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงกว้างของแรงดันควบคุมที่เปลี่ยนไปมานั่นเอง

ในทางกลับกันหากปริมาณแสงที่ตกกระทบตัวโฟโตเซลล์ลดต่ำลง ความต้านทานภายในโฟโตเซลล์จะสูงขึ้น เป็นผลทำให้ความถี่ทางเอาต์พุตของ IC<sub>1</sub> มีค่าต่ำลงตามปริมาณแสงที่ลดลงนั้น และถ้าหากทำการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่าง  $R_2$  และ  $R_1$  จะเป็นผลทำให้การทำงานกลับเป็นตรงข้ามทั้งหมด ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานตามความเหมาะสม

#### 4.2.5.2 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โดยภาวะปกติแล้วสารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสงอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อมีการนำเอาสารกึ่งตัวนำมาสร้างเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ โปรตอนจากแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับแสงชนิดหนึ่งถูกออกแบบขึ้น จากการเกิดปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำ และมีรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction) ระหว่างสารสองชนิดของโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งรอยต่อนี้มีขนาดใหญ่กว่ารอยต่อพี-เอ็นของทรานซิสเตอร์โดยทั่วไป ความแตกต่างจากทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือที่ตัวถัง (case) ด้านบนของโฟ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตทรานซิสเตอร์จะมีช่องสำหรับแสงเพื่อส่งไปยังรอยต่อพี-เอ็น โดยที่ช่องรับแสงนี้ จะมีวัสดุเคลือบไมก้า (clear mica) หรือควอตซ์เลนซ์ (quartz lens) ติดอยู่บนช่องรับแสงดังกล่าว

โฟโตทรานซิสเตอร์ทุกแบบ จะมีโครงสร้างเป็นชนิดเอ็นพีเอ็นสารที่ถูกลำเอามาใช้ผลิต ได้แก่ ซิลิเนียม, ซิลิกอน หรือ เยอรมันเนียม สารแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงในย่านที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 4.2.7 วงจรควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตเซลล์

(ก) วงจรทำงานเมื่อแสงตกกระทบบ

(ข) วงจรหยุดทำงานเมื่อไม่มีแสง

โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างมาจากสารซิลิเนียม จะตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงที่คนเราสามารถมองเห็นได้ ซึ่งลักษณะการตอบสนองได้ใกล้เคียงกับสายคาของคนเราโฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากซิลิกอน จะมีการตอบสนองได้ดีต่อสเปกตรัมของแสงในย่านของแสงอินฟราเรดหรือใกล้เคียง โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างมาจากสารเยอรมันเนียม จะมีการตอบสนองต่อแสงได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งรวมถึงย่านของแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วย

การทำงานและการตรวจจับของโฟโตทรานซิสเตอร์ มีความรวดเร็วกว่าโฟโตเซลล์มาก ซึ่งสามารถตอบสนองได้รวดเร็วถึง 1 ไมโครวินาทีเดียว ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

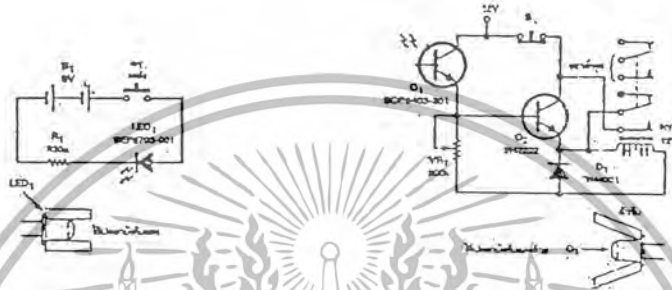
โฟโตทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ทั้งเป็นวงจรขยายและวงจรสวิตช์ ตัวอย่างวงจรประยุกต์ใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.2.7 (ก) และ (ข) ในรูปที่ 4.2.7 (ก) โฟโตทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ถูกใช้เป็นตัวตรวจจับแสงที่สามารถปรับความไวได้ การทำงานคือเมื่อ  $Q_1$  ได้รับความจะทำให้  $Q_1$  ทำงานเป็นผลทำให้มีแรงดันไบแอสที่ขาเบสของ  $Q_2$  รีเลย์  $RY_1$  จึงทำงานต่อวงจรความไวในการทำงานของวงจรสามารถปรับได้ที่ค่าของ  $VR_1$

ในทางตรงกันข้าม หากเราเปลี่ยนตำแหน่งกันระหว่าง  $VR_1$  และ  $Q_1$  ดังรูปที่ 4.2.7 (ข) จะมีการทำงานคือเมื่อแสงตกกระทบบ  $Q_1$  ให้  $Q_1$  ทำงานถัดวงจรขาเบสของ  $Q_2$  ลงกราวด์  $Q_2$  จึงหยุดทำงาน รีเลย์  $RY_1$  จึงปล่อยวงจรออก ซึ่งเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับวงจรในรูปที่ 4.2.7 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5.3 อินฟราเรด แอลอีดี (Infrared Led)

อินฟราเรดแอลอีดี ถูกสร้างขึ้นเพื่อกำเนิดแสงในย่านอินฟราเรด เมื่ออินฟราเรด แอลอีดีนำกระแส อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ และเกิดพลังงานดังกล่าวขึ้น จากโฟตอน การเกิดพลังงานดังกล่าวเป็นไปในทันทีที่มีกระแสไหลผ่าน



รูปที่ 4.2.8 วงจรประยุกต์ใช้งานอินฟราเรดแอลอีดี

(ก) วงจรภาคส่ง

(ข) วงจรภาครับ

อินฟราเรดแอลอีดีสามารถกำเนิดอินฟราเรดได้ ในช่วงสองความยาวคลื่นคือ อินฟราเรดแอลอีดีที่สร้างจากสารแกเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide : GaAs) จะให้ความยาวคลื่นประมาณ 900 นาโนเมตร และอินฟราเรดแอลอีดีที่สร้างจากสารแกเลียมออลูมิเนียมอาเซไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide : GaAlAs) จะกำเนิดแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร

รูปที่ 4.2.8 เป็นวงจรใช้งานรีโมทคอนโทรลแบบง่าย โดยรูปที่ 4.2.8 (ก) เป็นวงจรภาคส่งรีโมทคอนโทรล และรูปที่ 4.2.8 (ข) เป็นวงจรภาครับรีโมทคอนโทรล ในวงจรภาคส่ง แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ จะจ่ายไฟให้กับอินฟราเรดแอลอีดี มีการจำกัดกระแสด้วย  $R_1$  และอินฟราเรดแอลอีดีจะเปล่งแสงอินฟราเรดออกมาเมื่อการกดสวิตช์  $S_1$  เป็นการส่ง

ทางด้านวงจรภาครับเมื่อแสงอินฟราเรด

จากเครื่องส่งกระทบบนโฟโต้

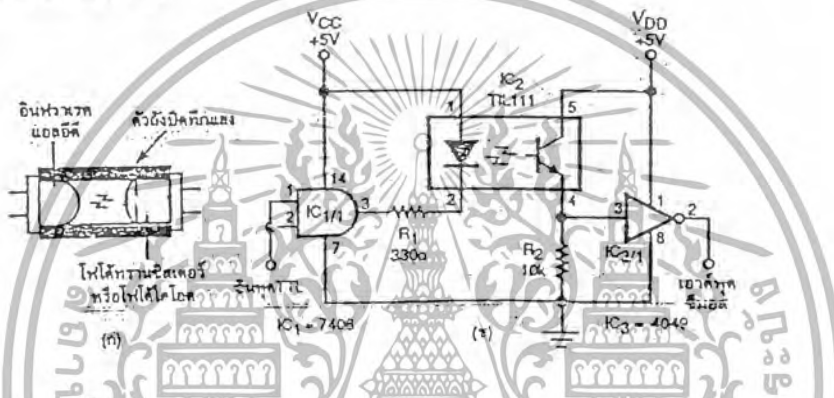
ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ทำให้  $Q_1$  ทำงาน เป็นผลทำให้เกิดแรงดันไบแอสที่ขาเบสของ  $Q_2$  ซึ่งเป็นการไบแอสตรงให้กับขาเบส  $Q_2$  จึงทำงานเป็นผลให้รีเลย์  $RY_1$  ทำงานดูดหน้าสัมผัสเพื่อจ่ายไฟให้กับตัวเอง ดังนั้นขณะนี้  $RY_1$  ทำงานแล้วและจะยังคงทำงานต่อไป แม้ว่าแสงอินฟราเรดที่ตกกระทบ  $Q_1$  จะหมดไปแล้วก็ตาม ถ้าหากต้องการให้วงจรหยุดทำงานก็สามารถทำได้โดยการกดสวิตช์  $S_1$  ก็จะ ทำให้  $RY_1$  หยุดทำงานทันที และวงจรก็จะพร้อมรับสัญญาณจากเครื่องรีโมทคอนโทรลอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ RY, ทำงานอยู่นั้นหากกดภาคส่งให้กับอินฟราเรดตัวส่งอีกครั้งก็จะมีผลต่อวงจรจนกว่าจะมีการหยุดการทำงานก่อน

#### 4.2.5.4 ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator)

ออปโตไอโซเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มาก เนื่องมาจากมันได้รวมเอาตัวกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสงเข้าไว้ด้วยกัน จุดประสงค์หลักของออปโตไอโซเลเตอร์คือการใช้งานเพื่อเป็นการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ตัวอย่างเช่นการเชื่อมโยงวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อเข้าไปควบคุมงานกำลังไฟฟ้างำลังเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากการที่มีระบบแหล่งจ่ายไฟที่ไม่เหมือนกัน

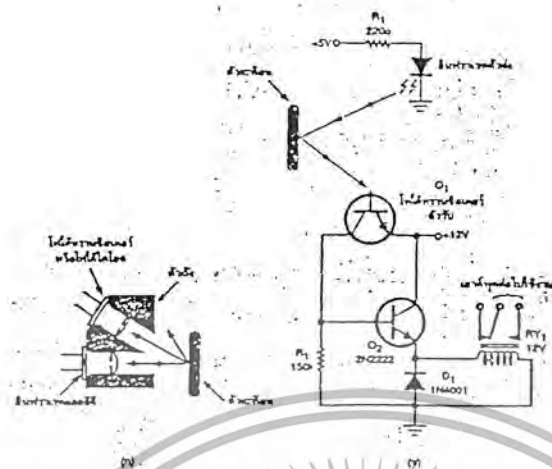


รูปที่ 4.2.9 (ก) โครงสร้างของออปโตไอโซเลเตอร์อย่างง่าย

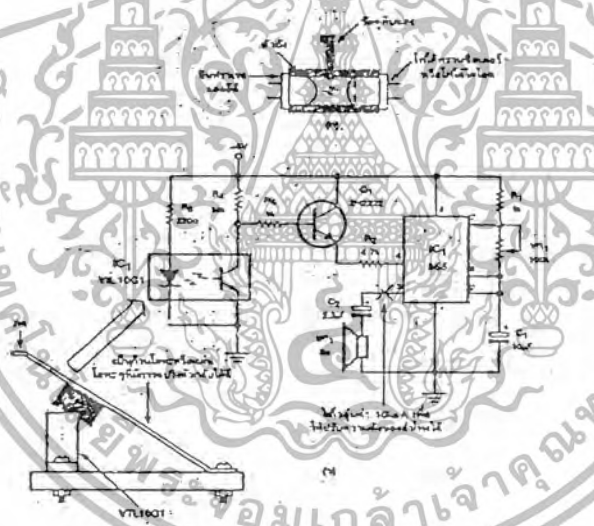
(ข) วงจรประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์

ออปโตไอโซเลเตอร์จะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังที่ทึบแสง เพื่อป้องกันการรบกวนของแสงจากภายนอก ออปโตไอโซเลเตอร์อาจรวมเอาอุปกรณ์ตรวจจับแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้วจับคู่กันและบรรจุในตัวถังเดียวกันก็ได้เช่น แสงจากหลอดนีออนกับตัวรับโฟโตเซลล์, หลอดอินแคนเดสเซนต์กับโฟโตเซลล์ และตัวส่งอินฟราเรดกับโฟโตเซลล์ และตัวส่งอินฟราเรดกับโฟโตทรานซิสเตอร์หรือกับโฟโตไดโอด เป็นต้น

ออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้งานกำลังสูงจะถูกบรรจุ อยู่ในตัวถังที่ใหญ่และค่อนข้างแข็งแรง ส่วนออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้ในวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์หรืองานที่มีกำลังค่อนข้างต่ำ และปานกลางจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังรูปไอซีที่เคยพบเห็นกันมาบ้างแล้วในรูปที่ 4.2.9 (ก) นั้นเป็นโครงสร้างภายในอย่างง่ายของออปโตไอโซเลเตอร์



รูปที่ 4.2.10 (ก) โครงสร้างของอปโตไดโอดไฮโดรเจนแบบคูลิ  
 (ข) การประยุกต์ใช้งานอปโตไดโอดไฮโดรเจน



รูปที่ 4.2.11 (ก) ลักษณะภายในของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน  
 (ข) วงจรใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน

การประยุกต์ใช้งานอปโตไดโอดไฮโดรเจนอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 4.2.9 (ข) เป็นการนำอปโตไดโอดไฮโดรเจนเข้ามาเชื่อมต่อเอาต์พุตของไอซีที่ทีแอล เข้ากับอินพุตของไอซีซีมอส โดยสัญญาณเอาต์พุตของ IC<sub>1</sub>/1 จะใช้ขับอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งที่ลอจิก “0” จะทำให้อินฟราเรดแอลอีดีใน IC<sub>2</sub> นำกระแสและส่งแสงอินฟราเรดออกมา โฟโต้ทรานซิสเตอร์ในอปโตไดโอดไฮโดรเจนเมื่อได้รับแสงจึงทำงาน ทำให้ปรากฏลอจิก “1” ที่อินพุตของ IC<sub>3</sub>/1 เอาต์พุตของ IC<sub>3</sub>/1 จึงมีลอจิกเป็น “0” ในทางกลับกันถ้าเอาต์พุตของ IC<sub>1</sub>/1 มีลอจิกเป็น “1” โฟโต้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน อินพุตของ IC<sub>3</sub>/1 มีลอจิกเป็น “0” เอาต์พุตของ IC<sub>3</sub>/1 จึงมีระดับลอจิกเป็น “1” สรุปคือเอาต์พุตของวงจรจะมีสถานะลอจิกตรงข้ามกับอินพุตของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับครูในวงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5.4.1 ออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดคู่ (Slotted Pair OptoIsolator)

ออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดนี้จะติดตั้งตัวรับและตัวส่งไว้บนตัวถังเดียวกัน แต่จะเปิดช่องทางของแสงเอาไว้ วิธีการใช้งานจะใช้วัสดุทึบแสงมาปิดแสงตรงช่องว่างดังกล่าว และนำผลดังกล่าวไปใช้งาน ลักษณะของออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่นี้ แสดงดังรูปที่ 4.2.10 (ก)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 4.2.10 (ข) ซึ่งเป็นวงจรเครื่องเคาะรหัสสมอร์ส โดย  $Q_1$  และ  $IC_1$  ซึ่งเป็นออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่ การทำงานของวงจรจะใช้วัสดุทึบแสงมาประกอบเป็นคีย์เคาะรหัสสมอร์ส โดยให้ส่วนทึบแสงทำหน้าที่ปิดเปิดแสงบนตัวออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ให้ทำงานหรือไม่ทำงานตามต้องการ (ตัวรับแสงได้รับแสงหรือไม่ได้รับแสง) ออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มากมาย ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนสิ่งของ การนับรอบของเครื่องกลต่างๆ เป็นต้น

#### 4.2.5.4.2 ตัวตรวจจับการสะท้อน (Reflector Isolator)

ตัวตรวจจับการสะท้อนก็เป็นออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์ชนิดหนึ่ง หลักการคือจะอาศัยวัสดุหรือชิ้นงานที่จะตรวจจับ เป็นตัวสะท้อนแสงจากอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งไปยังตัวรับแสงที่เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ การติดตั้งบนตัวถังของตัวตรวจจับการสะท้อนระหว่างอินฟราเรดแอลอีดีและโฟโตทรานซิสเตอร์จะติดตั้งให้ห่างกัน 45 องศาหรือมากกว่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2.11 (ก) และส่วนใหญ่จะเป็นการติดตั้งไว้ตัวถังบรรจุตัวเดียวกันเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน

วงจรใช้งานตัวตรวจจับการสะท้อนแบบง่ายๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2.11 (ข) จะเห็นว่าอินฟราเรดแอลอีดี  $LED_1$  ถูกต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ทำให้น้ำกระแสและแสงอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา และเมื่อแสงอินฟราเรดจาก  $LED_1$  การสะท้อนผ่านพื้นผิวใดๆ ก็ตามเข้ามายังโฟโตทรานซิสเตอร์  $Q_1$  (ตัวรับ)  $Q_1$  จึงทำงานและมีไบแอสที่ขามเสของ  $Q_1$  เป็นไบแอสตรง  $Q_2$  จึงทำงานทำให้รีเลย์  $RY_1$  และสามารถนำผลการเปลี่ยนแปลงหน้าสัมผัสของ  $RY_1$  ไปใช้งานได้ทันที ความไวในการทำงานของวงจรนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ  $R_2$

#### 4.2.6 อุปกรณ์ตรวจจับถึงกีดขวางที่ใช้ในหุ่นยนต์

เพื่อที่จะให้หุ่นยนต์สามารถที่จะเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้เอง โดยอัตโนมัติเราต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อที่จะให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ทราบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ที่ใดบ้าง เพื่อที่ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการตัดสินใจได้ว่าถูกต้องว่าจะทำอะไรต่อไป เช่น ให้เลี้ยวอ้อมหรือให้หยุด

สำหรับระบบเซนเซอร์ที่นิยมใช้กันในการสร้างหุ่นยนต์นั้นมีหลายชนิด ซึ่งจะได้

กล่าวถึงบางชนิดที่สำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6.1 สวิตช์สัมผัส

ทำงานโดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนไปกระทบกับสิ่งกีดขวาง สวิตช์สัมผัสที่ติดอยู่รอบๆ ตัวของหุ่นยนต์จะส่งสัญญาณเป็นไปที่ส่วนควบคุม จากนั้นส่วนควบคุมจะเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ ตัวตรวจจับแบบนี้มีข้อเสียคือจะต้องรอให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปกระทบกับสิ่งกีดขวางเสียก่อนจึงจะทราบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่

#### 4.2.6.2 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)

มีหลักการทำงาน โดยอาศัยการส่งคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยินได้ออกไป เมื่อคลื่นที่ส่งไปนั้นกระทบกับสิ่งกีดขวางก็จะเกิดการสะท้อนขึ้น ถ้าเรานำเอาตัวตรวจจับคลื่นเสียงความถี่สูงไปตั้งไว้ในทิศทางที่หันหน้าไปทางเดียวกับตัวส่งเราก็จะสามารถทราบได้ว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ในทิศทางที่เราส่งคลื่นออกไปได้ โดยการตรวจจับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมานั้นเอง ข้อเสียของอุปกรณ์ตรวจจับประเภทนี้คือมีราคาแพง และเมื่อคลื่นเสียงความถี่สูงที่ส่งไปกระทบกับวัสดุบางชนิดที่มีความสามารถในการดูดกลืนเสียงก็ จะทำให้คลื่นที่สะท้อนกลับมานั้นมีขนาดไม่แรงพอที่จะทำให้ตัวตรวจจับทำงานได้ก็จะทำให้ตรวจจับไม่สามาร ตรวจจับได้หรือในบางขณะที่วัตถุที่วางกีดขวางอยู่นั้นวางอยู่ในลักษณะที่พาดมกั้น กับตัวตรวจจับก็อาจจะทำให้คลื่นที่ส่งออกไปนั้นสะท้อนบนออกไปจากแนวเส้นปกติของตัวตรวจจับได้ ก็จะทำให้ไม่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางนี้ได้เช่นกัน ดังนั้นรูปทรง การวางตัวของสิ่งกีดขวางและวัสดุพื้นผิวจึงมีผลต่ออุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้

#### 4.2.6.3 อินฟราเรดเซนเซอร์ (Infrared Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับแบบนี้ทำงานคล้ายกับแบบอุลตราโซนิค แต่แทนที่จะส่งคลื่นเสียงออกไปก็จะส่งคลื่นแสงออกไปแทน โดยแสงที่ส่งไปนี้เป็นแสงความถี่ต่ำในช่วงอินฟราเรดซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ตามนุษย์ไม่สามารถจะมองเห็นได้ มีข้อดีคือตัวส่งและตัวรับแสงอินฟราเรดมีราคาไม่แพงมากเหมือนอุลตราโซนิค แต่ก็มีข้อเสียคือสีของวัตถุจะมีผลต่อการสะท้อนของแสงอินฟราเรด และยังอาจจะมีแสงอินฟราเรดจากแหล่งอื่นที่เข้ามารบกวนระบบของเราได้ เช่น ไฟฉายหรือดวงอาทิตย์ และตัวตรวจจับแสงบางชนิดยังมีช่วงการทำงานที่ครอบคลุมความถี่แสง ในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ด้วย ทางแก้ของก็คืออาจต้องส่งคลื่นแสงอินฟราเรดออกไปเป็นพัลส์ โดยที่วงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้น จะมีผลต่ออินฟราเรดที่รับเข้ามาแล้วมีความถี่ตรงกับความถี่ทางด้านส่งเท่านั้น ก็จะทำให้เราสามารถกรองเฉพาะสัญญาณที่เราต้องการเท่านั้นได้ และในกาส่งคลื่นออกไปเป็นช่วงความถี่นี้ทำให้เราสามารถเพิ่มกำลังส่งของอินฟราเรดแอลอีดีได้อีกด้วย โดยถ้าเราส่งคลื่นแสงยาวตลอดทำให้เราต้องจำกัดกระแสให้อยู่ในขนาดที่ อินฟราเรดแอลอีดี พองจะทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปหว่านนั้น แต่ถ้าเราสามารถถ่ายกระแสในขณะส่งได้สูงขึ้น โดยที่กระแสเฉลี่ยยังคงมีค่าไม่เกินขนาดที่ตัวแอลอีดีจะทนได้

#### 4.2.7 วงจรอินฟราเรดเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ตรวจจับในโครงการ

สำหรับวงจรที่นำมาทดสอบเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับ ในโครงการนี้นั้นดัดแปลงมาจากวงจรรีโมทคอนโทรล โดยภาคส่งจะส่งคลื่นแสงอินฟราเรดเป็นพัลส์ความถี่ประมาณ 40 KHz

และสำหรับเอาต์พุตที่ได้จากภาครับเราจะต้องนำไป ต่อเข้าเป็นอินพุตให้กับ ไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

การทำงานของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางจะมีวงจรต่างๆหลายวงจรที่ทำงานสัมพันธ์กัน โดยจะแบ่งเป็นภาคๆ ดังนี้

#### 5.1 Drive Motor Circuit

จากตารางการทำงานอินพุตของ Drive Motor Circuit จะมาจาก Port 2 ของ Microcontroller โดยอินพุตจาก P 2.2 , P 2.3 จะใช้ควบคุมมอเตอร์ซ้าย และ P 2.7, P 2.1 ใช้ควบคุมมอเตอร์ขวา ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการทำงานของมอเตอร์

INPUT 1 (P 2.2)	INPUT 2 (P 2.3)	สถานะมอเตอร์ซ้าย
1	1	หยุด
1	0	หมุนหน้า
0	1	หมุนหลัง
0	0	หยุด
INPUT 3 (P 2.7)	INPUT 4 (P 2.1)	สถานะมอเตอร์ขวา
1	1	หยุด
1	0	หมุนหน้า
0	1	หมุนหลัง
0	0	หยุด

#### 5.2 Infrared Sensor Circuit

ตารางที่ 5.2.1 ผลการทดลองการทำงานของเซ็นเซอร์

สถานการณ์	เอาต์พุตของ Infrared Sensor
มีสิ่งกีดขวาง Infrared ถูกสะท้อนกลับ	ลอจิก 0
ไม่มีสิ่งกีดขวาง Infrared ไม่ถูกสะท้อนกลับ	ลอจิก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการทำงานได้ใช้ IC 555 ในการสร้าง Pulse 38 KHz โดยใช้เป็น carrier ในการส่งแอสอินฟราเรดที่มีความถี่ 38 KHz เพื่อให้เหมาะกับตัวรับอินฟราเรด(38KHz) ที่จะทำให้การรับแอสที่มีความถี่ 38 KHz ซึ่งจะทำให้การ Demodulate และให้ output ออกมา ถ้าอินฟราเรดความถี่ 38 KHz ถูกสะท้อนมายังตัวรับเอาท์พุทของวงจร จะมีค่าเป็นลอจิก 0 โดยในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง จะมีค่าเป็นลอจิก 1 ค่าเอาท์พุทนี้จะถูกส่งไปยัง Microcontroller circuit เพื่อประมวลผลสำหรับหักเดียวหลบต่อไป ตารางที่ 5.2.2 ผลการทดลองระยะทางที่ตรวจสอบได้โดยค่า  $R_3$  ต่าง ๆ

ค่า $R_3$ ที่ภาคส่ง (โอห์ม)	ระยะทางที่เซ็นเซอร์สามารถที่จะ detect สิ่งกีดขวางได้ (cm)
500	15.4
1K	13.2
2K	9.5
5K	4.7

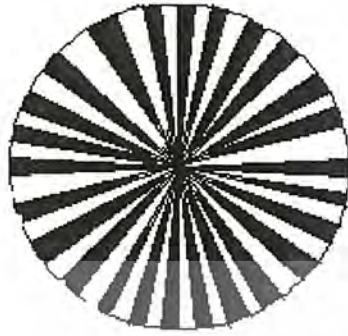
### 5.3 Counter นับรอบล้อ

เป็นวงจรที่ตรวจสอบว่ามอเตอร์หมุนได้จำนวนรอบเท่าไรแล้ว ทั้งนี้เพื่อการประมวลผลที่ต้องการแม่นยำ การทำงานจะใช้แถบมิด-สว่าง เพื่อสะท้อนและดูดกลืนแสงจาก Opto device จะเกิดแรงดัน ลอจิก 0 หรือ 1 ขึ้น โดยให้วงจรนับว่าแถบมิด-สว่างจำนวน 22 แถบถือเป็น 1 รอบการหมุนของมอเตอร์

การนับดังกล่าวนี้มีจุดประสงค์หลายประการซึ่งเป็นเหตุผลที่สำคัญทั้งนั้น อาทิ

- เป็นการนับรอบถอยหลังเพื่อให้สามารถรู้ได้ว่ารถถึงจุดหมายหรือยัง
- เพื่อเป็นการควบคุมให้มอเตอร์ทั้ง 2 ข้าง หมุนได้ระยะทางที่เท่ากัน โดยการเปรียบเทียบจำนวนแถบมิด-สว่างให้มีค่าเท่ากัน
- เพื่อเป็นการควบคุมการเลี้ยวซ้าย-ขวาให้เลี้ยวได้เป็นมุมฉาก โดยการให้มอเตอร์ข้างหนึ่งหมุนไปข้างหน้า และอีกข้างหมุนไปข้างหลัง เพื่อให้พิคัดขณะเลี้ยวไม่เปลี่ยนแปลง
- เพื่อให้ปรับความเร็วได้เท่ากันทั้ง 2 ข้างของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ด้านบนคือ รูปตัวที่ใช้ในการตรวจเช็คระยะทางในการเคลื่อนที่ของรถ จะถูกคิดไว้ที่แกนของมอเตอร์ ซึ่งจะหมุนตามแกนของมอเตอร์เพื่อสะท้อนและดูดกลืนแสงจาก Opto device เพื่อให้ได้เป็น Square wave และถูกนำไปประมวลผลต่อที่ตัว Microcontroller circuit เพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองเอาท์พุทของวงจรมับล้อในสถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์	เอาท์พุทของ Counter มับล้อ
แถบดำที่แผ่นมับล้อขวางการรับ-ส่งอินฟาเรดของ Opto device	ลอจิก 0
แถบขาวที่แผ่นมับล้อขวางการรับ-ส่งอินฟาเรดของ Opto device	ลอจิก 1

#### 5.4 Microcontroller circuit

เป็นวงจรที่ควบคุมการทำงานของทั้ง 3 วงจรข้างต้นให้ทำงานสัมพันธ์กันอย่างมีประสิทธิภาพ การทำงานจะมีขั้นตอนคร่าวๆดังต่อไปนี้

- รับพิกัดจุดหมายจากคีย์บอร์ด
- ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งมอเตอร์ให้หมุนเพื่อไปยังจุดหมาย
- ขณะเดินทางถ้าพบสิ่งกีดขวางเซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์ห้กลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขณะเดินทางไมโครคอนโทรลเลอร์จะนับระยะทางลงซึ่งได้ข้อมูลจาก Counter นับรอบล้อ เพื่อตรวจสอบว่ารถถึงจุดหมายหรือยัง

และที่ T0,T1 ของ 8051 จะเป็นที่รับสัญญาณ Square wave จาก Opto device เพื่อการควบคุมต่างๆข้างต้น

### 5.5 Source circuit

โดยพลังงานจะถูกส่งจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 4.5 แอมป์อวาร์ต (12 V 4.5 AH) จำนวน 1 ก้อน และแบตเตอรี่ 9 โวลต์จำนวน 1 ก้อน ซึ่งจะถูกแบ่งจ่ายไปให้กับ 4 วงจรดังนี้

ก้อนแรกจะจ่ายให้กับ Drive Motor Circuit , Infrared Sensor

โดย Drive Motor Circuit

จะต้องเรคกูเลตแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ด้วย 7805

Infrared Sensor

จะต้องเรคกูเลตแรงดันให้เหลือ 6 โวลต์ด้วย 7806

ก้อนที่ 2 จะจ่ายให้กับ Circuit Counter นับรอบล้อ , Microcontroller circuit

Circuit Counter นับรอบล้อ

จะต้องเรคกูเลตแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ด้วย 7805

Microcontroller circuit

จะต้องเรคกูเลตแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ด้วย 7805



## สรุปรวม

ลักษณะทางกายภาพของตัวรถมีข้อมูลต่างๆดังนี้

- ความยาวตัวรถ 33 cm
- ความกว้างตัวรถ 31.5 cm
- ความสูงเมื่อวัด ณ จุดที่สูงที่สุด 20 cm
- เส้นรอบวงของล้อ 22 cm

พิกัดระยะทางที่กำหนด คือ 1 หน่วยจะเท่ากับความยาวเส้นรอบวงของล้อมีค่า 22 cm ซึ่งการวัดจุดต่างๆจะใช้พิกัดในระนาบ (x,y) เป็นตัวบอก

### 5.6 เมื่อให้รถวิ่งโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

กำหนดพิกัดจุดหมาย(x,y) และพิกัดที่รถวิ่งได้(x,y) โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 5.6 ผลการวัดคล่องรถวิ่งตามพิกัดที่กำหนด

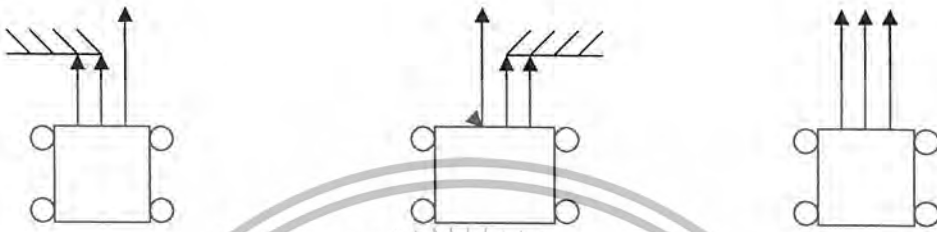
พิกัดที่กำหนด (x,y) หน่วย	ระยะทางที่ กำหนด (x,y) cm	พิกัดที่รถวิ่ง ได้(x,y) หน่วย	ระยะทางที่วิ่งได้ (x,y) Cm	ความ ผิดพลาด (x,y) หน่วย	ความ ผิดพลาด (x,y) cm
(3,4)	(66,88)	(4.09,4.54)	(90,100)	(1.09,0.54)	(24,12)
(6,6)	(132,132)	(7.73,7.75)	(170,170.5)	(1.73,1.75)	(38,38.5)
(10,2)	(220,44)	(10.4,0)	(229,0)	(0.4,-2)	(9,-44)
(3,11)	(66,242)	(7.25,8.27)	(159.5,182)	(4.25,-2.73)	(93.5,-60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 พิจารณาการตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางในรูปแบบต่างๆ

พิจารณาการตอบสนองตามรูปแบบต่างๆดังรูปข้างล่าง  
สถานการณ์จริง

เพื่อดูผลก่อนที่จะทดลองใน



เอาที่พู่ที่เซ็นเซอร์ คือ

0 0 1

การตอบสนองของรถ คือ  
เลี้ยวขวา

เอาที่พู่ที่เซ็นเซอร์ คือ

1 0 0

การตอบสนองของรถ คือ  
เลี้ยวซ้าย

เอาที่พู่ที่เซ็นเซอร์ คือ

1 1 1

การตอบสนองของรถ คือ  
ตามเส้นทางเดิน



เอาที่พู่ที่เซ็นเซอร์ คือ

0 1 1

การตอบสนองของรถ คือ  
เลี้ยวขวา

เอาที่พู่ที่เซ็นเซอร์ คือ

1 1 0

การตอบสนองของรถ คือ  
เลี้ยวซ้าย

เอาที่พู่ที่เซ็นเซอร์ คือ

0 0 0

การตอบสนองของรถ คือ  
เลี้ยวขวา

จากการทดลองข้างต้นจะพบว่าถ้าเซ็นเซอร์ตัวซ้ายจับสิ่งกีดขวางได้ตัวรถจะเลี้ยวขวา แต่ถ้าเซ็นเซอร์ตัวขวาจับสิ่งกีดขวางได้ตัวรถจะเลี้ยวซ้าย เพื่อหลบสิ่งกีดขวางนั้นๆ

5.8 พิจารณาการเดินทางทั้งหมดตามสถานการณ์ต่างๆ  
เป็นการทดลองให้รถวิ่งไปยังจุดหมายตามลักษณะต่างๆ



ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองรถวิ่งตามพิกัดที่กำหนดในสถานการณ์ต่าง ๆ

สถานการณ์	พิกัดที่กำหนด (x,y)	พิกัดที่รถวิ่ง ได้(x,y)	ความผิดพลาด (x,y)	เส้นทางจากจุดเริ่มต้น จนถึงจุดหมาย(cm)
case 1	(0,6)	(3.98,7.73)	(3.98,1.73)	(0,132),(87.5,170)
case 2	(6,0)	(7.52,2.73)	(1.52,2.73)	(132,0),(165.5,60)
case 3	(6,6)	(7.86,4.86)	(1.86,1.14)	(132,132),(173,107)
case 4	(6,6)	(8.43,9.20)	(2.43,3.20)	(132,132),(185.5,202.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุป และ วิจารณ์

ประสิทธิภาพในการทำงานส่วนใหญ่จะอยู่ที่การทำงานของระบบรับ-ส่งอินฟราเรด ซึ่งจะไม่ทำงานเมื่อพบวัตถุทึบแสงเพราะวัตถุทึบแสงจะทำการดูดกลืนแสง และ ทำให้ไม่มีการสะท้อนกลับเข้าตัวรับ

ถ้าไม่มีโฟโตทรานซิสเตอร์มาคอยตรวจจับมือ ซึ่งควรมีการติดตั้งโฟโตทรานซิสเตอร์มาคอยตรวจในโครงการรถยนต์วิ่งอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้รถยนต์วิ่งได้ถึงจุดหมายอย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถหลบหลีกวัตถุที่ขวางเส้นทาง โดยเหตุสุดวิสัยโดยใช้อินฟราเรดได้และไปถึงจุดหมายที่กำหนดไว้ได้ และควรมีการติดตั้งตัวรับอินฟราเรดเป็นโฟโตโมดูลซึ่งจะเป็นตัวรับรีโมท ซึ่งจะทำงานได้ในช่วงแสงอินฟราเรดจะมี error จากแสงภายนอกน้อยมาก ตรงได้ และ ปัญหาที่ตัวรับอินฟราเรดไม่สามารถรับอินฟราเรดได้ดีพอ ยังมี error จากไฟภายนอก ควรมีการติดตั้งโฟโตทรานซิสเตอร์มาคอยตรวจสอบมือเพื่อให้สามารถวิ่งตรงได้ และสามารถกำหนดจุดหมายได้ และ ควรมีการติดตั้งตัวรับอินฟราเรดเป็นโฟโตโมดูลซึ่งจะเป็นตัวรับรีโมท ซึ่งจะทำงานได้ในช่วงแสงอินฟราเรดจะมี error จากแสงภายนอกน้อยมาก





ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1:
2: ;----->
3: ; Define Port&Pin Name
4: ;----->
5: KPAD_ROW0      BIT      P1.0      ; Keypad Input Row 0
6: KPAD_ROW1      BIT      P1.1      ; Keypad Input Row 1
7: KPAD_ROW2      BIT      P1.2      ; Keypad Input Row 2
8: KPAD_ROW3      BIT      P1.3      ; Keypad Input Row 3
9: KPAD_COL2      BIT      P1.4      ; Keypad Output Column 2
10: KPAD_COL1     BIT      P1.5      ; Keypad Output Column 1
11: KPAD_COL0     BIT      P1.6      ; Keypad Output Column 0
12: LCD_EN        BIT      P2.5
13: LCD_RS        BIT      P2.6
14: IN_MOTORL     BIT      P2.1
15: OUT_MOTORL    BIT      P2.7
16: IN_MOTORR     BIT      P2.3
17: OUT_MOTORR    BIT      P2.2
18:
19: ;----->
20: ; Define User Register
21: ;----->
22: LCD_ADDR       EQU      050H
23: LCD_DATA       EQU      051H
24: KPAD_DATA      EQU      052H
25: LCD_DATA_X     EQU      053H
26: LCD_DATA_X1    EQU      054H
27: LCD_DATA_Y     EQU      055H
28: LCD_DATA_Y1    EQU      056H
29:
30:
31: DATA_LX       EQU      3EH
32: DATA_LX1      EQU      3FH
33: DATA_LY       EQU      40H
34: DATA_LY1      EQU      41H
35: ERROR_R        EQU      42H
36: ERROR_L        EQU      43H
37: ERROR_RX       EQU      3DH
38: ERROR_LX       EQU      3CH
39: ER_L           EQU      44H
40: ER_R           EQU      45H
41: ER_RR          EQU      46H
42: ER_RL          EQU      47H
43: CASE_Y         EQU      48H
44: DATA_X        EQU      49H
45: DATA_X1       EQU      4AH
46: DATA_Y        EQU      4CH
47: DATA_Y1       EQU      4DH
48:
49: ;----->
50:
51:                ORG      0000H
52:                ACALL   STOP
53:                MOV     P0,#00000000B
54:                MOV     R0,#00H
55:                MOV     R1,#00H
56:                MOV     R2,#00H
57:                MOV     R3,#00H
58:                CLR     LCD_EN      ; Clear LCD Enable
59:                CLR     LCD_RS      ; Clear LCD RS
60:

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไร้อะไรเลย ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

61: MAIN:          ACALL  INIT_LCD      ; Call LCD Initial subroutine
62:
63:                MOV     LCD_ADDR,#000H  ; Set Address 00H
64:                ACALL  SET_ADDR_LCD
65:                MOV     DPTR,#TITLE_1
66:                ACALL  WRLINE_LCD
67:
68:                MOV     LCD_ADDR,#040H  ; Set Address 40H
69:                ACALL  SET_ADDR_LCD
70:                MOV     DPTR,#TITLE_2
71:                ACALL  WRLINE_LCD
72:
73:                ACALL  DELAY_1s
74:                ACALL  DELAY_1S
75:
76:                ACALL  LCD_CLR
77:                MOV     LCD_ADDR,#000H
78:                ACALL  SET_ADDR_LCD
79:                MOV     DPTR,#TITLE_4
80:                ACALL  WRLINE_LCD
81:                ACALL  DELAY_1S
82:
83: GETKEY:        ACALL  GET_KEY_DATA
84:                ACALL  SHOW_POS_X
85:                ACALL  GET_KEY_DATA
86:                ACALL  SHOW_POS_X1
87:                ACALL  DELAY_1S
88:
89:                ACALL  LCD_CLR
90:                MOV     LCD_ADDR,#000H
91:                ACALL  SET_ADDR_LCD
92:                MOV     DPTR,#TITLE_5
93:                ACALL  WRLINE_LCD
94:                ACALL  DELAY_1S
95:
96:                ACALL  GET_KEY_DATA
97:                ACALL  SHOW_POS_Y
98:                ACALL  GET_KEY_DATA
99:                ACALL  SHOW_POS_Y1
100:               ACALL  DELAY_1s
101:
102:               ACALL  SHOW_ALL
103:               ACALL  DELAY_1S
104:
105:               LJMP   RUN
106:
107: SHOW_POS_X:    MOV     LCD_ADDR,#40H
108:               ACALL  SET_ADDR_LCD
109:               ACALL  LCD_BLINK
110:               ACALL  DELAY_500MS
111:               MOV     R0,KPAD_DATA
112:               MOV     A,R0
113:               CJNE   A,#11,THENX
114: ENX            MOV     DATA_X1,#00H
115:               MOV     LCD_DATA,#30H
116:               AJMP   SH_X
117:
118: THENX:        PUSH   ACC
119:               MOV     A,R0
120:               CJNE   A,#11,ENXT
121:               AJMP   ENX
122:
123: ENXT          MOV     B,#10
124:               MUL    AB
125:               MOV    DATA_X1,A

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายใน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามตัดต่อและเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

126:          POP      ACC
127:          ADD      A, #30H
128:          MOV      LCD_DATA, A
129:
130: SH_X:      MOV      LCD_DATA_X, LCD_DATA
131:          ACALL   WRCHAR_LCD
132:          ACALL   DELAY_500MS
133:          RET
134:
135: SHOW_POS_X1: ACALL   LCD_BLINK
136:          ACALL   DELAY_500MS
137:          MOV      R1, KPAD_DATA
138:          MOV      A, R1
139:          CJNE   A, #11, THENX1
140: ENX1      MOV      DATA_X, DATA_X1
141:          MOV      LCD_DATA, #30H
142:          AJMP   SH_X1
143:
144: THENX1:   PUSH   ACC
145:          MOV      A, R1
146:          CJNE   A, #11, ENXT1
147:          AJMP   ENX1
148:
149: ENXT1     MOV      A, DATA_X1
150:          ADD      A, R1
151:          MOV      DATA_X, A
152:          POP      ACC
153:          ADD      A, #30H
154:          MOV      LCD_DATA, A
155:
156: SH_X1:    MOV      LCD_DATA_X1, LCD_DATA
157:          ACALL   WRCHAR_LCD
158:          ACALL   DELAY_500MS
159:          RET
160:
161: SHOW_POS_Y: MOV      LCD_ADDR, #40H
162:          ACALL   SET_ADDR_LCD
163:          ACALL   LCD_BLINK
164:          ACALL   DELAY_500MS
165:          MOV      R2, KPAD_DATA
166:          MOV      A, R2
167:          CJNE   A, #11, THENY
168: ENY      MOV      DATA_Y1, #00H
169:          MOV      LCD_DATA, #30H
170:          AJMP   SH_Y
171:
172: THENY    PUSH   ACC
173:          MOV      A, R2
174:          CJNE   A, #11, ENYT
175:          AJMP   ENY
176:
177: ENYT     MOV      B, #10
178:          MUL      AB
179:          MOV      DATA_Y1, A
180:          POP      ACC
181:          ADD      A, #30H
182:          MOV      LCD_DATA, A
183:
184: SH_Y:    MOV      LCD_DATA_Y, LCD_DATA
185:          ACALL   WRCHAR_LCD
186:          ACALL   DELAY_500MS
187:          RET
188:
189: SHOW_POS_Y1: ACALL   LCD_BLINK
190:          ACALL   DELAY_500MS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

191:      MOV     R3,KPAD_DATA      ;Show Position Y1
192:      MOV     A,R3
193:      CJNE   A,#11,THENY1
194:  ENY1  MOV     DATA_Y,DATA_Y1
195:      MOV     LCD_DATA,#30H
196:      AJMP   SH_Y1
197:
198:  THENY1 PUSH   ACC
199:      MOV     A,R3
200:      CJNE   A,#11,ENYT1
201:      AJMP   ENY1
202:
203:  ENYT1 MOV     A,DATA_Y1
204:      ADD    A,R3
205:      MOV    DATA_Y,A
206:      POP    ACC
207:      ADD    A,#30H
208:      MOV    LCD_DATA,A
209:
210:  SH_Y1: MOV     LCD_DATA_Y1,LCD_DATA
211:      ACALL  WRCHAR_LCD
212:      ACALL  DELAY_500MS
213:      RET
214:
215:  SHOW_ALL: ACALL  LCD_CLR
216:      MOV    LCD_ADDR,#00H
217:      ACALL  SET_ADDR_LCD
218:      MOV    DPTR,#TITLE_3
219:      ACALL  WRLINE_LCD
220:      MOV    LCD_ADDR,#40H
221:      ACALL  SET_ADDR_LCD
222:      MOV    LCD_DATA,#'('
223:      ACALL  WRCHAR_LCD
224:      MOV    LCD_DATA,LCD_DATA_X
225:      ACALL  WRCHAR_LCD
226:      MOV    LCD_DATA,LCD_DATA_X1
227:      ACALL  WRCHAR_LCD
228:      MOV    LCD_DATA,#','
229:      ACALL  WRCHAR_LCD
230:      MOV    LCD_DATA,LCD_DATA_Y
231:      ACALL  WRCHAR_LCD
232:      MOV    LCD_DATA,LCD_DATA_Y1
233:      ACALL  WRCHAR_LCD
234:      MOV    LCD_DATA,#' '
235:      ACALL  WRCHAR_LCD
236:      MOV    LCD_DATA,#')'
237:      ACALL  WRCHAR_LCD
238:
239:      RET
240:
241:
242:
243:
244: ;----->
--
245: ; LCD Initialize
246: ;----->
--
247:  INIT_LCD: ACALL  DELAY_100ms
248:      CLR    LCD_RS
249:
250:      MOV    P0,#00111000B
251:      ACALL  LCD_CLK
252:      ACALL  DELAY_10ms
253:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

254:          MOV     P0,#00111000B
255:          ACALL  LCD_CLK
256:
257:          ACALL  LCD_OFF
258:
259:          ACALL  LCD_CLR
260:
261:          MOV     P0,#00000110B
262:          ACALL  LCD_CLK
263:
264:          ACALL  LCD_HOME
265:
266: ;-----)
  --
267: ; LCD Clear Display
268: ;-----)
  --
269: LCD_CLR:   CLR     LCD_RS
270:          MOV     P0,#00000001B
271:          ACALL  LCD_CLK
272:          RET
273:
274: ;-----)
  --
275: ; LCD Return Home
276: ;-----)
  --
277: LCD_HOME:  CLR     LCD_RS
278:          MOV     P0,#00000010B
279:          ACALL  LCD_CLK
280:          RET
281:
282: ;-----)
  --
283: ; LCD Display Off
284: ;-----)
  --
285: LCD_OFF:   CLR     LCD_RS
286:          MOV     P0,#00001000B
287:          ACALL  LCD_CLK
288:          RET
289:
290: ;-----)
  --
291: ; LCD Clk
292: ;-----)
  --
293: LCD_CLK:   SETB   LCD_EN
294:          ACALL  LCD_DELAY
295:          CLR     LCD_EN
296:          ACALL  LCD_DELAY
297:          RET
298:
299: ;-----)
  --
300: ; LCD Display On
301: ;-----)
  --
302: LCD_ON:    CLR     LCD_RS
303:          MOV     P0,#00001100B
304:          ACALL  LCD_CLK
305:          RET
306:
307: ;-----)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วางกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

308: ; LCD Cursor On
309: ;----->
--
310: LCD_BLINK:    CLR     LCD_RS
311:              MOV     P0,#00001111B
312:              ACALL  LCD_CLK
313:              RET
314:
315: ;----->
--
316: ; LCD Left Shift Display
317: ;----->
--
318: LCD_LSHF:     CLR     LCD_RS
319:              MOV     P0,#00011000B
320:              ACALL  LCD_CLK
321:              RET
322:
323: ;----->
--
324: ; LCD Right Shift Display
325: ;----->
--
326: LCD_RSHF:     CLR     LCD_RS
327:              MOV     P0,#00011100B
328:              ACALL  LCD_CLK
329:              RET
330:
331: ;----->
--
332: ; Set LCD Address
333: ; I/P:        LCD_ADDR
334: ;----->
--
335: SET_ADDR_LCD: CLR     LCD_RS
336:              MOV     A,LCD_ADDR
337:              SETB   ACC.7
338:              MOV     P0,A
339:              ACALL  LCD_CLK
340:              RET
341:
342: ;----->
--
343: ; Write Character to show LCD
344: ; I/P:        LCD_DATA
345: ;----->
--
346: WRCHAR_LCD:   SETB   LCD_RS
347:              MOV     P0,LCD_DATA
348:              ACALL  LCD_CLK
349:              ACALL  LCD_ON
350:              RET
351:
352: ;----->
--
353: ; Write Line of 8 Character from ROM
354: ; I/P:        DPTR : Locate ROM Address
355: ;----->
--
356: WRLINE_LCD:   MOV     R0,#0
357: WRLINE_LCD_1: SETB   LCD_RS
358:              CLR     A
359:              MOVC   A,@A+DPTR
360:              MOV     P0,A
361:              ACALL  LCD_CLK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อรับการใช้งานโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกและเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

362:          INC      DPTR
363:          INC      R0
364:          CJNE    R0,#8,WRLINE_LCD_1
365:          ACALL   LCD_ON
366:          RET
367:
368: ;-----)
369:          ;KEY PAD SECTION
370: ;-----)
371:
372:
373:
374:
375: GET_KEY_DATA:  MOV     P1,#11111111B
376:
377:
378: LOOP:        ACALL   GET_KPAD      ; Get Keypad Data
379:             MOV     A,KPAD_DATA    ;
380:             CJNE   A,#00H,BACK
381:             AJMP   LOOP
382: BACK:        RET
383: ;-----)
384: ; Keypad Scan key Subroutine
385: ;-----)
386: GET_KPAD:    MOV     P1,#0FFH
387:             MOV     KPAD_DATA,#00H
388:
389: CHK_COL0:    CLR     KPAD_COL0      ; Begin Scan Column 0
390:             MOV     A,P1
391:             ANL    A,#0FH
392:             CJNE   A,#0FH,COLO_DETECT
393:             AJMP   CHK_COL1
394:
395: COLO_DETECT: MOV     KPAD_DATA,#01H
396:             AJMP   GET_ROW
397:
398: CHK_COL1:    SETB   KPAD_COL0
399:             CLR     KPAD_COL1      ; Begin Scan Column 1
400:             MOV     A,P1
401:             ANL    A,#0FH
402:             CJNE   A,#0FH,COL1_DETECT
403:             AJMP   CHK_COL2
404:
405: COL1_DETECT: MOV     KPAD_DATA,#02H
406:             AJMP   GET_ROW          ; Jump to get row value
407:
408: CHK_COL2:    SETB   KPAD_COL1
409:             CLR     KPAD_COL2      ; Begin Scan Column 2
410:             MOV     A,P1
411:             ANL    A,#00FH
412:             CJNE   A,#00FH,COL2_DETECT
413:             RET
414:
415: COL2_DETECT: MOV     KPAD_DATA,#03H
416:
417: GET_ROW:    CLR     KPAD_COLO
418:             CLR     KPAD_COL1
419:             CLR     KPAD_COL2
420:             JB     KPAD_ROW0,CHK_ROW1
421:             JB     KPAD_ROW1,CHK_ROW1
422:             RET

```

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

423:
424: CHK_ROW1:      JB      KPAD_ROW1,CHK_ROW2
425:               MOV      A,KPAD_DATA
426:               ADD      A,#03H
427:               MOV      KPAD_DATA,A
428:               RET
429:
430: CHK_ROW2:      JB      KPAD_ROW2,CHK_ROW3
431:               MOV      A,KPAD_DATA
432:               ADD      A,#06H
433:               MOV      KPAD_DATA,A
434:               RET
435:
436: CHK_ROW3:      MOV      A,KPAD_DATA
437:               ADD      A,#09H
438:               MOV      KPAD_DATA,A
439:               RET
440:
441: ;-----)
442: --
443: ;-----)
444: ; Delay time LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
445: ;-----)
446: LCD_DELAY:     MOV      R7,#002
447: LCD_DELAY_1:   MOV      R6,#0E6H
448: LCD_DELAY_2:   NOP
449:               NOP
450:               DJNZ    R6,LCD_DELAY_2
451:               DJNZ    R7,LCD_DELAY_1
452:               RET
453:
454: DELAY_10ms:    MOV      R7,#010
455: DELAY_10ms_1:  MOV      R6,#0E6H
456: DELAY_10ms_2:  NOP
457:               NOP
458:               DJNZ    R6,DELAY_10ms_2
459:               DJNZ    R7,DELAY_10ms_1
460:               RET
461:
462: DELAY_100ms:   MOV      R7,#100
463: DELAY_100ms_1: MOV      R6,#0E6H
464: DELAY_100ms_2: NOP
465:               NOP
466:               DJNZ    R6,DELAY_100ms_2
467:               DJNZ    R7,DELAY_100ms_1
468:               RET
469:
470: DELAY_1s:      MOV      R5,#100
471: DELAY_1s_1:    ACALL   DELAY_10ms
472:               DJNZ    R5,DELAY_1s_1
473:               RET
474:
475: DELAY_500MS   MOV      R5,#50
476: DELAY_500MS_1 ACALL   DELAY_10ms
477:               DJNZ    R5,DELAY_500MS_1
478:               RET
479:
480: DELAY_1S      MOV      R5,#100
481: DELAY_1S_1:    ACALL   DELAY_10ms
482:               DJNZ    R5,DELAY_1S_1
483:               RET
484:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

485: ;----->
--
486: ;Define Constant
487: ;----->
--
488: ;                01234567
489: TITLE_1:        DB      'INPUT_P'
490: TITLE_2:        DB      'OSITON '
491:
492: TITLE_3:        DB      'POSITION'
493: TITLE_4         DB      'INPUT X '
494: TITLE_5         DB      'INPUT Y '
495:
496: ;*****
497:                 ;RUNNING
498: ;*****

499: RUN:           MOV      ERROR_R,#00H
500:                MOV      ERROR_L,#00H
501:                MOV      ERROR_RX,#00H
502:                MOV      ERROR_LX,#00H
503:                MOV      ER_R,#00H
504:                MOV      ER_L,#00H
505:                MOV      ER_RR,#00H
506:                MOV      ER_RL,#00H
507:                MOV      CASE_Y,#00H
508:                MOV      DATA_LX,#00H
509:                MOV      DATA_LX1,#00H
510:                MOV      DATA_LY,#00H
511:                MOV      DATA_LY1,#00H
512:                MOV      30H,#00H
513:                MOV      31H,#00H
514:                MOV      32H,#00H
515:                MOV      33H,#00H
516:                MOV      34H,#00H
517:                MOV      35H,#00H
518:                MOV      36H,#00H
519:                MOV      37H,#00H
520:                MOV      TH0,#00H
521:                MOV      TL0,#00H
522:                MOV      TH1,#00H
523:                MOV      TL1,#00H
524:                CLR      TR0
525:                CLR      TR1
526:                CLR      TF0
527:                CLR      TF1
528:
529:                MOV      A,DATA_X
530:                MOV      B,#10H
531:                MUL      AB                ;Multiply With 8 Pulse
532:                MOV      DATA_LX,A
533:                MOV      DATA_LX1,B
534:
535:                MOV      A,DATA_Y
536:                MOV      B,#10H
537:                MUL      AB
538:                MOV      DATA_LY,A
539:                MOV      DATA_LY1,B
540:
541:                ACALL   STOP
542:                ACALL   DELAY_1S
543:
544: ;*****
545: ;                Y, DIRECTION
546: ;*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะการศึกษาก่อนนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 546: ;\*\*\*\*\*  
 547: ;\*\*\*\*\*

```

547:          MOV     30H,DATA_LY
548:          MOV     31H,DATA_LY1
549:
550: CK:       MOV     TMOD,#01010101B
551:          SETB   TR0
552:          SETB   TR1
553:          ACALL  GO
554:
555:          MOV     A, 31H
556:          CJNE   A, TH0, THEN1
557:          MOV     A, 30H
558:          CJNE   A, TL0, THEN
559:
560: ST:       ACALL  STOP
561:          ACALL  DELAY_1S
562:          ACALL  DELAY_1S
563:          AJMP  CHANGE_DI
564:
565: THEN:    CLR     C
566:          MOV     A, 30H
567:          SUBB   A, TL0
568:          JC     ST
569:
570: THEN1    ACALL  CHK_OBY          ;Check ObjectY
571:          AJMP  CK
572:
573: ;*****
574: ;          Check Object In Y Position
575: ;*****
576:
577: CHK_OBY  MOV     A,P3
578:          ANL   A,#00000111B
579:
580: FINDY    CJNE   A,#00000110B,FIND_1Y
581:          ACALL  FIND_LY
582: FIND_1Y  CJNE   A,#00000011B,FIND_2Y
583:          ACALL  FIND_RY
584: FIND_2Y  CJNE   A,#00000100B,FIND_3Y
585:          ACALL  FIND_LY
586: FIND_3Y  CJNE   A,#00000001B,FIND_4Y
587:          ACALL  FIND_RY
588: FIND_4Y  CJNE   A,#00000101B,FIND_5Y
589:          ACALL  FIND_LY
590: FIND_5Y  CJNE   A,#00000010B,FIND_6Y
591:          ACALL  FIND_LRY
592: FIND_6Y  CJNE   A,#00000000B,FIND_7Y
593:          ACALL  FIND_LRY
594: FIND_7Y  RET
595:
596:
597: FIND_LY  ACALL  STOP          ;Turn Left Procedure
598:          ACALL  DELAY_1S
599:          ACALL  TURN_L
600:          ACALL  DELAY_1S
601:          ACALL  GO1FEET
602:          ACALL  DELAY_1S
603:          MOV     A,#10H
604:          ADD    A,ERROR_L
605:          MOV     ERROR_L,A
606:          ACALL  DELAY_1S
607:          ACALL  TURN_R
608:          ACALL  STOP
609:          ACALL  DELAY_1S
610:          RET
611:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

612: FIND_RY          ACALL    STOP                ;Turn Right Procedure
613:                  ACALL    DELAY_1S
614:                  ACALL    TURN_R
615:                  ACALL    DELAY_1S
616:                  ACALL    GO1FEET
617:                  ACALL    DELAY_1S
618:                  MOV     A,#10H
619:                  ADD     A,ERROR_R
620:                  MOV     ERROR_R,A
621:                  ACALL    DELAY_1S
622:                  ACALL    TURN_L
623:                  ACALL    STOP
624:                  ACALL    DELAY_1S
625:                  RET
626:
627: FIND_LRY          ACALL    STOP
628:                  ACALL    DELAY_1S
629:                  ACALL    TURN_L
630:                  ACALL    DELAY_1S
631:                  ACALL    GO1FEET
632:                  ACALL    DELAY_1S
633:                  ACALL    GO1FEET
634:                  ACALL    DELAY_1S
635:                  MOV     A,#20H
636:                  ADD     A,ERROR_L
637:                  MOV     ERROR_L,A
638:                  ACALL    DELAY_1S
639:                  ACALL    TURN_R
640:                  ACALL    STOP
641:                  ACALL    DELAY_1S
642:                  RET
643:
644: ;*****
645: ;                      X DIRECTION
646: ;*****
647:
648: CHANGE_DI:        ACALL    CHK_CASE_Y        ;Check Case
649:
650:                  MOV     A,CASE_Y
651:                  CJNE    A,#01H,C_2345
652:                  ACALL    CASE_1
653:                  AJMP    DI_X
654:
655: C_2345:           CJNE    A,#02H,C_345
656:                  ACALL    CASE_2
657:                  AJMP    DI_X
658:
659: C_345:            CJNE    A,#03H,C_45
660:                  ACALL    CASE_3
661:                  AJMP    DI_X
662:
663: C_45:            CJNE    A,#04H,C_5
664:                  AJMP    STX
665:
666: C_5:             ACALL    CASE_5
667:
668: DI_X:            MOV     TL0,#00H
669:                  MOV     TL1,#00H
670:                  MOV     TH0,#00H
671:                  MOV     TH1,#00H
672:
673: EX               MOV     TMOD,#01010101B
674:                  SETB    TR0
675:                  SETB    TR1
676:                  MOV     34H,DATA_LX1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลใดๆ โดยต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

677:          ACALL   GO
678:          MOV     A, 34H
679:          CJNE   A, TH0, THEN_X1
680:          MOV     A, 33H
681:          CJNE   A, TL0, THEN_X
682:
683: STX       ACALL   STOP
684:          ACALL   DELAY_1S
685:          ACALL   DELAY_1S
686:          AJMP   CHK_POSX
687:
688: THEN_X    CLR     C
689:          MOV     A, 33H
690:          SUBB   A, TL0
691:          JC     STX
692:
693: THEN_X1   ACALL   CHK_OBX
694:          AJMP   EX
695:
696: CHK_POSX  MOV     TL0, #00H
697:          MOV     TH0, #00H
698:
699:          MOV     A, ERROR_LX
700:          CLR     C
701:          SUBB   A, ERROR_RX
702:          JC     CHK_POSX2
703:          CJNE   A, #00H, CHK_POSX1
704:          AJMP   GOEX3
705:
706:
707:
708: CHK_POSX1 ACALL   TURN_R
709:          ACALL   DELAY_1S
710:          ACALL   GO1FEET
711:          ACALL   DELAY_1S
712:          ACALL   TURN_L
713:          ACALL   DELAY_1S
714: GOEX3     ACALL   STOP
715:          ACALL   DELAY_1S
716:          ACALL   DELAY_1S
717:          LJMPL MAIN
718:
719:
720: CHK_POSX2 ACALL   TURN_L
721:          ACALL   DELAY_1S
722:          ACALL   GO1FEET
723:          ACALL   DELAY_1S
724:          ACALL   TURN_R
725:          ACALL   DELAY_1S
726:          ACALL   STOP
727:          ACALL   DELAY_1S
728:          ACALL   DELAY_1S
729:          LJMPL MAIN
730:
731:
732:
733: ;*****

```

```

734:
735: CHK_CASE_Y: MOV     A, ERROR_R
736:          CLR     C
737:          SUBB   A, ERROR_L
738:          JC     CA_Y1
739:          MOV     ER_R, A
740:          CJNE   A, #00H, CA_Y345

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลนี้อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

741:
742: CA_Y2:      MOV     CASE_Y, #02H
743:             RET
744: CA_Y1:      MOV     A, ERROR_L
745:             CLR     C
746:             SUBB   A, ERROR_R
747:             MOV     ER_L, A
748:             MOV     CASE_Y, #01H
749:             RET
750:
751: CA_Y345:    MOV     A, ER_R
752:             CLR     C
753:             SUBB   A, DATA_LX
754:             JC     CA_Y3
755:             MOV     ER_RR, A
756:             CJNE   A, #00H, CA_Y5
757:
758: CA_Y4:      MOV     CASE_Y, #04H
759:             RET
760:
761: CA_Y3:      MOV     A, DATA_LX
762:             CLR     C
763:             SUBB   A, ER_R
764:             MOV     ER_RL, A
765:             MOV     CASE_Y, #03H
766:             RET
767:
768: CA_Y5:      MOV     CASE_Y, #05H
769:             RET
770:
771: ;*****
772: ;           Run By Case Procedure
773: ;*****
774: CASE_1:     MOV     A, ER_L
775:             CLR     TFO
776:             ADD   A, DATA_LX
777:             JNB   TFO, NOVER
778:             INC   DATA_LX1
779: NOVER      MOV     33H, A
780:             ACALL TURN_R
781:             ACALL DELAY_1S
782:             RET
783:
784: CASE_2:     MOV     33H, DATA_LX
785:             ACALL TURN_R
786:             ACALL DELAY_1S
787:             RET
788:
789: CASE_3:     MOV     33H, ER_RL
790:             ACALL TURN_R
791:             ACALL DELAY_1S
792:             RET
793:
794: CASE_5:     MOV     33H, ER_RR
795:             ACALL TURN_L
796:             ACALL DELAY_1S
797:             RET
798:
799: ;*****
800: ;           Check Object In X Position
801: ;*****
802:
803: CHK_OBX    MOV     A, P3
804:             ANL   A, #00000111B
805:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในสถานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

806: FINDX          CJNE     A,#00000110B,FIND_1X
807:                 ACALL    FIND_LX
808: FIND_1X         CJNE     A,#00000011B,FIND_2X
809:                 ACALL    FIND_RX
810: FIND_2X         CJNE     A,#00000100B,FIND_3X
811:                 ACALL    FIND_LX
812: FIND_3X         CJNE     A,#00000001B,FIND_4X
813:                 ACALL    FIND_RX
814: FIND_4X         CJNE     A,#00000101B,FIND_5X
815:                 ACALL    FIND_LX
816: FIND_5X         CJNE     A,#00000010B,FIND_6X
817:                 ACALL    FIND_LRX
818: FIND_6X         CJNE     A,#00000000B,FIND_7X
819:                 ACALL    FIND_LRX
820: FIND_7X         RET
821:
822: FIND_LX         ACALL    STOP ;Turn Left Procedure
823:                 ACALL    DELAY_1S
824:                 ACALL    TURN_L
825:                 ACALL    DELAY_1S
826:                 ACALL    GO1FEET
827:                 ACALL    DELAY_1S
828:                 MOV     A,#10H
829:                 ADD     A,ERROR_LX
830:                 MOV     ERROR_LX,A
831:                 ACALL    DELAY_1S
832:                 ACALL    TURN_R
833:                 ACALL    STOP
834:                 ACALL    DELAY_1S
835:                 RET
836:
837: FIND_RX         ACALL    STOP ;Turn Right Procedure
838:                 ACALL    DELAY_1S
839:                 ACALL    TURN_R
840:                 ACALL    DELAY_1S
841:                 ACALL    GO1FEET
842:                 ACALL    DELAY_1S
843:                 MOV     A,#10H
844:                 ADD     A,ERROR_RX
845:                 MOV     ERROR_RX,A
846:                 ACALL    DELAY_1S
847:                 ACALL    TURN_L
848:                 ACALL    STOP
849:                 ACALL    DELAY_1S
850:                 RET
851:
852: FIND_LRX        ACALL    STOP
853:                 ACALL    DELAY_1S
854:                 ACALL    TURN_L
855:                 ACALL    DELAY_1S
856:                 ACALL    GO1FEET
857:                 ACALL    DELAY_1S
858:                 ACALL    GO1FEET
859:                 ACALL    DELAY_1S
860:                 MOV     A,#20H
861:                 ADD     A,ERROR_LX
862:                 MOV     ERROR_LX,A
863:                 ACALL    DELAY_1S
864:                 ACALL    TURN_R
865:                 ACALL    STOP
866:                 ACALL    DELAY_1S
867:                 RET

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 869: \*\*\*\*\*  
 870: ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง and Stop และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

936:          CLR      IN_MOTRR
937:          SETB     OUT_MOTRR
938:
939:          JNB      TF0,$
940:          CLR      IN_MOTRL
941:          JNB      TF1,$
942:          CLR      OUT_MOTRR
943:          CLR      TR0
944:          CLR      TR1
945:          MOV      TL0,32H
946:          MOV      TH0,35H
947:          RET
948: ;*****
949: ;          Go 1 Feet
950: ;*****
951:
952: GO1FEET      MOV      32H,TL0
953:              MOV      35H,TH0
954:              ACALL   STOP
955:              CLR      TR0
956:              CLR      TR1
957:              CLR      TF0
958:              CLR      TF1
959:              MOV      TL0,#0EFH
960:              MOV      TL1,#0EFH
961:              MOV      TMOD,#66H
962:              SETB     TR0
963:              SETB     TR1
964:
965:              SETB     IN_MOTRL
966:              CLR      OUT_MOTRL
967:              SETB     IN_MOTRR
968:              CLR      OUT_MOTRR
969:
970:              JNB      TF0,$
971:              CLR      IN_MOTRL
972:              JNB      TF1,$
973:              CLR      IN_MOTRR
974:              CLR      TR0
975:              CLR      TR1
976:              MOV      TL0,32H
977:              MOV      TH0,35H
978:              RET
979:
980:
981: ;END*****
***

```



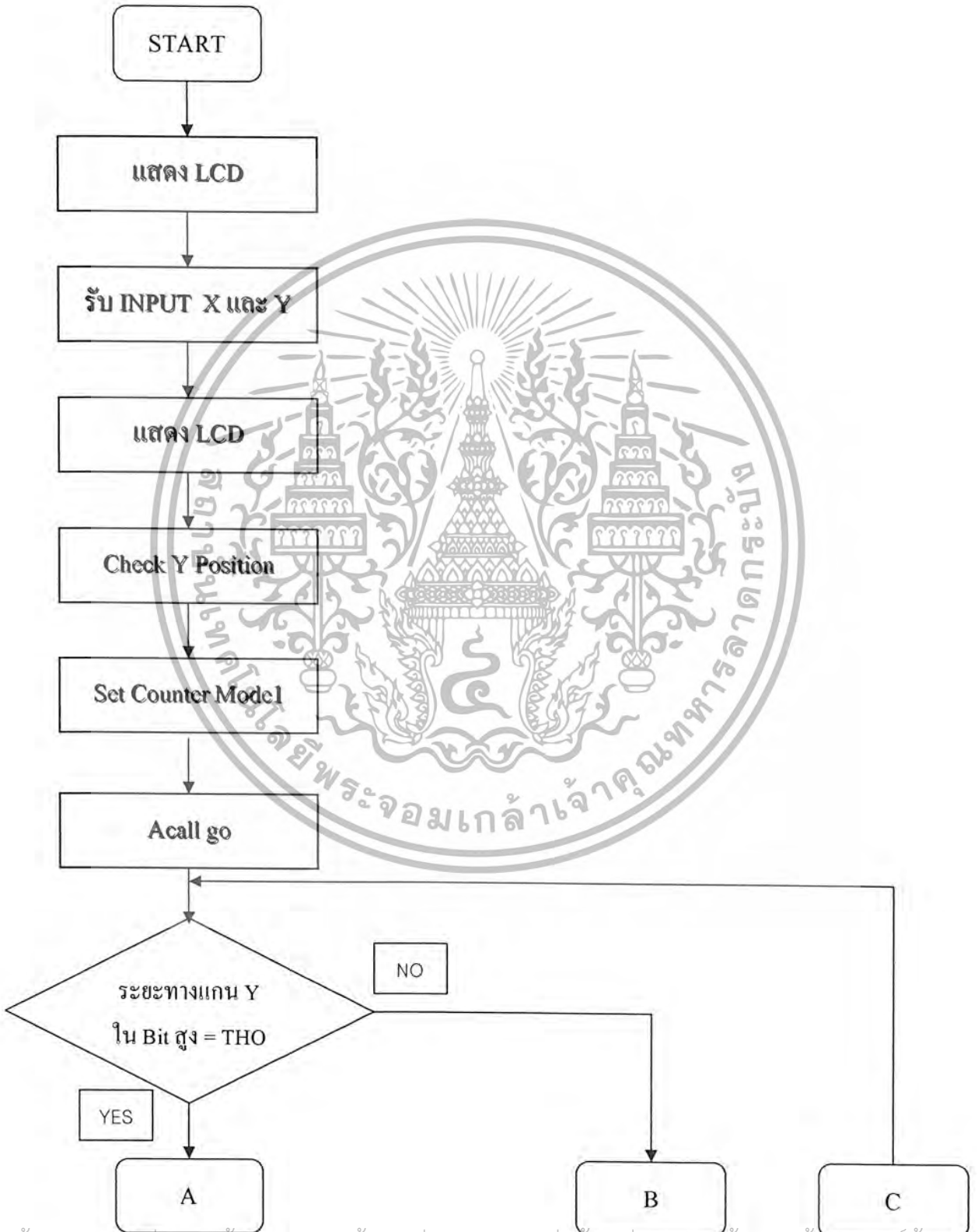
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



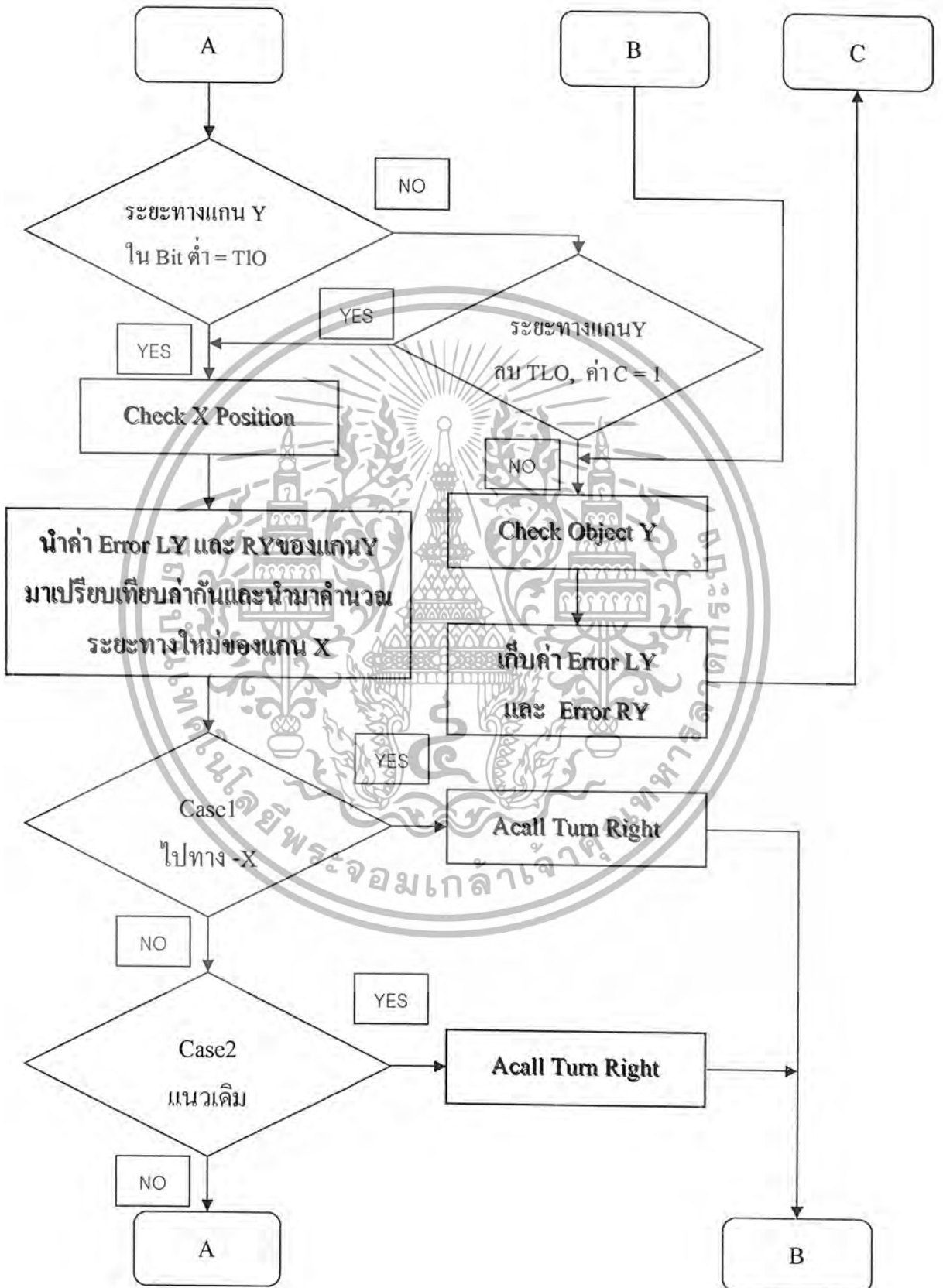
## ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

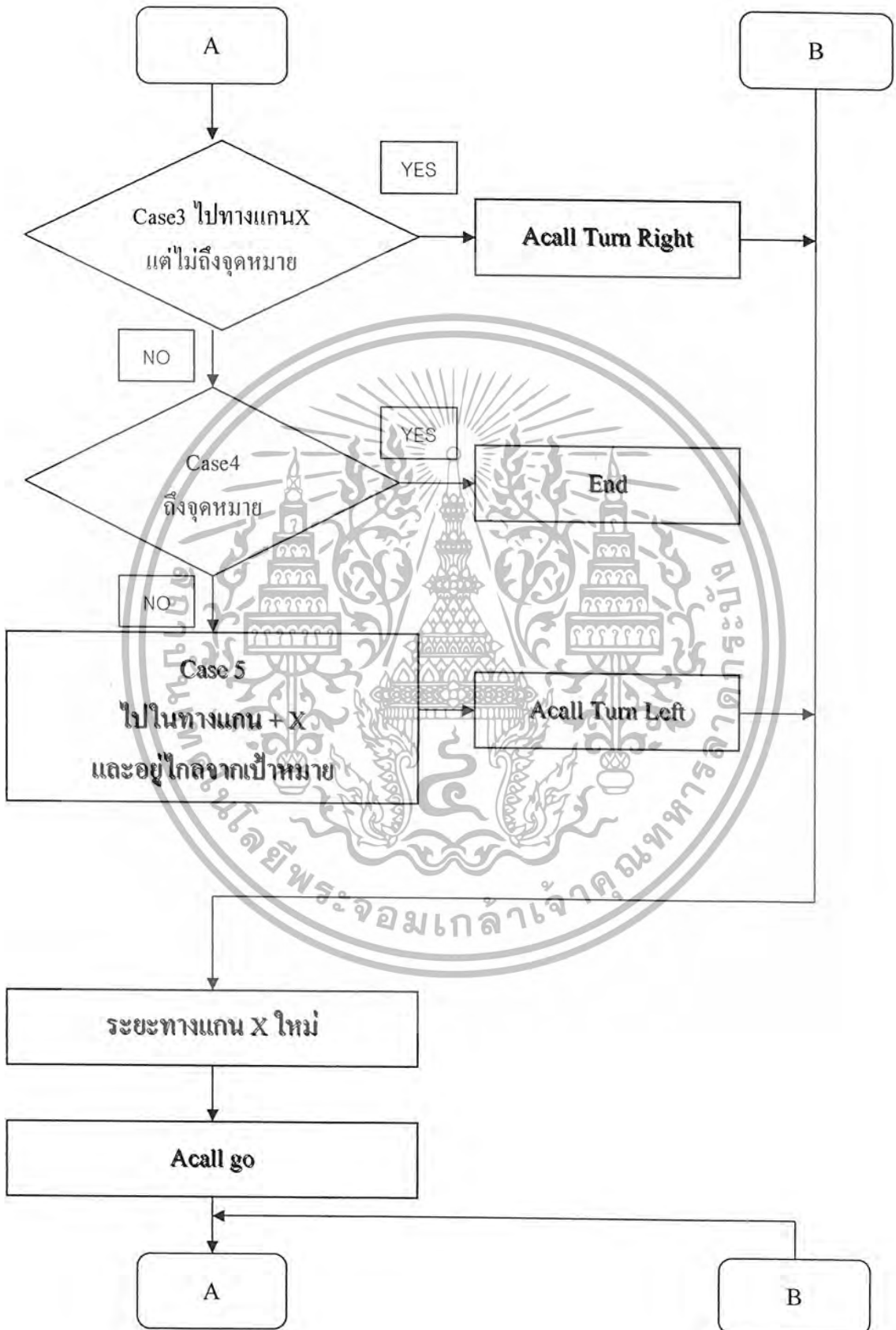
# บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรม



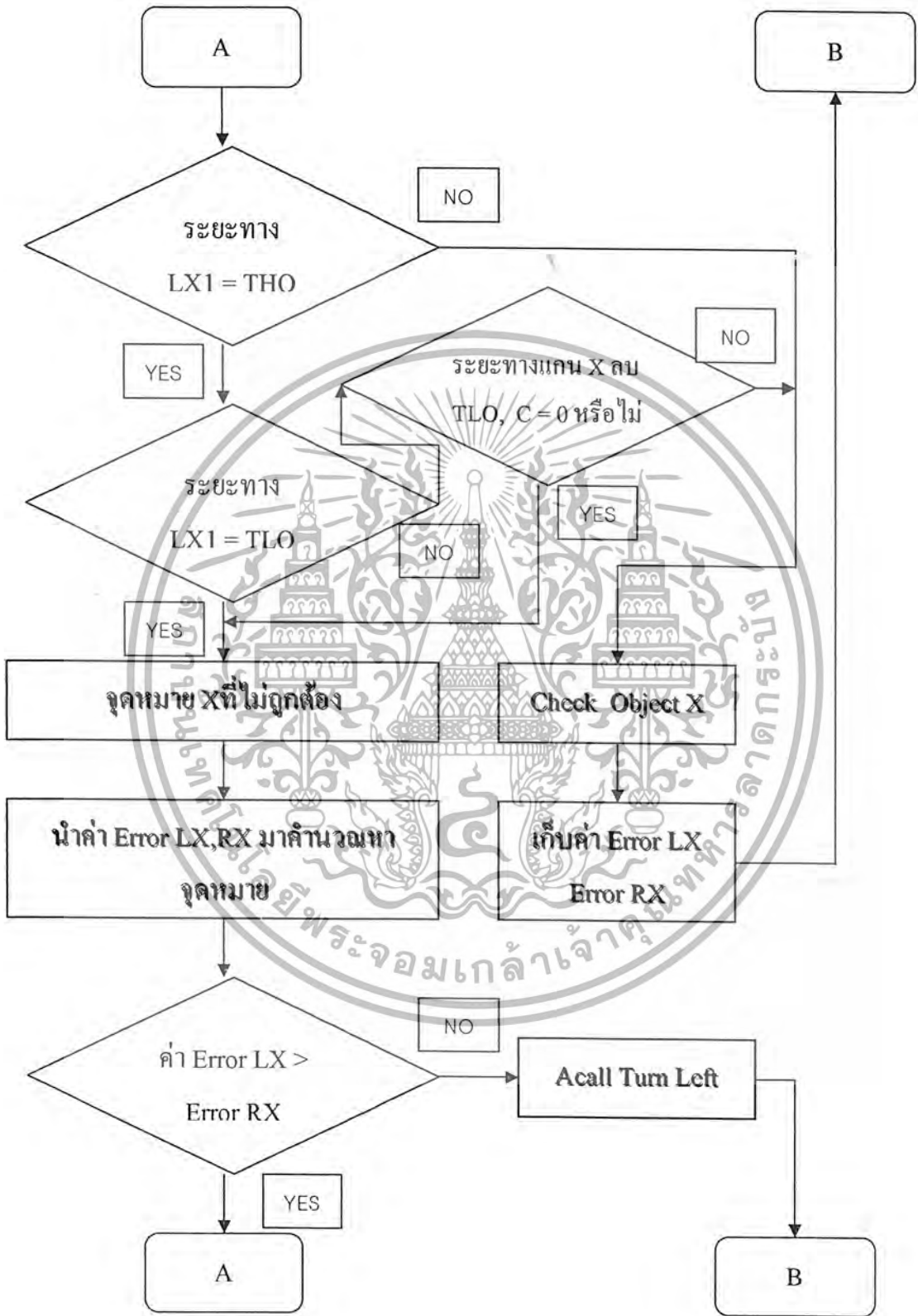
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



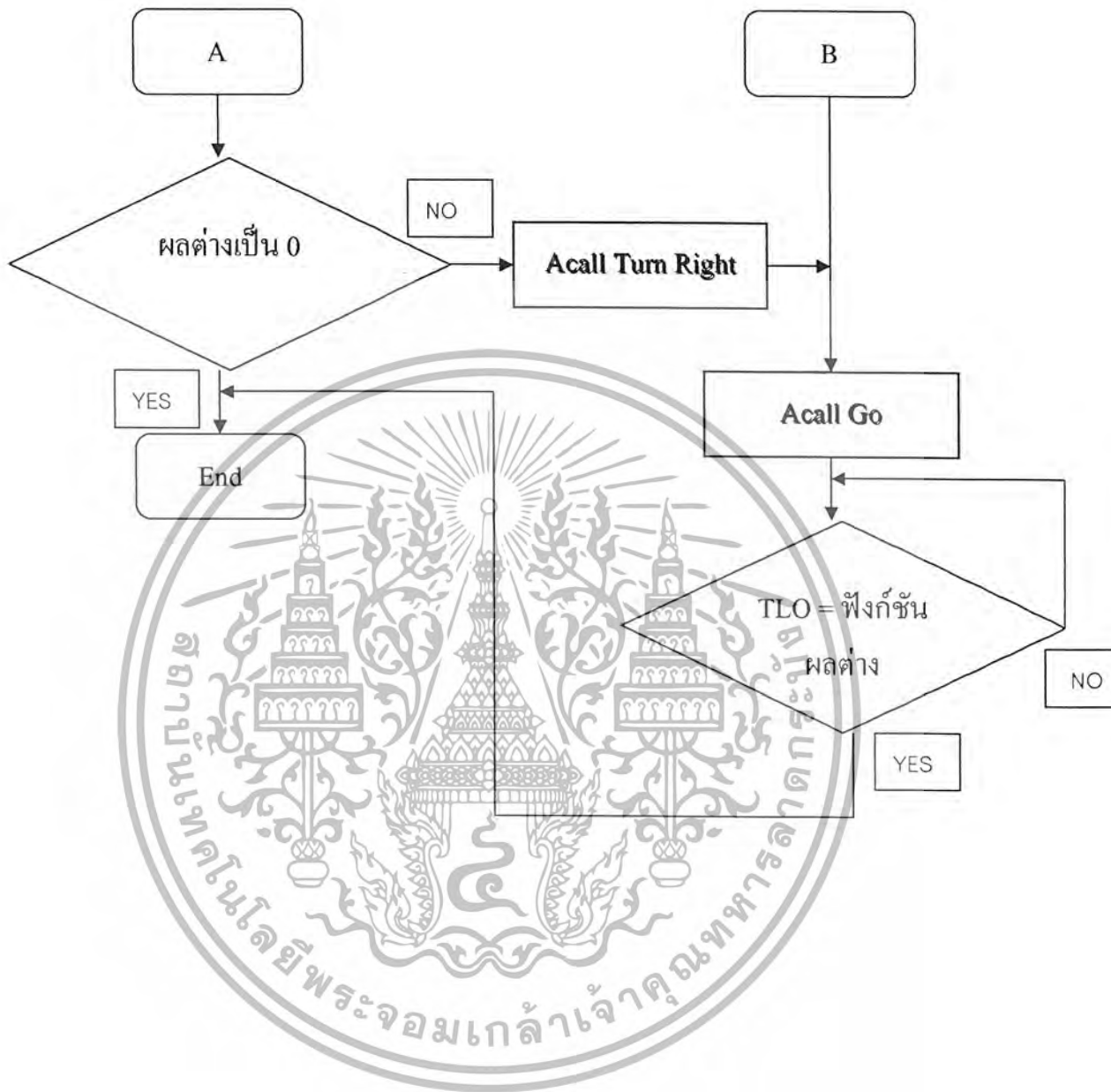
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อธิบายการทำงานของโปรแกรม

เริ่มต้นโปรแกรมจะรับ input จาก Keypad แล้วนำไปแล้วผลทาง LCD จากนั้นโปรแกรมจะนำค่าที่ได้จาก Keypad มาคำนวณหาค่าระยะทางของแกน x,y ที่ต้องการ โดยเมื่อได้ค่าที่ต้องการ โปรแกรมจะเริ่มทำการเคลื่อนที่โดยจะตรวจสอบระยะทางในแกน y ก่อนว่าถึงจุดหมายในแกน y แล้วหรือยัง โดยในระว่างที่ตรวจสอบว่าถึงระยะหรือเปล่านั้นมีการตรวจสอบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่หรือไม่ ถ้าไปถึงจุดหมายในแกน y โดยไม่พบสิ่งกีดขวางก็จะสู่กระบวนการตรวจสอบในแกน x ต่อไป แต่ถ้าพบสิ่งกีดขวางโปรแกรมจะนำค่า error ที่ได้จากการพบสิ่งกีดขวางไปเก็บแล้วทำการตรวจสอบไปเรื่อยๆจนถึงจุดหมายในแกน y จากนั้นจะนำค่า error ในแกน y ไปคำนวณรวมกับค่าในแกน x ได้ค่าในแกน x ใหม่ซึ่งในที่นี้จะมีอยู่ 5 กรณี กรณี1 รถจะอยู่ในตำแหน่ง  $-x$  กรณี2 รถจะอยู่ในตำแหน่งแนวเดิม กรณี3 รถจะเคลื่อนไปในตำแหน่ง  $x$  แต่ยังไม่ถึงเป้าหมาย กรณี4 รถจะถึงเป้าหมาย กรณี5 รถจะเคลื่อนไปในตำแหน่ง  $x$  และเคลื่อนที่ไปไกลกว่าเป้าหมาย และเมื่อได้ระยะที่ต้องการรถจะหันหน้าไปในทิศที่เหมาะสมกับการเคลื่อนที่เพื่อที่จะจุดหมายในแกน x จากนั้นรถจะเคลื่อนที่ไปถึงแกน x โดยระหว่างที่เคลื่อนที่นั้นจะทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางไปด้วย โดยถ้าพบสิ่งกีดขวางจะนำค่า error ในแกน x ไปเก็บแล้วจึงตรวจสอบไปเรื่อยๆได้ระยะในแกน x จากนั้นจะนำค่า error ในแกน x มาคำนวณหักกลับกัน แล้วรถจะวิ่งไปถึงจุดหมายที่ตั้งค่าไว้





ภาคผนวก ค

สำนักงานเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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

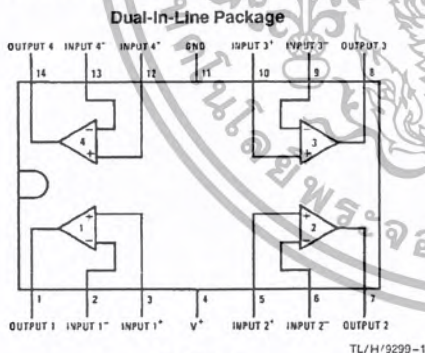
### Advantages

- 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 and offset current 2 mV 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  $V^+ - 1.5V$

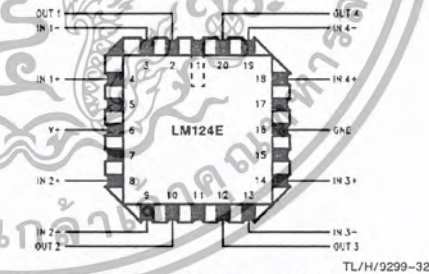
### Connection Diagram



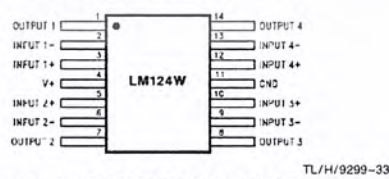
Top View

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 JM38510/11006  
\*\*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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

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

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

## 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	5	2	7	2	7	mV
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V,$ $T_A = 25^\circ C$	20	50	40	80	45	100	45	150	45	250	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	30	5	50	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	3	1.5	3	1.5	3	mA
		0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V, R_L \geq 2k\Omega,$ $(V_O = 1V \text{ to } 11V), T_A = 25^\circ C$	50	100	50	100	25	100	50	100	25	100	25	100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V \text{ to } V^+ - 1.5V,$ $T_A = 25^\circ C$	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	50	70	dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V \text{ to } 30V$ (LM2902, $V^+ = 5V \text{ to } 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	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	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)	-120			-120			-120			-120			-120			-120			dB
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V, V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 200 \text{ mV}, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		$\mu\text{A}$
Short Circuit to Ground	(Note 2) $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ\text{C}$	40	60		40	60		40	60		40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 5)	4			4			5			7			9			10			mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7	20		7	20		7	30		7			7			7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	30			30			75			100			150			45 200			nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10	200		10	200		10	300		10			10			10			$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40	100		40	100		40	200		40	300		40	500		40	500		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ( $V_O$ Swing = 1V to 11V) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	25			25			15			25			15			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_{OH}$ $V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	26		26		26		26		26		26		22					V
		$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	27	28		27	28		27	28		27	28		27	28		23	24	
	$V_{OL}$ $V^+ = 5V, R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5	20		5	20		5	20		5	20		5	20		5	100		mV

**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	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = +1V,$ $V_{IN}^- = 0V, V^+ = 15V$			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		

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 66°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°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  $V^+$ . At 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.

**Note 3:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the 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°C).

**Note 4:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM124/LM124A. With 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  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2902 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.

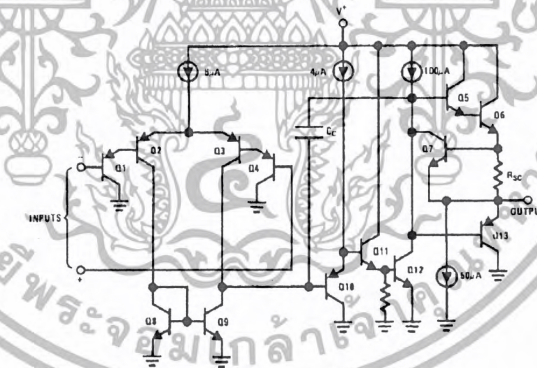
**Note 7:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2902), independent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

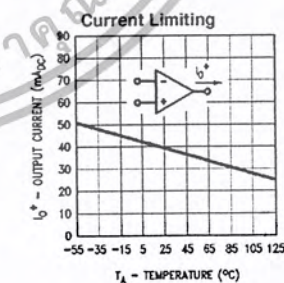
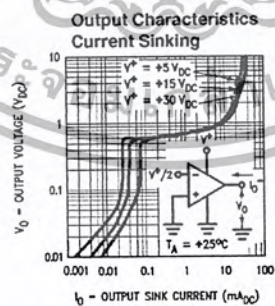
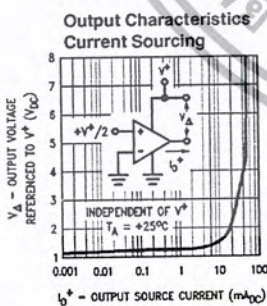
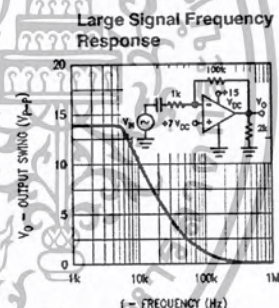
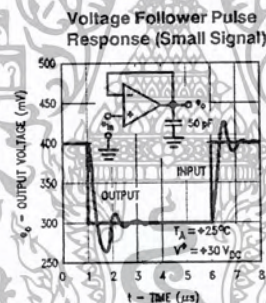
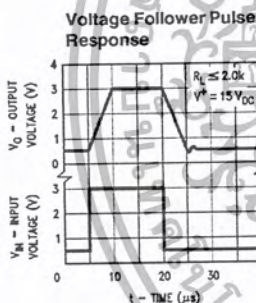
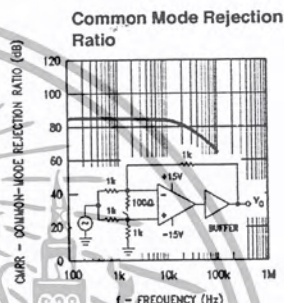
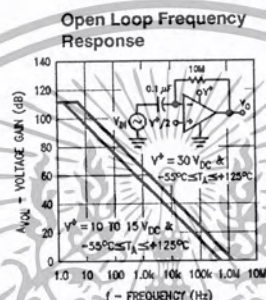
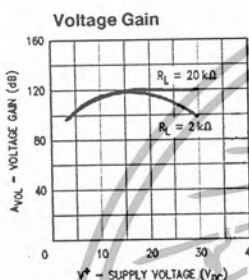
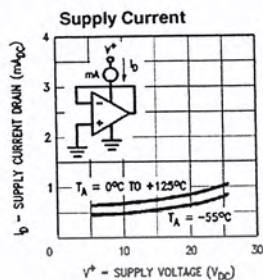
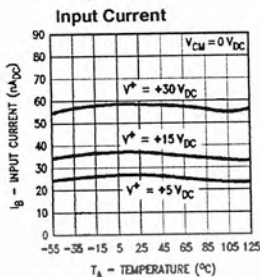
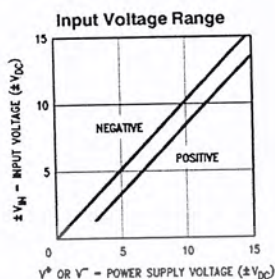
**Note 9:** Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

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

**Schematic Diagram** (Each Amplifier)



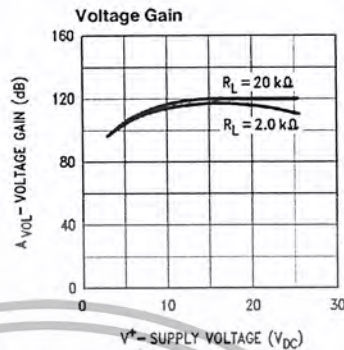
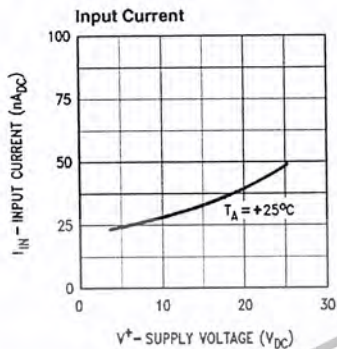
## Typical Performance Characteristics



TL/H/9299-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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°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°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 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.

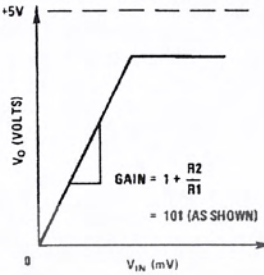
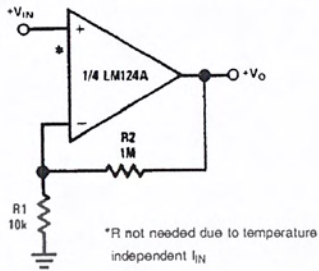
The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 3  $V_{DC}$  to 30  $V_{DC}$ .

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°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.

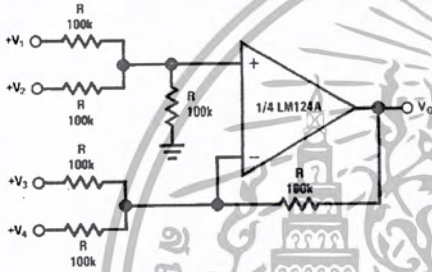
## Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ )

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



TL/H/9299-5

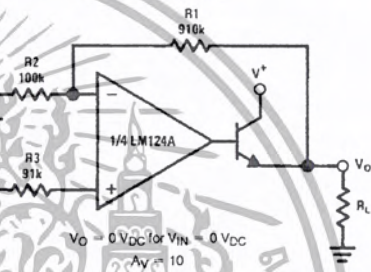
### DC Summing Amplifier ( $V_{IN}'S \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq V_{DC}$ )



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



$V_O = 0 V_{DC}$  for  $V_{IN} = 0 V_{DC}$   
 $A_v = 10$

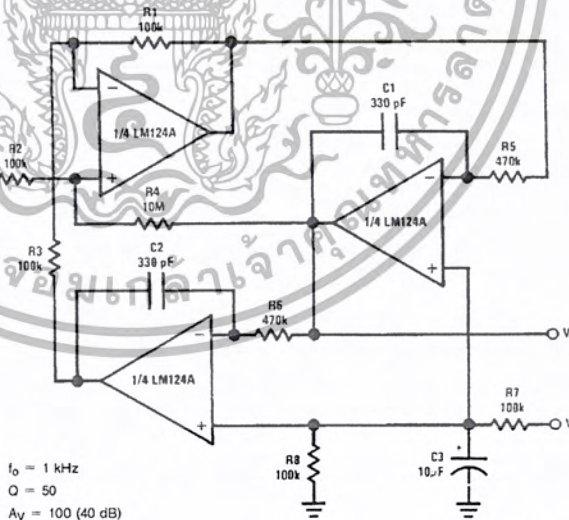
TL/H/9299-7

### LED Driver



20 mA  
 NSL102  
 TL/H/9299-8

### "BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



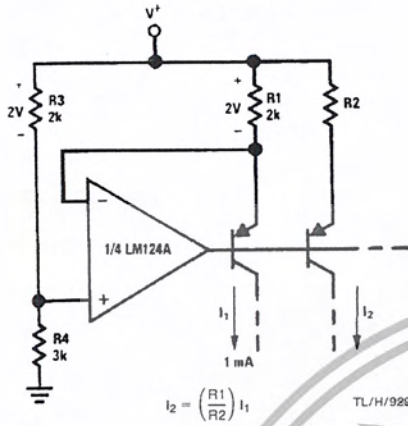
$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 50$   
 $A_v = 100 \text{ (40 dB)}$

TL/H/9299-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

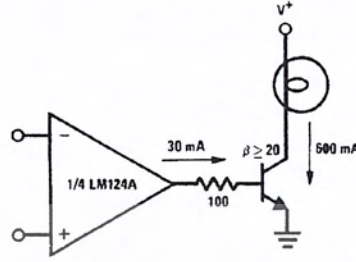
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Fixed Current Sources



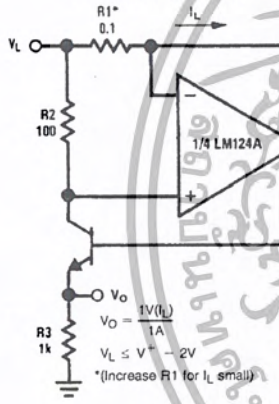
TL/H/9299-10

Lamp Driver



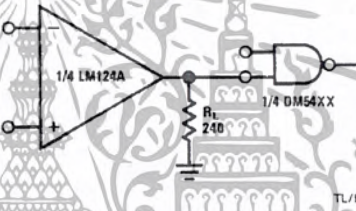
TL/H/9299-11

Current Monitor



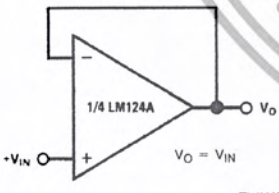
TL/H/9299-12

Driving TTL



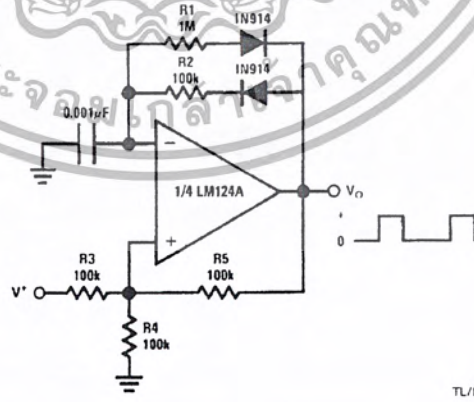
TL/H/9299-13

Voltage Follower



TL/H/9299-14

Pulse Generator

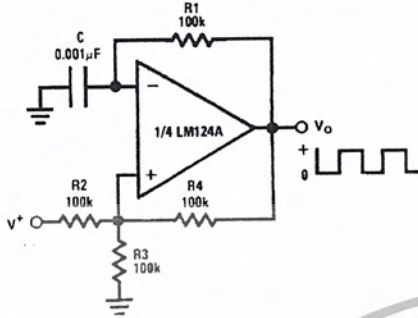


TL/H/9299-15

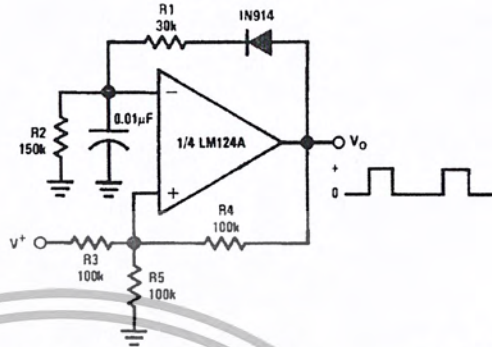
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

**Squarewave Oscillator**



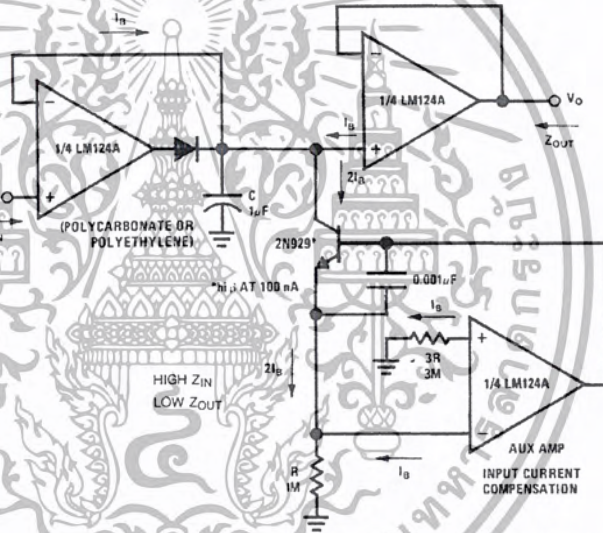
**Pulse Generator**



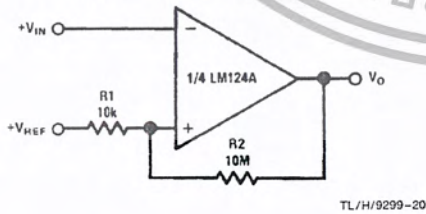
**High Compliance Current Sink**



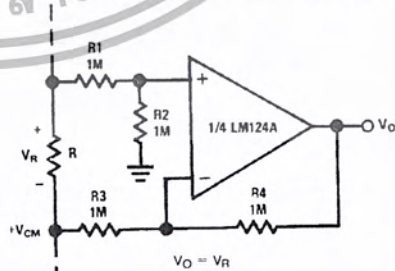
**Low Drift Peak Detector**



**Comparator with Hysteresis**



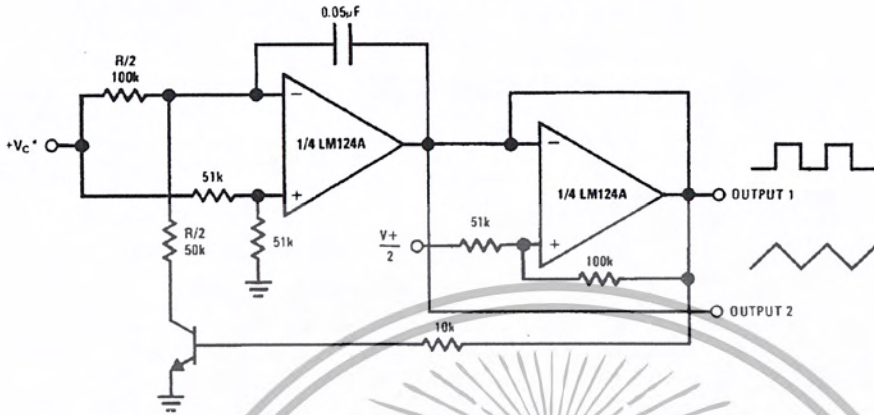
**Ground Referencing a Differential Input Signal**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

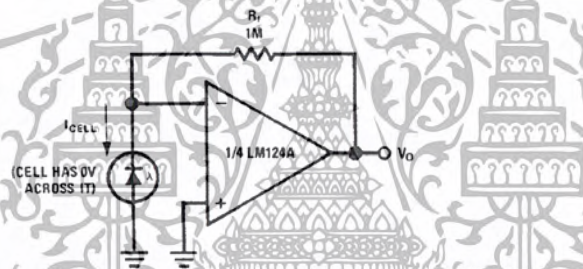
**Voltage Controlled Oscillator Circuit**



TL/H/9299-22

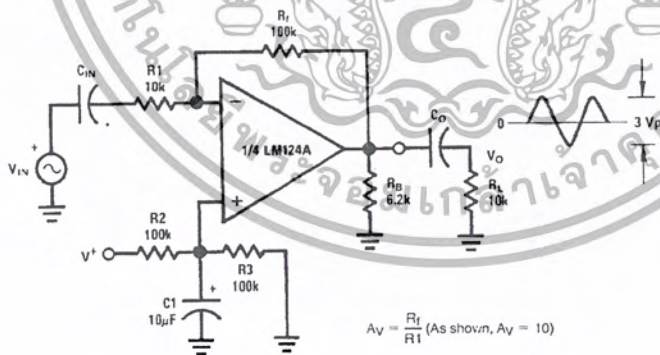
\*Wide control voltage range:  $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5 V_{DC})$

**Photo Voltaic-Cell Amplifier**



TL/H/9299-23

**AC Coupled Inverting Amplifier**



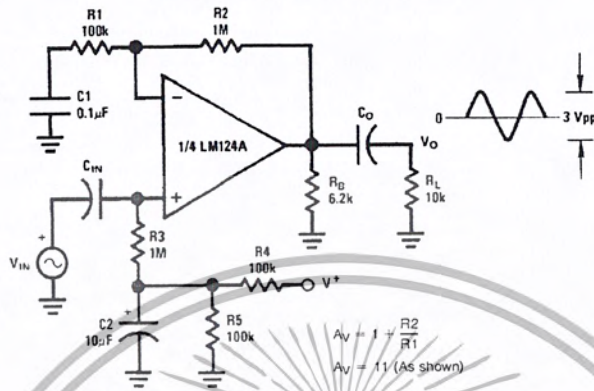
$$A_v = \frac{R_f}{R_1} \text{ (As shown, } A_v = 10 \text{)}$$

TL/H/9299-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

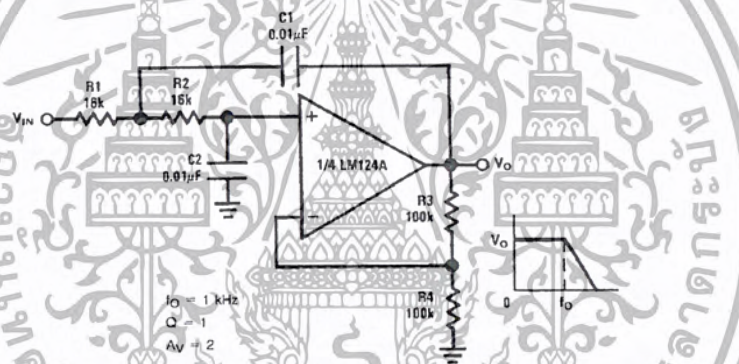
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier



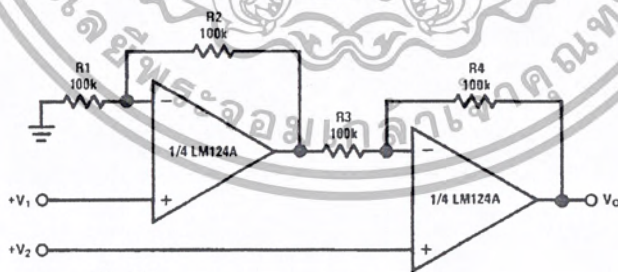
TL/H/9299-25

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



TL/H/9299-26

High Input Z, DC Differential Amplifier



For  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$  (CMRR depends on this resistor ratio match)

$V_O = 1 + \frac{R_4}{R_3} (V_2 - V_1)$

As shown:  $V_O = 2(V_2 - V_1)$

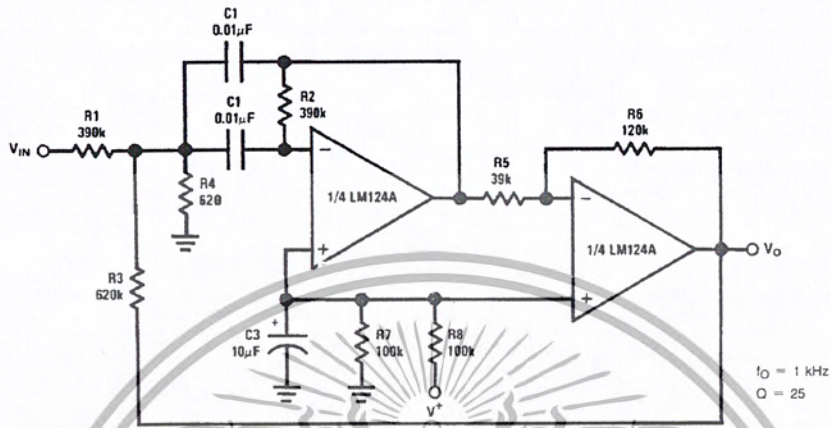
TL/H/9299-27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

Bandpass Active Filter

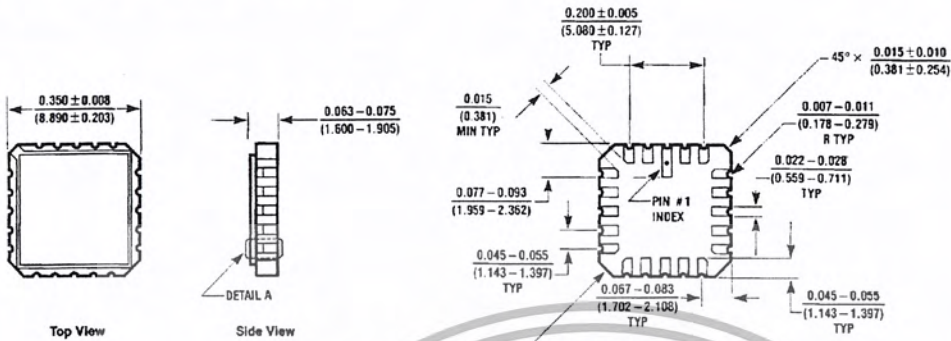


$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 25$

TL/H/9299-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

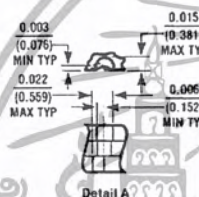
**Physical Dimensions** inches (millimeters)



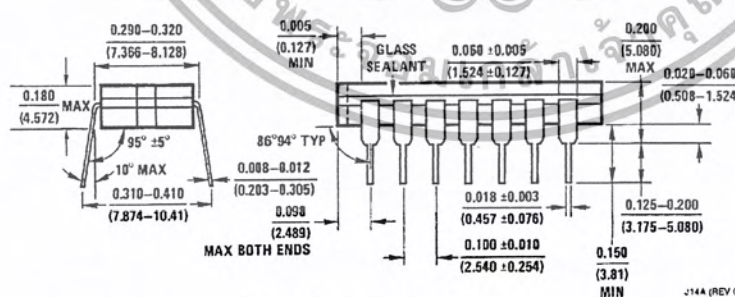
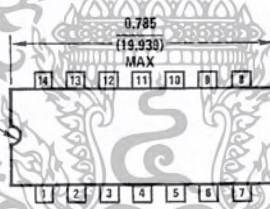
Top View

Side View

Bottom View



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

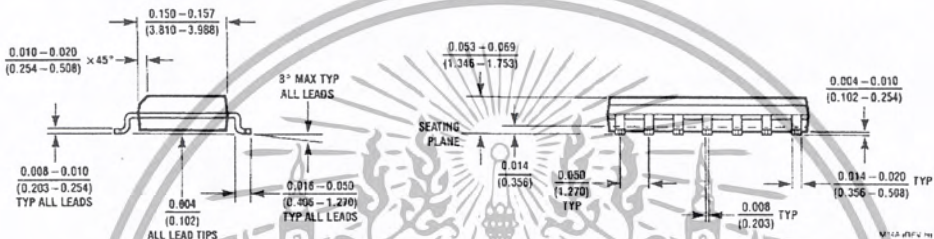
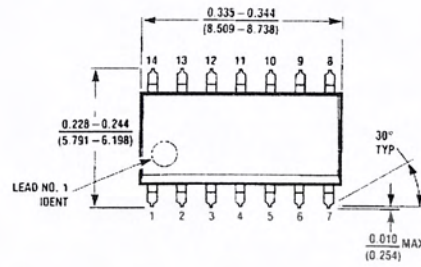


Ceramic Dual-In-Line Package (J)  
Order Number LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J  
NS Package Number J14A

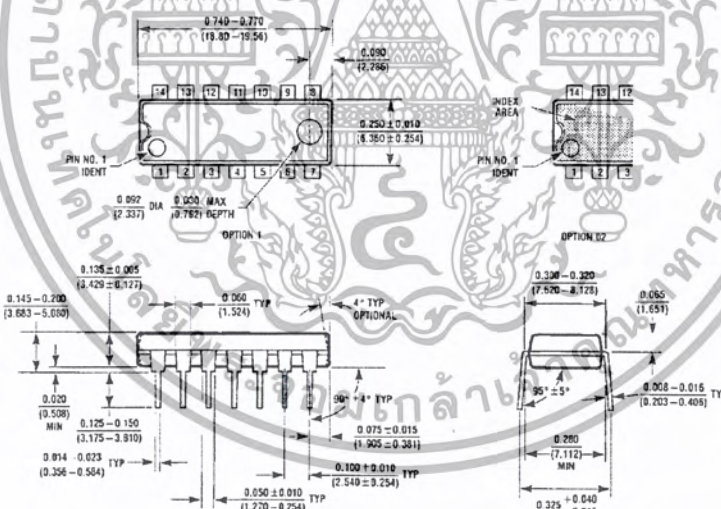
J14A (REV G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



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

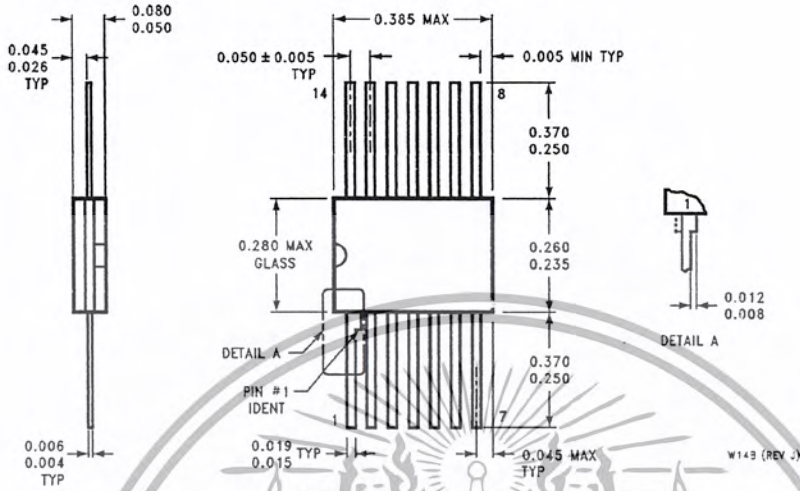


**Molded Dual-In-Line Package (N)**  
Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N  
NS Package Number N14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



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

**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 hereinafter:

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: (800) 272-9959  
 Fax: (800) 737-7018

**National Semiconductor Europe**  
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86  
 Email: cnjwge@tvm2.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 spec circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ณรงค์ ย่างสกุล, “ง่ายๆ กับการประยุกต์ใช้งานตัวตรวจจับแบบต่างๆ”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 143, ตุลาคม 2537, หน้า 88-94.
2. ศศ.สมยศ จุณณะปิยะ, “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
3. Nation Semiconductor, “National Operational Amplifiers Databook” National Semiconductor, pp 213-235,2538

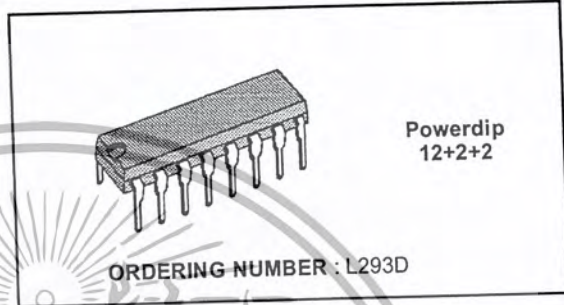


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES**

PRELIMINARY DATA

- 600mA. OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (NON REPETITIVE) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMPS DIODES

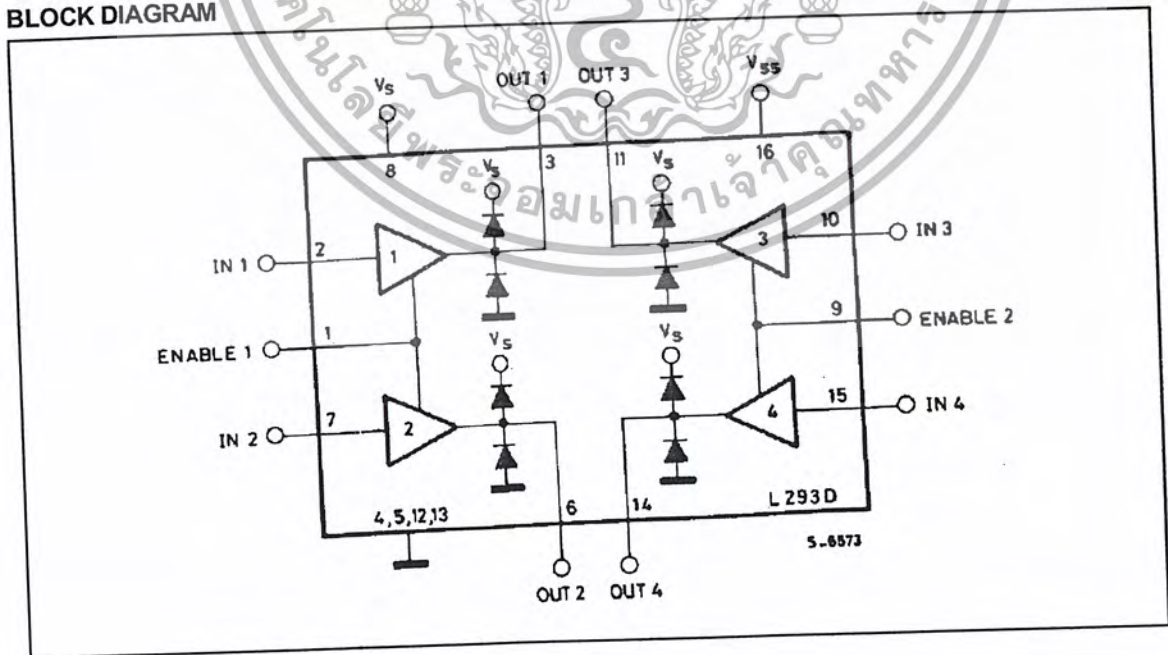


**DESCRIPTION**

The L293D is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors. To simplify use as two bridges is pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a low voltage and internal clamp diodes are included.

This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 KHz. The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking.

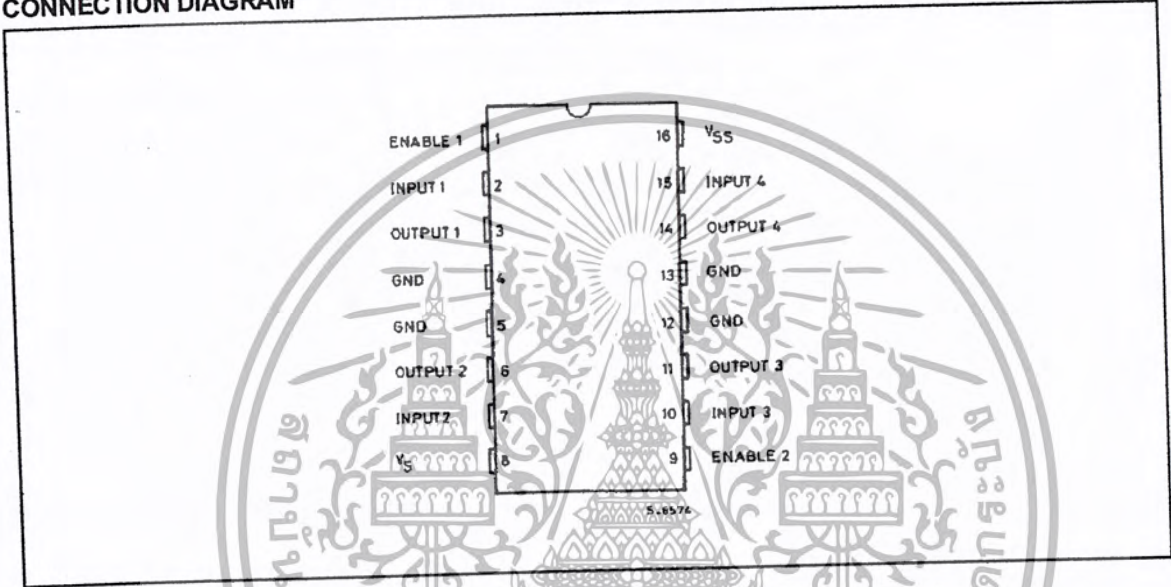
**BLOCK DIAGRAM**



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Supply Voltage	36	V
$V_{SS}$	Logic Supply voltage	36	V
$V_i$	Input voltage	7	V
$V_{en}$	Enable voltage	7	V
$I_o$	Peak output current (100 $\mu$ s non repetitive)	1.2	A
$P_{tot}$	Total power dissipation at $T_{ground-pins} = 80^\circ\text{C}$	5	W
$T_{stg}, T_j$	Storage and junction temperature	-40 to 150	$^\circ\text{C}$

## CONNECTION DIAGRAM



## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th-j-case}$	Thermal resistance junction-case	max 14	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{th-j-case}$	Thermal resistance junction-ambient	max 80	$^\circ\text{C}/\text{W}$

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (For each channel,  $V_s = 24V$ ,  $V_{ss} = 5V$ ,  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_s$	Supply voltage		$V_{ss}$		36	V
$V_{ss}$	Logic supply voltage (pin 16)		4.5		36	V
$I_s$	Total quiescent supply current (pin 8)	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		16	24	
		$V_{en} = L$			4	
$I_{ss}$	Total quiescent logic supply current (pin 16)	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		16	22	
		$V_{en} = L$		16	24	
$V_{iL}$	Input low voltage (pin 2, 7, 10, 15)		-0.3		1.5	V
$V_{iH}$	Input high voltage (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		$V_{ss}$	V
		$V_{ss} > 7V$	2.3		7	
$I_{iL}$	Low voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{iL} = 1.5V$			-10	$\mu\text{A}$
$I_{iH}$	High voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$2.3 \leq V_{iH} \leq V_{ss} - 0.6V$		30	100	$\mu\text{A}$
$V_{enL}$	Enable low voltage (pin 1, 9)		-0.3		1.5	V
$V_{enH}$	Enable high voltage (pin 1, 9)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		$V_{ss}$	V
		$V_{ss} > 7V$	2.3		7	
$I_{enL}$	Low voltage enable current (pin 1, 9)	$V_{enL} = 1.5V$		-30	-100	$\mu\text{A}$
$I_{enH}$	High voltage enable current (pin 1, 9)	$2.3V \leq V_{enH} \leq V_{ss} - 0.6V$			$\pm 10$	$\mu\text{A}$
$V_{CEsatH}$	Source output saturation voltage (pin 3, 6, 11, 14)	$I_o = -0.6A$		1.4	1.8	V
$V_{CEsatL}$	Sink output saturation voltage (pins 3, 6, 11, 14)	$I_o = +0.6A$			1.2	1.8
$V_F$	Clamp diode forward voltage	$I_o = 600\text{ mA}$		1.3		V
$t_r$	Rise time (*)	0.1 to 0.9 $V_o$		250		ns
$t_f$	Fall time (*)	0.9 to 0.1 $V_o$		250		ns
$t_{on}$	Turn-on delay (*)	0.5 $V_i$ to 0.5 $V_o$		750		ns
$t_{off}$	Turn-off delay (*)	0.5 $V_i$ to 0.5 $V_o$		200		ns

(\*) See fig.1

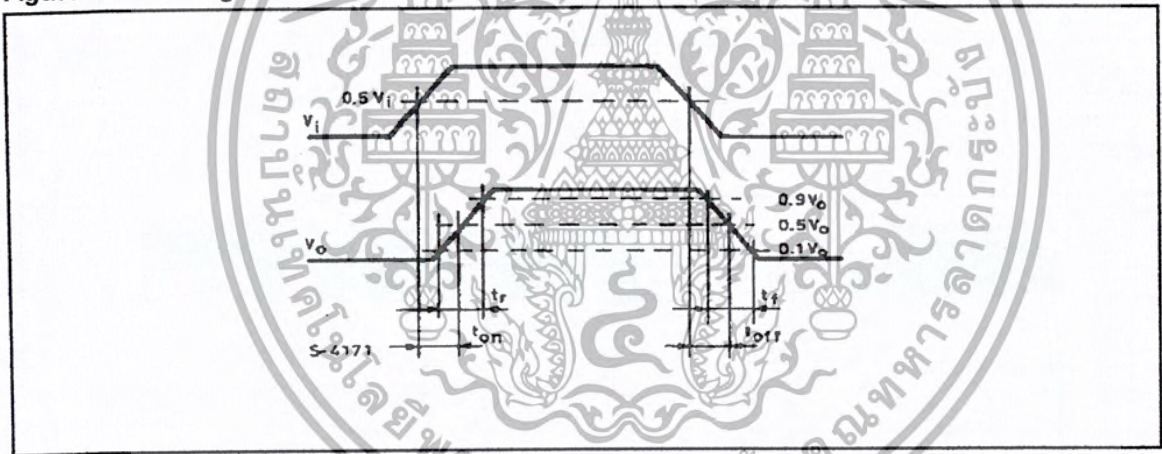
TRUTH TABLE (One channel)

INPUT	ENABLE (*)	OUTPUT
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance

(\*) Relative to the considered channel

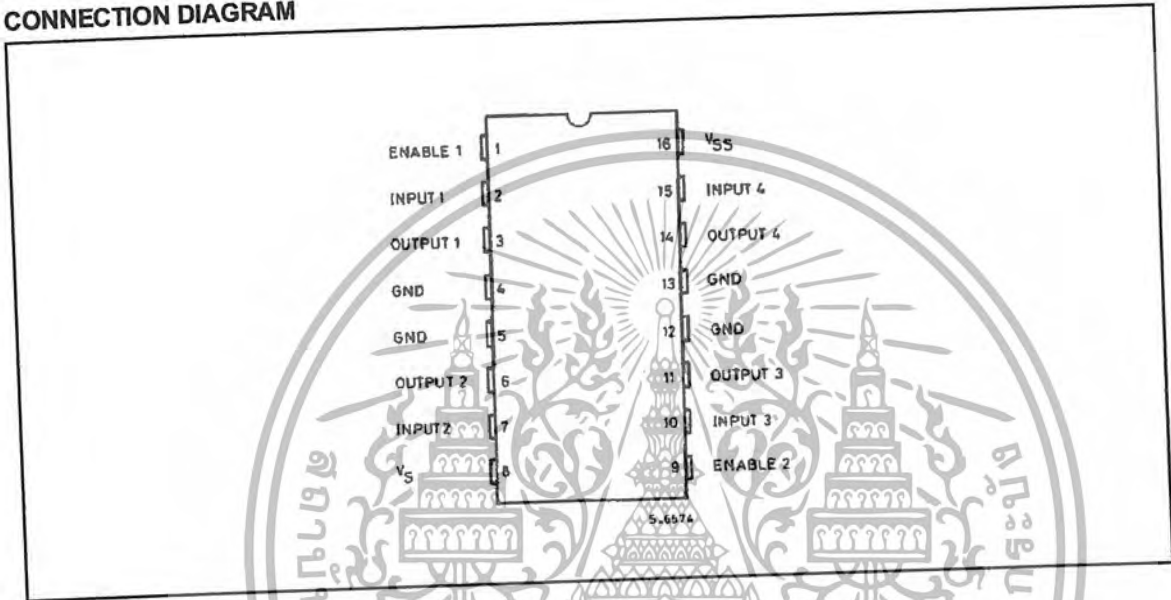
Figure 1. Switching Times



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Supply Voltage	36	V
$V_{SS}$	Logic Supply voltage	36	V
$V_i$	Input voltage	7	V
$V_{en}$	Enable voltage	7	V
$I_o$	Peak output current (100 $\mu$ s non repetitive)	1.2	A
$P_{tot}$	Total power dissipation at $T_{ground-pins} = 80^\circ\text{C}$	5	W
$T_{stg}, T_j$	Storage and junction temperature	-40 to 150	$^\circ\text{C}$

## CONNECTION DIAGRAM



## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Value	Unit
Rth-j-case	Thermal resistance junction-case	max 14	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Rth j-case	Thermal resistance junction-ambient	max 80	$^\circ\text{C}/\text{W}$

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (For each channel,  $V_s = 24V$ ,  $V_{ss} = 5V$ ,  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_s$	Supply voltage		$V_{ss}$		36	V
$V_{ss}$	Logic supply voltage (pin 16)		4.5		36	V
$I_s$	Total quiescent supply current (pin 8)	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		16	24	
		$V_{en} = L$			4	
$I_{ss}$	Total quiescent logic supply current (pin 16)	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		16	22	
		$V_{en} = L$		16	24	
$V_{iL}$	Input low voltage (pin 2, 7, 10, 15)		-0.3		1.5	V
$V_{iH}$	Input high voltage (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		$V_{ss}$	V
		$V_{ss} > 7V$	2.3		7	
$I_{iL}$	Low voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{iL} = 1.5V$			-10	$\mu\text{A}$
$I_{iH}$	High voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$2.3V \leq V_{iH} \leq V_{ss} - 0.6V$		30	100	$\mu\text{A}$
$V_{enL}$	Enable low voltage (pin 1, 9)		-0.3		1.5	V
$V_{enH}$	Enable high voltage (pin 1, 9)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		$V_{ss}$	V
		$V_{ss} > 7V$	2.3		7	
$I_{enL}$	Low voltage enable current (pin 1, 9)	$V_{enL} = 1.5V$		-30	-100	$\mu\text{A}$
$I_{enH}$	High voltage enable current (pin 1, 9)	$2.3V \leq V_{enH} \leq V_{ss} - 0.6V$			$\pm 10$	$\mu\text{A}$
$V_{CEsatH}$	Source output saturation voltage (pin 3, 6, 11, 14)	$I_o = -0.6A$		1.4	1.8	V
$V_{CEsatL}$	Sink output saturation voltage (pins 3, 6, 11, 14)	$I_o = +0.6A$			1.2	1.8
$V_F$	Clamp diode forward voltage	$I_o = 600\text{ mA}$		1.3		V
$t_r$	Rise time (*)	$0.1$ to $0.9 V_o$		250		ns
$t_f$	Fall time (*)	$0.9$ to $0.1 V_o$		250		ns
$t_{on}$	Turn-on delay (*)	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		750		ns
$t_{off}$	Turn-off delay (*)	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		200		ns

(\*) See fig.1

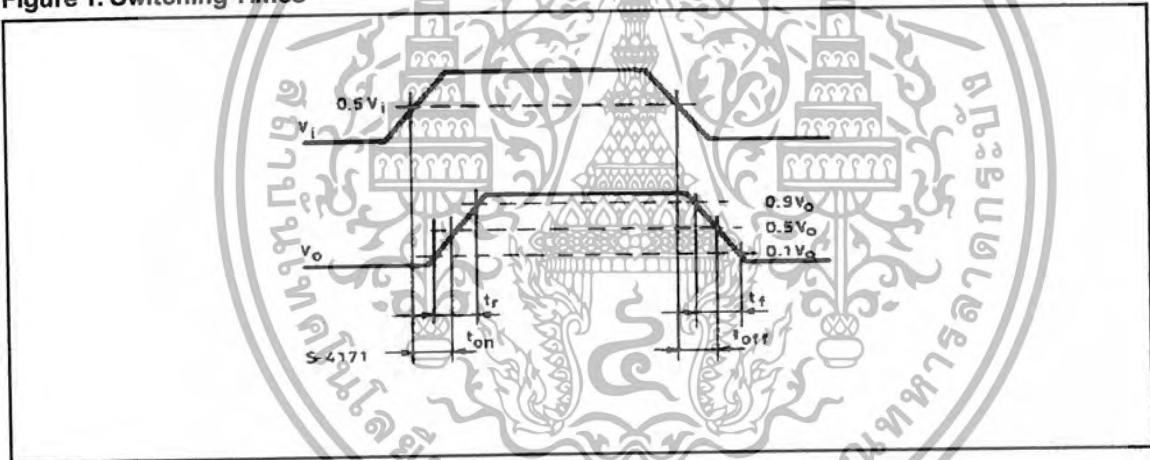
## TRUTH TABLE (One channel)

INPUT	ENABLE (*)	OUTPUT
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance

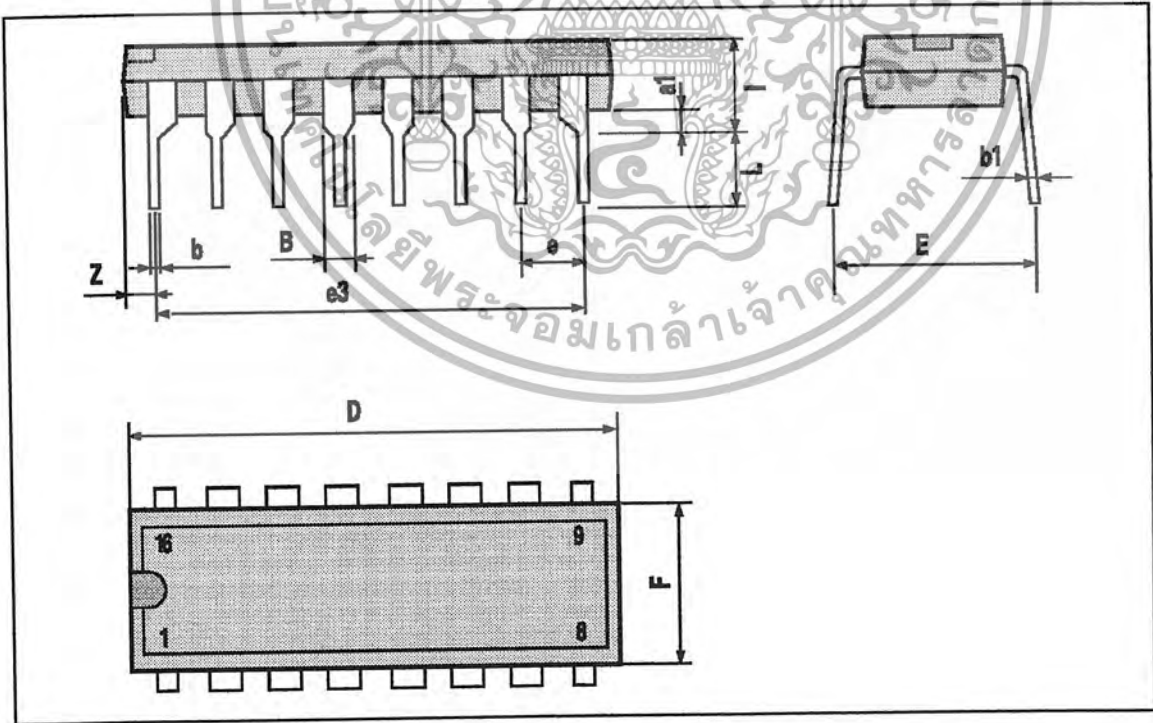
(\*) Relative to the considered channel

Figure 1. Switching Times



## POWERDIP PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.85		1.40	0.033		0.055
b		0.50			0.020	
b1	0.38		0.50	0.015		0.020
D			20.0			0.787
E		8.80			0.346	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.10			0.280
l			5.10			0.201
L		3.30			0.130	
Z			1.27			0.050



## เอกสารอ้างอิง

1. ณรงค์ ย่างสกุล, “ง่าย ๆ กับการประยุกต์ใช้งานตัวตรวจจับแบบต่างๆ”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 143, ตุลาคม 2537, หน้า 88-94.
2. ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ, “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
3. Nation Semiconductor, “National Operational Amplifiers Databook” National Semiconductor, pp 213-235,2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้