

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา  
พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์รับส่งเอกสาร  
MESSENGING ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 32577  
วัน, เดือน, ปี..... 10 พ.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์รับส่งเอกสาร  
MESSAGING ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

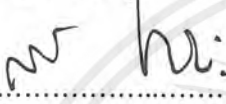
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง  หุ่นยนต์รับส่งเอกสาร

MESSENGING ROBOT

ผู้จัดทำ

1. นาย เต๋นกี๊       เอกบรม     39013010
2. นาย ศิริวิทย์     อยู่คล้าย   39013027
3. นาย สราวุธ       อินทรวงศ์   39013034



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.สมยศ จุณณะปิยะ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์รับส่งเอกสาร

MESSENGING ROBOT

โดย นาย เคนกวี เอกบรม

นาย ศิริวิทย์ อยู่คล้าย

นาย สราวุธ อินทรวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สมยศ จุณณะปิยะ

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับส่งเอกสารหรือพัสดุซึ่งมีน้ำหนักไม่เกิน 500 กรัม ขับเคลื่อนด้วยล้อ โดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ในการรับส่งเอกสารหรือพัสดุต่างๆ จะทำการรับส่งได้เฉพาะรับส่งที่ทำการกำหนดไว้เท่านั้น ไม่สามารถรับส่งเอกสารหรือพัสดุต่างๆ ในระหว่างทางได้

#### ABSTRACT

This project proposes a robotic machine for using to send the documents or something which the weigh less than 500 grams. It uses motors to drive a mechanical wheels. The power source is a rechargable battery. The destination are definite. It cannot send or receive the load between destinations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้าที่

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

- 1.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับหุ่นยนต์ 1
- 1.2 ที่มาของหุ่นยนต์ 2
- 1.3 เปรียบหุ่นยนต์เป็นคณงาน 3
- 1.4 สรีระของหุ่นยนต์ 4
- 1.5 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 4
- 1.6 ประเภทต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ 5

บทที่ 2

- ทฤษฎีและหลักการ 6
- 2.1 หลักการทั่วไป 6
- 2.2 การทำงานเบื้องต้นของหุ่นยนต์ 6
- 2.3 ส่วนวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 7
- 2.4 การรับส่งเอกสาร 11
- 2.5 ทฤษฎีทางแสง 15
- 2.6 อุปกรณ์ทางแสง 15
- 2.7 วงจรขยายสัญญาณทางไฟฟ้า 17

บทที่ 3

- การคำนวณและการสร้าง 19
- 3.1 โครงสร้างหุ่นยนต์ 19
- 3.2 อุปกรณ์เซนเซอร์ 21
- 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 21
- 3.4 ส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ 24
- 3.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล 24
- 3.6 โปรแกรมควบคุมการสั่งงานหุ่นยนต์ 25

บทที่ 4

- การทดลองและผลการทดลอง 30
- 4.1 ส่วนอุปกรณ์นำทาง 30
- 4.2 ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล 34
- 4.3 การทดลองตัวรับส่งข้อมูลทางแสง 36
- 4.4 การทดสอบระบบขับเคลื่อน 39
- 4.5 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5	บทวิจารณ์และบทสรุป	44
	5.1 ปัญหาทางโครงสร้าง	44
	5.2 ปัญหาที่ตัวตรวจจับ	44
	5.3 ปัญหาที่เกิดกับ โครงสร้างที่ใช้ 2 ล้อเป็นตัวขับเคลื่อน	44
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
บรรณานุกรม		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยอาศัยมอเตอร์ 2 ตัว	6
รูปที่ 2.2 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์	7
รูปที่ 2.3 แสดงการวางจุกรับส่งเอกสาร	11
รูปที่ 2.4 แสดงการติดต่อกับพอร์ต	11
รูปที่ 2.5 แสดงการติดต่อกับพอร์ตจริง	12
รูปที่ 2.6 แสดงข้อกำหนดทางไฟฟ้าของมาตรฐาน RS-232C	12
รูปที่ 2.7 วงจรขับและวงจรถักรับในแบบไม่สมดุลย์	13
รูปที่ 2.8 วงจรขับและวงจรถักรับในแบบสมดุลย์ กรณีไม่มีสัญญาณรบกวน	14
รูปที่ 2.9 วงจรขับและวงจรถักรับในแบบสมดุลย์ กรณีมีสัญญาณรบกวน	14
รูปที่ 2.10 แสดงตัวตรวจจับแบบใช้หลักการสะท้อนแสง	15
รูปที่ 2.11 แสดงการใช้อินฟราเรดแอลอีดี	16
รูปที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์ของอปแอมป์	18
รูปที่ 2.13 วงจรเปรียบเทียบโดยมี VT เป็นแรงดันอ้างอิง	18
รูปที่ 3.1 ภาพโดยรวมของโครงสร้างหุ่นยนต์	19
รูปที่ 3.2 แสดงการวางอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง	20
รูปที่ 3.3 แสดงการวางอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางบนตัวหุ่นจริง	20
รูปที่ 3.4 แสดงการใช้วงจรเปรียบเทียบแยกความแตกต่างสี	21
รูปที่ 3.5 แสดงหลักการของมอเตอร์	22
รูปที่ 3.6 วงจรของมอเตอร์	23
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้งานจริง	24
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรที่ใช้ภาคขับและภาครับแบบสมดุลย์	25
รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดสถานี	25
รูปที่ 3.10 โพลวซาร์ทการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางหุ่นยนต์	26
รูปที่ 3.11 โพลวซาร์ทการเลี้ยวซ้ายและขวา	26
รูปที่ 3.12 โพลวซาร์ทการเดินหน้าและถอยหลัง	27
รูปที่ 3.13 โพลวซาร์ทการถอยเลี้ยวขวาและถอยเลี้ยวซ้าย	27
รูปที่ 3.14 โพลวซาร์ทการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จาก สถานี 0 ไป สถานี 1	28
รูปที่ 3.15 โพลวซาร์ทการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จาก สถานี 0 ไป สถานี 2	29
รูปที่ 4.1 แสดงการหาค่าความต้านทานที่ระยะห่างต่าง ๆ	30
รูปที่ 4.2 ค่าความต้านทานที่ระยะ 3 เซนติเมตรที่กระแสต่าง ๆ (ทุกสี)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3	ค่าความต้านทานที่ระยะ 3 เซนติเมตรที่กระแสต่างๆ (ขาว-ดำ)	31
รูปที่ 4.4	วงจรตรวจสอบเส้นทาง	32
รูปที่ 4.5	แสดงการวัดอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางที่สภาพแวดล้อมต่างๆ	33
รูปที่ 4.6	แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับโวลต์เดจที่ขา 2 ในสภาพเปิดไฟ	34
รูปที่ 4.7	แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับโวลต์เดจที่ขา 2 ในสภาพปิดไฟ	34
รูปที่ 4.8	แสดงการต่อวงจรแปลงพอร์ตคอนูกรม RS-232C ไปเป็น RS-422	35
รูปที่ 4.9	วงจรภาคขับและภาครับในโหมคสมคูลย์	35
รูปที่ 4.10	แสดง เอาท์พุท ที่ได้จาก $V_{AC}$	35
รูปที่ 4.11	แสดง เอาท์พุท ที่ได้จาก $V_{BC}$	36
รูปที่ 4.12	วงจรตัวรับส่งข้อมูลทางแสง	36
รูปที่ 4.13	แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับ โวลต์เดจที่ขา 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่าง	37
รูปที่ 4.14	แสดงการวัดตัวรับส่งข้อมูลทางแสง	38
รูปที่ 4.15	แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับ โวลต์เดจที่ขา 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมหันเห	39
รูปที่ 4.16	การต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ทดลอง	39
รูปที่ 4.17	แสดงการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์โดยใช้เครื่อง Tachometer	40
รูปที่ 4.18	แสดงผลการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์ทำการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน	41
รูปที่ 4.19	แสดงการทดสอบให้วิ่งวนซ้ายและวนขวา	42
รูปที่ 4.20	แสดงการทดสอบให้วิ่งวนซ้ายและวนขวาที่ใช้งานจริง	42
รูปที่ 4.21	แสดงเส้นทางกริ่งที่ใช้ในการทดสอบ	43
รูปที่ 4.22	แสดงเส้นทางกริ่งที่ใช้ในการทดสอบที่ใช้ในงานจริง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติวงจรภาครับแบบไม่สมมูลย์	14
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติวงจรภาครับแบบสมมูลย์	14
ตารางที่ 3.1 แสดงสถานะการติด-ดับของ LED ที่ต่อเพื่อแสดงระดับพลังงานในแบตเตอรี่	20
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต้านทานที่ทดสอบกับโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ระยะห่างต่าง ๆ	30
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ	33
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองตัวรับส่งข้อมูลทางแสงที่ระยะห่างและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ	37
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองตัวรับส่งข้อมูลทางแสงที่มุมต่าง ๆ	38
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	40
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์ โดยใช้เครื่อง Tachometer	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับหุ่นยนต์

มนุษย์นั้นได้สร้างเครื่องอำนวยความสะดวกขึ้นมา เพื่อให้ใช้ในชีวิตประจำวัน และสร้างสิ่งต่างๆ ได้ มนุษย์กับเครื่องจักรนั้นจึงเป็นสิ่งที่อยู่ควบคู่กันมาโดยตลอดเพราะว่ามนุษย์นั้นในด้านของกายภาพแล้ว มนุษย์จะไม่สามารถทำกิจกรรมที่ซ้ำๆ กันได้เหมือนกันทุกครั้ง เช่น ไม่สามารถเขียนหนังสือได้อักษรตัวเดิมเท่ากันทุกตัวก็ได้คิดพิมพ์ดีดขึ้นมาใช้ หรือ ความสามารถบางอย่างมีขอบเขตจำกัด เช่น ยกของหนักๆ มนุษย์จะสามารถยกน้ำหนักได้จำกัด มนุษย์ก็คิดค้นเครื่องจักรหรือกลไกที่ช่วยผ่อนแรงขึ้นมาใช้ จะเห็นว่าเครื่องจักรกลกับมนุษย์นั้นเป็นสิ่งที่อยู่คู่กัน

แต่เดิมนั้นเครื่องจักรถูกควบคุมโดยมนุษย์ แต่หลังจากมนุษย์ได้สร้างคอมพิวเตอร์ขึ้นมา มนุษย์ก็ได้คิดสร้างเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ ไม่ต้องอาศัยมนุษย์ควบคุมทุกขั้นตอน ซึ่งเครื่องจักรบางประเภทได้ถูกออกแบบให้เลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เครื่องจักรแบบนี้จะเรียกว่าเป็น หุ่นยนต์ (ROBOT)

หุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่โดยการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อให้สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้ โดยผ่านการควบคุมจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกที การเลียนแบบการเคลื่อนไหวและการทำงานจะต้องทำให้ดูคล้ายกับมนุษย์ให้มากที่สุด แต่หากดูเครื่องล้างจานเป็นตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าไม่สามารถเรียกว่าหุ่นยนต์ได้ เพราะงานที่ทำแค่ล้างจานเท่านั้น แต่ไม่ได้วางจานลงในอ่างเอง ไม่ใช่ฟ้าเซ็ดจาน หรือ ไม่ได้วางจานลงในที่พักจานเสร็จ จินตนาการของมนุษย์คือหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์ที่สุดก็คือ “มนุษย์จักรกล” และในปัจจุบันจะพบบ่อยมากขึ้นที่หุ่นยนต์จะคล้ายส่วนหนึ่งของมนุษย์จักรกล แขนกลหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ก็เป็นอีกสิ่งๆ ที่สร้างเลียนแบบแขนมนุษย์นั่นเอง

หุ่นยนต์ประเภทแขนกล (Robot arm) นั้นส่วนใหญ่ใช้ในงานเชื่อม, งานทึบท่อ, งานพ่นสี, งานจับของวางตามตำแหน่ง และงานประกอบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ผลิตอยู่ในทุกวันนี้เช่น การวางตำแหน่งของตัวไอซีลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่แม่นยำ หรือการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งในปัจจุบันบางส่วนของงานหรือทั้งหมดของกระบวนการทำโดยหุ่นยนต์ทั้งสิ้น

องค์ประกอบของระบบหุ่นยนต์ที่ดูซับซ้อนสามารถแบ่งอย่างชัดเจนได้เป็น 3 กลุ่ม โดยอ้างอิงกับอวัยวะของมนุษย์ได้ดังนี้

- ฮาร์ดแวร์ คือ ร่างกายภายนอก อาทิ แขนกลและกริปเปอร์ (Gripper) คือ แขนและมือ ระบบการมองเห็น (Vision system) คือ ตาทั้งสองข้าง
- คอมพิวเตอร์ คือ สมอง
- การโปรแกรมของซอฟต์แวร์ คือ การศึกษาหรือประสบการณ์ที่เรียนรู้

ชิ้นส่วนทางกลของหุ่นยนต์ที่ทำงานทางกายภาพถูกออกแบบให้ทำงานได้ในกลุ่มของงานเฉพาะอย่างและภายในขอบเขตจำกัดที่ขึ้นอยู่กับขนาดของหุ่นยนต์เอง ปริมาณของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่มีอยู่ส่วนใหญ่มักจะเป็นแบบ Automatically Guided Vehicles (AGVs) โดยการใช้งานหลักของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขนส่งส่วนของวัตถุสิบ โดยมีลักษณะเป็นระบบสายพานลำเลียง (conveyor) ที่ฉลาด, เคลื่อนที่ได้และสามารถโปรแกรมได้ด้วย

แขนกลหุ่นยนต์คือ ข้อต่อที่ต่อกันเป็นอนุกรมเพื่อทำงานเหมือนสิ่งทีเคลื่อนที่ได้ (manipulator) อย่างอิสระหรือเปรียบเหมือนแขนมนุษย์ โดยมีมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อ การทำงานของแต่ละข้อต่อไม่จำเป็นต้องเป็นอิสระต่อกันแต่ต้องเป็นส่วนเสริมการทำงานต่าง ๆ ที่เป็นอิสระต่อกัน ถ้าการทำงานไม่เป็นอิสระต่อกันคอมพิวเตอร์จะโปรแกรมการทำงานที่ต้องการให้ดูเหมือนเป็นอิสระต่อกันได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำให้งานของคอมพิวเตอร์หนักมากขึ้นเพราะอาจต้องมีการคำนวณก่อนการเคลื่อนที่ทุกครั้ง ซึ่งเวลาในการคำนวณนี้ไม่มีมากพอสำหรับการคำนวณในส่วนอื่น ถึงอย่างไรเครื่องจักรกลก็ไม่มีทางเคลื่อนที่ได้อย่างสมบูรณ์, สลับซับซ้อนหรือยืดหยุ่นเท่าแขนมนุษย์ได้

แขนกลหุ่นยนต์สมัยใหม่ คือ อุปกรณ์หกแกนที่ตั้งยึดอยู่กับพื้นเหนี่ยวยึดกับเครื่องจักรที่ใช้งานร่วมกัน ถูกควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งโดยปกติจะวางอยู่ใกล้กับตัวหุ่นยนต์และภายในส่วนคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ทางลอจิก (logic component) และส่วนขยาย (amplifier) ทั้งหมดที่จำเป็นในการทำงานหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ตั้งพื้นสามารถหิ้วชิ้นงานที่หนักเกิน 100 กิโลกรัม หรือ 220 ปอนด์ได้ และวางลงภายใน 1 มิลลิเมตร หรือ 0.040 นิ้วของตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างง่ายดาย สามารถเคลื่อนสิ่งของได้ด้วยความเร็วโดยประมาณ 1 เมตรหรือ 3 ฟุตต่อวินาที และวางของลงได้อย่างนุ่มนวลเท่าที่ต้องการกริปเปอร์หรือมือของหุ่นยนต์ในหลายประเภทสามารถเคลื่อนที่และควบคุมท่าทางของสิ่งของต่าง ๆ ได้

## 1.2. ที่มาของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์หรือโรบอต (ROBOT) เกิดจากการที่คนหลาย ๆ คนให้ความเห็นที่ตรงกันว่าจะเรียกสิ่งนั้นว่าเป็น “หุ่นยนต์” หรือมักจะใช้คำว่า “โรโบติก (Robotic)” เพื่ออธิบายถึงเครื่องจักรที่ออกแบบมาเพื่อทำงานโดยอัตโนมัติและด้วยตัวมันเอง ถ้าหากมีรถยนต์ที่สามารถวิ่งได้เองโดยอัตโนมัติเราก็สามารถเรียกว่า “โรโบติกเจป (Robotic Jeep)” ก็ได้ หรือหุ่นยนต์อุตสาหกรรมถูกเรียกว่าแขนกล หรือ Robotic arm ซึ่งคุณสมบัติอย่างกว้าง ๆ ของหุ่นยนต์ก็มีพอสังเขปดังนี้

- ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
- มีส่วนประกอบที่เคลื่อนที่ได้
- มีเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) เป็นส่วนร่วมในการทำงาน
- มียูสเซอร์อินเตอร์เฟซ (User interface) เป็นส่วนติดต่อระหว่างมนุษย์กับตัวหุ่นยนต์
- ตัวอินเตอร์เฟซ (Interface) อาจเป็นแค่ปุ่มเริ่มการทำงานหรือกุญแจเปิดปิด (keyswitch)
- สามารถโปรแกรมให้งานต่าง ๆ ได้
- มีการตอบสนองกับสภาพรอบข้างของหุ่นยนต์โดยสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต
- จับยึดหรือตรวจสอบสิ่งภายนอกบางอย่างให้กับตัวหุ่นยนต์เองด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งได้

และหากพิจารณาจากคอมพิวเตอร์เล่นหมากรุกจะเห็นว่า มีความฉลาดในการเล่นหมากรุกได้เป็นอย่างดี แต่เราไม่เรียกคอมพิวเตอร์นี้ว่าหุ่นยนต์อย่างไรก็ตาม หากคิดแขนหุ่นยนต์เข้าไปและให้

คอมพิวเตอร์สั่งงานให้แขนกลจับตัวหมากรุก เกิดการทำงานอย่างต่อเนื่องถึงจะเป็นที่ยอมรับได้ว่าสิ่งนี้คือหุ่นยนต์เล่นหมากรุกได้ นี่คือการแสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนที่ได้ (manipulation) คือส่วนสำคัญในความเห็นโดยทั่วไปของการยอมรับความเป็นหุ่นยนต์ แต่บางครั้งเรายังเรียกระบบของการมองเห็นภาพได้ (Vision system) ว่าเป็น “ระบบหุ่นยนต์” (Robotic system) แม้ว่าจะไม่มีการเคลื่อนที่มาเกี่ยวข้องกับก็ตาม

ROBOT มาจากคำว่า CRECK ซึ่งหมายถึงทาสหรือคนรับใช้ และเข้ามาในศัพท์ภาษาอังกฤษในปี ค.ศ. 1921 โดยนักเขียนบทละครชื่อ KAREL KAPEX ในบทละครแนวล้อเลียน โดยละครเรื่องนี้หุ่นยนต์ก็คือ จักรกลที่คล้ายคลึงกับมนุษย์และนำมาทำงานที่หน้าเพื่อแทนมนุษย์ แต่ในตอนหลังพวกหุ่นยนต์รวมตัวกันต่อต้านและทำลายพวกมนุษย์

ในช่วงปลายปี 1940 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 งานวิจัยหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมได้เริ่มเกิดขึ้น ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องจักรกลควบคุมระยะไกลสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มั่นคงภาพรังสี

ในกลางปี 1950 George C.Devol ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่เขาเรียกว่า “Programed articulated transfer device” ซึ่งเป็นมานิวเลเตอร์ (manipulator) ที่การทำงานของมันสามารถโปรแกรมได้ ซึ่งแนวความคิดนี้ต่อมาได้ถูกนำเข้าสู่อุตสาหกรรม โดยบริษัท Unimation Inc ในปี 1959 หัวใจสำคัญของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ การใช้ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ร่วมกับมานิวเลเตอร์ (manipulator) เพื่อผลิตเครื่องจักรกลที่ซึ่งสามารถถูกสั่งให้ทำงานที่หลากหลายอย่างอัตโนมัติ โดยการ โปรแกรมเข้าใหม่

ในปี 1968 Mccrty และผู้ร่วมงานของเขาที่ The Stanford Artificial Intekelligence Laboratory ได้รายงานการพัฒนาคอมพิวเตอร์กับมือ, ตา, หู ( Manipulators, TV cameras, Microphones) โดยระบบนี้สามารถที่จะจดจำข่าวสารในรูปแบบของเสียง และมองเห็นวัตถุที่ถูกลงอย่างกระจัดกระจายอยู่บน โต๊ะเพื่อโยกย้ายสิ่งของเหล่านี้ตามคำสั่ง

ในปี 1995 บริษัท IBM ได้พัฒนามานิวเลเตอร์ ซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์กับเซนเซอร์แรง และสัมผัส

ในวันนี้เราจะพบว่าหุ่นยนต์เป็นสาขาที่มีขอบเขตกว้างมาก ซึ่งประกอบไปด้วย Kinematics, Dymanics, planning system, control, programming languages, machine intekelligence

### 1.3. เปรียบหุ่นยนต์เป็นคนงาน

มนุษย์มีความสนใจอย่างยิ่งที่จะทำงานให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้แต่ให้งานทั้งหมดสำเร็จ เราออกแบบหุ่นยนต์ขึ้นเพื่อเพิ่มลักษณะบวกและกำจัดลักษณะลบของมนุษย์ โดยส่วนใหญ่ความพยายามทั้งหมดจะอยู่ในทิศทางนี้ ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างเครื่องจักรอัตโนมัติปัจจุบันและอดีตคือ เครื่องจักรปัจจุบันสามารถโปรแกรมได้ ณ วันนี้สิ่งที่หุ่นยนต์ทำจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใส่เข้าไปในตัวหุ่นยนต์ในวันหน้าหุ่นยนต์จะเพิ่มความสามารถและในที่สุดจะมีความฉลาดที่ยิ่งใหญ่ หุ่นยนต์จะสามารถทำงานของคนให้ได้ประโยชน์สูงสุด และตอบสนองต่อสิ่งที่ไม่คาดคิดและสิ่งรบกวนต่าง ๆ ที่คาดไม่ถึงได้อย่างหลักแหลม ซึ่งสิ่งรบกวนที่คาดไม่ถึงทั้งหมดจะควบคุมได้ด้วยการปิดเครื่อง , ส่งเสียงเตือน , เรียกหาผู้ปฏิบัติงาน หรือคัดชิ้นส่วนออก สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากจากวัฏจักรหนึ่งไปยังวัฏจักรหนึ่งและชิ้นส่วน

หนึ่งไปยังขึ้นส่วนหนึ่งนั้นยากเกินที่จะควบคุมได้ แต่หุ่นยนต์มีความละเอียดอ่อนและแข็งแรงพอที่จะกำหนด, ตรวจสอบ และตอบสนองได้อย่างเหมาะสม

#### 1.4. สรีระของหุ่นยนต์

องค์ประกอบพื้นฐานที่ครอบคลุมการเคลื่อนที่และความสามารถของหุ่นยนต์คือ การออกแบบของรูปร่างและความซับซ้อนของซอฟต์แวร์ หุ่นยนต์ถูกออกแบบมาให้มีรูปแบบและขนาดต่าง ๆ มากมาย และซอฟต์แวร์เป็นส่วนทำให้เกิดผลสูงสุดกับความต้องการในแต่ละลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์ ในสภาพแวดล้อมสามมิติของเราในทุกวันนี้ มีวิธีอันหลากหลายที่จะออกแบบหุ่นยนต์ให้ขยับไปถึงยังทุกจุดในขอบเขตการทำงานของคุณ ด้วยกฎที่ว่าต้องมีมอเตอร์หนึ่งตัวต่อหนึ่งองศาอิสระ (degree of freedom) ที่ต้องการจะเจาะจงลงไป ดังนั้นอย่างน้อยที่สุดต้องมีมอเตอร์สามตัวเพื่อทำงานในตำแหน่งของสามมิติ (ระนาบของแกน X, Y, และ Z) และอีกสามตัวเพื่อหมุนมือในการหมุนสามแบบที่เป็นไปได้ (roll, pitch และ yaw) ทั้งหมดนี้คือหุ่นยนต์ที่มีพื้นฐานบนแกนสากลทั้งหก (the basic universal six-axis robot)

การออกแบบทางกลของรูปร่างแขนมนุษย์ที่ควรจะต้องสังเกตไว้ได้แก่

ระยะจากไหล่ไปยังข้อศอกมากกว่าระยะจากข้อศอกไปข้อมือ ซึ่งมากกว่าระยะจากข้อมือไปข้อมือ นิ้ว ที่มากกว่าระยะจากข้อต่อแรกของนิ้วไปยังข้อต่อที่สองของนิ้ว โดยระยะจากข้อต่อที่สองของนิ้วไปยังปลายนิ้วเป็นระยะที่สั้นที่สุด

ความละเอียดของระบบจะมากขึ้น ขณะที่เราเข้าไปใกล้กับกริปเปอร์และเนื้องานมากขึ้น สำหรับแขนมนุษย์นั้นจำนวนประสาทในแขนจะเพิ่มมากขึ้นจากไหล่ไปยังปลายนิ้ว ในส่วนหลังจากข้อมือไป ความยืดหยุ่นเกิดขึ้นโดยการฝ่ามือออก, การกำหมัด, การเคลื่อนที่ของนิ้วต่าง ๆ ออกจากนิ้วและการประทับรอยนิ้วมือ การมีนิ้วที่ยาวไม่เท่ากัน คือการขัดเคลตาให้เกิดความละเอียดที่มากยิ่งขึ้น

ข้อมูลดังกล่าวให้ขอบข่ายการทำงานของแขนมนุษย์เปรียบเทียบกับลักษณะของแขนมนุษย์เปรียบเทียบกับลักษณะทางกลของหุ่นยนต์ ซึ่งแขนของมนุษย์ได้ทำในเกือบทุกสิ่งที่มีมนุษย์ต้องการมาเป็นเวลาล้าน ๆ ปีแล้ว มีอะไรบางอย่างที่อวัยวะนี้ได้บอกเราเกี่ยวกับแขนกลหุ่นยนต์

#### 1.5. หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

การกำกับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขึ้นอยู่กับงานที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำดังนั้นการออกแบบจะออกมาในรูปของความสามารถขั้นต่ำสุดที่จะทำให้งานนั้นสำเร็จได้ ซึ่งการออกแบบก็จะมีพารามิเตอร์หลัก ๆ อาทิ ระยะการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน, หน่วยความจำที่ต้องการและจำนวนของตัวตรวจจับ (Sensor) แต่พารามิเตอร์เหล่านี้ควรจะน้อยกว่าน้อยที่สุด เพื่อที่จะสามารถผลิตหุ่นยนต์ที่ประหยัดได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

ลักษณะ โครงสร้างหุ่นยนต์ (Robot geometry) แยกออกตามรูปร่างที่ผู้ออกแบบใช้การเขียนแบบขึ้น ซึ่งโครงสร้างของหุ่นยนต์โดยทั่วไปได้แก่

- **Articulated:** แขนกลหุ่นยนต์แบบนี้จะทำงานเหมือนการทำงานของแขนมนุษย์ การออกแบบที่ยืดหยุ่นแบบนี้จะให้การเคลื่อนที่เหมือนแขนของมนุษย์มากที่สุด

- **Cylindrical:** โครงสร้างแบบนี้กำกับหุ่นยนต์ซึ่งแกนของหุ่นยนต์ออกแบบมาให้มีลักษณะเฉพาะเหมือน cylindrical coordinate โดยทั่วไปจะมีแกนหนึ่งแกนเคลื่อนที่ขึ้นลงเหมือนทรงกระบอก และแกนอื่นจะเคลื่อนที่เข้าและออกเหมือนของเวกเตอร์
- **Spherical:** สำหรับหุ่นยนต์แบบนี้จะใช้มุมสองมุมและการกำหนดเชิงรัศมีเพื่อกำหนดจุดใด ๆ ในพื้นที่ใช้งาน
- **ระนาบ XYZ หรือ Orthogonal:** หุ่นยนต์แบบ Orthogonal ก็คือเครื่องจักรแบบระนาบ XYZ โดยมีด้านสามด้านซึ่งแต่ละด้านจะอยู่ทางมุมขวาของอีกด้านหนึ่ง
- **หุ่นยนต์ Gantry:** หุ่นยนต์แบบนี้จะมีกริปเปอร์แขวนอยู่บนโครงสร้างใด ๆ ที่ครอบคลุมการทำงานได้ในพื้นที่กว้าง

## 1.6. ประเภทต่าง ๆ ของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

### 1.6.1. Fixed Robots

คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐานที่ถูกยึดคงที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ

### 1.6.2. Mobile Robots

คือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงกับฐานที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระโดยที่ฐาน มีล้อ หรือ ต้นระบบ

สรุปได้ว่าหุ่นยนต์คือ “เครื่องจักรที่สามารถโปรแกรมได้ และควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเคลื่อนที่สิ่งของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และ/หรือเครื่องมือเพื่อทำงาน หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจและมีการตอบสนองกับสภาพแวดล้อมได้อย่างชาญฉลาด สามารถรับและส่งข้อมูลให้กับสิ่งรอบข้าง แต่อาจจะเคลื่อนที่ไปยังที่ต่าง ๆ ได้หรือไม่ก็ได้”

จากทั้งสองประเภทของหุ่นยนต์ คือ Fixed Robot และ Mobile Robot หุ่นยนต์ประเภทที่สองค่อนข้างจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่าประเภทแรก ซึ่งในโครงการนี้ ก็จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ Mobile Robot ดังจะกล่าวต่อไป

## บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ

### 2.1. หลักการทั่วไป

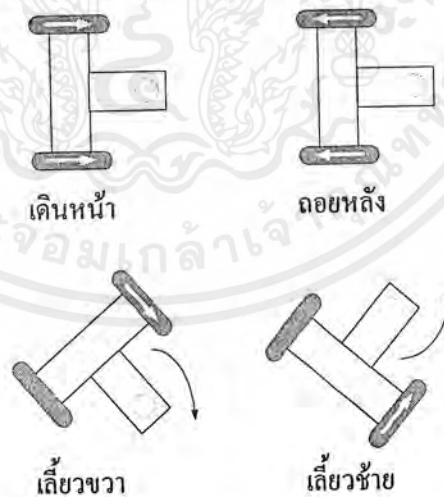
จากที่ได้กล่าวในบทหน้านั้น เราสรุปได้ว่าหุ่นยนต์คือ “ เครื่องจักรที่สามารถโปรแกรมได้ และควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเคลื่อนที่สิ่งของหรือเครื่องมือเพื่อทำงาน หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจและมีการตอบสนองกับสภาพแวดล้อมได้อย่างชาญฉลาด สามารถรับและส่งข้อมูลให้กับสิ่งรอบข้าง แต่อาจจะเคลื่อนที่ไปยังที่ต่าง ๆ ได้หรือไม่ก็ได้ ”

โครงการนี้เป็นโครงการที่นำความรู้ที่ได้ศึกษาที่นี้เกือบทั้งหมด มาประยุกต์ใช้ให้เป็นรูปธรรม โดยได้นำเทคนิคและทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ ลักษณะหุ่นยนต์เป็นลักษณะการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อขับเคลื่อน โดยมีต้นกำลังเป็น มอเตอร์ไฟตรง (DC motor) หุ่นยนต์จะสามารถไปในที่ต่าง ๆ โดยอาศัยเส้นสีที่ทำไว้สำหรับนำทางเป็นเส้นสีดำหรือสีเขียว โดยหุ่นยนต์จะมีตัวตรวจจับเส้นสี (Sensor) ซึ่งตรวจจับเส้นสีอยู่ใต้ตัวหุ่นยนต์ โดยอาศัยทฤษฎีของแสงสี คือการสะท้อนของแสง

### 2.2. การทำงานเบื้องต้นของหุ่นยนต์

#### 2.2.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

มอเตอร์ขับเคลื่อนจัดได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของหุ่นยนต์ เนื่องจากว่าเราจะต้องพิจารณาจุดที่จะต้องติดตั้ง รวมทั้งต้องคำนึงถึงน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ด้วย การออกแบบโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์ 2 ตัวเพื่อที่จะขับล้อ 2 ข้าง แล้วอาศัยการหมุนล้อไปหน้าหรือย้อนหลังเพื่อควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ข้างตัวหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูป 2.1



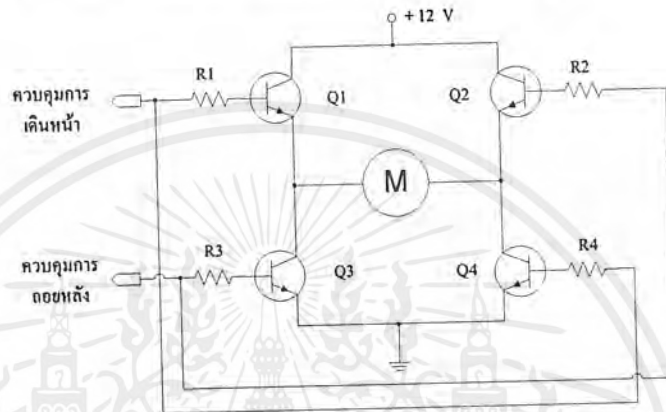
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยอาศัยมอเตอร์ 2 ตัว

ซึ่งสามารถเลี้ยวซ้ายหรือขวาโดยการหยุดมอเตอร์ตัวหนึ่งก็จะทำให้ตัว หุ่นยนต์เลี้ยวไปทางด้านเดียวกับล้อที่หยุดหมุน หรือถ้าเราต้องการให้หุ่นยนต์หันเลี้ยวอย่างรวดเร็วก็ทำได้โดยการกลับทิศทางหมุนของล้อข้างเดียวกับด้านที่ต้องการให้เลี้ยว

เราสามารถที่จะติคมอเตอร์ และลื้อที่ด้านข้างของตัวหุ่นยนต์ตรงบริเวณใดก็ได้ และต้องคำนึงถึงการวางน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ให้สมดุลด้วย

### 2.2.2. การใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์

การใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์นั้นเป็นการนำทรานซิสเตอร์มาใช้งานในลักษณะของสวิทช์ ถ้าเราต้องการใช้ทรานซิสเตอร์แค่ 2 ตัวในการควบคุมเราจะต้องต่อทรานซิสเตอร์ในลักษณะคอมพลิเม้นทารี (complementary) และจะต้องใช้ไฟเลี้ยงทั้งซีกบวกและซีกลบ ซึ่งไม่สะดวกในการใช้งานดังนั้นเราจึงต้องวงจรในลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.2 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

จากรูป ในขณะใดขณะหนึ่งเราจะให้มีทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้นที่นำกระแส คือ Q1 กับ Q4 หรือ Q2 กับ Q3 (คือการควบคุมเดินหน้าหรือถอยหลัง จะต้องไม่เป็น "1" ในเวลาเดียวกัน ซึ่งในการที่เราให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเป็นคู่นี้จะทำให้เราสามารถบังคับทิศทางกระแสที่ป้อนให้กับตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งก็คือการบังคับทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์

### 2.2.3. การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงความเร็วของมอเตอร์ เพราะว่าการที่เราจะปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการปรับที่ขนาดของลื้อหรืออัตราทดของเฟืองทดนั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเราจึงใช้การปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์แทน ซึ่งจากการที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถ้าเราป้อนแรงดันน้อยลงก็จะทำให้ความเร็วในการหมุนลดลงด้วย ดังนั้นเราก็จะสามารถปรับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ได้โดยการเปลี่ยนค่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์นั่นเอง

## 2.3. ส่วนวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

### 2.3.1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

#### 2.3.1.1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิพเดี่ยว (ไม่ต้องต่อกับอุปกรณ์ภายนอกก็สามารถทำงานได้) มีความสะดวกในการใช้งานและเขียน

โปรแกรมควบคุมด้วยภาษาเบสิกได้โดยไม่ต้องศึกษาการทำงานของวงจรเหมือนกับภาษา แอสเซมบลีหรือบางท่านที่ถนัดภาษาแอสเซมบลีก็ยังสามารถใช้ได้เช่นเดียวกัน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบเพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้ โดยมีสายอินพุตและเอาต์พุตภายในตัวเอง พอร์ตของอินพุตและเอาต์พุตบัฟเฟอร์อินเตอร์เฟสและสายควบคุมอื่นๆ ใช้สำหรับแยกข้อมูลกับแอสเซมบลีและยังมีชุดคำสั่งเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษเพื่อจัดการข้อมูลแถมท้ายด้วยวงจรตั้งเวลากับวงจรมนับด้วย (ปกติวงจรมนับจะสามารถทำงานเป็นวงจรตั้งเวลาได้ด้วย จึงเรียกควบคู่กันไปคือ วงจรตั้งเวลา / วงจรมนับ)

### 2.3.1.2. โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

หน้าที่การทำงานของแต่ละขามีดังนี้

- ขาที่ 1-8 (PIO-PI7) ทำหน้าที่ เป็น อินพุต/เอาต์พุต พอร์ต 1
- ขาที่ 9 (RST) ทำหน้าที่ รับสัญญาณรีเซทจากภายนอก เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นการทำงานใหม่ทั้งหมด
- ขาที่ 10-17 (P3.0-P3.7) ทำหน้าที่ เป็น อินพุต/เอาต์พุต ของ พอร์ต 3 และนอกจากนี้แต่ละขายังสามารถทำหน้าที่อื่นได้อีก ดังต่อไปนี้
- ขาที่ 10 (RxD) รับข้อมูลแบบอนุกรมจากอุปกรณ์ภายนอก
- ขาที่ 12 (INT0) รับสัญญาณ อินเตอร์รัพท์ 0 จากภายนอกโดยสัญญาณ อินเตอร์รัพท์ นี้จะทำงานเมื่อสัญญาณเป็นลอจิกต่ำ
- ขาที่ 13 (INT1) รับสัญญาณ อินเตอร์รัพท์ 1 จากภายนอกโดยสัญญาณ อินเตอร์รัพท์นี้จะทำงานเมื่อสัญญาณเป็นลอจิกต่ำเหมือนกับขา 12
- ขาที่ 14 (T0) รับสัญญาณจากภายนอกให้กับเคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0
- ขาที่ 15 (T1) รับสัญญาณจากภายนอกให้กับเคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1
- ขาที่ 16 ( $\overline{\text{WR}}$ ) ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ตัวอื่น เมื่อต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ตัวนั้น
- ขาที่ 17 ( $\overline{\text{RD}}$ ) ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ตัวอื่น เมื่อต้องการเขียนข้อมูลจากอุปกรณ์ตัวนั้น
- ขาที่ 18-19 (XTAL1/XTAL2) เป็นขาสำหรับรับสัญญาณจากคริสตอลเพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยภายในตัวด้วยอยู่แล้ว
- ขาที่ 20 (Vss) ใช้ต่อ 0 โวลต์ของระบบ
- ขาที่ 21-28 (P2.0-P2.7) ทำหน้าที่ เป็นอินพุต/เอาต์พุตขานาน 8 ที่มีพูลอัพ อยู่ในภายใน ในกรณีเอาต์พุตจะต่อกับอินพุตของทีทีแอล (TTL) ตระกูลแอลเอส (LS) 4 ตัว เมื่อต้องการทำเป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้เกิดการพูลอัพภายใน
- ขาที่ 29 ( $\overline{\text{PSEN}}$ ) ทำหน้าที่ ส่งสัญญาณเพื่อสั่งให้หน่วยความจำภายนอกชิพ ซึ่งเก็บชุดคำสั่งไว้ทำงาน

- ขาที่ 30 (ALE) ทำหน้าที่ ส่งสัญญาณควบคุมการแลทซ์ ค่าบัสแอสแตรสไบท์ต่ำ (Low byte address bus) จากพอร์ท 0 ในการติดต่อกับส่วนที่ใช้สำหรับเก็บชุดคำสั่งภายนอก
- ขาที่ 31 ( $\overline{EA}$ ) ผู้ใช้สามารถเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ทำงานจากชุดคำสั่งภายในหรือภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ได้ โดยเมื่อต่อขาเข้ากับ ลอจิกสูง (+5 โวลต์) ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำงานจากโปรแกรมภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์เองและเมื่อต่อเข้ากับลอจิกต่ำ (0 โวลต์) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะทำงานโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- ขาที่ 32-39 (P0.0-P0.7) ทำหน้าที่เป็น อินพุท/เอาท์พุท ของ พอร์ท 0 หรือทำหน้าที่เป็นบัสแอสแตรสไบท์ต่ำ สลับกับทำหน้าที่เป็นบัสข้อมูล (data bus) ด้วย
- ขาที่ 40 (Vcc) ใช้ต่อ +5 โวลต์ เพื่อจ่ายพลังงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.3.1.3. การจัดการหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8051

หน่วยความจำของ 8051 แบ่งออกไว้เป็น 2 แบบตามลักษณะของการใช้งาน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บคำสั่งในรูปรหัสภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งต้องการให้ 8051 ทำงาน เมื่อ 8051 ทำงานก็จะอ่านข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำประเภทนี้เข้าไปถอดรหัสแล้วสร้างสัญญาณควบคุมส่วนอื่นๆ ตามการทำงานของแต่ละคำสั่งนั้น หน่วยความจำแบบนี้จะต้องเป็นแบบหน่วยความจำอ่านได้ เท่านั้น (Read Only Memory หรือ ROM) และผู้ใช้ต้องเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นรหัสภาษาเครื่องของ 8051 ตามลำดับการทำงานที่ต้องการ (หน่วยความจำแบบอ่านได้เท่านั้น ซึ่งเมื่อปิดไฟแล้วข้อมูลก็ไม่มี การสูญหาย) ในระหว่างการทำงานของ 8051 ผู้ใช้จะไม่สามารถใช้คำสั่งทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบนี้ได้ จำนวนตำแหน่งสูงสุดของหน่วยความจำแบบนี้ที่ 8051 จะใช้งานได้คือ 65536 ตำแหน่ง ค่าของตำแหน่ง (Address) จะเขียนเป็นเลขฐาน 16 ได้ตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH หน่วยความจำตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFFH จำนวน 4 กิโลไบต์ ถ้าต้องการให้ 8051 ทำงานตามคำสั่งที่เก็บไว้ใน รอมภายใน 8051 ก็ให้ป้อนสัญญาณสถานะลอจิกสูง (1) เข้าที่ขา  $\overline{EA}$  ของ 8051 แต่ถ้าต้องการให้ทำงานในโปรแกรมที่เก็บไว้ใน รอมภายนอก 8051 ก็ให้ต่อลอจิกต่ำ (0) เข้าที่ขา  $\overline{EA}$  ของ 8051 ส่วนหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 1FFFH ถึง FFFFH จะต้องต่ออยู่ภายนอก 8051 เสมอ ดังแสดงในแผนภูมิหน่วยความจำ (Memory Map)

### 2.3.2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051

AT 89C2051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตขึ้นโดย ATMEL ซึ่งมีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ ดิพ (DIP) ขนาด 20 ขา นับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กอีกตัวหนึ่ง ซึ่งมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ และยังสามารถทำการพัฒนาโปรแกรมได้โดยง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ซีออน มีพอร์ตหน่วยความจำและทรัพยากรที่สำคัญๆ อย่างครบถ้วน เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

#### 2.3.2.1. ข้อมูลทางเทคนิคของ AT 89C2051

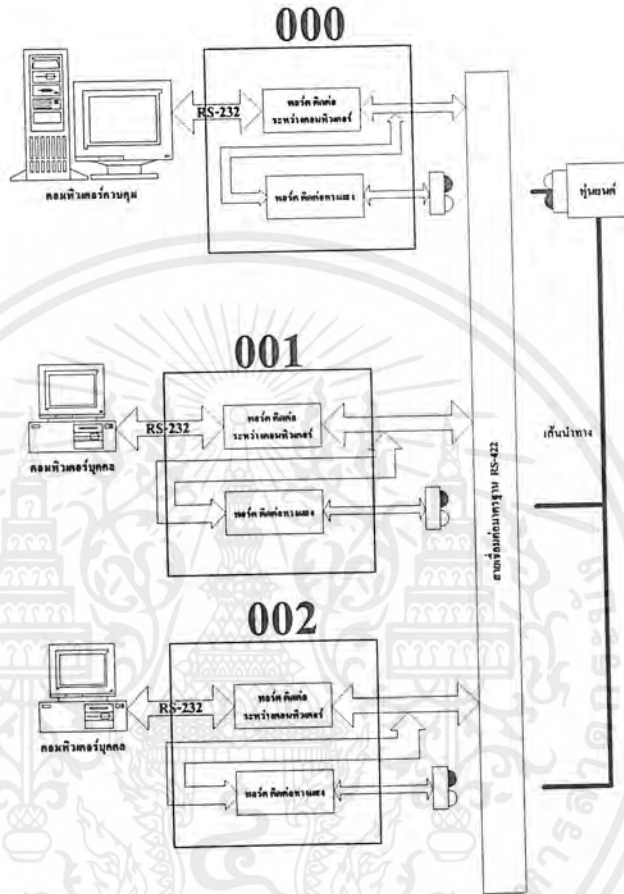
- มีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51
- มีหน่วยความจำชนิด แฟลช เมมโมรี (Flash Memory) ขนาด 2 กิโลไบต์ (Kbytes) สามารถโปรแกรมซ้ำได้ 1000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำแบบ แรม (RAM) 8 บิต ขนาด 128 ไบต์ (Internal Ram)
- ทำงานที่แรงดัน 2.7-6 โวลต์ RUN ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 0 Hz – 24 Hz
- มีพอร์ต I/O 15 บิต (พอร์ต 1 และ พอร์ต 3) พอร์ต สามารถ Sink กระแสได้ 20 mA และใช้เป็น เอาท์พุท ขั้ว แอลอีดี ได้โดยตรง
- มีพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม 1 แชนแนล (UART) สามารถโปรแกรมข้อมูลเพื่อป้องกันการอ่านเขียน (คัตลอคโปรแกรม) ได้ 2 ระดับ
- มีวงจรมิเมอร์และวงจรมับขนาด 16 บิต (16 Bit Timer/Counter) จำนวน 2 แชนแนล
- มีสัญญาณอินเทอร์รัปต์ 5 แหล่ง แบ่งลำดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีวงจรถ่ายเทียบสัญญาณอะนาลอก (Analog Comparator input) 1 แชนแนล
- มีระบบประหยัดพลังงาน (Low Power Idle and Power Down Modes)

#### 2.3.2.2. การทำงานของวงจร

ซีพียู AT89C2051 มี I/O พอร์ต ทั้งหมด 15 บิต โดยแบ่งออกเป็น 2 พอร์ต คือ พอร์ต 1 (P1.0 – P1.7) และพอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) โดยพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต แบบสองทิศทางซึ่ง P1.2 – P1.7 จะมี อินเทอร์นอล พูลอัพ (Internal pull-up) ให้ ส่วน P1.0 และ P1.1 นั้นต้องต่อ พูลอัพ จากภายนอกเอง ซึ่งพอร์ต P1.0 และ P1.1 นี้สามารถใช้เป็นวงจร อนาลอก คอมพารเตอ์ อินพุท ได้อีกด้วย ส่วนพอร์ต 3 นั้นเราจะใช้ P3.0 – P3.5 และ P3.7 เป็น I/O แบบสองทิศทาง ซึ่งมี อินเทอร์นอล พูลอัพ ให้ด้วยเช่นกัน ส่วน P3.6 จะไม่ต่อขาออกมาภายนอกแต่เราสามารถใช้เป็นพอร์ต อินพุท เพื่ออ่านค่าผลลัพธ์ของวงจร คอมพารเตอ์ จากพอร์ต P1.0 และ P1.1 ได้ซึ่ง พอร์ต 1 และพอร์ต 3 นี้ สามารถใช้ Sink กระแสได้ 20 mA และสามารถใช้เป็น เอาท์พุท เพื่อขับ แอลอีดี ได้โดยตรง

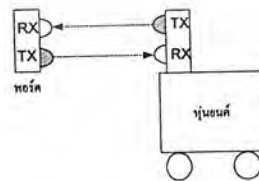
## 2.4. การรับส่งเอกสาร

ในกรณีที่เรารับส่งเอกสาร เราจะต้องออกแบบระบบก่อนโดยมีการกำหนด แอดเดรส (Address) ต่าง ๆ ของจุดรับส่งเอกสาร และสร้างเส้นทางไปที่จุดรับส่งเอกสารคล้ายทางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



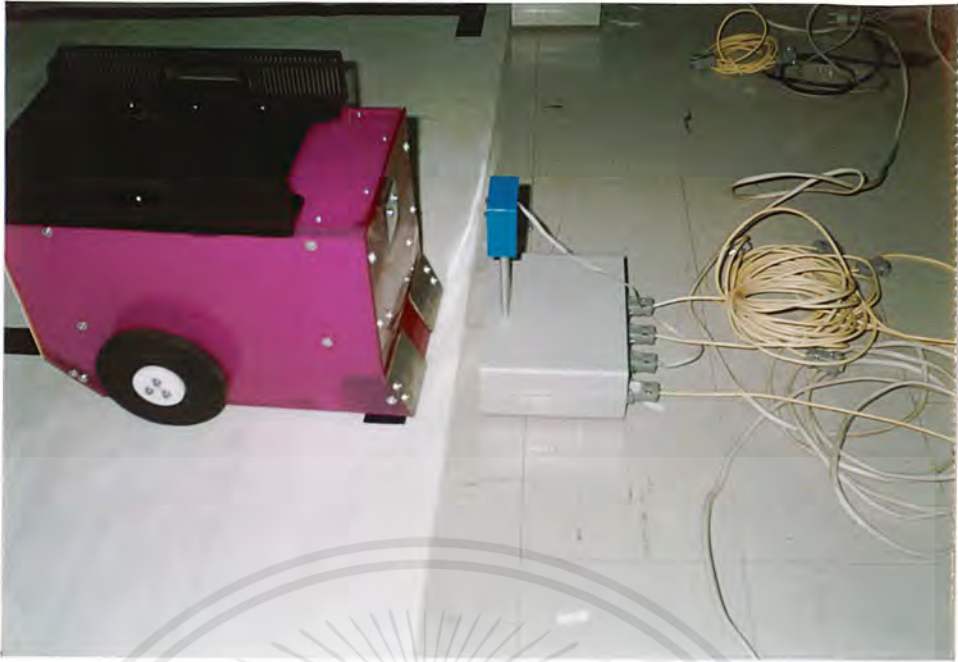
รูปที่ 2.3 แสดงการวางจุดรับส่งเอกสาร

แต่ละจุดรับส่งจะเรียกว่า พอร์ต (Port) หรือเป็นเหมือนสถานีรับส่งเอกสารและจะต้องมีอุปกรณ์ติดต่อสื่อสาร ซึ่งในระบบนี้เราจะติดต่อกับหุ่นยนต์โดยใช้แสง แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการติดต่อกับพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

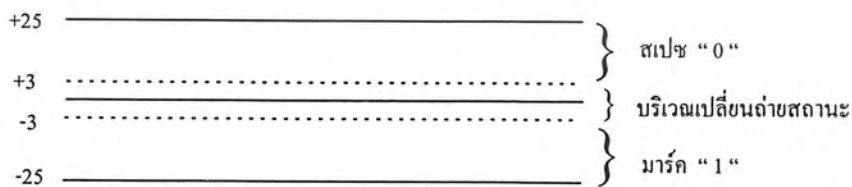


รูปที่ 2.5 แสดงการติดต่อกับพอร์ตจริง

และทุกพอร์ตสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-422 และใช้วิธีการควบคุมพอร์ตต่าง ๆ แบบ มัลติโพรเซสเซอร์ (Multiprocessor) โดยเราจะสามารถสั่งงานหุ่นยนต์ให้ไปรับหรือส่งเอกสารที่จุดใดเราจะส่งผ่านทาง เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ เครื่องควบคุม ในที่นี้จะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องติดตั้งโปรแกรมสำหรับสื่อสารก่อน

#### 2.4.1. มาตรฐาน RS-232C

โดยทั่วไปเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทั่วไป ได้พ่วงพอร์ตสื่อสารอนุกรมมาตรฐาน RS-232C มาให้ ดังนั้นสำหรับโครงการนี้จึงต้องแปลงมาตรฐานของ RS-232C ไปเป็น RS-422 ซึ่งคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมาตรฐาน RS-232C นั้น ระดับแรงดันโดยบริเวณบวกจะอยู่ที่ +3 โวลต์ +25 โวลต์ และบริเวณลบจะอยู่ที่ -3 โวลต์ ถึง -25 โวลต์ ส่วนบริเวณ -3 ถึง +3 ถือเป็นบริเวณเปลี่ยนถ่ายสถานะ ข้อกำหนดให้สัญญาณมีสถานะอยู่บริเวณนี้ได้ไม่เกิน 1 มิลลิวินาที (millisec.)



รูปที่ 2.6 แสดงข้อกำหนดทางไฟฟ้าของมาตรฐาน RS-232C

เนื่องจากสัญญาณนี้จะมีค่าอ้างอิงเทียบกับกราวด์ (ground) และเนื่องจากข้อกำหนดว่าไม่สามารถประยุกต์ใช้กับตัวกลางสื่อสารที่มีค่าสูงกว่า 20 กิโลบิตต่อวินาที (Kbps)

## 2.4.2. ข้อกำหนดของ RS-232C

### 2.4.2.1. ระยะเวลา

เนื่องจากข้อกำหนดว่าค่าความจุไฟฟ้าระหว่างสายที่มองจากวงจรขับ (driver) จะต้องไม่เกิน 2,500 พิโคฟารัด (pF) ดังนั้น ถ้าระยะเวลาเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มเป็นภาระวงจรขับ ธรรมดาเคเบิลที่ใช้จะมีความจุไฟฟ้า 2500 พิโคฟารัด มีความยาวประมาณ 50 ฟุต (15 เมตร)

### 2.4.2.2. อัตราส่งข้อมูล

อัตราสัญญาณจะต้องไม่เกิน 20 กิโลบิตต่อวินาที

### 2.4.2.3. สัญญาณรบกวน

มีสาเหตุจาก แหล่งกำเนิด 2 แบบ

- แหล่งกำเนิดภายนอก เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า สถานีส่งวิทยุ ฯลฯ
- แหล่งกำเนิดภายใน เช่น ถ้าสายกราวด์สัญญาณรวม (common return signal) เกิดไม่เป็นตัวนำที่สมบูรณ์ คือ ความต้านทานไม่เป็นศูนย์ การกระจายของกระแสจากสายสัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้สายกราวด์ร่วมกัน จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า ในลักษณะตกคร่อมสายกราวด์สัญญาณรวม

ตัวอย่างจาก วงจรขับและวงจรภาครับในแบบไม่สมดุล (RS-423) คล้ายกับของ RS-232C พิจารณา สัญญาณรบกวน ซึ่งอาจปรากฏในรูปของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ระหว่างปลายของสาย กราวด์



รูปที่ 2.7 วงจรขับและวงจรภาครับในแบบไม่สมดุล

สมมุติ  $V_{AA'}$  เป็นศูนย์ และ  $V_{C'A'} - V_{A'C}$  จะได้

$$V_{CC'} + V_{AC} = V_{A'C'} \quad (2.1)$$

ถ้าไม่มีสัญญาณรบกวน  $V_{CC'} = 0$  จะได้  $V_{AC} = V_{A'C'}$

ถ้าเราให้ ภาคขับเกิดเอาต์พุต (Output)  $V_{AC} = -5$  โวลต์

ภาครับเราจะได้  $V_{A'C'} = 5$  โวลต์

แต่ถ้าสมมุติมีสัญญาณรบกวน ขนาด  $V_{CC'} = -6$  โวลต์

แม้ ภาคขับให้เอาต์พุต  $V_{AC} = 5$  โวลต์

ภาครับจะได้  $V_{A'C'} = -6 + 5 = -1$  โวลต์

กรณีนี้จะได้อาต์พุตที่ผิดจากเดิม

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวงจรรีเลย์แบบไม่สมมูลย์

ระดับแรงดันที่รับเข้า	ระดับแรงดัน ที่ทีแอล (TTL) เอาท์พุท
$V_{A'C'}$	
< 0	1 (ระดับลอจิก)
> 0	0 (ระดับลอจิก)

2.4.3. มาตรฐาน RS-422

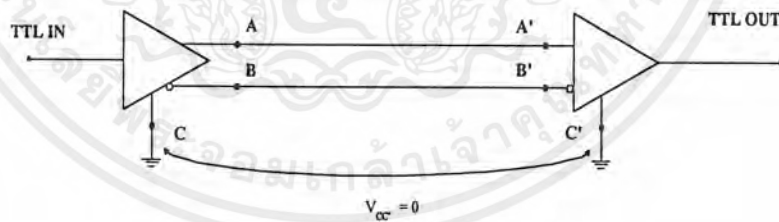
ในมาตรฐาน RS-422 อธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวงจรรีเลย์แบบสมมูลย์ โดยภาคขับสัญญาณจะผลิตสัญญาณผลต่าง (differential signal) ออก ที่เอาท์พุท A-B

โดยสถานะมาร์ค (mark) หรือ ออฟ (OFF) ถ้าเอาท์พุทโวลเตจที่จุด A จะเป็นลบเมื่อเทียบกับจุด B ในทางกลับกันสถานะ สเปซ (space) หรือ ออน (ON) จุด A จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด B โดยสภาพ ไบนารี (binary) จะกำหนดโดยความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่จุด A และ B เมื่อเทียบกราวด์ที่จุด C ( $V_{AC} - V_{BC}$ ) และภาครับจะเป็นดัง ตารางที่ 2.2

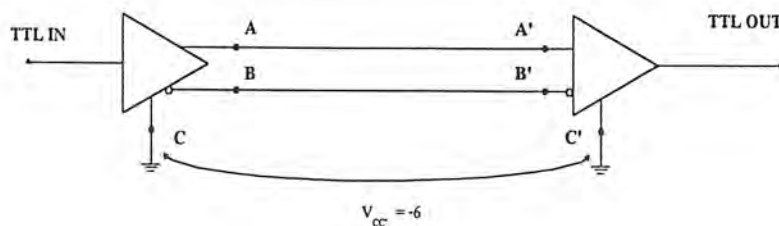
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวงจรรีเลย์แบบสมมูลย์

ระดับแรงดันที่รับเข้า	ระดับแรงดัน ที่ทีแอล (TTL) เอาท์พุท
$(V_{A'C'} - V_{B'C'})$	
< 0	1 (ระดับลอจิก)
> 0	0 (ระดับลอจิก)

เราพบว่าแม้จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นคือ  $V_{CC}$  เราจะได้ ( $V_{A'C'} - V_{B'C'}$ ) จะเท่ากับ ( $V_{AC} - V_{BC}$ )



รูปที่ 2.8 วงจรขับและวงจรรีเลย์แบบสมมูลย์ กรณีไม่มีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.9 วงจรขับและวงจรรีเลย์แบบสมมูลย์ กรณีมีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 14

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์

$$V_{AC} + V_{CC'} = V_{A'C'} \quad (2.2)$$

และ

$$V_{BC} + V_{CC'} = V_{B'C'} \quad (2.3)$$

นั่นคือ  $V_{A'C'} - V_{B'C'}$  จะเท่ากับ  $V_{AC} - V_{BC}$  ดังนั้นหมายความว่า สัญญาณรบกวนในโหมดร่วม (common mode) จะถูกขจัดออกไป

## 2.5. ทฤษฎีทางแสง

โดยทฤษฎีมีอยู่ว่า แสงสีขาวที่เราเห็นกันอยู่นี้ประกอบด้วยสีต่าง ๆ ผสมกันอยู่ โดยเมื่อแสงไปกระทบวัตถุแล้ว เรามองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีใดแสดงว่าวัตถุนั้นดูดกลืนแสงหมด ไม่สะท้อนออกมาหรือสะท้อนก็เป็นส่วนน้อย ส่วนในกรณีที่เราเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ นั้น เช่น สีแดงก็แสดงว่าวัตถุนั้นไม่ดูดกลืนสีแดง หรือเรามองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีขาวแสดงว่าวัตถุนั้นสะท้อนแสงเกือบทั้งหมดออกมา โดยเราสามารถที่จะนำหลักการของแสงสีมาใช้ในโครงการ ซึ่งจะใช้แสงมองไม่เห็นคือแสงอินฟราเรด (Infrared) โดยมีอินฟราเรด ตัวรับและตัวส่ง ทำหน้าที่ตรวจสอบในการเดินทางได้

- กฎ 3 ข้อของแสง

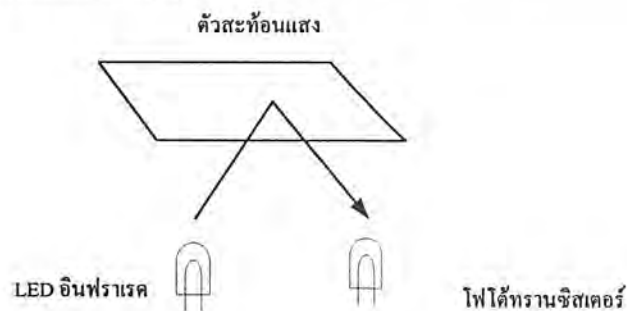
ในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงค่าเดียวกัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงส่วนตัวกลางมีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้นตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง แสงจะเกิดการหักเหและเกิดการสะท้อนกลับ คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง และคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง เรียกว่ากฎ 3 ข้อของแสง ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้เราจะพบเห็นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน

ความเร็วของแสงจะต่างกันในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหต่างกัน สำหรับความเร็วของแสงในอากาศนั้นมีค่าประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที (ค่าที่ถูกต้องก็คือ  $2.9979 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที)

## 2.6. อุปกรณ์ทางแสง

### 2.6.1. อุปกรณ์ตรวจจับแบบใช้หลักการสะท้อนของแสง (Reflective optical sensors)

อุปกรณ์แบบตรวจจับแบบใช้หลักการสะท้อนมีข้อดี คือการตรวจจับสามารถกำหนดพื้นที่การทำงานได้แน่นอนทำให้ออกแบบระบบได้ง่าย



รูปที่ 2.10 แสดงตัวตรวจจับแบบใช้หลักการสะท้อนแสง

จากรูปจะเห็นได้ว่าประกอบด้วยแอลอีดี อินฟราเรด (Infrared LED) และโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งจัดวางในตำแหน่งที่หันเหทิศทางไปทางเดียวกัน ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์จึงไม่ได้กระทบกับแสงอินฟราเรด ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะหยุดทำงานตลอด

การตรวจจับจะอาศัยวัสดุที่สะท้อนแสงได้ เช่น โลหะสะท้อนแสง ซึ่งถูกเรียกว่าตัวสะท้อนแสง (reflector) มาวางไว้บริเวณด้านหน้าของตัวตรวจจับในระยะเวลาที่สามารถทำงานได้ ลำแสงอินฟราเรดจากแอลอีดีสะท้อนกลับมาโฟโตทรานซิสเตอร์ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานได้ สัญญาณที่ได้จากเอาท์พุทโฟโตทรานซิสเตอร์จะมีระดับลอจิกที่แน่นอน และเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกได้อย่างรวดเร็ว น้อยมาก ทำให้รูปคลื่นของสัญญาณที่ได้ไม่เกิดการบิดเบี้ยวเนื่องจากการทำงานอาศัยหลักการสะท้อนแสงทำให้มีประสิทธิภาพสูง ตัวตรวจจับประเภทนี้จึงนิยมถูกนำมาออกแบบใช้งานกับระบบตัวตรวจจับ 2 ชุด เพราะสามารถนำมาติดตั้งกับงานเข้ารหัสที่ติดตั้งตัวสะท้อนแสงได้หลายรูปแบบ เช่น ติดตั้งในด้านเดียวกันแต่ละตำแหน่ง หรือติดตั้งด้านหน้าหรือด้านหลังของงานด้านหลังการของงานเข้ารหัสก็ได้ทำให้ประยุกต์ใช้งานได้สูงขึ้น

### 2.6.2. อินฟราเรด แอลอีดี (Infrared LED)

อินฟราเรดแอลอีดี ถูกสร้างขึ้นเพื่อกำเนิดแสงในย่านอินฟราเรด เมื่ออินฟราเรด แอลอีดี นำกระแสอิเล็กทรอนิกส์ จะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ และเกิดพลังงานดังกล่าวขึ้นจากโฟตอน การเกิดพลังงานดังกล่าวเป็นไปในทันทีที่มีกระแสไหลผ่าน



รูปที่ 2.11 แสดงการใช้อินฟราเรดแอลอีดี

อินฟราเรดแอลอีดีสามารถกำเนิดอินฟราเรดได้ในช่วงสองความยาวคลื่นคือ อินฟราเรด แอลอีดีที่สร้างจากสารแกลเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide : GaAs) จะให้ความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลำนำ้กหอสุมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประมาณ 900 นาโนเมตร และอินฟราเรด แอลอีดีที่สร้างจากสารแกเลียมอัลมิเนียมอาเซไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide : GaAs) จะกำเนิดแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร

### 2.6.3. โฟโด้ทรานซิสเตอร์

โฟโด้ทรานซิสเตอร์อาศัยหลักการเดียวกันกับโฟโด้ไดโอดแต่โฟโด้ทรานซิสเตอร์ให้ข้อดีกว่าโฟโด้ไดโอดมาก ทั้งนี้เพราะว่ากระแสที่ได้จะผ่านการขยายด้วยทรานซิสเตอร์ก่อน ในภาวะปกติของการใช้งานของ โฟโด้ทรานซิสเตอร์รอยต่อระหว่างเบสอิมิตเตอร์จะต่อไบแอสตรงส่วนรอยต่อระหว่างเบสคอลเลกเตอร์จะต่อไบแอสกลับที่รอยต่อนี้เองเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการแปลค่ากระแสที่ขึ้นกับแสง

เมื่อไบแอสกลับที่รอยต่อระหว่างเบสคอลเลกเตอร์และมีแสงฉายมาที่บริเวณรอยต่อกระแสเบสจะถูกขยายด้วยอัตราขยายของทรานซิสเตอร์และกระแสอิมิตเตอร์ และถ้าไบแอสจั่วเบสด้วยกระแสเบสภายนอกก็จะถูกขยายรวมกับกระแสเนื่องจากแสงด้วย

### 2.7. วงจรขยายสัญญาณทางไฟฟ้า

คำว่าออปเปอเรชั่นนั้ค แอมพลิฟายเออร์ (เรียกย่อ ๆ ว่าออปแอมป์) เริ่มแรกทีเดียวใช้เรียกเฉพาะวงจรขยายสัญญาณความแตกต่างที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ออกแบบเพื่อใช้ในอนาล็อกคอมพิวเตอร์ ออปแอมป์ ดังกล่าวถูกใช้ให้ทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก การลบ การคูณด้วยตัวคงที่ และการรวมสัญญาณแบบต่อเนื่อง เป็นต้น

#### 2.7.1. คุณสมบัติเด่นของออปแอมป์

ออปแอมป์ เป็นไอซีเป็นวงจขยาย ที่มีอัตราขยายสูงมาก โดยปกติจะมีอัตราขยายสูง และ ข้อเด่น ก็คือ เราสามารถกำหนดอัตราขยายให้กับออปแอมป์ได้โดยง่าย ตาม ต้องการ

ออปแอมป์ในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติเด่นดังต่อไปนี้

- มีอัตราขยายแรงคั่นเป็นอนันต์
- มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ หรือ กระแสอินพุทเป็นศูนย์นั่นเอง
- มีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์
- มีผลตอบสนองต่อความถี่ได้จากสัญญาณไฟตรงถึงความถี่อนันต์
- จากคำจำกัดความของออปแอมป์ในอุดมคติทำให้เราทราบว่า ไม่ว่าสัญญาณจะเป็นอย่างไร

สัญญาณนั้นก็สามารถทำให้ออปแอมป์ทำงานได้

#### 2.7.2. ออปแอมป์แบบพื้นฐาน

ในการใช้งานออปแอมป์มักจะมีการป้อนกลับแบบลบจากจั่วเอาท์พุทมายังจั่วลบ (inverting input) ด้วยตัวต้านทานหรืออิมพีแดนซ์เพื่อควบคุมอัตราขยายและผลตอบความถี่ให้ได้ตามต้องการ

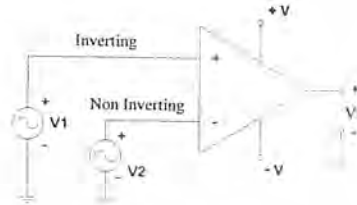
เช่นเดียวกับวงจขยายทั่ว ๆ ไป สัญญาณที่เข้าที่อินพุทและออกมาที่เอาท์พุทจะมีการเลื่อนเฟส (นอกเหนือจากกรกลับเฟส) อัตราการเลื่อนเฟสนี้ขึ้นกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3. สัญลักษณ์ของออปแอมป์

ขั้วสำหรับสัญญาณเข้าที่มีเครื่องหมายลบกำกับ เรียกว่า อินเวอร์ตติ้ง (inverting) สัญญาณที่เข้าทางขั้วนี้จะทำให้เกิดสัญญาณออกที่ขั้วออกที่มีมุมต่างจากสัญญาณเข้า 180 องศา นั่นคือ หากสัญญาณเข้าที่ขั้วนี้เป็นบวกหรือเพิ่มขึ้น จะได้สัญญาณออกเป็นลบหรือลดลง ส่วนขั้วสัญญาณเข้าอีกขั้วหนึ่งที่มีเครื่องหมายบวกกำกับนั้นเรียกว่า นอนอินเวอร์ตติ้ง (non - inverting)

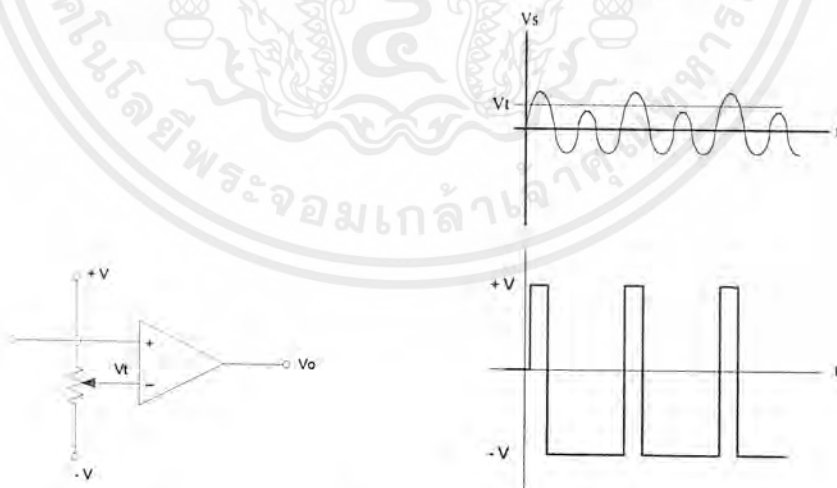


รูปที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์

### 2.7.4. วงจรไม่เชิงเส้นพื้นฐาน

ในวงจรเชิงเส้นนั้น ออปแอมป์อาจอยู่ในสภาพอิ่มตัวทางบวกหรือทางลบก็ได้ ดังนั้นเราต้องคำนึงว่าความแตกต่างระหว่างแรงดันขาเข้าทั้งสองอาจมีมากก็ได้

วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เนื่องจากออปแอมป์มีอัตราขยายวงรอบเปิดสูงมาก หากแรงดันที่ขั้วไม่กลับมีค่าสูงทางขั้วเข้ากลับเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ก็จะทำให้ออปแอมป์อิ่มตัวทางบวก หรือแรงดันที่ขั้วเข้ากลับมีค่าสูงกว่าทางขั้วเข้าไม่กลับเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ออปแอมป์ก็จะอิ่มตัวทางลบ ดังนั้นออปแอมป์จึงเหมาะสำหรับมาใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบว่าเป็นแรงดันอ้างอิง สัญญาณที่ขั้วข้างใดมีค่ามากกว่าอีกข้างหนึ่ง เช่น ในวงจรรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรเปรียบเทียบ โดยมี  $V_T$  เป็นแรงดันอ้างอิง

เราตั้งแรงดันที่ขั้วเข้ากลับของออปแอมป์ให้เท่ากับ  $V_T$  เมื่อใดที่สัญญาณเข้า  $V_S$  มีค่าสูงกว่า  $V_T$  แรงดัน  $V_O$  จะเท่ากับ  $+V$  และ เมื่อสัญญาณเข้า  $V_S$  มีค่าน้อยกว่า  $V_T$  แรงดัน  $V_O$  ก็จะเท่ากับ  $-V$

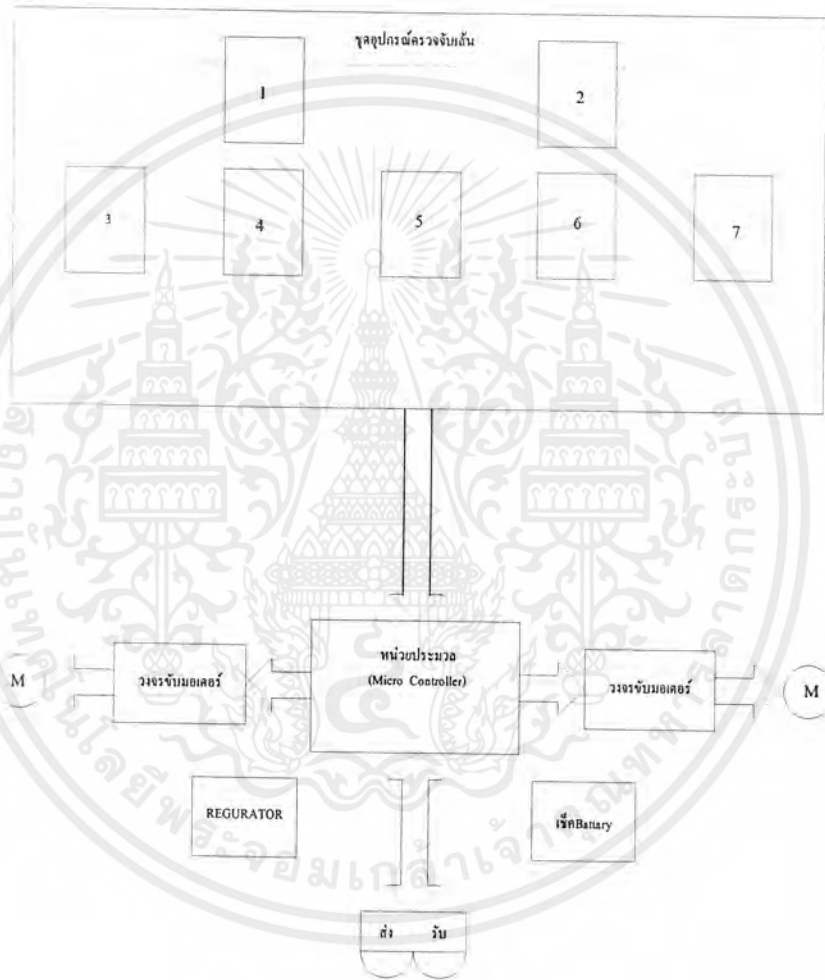
### บทที่ 3

#### การคำนวณและการสร้าง

เนื่องจากในโครงการนี้มีทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Hardware) และส่วนที่เป็นโปรแกรม (Software) ซึ่งอาจจำแนกได้ดังนี้

#### 3.1. โครงสร้างหุ่นยนต์

ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.2.1 ตัวหุ่นยนต์จะขับเคลื่อน 2 ล้อ ดังนั้นการออกแบบจะอาศัยภาพรวมตามส่วนประกอบที่มีดังรูป



รูปที่ 3.1 ภาพโดยรวมของโครงสร้างหุ่นยนต์

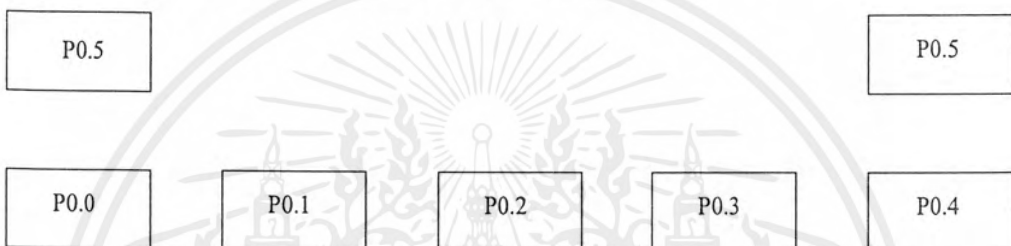
ตัวหุ่นยนต์ ประกอบไปด้วยส่วนขับเคลื่อน คือ มอเตอร์กระแสตรง 2 ตัว พร้อมหัวเกียร์มีอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง 7 ตัว และวงจรตรวจเช็คระดับของ Battery โดยแบ่งเป็น 2 ระดับตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ คือ H, M, L

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการติด-ดับของ LED ที่ต่อเพื่อแสดงระดับพลังงานในแบตเตอรี่

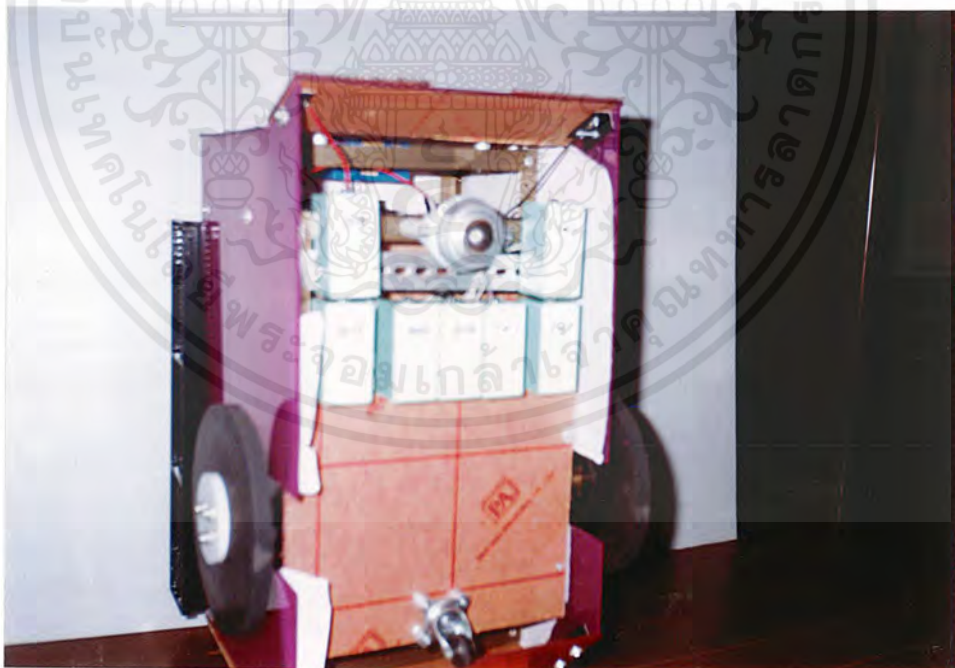
	แดง	เขียว	แดง P 3.2	เขียว P 3.3
H	ดับ	ดับ	1	1
M	ดับ	ติด	1	0
L	ติด	ติด	0	0

โดยปกติเวลาทำงานแบตเตอรี่ จะอยู่ที่ระดับ M ถ้าวาสภาวะปกติ ถ้าอยู่ระดับ H แสดงว่าส่วนชาร์จ มีปัญหา

ส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง วางตัวในแนวตามรูปมีทั้งหมด 7 ตัว



รูปที่ 3.2 แสดงการวางอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง



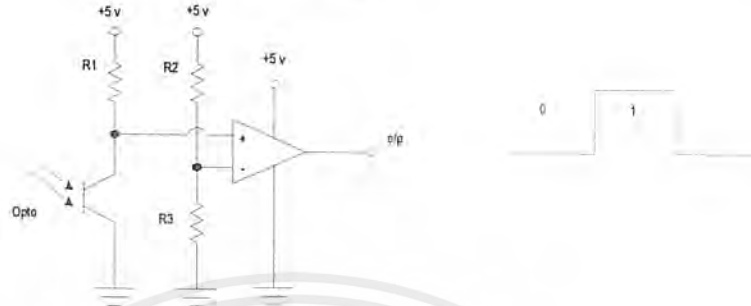
รูปที่ 3.3 แสดงการวางอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางบนตัวหุ่นจริง

โดย P0.5 และ P0.6 มีหน้าที่ในการชลดความเร็วเมื่อพบแยกหรือจุดรับส่ง ส่วน P0.0-P0.4 มีหน้าที่ในการจอดและการนำทาง เวลาเดินเกาะเส้นจะใช้ P0.1, และ P0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 20

### 3.2. อุปกรณ์เซนเซอร์

สิ่งที่เราต้องการ คือเราสามารถทราบว่าคุณสมบัติของดี แสดงออกมาเป็น ลอจิก ได้ นั่นคือจะใช้วงจรเปรียบเทียบ ซึ่งคุณสมบัติคือ ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของระดับที่เกิดขึ้นจะแสดงที่ เอาท์พุท เฉพาะระดับโวลต์เตจ ที่มีความแตกต่างกว่าเท่านั้น อธิบายได้ดังรูป



รูปที่ 3.4 แสดงการใช้วงจรเปรียบเทียบแยกความแตกต่างดี

จะเห็นว่า โนด อินเวอร์ติง เป็นตำแหน่งระดับแรงดันของ 5 V ให้เท่า ๆ กับ ซึ่งต้องให้ความต้านทานของ  $R_2 = R_3$  ด้วย ซึ่งการทำเช่นนี้เพื่อให้เป็นตัวแทนระดับ โวลต์เตจ ที่เกิดขึ้น ซึ่งหาก โวลต์เตจ ครอบที่ โฟโตทรานซิสเตอร์ มากกว่า โวลต์เตจ ครอบที่  $R_3$  พัลส์ จะออกบวก หรือ โวลต์เตจ ครอบที่ โฟโตทรานซิสเตอร์ น้อยกว่า โวลต์เตจ ครอบที่  $R_3$  พัลส์ จะออกลบ ซึ่งการเทียบเคียงบวก ลบ สลับเงื่อนไขโดยสลับขา อินเวอร์ติง กับ นอนอินเวอร์ติง ซึ่งจะเห็นว่า การจะได้ โวลต์เตจ ครอบที่ โฟโตทรานซิสเตอร์ ที่แตกต่างนั้นย่อมมาจาก ความต้านทานที่เกิดขึ้นในตัวมันเอง ซึ่งเราทราบแล้วว่า การเปลี่ยนแปลงนั้นมันเป็นไปตามแสงที่ถูกกระทบนั่นเอง

### 3.3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการของมอเตอร์ก็คือตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่าง ๆ ตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้นนี้ ก็อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีกระแสไหลในตัวนำ ซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น ย่อมทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่หาได้จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ขนาดของแรงที่เกิดขึ้น หาได้จาก

$$F = Bil \quad \text{newton.}$$

เมื่อ  $F =$  แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว ( นิวตัน )

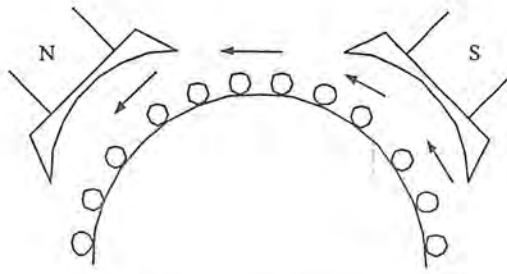
$B =$  ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก ( เวเบอร์ / เมตร<sup>2</sup> )

$i =$  กระแสที่ไหลในตัวนำ ( แอมป์ )

$l =$  ความยาวของตัวนำ เมตร

แรง  $F$  ที่เกิดขึ้น จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสที่ไหลผ่านในตัวนำนั้น ๆ

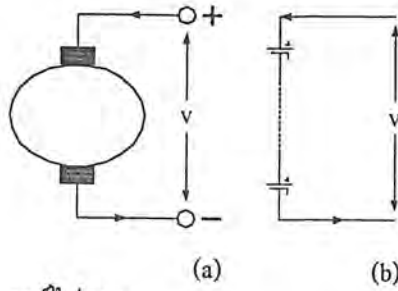
เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้ โดยหลักการขั้นพื้นฐานของโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟ และมอเตอร์นั้น ไม่มีความแตกต่างกันในโครงสร้างเลย นั่นก็คือ เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องเดียวกันนี้ สามารถนำไปใช้งานสลับกันได้



รูปที่ 3.5 แสดงหลักการของมอเตอร์

ตามรูปที่ 3.5 แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์กระแสไฟตรง ที่มีหลายขั้วแม่เหล็กเมื่อใส่ไฟเข้าไปที่สนาม กระตุ้น ย่อมทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วแม่เหล็ก และเมื่อป้อนอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วแม่เหล็ก และ เมื่อป้อนกระแสไฟให้ไหลผ่านในตัวนำที่อาร์มาเจอร์ ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น คือ ทำให้อาร์มาเจอร์หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์มาเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ N มีทิศของกระแสพุ่งออกมาข้างนอกค้ำหัวลูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้จึงหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัว นำทุก ๆ ตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง N และ S ได้ โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง วิธีหาคือ กางมือซ้าย ออก โดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ( ทำแบบเดียวกับกฎมือขวาซึ่งใช้หาทิศ แรงเคลื่อนไฟที่เกิดขึ้น ) จากนั้น ให้นิ้วชี้ ชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก คือชี้จากขั้ว N ไป S ให้นิ้ว กลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแส ณ ที่ตัวนำที่ต้องการหาทิศการเคลื่อนที่นั้น ๆ นั่นคือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศการเคลื่อนที่ของตัวนำนั้น ๆ จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุก ๆ ตัว ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางไปในทางเดียวกัน และจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์มาเจอรันั้น ๆ และพบว่า แรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุก ๆ ขั้ว ที่สลับกันไปนั้น จะมีทิศทางไปทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละ แรง จะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์มาเจอรันั้นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็จะเกิดแรงลัพธ์ ขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็มีหลายแรง และทุก ๆ แรงต่างก็รวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้นจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้น

ความสำคัญของแรงเคลื่อนไฟสวน เมื่ออาร์มาเจอร์เริ่มหมุน จะทำให้ตัวนำที่อยู่ในอาร์มาเจอร์ตัดเส้นแรง แม่เหล็กที่มาจากสนามแม่เหล็กหลัก หรือสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่เกิดอยู่ในมอเตอร์นั้น นั่นคือ เกิดการ เห็นขั้วนำแรงเคลื่อนไฟขึ้นบนตัวนำภายในอาร์มาเจอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการเห็นขั้วนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ หาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ โดยใช้กฎมือขวาของเฟลม มิ่งและพบว่ามิติศสวนกับแรงเคลื่อนไฟที่ใส่เข้าไปให้กับมอเตอร์ ดังนั้น จึงเรียกแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่า แรงเคลื่อนสวน ( back e.m.f. =  $E_b$  ) ดังรูปที่ 3.6 ( a )



รูปที่ 3.6 (a) วงจรของมอเตอร์ไฟตรง

(b) วงจรสมมูลของมอเตอร์ที่เขียนแทนแรงเคลื่อนไฟสวนได้ด้วยแบตเตอรี่  $E_b$

จากการที่เกิด  $E_b$  ขึ้นนี้ จึงเขียนวงจรสมมูลของมอเตอร์ได้ดังรูป 3.6 (b) ซึ่งเหมือนกับว่า มีแบตเตอรี่  $E_b$  ต่อคร่อมอยู่กับแรงเคลื่อนไฟ  $V$  ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ นั่นคือในการที่จะให้  $I_a$  ไหลได้ในอาร์มาเจอร์นั้น จะต้องมีการจ่ายพลังงานหนึ่งที่ต้องการเอาชนะการสวนนี้ กำลังไฟที่เอาชนะกำลังที่สวนนี้ได้ คือ  $E_b I_a$  ในกรณีที่ เป็นเซลหรือแบตเตอรี่นั้น กำลังที่เอาชนะการสวนนี้ก็คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังงานทางเคมี แต่ในมอเตอร์นั้น กำลังที่เอาชนะการสวนนี้ ก็คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลนั่นเอง

$$\begin{aligned}
 \text{นั่นคือ กระแส } I_a \text{ จะมีค่า} &= \frac{\text{แรงเคลื่อนไฟที่ได้ในวงจร}}{\text{ค.ต.ท. ในวงจรของอาร์มาเจอร์}} \\
 &= \frac{\text{net voltage}}{\text{armature circuit resistance}} \\
 &= \frac{V - E_b}{R_a}
 \end{aligned}$$

ตามที่ได้กล่าวมาในตอนต้นแล้วว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากการหมุนของตัวนำในสนามแม่เหล็กมีค่า  $E = \frac{\phi Z S}{60 a} P$  ดังนั้น  $E_b = \frac{\phi Z S}{60 a} P$

และพบว่า  $E_b$  ขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆ เช่น  $\phi, Z, S, P$  และ  $a$  แต่เนื่องจากว่า  $Z, P/a$  เป็นค่าคงที่ในการพันอาร์มาเจอร์ของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงได้

$$E_b = K_c \phi S \quad (3.5)$$

$$\text{เมื่อ } K_c = \text{ค่าคงที่ทางไฟฟ้า} = \frac{Z P}{60 a}$$

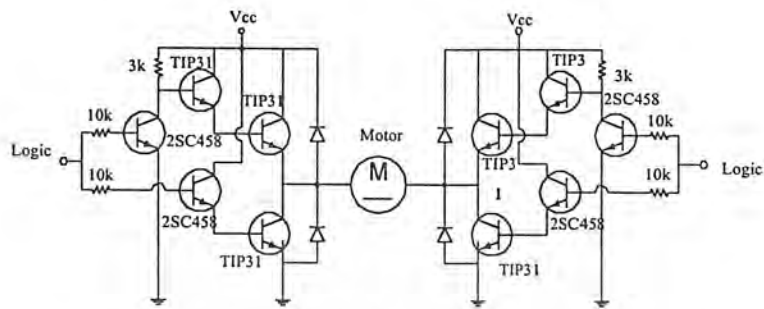
$S$  = ความเร็วเป็น r.p.m.

$\phi$  = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Wb)

จากสมการ  $E_b$  ที่กล่าวมานี้ พบว่า  $E_b$  จะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับค่า  $\phi$  และ  $S$  ฉะนั้นเพื่อให้  $\phi$  คงที่จึงพบว่า  $E_b$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็ว  $S$  นั่นคือ เมื่อ  $S$  มีค่ามาก จะทำให้  $E_b$  มีค่ามาก และย่อมทำให้  $I_a$  มีค่าน้อย (เมื่อ  $V$  คงที่ นั่นคือผลต่างของ  $V - E_b$  มีค่าน้อย เมื่อ  $R_a =$  คงที่) จึงทำให้แรงบิด (torque) ที่มอเตอร์จ่ายออกมามีค่าน้อยด้วยมอเตอร์ (ซึ่งจะกล่าวต่อไปข้างหน้าเกี่ยวกับเรื่องแรงบิด) ดังนั้น จะพบว่า  $E_b$  เป็นตัวที่คอยควบคุมการไหลของกระแส  $I_a$  ในอาร์มาเจอร์นั่นเอง นั่นคือ  $E_b$  เป็นตัวทำให้

มอเตอร์มีการควบคุมอยู่ในตัวของมันเอง โดยการดึงกระแสเท่าที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อให้มอเตอร์หมุนได้ใน ภาวะที่ต้องการ เพื่อให้เกิดการสมดุลย์ตามกฎการทรงมวลนั่นเอง

### 3.4. ส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้งานจริง

โดยจะมีวงจรลักษณะนี้ 2 ชุด ต่อกับ PORT 1 ของ MCS.51

โดย P1.0 และ P1.1 ควบคุมล้อซ้าย

P1.2 และ P1.3 ควบคุมล้อขวา

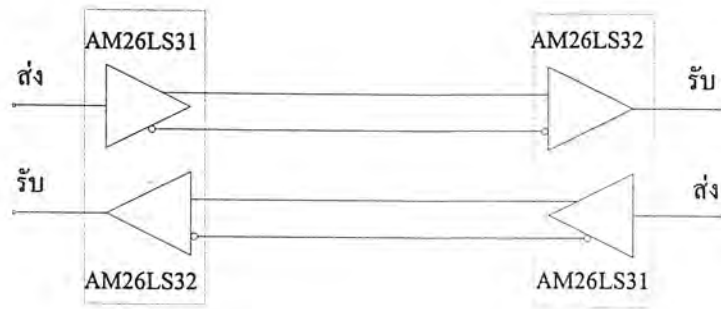
การทำงานของวงจรไคร์มอเตอร์

จุดประสงค์ของการทำงานของวงจรคือให้ทำงานหมุนตามคำสั่งของโปรแกรมที่สร้างขึ้น ซึ่งหมายถึงว่า จะมีระดับลอจิก 0 หรือ 1 ป้อนให้กับวงจรทางด้านรับลอจิกของวงจรซึ่งหากป้อนระดับ ลอจิก 0 หรือ 1 เหมือนกันทั้งคู่จะทำให้ระดับแรงดันที่ขั้วต่อของมอเตอร์มีระดับแรงดันที่ไม่แตกต่างกันซึ่ง มอเตอร์ไม่หมุน เพราะว่ามีมอเตอร์จะหมุนได้จะต้องมีระดับแรงดันที่ขั้วต่อของมอเตอร์แตกต่างกัน ซึ่ง หมายถึงว่า จะต้องป้อนระดับลอจิกที่แตกต่างกันด้วยนั่นเอง

### 3.5. อุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Interface)

#### 3.5.1. ส่วนของพอร์ตที่เชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์

จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.2. นั้นข้อจำกัดของมาตรฐาน RS-232C นั้นความยาว ของสายเชื่อมต่อโดยสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232C จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก แต่สำหรับโครงการนี้จะใช้มาตรฐาน RS-422 เพื่อรองรับการเพิ่มระยะทาง ในการส่งเอกสาร ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และเป็นการ ป้องกันการผิดพลาด ในการส่งข้อมูลการควบคุมสั่งงาน การส่งเอกสารของหุ่นยนต์ ดังนั้น จากวงจรภาคขับและภาครับแบบสมดุลย์ในหัวข้อ 2.3.3. จึงนำมาใช้ในการออกแบบระบบการ รับส่งข้อมูล แสดงดังรูป 3.7



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรที่ใช้ภาคขับและภาครับแบบสมดุสย

### 3.6. โปรแกรมควบคุมการสั่งงานหุ่นยนต์

ก่อนจะทำการออกแบบโปรแกรมควบคุมบนตัวหุ่นยนต์จะต้องมีการกำหนดเส้นทางทั้งหมดที่หุ่นยนต์จะ  
 ต้องไปเสียก่อน ในที่นี้จะยกตัวอย่างตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดสถานี

สมมุติมีสถานีอยู่ 6 สถานี การที่ตัวหุ่นยนต์จะสามารถไปจากสถานีหนึ่งไปหาสถานีหนึ่งยอมทำได้ ถ้าเรา  
 ใช้วิธีการกำหนดเส้นทางการเดินทางไว้ก่อน จากตัวอย่างจะเห็นว่ามียู่ 3 สถานี ดังนั้นการกำหนดเส้นทาง  
 ก็จะเป็น

0 → 1, 0 → 2, 1 → 0, 1 → 2, 2 → 0, 2 → 1

สรุปเป็นสูตรได้เป็น

จำนวนเส้นทางที่จะต้องกำหนดขึ้น = จำนวนสถานีทั้งหมด x (จำนวนสถานีทั้งหมด - 1)

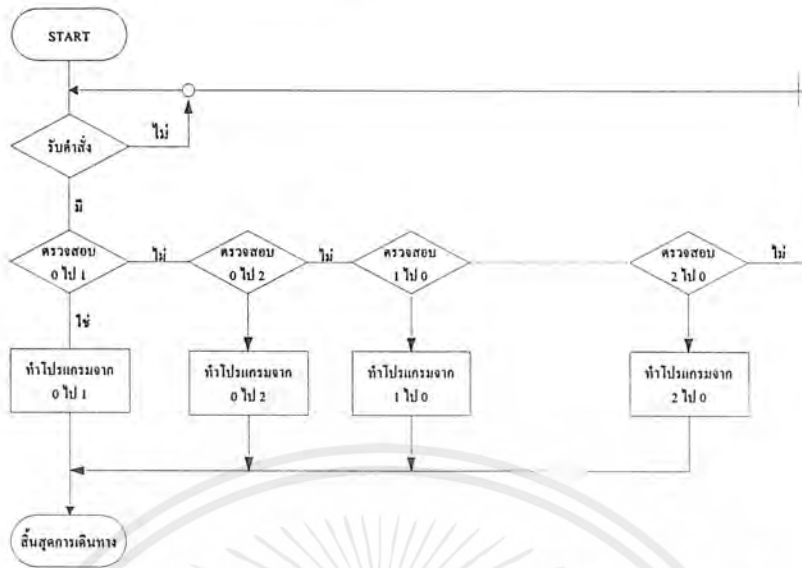
$$P = n \times (n - 1) \tag{3.1}$$

เมื่อ P = จำนวนเส้นทางที่จะต้องกำหนดขึ้น

n = จำนวนสถานีทั้งหมด

$$P = 3 \times (3-1) = 3 \times 2 = 6 \text{ เส้นทาง}$$

### 3.6.1. โพลวซาร์ทแสดงการเลือกเส้นทาง



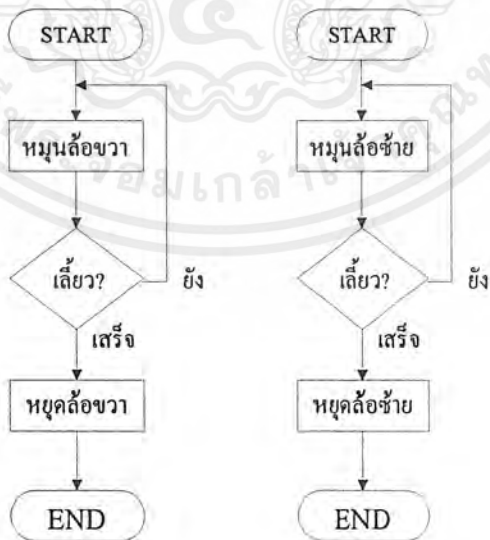
รูปที่ 3.10 โพลวซาร์ทการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางหุ่นยนต์

จากรูป 3.10 แสดงการเลือกโปรแกรมการเดินทางจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่งตามตัวอย่างที่กำหนดตามรูปที่ 3.9 โดยการรับคำสั่งแล้วตรวจสอบเมื่อรู้แล้วว่าจะไปจากสถานีใดไปสถานีใด ก็เรียกโปรแกรมนั้นมาอีกที

### 3.6.2. การเขียนโปรแกรมควบคุมการบังคับเลี้ยว

หลังจากออกแบบเส้นทางและมีโปรแกรมการเลือกเส้นทางแล้ว ยังต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุมการเลี้ยวให้ถูกต้องตามเส้นทางที่กำหนดซึ่งแยกได้ดังนี้

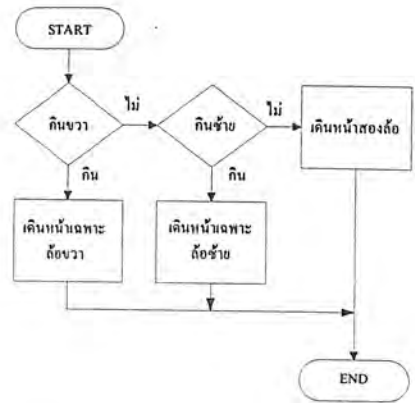
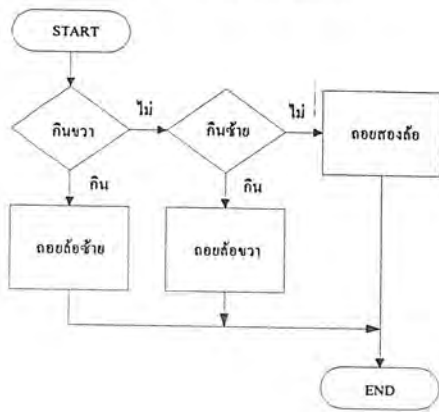
#### 3.6.2.1. โปรแกรมเลี้ยวซ้ายและโปรแกรมเลี้ยวขวา



โปรแกรมเลี้ยวซ้าย      โปรแกรมเลี้ยวขวา

รูปที่ 3.11 โพลวซาร์ทการเลี้ยวซ้ายและขวา

3.6.3. โปรแกรมเดินหน้าและโปรแกรมถอยหลัง



โปรแกรมถอยหลัง

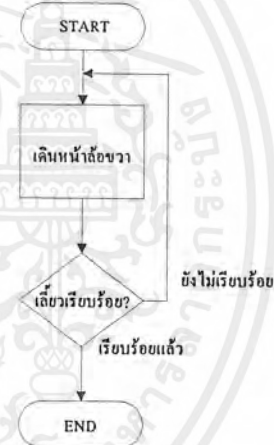
โปรแกรมเดินหน้า

รูปที่ 3.12 โฟลวชาร์ตการเดินหน้าและถอยหลัง

3.6.4. โปรแกรมถอยถ้อยซ้ายและโปรแกรมถอยถ้อยขวา



โปรแกรมถอยถ้อยขวา



โปรแกรมถอยถ้อยซ้าย

รูปที่ 3.13 โฟลวชาร์ตการถอยถ้อยขวาและถอยถ้อยซ้าย

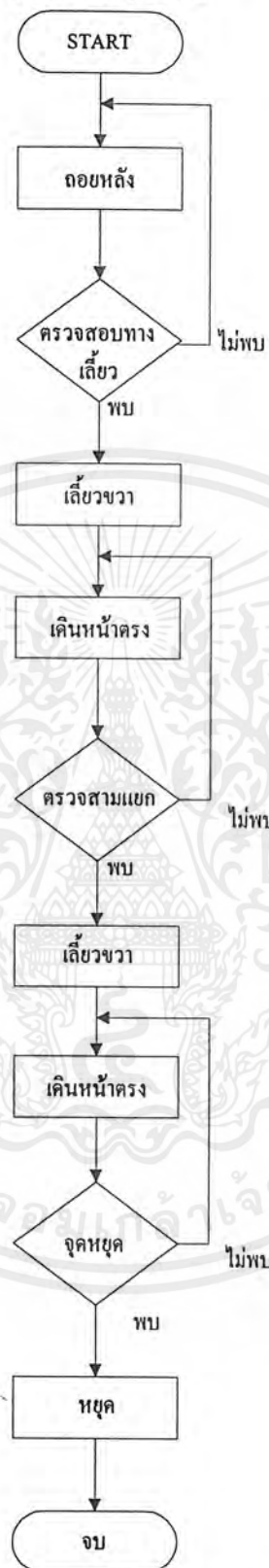
3.6.5. โปรแกรมเดินจากสถานี 0 ไป สถานี 1



รูปที่ 3.14 โฟลวชาร์ทการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จาก สถานี 0 ไป สถานี 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้<sup>28</sup>

3.6.6. โปรแกรมเดินจากสถานี 0 ไป สถานี 2



รูปที่ 3.15 โฟลวชาร์ทการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จาก สถานี 0 ไป สถานี 2

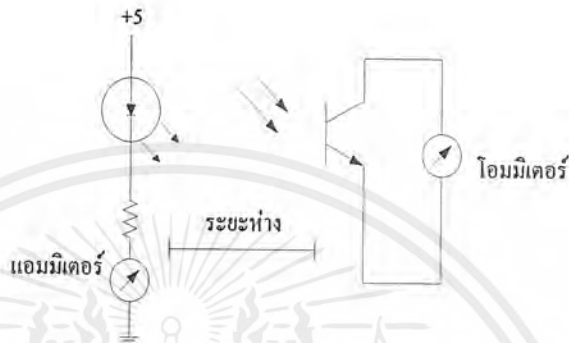
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองนั้นแยกออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้

#### 4.1. ส่วนอุปกรณ์นำทาง

##### 4.1.1. การตรวจสอบอุปกรณ์ทางแสง



รูปที่ 4.1 แสดงการหาค่าความต้านทานที่ระยะห่างต่าง ๆ

ในการหาความต้านทานของตัว โฟโต้ทรานซิสเตอร์ นั้นเพื่อที่เราจะได้ทราบคุณสมบัติเฉพาะตัวของมันในขณะที่มีสีพื้นต่าง ๆ กัน และระยะห่างเท่า ๆ กันด้วย ซึ่งค่าความต้านทานที่ได้ของตัวรับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างทั้งระยะห่างและสีพื้น ให้กระแสของตัวส่งเป็นมาตรฐานของข้อมูลไว้

ในการทดลองนั้นได้ค่าตามตารางที่ 4.1 ซึ่งเราค่อย ๆ เปลี่ยนกระแสตามสีพื้นระยะห่าง 2 ระยะห่างเท่ากันจะเห็นว่า ที่ระยะห่างเท่ากับสีที่มีองค์ประกอบของสีใกล้เคียงกันมักมีความต้านทานที่ใกล้เคียงกันด้วย ขณะเดียวกันสีที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างเช่นสีดำ ก็จะมีค่าความต้านทานที่มากอยู่สีอื่น ๆ อยู่ แต่จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดกระแสที่ป้อนให้ด้วย

เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วเราก็สามารถนำค่าใดค่าหนึ่งในตาราง โดยใช้ความต่างของสีเป็นตัวหลักเพื่อจะดึงความต้านทานมาใช้ โดยสามารถอธิบายในวงจรเปรียบเทียบ

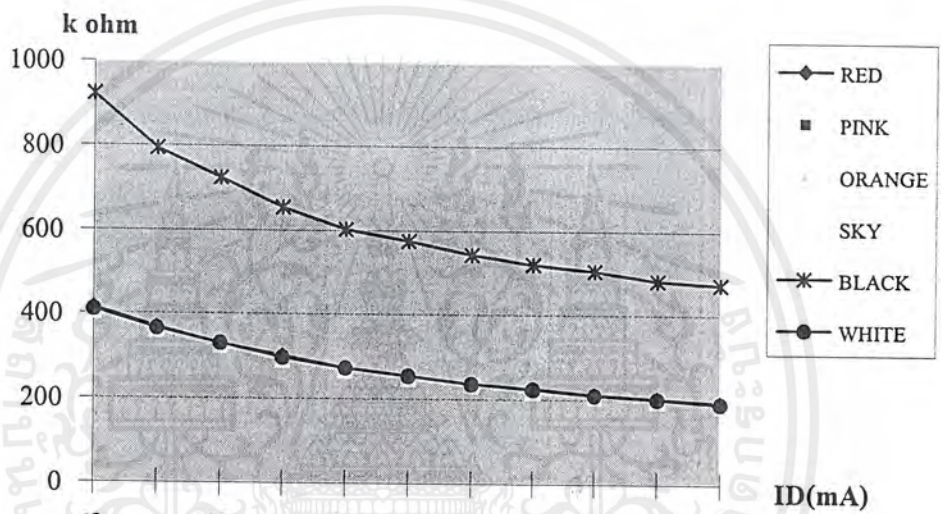
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต้านทาน (kohm) ที่ทดสอบกับโฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ระยะห่างต่าง ๆ

ID (mA)	RED		PINK		ORANGE		SKY		BLACK		WHITE	
	3 cm	4 cm	3 cm	4 cm	3 cm	4 cm	3 cm	4 cm	3 cm	4 cm	3 cm	4 cm
3	414	568	404	562	407	566	407	564	923	947	410	566
4	368	510	359	505	364	508	360	506	794	823	365	508
5	329	460	323	456	326	460	325	458	724	735	330	460
6	301	420	290	416	293	418	293	418	654	667	297	418
7	273	391	267	388	271	390	270	389	603	622	272	390

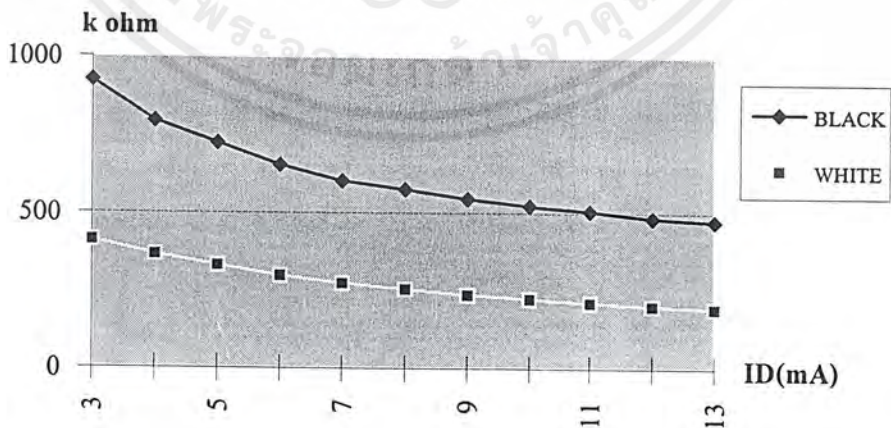
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ID(mA)	RED		PINK		ORANGE		SKY		BLACK		WHITE	
	3cm	4cm	3cm	4cm	3cm	4cm	3cm	4cm	3cm	4cm	3cm	4cm
8	254	366	248	363	251	365	251	364	575	584	254	365
9	236	346	232	344	233	346	234	345	544	558	236	346
10	225	330	218	326	221	328	221	327	521	531	223	328
11	211	314	205	311	208	313	207	312	506	508	210	313
12	203	303	196	298	199	300	198	300	483	493	201	300



รูปที่ 4.2 ค่าความต้านทานที่ระยะ 3 เซนติเมตรที่กระแสต่าง ๆ (ทุกสี)



รูปที่ 4.3 ค่าความต้านทานที่ระยะ 3 เซนติเมตรที่กระแสต่างๆ (ขาว-ดำ)

#### 4.1.2. การทดลองอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง

จุดประสงค์ของการทดลอง

มีจุดประสงค์หลักๆคือ

- เพื่อต้องการทราบว่า วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นเส้นทางว่าควรจะมีขนาดเท่าใด และลักษณะใด
- เพื่อต้องการทราบถึงสภาพแวดล้อมที่อุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- เพื่อให้สามารถทราบผลกระทบที่มีต่ออุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง

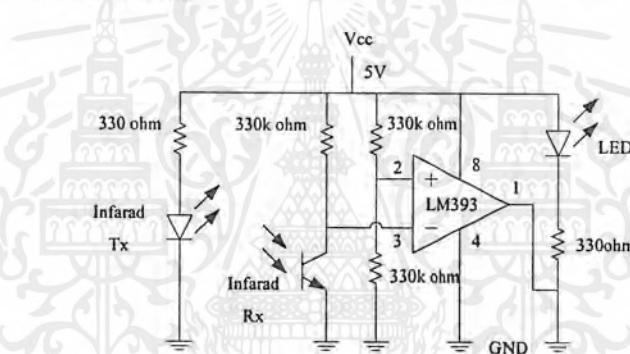
ลำดับขั้นการทดลอง

ขั้นที่ 1 ทำการกำหนดสภาพแวดล้อม

ขั้นที่ 2 กำหนดพื้นที่ของตัวเส้นสะท้อนเริ่มจากขนาดเล็กไปใหญ่

ขั้นที่ 3 ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.4 ทำการวัดระดับโวลต์แดง ณ จุดต่าง ๆ และบันทึกค่าลง

ตามตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 วงจรตรวจสอบเส้นทาง

อธิบายการทดลอง

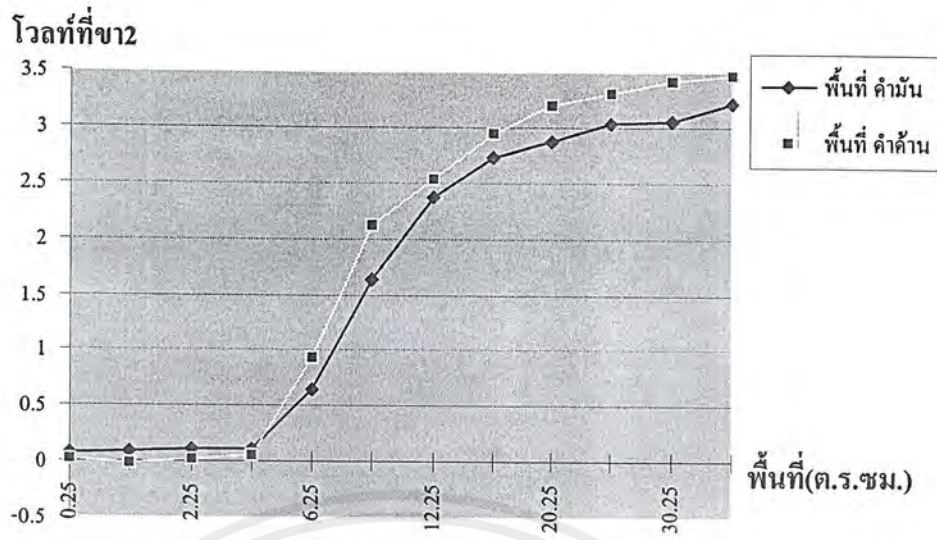
เมื่อทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.4 แล้วเราทำการวัดระดับโวลต์แดงที่ตกรวมไอซี LM 393 ขา 2 เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงระดับโวลต์แดงซึ่งจะเปรียบเทียบกับ ขา 3 ซึ่งทำการแบ่งระดับแรงดันไว้โดยถ้าระดับแรงดันที่ตกรวม อินฟราเรดตัวรับ มีค่ามีค่ามากกว่า ขา 3 จะได้ระดับลอจิกเป็นลบซึ่งจะทำให้ แอลอีดี ซึ่งคือไว้สำหรับแสดงผลสำหรับตรวจสอบ “ติด” แสดงว่ามีการสะท้อนของแสงมาที่ตัวรับน้อย นั้นหมายความว่า มีการตรวจเจอเส้นทางซึ่งจะใช้เป็นเส้นสีดำ ตรงกันข้าม ถ้าระดับแรงดันที่ตกรวม อินฟราเรดตัวรับ มีค่ามีค่าน้อยกว่า ขา 3 จะได้ระดับลอจิกเป็นบวกซึ่งจะทำให้ แอลอีดี ซึ่งคือไว้สำหรับแสดงผลสำหรับตรวจสอบ “ดับ” แสดงว่ามีการสะท้อนของแสงมาที่ตัวรับมาก นั้นหมายความว่า ไม่เจอเส้นทาง ซึ่งในตารางที่ 4.2 ระดับโวลต์แดงที่ทำให้ แอลอีดี “ติด” คือ ส่วนที่แรงเอาไว้



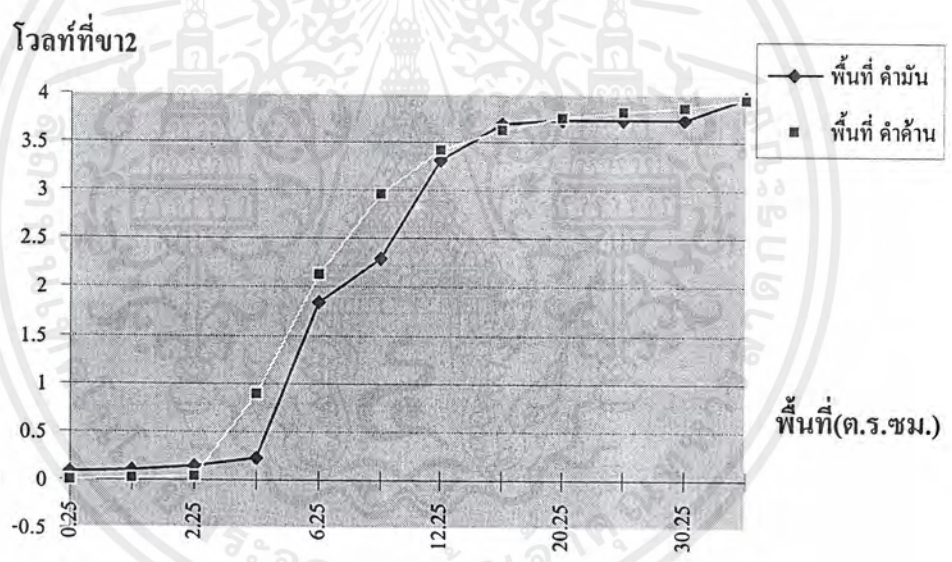
รูปที่ 4.5 แสดงการวัดอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางที่สภาพแวดล้อมต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางที่สภาพแวดล้อมต่างๆ

สถานะ แวดล้อม	เปิดไฟ				ปิดไฟ			
	พื้นที่ ค้ำมัน		พื้นที่ ค้ำด้าน		พื้นที่ ค้ำมัน		พื้นที่ ค้ำด้าน	
	ขา 1	ขา 2	ขา 1	ขา 2	ขา 1	ขา 2	ขา 1	ขา 2
0.25	3 V	80 mV	3 V	20 mV	3 V	88 mV	3 V	-1.6 mV
1	3 V	88.8 mV	3 V	-13.2 mV	3 V	111 mV	3 V	14.3 mV
2.25	3 V	105.2 mV	3 V	18.4 mV	3 V	144 mV	3 V	39.2 mV
4	3 V	107.5 mV	3 V	63 mV	3 V	0.225 V	3 V	0.88 V
6.25	3 V	0.65 mV	3 V	0.928 V	3 V	1.85 V	3 V	2.13 V
9	3 V	1.643 V	2.25 V	2.12 V	3 V	2.3 V	0.5 V	2.97 V
12.25	2 V	2.37 V	1.2 V	2.54 V	0.5 V	3.32 V	0.5 V	3.42 V
16	1 V	2.73 V	1 V	2.95 V	0.5 V	3.68 V	0.5 V	3.62 V
20.25	1 V	2.88 V	0.8 V	3.2 V	0.5 V	3.73 V	0.5 V	3.75 V
25	1 V	3.04 V	0.5 V	3.31 V	0.5 V	3.73 V	0.5 V	3.82 V
30.25	1 V	3.05 V	0.5 V	3.41 V	0.5 V	3.73 V	0.5 V	3.86 V
36	0.5 V	3.22 V	0.5 V	3.46 V	0.5 V	3.95 V	0.5 V	3.93 V



รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับโวลท์ตรงที่ขา 2 ในสภาพเปิดไฟ

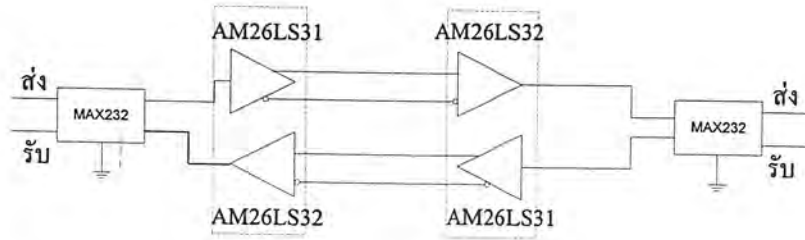


รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับโวลท์ตรงที่ขา 2 ในสภาพปิดไฟ

#### 4.2. ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Interface)

##### 4.2.1. ส่วนของพอร์ตที่เชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์

สำหรับการทดลองในส่วนของวงจรที่ใช้แปลงพอร์ตอนุกรม RS-232C ไปเป็นมาตรฐาน RS-422 นั้นจะอาศัยวงจรตามรูปที่ 3.3 แต่ใช้ไอซีเบอร์ MAX232 ต่อเพิ่มเข้าไปดังรูป

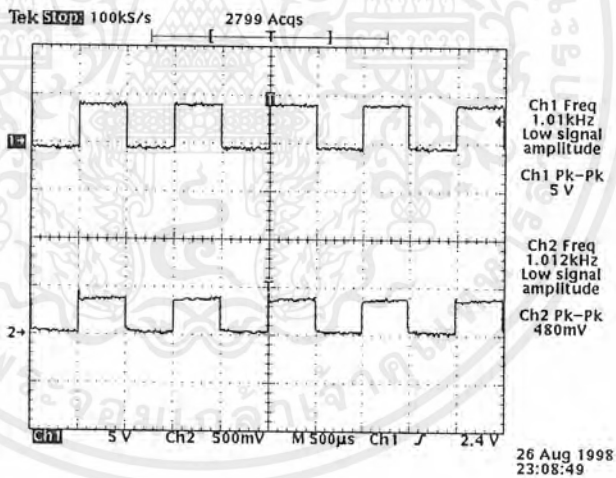


รูปที่ 4.8 แสดงการต่อวงจรแปลงพอร์ตอนุกรม RS-232C ไปเป็น RS-422

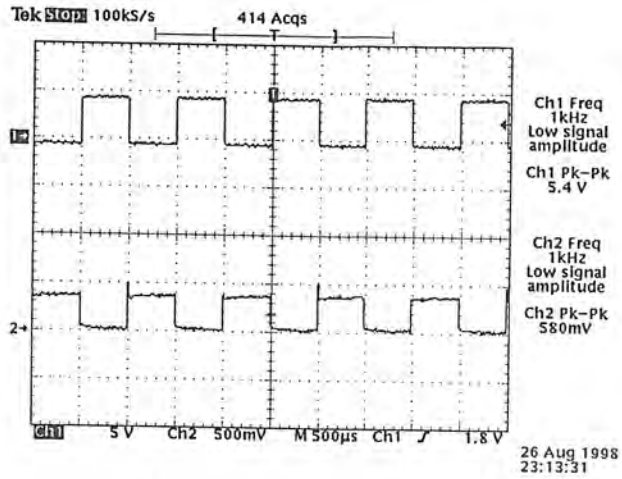
จากรูปทั้งสองด้านจะนำไปต่อกับคอมพิวเตอร์แล้วทดลองใช้โปรแกรมส่งข้อมูลทั่วไป เช่น X'TALK , LABLINK และได้ทำการทดลองวัดรูปคลื่นเฉพาะส่วนของวงจรภาคขับและภาครับแบบสมมูลย์ได้รูปคลื่นตามรูป



รูปที่ 4.9 วงจรภาคขับและภาครับในโหมดสมมูลย์



รูปที่ 4.10 แสดง เอาท์พุท ที่ได้จาก  $V_{AC}$



รูปที่ 4.11 แสดง เอาท์พุท ที่ได้จาก  $V_{BC}$

#### 4.3. การทดลองตัวรับส่งข้อมูลทางแสง

จุดประสงค์

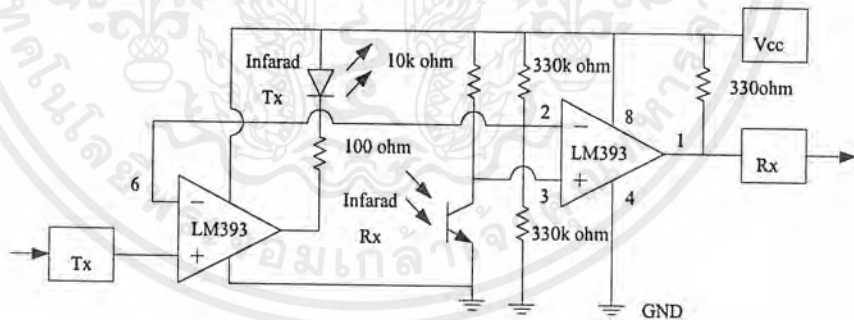
- เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับส่งข้อมูลทางแสงว่าสามารถส่งได้ที่ระยะห่างสูงสุดที่เท่าไร
- เพื่อให้สามารถกำหนดได้ว่าจะสามารถเห็นแคว้นรับได้มากที่สุดเท่าไร

ลำดับขั้นการทดลอง

ขั้นที่1 กำหนดสภาพแวดล้อม

ขั้นที่2 ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.12 ทำการวัดระดับโวลต์เตจตามจุดต่างๆ

ขั้นที่3 แยกผลการทดลองแล้วใส่ตามตาราง



รูปที่ 4.12 วงจรตัวรับส่งข้อมูลทางแสง

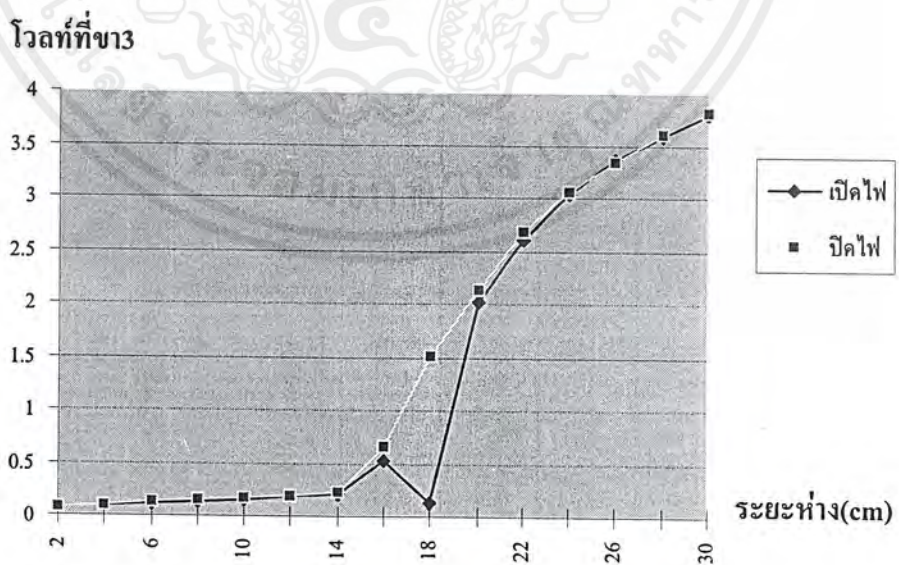
เราจะแบ่งส่วนการทดลองเป็นสองส่วนคือ

##### 4.3.1. การทดสอบระยะห่างที่เหมาะสม

เราจะทำการวัดระดับโวลต์เตจของไอซีเบอร์ LM 393 ที่ขา 3 ที่ต่อแบ่งระดับแรงดันเพื่อทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเพิ่มระยะห่าง และโดยเมื่อป้อนลอจิก 1 โดยใช้ระดับแรงดัน  $V_{cc}$  เข้าทางด้าน Tx ส่วนทางด้าน Rx จะตรงข้ามคือลอจิก 0 จะเป็นดังแสดงในตาราง จะเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนที่แรงจืดคือส่วนที่แสดงว่าระยะห่างมากเกินไปที่จะส่งข้อมูล

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองตัวรับส่งข้อมูลทางแสงที่ระยะห่างและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

ระยะห่าง(cm)	เปิดไฟ		ปิดไฟ	
	ขา3	ขา1	ขา3	ขา1
2	0.0724	0.4	0.0777	0.4
4	0.1	0.4	0.1016	0.4
6	0.1221	0.4	0.1238	0.4
8	0.141	0.4	0.1429	0.4
10	0.159	0.4	0.1614	0.4
12	0.18	0.4	0.1834	0.4
14	0.213	0.4	0.221	0.4
16	0.519	0.4	0.657	0.4
18	0.1367	0.4	1.513	0.4
20	2.02	0.4	2.14	0.4
22	2.6	4.5	2.67	4.8
24	3.04	4.5	3.05	4.8
26	3.35	4.5	3.34	4.8
28	3.58	4.5	3.61	4.8
30	3.79	4.5	3.81	4.8



รูปที่ 4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับโวลต์เตจที่ขา 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่าง

#### 4.3.1.1. การทดสอบมุมที่เหมาะสม

เราจะวางตัวรับส่งข้อมูลทางแสงเอาไว้ที่ระยะใช้งาน คือ 10 เซนติเมตรการวัดแรงดันจะเหมือนในหัวข้อ 4.2.2.1 โดยจะพบว่าที่ตัวรับส่งข้อมูลทางแสงจะสามารถเห็นได้ไม่เกิน 14 องศา

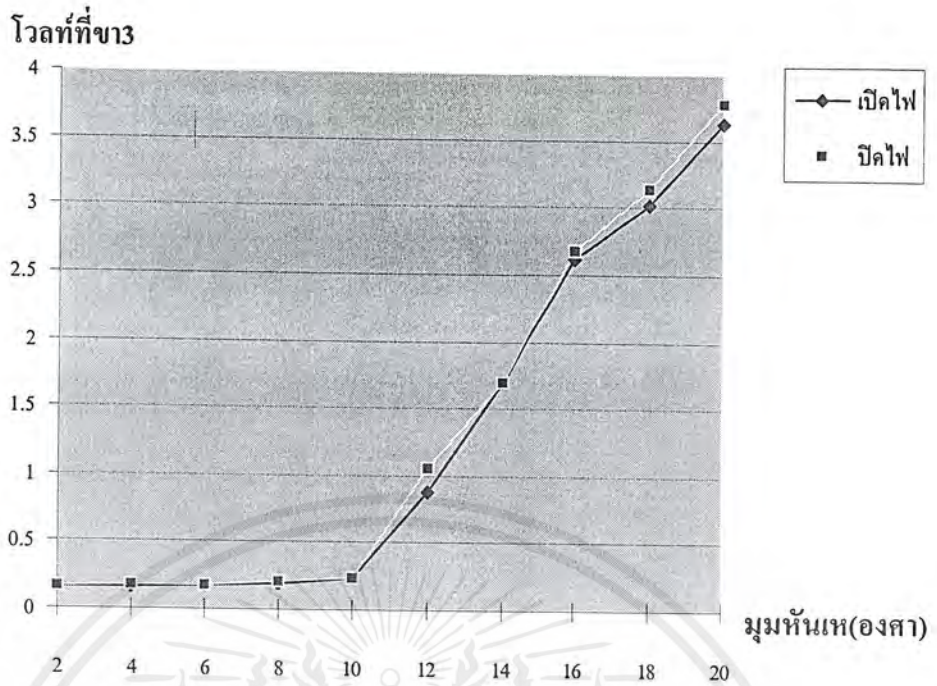


รูปที่ 4.14 แสดงการวัดตัวรับส่งข้อมูลทางแสง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองตัวรับส่งข้อมูลทางแสงที่มุมต่างๆ

องศา	เปิดไฟ		ปิดไฟ	
	ขา3	ขา1	ขา3	ขา1
2	0.1638	0.4	0.1679	0.4
4	0.1691	0.4	0.1714	0.4
6	0.1788	0.4	0.1824	0.4
8	0.1914	0.4	0.203	0.4
10	0.237	0.4	0.233	0.4
12	0.872	0.4	1.05	0.4
14	1.689	0.4	1.695	0.4
16	2.61	4.8	2.67	4.8
18	3.02	4.8	3.14	4.8
20	3.63	4.8	3.77	4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับโวลท์ตรงที่ขา 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมหันเห

#### 4.4. การทดสอบระบบขับเคลื่อน

##### 4.4.1. การทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

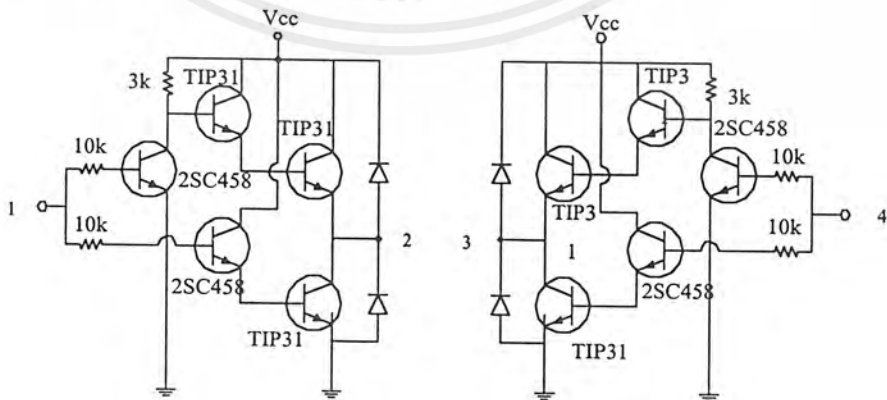
###### จุดประสงค์

- เพื่อให้ทราบถึงการกำหนดลอจิกที่จำเป็นเพื่อควบคุมมอเตอร์
- เพื่อให้ทราบคุณสมบัติของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

###### ลำดับขั้นการทดลอง

ขั้นที่ 1 ต่อวงจรตามรูปที่ 4.16

ขั้นที่ 2 ทำการวัดระดับแรงดันและบันทึกลงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.16 การต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ทดลอง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

สภาวะการทำงาน		จุดสังเกต				หมายเหตุ
		วัดขณะต่อกับมอเตอร์		วัดขณะไม่ต่อกับมอเตอร์		
จุด 1	จุด 4	จุด 2	จุด 3	จุด 2	จุด 3	
0	0	12 V	12 V	12 V	12 V	ไม่หมุน
0	1	11.54 V	167.8 V	11.83 V	0.031 V	หมุน
1	0	0.115 V	11.4 V	0.035 V	12 V	หมุนตรงข้าม
1	1	0.0517 V	0.486 V	0.058 V	0.058 V	ไม่หมุน

จากตารางที่ 4.5 แสดงว่าเราสามารถใช้ลอจิกคือ 10 และ 01 ในการควบคุมลอจิกให้หมุนได้ 2 ทิศทางและสามารถเลือกลอจิกที่จะให้หยุดได้คือ 11 และ 00

4.4.2. การทดสอบตัวมอเตอร์

จุดประสงค์

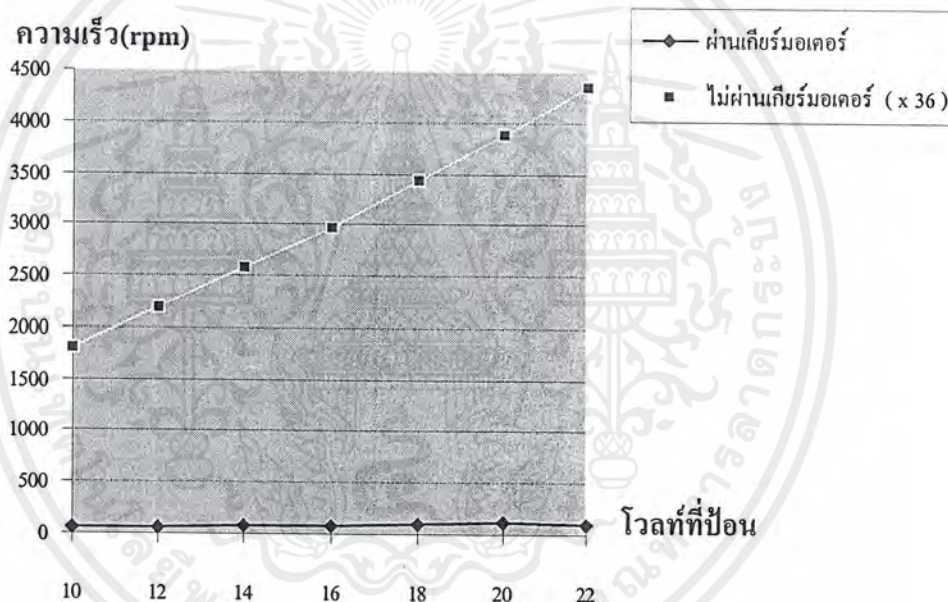
- เพื่อทดสอบประสิทธิภาพตัวมอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้นั้นจะเป็นแบบทเคียร์
- เพื่อวัดความเร็วรอบเมื่อป้อนแรงดันที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 4.17 แสดงการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์โดยใช้เครื่อง Tachometer

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์โดยใช้เครื่อง Tachometer

ระดับแรงดัน	ผ่านเกียร์มอเตอร์	ไม่ผ่านเกียร์มอเตอร์ ( x 36 )
10 V	50.1 rpm	1,803.6 rpm
12 V	60.9 rpm	2,192.4 rpm
14 V	71.9 rpm	2,588.4 rpm
16 V	82.5 rpm	2,970.0 rpm
18 V	95.5 rpm	3,438.0 rpm
20 V	107.5 rpm	3,870.0 rpm
22 V	102.5 rpm	4,338.0 rpm

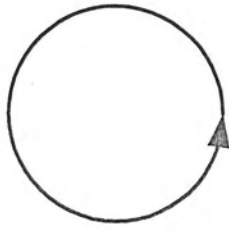


รูปที่ 4.18 แสดงผลการทดลองวัดความเร็วมอเตอร์เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน

#### 4.5. การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

##### 4.5.1. การทดสอบการเลี้ยวของหุ่นยนต์

โดยทำการทดสอบให้วิ่งวนไปทางซ้ายและทางขวาตามรูป

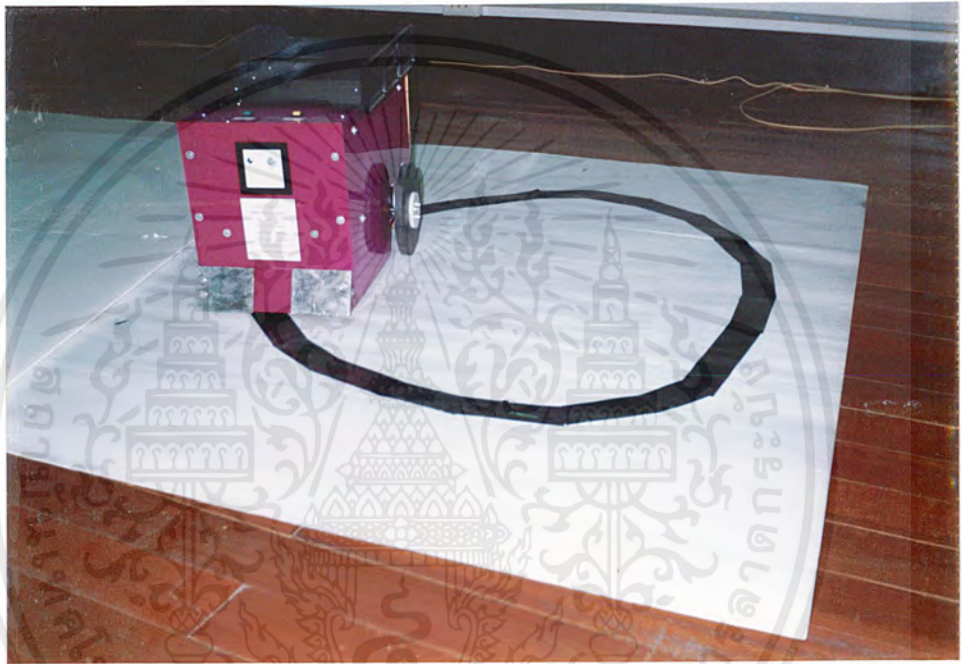


รูปแสดงวงวนซ้าย



รูปแสดงวงวนขวา

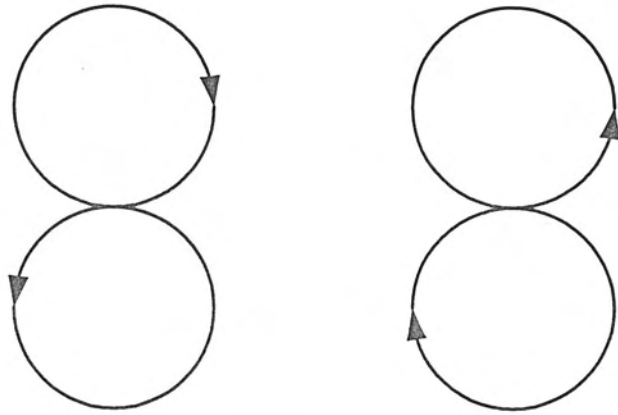
รูปที่ 4.19 แสดงการทดสอบให้วงวนซ้ายและวนขวา



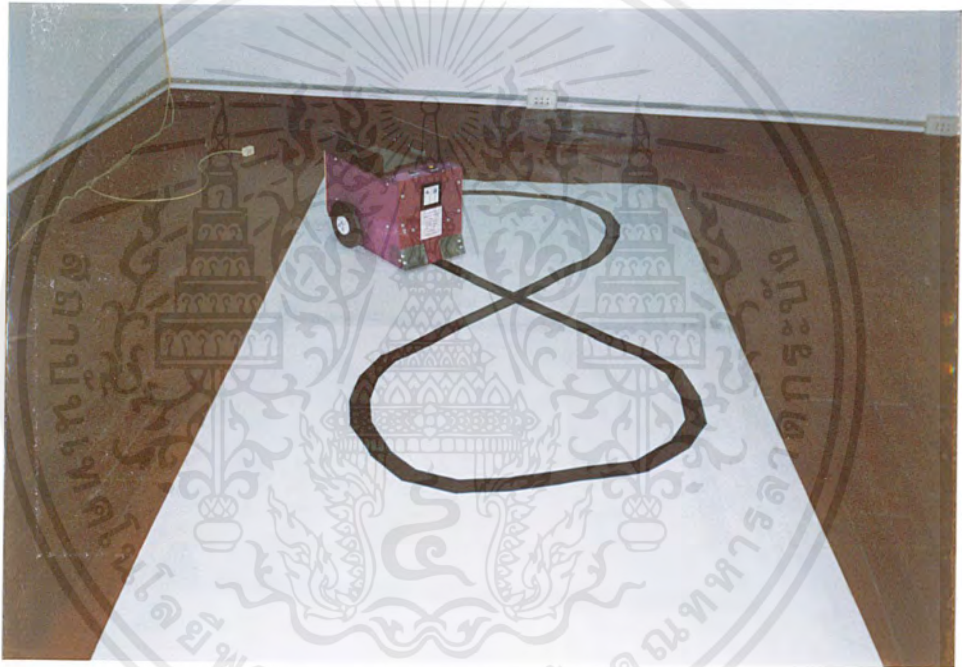
รูปที่ 4.20 แสดงการทดสอบให้วงวนซ้ายและวนขวาที่ใช้งานจริง

4.5.2. การทดสอบโดยให้วงวนเป็นรูปเลขแปด

โครงสร้างเส้นทางกรวงที่ใช้ในการทดสอบแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.21 แสดงเส้นทางกรวยที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.22 แสดงเส้นทางกรวยที่ใช้ในการทดสอบที่ใช้ในงานจริง

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

#### 5.1. ปัญหาทางโครงสร้าง

ในส่วนของตัวหุ่นยนต์นั้น ในครั้งแรกนั้นเราได้ออกแบบเป็นลักษณะที่วิ่งแบบ 4 ล้อ อิสระโดยอาศัย มอเตอร์สเตปปีง 8 ตัว ซึ่งเราประสบปัญหา หลายประการ คือ

1. โครงสร้างในส่วนขับเคลื่อนนั้น เป็นยากที่จะสร้างให้มีความสมบูรณ์
2. โครงสร้างที่ออกแบบไม่มีความแข็งแรงและเที่ยงตรง
3. การควบคุมทิศทางล้อนั้นทำได้ยาก
4. การขับเคลื่อนโดยใช้ มอเตอร์สเตปปีง นั้น ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเราจึงเปลี่ยนจาก ใช้ 4 ล้อมาเป็น 2 ล้อ แทน ซึ่งควบคุมได้ง่ายกว่า

#### 5.2. ปัญหาที่ตัวตรวจจับ

ปริมาณของแสงสว่างบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานต่างกันคือ เช่นเวลากลางวันมีแสงสว่าง กลางคืนแสงจะน้อยกว่า หรือในตัวอาคารเวลาเปิดไฟกับปิดไฟจะทำให้ตัวตรวจจับทำงานผิดพลาดได้ เนื่องจากหลักการของตัวตรวจจับความแตกต่างของสีใช้หลักการสะท้อนแสงอินฟราเรดวิธีแก้ไข

จะต้องทำให้ตัวตรวจจับอยู่ในกล่องดำมีตัวถังปิดเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าไปรบกวนระบบจะทำให้แสงภายนอกไม่มีผลการผิดพลาดเรื่องแสงภายนอกก็จะมีไม่มีและหุ่นยนต์ก็สามารถปฏิบัติงานได้ในเวลากลางวันและกลางคืนได้ หรือที่มีแสงสว่างหรือไม่มีก็ได้

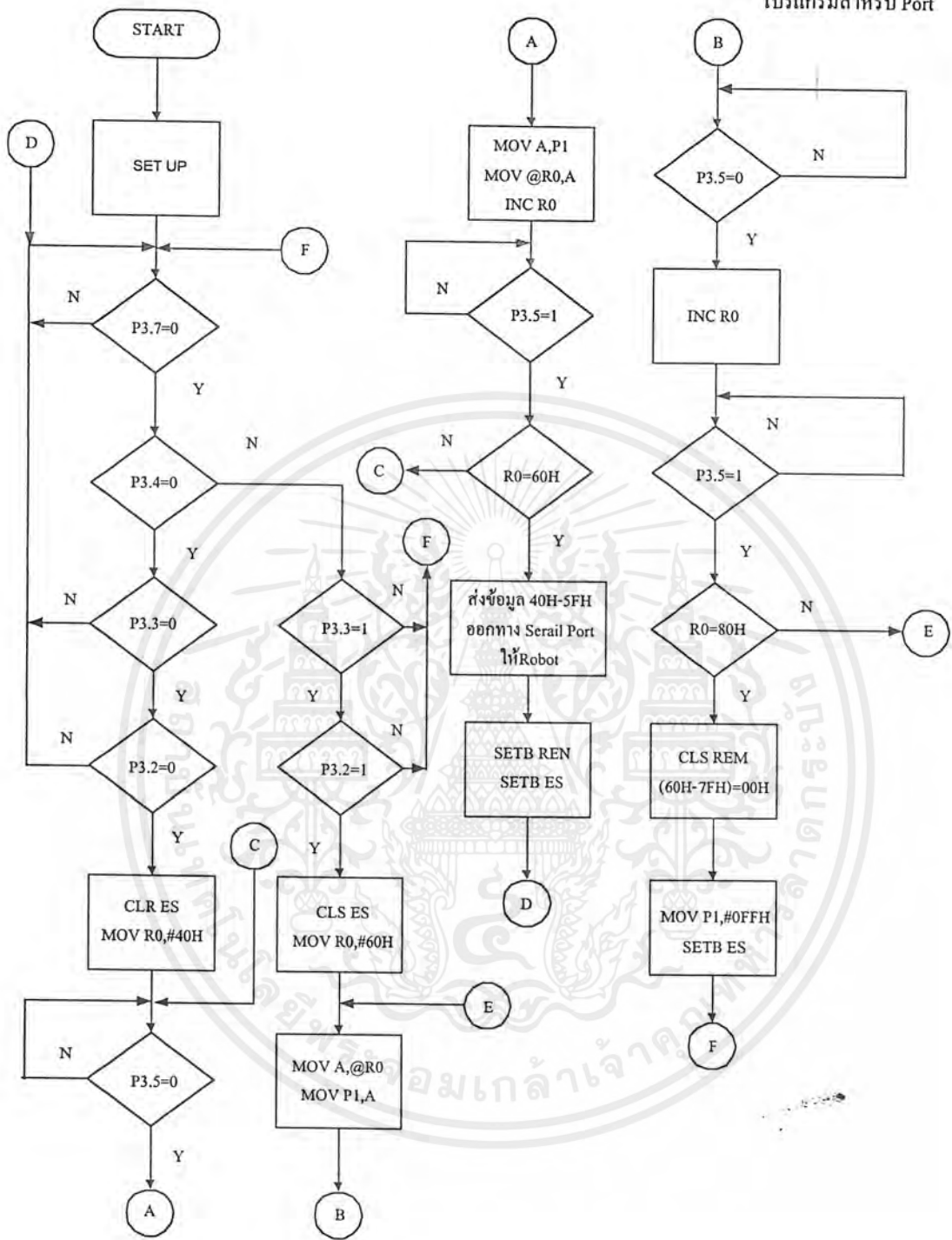
#### 5.3 ปัญหาที่เกิดกับโครงสร้างที่ใช้ 2 ล้อเป็นตัวขับเคลื่อน

เนื่องจากที่มาของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้ในโครงงานนี้นั้นเป็น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจากตลาดคลองถมซึ่งมิใช่มอเตอร์ใหม่ฉะนั้นการทำงานจึงไม่มีประสิทธิภาพที่เท่ากันฉะนั้นการหมุนให้มีความเร็วที่เท่ากันนั้นจึงทำได้ยากเช่นกัน ในโครงสร้างบนตัวหุ่นยนต์จะต้องคำนวณน้ำหนักให้สมดุลกันเพื่อให้หุ่นยนต์ขับเคลื่อนได้ ซึ่งไม่หนักไปข้างใดข้างหนึ่งจนเกินไป เอกสารที่ใช้ส่งจริงๆจำเป็นจะต้องอยู่บนสุดเพื่อให้มีความสะดวกในการหยิบจับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับ Port



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;***** Control Port *****
;*****
MOV P0,#0FFH
MOV P1,#0FFH
MOV TMOD,#11H

LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL DIRECT

MAIN: LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL TURN
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL RIGHT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL DDIRECT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL RIGHT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL DIRECT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL TURN
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL LEFT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL DDIRECT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL LEFT
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL DIRECT
LJMP MAIN

DIRECT: MOV A,P0
MOV 20H,A
JNB 01H,DISL
CLR P1.0
SJMP DIR

DISL: SETB P1.0
SJMP DIR

DIR: JNB 03H,DISR
CLR P1.2
SJMP DIT

DISR: SETB P1.2
SJMP DIT

DIT: JNB 05H,DIC
JNB 06H,DIC
SJMP DIRECT

DIC: SETB P1.0
SETB P1.2
SJMP DILOW

DILOW: MOV TH0,#0B1H
MOV TL0,#0D9H
CLR TF0
SETB TR0

DILOWW: MOV A,P0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV 20H,A
JNB 01H,DILSL
CLR P1.0
SJMP DILR
DILSL: SETB P1.0
        SJMP DILR
DILR:  JNB 03H,DILSR
        CLR P1.2
        SJMP DILC
DILSR: SETB P1.2
        SJMP DILC
DILC:  JNB 00H,DILC2
        JNB 04H,DILC2
        JNB TFO,DILOWW
        SETB P1.0
        SETB P1.2
        CLR TRO
        MOV TH0,#68H
        MOV TLO,#0E5H
        CLR TFO
        SETB TRO
        JNB TFO,$
        CLR TRO
        LJMP DILOW
DILC2: SETB P1.0
        SETB P1.2
        RET
DDIRECT:MOV A,P0
        MOV 20H,A
        JNB 01H,DDISL
        CLR P1.0
        SJMP DDIR
DDISL:  SETB P1.0
        SJMP DDIR
DDIR:  JNB 03H,DDISR
        CLR P1.2
        SJMP DDIT
DDISR: SETB P1.2
        SJMP DDIT
DDIT:  JNB 05H,DDIC
        JNB 06H,DDIC
        SJMP DDIRECT
DDIC:  SETB P1.0
        SETB P1.2
        SJMP DDILOW
DDILOW:MOV TH0,#0B1H
        MOV TLO,#0D9H
        CLR TFO
        SETB TRO
DDILOWW:MOV A,P0
        MOV 20H,A
        JNB 01H,DDILSL
        CLR P1.0
        SJMP DDILR
DDILSL: SETB P1.0
        SJMP DDILR
DDILR:  JNB 03H,DDILSR
        CLR P1.2
        SJMP DDILC
DDILSR: SETB P1.2
        SJMP DDILC
DDILC:  JNB 00H,DDILC2
        JNB 04H,DDILC2
        JNB TFO,DDILOWW
        SETB P1.0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB P1.2
CLR TR0
MOV TH0,#68H
MOV TLO,#0E5H
CLR TF0
SETB TR0
JNB TF0,$
CLR TR0
LJMP DDIL0W
DDILC2: SETB P1.0
        SETB P1.2
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
DDLOOP: CLR P1.0
        CLR P1.2
        JNB P0.0,DDLOOP
        JNB P0.4,DDLOOP
        SETB P1.0
        SETB P1.2
        RET
TURN:   CLR P1.3
        JB P0.6,$
        JNB P0.6,$
        JB P0.4,$
        JNB P0.4,$
        SETB P1.3
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        CLR P1.0
        JB P0.6,$
        JNB P0.6,$
        JB P0.1,$
        SETB P1.0
        RET
RIGHT:  MOV A,P0
        MOV 20H,A
        JNB 01H,RISL
        CLR P1.0
        SJMP RIR
RISL:   SETB P1.0
        SJMP RIR
RIR:    JNB 03H,RISR
        CLR P1.2
        SJMP RIT
RISR:   SETB P1.2
        SJMP RIT
RIT:    JNB 05H,RIC
        JNB 06H,RIC
        SJMP RIGHT
RIC:    SETB P1.0
        SETB P1.2
        SJMP RILOW

RILOW:  MOV TH0,#0B1H
        MOV TLO,#0D9H
        CLR TF0
        SETB TR0
RILOWW: MOV A,P0
        MOV 20H,A
        JNB 01H,RILSL
        CLR P1.0
        SJMP RILR
RILSL:  SETB P1.0
        SJMP RILR
RILR:   JNB 03H,RILSR
        CLR P1.2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RILSR: SJMP RILC
        SETB P1.2
        SJMP RILC
RILC:  JNB 00H,RILC2
        JNB 04H,RILC2
        JNB TFO,RILOWW
        SETB P1.0
        SETB P1.2
        CLR TR0
        MOV TH0,#68H
        MOV TLO,#0E5H
        CLR TFO
        SETB TR0
        JNB TFO,$
        CLR TR0
        LJMP RILOW
RILC2: SETB P1.0
        SETB P1.2
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        CLR P1.0
        JB P0.6,$
        JNB P0.6,$
        JB P0.2,$
        SETB P1.0
        LCALL DELAY
        CLR P1.0
        JNB P0.3,$
        SETB P1.0
        RET
LEFT:  MOV A,P0
        MOV 20H,A
        JNB 01H,LESL
        CLR P1.0
        SJMP LER
LESL:  SETB P1.0
        SJMP LER
LER:   JNB 03H,LESR
        CLR P1.2
        SJMP LET
LESR:  SETB P1.2
        SJMP LET
LET:   JNB 05H,LEC
        JNB 06H,LEC
        SJMP LEFT
LEC:   SETB P1.0
        SETB P1.2
        SJMP LELOW

LELOW: MOV TH0,#0B1H
        MOV TLO,#0D9H
        CLR TFO
        SETB TR0
LELOWW: MOV A,P0
        MOV 20H,A
        JNB 01H,LELSL
        CLR P1.0
        SJMP LELR
LELSL: SETB P1.0
        SJMP LELR
LELR:  JNB 03H,LELSR
        CLR P1.2
        SJMP LELC
LELSR: SETB P1.2
        SJMP LELC
LELC:  JNB 00H,LELC2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JNB 04H,LELC2
JNB TF0,LELOWW
SETB P1.0
SETB P1.2
CLR TR0
MOV TH0,#68H
MOV TL0,#0E5H
CLR TF0
SETB TR0
JNB TF0,$
CLR TR0
LJMP LELOW
LELC2: SETB P1.0
SETB P1.2
LCALL DELAY
LCALL DELAY
CLR P1.2
JB P0.5,$
JNB P0.5,$
JB P0.2,$
SETB P1.2
LCALL DELAY
CLR P1.2
JNB P0.1,$
SETB P1.2
RET
DELAY: MOV DPTR,#0000H
DELAYL: INC DPTR
MOV A,DPH
CJNE A,#0FFH,DELAYL
RET
END

```

□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;*****ROBOT*****
;*****

ORG 0000H
LJMP SETUP
ORG 0023H
LJMP RECIVP
ORG 0030H
SETUP: MOV P1,#0FFH
MOV P3,#0FFH
MOV TMOD,#21H
MOV PCON,#00H
MOV SCON,#40H
MOV TH1,#0FAH
SETB TR1
SETB REN
SETB EA
MOV R0,#20H
SETRAM: MOV @R0,#'0'
INC R0
CJNE R0,#80H,SETRAM
MOV R1,#40H
LCALL WRC011
MOV R0,#40H
CLRRAM: MOV @R0,#'A'
INC R0
CJNE R0,#60H,CLRRAM
LCALL CHKROB
MOV A,2BH
CJNE A,#'1',NO1
LCALL T001T000
LCALL DELAY
LCALL WRC011
LCALL DELAY
LCALL TRANSFER
SJMP MAIN
NO1: CJNE A,#'2',NO2
LCALL T002T000
LCALL DELAY
LCALL WRC011
LCALL DELAY
LCALL TRANSFER
NO2: SJMP MAIN
MAIN: LCALL CHKROB
MOV 50H,29H
MOV 51H,2AH
MOV 52H,2BH
LCALL WRC011
LOOP: LCALL CHKCOM
MOV A,25H
CJNE A,#'0',LOOPP
MOV 22H,25H
MOV 25H,28H
MOV 28H,#'0'
LJMP LOOPP
LOOPP: MOV 50H,20H
MOV 51H,21H
MOV 52H,22H
MOV 53H,23H
MOV 54H,24H
MOV 55H,25H
MOV 56H,26H
MOV 57H,27H
MOV 58H,28H
LOOPPP: LCALL DELAY
LCALL WRC011

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL RUN
                SJMP LOOP
RUN:            MOV A, 22H
                CJNE A, #'0', NT0
                MOV A, 25H
                CJNE A, #'1', NT01
                LCALL T000T001
                LCALL DELAY
                LCALL WRP001
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LJMP TFL
NT01:          CJNE A, #'2', NT2
                LCALL T000T002
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LCALL DELAY
                LCALL WRP001
                LJMP TFL
NT0:           CJNE A, #'1', NT1
                MOV A, 25H
                CJNE A, #'0', NT10
                LCALL T001T000
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LCALL DELAY
                LJMP TRANSFER
NT10:          CJNE A, #'2', NT2
                LCALL T001T002
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LCALL DELAY
                LJMP TRANSFER
NT1:           CJNE A, #'2', NT2
                MOV A, 25H
                CJNE A, #'0', NT20
                LCALL T002T000
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LCALL DELAY
                LJMP TRANSFER
NT20:          CJNE A, #'1', NT2
                LCALL T002T001
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LCALL DELAY
                LJMP TRANSFER
NT2:           LCALL TRANSFER
                RET
TRANSFER:     MOV 2BH, 22H
                LCALL SENDWRP
                LCALL SEND
TFL:          LCALL CHKROB
                LCALL DELAY
                LCALL WRC011
                LCALL DELAY
                MOV 50H, 20H
                MOV 51H, 21H
                MOV 52H, 22H
                MOV 53H, 23H
                MOV 54H, 24H
                MOV 55H, 25H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV 56H,26H
MOV 57H,27H
MOV 58H,28H
LCALL DELAY
LCALL WRC011
MOV A,22H
CJNE A,25H,RUNL
MOV 25H,28H
MOV 28H,#'0'
LCALL DELAY
MOV 58H,28H
MOV 55H,25H
LCALL WRC011
LCALL DELAY
MOV A,22H
CJNE A,#'0',RUNL
RET
RUNL:  LJMP RUN
CHKCOM: MOV 29H,#'0'
MOV 2AH,#'0'
MOV 2BH,#'0'
LCALL RDC010
LCALL DELAY
MOV A,40H
CJNE A,#'S',CHKCOM1
LCALL WRC011
LCALL DELAY
MOV 23H,29H
MOV 24H,2AH
MOV 25H,2BH
MOV 26H,45H
MOV 27H,46H
MOV 28H,47H
RET
CHKCOM1: MOV 29H,#'0'
MOV 2AH,#'0'
MOV 2BH,#'1'
LCALL SENDRDC
SETB REN
SETB ES
LCALL DELAY
CLR ES
MOV A,40H
CJNE A,#'S',CHKCOM2
LCALL WRC011
MOV 23H,29H
MOV 24H,2AH
MOV 25H,2BH
MOV 26H,45H
MOV 27H,46H
MOV 28H,47H
RET
CHKCOM2: MOV 2BH,#'2'
LCALL SENDRDC
SETB REN
SETB ES
LCALL DELAY
CLR ES
MOV A,40H
CJNE A,#'S',CHKCOM3
LCALL WRC011
MOV 23H,29H
MOV 24H,2AH
MOV 25H,2BH
MOV 26H,45H
MOV 27H,46H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV 28H,47H
RET
CHKCOM3: LJMP CHKCOM
CHKROB:  MOV 29H,#'0'
MOV 2AH,#'0'
MOV 2BH,#'0'
LCALL RDP000
MOV A,40H
CJNE A,#'M',CHKROB1
MOV 20H,29H
MOV 21H,2AH
MOV 22H,2BH
RET
CHKROB1: MOV 2BH,#'1'
LCALL ABC
LCALL SENDWRC
LCALL SEND
LCALL DELAY
LCALL SENDRDP
SETB REN
SETB ES
LCALL DELAY
CLR ES
MOV A,40H
CJNE A,#'M',CHKROB2
MOV 20H,29H
MOV 21H,2AH
MOV 22H,2BH
RET
CHKROB2: MOV 2BH,#'2'
LCALL ABC
LCALL SENDWRC
LCALL SEND
LCALL DELAY
LCALL SENDRDP
SETB REN
SETB ES
LCALL DELAY
CLR ES
LCALL WRC011
MOV A,40H
CJNE A,#'M',CHKROB3
MOV 20H,29H
MOV 21H,2AH
MOV 22H,2BH
RET
CHKROB3: SJMP CHKROB

```

```

SENDERDP: CLR REN
MOV A,#'M'
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
MOV A,#'R'
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
MOV A,29H
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
MOV A,2AH
MOV SBUF,A
JNB TI,$

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENDWRP:

```
CLR TI
MOV A, 2BH
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, #'0'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
SETB REN
RET
CLR REN
MOV A, #'M'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, #'R'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, 29H
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, 2AH
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, 2BH
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, #'1'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
RET
```

SENDERDC:

```
CLR REN
MOV A, #'M'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, #'R'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, 29H
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, 2AH
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, 2BH
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
MOV A, #'2'
MOV SBUF, A
JNB TI, $
CLR TI
SETB REN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                RET
SENDWRC:                       CLR REN
                                MOV A, #'M'
                                MOV SBUF, A
                                JNB TI, $
                                CLR TI
                                MOV A, #'R'
                                MOV SBUF, A
                                JNB TI, $
                                CLR TI
                                MOV A, 29H
                                MOV SBUF, A
                                JNB TI, $
                                CLR TI
                                MOV A, 2AH
                                MOV SBUF, A
                                JNB TI, $
                                CLR TI
                                MOV A, 2BH
                                MOV SBUF, A
                                JNB TI, $
                                CLR TI
                                MOV A, #'3'
                                MOV SBUF, A
                                JNB TI, $
                                CLR TI
                                RET
RDP000:                         CLR P3.2
                                CLR P3.3
                                CLR P3.4
                                CLR P3.7
                                MOV R0, #40H
RDPL:                           MOV R7, #0FFH
                                DJNZ R7, $
                                CLR P3.5
                                MOV A, P1
                                MOV @R0, A
                                INC R0
                                MOV R7, #0FFH
                                DJNZ R7, $
                                SETB P3.5
                                CJNE R0, #60H, RDPL
                                SETB P3.7
                                SETB P3.4
                                SETB P3.3
                                SETB P3.2
                                RET
WRP001:                         SETB P3.2
                                CLR P3.3
                                CLR P3.4
                                CLR P3.7
                                MOV R0, #40H
WRPL:                           MOV A, @R0
                                MOV P1, A
                                MOV R7, #0FFH
                                DJNZ R7, $
                                CLR P3.5
                                MOV R7, #0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ R7,$
SETB P3.5
INC R0
CJNE R0,#60H,WRPL
MOV P1,#0FFH
SETB P3.7
SETB P3.4
SETB P3.3
SETB P3.2
RET

RDC010: CLR P3.2
        SETB P3.3
        CLR P3.4
        CLR P3.7
        MOV R0,#40H
RDCL:   MOV R7,#0FFH
        DJNZ R7,$
        CLR P3.5
        MOV A,P1
        MOV @R0,A
        INC R0
        MOV R7,#0FFH
        DJNZ R7,$
        SETB P3.5
        CJNE R0,#60H,RDCL
        SETB P3.7
        SETB P3.4
        SETB P3.3
        SETB P3.2
        RET

WRC011: SETB P3.2
        SETB P3.3
        CLR P3.4
        CLR P3.7
WRCL:   MOV R0,#40H
        MOV A,@R0
        MOV P1,A
        MOV R7,#0FFH
        DJNZ R7,$
        CLR P3.5
        MOV R7,#0FFH
        DJNZ R7,$
        SETB P3.5
        INC R0
        CJNE R0,#60H,WRCL
        MOV P1,#0FFH
        SETB P3.7
        SETB P3.4
        SETB P3.3
        SETB P3.2
        RET

SEND:   MOV R0,#60H
        CLR REN
SENDL:  MOV A,@R0
        MOV SBUF,A
        JNB TI,$
        CLR TI
        INC R0
        CJNE R0,#80H,SENDL
        SETB REN
        RET

RECIVE: MOV R0,#40H
        SETB REN
RECIVEL: JNB RI,$

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR RI
MOV A, SBUF
MOV @R0, A
INC R0
CJNE R0, #60H, RECIVEL
RET
DELAY: MOV DPTR, #0000H
DELAYL: INC DPTR
MOV R7, DPH
CJNE R7, #0FFH, DELAYL
RET
RECIVP: JNB RI, $
CLR RI
MOV A, SBUF
MOV @R1, A
INC R1
CJNE R1, #60H, NORE60
MOV R1, #40H
NORE60: RETI
T000T001: MOV DPTR, #0620H
MOV R0, #40H
T01L: MOV A, R0
MOVC A, @A+DPTR
MOV @R0, A
INC R0
CJNE R0, #60H, T01L
LCALL WRC011
LCALL DELAY
RET
T000T002: MOV DPTR, #0640H
MOV R0, #40H
T02L: MOV A, R0
MOVC A, @A+DPTR
MOV @R0, A
INC R0
CJNE R0, #60H, T02L
LCALL WRC011
LCALL DELAY
RET
T001T000: MOV DPTR, #0640H
MOV R0, #60H
T10L: MOV A, R0
MOVC A, @A+DPTR
MOV @R0, A
INC R0
CJNE R0, #80H, T10L
MOV DPTR, #0660H
MOV R0, #40H
T10C: MOV A, R0
MOVC A, @A+DPTR
MOV @R0, A
INC R0
CJNE R0, #60H, T10C
LCALL WRC011
LCALL DELAY
RET
T001T002: MOV DPTR, #0660H
MOV R0, #60H
T12L: MOV A, R0
MOVC A, @A+DPTR
MOV @R0, A
INC R0
CJNE R0, #80H, T12L
MOV DPTR, #0680H
MOV R0, #40H
T12C: MOV A, R0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#60H,T12C
LCALL WRC011
LCALL DELAY
RET
T002T000: MOV DPTR,#0680H
MOV R0,#60H
T20L: MOV A,R0
MOV C A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#80H,T20L
MOV DPTR,#06A0H
MOV R0,#40H
T20C: MOV A,R0
MOV C A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#60H,T20C
LCALL WRC011
LCALL DELAY
RET
T002T001: MOV DPTR,#06A0H
MOV R0,#60H
T21L: MOV A,R0
MOV C A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#80H,T21L
MOV DPTR,#06C0H
MOV R0,#40H
T21C: MOV A,R0
MOV C A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#60H,T21C
LCALL WRC011
LCALL DELAY
RET
ORG 0660H
DB 'RRSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS01E'
ORG 0680H
DB 'RDRSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS02E'
ORG 06A0H
DB 'LLSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS10E'
ORG 06C0H
DB 'RRSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS12E'
ORG 06E0H
DB 'LDLSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS20E'
ORG 0700H
DB 'LLSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS21E'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV A,P1
MOV @R0,A
INC R0
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
CJNE R0,#80H,RDPL
MOV P3,#0FFH
RET

WRP001: SETB P3.2
CLR P3.3
CLR P3.4
CLR P3.7
MOV R0,#40H
WRPL: MOV A,@R0
MOV P1,A
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
INC R0
CJNE R0,#60H,WRPL
MOV P1,#0FFH
MOV P3,#0FFH
RET

RDC010: CLR P3.2
SETB P3.3
CLR P3.4
CLR P3.7
MOV R0,#60H
RDCL: MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV A,P1
MOV @R0,A
INC R0
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
CJNE R0,#80H,RDCL
MOV P3,#0FFH
RET

WRC011: SETB P3.2
SETB P3.3
CLR P3.4
CLR P3.7
MOV R0,#40H
WRCL: MOV A,@R0
MOV P1,A
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
INC R0
CJNE R0,#60H,WRCL
MOV P1,#0FFH
MOV P3,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RET
SEND:   MOV R0, #60H
        CLR REN
SENDL:  MOV A, @R0
        MOV SBUF, A
        JNB TI, $
        CLR TI
        INC R0
        CJNE R0, #80H, SENDL
        SETB REN
        MOV P3, #0FFH
        RET
RECIVE: MOV R0, #40H
        SETB REN
RECIVEL: JNB RI, $
        CLR RI
        MOV A, SBUF
        MOV @R0, A
        INC R0
        CJNE R0, #60H, RECIVEL
        RET

```

□



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;*****ROBOT*****
;*****
;*****Port 002*****
      ORG 0000H
      LJMP SETUP
      ORG 0100H
SETUP:  MOV P1,#0FFH
        MOV P3,#0FFH
        MOV TMOD,#21H
        MOV PCON,#00H
        MOV SCON,#40H
        MOV TH1,#0FAH
        SETB TR1
        SETB REN
        MOV R0,#30H
SETRAM: MOV @R0,'#L'
        INC R0
        CJNE R0,#80H,SETRAM
MAIN:   JNB RI,$
        CLR RI
        MOV A,SBUF
        CJNE A,'#M',MAIN
        JNB RI,$
        CLR RI
        MOV A,SBUF
        CJNE A,'#R',MAIN
        JNB RI,$
        CLR RI
        MOV A,SBUF
        CJNE A,'#O',MAIN
        JNB RI,$
        CLR RI
        MOV A,SBUF
        CJNE A,'#O',MAIN
        JNB RI,$
        CLR RI
        MOV A,SBUF
        CJNE A,'#2',MAIN
        JNB RI,$
        CLR RI
        MOV A,SBUF
        CJNE A,'#0',NO0
        LCALL RDP000
        LCALL SEND
        LJMP MAIN
NO0:   CJNE A,'#1',NO1
        LCALL RECIVE
        LCALL WRP001
        LCALL RECIVE
        LJMP MAIN
NO1:   CJNE A,'#2',NO2
        LCALL RDC010
        LCALL SEND
        LJMP MAIN
NO2:   CJNE A,'#3',NO3
        LCALL RECIVE
        LCALL WRC011
NO3:   LJMP MAIN
RDP000: CLR P3.2
        CLR P3.3
        CLR P3.4
        CLR P3.7
        MOV R0,#60H
RDPL:  MOV R7,#0FFH
        DJNZ R7,$

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR P3.5
MOV A,P1
MOV @R0,A
INC R0
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
CJNE R0,#80H,RDPL
MOV P3,#0FFH
RET

WRP001: SETB P3.2
CLR P3.3
CLR P3.4
CLR P3.7
MOV R0,#40H
WRPL: MOV A,@R0
MOV P1,A
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
INC R0
CJNE R0,#60H,WRPL
MOV P1,#0FFH
MOV P3,#0FFH
RET

RDC010: CLR P3.2
SETB P3.3
CLR P3.4
CLR P3.7
MOV R0,#60H
RDCL: MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV A,P1
MOV @R0,A
INC R0
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
CJNE R0,#80H,RDCL
MOV P3,#0FFH
RET

WRC011: SETB P3.2
SETB P3.3
CLR P3.4
CLR P3.7
MOV R0,#40H
WRCL: MOV A,@R0
MOV P1,A
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
CLR P3.5
MOV R7,#0FFH
DJNZ R7,$
SETB P3.5
INC R0
CJNE R0,#60H,WRCL
MOV P1,#0FFH
MOV P3,#0FFH
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SEND:      MOV R0, #60H
           CLR REN
SENDL:     MOV A, @R0
           MOV SBUF, A
           JNB TI, $
           CLR TI
           INC R0
           CJNE R0, #80H, SENDL
           SETB REN
           RET
RECIVE:    MOV R0, #40H
           SETB REN
RECIVEL:   JNB RI, $
           CLR RI
           MOV A, SBUF
           MOV @R0, A
           INC R0
           CJNE R0, #60H, RECIVEL
           RET

```

□



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;*****ROBOT*****
;*****COM.001*****
          ORG 0000H
          LJMP SETUP
          ORG 0023H
          LJMP RECIVE
          ORG 0100H
SETUP:    MOV P1,#0FFH
          MOV P3,#0FFH
          MOV TMOD,#21H
          MOV PCON,#00H
          MOV SCON,#40H
          MOV TH1,#0FAH
          SETB TR1
          MOV R0,#30H
CLRRAM:   MOV @R0,#'R'
          INC R0
          CJNE R0,#80H,CLRRAM
          MOV R1,#5CH
          SETB REN
          SETB ES
          SETB EA
WR010:    MOV R7,#80H
          DJNZ R7,$
          JB P3.7,WR010
          JB P3.4,WR010
          JNB P3.3,WR010
          JB P3.2,RD011
          MOV R0,#60H
WRL:      MOV A,@R0
          MOV P1,A
          JB P3.5,$
          MOV @R0,#' '
          INC R0
          JNB P3.5,$
          CJNE R0,#80H,WRL
          MOV P1,#0FFH
WRR:      LJMP WR010
RD011:    MOV R0,#40H
RDL:      JB P3.5,$
          MOV A,P1
          MOV @R0,A
          INC R0
          JNB P3.5,$
          CJNE R0,#60H,RDL
SEND:     CLR ES
          CLR REN
          MOV R0,#40H
SENDL:    MOV A,@R0
          MOV SBUF,A
          JNB TI,$
          CLR TI
          INC R0
          CJNE R0,#60H,SENDL
          SETB REN
          SETB ES
          LJMP WR010
NO1:      MOV R1,#5CH
          RETI
RECIVE:   JNB RI,$
          CLR RI
          MOV A,SBUF
          CJNE R1,#5CH,NA5C
          CJNE A,#'1',NO1
          MOV @R1,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INC R1
RETI
NA5C: CJNE R1, #5DH, NA5D
      CJNE A, #'2', NO1
      MOV @R1, A
      INC R1
      RETI
NA5D: CJNE R1, #5EH, NA5E
      CJNE A, #'3', NO1
      MOV @R1, A
      INC R1
      RETI
NA5E: CJNE R1, #5FH, NA5F
      CJNE A, #'4', NO1
      MOV @R1, A
      INC R1
      RETI
NA5F: MOV @R1, A
      INC R1
      CJNE R1, #80H, BACK
      MOV R1, #5CH
BACK: RETI

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****PROGRAM FOR OPTICAL PORT*****
;*****
ORG 0000H
LJMP SETUP
SETUP: MOV P1,#0FFH
MOV P3,#0FFH
MOV TMOD,#21H
MOV PCON,#00H
MOV SCON,#40H
MOV TH1,#0FAH
SETB TR1
MOV R0,#30H
CLRRAM: MOV @R0,'# '
INC R0
CJNE R0,#80H,CLRRAM
MAIN: LCALL RECIVE
LCALL WR000
SJMP MAIN
WR000: MOV R7,#07FH
DJNZ R7,$
JB P3.7,WR000
JB P3.4,WR000
JB P3.3,WR000
JB P3.2,RD001
MOV R0,#60H
WRL: MOV A,@R0
MOV P1,A
JB P3.5,$
INC R0
JNB P3.5,$
CJNE R0,#80H,WRL
MOV P1,#0FFH
LJMP WR000
WRR: RD001: MOV R0,#40H
RDL: JB P3.5,$
MOV A,P1
MOV @R0,A
INC R0
JNB P3.5,$
CJNE R0,#60H,RDL
SEND: CLR REN
MOV R0,#40H
SENDL: MOV A,@R0
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
INC R0
CJNE R0,#60H,SENDL
SETB REN
RET
RECIWE: MOV R0,#60H
SETB REN
JNB RI,$
CLR RI
MOV A,SBUF
CJNE A,'#M',RECIWE
MOV @R0,A
INC R0
RECIVEL: JNB RI,$
CLR RI
MOV A,SBUF
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#80H,RECIVEL
CLR REN
MOV A,'#S'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV SBUF,A
JNB TI,$
CLR TI
RET
END
```

□



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้สามารถที่จะสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือของผู้อุปการะคุณหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พระคุณของบิดา มารดาผู้ซึ่งให้โอกาส และทุกสิ่งทุกอย่างแก่พวกเราคณะผู้จัดทำตลอดจนพระคุณของท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ท่านอาจารย์สมยศ จุณณะปิยะ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งเครื่องใช้ที่ใช้ในการดำเนินงาน ตลอดจน บริษัท ทรัพย์อินเตอร์ซัพพลาย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุกๆด้าน และสุดท้ายก็คงจะเป็นกลุ่มของเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และแนวความคิดบางสิ่งบางอย่างแก่เรา ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

ถรงค์ ช่างสกุล, "ง่าย ๆ กับการประยุกต์ใช้งานตัวตรวจจับแบบต่างๆ", วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 143, ตุลาคม 2537, หน้า 88-94.

มงคล เชนครินย์ และ ชาตรี ศรีไพพรรณ, "อุปสรรคการออกแบบและการใช้งาน", อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน, บริษัท ซีเอคยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 270-281, 2538.

ชื่น ภู่วรรณ, "อุปเปอร์เซ็นต์ แอมพลิฟายเออร์", ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ 2, บริษัท ซีเอคยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 233-234, 2540.

วิวัฒน์ กิรานนท์, การสื่อสารข้อมูลดิจิทัล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535.

ธัญญา ศรีประโม่ง, การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2539.

วินัย ชนปรมัตถ์, "แกะรอยการทำหุ่นยนต์", วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 168, กรกฎาคม 2541, หน้า 225-231.

อภิรักษ์ มัชฌานนท์, "คุณสมบัติทางแสง", การสื่อสารเส้นใยแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

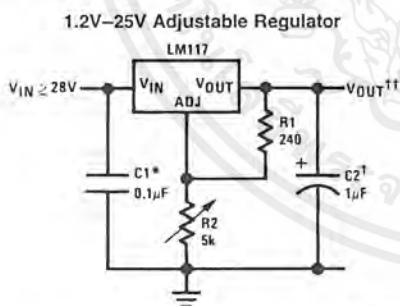
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

### Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications



DS009063-1

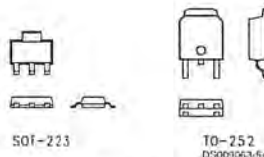
Full output current not available at high input-output voltages  
 \*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.  
 †Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

### LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
MP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

### SOT-223 vs D-Pak (TO-252) Packages



Scale 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C
ESD Tolerance (Note 5)	3 kV

### Operating Temperature Range

LM117	-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

### Preconditioning

Thermal Limit Burn-In	All Devices 100%
-----------------------	------------------

### Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA.

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units
		Min	Typ	Max	
Reference Voltage					V
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	1.20	1.25	1.30	V
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V
			<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	%/V
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.3	%
			<b>0.3</b>	<b>1</b>	%
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W
Adjustment Pin Current			50	100	μA
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		0.2	5	μA
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		1		%
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		3.5	5	mA
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V				
	K Package	1.5	2.2	3.4	A
	H Packages	0.5	0.8	1.8	A
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V				
	K Package	0.3	0.4		A
	H Package	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		65		dB
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF	66	80		dB
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W
	H Package		12	15	°C/W
	E Package				°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W
	H Package		140		°C/W
	E Package				°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (Note 3)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and  $I_{OUT} = 10\text{mA}$ .

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	$\mu\text{A}$	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	$\mu\text{A}$	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
			1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T, S Packages H Package MP Package		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
			0.55	0.4		0.15	0.4		A
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$	66	80		66	80		dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$ , 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package					5		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	MP Package		23.5			23.5		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	MDT Package (Note 6)					92		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	S Package (Note 6)		50			50		$^\circ\text{C/W}$	

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

**Note 2:** Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

**Note 3:** Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and SOT-223 and 20W for the TO-3, TO-220, and TO-263.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3, TO-220, and TO-263 packages, 0.5A for the TO-39 package and 1A for the SOT-223 Package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

**Note 4:** Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

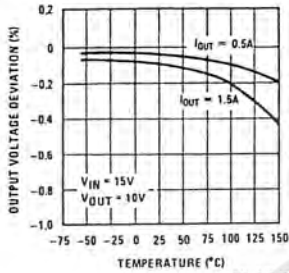
**Note 6:** If the TO-263 or TO-252 packages are used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. If the SOT-223 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area (see applications hints for heatsinking).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

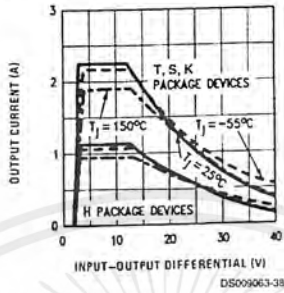
# Typical Performance Characteristics

Output Capacitor = 0  $\mu\text{F}$  unless otherwise noted

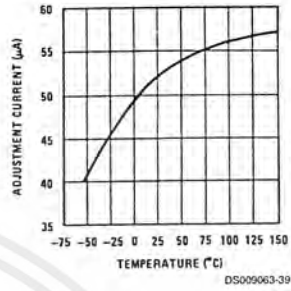
**Load Regulation**



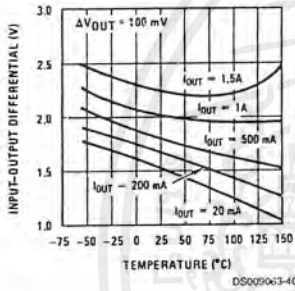
**Current Limit**



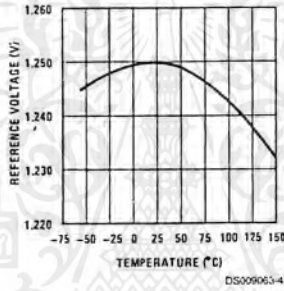
**Adjustment Current**



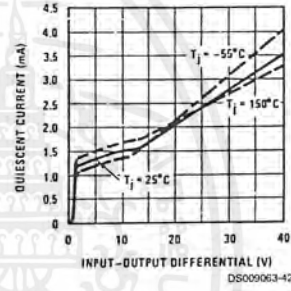
**Dropout Voltage**



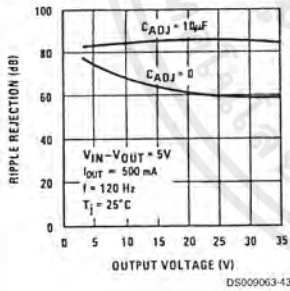
**Temperature Stability**



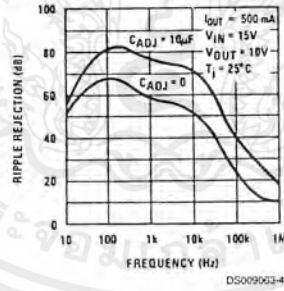
**Minimum Operating Current**



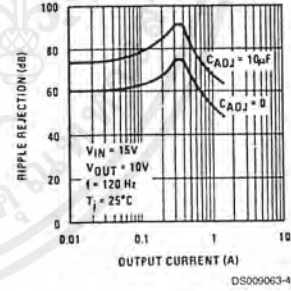
**Ripple Rejection**



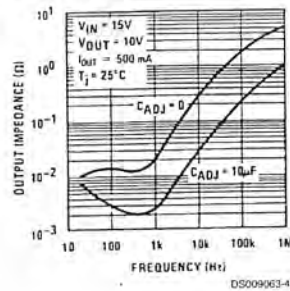
**Ripple Rejection**



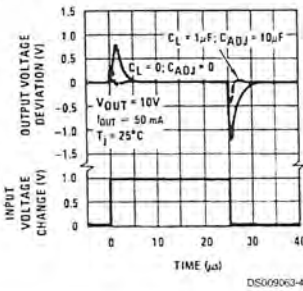
**Ripple Rejection**



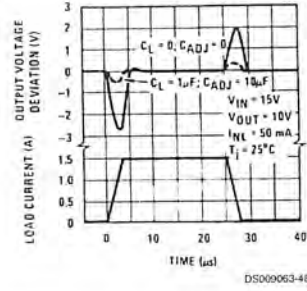
**Output Impedance**



**Line Transient Response**



**Load Transient Response**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage,  $V_{REF}$ , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current  $I_1$  then flows through the output set resistor R2, giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}R2$$

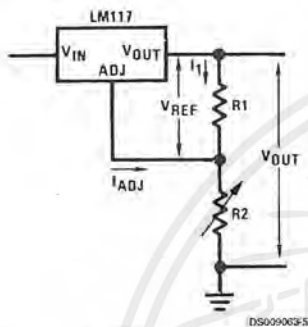


FIGURE 1.

Since the 100  $\mu$ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize  $I_{ADJ}$  and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

### External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1  $\mu$ F disc or 1  $\mu$ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10  $\mu$ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10  $\mu$ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25  $\mu$ F in aluminum electrolytic to equal 1  $\mu$ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01  $\mu$ F disc may seem to work better than a 0.1  $\mu$ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values between 500 pF and 5000 pF. A 1  $\mu$ F solid tantalum (or 25  $\mu$ F

aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10  $\mu$ F will merely improve the loop stability and output impedance.

### Load Regulation

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 $\Omega$ ) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 $\Omega$  resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of 0.05 $\Omega$   $\times$   $I_L$ . If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be 0.05 $\Omega$  (1 + R2/R1) or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 $\Omega$  set resistor.

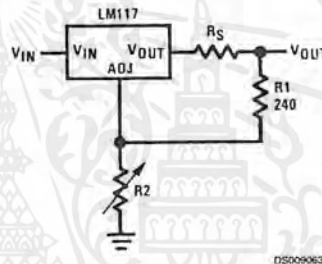


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-39 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of R2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

### Protection Diodes

When external capacitors are used with *any* IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10  $\mu$ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

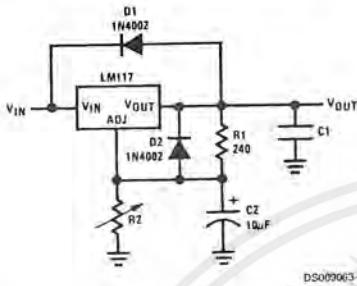
When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of  $V_{IN}$ . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 25  $\mu$ F or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when *either* the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50 $\Omega$  resistor which limits the peak discharge current. No protection is needed for output voltages of 25V or

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Application Hints (Continued)

less and 10  $\mu\text{F}$  capacitance. *Figure 3* shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.



$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}R_2$$

D1 protects against C1  
D2 protects against C2

**FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes**

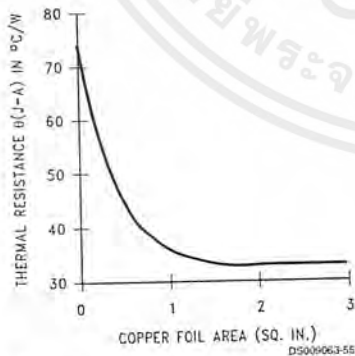
When a value for  $\theta_{(H-A)}$  is found using the equation shown, a heatsink must be selected that has a value that is less than or equal to this number.

$\theta_{(H-A)}$  is specified numerically by the heatsink manufacturer in the catalog, or shown in a curve that plots temperature rise vs power dissipation for the heatsink.

### HEATSINKING TO-263, SOT-223 AND TO-252 PACKAGE PARTS

The TO-263 ("S"), SOT-223 ("MP") and TO-252 ("DT") packages use a copper plane on the PCB and the PCB itself as a heatsink. To optimize the heat sinking ability of the plane and PCB, solder the tab of the package to the plane.

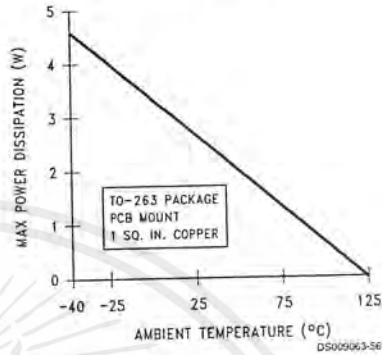
*Figure 4* shows for the TO-263 the measured values of  $\theta_{(J-A)}$  for different copper area sizes using a typical PCB with 1 ounce copper and no solder mask over the copper area used for heatsinking.



**FIGURE 4.  $\theta_{(J-A)}$  vs Copper (1 ounce) Area for the TO-263 Package**

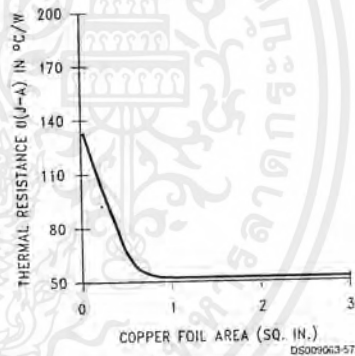
As shown in the figure, increasing the copper area beyond 1 square inch produces very little improvement. It should also be observed that the minimum value of  $\theta_{(J-A)}$  for the TO-263 package mounted to a PCB is 32°C/W.

As a design aid, *Figure 5* shows the maximum allowable power dissipation compared to ambient temperature for the TO-263 device (assuming  $\theta_{(J-A)}$  is 35°C/W and the maximum junction temperature is 125°C).

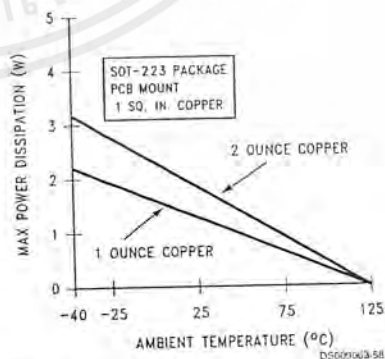


**FIGURE 5. Maximum Power Dissipation vs  $T_{AMB}$  for the TO-263 Package**

*Figure 6* and *Figure 7* show the information for the SOT-223 package. *Figure 7* assumes a  $\theta_{(J-A)}$  of 74°C/W for 1 ounce copper and 51°C/W for 2 ounce copper and a maximum junction temperature of 125°C.



**FIGURE 6.  $\theta_{(J-A)}$  vs Copper (2 ounce) Area for the SOT-223 Package**



**FIGURE 7. Maximum Power Dissipation vs  $T_{AMB}$  for the SOT-223 Package**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints (Continued)

The LM317 regulators have internal thermal shutdown to protect the device from over-heating. Under all possible operating conditions, the junction temperature of the LM317 must be within the range of 0°C to 125°C. A heatsink may be required depending on the maximum power dissipation and maximum ambient temperature of the application. To determine if a heatsink is needed, the power dissipated by the regulator,  $P_D$ , must be calculated:

$$I_{IN} = I_L + I_G$$

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) I_L + V_{IN} I_G$$

Figure 8 shows the voltage and currents which are present in the circuit.

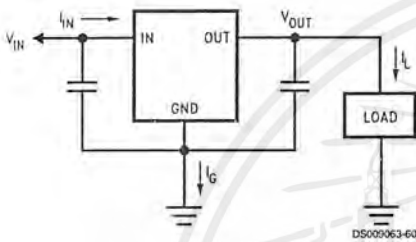


FIGURE 8. Power Dissipation Diagram

The next parameter which must be calculated is the maximum allowable temperature rise,  $T_R(\max)$ :

$$T_R(\max) = T_J(\max) - T_A(\max)$$

where  $T_J(\max)$  is the maximum allowable junction temperature (125°C), and  $T_A(\max)$  is the maximum ambient temperature which will be encountered in the application.

Using the calculated values for  $T_R(\max)$  and  $P_D$ , the maximum allowable value for the junction-to-ambient thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ) can be calculated:

$$\theta_{JA} = T_R(\max)/P_D$$

If the maximum allowable value for  $\theta_{JA}$  is found to be  $\geq 92^\circ\text{C/W}$  (Typical Rated Value) for TO-252 package, no heatsink is needed since the package alone will dissipate enough heat to satisfy these requirements. If the calculated value for  $\theta_{JA}$  falls below these limits, a heatsink is required.

As a design aid, Table 1 shows the value of the  $\theta_{JA}$  of TO-252 for different heatsink area. The copper patterns that we used to measure these  $\theta_{JA}$ s are shown at the end of the Application Notes Section. Figure 9 reflects the same test results as what are in the Table 1

Figure 10 shows the maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature for the TO-252 device. Figure 11 shows the maximum allowable power dissipation vs. copper area (in<sup>2</sup>) for the TO-252 device. Please see AN1028 for power enhancement techniques to be used with SOT-223 and TO-252 packages.

TABLE 1.  $\theta_{JA}$  Different Heatsink Area

Layout	Copper Area		Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ °C/W) TO-252
	Top Side (in <sup>2</sup> )*	Bottom Side (in <sup>2</sup> )	
1	0.0123	0	103
2	0.066	0	87
3	0.3	0	60
4	0.53	0	54
5	0.76	0	52
6	1	0	47
7	0	0.2	84
8	0	0.4	70
9	0	0.6	63
10	0	0.8	57
11	0	1	57
12	0.066	0.066	89
13	0.175	0.175	72
14	0.284	0.284	61
15	0.392	0.392	55
16	0.5	0.5	53

Application Hints (Continued)

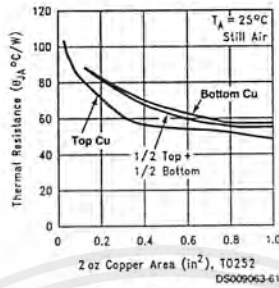


FIGURE 9.  $\theta_{JA}$  vs 2oz Copper Area for TO-252

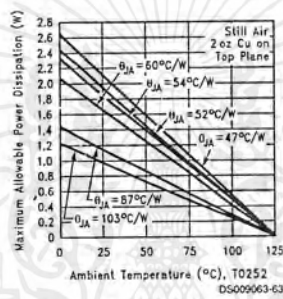


FIGURE 10. Maximum Allowable Power Dissipation vs. Ambient Temperature for TO-252

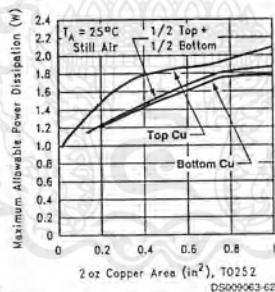
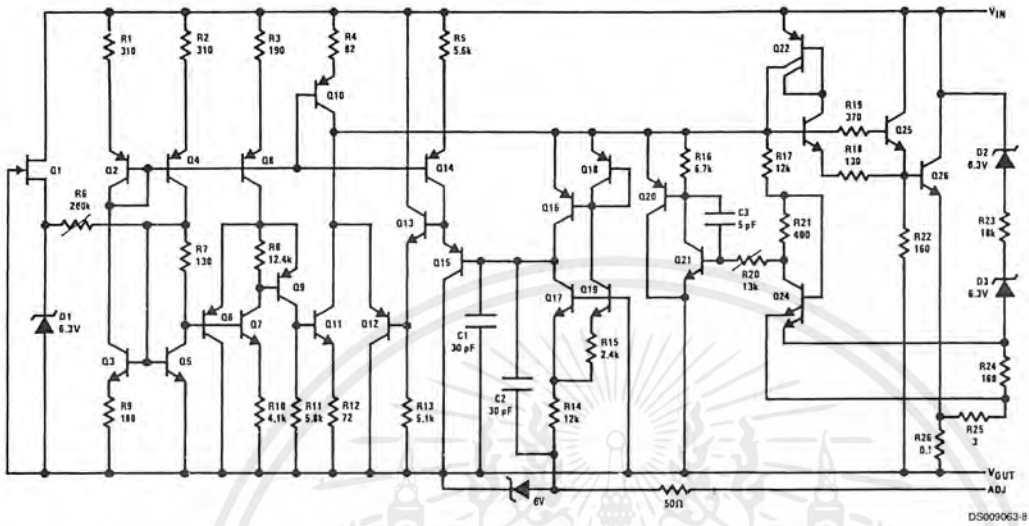


FIGURE 11. Maximum Allowable Power Dissipation vs. 2oz Copper Area for TO-252

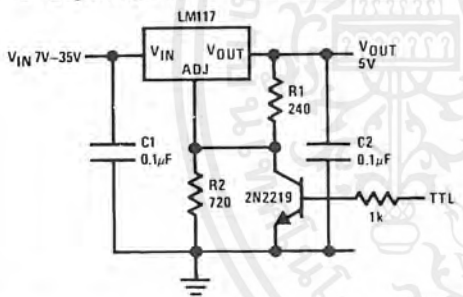
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Schematic Diagram

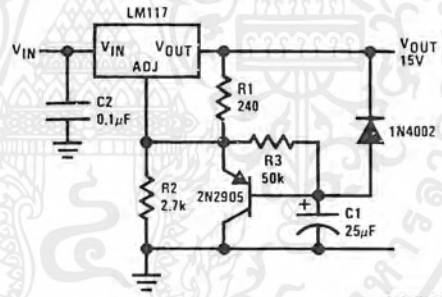


## Typical Applications

5V Logic Regulator with Electronic Shutdown\*



Slow Turn-On 15V Regulator

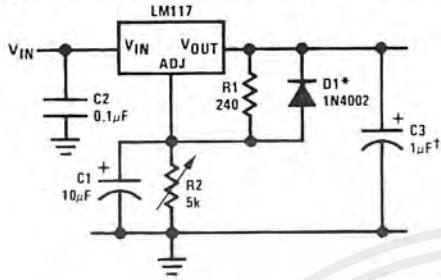


\*Min. output = 1.2V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

### Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

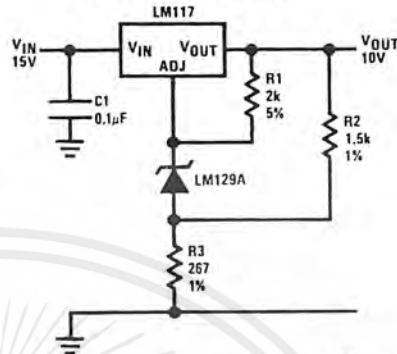


DS009063-10

†Solid tantalum

\*Discharges C1 if output is shorted to ground

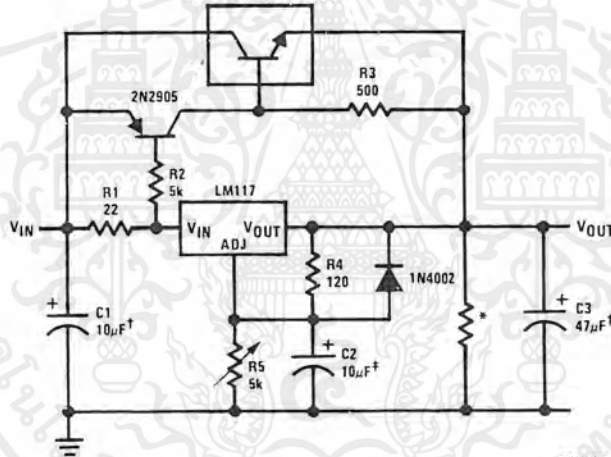
### High Stability 10V Regulator



DS009063-11

### High Current Adjustable Regulator

3-LM195'S IN PARALLEL



DS009063-12

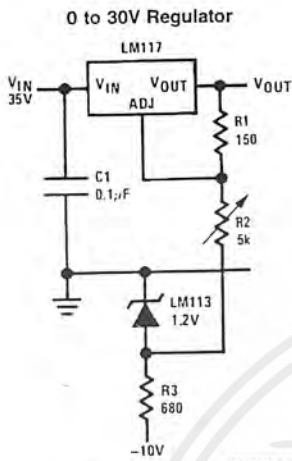
‡Optional — improves ripple rejection

†Solid tantalum

\*Minimum load current = 30 mA

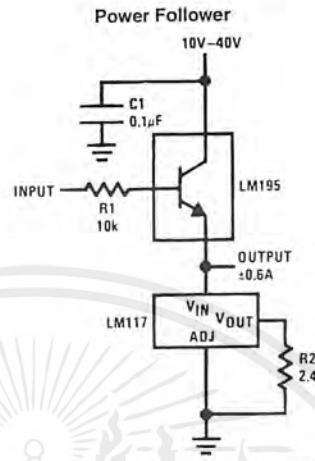
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)



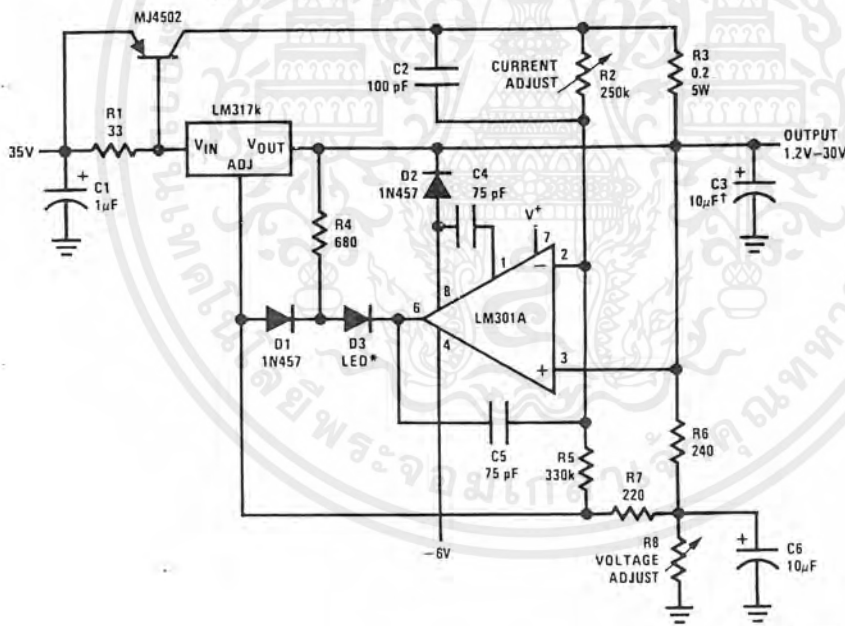
DS009063-13

Full output current not available at high input-output voltages



DS009063-14

### 5A Constant Voltage/Constant Current Regulator



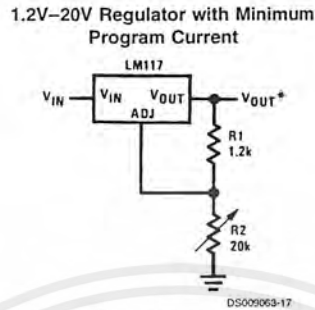
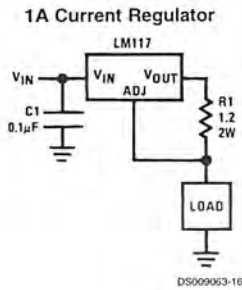
DS009063-15

†Solid tantalum

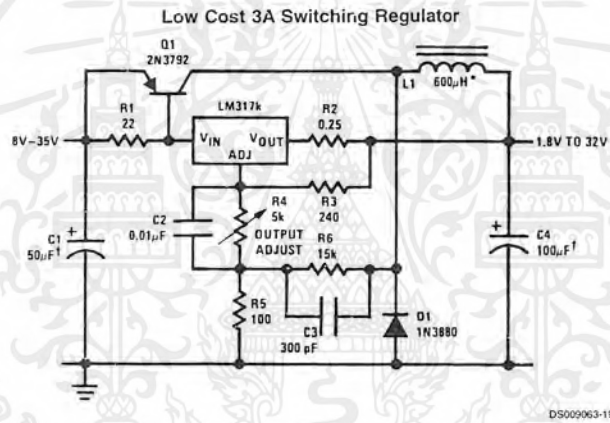
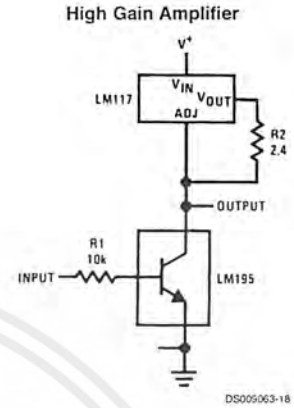
\*Lights in constant current mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)



\*Minimum load current = 4 mA



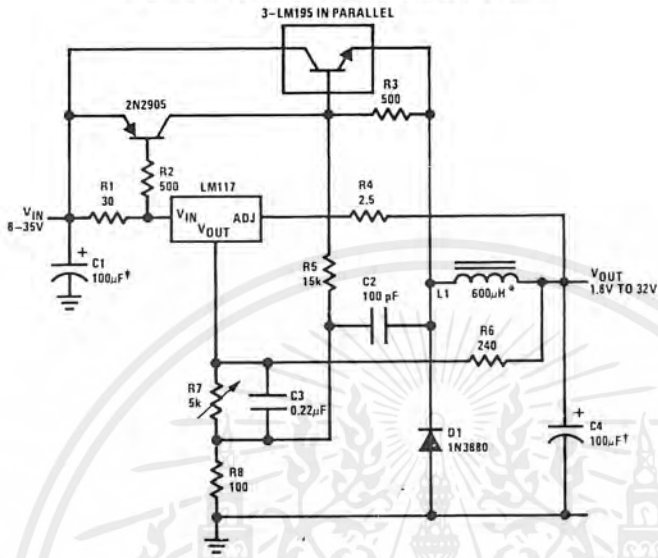
†Solid tantalum

\*Core—Arnold A-254168-2 60 turns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

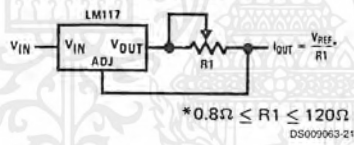
Typical Applications (Continued)

4A Switching Regulator with Overload Protection

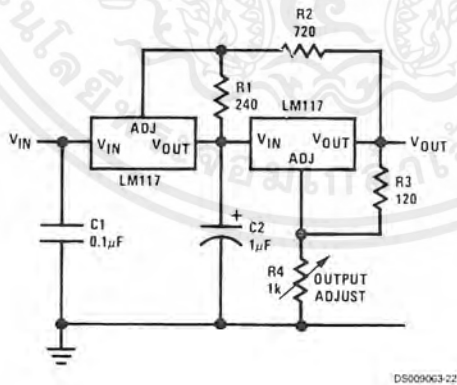


\*Solid tantalum  
\*Core — Arnold A-254168-2 60 turns

Precision Current Limiter



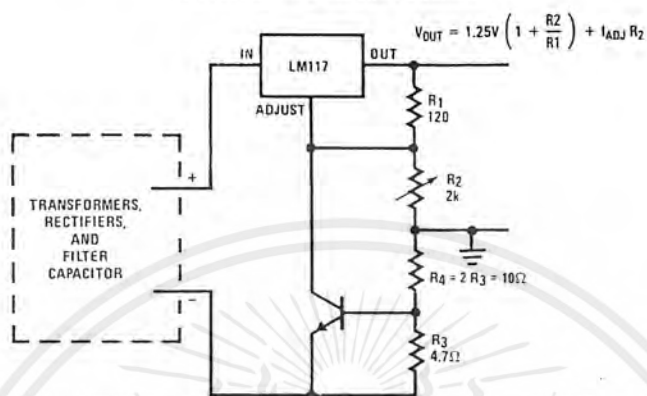
Tracking Preregulator



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

### Current Limited Voltage Regulator



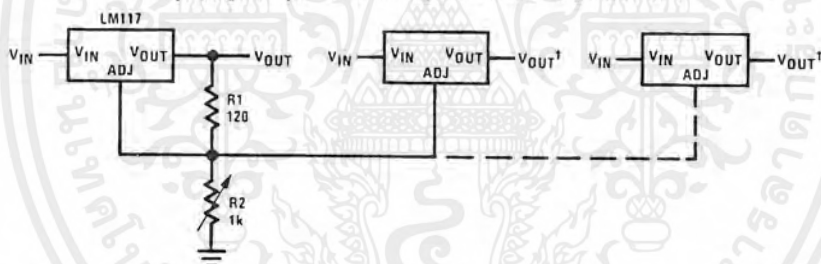
DS009063-23

—Short circuit current is approximately  $\frac{600 \text{ mV}}{R_3}$ , or 120 mA

(Compared to LM117's higher current limit)

—At 50 mA output only 3/4 volt of drop occurs in  $R_3$  and  $R_4$

### Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control\*

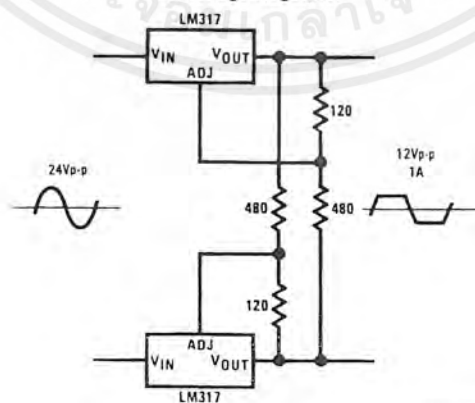


DS009063-24

\*All outputs within  $\pm 100 \text{ mV}$

†Minimum load—10 mA

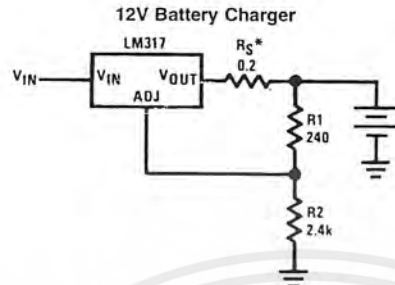
### AC Voltage Regulator



DS009063-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

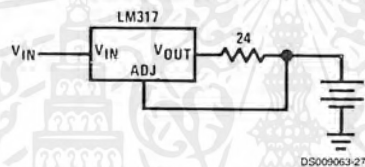


DS009063-26

\* $R_S$ —sets output impedance of charger:  $Z_{OUT} = R_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

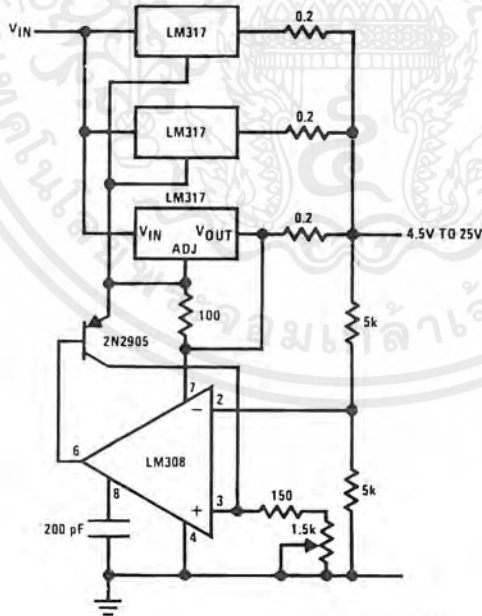
Use of  $R_S$  allows low charging rates with fully charged battery.

### 50 mA Constant Current Battery Charger



DS009063-27

### Adjustable 4A Regulator

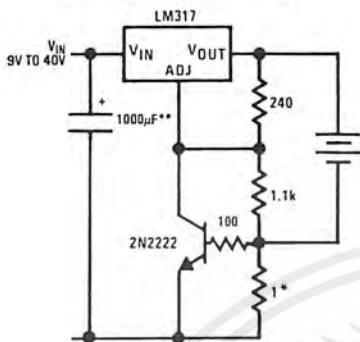


DS009063-28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

### Current Limited 6V Charger

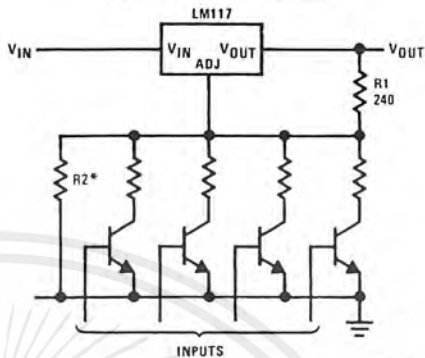


DS009063-29

\*Sets peak current (0.6A for 1Ω)

\*\*The 1000 µF is recommended to filter out input transients

### Digitally Selected Outputs

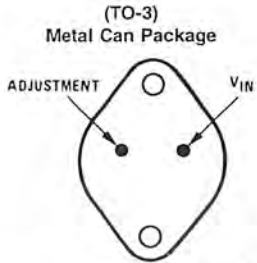


DS009063-2

\*Sets maximum V<sub>OUT</sub>

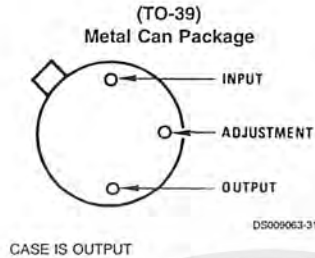
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Connection Diagrams



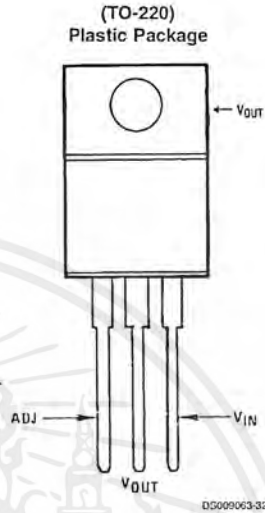
CASE IS OUTPUT

Bottom View  
Steel Package  
Order Number LM117K STEEL  
or LM317K STEEL  
See NS Package Number K02A  
Order Number LM117K/883  
See NS Package Number K02C

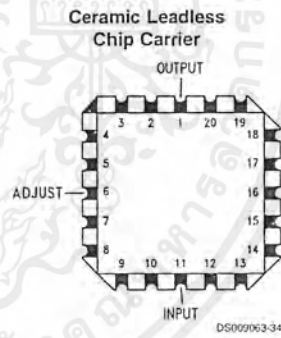
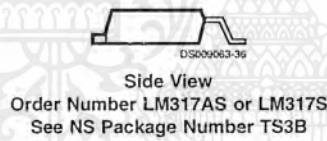
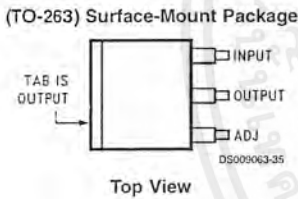


CASE IS OUTPUT

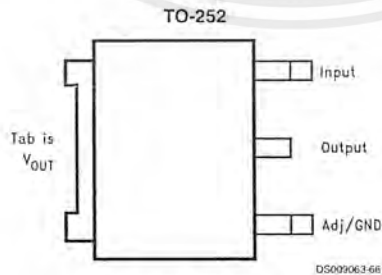
Bottom View  
Order Number LM117H,  
LM117H/883,  
LM317AH or LM317H  
See NS Package Number H03A



Front View  
Order Number LM317AT or LM317T  
See NS Package Number T03B



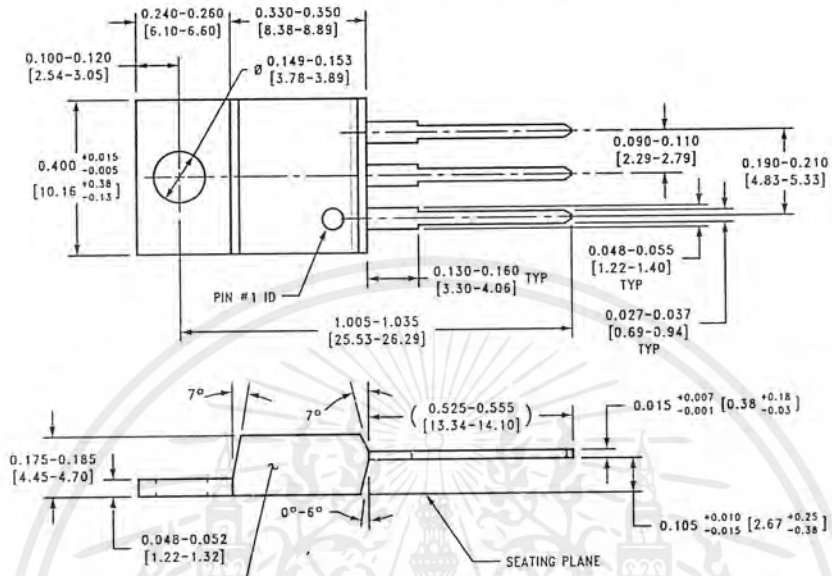
Order Number LM117E/883  
See NS Package Number E20A



Order Part Number LM317DTX  
See NSC Package Number TD03B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

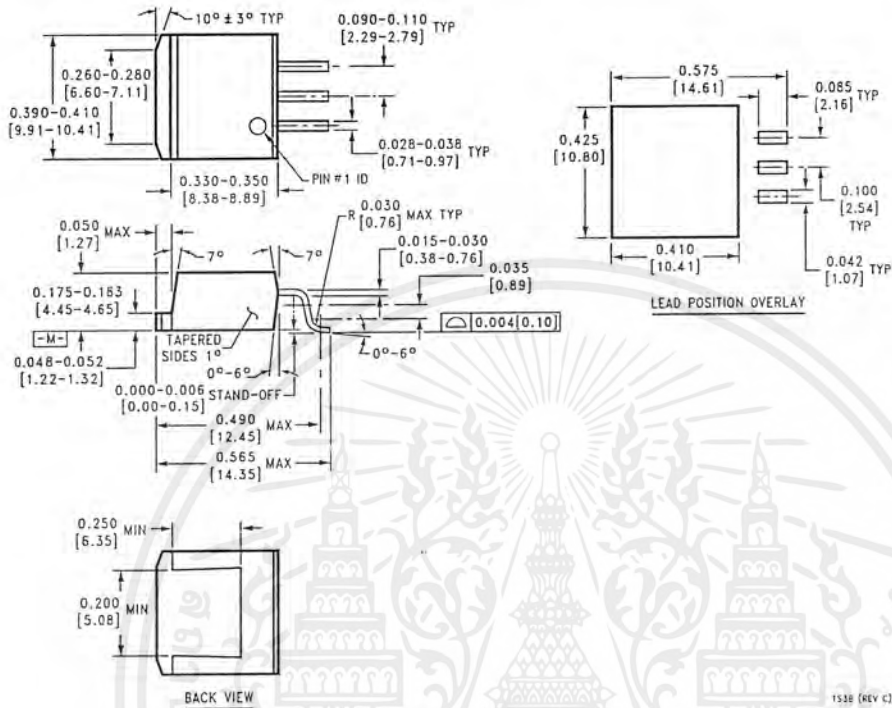


(TO-220) Outline Drawing  
Order Number LM317AT or LM317T  
NS Package Number T03B

T03B (REV L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

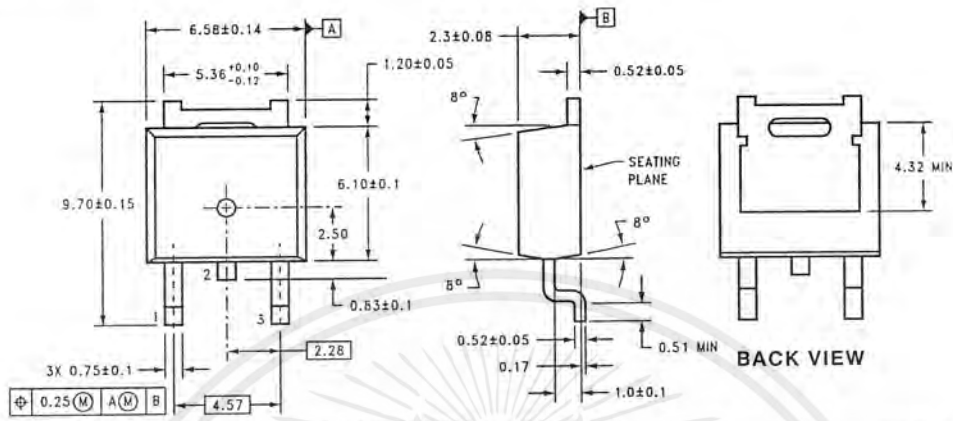


Order Number LM317AS or LM317S  
NS Package Number TS3B

1538 (REV C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

Order Number LM317MDTX  
NS Package Number TD03B

TD03B (REV 4)

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

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



National Semiconductor Corporation  
Americas  
Tel: 1-800-272-9959  
Fax: 1-800-737-7018  
Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe  
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85  
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32  
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58  
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.  
Tel: 81-3-5639-7560  
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM193/LM293/LM393/LM2903 Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators

### General Description

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

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

### Advantages

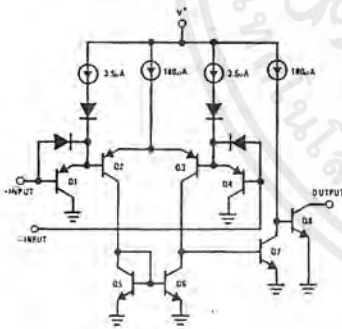
- High precision comparators
- Reduced  $V_{OS}$  drift over temperature

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

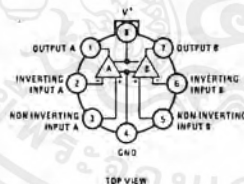
### Features

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

### Schematic and Connection Diagrams

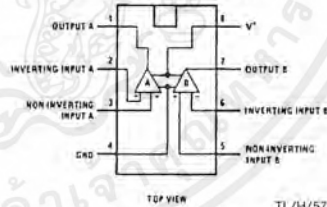


Metal Can Package



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

Dual-In-Line Package



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

\* Also available per JM38510/11202

## Absolute Maximum Ratings

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

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

Operating Temperature Range

LM393/LM393A	0°C to +70°C
LM293/LM293A	-25°C to +85°C
LM193/LM193A	-55°C to +125°C
LM2903	-40°C to +85°C
	-65°C to +150°C
	+260°C

Storage Temperature Range

Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)

Soldering Information

Dual-In-Line Package

Soldering (10 seconds)

Small Outline Package

Vapor Phase (60 seconds)

Infrared (15 seconds)

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating (1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF)

1300V

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

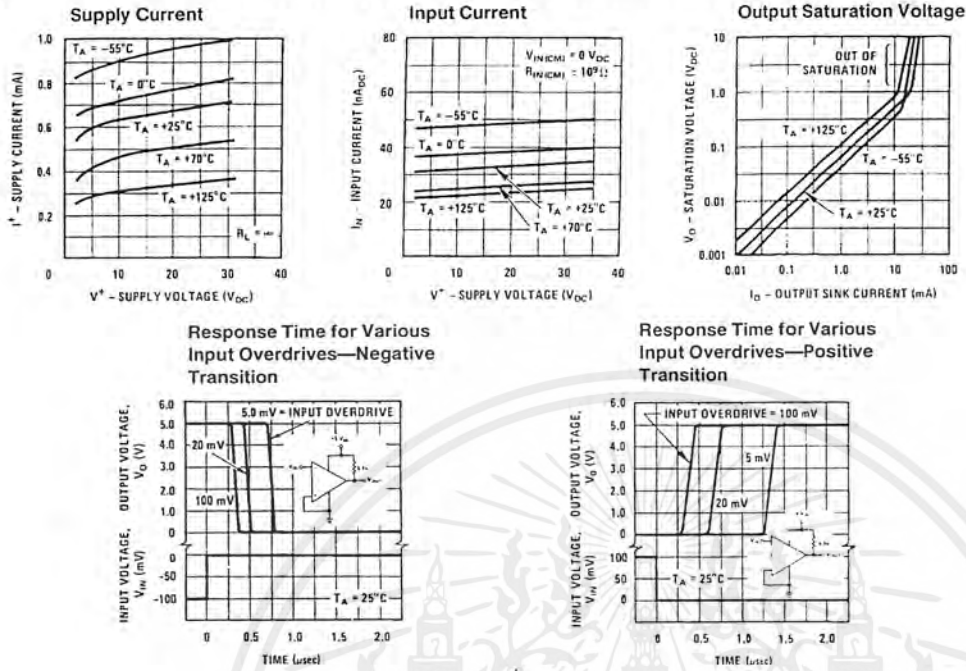
**Note 4:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ , for the LM193/LM193A. With the LM293/LM293A all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$  and the LM393/LM393A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq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

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

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

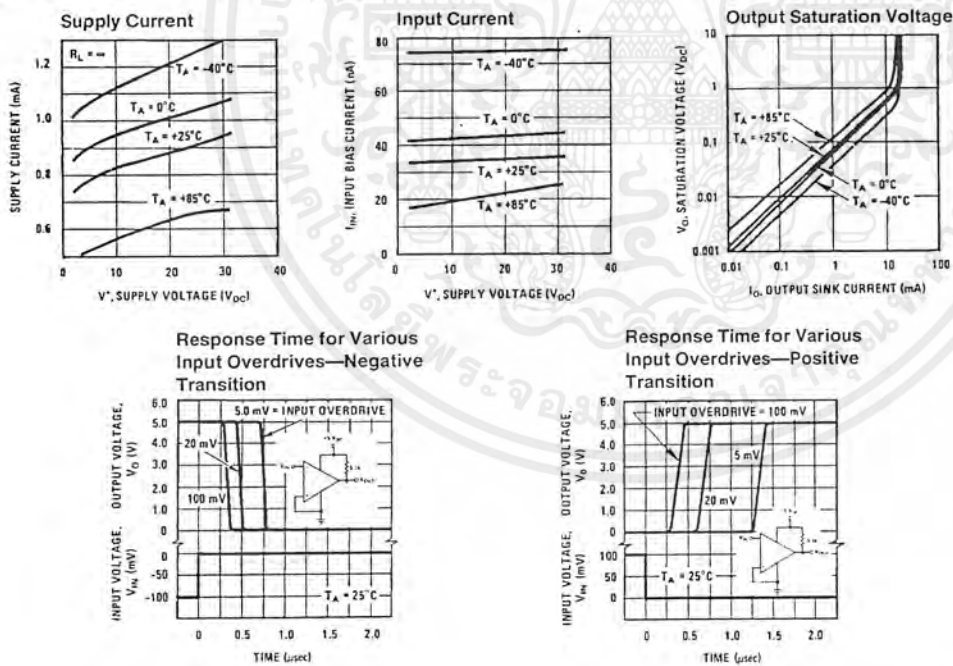
**Note 9:** At output switch point,  $V_O = 1.4V$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V, and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ), at 25°C. **Note 10:** Refer to RETS193AX for LM193AH military specifications and to RETS193X for LM193H military specifications.

## Typical Performance Characteristics LM193/LM293/LM393, LM193A/LM293A/LM393A



TL/H/5709-3

## Typical Performance Characteristics LM2903



TL/H/5709-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints

The LM193 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator change states. Power supply bypassing is not required to solve this problem. Standard PC board layout is helpful as it reduces stray input-output coupling. Reducing the input resistors to  $< 10\text{ k}\Omega$  reduces the feedback signal levels and finally, adding even a small amount (1.0 to 10 mV) of positive feedback (hysteresis) causes such a rapid transition that oscillations due to stray feedback are not possible. Simply socketing the IC and attaching resistors to the pins will cause input-output oscillations during the small transition intervals unless hysteresis is used. If the input signal is a pulse waveform, with relatively fast rise and fall times, hysteresis is not required.

All pins of any unused comparators should be grounded.

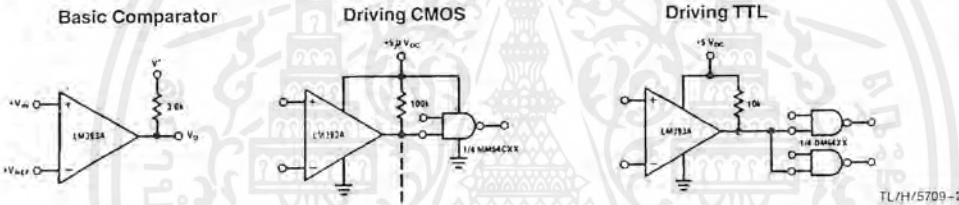
The bias network of the LM193 series establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from  $2.0\text{ V}_{\text{DC}}$  to  $30\text{ V}_{\text{DC}}$ .

It is usually unnecessary to use a bypass capacitor across the power supply line.

The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device (see Note 8). Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3\text{ V}_{\text{DC}}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode can be used as shown in the applications section.

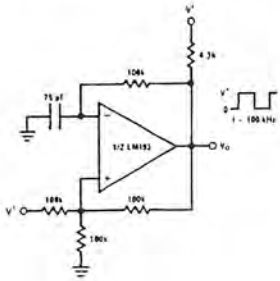
The output of the LM193 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pull-up resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range and there is no restriction on this voltage due to the magnitude of the voltage which is applied to the  $V^+$  terminal of the LM193 package. The output can also be used as a simple SPST switch to ground (when a pull-up resistor is not used). The amount of current which the output device can sink is limited by the drive available (which is independent of  $V^+$ ) and the  $\beta$  of this device. When the maximum current limit is reached (approximately 16 mA), the output transistor will come out of saturation and the output voltage will rise very rapidly. The output saturation voltage is limited by the approximately  $60\Omega\text{ r}_{\text{SAT}}$  of the output transistor. The low offset voltage of the output transistor (1.0 mV) allows the output to clamp essentially to ground level for small load currents.

## Typical Applications ( $V^+ = 5.0\text{ V}_{\text{DC}}$ )

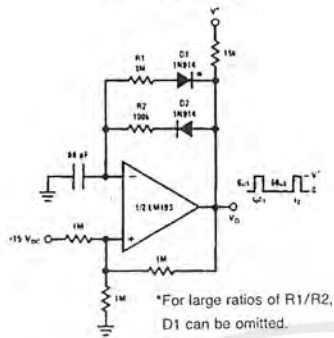


## Typical Applications (Continued)

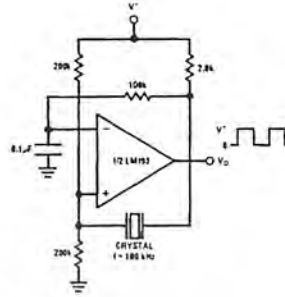
### Squarewave Oscillator



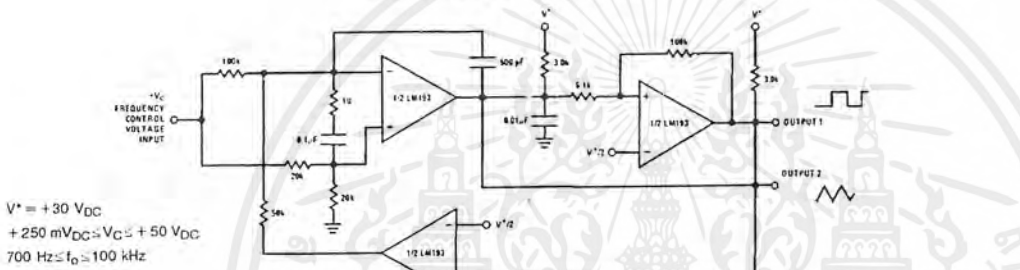
### Pulse Generator



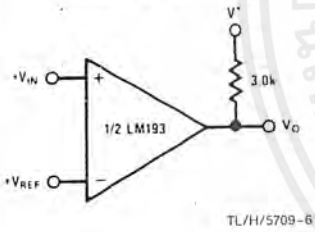
### Crystal Controlled Oscillator



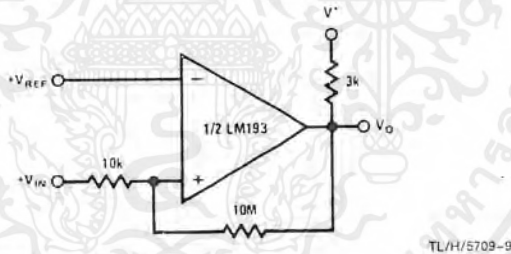
### Two-Decade High-Frequency VCO



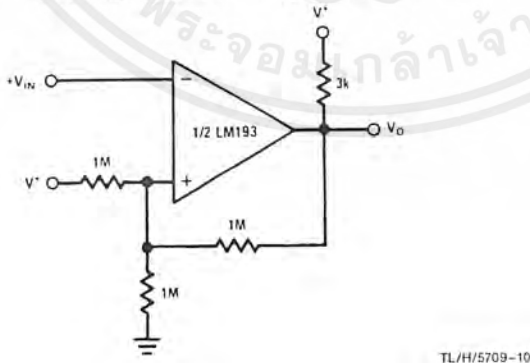
### Basic Comparator



### Non-Inverting Comparator with Hysteresis



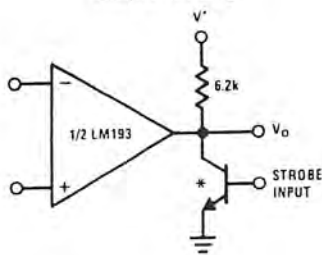
### Inverting Comparator with Hysteresis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

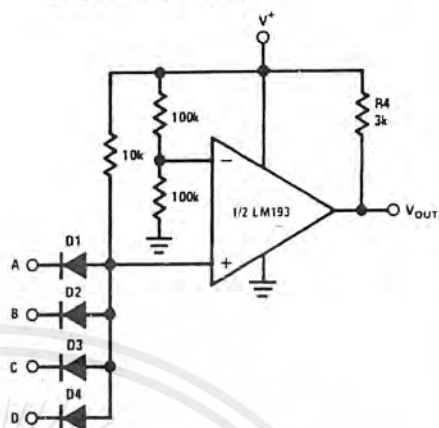
Output Strobing



\* OR LOGIC GATE  
WITHOUT PULL-UP RESISTOR

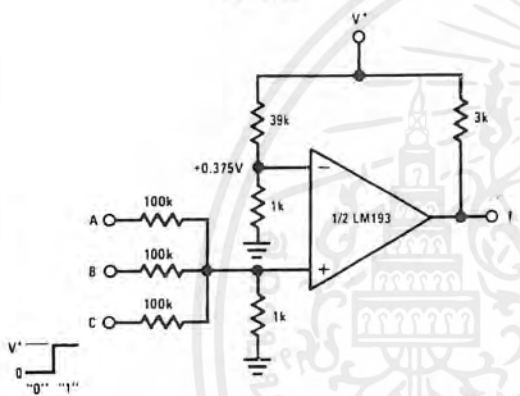
TL/H/5709-11

Large Fan-in AND Gate



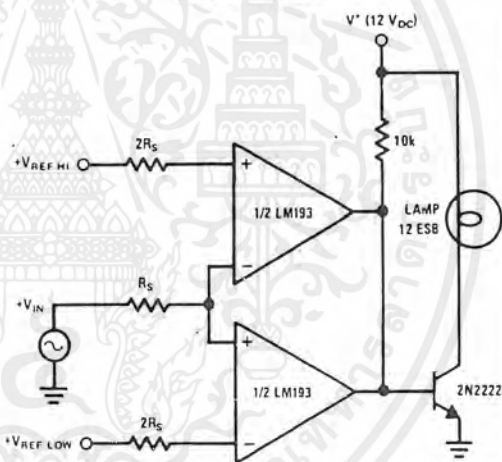
TL/H/5709-14

AND Gate



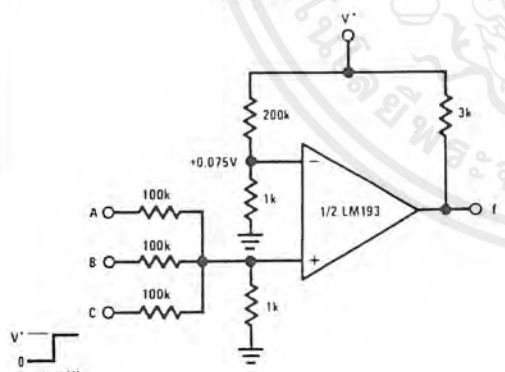
TL/H/5709-12

Limit Comparator



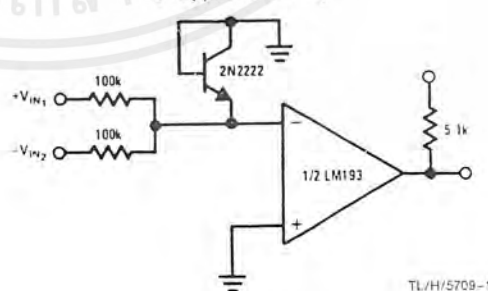
TL/H/5709-15

OR Gate



TL/H/5709-13

Comparing Input Voltages  
of Opposite Polarity

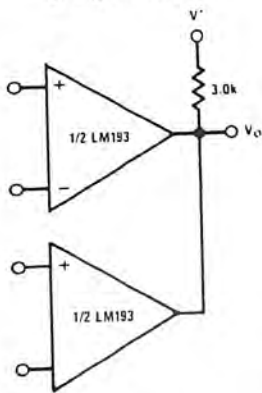


TL/H/5709-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

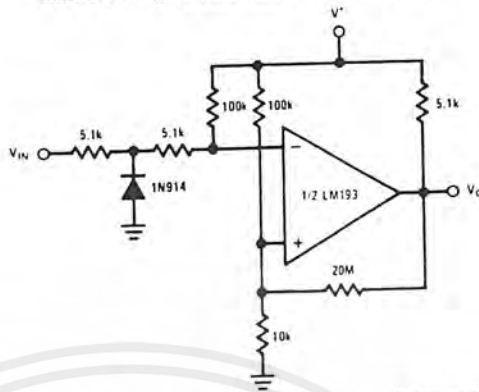
## Typical Applications (Continued)

ORing the Outputs



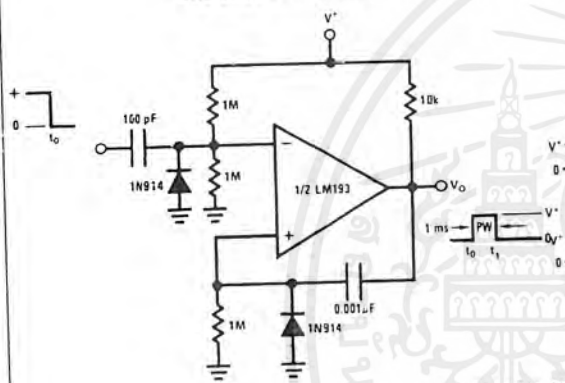
TL/H/5709-17

Zero Crossing Detector (Single Power Supply)



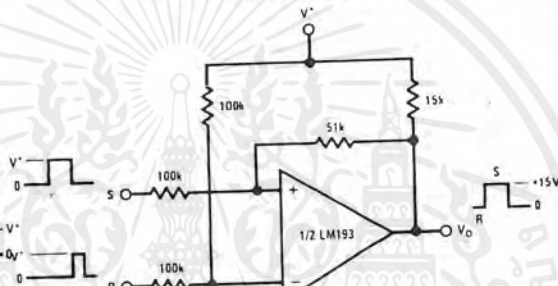
TL/H/5709-21

One-Shot Multivibrator



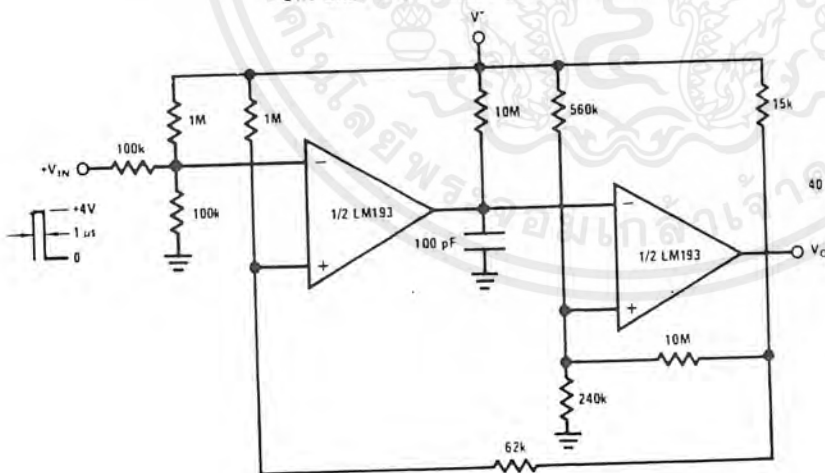
TL/H/5709-22

Bi-Stable Multivibrator



TL/H/5709-24

One-Shot Multivibrator with Input Lock Out

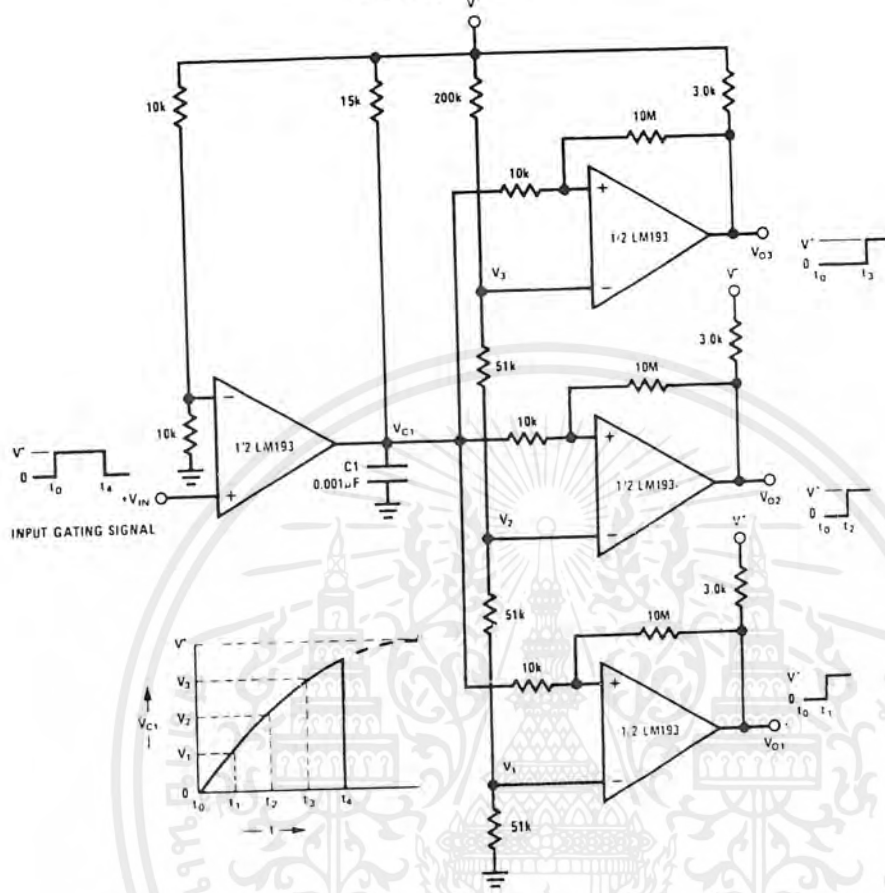


TL/H/5709-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

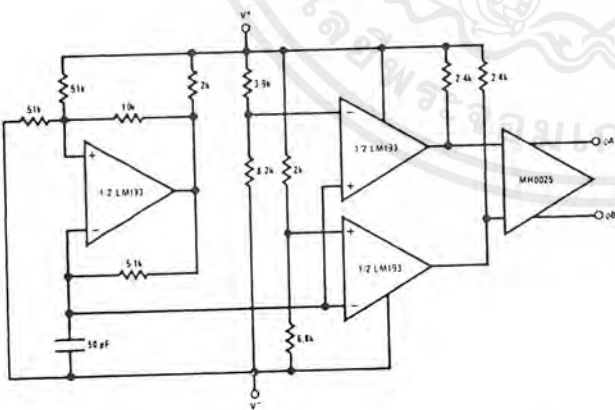
Typical Applications (Continued) ( $V^+ = V_{DC}$ )

Time Delay Generator

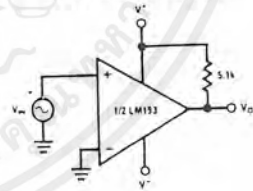


Split-Supply Applications ( $V^+ = +15 V_{DC}$  and  $V^- = -15 V_{DC}$ )

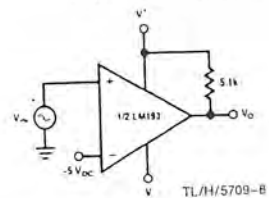
MOS Clock Driver



Zero Crossing Detector



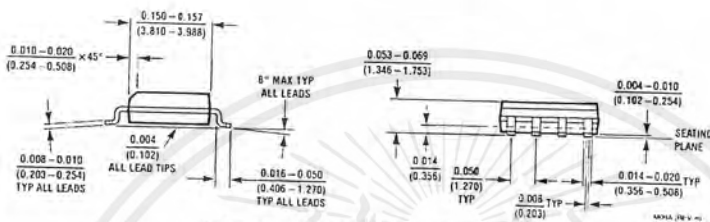
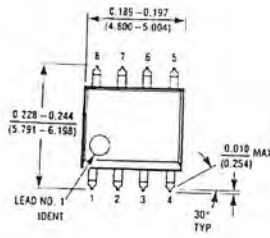
Comparator With a Negative Reference



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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



Order Number LM393M or LM2903M  
NS Package Number M08A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้