



ปีการศึกษา 2538

ยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ  
AUTOMATIC VEHICLE



โดย  
นาย เจียดสุวรรณ บริบาลบุรีภัณฑ์ รหัส 35104083  
นาย ชัยสิทธิ์ สุทธิวงศสุนทร รหัส 35104110  
นาย ชาญวิทย์ แสงอรุณ รหัส 35104114  
นาย สุรชัย เทพคุณหมิมิตต รหัส 35104496

วัน เดือน ปี..... ๑1 ๑๑ ๒5๓๘  
เลขทะเบียน..... ๐37053  
เลขเรียกหนังสือ..... T ๑8146. ๑ ๗85 บ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2538

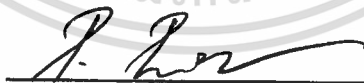
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ขานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย เจียดสุวรรณ บริบาลบุรีภัณฑ์
  2. นาย ชัยสิทธิ์ สุทธิวงศ์สุนทร
  3. นาย ชาญวิทย์ แสงอรุณ
  4. นาย สุรัชย์ เทพคุณหนิมิตต์



( ผศ. ประภาพร ไพโรสุวรรณ )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ

นาย เจียดสุวรรณ บริบาลบุรีรักษ์ รหัส 35104083

นาย ชัยสิทธิ์ สุทธิวงศ์สุนทร รหัส 35104110

นาย ชาญวิทย์ แสงอรุณ รหัส 35104114

นาย สุรชัย เทพคุณหมิมิตต์ รหัส 35104496

ศศ. ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

### บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้ เป็นการศึกษาและสร้างยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติให้เคลื่อนที่ไปตามแถบเส้นสะท้อนแสงที่กำหนดไว้และสามารถหยุดได้ในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วจึงเคลื่อนที่ต่อไปหรือหยุดเมื่อกระทบกับสิ่งกีดขวาง อีกทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้เมื่อนำสิ่งกีดขวางนั้นออกจากเส้นทางแล้ว ซึ่งทั้งหมดนี้ไม่ต้องใช้คนควบคุม ส่วนการขับเคลื่อนจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์และการเลี้ยวจะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ โดยมีเซนเซอร์แสง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สำหรับเขียนโปรแกรมในการควบคุมการเลี้ยว อีกทั้งยังได้นำลิมิตสวิตช์มาใช้ในการทำให้รถหยุดเมื่อกระทบกับสิ่งกีดขวางด้วย เนื้อหาภายในโครงการจะกล่าวถึงการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้ามาใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์ทางด้านกลศาสตร์ โดยการศึกษาและทดสอบมอเตอร์ต้นกำลัง ระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวาง ระบบตรวจสอบเส้นทาง แล้วนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาเชื่อมต่อกัน โดยมีโปรแกรมเป็นตัวควบคุมการทำงานให้รถเคลื่อนที่ไปตามแถบเส้นที่กำหนดไว้ได้

## AUTOMATIC VEHICLE

MR. JEADSUWAN BORIBARNBUREPAN ID. 35104083

MR. CHAIYASITI SUTIVONGSUNTORN ID. 35104110

MR. CHARNWIT SANGARUN ID. 35104114

MR. SURACHAI TEPKUNHANIMITTA ID. 35104496

Asst.Prof. PRAPAS PRISUWANNA ADVISOR

1995

### ABSTRACT

This engineering project is the study and invention for “ The Automatic Vehicle “ to move on the strip line and stop at the position set before it move on the strip line again or stop when it sensed something obstruct on the strip line and can go on if the something taked away from the strip line. All of these don't be controlled by human,it works automatically. Main motor is a 24 volts direct current motor for driving the automatic vehicle move and a 12 volts direct current motor for turning a front whell which use sensors, electronic devices and microcontroller MCS-51 to program the software for controlling. Besides that we bring the limit switch to use to stop the automatic vehicle when it can sense something obstruct on the strip line. The gist in this project described the way to take the electronics devices and microcontroller which are the electricle devices to control the motors that are the mechanicle devices by studying and testing the main motor, sensors and controlling program then take all the devices to connect together by using the program to control them until the automatic vehicle can move on the strip line that we set.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
สารบัญรูป	iii
สารบัญตาราง	v
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของเบตเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เซนเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	3
2.1 เบตเตอร์	3
2.2 ระบบขับเคลื่อน	8
2.3 ระบบบังคับความเร็ว	21
2.4 ระบบเซนเซอร์	25
2.5 สถาปัตยกรรม MCS-51	33
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับติดตั้งกับยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ	37
3.1 การตรวจการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลัง	38
3.2 การออกแบบและการทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง และตรวจสอบตำแหน่งหยุด	39
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง	41
3.4 วงจรขั้วรีเลย์สำหรับมอเตอร์บังคับทิศทาง	42
3.5 วงจรขั้วรีเลย์สำหรับมอเตอร์ต้นกำลังและระบบเบรก	43
3.6 วงจรของลิมิตสวิทช์	45
3.7 อัลกอริทึม ( Algorithm ) ของโปรแกรม	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองของมอเตอร์ เซนเซอร์ ลิมิตสวิทช์ และอุปกรณ์ต่างๆ	50
4.1 การทดสอบระบบตรวจสอบเส้นทาง	50
4.2 การทดสอบระบบตรวจสอบตำแหน่งหยุด	51

เอกสารนี้ **บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป** การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

	หน้า
ภาคผนวก	56
กิตติกรรมประกาศ	71
เอกสารอ้างอิง	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 แรงบิด ( T ) กับกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ของมอเตอร์ขนาน	9
รูป 2.2 ความเร็ว ( S ) กับกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ของมอเตอร์ขนาน	10
รูป 2.3 ความเร็วรอบ ( S ) กับแรงบิด ( T ) ของมอเตอร์ขนาน	11
รูป 2.4 แรงบิด ( T ) กับกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ของมอเตอร์อนุกรม	12
รูป 2.5 ความเร็วรอบ ( S ) กับกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ของมอเตอร์อนุกรม	13
รูป 2.6 ความเร็วรอบ ( S ) กับแรงบิด ( T ) ของมอเตอร์อนุกรม	14
รูป 2.7 Electromagnetic torque ( developed ) and speed characteristics of shunt and compound motors	15
รูป 2.8 แสดงฮิสเทอรีซิส ลูปที่เกิดจากการกลับไปกลับมาของโดเมน D ของเหล็ก	18
รูป 2.9 ( ก ) กระแสไหลวนในอาร์มาเจอร์ที่ไม่ได้ทำเป็นแผ่นๆ	18
( ข ) กระแสไหลวนในอาร์มาเจอร์ที่ทำเป็นแผ่นแล้วนำมาซ้อนกัน	18
รูป 2.10 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าขั้ว	19
รูป 2.11 วงจรควบคุมระบบบังคับความเร็ว	22
รูป 2.12 วงจรควบคุมระบบบังคับความเร็วเมื่อความเร็วช้า	23
รูป 2.13 วงจรควบคุมระบบบังคับความเร็วเมื่อเร็วขวา	24
รูป 2.14 ลำดับขั้นตอนของระบบตรวจสอบเส้นทาง	25
รูป 2.15 สัญลักษณ์ รูปร่าง และวิธีดูขาของแอลอีดี	28
รูป 2.16 การไบแอสแอลอีดี	29
รูป 2.17 ลักษณะโครงสร้างของแอลอีดี	29
รูป 2.18 ( ก ) ลักษณะภายในของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน	31
( ข ) วงจรใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน	31
รูป 2.19 ลำดับขั้นตอนการตรวจสอบตำแหน่งหยุด	32
รูป 2.20 สถาปัตยกรรมภายในของ 8051	34
รูป 2.21 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051	35
รูป 2.22 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นในการทำงานของ MCS-51	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.1	แสดงโครงสร้างของตัวรถ	37
รูป 3.2	แสดงการจัดวางขดลวดของมอเตอร์	38
รูป 3.3	แสดงการต่อวงจรมอเตอร์แบบผสม	38
รูป 3.4	วงจรเรกกูเลเตอร์ 5 โวลท์	39
รูป 3.5	แสดงวงจรการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์	40
รูป 3.6	วงจรรับส่งสัญญาณอินฟราเรด 8 ชุด	40
รูป 3.7	แสดงระยะการติดตั้งอุปกรณ์ รับ-ส่ง แสงอินฟราเรด	41
รูป 3.8	แสดงระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง	41
รูป 3.9	วงจรขั้วรีเลย์สำหรับมอเตอร์หมุนซ้าย	42
รูป 3.10	วงจรขั้วรีเลย์สำหรับมอเตอร์หมุนขวา	43
รูป 3.11	วงจรขั้วรีเลย์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลัง	44
รูป 3.12	วงจรมอเตอร์ต้นกำลัง	44
รูป 3.13	แสดงระบบเบรกของมอเตอร์	45
รูป 3.14	แสดงวงจรรีเลย์ของลิมิตสวิทช์	46
รูป 3.15	แสดงลำดับขั้นตอนการตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง	47
รูป 3.16	แสดงลำดับขั้นตอนการตรวจสอบตำแหน่งหยุด	48
รูป 3.17	แสดงลำดับขั้นตอนการตรวจสอบเส้นทาง	49
รูป 4.1	แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ	50
รูป 5.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนการทำงานตั้งแต่แรกจนเสร็จสิ้นโครงการ	54

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 4.1 แสดงองศาการเลี้ยวของล้อหน้าเมื่อเซนเซอร์หลุดออกจากแถบเส้น	51



## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันพบว่าอุตสาหกรรมต่างๆในเมืองไทยกำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว ในระบบอุตสาหกรรมจะต้องมีการเคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของเป็นจำนวนมาก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมาก เป็นการนำทรัพยากรบุคคลมาใช้ในทางที่ไม่ค่อยจะมีประโยชน์เท่าไรนัก อีกทั้งยังสร้างความเมื่อยหน้อยในการทำงาน และด้วยความก้าวหน้าทางด้านคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะทางด้านไมโครคอมพิวเตอร์ จึงได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของเพื่อให้เกิดความคล่องตัวมากยิ่งขึ้นมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งนับวันจะมีบทบาทมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น คอนเวเยอร์ซึ่งเหมาะสำหรับการเคลื่อนย้ายหรือขนถ่ายวัสดุที่มีทิศทางและตำแหน่งที่แน่นอนปริมาณขนถ่ายมีจำนวนมาก แต่ก็ต้องใช้งบประมาณในการสร้างและชิ้นส่วนมากขึ้นตามไปด้วย จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ขนถ่ายวัสดุจำนวนไม่มากนักและมีทิศทางไม่แน่นอน ดังนั้นระบบที่เหมาะสมกับงานประเภทนี้จะต้องเป็นรถที่มีรางเพื่อกำหนดทิศทาง ทำให้ไม่ต้องใช้คนขับ แต่ระบบนี้จะมีความสิ้นเปลืองเนื่องจากค่าใช้จ่ายของตัวรางและการวางราง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการสร้างรถสำหรับขนถ่ายวัสดุต่างๆโดยไม่ต้องอาศัยราง จึงช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการวางรางได้ รถชนิดนี้จะอำนวยความสะดวกอย่างมากในการขนถ่าย มีความแน่นอน ค่าใช้จ่ายในการสร้างน้อยและประหยัดเนื้อที่ ทั้งยังมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ โดยการใช้อุปกรณ์นำทางในการเคลื่อนที่ซึ่งใช้หลักการสะท้อนของแสงจากแถบสีสะท้อนขึ้นมายังตัวรับ แสงที่สะท้อนขึ้นมาจะมีค่าความเข้มต่างกัน ขณะที่รถยังอยู่บนเส้น เช่นเซอร์ทุกตัวจะส่งสัญญาณซึ่งเป็นโลจิกต่ำ ( เป็น 0 ) กลับมายังส่วนโปรแกรม อุปกรณ์ควบคุม และไม่โครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รถจะยังคงเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงต่อไป แต่เมื่อรถเริ่มออกนอกเส้นทาง แสงจากแถบสีสะท้อนขึ้นมายังเซอร์ตัวที่หลุดออกนอกเส้น ด้วยความเข้มแสงที่ต่างกัน แล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณที่มีโลจิกสูง ( เป็น 1 ) ส่งไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ซึ่งอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อประมวลผล จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะส่งสัญญาณควบคุมกลับมายังมอเตอร์บังคับเลี้ยวบังคับให้รถเลี้ยวซ้ายหรือขวา เพื่อให้รถปรับเข้าตำแหน่งกึ่งกลางของแถบนำทางเสมอ นอกจากนี้เมื่อเซอร์ทุกตัวมีโลจิกสูงหมด ( ตรวจไม่เจอแถบเส้นเลย ) โปรแกรมจะสั่งให้สวิทช์ควบคุมการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์เปิดวงจรออกชั่วคราว ทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนและมอเตอร์ควบคุมการเลี้ยวหยุดทำงาน รถจึงสามารถหยุดได้ในตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นเมื่อนำรถกลับเข้าหาแถบนำทาง ( ในกรณีที่หลุดออกจากแถบนำทาง ) สวิทช์ก็ปิดวงจรกลับไปก็จะทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ แต่ถ้ามีสิ่งกีดขวางบนแถบเส้น รถจะหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหยุดการเคลื่อนที่เพื่อให้ทราบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่บนเส้นทาง ซึ่งทำได้โดยอาศัยลิมิตสวิทช์ที่ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ กล่าวคือ เมื่อลิมิตสวิทช์สัมผัสกับสิ่งกีดขวาง ลิมิตสวิทช์จะเปิดวงจรออกทำให้มอเตอร์ทั้งสองหยุดทำงาน และเมื่อนำสิ่งกีดขวางออกจากเส้นทางแล้ว ลิมิตสวิทช์ก็จะเปิดวงจรทำให้แบตเตอรี่ต่อกับมอเตอร์อีกครั้ง รถก็จะเคลื่อนที่ต่อไปได้บนแถบเส้น

### วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของโครงการนั้นสามารถแบ่งออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. เพื่อประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กว้างขวางมากขึ้น โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์บั้งคับเลียว เชนเซอร์ เป็นต้น
2. เพื่อศึกษาถึงการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของรถ
3. เพื่อออกแบบและทดลองสร้างรถขนของขนาดเล็ก ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ตามแถบเส้นที่กำหนดเส้นทางในการเคลื่อนที่ซึ่งคิดไว้ที่พื้น และสามารถหยุดได้เมื่อมีสิ่งกีดขวางมาขวางเส้นทางเคลื่อนที่
4. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ ( เชนเซอร์ ) โดยจะทำการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมมาใช้ในระบบการตรวจสอบเส้นทาง และระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวางของตัวรถ
5. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณมาจากอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ
6. เพื่อศึกษาและทดลองการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในการใช้เป็นตัวต้นกำลังสำหรับการขับเคลื่อนรถ ซึ่งรวมถึงแบตเตอรี่ที่ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานให้แก่ตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐานของแบตเตอรี่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เซนเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

#### 2.1 แบตเตอรี่ ( BATTERY )

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ซึ่งเราจะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดชนิดต่างๆ อย่างกว้างๆ ดังนี้

Non Spill Lead-Acid Battery แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. Standard Battery แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งาน จะมีการคายประจุในตัวเอง ( Self-Discharge ) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยการคายประจุในตัวเองดังกล่าว และนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้สำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

2. Permanent Battery แบตเตอรี่ชนิดนี้ สามารถเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลาหลายเดือนโดยไม่ต้องการดูแลรักษา และสามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือนเพราะมีการคายประจุในตัวเองต่ำ เนื่องจากใช้ตะกั่วผสม ( Lead Alloy ) ชนิดพิเศษ เหมาะสำหรับการใช้งานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบ Standard Battery

Recombining Sealed Lead-Acid Battery

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับโอเวอร์ชาร์จ ( Overcharge ) กรดซัลฟริกที่เป็นอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจน (  $H_2$  ) และออกซิเจน (  $O_2$  ) ทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น เราจึงต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ การเติมน้ำกลั่นเป็นข้อจำกัดในการนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน ดังนั้นเราจึงได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ให้ใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น คือ

1. แบตเตอรี่แบบ Non-Recombining หรือ Partially Recombining ใช้วิธีการอัดประจุที่ซับซ้อนเพื่อทำให้มีการเกิดก๊าซน้อยที่สุด แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับโอเวอร์ชาร์จเพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม โดยปกติในกรณีที่อุณหภูมิในการใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมาก แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซขึ้นภายในทำให้ความดันสูงขึ้น แต่แบตเตอรี่แบบนี้จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซไหลออกไป และจะปิดเองโดยอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลง ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดสนิทไว้ โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

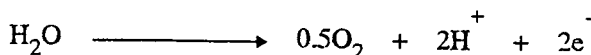
ภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซ ทั้งมีความต้านทานภายในต่ำและสามารถจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันให้คงที่ โดยจะอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุต่างๆ ในตอนแรก จากนั้นเมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น เราจะต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ และเมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่ โดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆ เพื่อป้องกันระดับแรงดันเกิน ( Over Voltage ) และ Electrolyte Loss Partially Recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ที่มีขนาดความจุเดียวกันสามารถนำมาต่อรวมกันแบบอนุกรมหรือขนานก็ได้ ถ้าอัดประจุแบบอนุกรม จะใช้แรงดันสูงและกระแสต่ำๆ แต่ถ้าทำการอัดประจุแบบขนานจะตรงข้ามกัน คือ ใช้แรงดันต่ำและกระแสสูงๆ แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถอัดและจ่ายประจุได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะดีกว่าแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม

2. แบตเตอรี่แบบ Fully Recombining โดยจะมีก๊าซเกิดขึ้น คือ ไฮโดรเจน (  $H_2$  ) หรือ ออกซิเจน (  $O_2$  ) แล้วรวมตัวกันเป็นน้ำ ทำให้ปริมาตรของอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง มีโครงสร้างคล้ายๆกับแบตเตอรี่แบบ Standard Cylindrical Ni-Cd ภายในใช้แผ่นโลหะผสมชนิดพิเศษ ( Alloy Plate Grids ) ซึ่งมีการรวมตัวของออกซิเจน (  $O_2$  ) ที่ดี อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับ ลักษณะการใช้งานและสภาพแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการคายประจุสูง ส่วนการอัดประจุส่วนใหญ่จะเป็นแบบ แรงดันและกระแสคงที่ และอื่นๆ

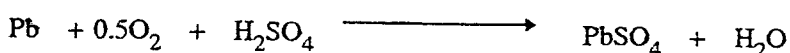
### ขบวนการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี



และในขั้นตอนสุดท้ายของการอัดประจุ จะได้ออกซิเจน (  $O_2$  ) ที่ขั้วบวก

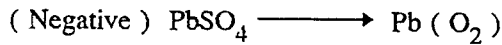
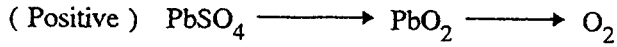


ออกซิเจนจะถูกดูดซับที่ขั้วลบ โดยจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนปฏิกิริยาการเกิดก๊าซ และการดูดซับก๊าซมีลักษณะดังต่อไปนี้



ออกซิเจนที่เกิดจากขั้วบวกจะถูกขั้วลบดูดซับแล้วเกิดปฏิกิริยา แต่ก๊าซออกซิเจนบางส่วนจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนมีความดันสูง แบตเตอรี่ก็จะมีช่องสำหรับระบายก๊าซนี้ออกไป เรียกว่า เซฟตี้วาล์ว ( Safety Valve )

สำหรับไฮโดรเจนก็เช่นกัน จะเกิดขึ้นเมื่อมีการโอเวอร์ชาร์จที่ขั้วลบ



### พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

1. การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ โดยการอัดประจุจะปรับค่าแรงดันที่อัดประจุ ซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิโดยการตรวจจับอุณหภูมิของสถานะแวดล้อม
2. เวลาที่อัดประจุเสร็จ เวลาที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุเต็มขึ้นอยู่กับสถานะการคายประจุ และลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย
3. อุณหภูมิในขณะที่ทำการอัดประจุ
  - 3.1 ควรอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0-40 องศาเซลเซียส
  - 3.2 อุณหภูมิที่ทำให้การอัดประจุมีประสิทธิภาพดีจะอยู่ในช่วง 5-35 องศาเซลเซียส
  - 3.3 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้อัดประจุได้ไม่มากเท่าที่ควร หรือร้อนเกินไป
4. โอเวอร์ชาร์จ คือ การอัดประจุเพิ่มเข้าไปอีก หลังจากที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุจนเต็มแล้ว ซึ่งมีผลทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง

### วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่

1. การอัดประจุด้วยกระแสคงที่ ( Constant Current charging )

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ว่า ไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิเหมือนการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ แต่ก็มีข้อเสียคือ ต้องระวังเรื่องเวลาในการอัดประจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการอัด

เอ็กสเตรนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุด้วยกระแสสูงๆ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลาอันสั้นเท่านั้น การอัดประจุด้วยอัตราสูง มีผลทำให้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงเกินไปน้ำจะเกิดการแตกตัวและมีความร้อนเกิดขึ้น วิธีการอัดประจุแบบนี้อาจใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอรี่ที่เก็บไว้นานแล้ว ซึ่งสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ทีเดียวหลายๆลูก

## 2. การอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ ( Constant Voltage Charging )

ใช้ในกรณีที่ต้องการให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะมีประจุเต็ม ( Fully Charge ) เสมอ แต่ต้องระวังเรื่องอัตราการอัดประจุสูงเกินไป การอัดประจุแบบนี้ทำให้แรงดันเอาท์พุทมีเสถียรภาพและมีความจุกระแสสูง สำหรับในช่วงที่แรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่ำๆ ความต้านทานแบตเตอรี่จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นกระแสที่อัดประจุจึงมีค่าสูงมาก เป็นผลให้เครื่องอัดประจุต้องมีขนาดใหญ่และราคาแพง อีกทั้งทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในแบตเตอรี่ ปกติเครื่องอัดประจุแบบแรงดันคงที่จะมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการจำกัดกระแสเริ่มต้น และในช่วงสุดท้ายของการอัดประจุ กระแสจะถูกทำให้ลดลงอย่างอัตโนมัติเป็นผลให้ประจุไม่เกิดการสลายตัว

## 3. การอัดประจุโดยการแทปกระแส ( Tapered Current Charging )

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อน และราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรกติฟาย และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ที่บีดสนิท เนื่องจากกระแสที่ใช้ในการอัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไฟไลน์ ( Line Voltage ) ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่เราก็สามารถลดผลอันนี้ได้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีแรงดันหุติขุมสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่ และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการจำกัดกระแส วิธีนี้สามารถใช้แทนวิธีการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ได้

## 4. คอมบิเนชัน ชาร์จจิง ( Combination Charging )

วิธีนี้บางที่เรียกว่า ทูเรต ( Two-Rate ) หรือ ทูสเต็ป ( Two-Step ) เกิดจากการรวมวิธี 2 วิธีเข้าด้วยกัน คือ แบบกระแสคงที่กับแบบแรงดันคงที่ โดยในขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุเร็ว และขั้นที่สองจะอัดประจุด้วยค่ากระแสต่ำๆ การสวิตซ์จากขั้นแรกไปเป็นขั้นที่สอง อาจทำได้หลายวิธี เช่น การตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่ ควบคุมเวลาในการอัดประจุ หรือ ตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

### การประยุกต์เพื่อนำใช้งาน

การนำแบตเตอรี่แบบซีลชนิด ตะกั่ว-กรด ( Sealed Lead-Acid ) มาประยุกต์ใช้งานนั้น สามารถแบ่งอย่างกว้างได้ 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. การทำงานแบบวนรอบ ( Cyclic Operation )

เป็นการทำงานเป็นรอบๆ ใช้เวลาในการอัดประจุสั้น ต้องป้องกันการอัดประจุและคายประจุเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยวิธีแรงดันคงที่ คือ การรักษาแรงดันเอาท์พุทไว้ที่ระดับสุดท้ายของการอัดประจุและจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุอาจสูงหรือต่ำเกินไป ในที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำ

## 2. การอัดประจุสำรอง ( Standby / Back up Charging )

ใช้ในงานที่ต้องการสำรองแบตเตอรี่ไว้ใช้ในยามต้องการ ซึ่งปกติแบตเตอรี่จะอยู่ในสถานะเต็มตลอดเวลาและจ่ายพลังงานไปให้โหลด เมื่อกระแสไฟจากแหล่งจ่ายเกิดผิดปกติ ส่วนการทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.1 ทรริคเคิล ชาร์จ ( Trickle Charge ) ระบบนี้แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายพลังงานให้โหลดหรืออุปกรณ์ ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่อกับโหลด แต่พอเกิดความผิดปกติกับแหล่งจ่ายไฟขึ้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมเข้ากับโหลดเพื่อจ่ายพลังงานแทน แบบ ทรริคเคิล ชาร์จ นี้จะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับการคายประจุในตัวเอง ( Self Discharge ) โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อเนื่องที่กระแสคงที่ต่ำๆ เพื่อให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาพมีประจุเต็มตลอดเวลา ในกรณี ดีพ ดิสชาร์จ ( Deep Discharge ) จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ฉะนั้นวิธี คอมบินเนชั่น ชาร์จจึงกับ วิธีการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ จะเหมาะสมมากในการใช้อัดประจุแบตเตอรี่แบบนี้ เนื่องจากมีโหมคการอัดประจุแบบเร็วในตอนเริ่มต้น โดยเฉพาะวิธีคอมบินเนชั่น ชาร์จจึง จะเหมาะสมมากกว่าเพราะไม่จำเป็นต้องชดเชยทางอุณหภูมิ

2.2 โฟลทชาร์จ ( Float Charge ) แบบนี้โหลดและแบตเตอรี่จะต่อกันแบบขนานกับวงจรเรกติฟาย แบบนี้จะใช้ได้เฉพาะการอัดประจุด้วยวิธีใช้แรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุจะต้องมีเสถียรภาพ การกระเพื่อมอย่างมากของแรงดันที่อัดประจุ มีผลให้แบตเตอรี่คายประจุเพียงเล็กน้อย เครื่องอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ จะต้องถูกออกแบบให้จ่ายได้ที่โหลดมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แบบโฟลทชาร์จจะสั้นกว่าแบบทรริคเคิล ชาร์จ

## 2.2 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนมีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ 16.5 แอมแปร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกควบคุมโดยสัญญาณจากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 **คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ ( Motor Characteristics )** คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ก็คือ เส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ที่จะพิจารณามีดังนี้

1) แรงบิดและกระแสอาร์มาเจอร์ก็คือ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง “แรงบิดกับกระแสนั่นเอง ( $T/I_a$ )” คุณลักษณะชนิดนี้รู้จักกันในรูปของ **คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical Characteristic)**

2) ความเร็วและกระแสอาร์มาเจอร์ก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสที่ไหลในอาร์มาเจอร์ นั่นคือ คุณลักษณะของ ( $S/I_a$ )

3) ความเร็วและแรงบิด ก็คือ การแสดงความสัมพันธ์ โดยใช้เส้นกราฟระหว่างความเร็วกับแรงบิด ( $S/T$ ) คุณลักษณะเช่นนี้เรียกว่า **“คุณลักษณะทางกล (Mechanical Characteristic)”** คุณลักษณะข้อนี้หาได้จากข้อ 1) และข้อ 2)

ในการอธิบายหรือวิจารณ์เกี่ยวกับเรื่องคุณลักษณะของมอเตอร์นี้ เราควรที่จะคำนึงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณที่ควรสนใจเอาไว้ในใจดังนี้

$$T \propto \Phi I_a$$

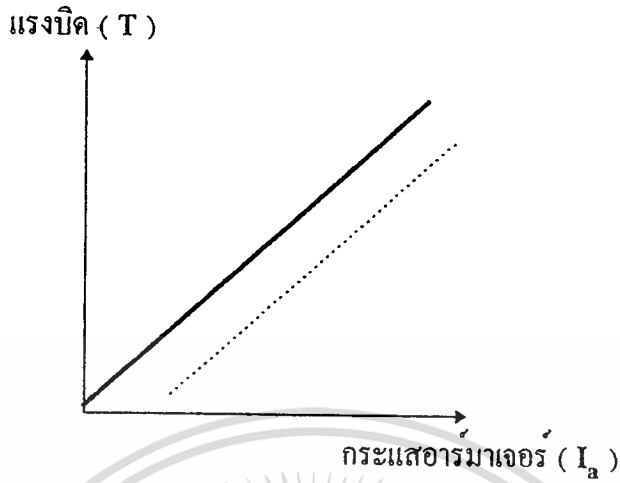
และ

$$S \propto E_b / \Phi$$

2.2.1-1 **คุณลักษณะประจำของมอเตอร์แบบขนาน (Characteristics of Shunt Motors)** คุณลักษณะที่พิจารณามีดังนี้

1) คุณลักษณะระหว่างแรงบิด  $T$  กับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ในการพิจารณาคุณสมบัติเช่นนี้จะกำหนดให้ว่า เส้นแรงแม่เหล็ก  $\Phi$  ที่เกิดจากสนามกระตุ้นมีค่าคงที่ตลอดไป แม้ว่าเมื่อมอเตอร์ได้รับภาระมาก จะทำให้  $\Phi$  ลดลงไปที่ตามนั่นคือให้  $\Phi$  เป็นค่าคงที่กับ  $I_a$  คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



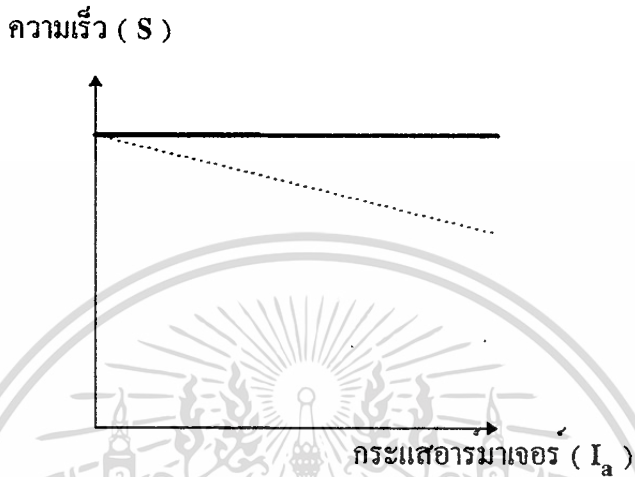
รูป 2.1 แรงบิด( T )กับกระแสอาร์มาเจอร์( I<sub>a</sub> )ของมอเตอร์ขนาน

$$T \propto \phi I_a \dots\dots\dots (\phi = \text{คงที่})$$

นั่นคือ เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง T กับ I<sub>a</sub> จึงได้กราฟเป็นเส้นตรงโดยเริ่มต้นจากค่าศูนย์ด้วยกันทั้งคู่ ดังรูป 2.1 เส้นกราฟที่ได้นี้เป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้น (Original) แรงบิด T ที่พล็อตนี้ เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นที่อาร์มาเจอร์ ดังนั้น แรงบิด T<sub>sh</sub> ที่เกิดที่แกน (shaft) ของมอเตอร์ เมื่อส่งออกมาข้างนอกนั้นจึงต้องมีค่าน้อยกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้น T ณ ที่ค่ากระแส I<sub>a</sub> เดียวกัน ซึ่งเห็นได้ในรูป 2.1 ดังเส้นประ การที่ T<sub>sh</sub> น้อยกว่า T ที่ค่ากระแสเดียวกันนี้เนื่องจากว่าต้องสูญเสียแรงบิดจำนวนหนึ่งไปเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่แกน (shaft) ได้รับความแข็งแรงที่ลดลงไป ดังนั้น เส้นกราฟของ T<sub>sh</sub> จึงมีความชันเท่ากับเส้นกราฟของ T จากรูปนี้พบว่าเราไม่อาจใช้มอเตอร์แบบขนานสตาร์ทในขณะที่มีโหลดหนัก ๆ ได้ เพราะการทำเช่นนั้นย่อมทำให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสจำนวนมากมาเข้าไปใช้ด้วย นั่นคือมอเตอร์แบบขนานจะไม่ใช้ในการสตาร์ทโหลดที่หนัก ๆ

2) คุณลักษณะระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์มาเจอร์ I<sub>a</sub> ในการพิจารณากรณีนี้ ก็ยังคงให้  $\phi$  คงที่ตลอดไป นั่นคือ จะได้ค่าความเร็ว S เป็นสัดส่วนโดยตรง นั่นคือ E<sub>b</sub> ต้องคงที่ด้วย แต่ถ้าจะกล่าวกันตามความเป็นจริงแล้ว ทั้ง E<sub>b</sub> และ  $\phi$  ลดไปเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น แต่การลดของ E<sub>b</sub> นี้จะลดลงไปมากกว่าการลดของ  $\phi$  ฉะนั้นเมื่อรวมผลทั้งหมดที่เกิดขึ้นแล้ว ความเร็วย่อมลดลงไป (เนื่องจาก E<sub>b</sub> ลดไปเป็นอัตราส่วนมากกว่า  $\phi$ ) ดังรูป 2.2 ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

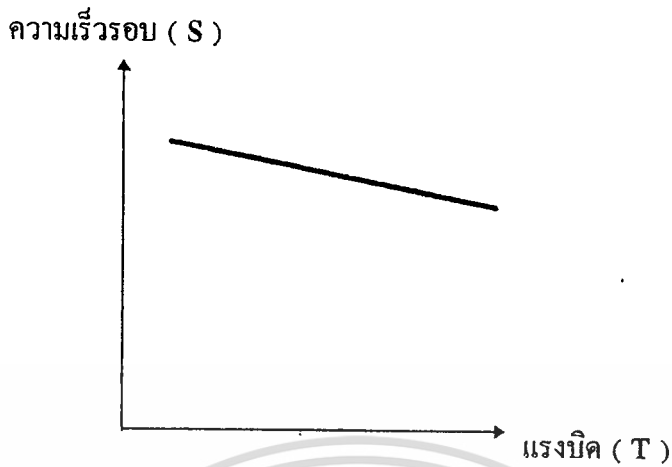
แสดงด้วยเส้นประเมื่อมอเตอร์ได้รับโหลด แต่ในทางปฏิบัติแล้ว มักใช้มอเตอร์แบบขนาน เมื่อต้องการความเร็วคงที่



รูป 2.2 ความเร็ว  $S$  กับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ของมอเตอร์ขนาน

เนื่องจากมอเตอร์แบบขนาน ( shunt motor ) นี้ไม่มีการเปลี่ยนหรือลดความเร็วไปมากนัก จากเมื่อตอนมีภาระเต็มๆ ดังนั้นจึงต่อเข้าหรือตัดออกได้จากภาระ(load) โดยทันทีทันใดได้ โดยไม่ต้องเกรงว่าจะมีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตราย อย่างไรก็ตามมอเตอร์แบบนี้ให้แรงบิดเริ่มแรกต่ำ (low starting torque) ฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้กับโหลดที่ต้องการแรงบิดเริ่มแรกสูง แต่เนื่องจากว่าเป็นมอเตอร์แบบที่มีความเร็วค่อนข้างจะคงที่มาก ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อนของเครื่องกลึง, machine tools, wood-working machines และเครื่องจักรชนิดต่างๆ ที่ต้องการความเร็วคงที่โดยประมาณ

3) คุณลักษณะประจำของเครื่องระหว่างความเร็ว  $S$  กับแรงบิด  $T$  นี้ก็อาศัยจากหลักการที่ได้ในข้อ (1) และ (2) ข้างบนนั่นเอง จากข้อ (1) ทราบว่าแรงบิด  $T$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ดังรูป 2.1 ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ  $S$  กับแรงบิด  $T$  ดังรูป 2.3



รูป 2.3 ความเร็วรอบ S กับแรงบิด T ของมอเตอร์ขานาน

2.2.1-2 คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ชนิดอนุกรม (Characteristics of Series Motors) เป็นคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ในเรื่องของแรงบิด T กระแสในอาร์มาเจอร์  $I_a$  และความเร็ว S ของมอเตอร์ชนิดนี้เช่นกัน โดยแบ่งการพิจารณาความสัมพันธ์แต่ละอย่างได้ดังนี้

1) คุณลักษณะประจำระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ในการพิจารณานี้ สามารถพิจารณาได้จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด T กับกระแส  $I_a$  จากสมการที่ได้พิสูจน์มาแล้วในตอนต้นนั้นคือ

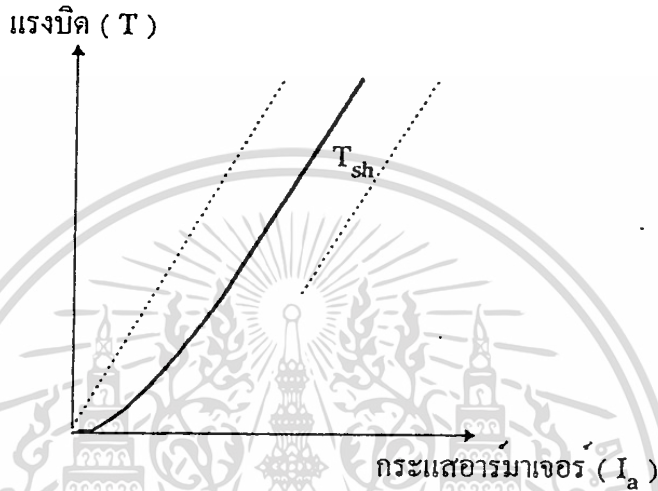
$$T \propto \Phi I_a$$

$$\text{แต่ } \Phi \propto I_a$$

$$T \propto I_a^2$$

นั่นคือ  $T/I_a$  curve จะเป็นพาราโบลา (parabola) ดังรูป 2.4 ฉะนั้น ขณะที่โหลดน้อย  $I_a$  ก็จะน้อยและ  $\Phi$  ก็จะน้อย และเมื่อโหลดมากขึ้น จะได้แรงบิด T เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกับกระแสอาร์มาเจอร์กำลังสอง แต่เมื่อโหลดเพิ่มมากขึ้นจนทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวแล้ว ก็จะพบว่าแรงบิดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่เพิ่มขึ้น ( $T \propto I_a$ ) เพียงอย่างเดียว นั่นคือได้เส้นกราฟระหว่าง T กับ  $I_a$  เป็นเส้นตรง ส่วนแรงบิดที่จ่ายออกมาก็ที่แกนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( $T_{sh}$ =Shaft torque) นั้น มีค่าน้อยกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้น  $T$  เพราะมีการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน แรงลมและค่าสูญเสียที่คงที่อื่น ๆ อีก ค่าสูญเสียเหล่านี้คือ “ Stray losses ” แรงบิด  $T_{sh}$  นี้ แสดงไว้ในรูปค้ำวเส้นประแล้ว



รูป 2.4 แรงบิด ( $T$ ) กับกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ของมอเตอร์อนุกรม

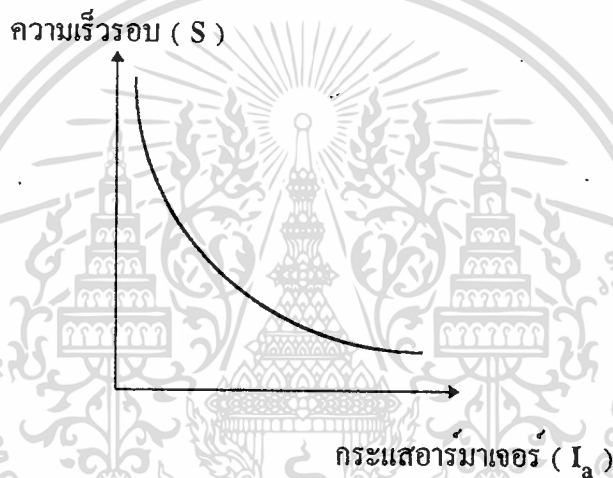
จากคุณลักษณะระหว่างแรงบิด  $T$  กับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ที่กล่าวมาแล้วจากข้างบนนี้ จึงสรุปได้ว่า มอเตอร์แบบอนุกรมนี้เหมาะสำหรับที่จะโหลด Load เริ่มแรกที่มี load หนัก ๆ ได้ ( ในขณะที่ยังไม่มีการอิมิต์วของเส้นแรงแม่เหล็ก ) ดังนั้น จึงเหมาะที่จะใช้กับโหลดหนักๆ ในขณะเริ่มแรก เช่น ปั่นจั่น ( hoist ) รถไฟฟ้า ( electric trains ) และอื่น ๆ

2) คุณลักษณะประจำระหว่างความเร็ว  $S$  กับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ของมอเตอร์อนุกรม การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว  $S$  กับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ใ้รับเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบนี้เพื่อนำไปใช้งานนั่นเอง อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะเช่นนี้ สามารถดูได้จากความสัมพันธ์ของสมการคือ

$$S \propto E_b / \Phi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ พบว่าความเร็ว  $S$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนสวนกลับ  $E_b$  แต่  $E_b$  นี้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ไม่ว่าที่ค่าภาระทางกลใด ๆ ก็ตาม และพบว่าความเร็ว  $S$  แปรผกผันกับเส้นแรงแม่เหล็ก  $\emptyset$  แต่เส้นแรงแม่เหล็ก  $\emptyset$  นี้แปรผกผันโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์  $I_a$  นั่นคือ ความเร็วแปรผกผันกับกระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  ฉะนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด จึงทำให้ความเร็ว  $S$  มีการแปรผกผันกับ  $\emptyset$  มากกว่า  $E_b$  มาก นั่นคือ  $S$  แปรผกผันกับ  $I_a$  โดยตรงนั่นเอง ดังรูป 2.5

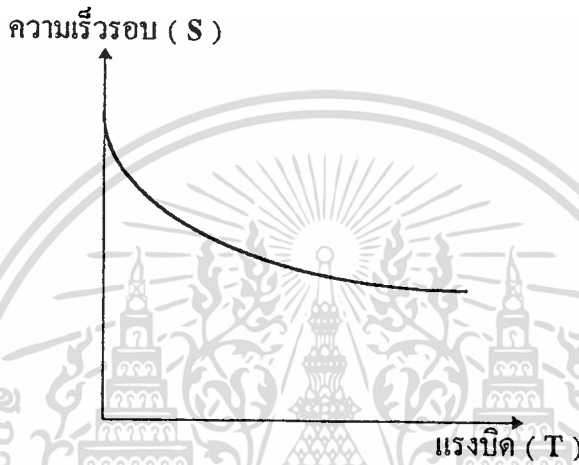


รูป 2.5 ความเร็วรอบ ( $S$ ) กับกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) ของมอเตอร์อนุกรม

เมื่อมีโหลดมาก ๆ จะทำให้มอเตอร์ใช้กระแสอาร์มาเจอร์  $I_a$  มาก ๆ ด้วย ดังนั้น ความเร็วของมอเตอร์แบบนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว (ซึ่งทำให้โหลด  $E_b$  ลงไปด้วยและนั่นก็คือกระแสอาร์มาเจอร์ไหลเข้าไปในมอเตอร์มากขึ้น) แต่ในกรณีที่มอเตอร์มีโหลดน้อย ๆ กระแสอาร์มาเจอร์จะน้อย  $\emptyset$  ก็จะน้อยลงไปด้วยจำนวนมาก ดังนั้นความเร็ว  $S$  ก็จะสูงขึ้น จนอาจเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ นั่นคือ สำหรับมอเตอร์แบบอนุกรมนี้ต้องไม่สตาร์ทหรือให้เริ่มหมุนในขณะที่ไม่มีโหลดมิฉะนั้นแล้ว จะทำให้มีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ได้ อันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้น ในที่นี้ควรจะสังเกตว่า มอเตอร์แบบนี้เป็นมอเตอร์แบบที่มีความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด

3) คุณลักษณะทางกลของเครื่อง ( Mechanical Characteristic ) หรือความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว  $S$  กับแรงบิด  $T$  ที่เกิดขึ้น ความสัมพันธ์ในกรณีนี้อาศัยหลักเกณฑ์จากข้อ (1) และ (2) ที่กล่าวมาแล้วข้างบน โดยที่พบว่า  $T$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ  $I_a$  เมื่อตอนที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∅ ยังไม่อิ่มตัว แต่เมื่อ ∅ อิ่มตัวแล้ว ก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ  $I_a$  เท่านั้น และยังพบจากข้อ (2) อีกว่า เมื่อความเร็วสูงๆ นั้นมีโหลตน้อย ( $I_a$  น้อย) ส่วนความเร็วต่ำโหลตมาก ( $I_a$  มาก) ดังนั้นจึงนับได้ว่าเมื่อความเร็วสูง มอเตอร์ก็ให้แรงบิดต่ำและในทำนองกลับกัน เมื่อความเร็วต่ำก็ให้แรงบิดสูง ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด  $T$  กับความเร็ว  $S$  ไว้ในรูป 2.6



รูป 2.6 ความเร็วรอบ (S) กับแรงบิด (T) ของมอเตอร์อนุกรม

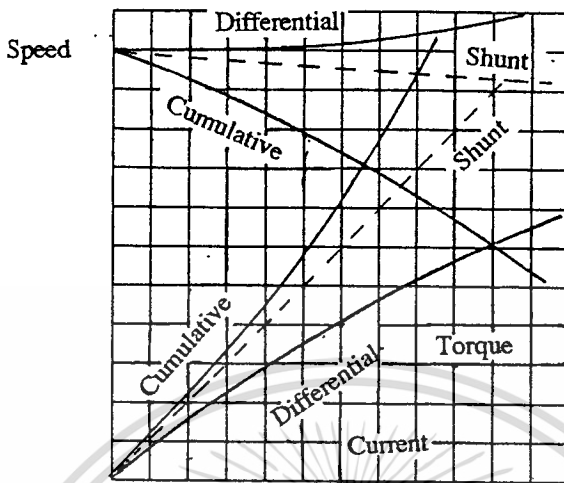
### 2.2.1-3 คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบผสม (Characteristic of

*Compound Motor*) ลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบนี้ก็คือ การนำเอาคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ทั้ง 2 แบบมาผสมกัน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน มอเตอร์แบบผสมนี้แบ่งเป็น 2 แบบ โดยแบ่งตามลักษณะการต่อขดลวดสนามแบบอนุกรม (series field) เพิ่มเข้าไปให้กับมอเตอร์แบบขนาน (shunt motor) ดังนี้

- 1) มอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมหรือเสริมสนามแม่เหล็กให้มากขึ้น (Cumulative Compound Motor) มอเตอร์แบบนี้จะต่อสนามอนุกรมเพิ่มเข้าไป โดยให้มีสนามแม่เหล็กที่ต่อเพิ่มเข้าไปนี้ไปช่วยเพิ่ม หรือเสริมกับสนามแม่เหล็กขนาน (shunt field) ของมอเตอร์แบบขนาน ดังนั้น จึงทำให้มอเตอร์แบบนี้รวมคุณลักษณะของมอเตอร์ที่เป็นทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานเข้าด้วยกัน นั่นคือ ขณะที่มอเตอร์ได้รับโหลตสนามอนุกรมก็เพิ่มสนามแม่เหล็กขึ้น จึงทำให้เกิดแรงบิดมากขึ้นกว่าเมื่อเป็นมอเตอร์แบบขนาน (shunt motor) และอาจกล่าวไปในทางอื่นก็ได้ คือ จากการเพิ่มสนามแม่เหล็กนี้ ย่อมทำให้ความเร็วลดลงไปรวดเร็วกว่าเมื่อเป็นมอเตอร์แบบขนาน นั่นคือเมื่อเพิ่มสนามแม่เหล็กเข้าไปที่สนามแม่เหล็ก ก็ย่อมทำให้ความเร็วลด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงอย่างรวดเร็วกว่าเมื่อเป็นมอเตอร์แบบขนาน ดังรูป 2.7



รูป 2.7 Electromagnetic torque ( developed ) and speed characteristics of shunt and compound motors

มอเตอร์แบบนี้เกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์สูงในขณะที่ได้รับโหลดทันทีทันใด และยังมีความเร็วที่ค่าหนึ่ง ในขณะที่ไม่มีภาระหรือโหลดนั้นก็คือ แม้วางจะไม่มีภาระก็ไม่ทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงเกินไปจนเกิดอันตรายได้

ในการนำมอเตอร์ชนิดนี้ไปใช้งานนั้น มักนำไปใช้กับการขับโหลดที่หนักๆ เช่น เครื่องโม่หิน เครื่องตัดเหล็ก เครื่องอัดย่ำ หรือ ลิฟท์ (elevator) เป็นต้น เครื่องจักรกลต่าง ๆ เหล่านี้ มักไม่สะดวกในการนำมอเตอร์แบบอนุกรม ( series motor ) มาใช้เพราะมอเตอร์อนุกรมนี้อาจต้องต่อกับโหลดตลอดเวลา

ในการนำมอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมไปใช้กับลิฟท์นั้น มักจะทำการลัดวงจรขดสนามอนุกรม เมื่อมอเตอร์มีความเร็วถึงที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วของลิฟท์ในการเคลื่อนที่ขึ้นลงมีค่าสม่ำเสมอ

ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของมอเตอร์แบบนี้ก็คือ สามารถปรับความเร็วของตัวเองให้ลดลงโดยอัตโนมัติ ในขณะที่ได้รับโหลดทันที ในการเพิ่มพลังงานกลสะสมของเครื่องแบบนี้ ทำได้โดยการต่อสายพาน ( pulley ) เข้าไป ซึ่งจะช่วยให้มีเสถียรภาพในการใช้งานดีขึ้น

2) มอเตอร์แบบผสมชนิดที่มีสนามแตกต่าง ( Differential-Compound ) หรือชนิดที่สนามอนุกรมหักล้างกับสนามขนาน มอเตอร์ชนิดนี้มีสนามอนุกรมสวนทางกับสนามขนาน ดังนั้นจึงทำให้สนามแม่เหล็กลดลง ขณะที่มอเตอร์ได้รับโหลดเพิ่มขึ้น ฉะนั้นจึงทำให้มอเตอร์มีความเร็วคงที่ชั่วขณะหนึ่ง หรือความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นดังรูป 2.7 จากคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของมอเตอร์ที่ว่า เมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นตามโหลดที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้อัตราความเร็วที่เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนของโหลดที่มีค่าคงที่ที่สอดคล้องกับการเพิ่มโหลดนั้น ๆ หรือกล่าวง่าย ๆ ก็คือว่า เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลด มากขึ้นนั้น แทนที่จะมีความเร็วลดลงไปก็กลับกลายเป็นว่ามีความเร็วเพิ่มขึ้นมาเท่าเดิมตามที่โหลดเพิ่มขึ้น ดังนั้น มอเตอร์ชนิดนี้จึงต้องการนำไปใช้กับโหลดที่ต้องการให้มีความเร็วคงที่มาก ๆ ในขณะที่โหลดเพิ่มมากขึ้น แต่มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า เมื่อได้รับโหลดมากเกินไป ย่อมทำให้สนามแม่เหล็กอ่อนลงไปมาก นั่นคือความเร็วของมอเตอร์ ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ๆ อย่างไม่มีเสถียรภาพ ( instability ) และทำให้มอเตอร์วิ่งเกินเลยไป ซึ่งจะทำความเสียหายกับมอเตอร์

ในการทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน ต้องทำการลัดวงจรสนามอนุกรม ทั้งนี้เพราะขณะเริ่มหมุน มอเตอร์กินกระแสไฟมาก ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสนามอนุกรมอาจมีค่ามากกว่าค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสนามขานาน ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนผิดทิศทางได้

## 2.2.2 กำลังงานสูญเสีย ( Losses )

กำลังงานสูญเสีย คือกำลังงานที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ แต่เสียไปในรูปความร้อนเป็นส่วนมาก จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน ( Law of conservative of energy ) กำลังงานที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานในรูปต่างๆ และถ้ารวมกำลังงานที่เปลี่ยนรูปไปนี้เข้าด้วยกันแล้วจะเท่ากับกำลังงานที่เกิดขึ้น

กำลังงานที่เสียไปโดยเปล่าประโยชน์นี้ เราเรียกว่า กำลังงานสูญเสีย

ส่วนกำลังงานที่ใช่ทำให้เกิดประโยชน์ได้นี้ เรียกว่า Useful Power

เราสามารถแบ่งกำลังงานสูญเสียออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ กำลังงานสูญเสียทางกล ( Mechanical Loss ) และกำลังงานสูญเสียทางไฟฟ้า ( Electrical Loss ) โดยในแต่ละชนิดก็สามารถแบ่งย่อยๆ ได้ดังต่อไปนี้

### 2.2.2-1 กำลังงานสูญเสียทางกล เป็นกำลังงานที่สูญเสียไปในลักษณะต่างๆ ดังนี้

1 ) กำลังงานสูญเสียไปในความเสียด ( Friction Loss ) เกิดขึ้นที่เพลา แบริงที่คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน ซึ่งมีการเสียดสีกัน เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้กำลังงานจำนวนหนึ่งในการเอาชนะความเสียดเหล่านี้ ยิ่งความเสียดมีน้อยเพียงใด กำลังงานที่ต้องสูญเสียไปในการเอาชนะความเสียดนั้นก็ลดลงได้มากเท่านั้น โดยปกติแล้วกำลังงานที่สูญเสียไปในรูปความเสียดนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็ว  $S$  ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $P_f = k_f S$  เพื่อการศึกษา วัตถุประสงค์นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กำลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานของอากาศ ( Windage Loss ) เกิดขึ้นในส่วนที่หมุนได้ของเครื่องจักรจะเสียดสีกับอากาศ ซึ่งทำให้สูญเสียกำลังงานไปจำนวนหนึ่ง โดยมีค่าขึ้นอยู่กับกำลังสามของความเร็ว  $S$

$$P_w = k_w S^3 \quad \text{วัตต์}$$

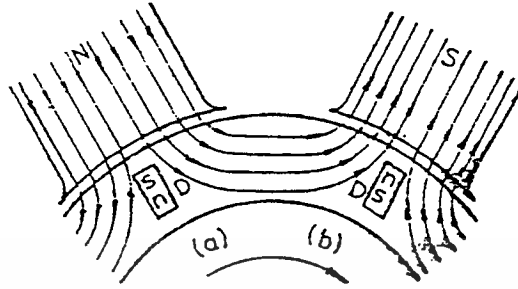
2.2.2-2 กำลังงานสูญเสียทางไฟฟ้า เป็นกำลังงานที่สูญเสียในอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เช่น

1) ขดลวดทองแดง ( Copper Loss ) ค่าการสูญเสียจะอยู่ในรูป  $I_a^2 R_a$

2) หน้าสัมผัสระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งจะมีความต้านทานอยู่ค่าหนึ่งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักของหน้าสัมผัสสว่ากดแน่นเพียงใด ค่ากำลังงานที่สูญเสียไปที่หน้าสัมผัสนี้จะสูญเสียในรูปของความร้อน ซึ่งมีค่าประมาณ 2 เท่าของกระแสอาร์มาเจอร์ ( $I_a$ ) และมีหน่วยเป็นวัตต์ โดยเรากำหนดให้ค่าแรงดันที่หน้าสัมผัสของแปรงถ่านมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ ( เป็นแรงดันระหว่างหน้าสัมผัสของแปรงถ่านและทองแดง รวมทั้งแรงดันตกคร่อมภายในเนื้อแปรงถ่านซึ่งมีค่าระหว่าง 0.5-4 โวลต์

3) กำลังงานที่สูญเสียในรูปฮิสเทอรีซิส ( Hysteresis Loss ) คือเป็นกำลังงานที่สูญเสียไปในการพลิกผันให้โคเมน  $D$  ของเหล็กกลับไปที่กลับอยู่ตลอดเวลา ดังรูป 2.8-4 แทนโคเมนของเหล็กในอาร์มาเจอร์ เมื่อ  $D$  อยู่ได้ชั่ว  $S$  จะเรียงตัวดังรูป และเมื่อมันมาอยู่ได้ชั่ว  $N$  ก็จะกลับตัวเสียใหม่ การที่โคเมนจะกลับไปที่กลับมาได้นั้นจะต้องให้กำลังงานจำนวนหนึ่งแก่โคเมนนี้ ยิ่งเหล็กมีปริมาตรมากก็จะมีโคเมนมาก และต้องใช้กำลังงานมากด้วย โดยกำลังงานที่ต้องเสียไปนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาตรของเหล็ก ชนิดเหล็ก หรืออาจจะดูได้จากวงรอบของฮิสเทอรีซิส ( Hysteresis Loop ) ถ้าวงรอบมีขนาดใหญ่ก็แสดงว่ามีการสูญเสียกำลังงานมาก ค่ากำลังงานสูญเสียขึ้นอยู่กับค่ากำลัง 1.6 ของความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด  $B_{max}$  และก็ยังขึ้นอยู่กับความเร็วของเครื่องจักรด้วย

$$P_h = k_h S (B_{max})^{1.6} \quad \text{วัตต์}$$



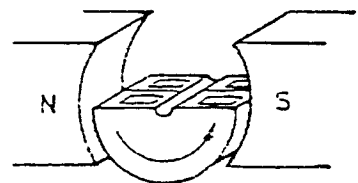
รูป 2.8 แสดงฮีตเทอรีซิส ลูปที่เกิดจากการกลับไปกลับมาของโดเมน D ของเหล็ก

4) กำลังงานที่สูญเสียจากกระแสไหลวน ( Eddy Current Loss ) จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออาร์มาเจอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็ก อาร์มาเจอร์จะสร้างอิเล็กโตรโมทีฟฟอร์ซ ( Electromotive Force, emf ) ขึ้นและจะครบวงจรในตัวเอง จึงทำให้มีกระแสไหลวนอยู่ในเนื้อเหล็ก เราสามารถลดกระแสไหลวนนี้ให้น้อยลงได้ โดยการทำอาร์มาเจอร์เป็นแผ่นๆ แล้วยันด้วยฉนวนทั้งสองด้าน นำมาซ้อนกันเป็นแท่งอาร์มาเจอร์แทน กระแสไหลวนนี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง และกำลังงานที่สูญเสียไปนี้จะขึ้นอยู่กับค่ากำลังสองของความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงสุด กำลังสองของความถี่รอบ และความหนาของแผ่นอาร์มาเจอร์ t

$$P_e = k_e S (B_{max})^2 t \quad \text{วัตต์}$$



รูป 2.9 ( ก ) กระแสไหลวนในอาร์มาเจอร์ที่ไม่ได้ทำเป็นแผ่นๆ

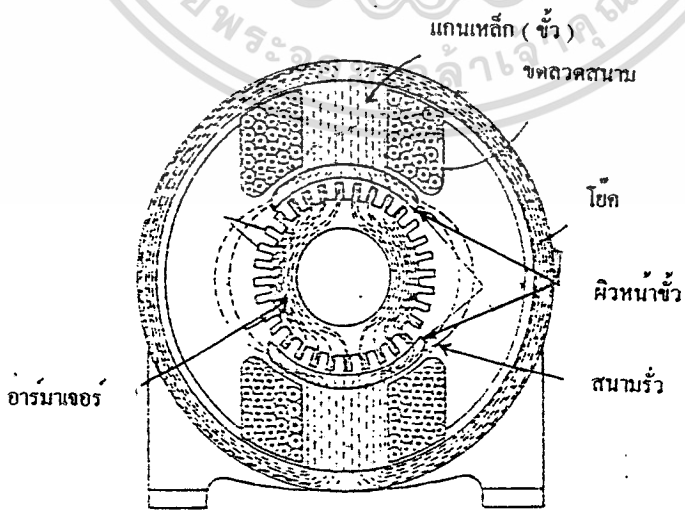


รูป 2.9 ( ข ) กระแสไหลวนในอาร์มาเจอร์ที่ทำเป็นแผ่นแล้วนำมาซ้อนกัน



5) กำลังงานที่สูญเสียที่ผิวหน้าของขั้ว ( Pole Face Loss ) ที่ผิวหน้าของขั้วจะมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลา ดังรูป 2.10 เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วที่มายังอาร์มาเจอร์จะหนาแน่นอยู่ที่ซี่ฟันของอาร์มาเจอร์ เมื่อซี่ฟันเหล่านี้เคลื่อนที่ไปเส้นแรงแม่เหล็กเหล่านี้จะเคลื่อนที่ตามไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง หมายความว่า จะมีการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผิวหน้าขั้วอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการสูญเสียจากฮีสเทอรีซิสและกระแสไหลวนเช่นเดียวกับในอาร์มาเจอร์ การที่มีกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่อาร์มาเจอร์และที่ผิวหน้าของขั้วนี้เอง เป็นสาเหตุให้เราจึงต้องทำอาร์มาเจอร์และขั้วแม่เหล็กเป็นแผ่นๆ แล้วจึงนำมาประกอบเป็นรูปร่างที่หลังเพื่อลดกระแสไหลวนให้น้อยลง ค่ากำลังงานสูญเสียที่กล่าวมาในข้อ 3 ), 4 ) และ 5 ) นี้เราเรียกว่า กำลังงานที่สูญเสียในคอร์ ( Core Loss หรือ Iron Loss )

6) กำลังงานสูญเสียปลีกย่อย ( Stray Load Loss ) เป็นกำลังงานสูญเสียที่เราไม่สามารถวัดได้ กำลังงานสูญเสียเหล่านี้เสียไปเนื่องจากมีเส้นแรงแม่เหล็กรั่ว หมายความว่า มีการเสียพลังงานจำนวนหนึ่งไปจากการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมา แต่ไม่ได้ใช้หมด ผลของการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วก็คือ เมื่อมีปฏิกิริยาอาร์มาเจอร์ สนามแม่เหล็กจะถูกทำให้เบี่ยงเบนไป ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กไม่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ค่าการสูญเสียจากฮีสเทอรีซิสและกระแสไหลวนที่คิดจากสูตรในข้อ 3 ) และ 4 ) จึงไม่ถูกต้องเพราะสนามแม่เหล็ก B ไม่เท่ากันตลอดทุกส่วน นอกจากนี้ยังมีค่ากระแสไหลวนในขดลวดทองแดงซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์อีกด้วย โดยทั่วไปเราคิดให้ค่ากำลังงานสูญเสียที่เกิดจากกรณีนี้เป็น 1 เปอร์เซ็นต์ของกำลังงานที่จ่ายออกมา



รูป 2.10 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าขั้ว

### 2.2.3 ประสิทธิภาพ ( Efficiency )

ประสิทธิภาพ คือตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าเครื่องจักรทำงานได้เป็นที่เท่าของงานที่เสียไป หรือ กำลังงานเอาต์พุตเป็นที่เท่าของกำลังงานอินพุต โดยอาจจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับอินพุตก็ได้ คือ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \text{กำลังงานเอาต์พุต} / \text{กำลังงานอินพุต} ( \times 100 \% )$$

เนื่องจากกำลังงานอินพุต = กำลังงานเอาต์พุต + กำลังงานที่สูญเสียไปในส่วนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เราสามารถหาค่าประสิทธิภาพได้อีกวิธีหนึ่ง เรียกว่า Conventional Efficiency ดังต่อไปนี้

$$\text{Conventional Efficiency Of Generator} = \text{Output} / ( \text{Output} + \text{Losses} )$$

$$\text{Conventional Efficiency Of Motor} = ( \text{Input} - \text{Losses} ) / \text{Input}$$

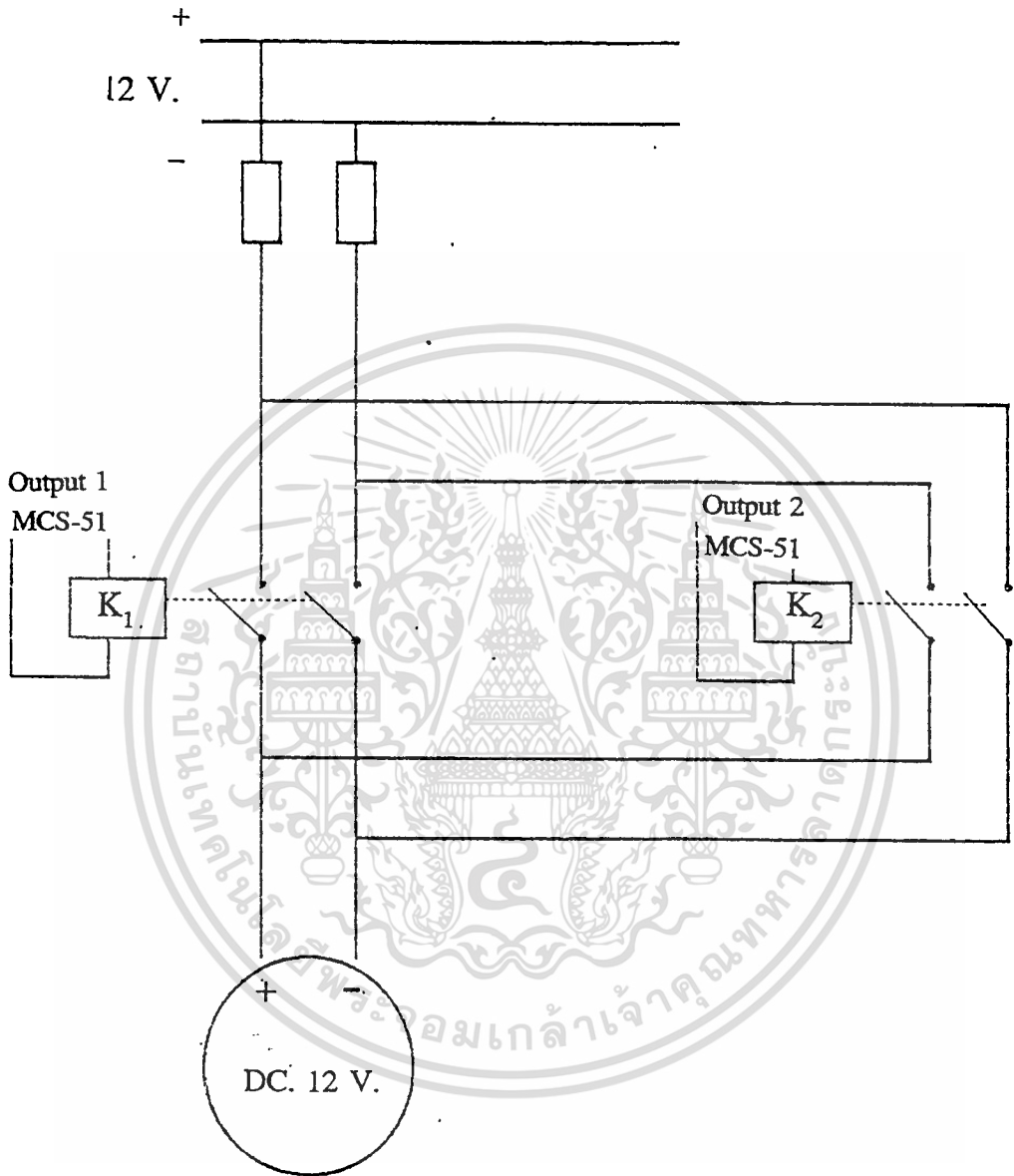
### 2.3 ระบบบังคับเดี่ยว

มอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ของรถจะอยู่ทางด้านหน้า ซึ่งจะใช้มอเตอร์ขนาด 12 โวลท์, 45 วัตต์, 120 รอบ/นาที ซึ่งการทำงานของมอเตอร์นี้จะได้รับสัญญาณควบคุมจากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ( การเลี้ยวขวาหรือซ้ายนั้นจะขึ้นอยู่กับการทำงานของเซนเซอร์ ซึ่งจะส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อีกที จะอธิบายในหัวข้อของเซนเซอร์ ) ซึ่งจะทำให้การปรับมุมเลี้ยวของมอเตอร์สัมพันธ์กับทิศทางเดินตลอดเวลา

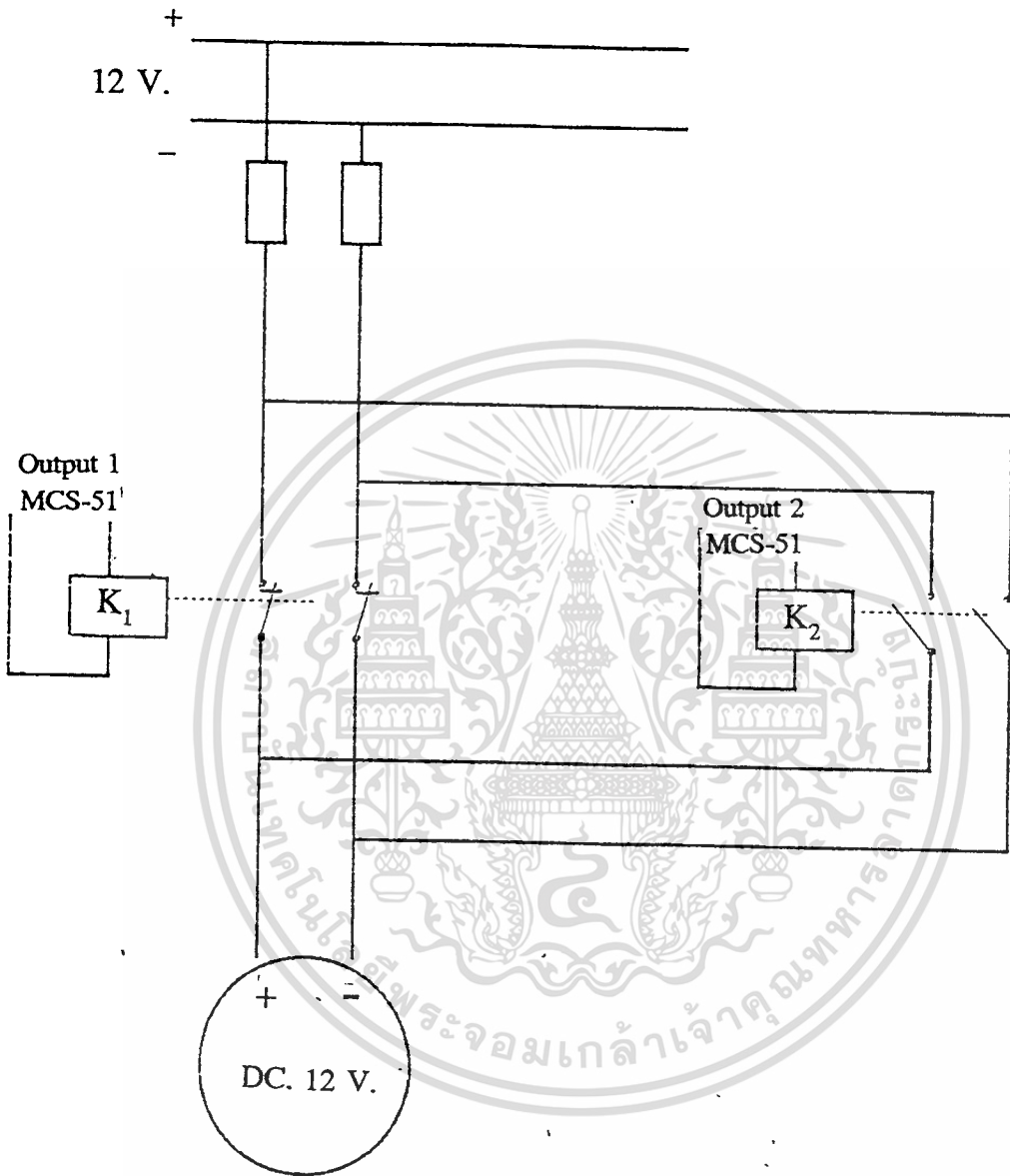
จากรูป 3.4.1 เป็นวงจรควบคุมระบบบังคับเดี่ยวประกอบด้วย มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลท์ , รีเลย์แบบไฟตรงขนาด 12 โวลท์ จำนวน 2 ตัว , ฟิวส์ขนาด 5 แอมแปร์ 2 ตัว

การต่อวงจรไฟตรง 12 โวลท์จะได้รับจากแบตเตอรี่ การต่อวงจรโดยการเชื่อมหน้าสัมผัสของ รีเลย์  $K_1$  และ  $K_2$  จากฟิวส์ไปยังมอเตอร์บังคับเดี่ยว จะเป็นลักษณะการกลับขั้วของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยหากรีเลย์  $K_1$  “ ON ” มอเตอร์จะถูกต่อกับขั้วบวกขั้วลบตรงกัน มตศหาก รีเลย์  $K_2$  “ ON ” ( ในขณะที่  $K_1$  “ OFF ” ) มอเตอร์จะถูกต่อกับแบตเตอรี่โดยมีลักษณะกลับขั้ว ซึ่งในจังหวะปกติ รีเลย์  $K_1$  และ  $K_2$  จะเป็นลักษณะ “ปกติเปิด” ( Normally Open ) ทั้งสองตัว เพื่อให้มอเตอร์บังคับเดี่ยวหยุดนิ่ง เมื่อไม่มีสัญญาณป้อนมายังเอาต์พุตของพอร์ต 3 ในบิทที่ 2 ( P 3.2 ) และ 3 ( P 3.3 ) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

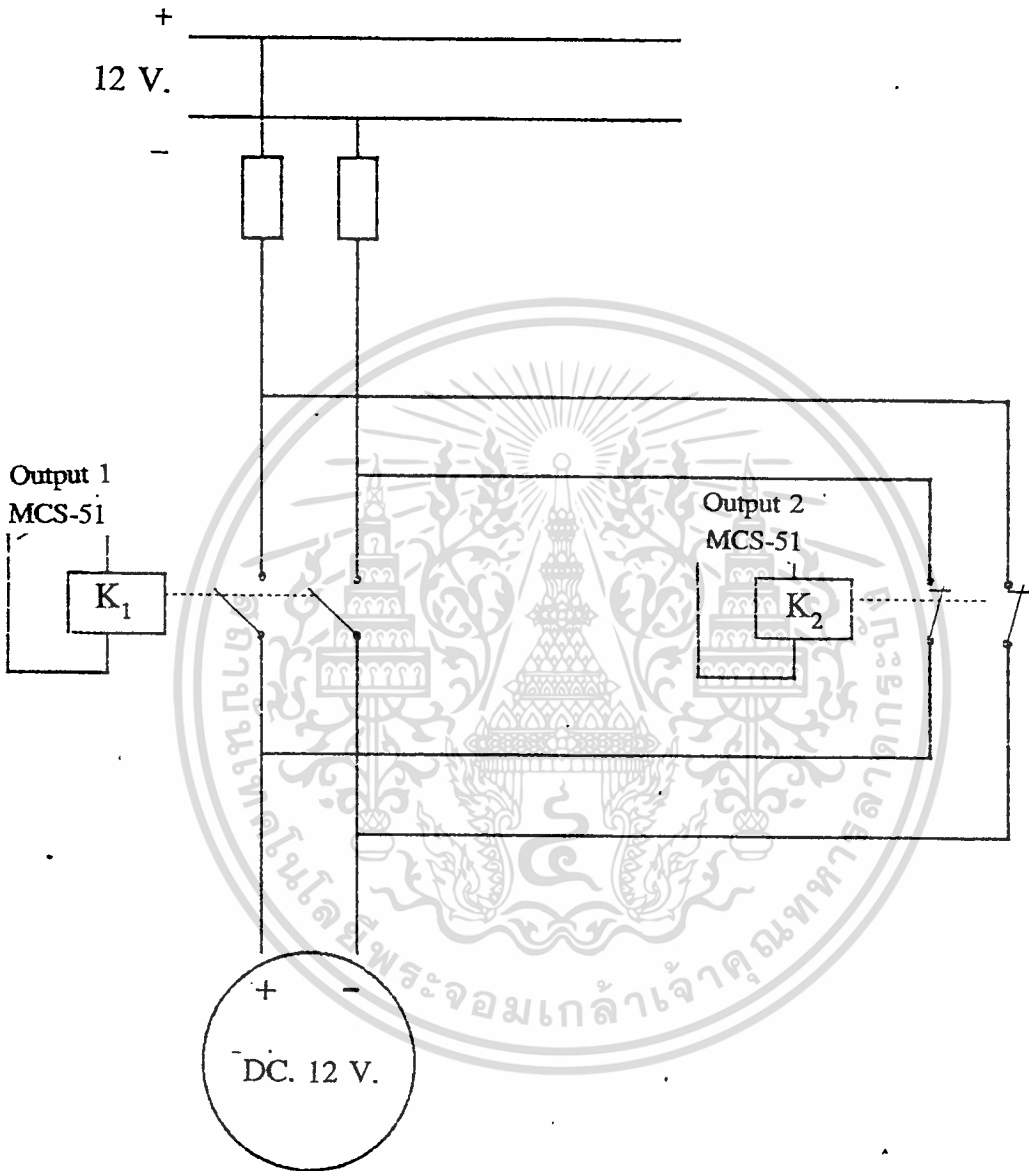
รูปที่ 2.12 และ 2.13 เป็นการแสดงการทำงานของรีเลย์  $K_1$  ในจังหวะที่ 1 คือเมื่อสัญญาณจากเอาต์พุต 1 ไปยังจุดต่อของ  $K_1$  จะทำให้  $K_1$  ทำงานและดึงหน้าสัมผัสของตัวเองจาก “ปกติเปิด” ไปเป็น “ปิด” ไฟตรง 12 โวลท์ ก็สามารถผ่านไปยังมอเตอร์บังคับเดี่ยวได้ มีผลทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ( เลี้ยวซ้าย ) ในขณะที่ รีเลย์  $K_2$  ยังไม่มีสัญญาณป้อนนั้นจะอยู่ในจังหวะ “ปกติเปิด” เนื่องจากไม่มีสัญญาณจากเอาต์พุตของพอร์ต 3 ในบิทที่ 3 นั้นเอง แต่เมื่อใดที่มีสัญญาณจากเอาต์พุตของพอร์ต 3 ในบิทที่ 3 จะทำให้  $K_2$  ทำงานกลับทิศทางมอเตอร์จากทวนเข็มนาฬิกาเป็นตามเข็มนาฬิกา ( เลี้ยวขวา ) ในขณะที่  $K_1$  คลายออกอยู่ในจังหวะ “ปกติเปิด” จึงไม่เกิดการลัดวงจรระหว่างหน้าสัมผัสของ  $K_1$  และ  $K_2$  เกิดขึ้นในช่วงเปลี่ยนจังหวะการจ่ายไฟ



รูป 2.11 วงจรควบคุมระบบบังคับลิฟต์



รูป 2.12 วงจรควบคุมระบบบังคับลิ้วเมื่อลิ้วซ้าย



รูป 2.13 วงจรควบคุมระบบบังคับลิฟต์เมื่อลิฟต์ขยับ

## 2.4 ระบบเซนเซอร์

ระบบเซนเซอร์ที่ใช้ในโครงการนี้มี 2 ระบบ คือ ระบบที่หนึ่งเป็นระบบการตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง และระบบตรวจสอบตำแหน่งหยุด ซึ่งใช้เซนเซอร์แบบอินฟราเรดเป็นตัวตรวจจับการสะท้อนของแสง

### 2.4.1 การทำงานของระบบตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง

การทำงานของระบบตรวจสอบเส้นทางจะทำงานโดย ที่พื้นจะมีแถบเส้นนำทาง ซึ่งสะท้อนแสงติดไว้ มีความกว้างประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนตัวอุปกรณ์เซนเซอร์จะติดตั้งไว้บริเวณหน้ารถในลักษณะคร่อมหรืออยู่เหนือแถบนำทาง ในขณะที่รถวิ่งไป ตัวเซนเซอร์ทั้ง 8 ตัว จะทำการตรวจสอบแถบเส้นตลอดเวลา เมื่อรถเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางไปทางขวา จะเป็นผลให้ตัวเซนเซอร์ทางขวาหลุดออกจากแถบเส้นนำทางด้วย ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำการตรวจสอบว่ามีตัวเซนเซอร์หลุดออกจากแถบเส้นนำทางกี่ตัว จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุมการเลี้ยวของมอเตอร์ บังคับให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้ายตามขนาดมุมที่ต้องการ โดยถ้าเซนเซอร์อยู่นอกแถบเส้นหลายตัว วงจรจะทำการปรับมุมเลี้ยวให้มากกว่าในกรณีที่เซนเซอร์อยู่นอกแถบเส้นตัวเดียว และในลักษณะเดียวกันถ้ารถเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางไปทางซ้าย จะเป็นผลให้วงจรปรับมุมเลี้ยวให้รถเลี้ยวมาทางขวา จึงทำให้รถเคลื่อนที่มายู่ในทิศทางเดิม แล้วเคลื่อนที่ตามแถบเส้นนำทางต่อไป

เริ่มต้น

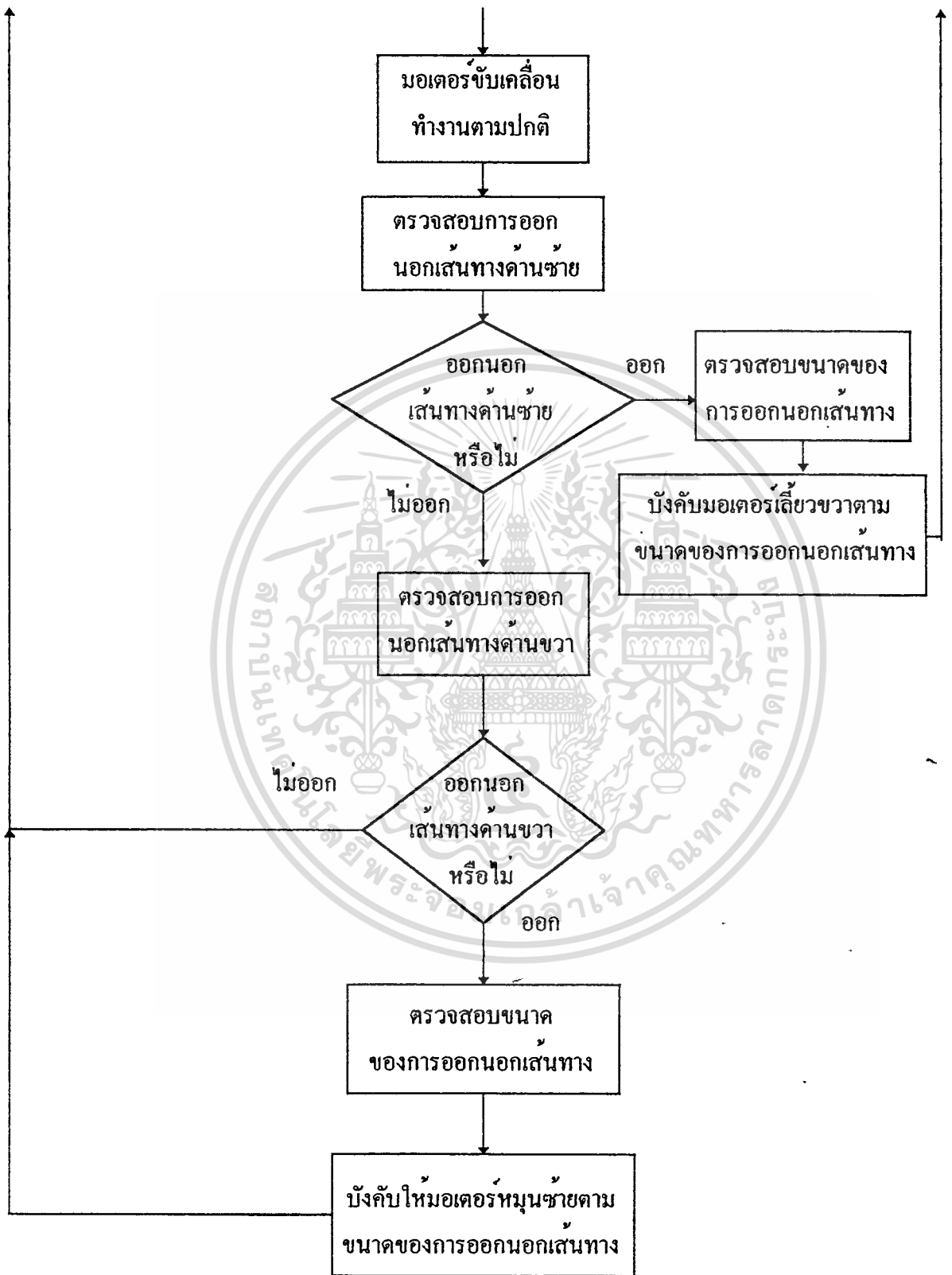
ตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง  
( ซ้ายหรือขวา )

รถออก  
นอกลำนำทาง  
หรือไม่

ออก

หยุดมอเตอร์

ไม่ออก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงรูป 2.14 ลำดับขั้นตอนของระบบตรวจสอบเส้นทางรถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1.1 หลักการของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

#### 1. อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง ( Opto Device )

อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงเป็นการนำเอาผลของแสงสว่างมาเปลี่ยนแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อสามารถนำมาใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

##### - โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแบบหัวต่อพีเอ็น และใช้ประโยชน์เป็นตัววัดสัญญาณคลื่นแสง ตามปกติเมื่อหัวต่อพีเอ็นถูกไบอัสย้อนกลับจะไม่มีกระแสไหลในวงจรเมื่อมีแสงฉายตกกระทบหัวต่อพีเอ็นนั้นพลังงานโฟตอนจะกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลที่หัวต่อ และเนื่องจากในขณะที่ไบอัสย้อนกลับนั้นจะมีความต่างศักย์คร่อมบริเวณหัวต่ออยู่ พาหะที่เกิดใหม่จึงถูกขับเคลื่อนเกิดเป็นกระแสไหลย้อนกลับขึ้น ปริมาณของกระแสไหลย้อนกลับ ( Reverse current ) นี้แปรผันโดยตรงกับความเข้มของแสงหรือจำนวนโฟตอน เราจึงสามารถนำเอาปรากฏการณ์นี้มาประยุกต์ใช้เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณคลื่นไฟฟ้า

##### - โฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงที่มีหลักการคล้ายคลึงกับโฟโตไดโอด เพียงแต่โครงสร้างของมันเป็น พีเอ็นพี ( หรือเอ็นพีเอ็น ) เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปแต่ไม่มีขั้วเบส เมื่อมีแสงฉายตกกระทบขั้วเบสจะเกิดการกระตุ้นพาหะนำไฟฟ้าขึ้นจึงมีสภาพเช่นเดียวกับการฉีดพาหะ ( Carrier Injection ) แต่เป็นการฉีดพาหะโดยแสงเท่านั้นเป็นผลให้เกิดกระแสไหลขึ้นจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลกเตอร์ตามปริมาณแสงที่ตกกระทบประโยชน์และการใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์จึงคล้ายคลึงกับโฟโตไดโอด คือใช้เป็นตัววัดปริมาณแสง

โฟโตทรานซิสเตอร์ทุกแบบจะมีโครงสร้างเป็นชนิด NPN สารที่ถูกนำมาใช้ผลิตได้แก่ ซิลิเนียม จีลิคอน หรือ เยอรมันเนียม สารแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงในย่านที่แตกต่างกันออกไป

โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารจีลิคอนจะมีการตอบสนองได้ดีต่อสเปกตรัมของแสงในย่านของแสงอินฟราเรด หรือใกล้เคียง

โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารเยอรมันเนียม จะมีการตอบสนองต่อแสงได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งรวมถึงย่านของแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วย

การทำงานและการตรวจจับของโฟโตทรานซิสเตอร์มีความรวดเร็วกว่าโฟโตเซลล์มาก ซึ่งสามารถตอบสนองได้รวดเร็วถึง 1 ไมโครวินาทีที่เดียว ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมาก

## 2. อุปกรณ์กำเนิดแสง

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานแสงซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

### - แอลอีดี

แอลอีดีหรือไดโอดเปล่งแสง หรือ LED ย่อมาจาก Light Emitting Diode คือไดโอดที่เปล่งแสงออกมาได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และแสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกันซึ่งต่างกับแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็นอันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่างๆ กันมารวมกัน สัญลักษณ์ของแอลอีดีและรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมี 2 ขา เช่นเดียวกับไดโอดธรรมดา แอลอีดีจะใช้ในภาคแสดงผลของเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวเลข 7 ส่วนในเครื่องคำนวณ เครื่องรับวิทยุ นาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์แบบตัวเลข และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

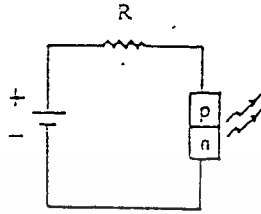


รูป 2.15 สัญลักษณ์รูปร่าง และวิธีดูขาของแอลอีดี

แอลอีดีอาศัยหลักการการทำงานของรอยต่อพีเอ็นขั้วมีแรงดันไปหน้า คือเมื่อเราให้ไบแอสไปข้างหน้าแก่รอยต่อพีเอ็นนั้น อิเล็กตรอนอิสระและโฮลบางตัวที่เคลื่อนที่ไปในเนื้อสารกึ่งตัวนำจะรวมตัวกันใหม่ (อิเล็กตรอนอิสระตกจากระดับพลังงานในแถบนำไฟฟ้ากลับสู่แถบเวเลนซ์) และปล่อยพลังงานออกมา ถ้ารอยต่อพีเอ็นทำมาจากเยอรมันเนียมและซิลิคอนพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของความร้อน แต่ถ้ารอยต่อพีเอ็นทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกแกลเลียม-อาร์เซนิก (GaAs) หรือ แกลเลียมอาร์เซนิกฟอสไฟด์ (GaAsP) หรือ แกลเลียมฟอสไฟด์ (GaP) พลังงานที่ปล่อยออกมาจะเป็นแสงสว่างที่มองเห็นได้

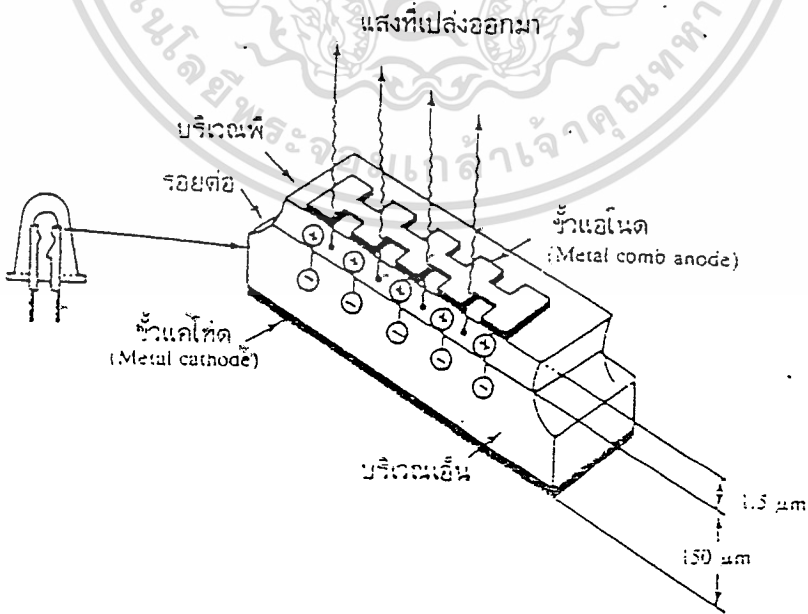
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( GaP ) พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของแสง ซึ่งรอยต่อพีเอ็นประเภทหลังนี้จึงทำหน้าที่เป็นแอลอีดีโคโอดเปล่งแสงได้



รูป 2.16 การไบแอสแอลอีดี

จากภาพที่ 2.17 เป็นภาพตัดด้านข้างแสดงโครงสร้างของแอลอีดี ซึ่งจะเห็นว่าเป็นลักษณะของรอยต่อพีเอ็นทั่วไป และเพื่อที่จะให้การแผ่กระจายของคลื่นแสงจากรอยต่อเป็นไปโดยสะดวก รอยต่อพีเอ็นจึงอยู่ใกล้กับผิวหน้าแผ่นผลึกมากๆ และยังมีการใช้เลนส์และสารป้องกันการสะท้อนกลับเข้าช่วยอีกด้วย



รูป 2.17 ลักษณะโครงสร้างของแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - อินฟราเรด แอลอีดี ( Infrared LED)

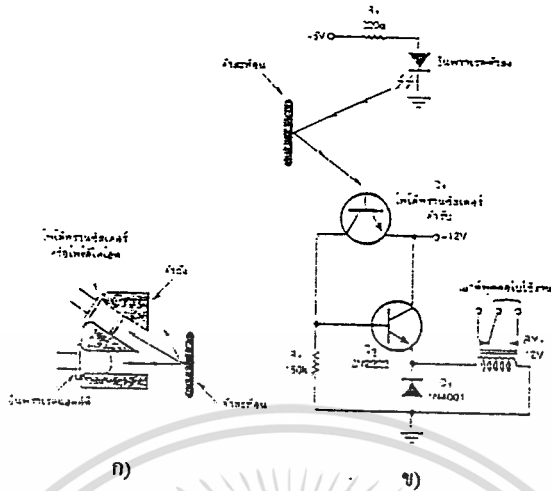
อินฟราเรดแอลอีดี ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อกำเนิดแสงในย่านอินฟราเรด เมื่ออินฟราเรดแอลอีดีนำกระแส อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ และเกิดพลังงานขึ้นจากโฟ-ตอน การเกิดพลังงานดังกล่าวเป็นไปในทันทีที่มีกระแสไหลผ่าน

อินฟราเรดแอลอีดีสามารถกำเนิดแสงอินฟราเรดได้ในช่วงสองความยาวคลื่นคือ อินฟราเรดแอลอีดีที่สร้างจากสารแกลเลียมอาเซไนด์ ( Gallium Arsenide : GaAs ) จะให้ความยาวคลื่นประมาณ 940 นาโนเมตร และอินฟราเรดแอลอีดีที่สร้างจากสารแกลเลียมอลูมิเนียม-อาเซ-ไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide : GaALAs ) จะกำเนิดแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร

#### 2.4.1.2 อุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน ( Reflector Isolator )

ตัวตรวจจับการสะท้อนก็เป็นออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดหนึ่ง หลักการคือจะอาศัยวัสดุหรือชิ้นงานที่จะตรวจจับ เป็นตัวสะท้อนแสงจากอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งไปยังตัวรับแสงที่เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ การติดตั้งบนตัวถังของตัวตรวจจับการสะท้อนระหว่างอินฟราเรดแอลอีดีและโฟโตทรานซิสเตอร์จะติดตั้งให้ทำมุมกัน 45 องศาหรือมากกว่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ( ก ) และส่วนใหญ่จะเป็นการติดตั้งไว้ในตัวถังบรรจุตัวเดียวกันเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน

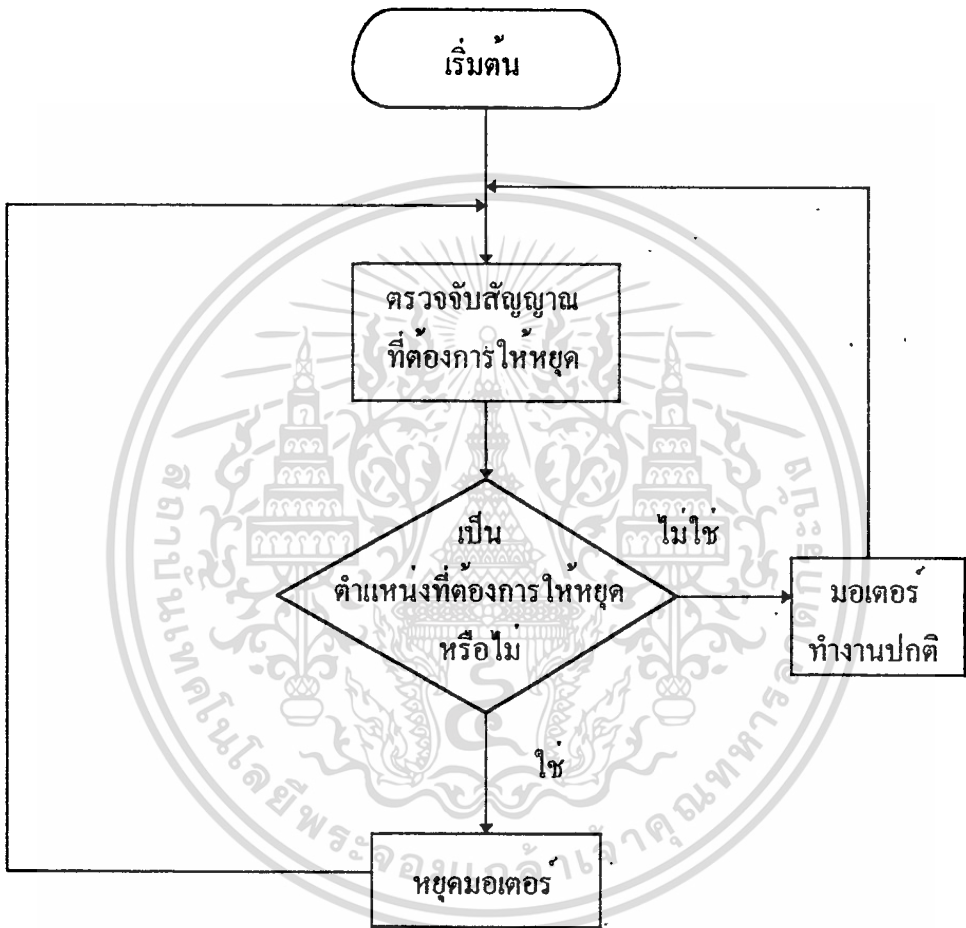
วงจรใช้งานตัวตรวจจับการสะท้อนแบบง่าย ๆ แสดงดังรูปที่ 2.18 ( ข ) จะเห็นว่าอินฟราเรดแอลอีดีถูกต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ทำให้นำกระแสและส่งแสงอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา และเมื่อแสงอินฟราเรดจาก LED มีการสะท้อนผ่านพื้นผิวใด ๆ ก็ตามเข้ามายังโฟโตทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ( ตัวรับ )  $Q_1$  จึงทำงานและมีไบแอสที่ขาเบสของ  $Q_2$  เป็นไบแอสตรง  $Q_2$  จึงทำงานทำให้รีเลย์  $RY_1$  ทำงาน และสามารถนำเอาผลการเปลี่ยนแปลงหน้าสัมผัสของ  $RY_1$  ไปใช้งานได้ทันที



รูป 2.18 (ก) ลักษณะภายในของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน  
(ข) วงจรใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน

#### 2.4.2 การทำงานของระบบตรวจสอบตำแหน่งหยุด

เราสามารถเขียนลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจสอบตำแหน่งหยุดได้เป็นโฟลชาร์ท ( Flowchart ) ดังต่อไปนี้



รูป 2.19 ลำดับขั้นตอนการตรวจสอบตำแหน่งหยุด

## 2.5 สถาปัตยกรรม MCS-51

### บทนำ

ไอซี 8051 เป็นจุดกำหนดของไอซีตระกูล 51 โดยมีการพัฒนาดังนี้คือ

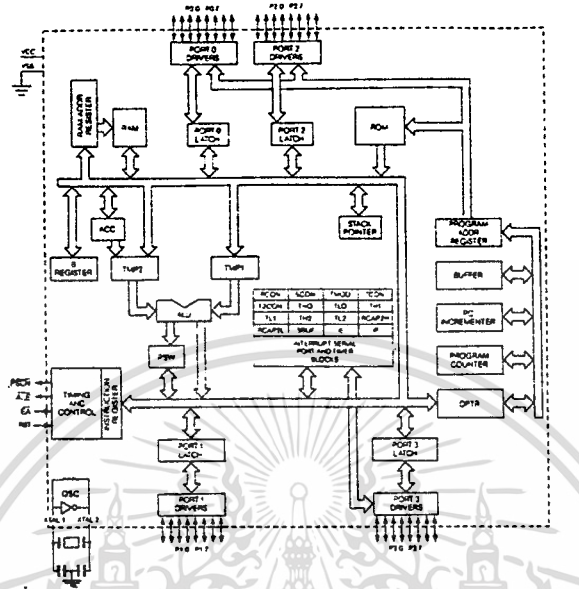
1. 8 บิตซีพียู
2. เพิ่มการวิเคราะห์ทางพีชคณิต บูลีน
3. 64K โปรแกรมเมมโมรี
4. 64K คาต้าเมมโมรี
5. 4K โปรแกรมเมมโมรี บนชิพ
6. 128 ไบต์ คาต้าเมมโมรี บนชิพ
7. สายแอดเดรสและ I/O ไลน์ 32 เส้น 2 ทิศทาง
8. 2 ชุด X16 บิทไทม์เมอร์/เคาท์เตอร์
9. มีออสซิลเลเตอร์บนชิพ

### 2.5.1 สถาปัตยกรรมภายใน

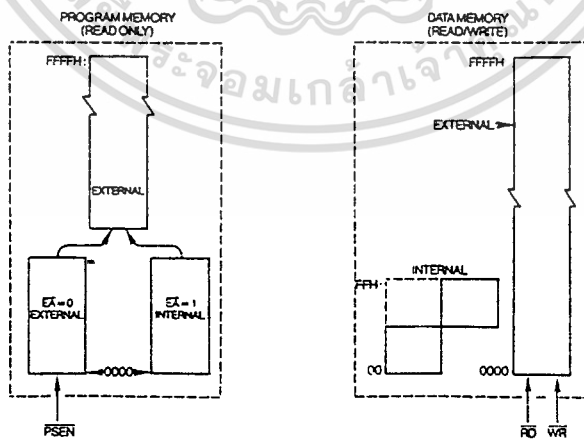
ICs ตระกูล 51 จะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน คือ โปรแกรมและคาต้าเมมโมรีซึ่งแสดงในรูปที่ 2.21 โดยปกติแอดเดรสของคาต้าเมมโมรีจะมีค่า 8 บิตแต่หากต้องการใช้แอดเดรสของ 16 บิตก็จะใช้รีจิสเตอร์ DPTR มาช่วยกำหนด โปรแกรมเมมโมรีจะถูกอ่านเพียงอย่างเดียว โดยปกติรวมภายในจะมีอยู่แล้วในชิพ ซึ่งสามารถต่อ ROM ภายนอกเพิ่มขึ้นได้โดยใช้สัญญาณ PSEN (Program Stored Enable) คาต้าเมมโมรีจะสามารถขยายเป็น 64K ไบต์ และสามารถเขียนหรืออ่านได้โดยใช้สัญญาณ RD และ WR ซึ่งจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกับสัญญาณ PSEN เนื่องจากวงจรภายในทั้งขา RD ขา PSEN ได้ต่อแอนเกตไว้

#### ก) โปรแกรมเมมโมรี

เมื่อ CPU เริ่มต้นทำงาน (Reset) คำสั่งเริ่มแรกจะไปที่ตำแหน่ง 0000H ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่เก็บค่าแอดเดรสอินเทอร์พท์ (ตำแหน่งที่จะกระโดดไปทำงานโปรแกรมย่อยเมื่อเกิดการอินเทอร์พท์) ตามรูป 2.22

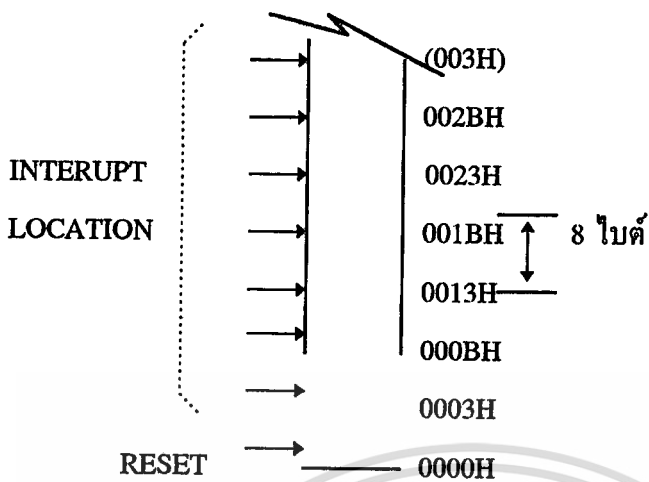


รูป 2.20 สถาปัตยกรรมภายในของ 8051



รูป 2.21 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.22 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นในการทำงานของ MCS-51

ในการเก็บค่าแอดเดรสอินเทอร์รัพท์ MCS-51 ได้จัดสรรตำแหน่งและการใช้ของ MCS-51 ดังนี้คือ

0000H --- เป็นตำแหน่งของเมนโปรแกรม  
 0003H  
 000BH  
 0013H  
 001BH  
 0023H  
 002BH

0003H, 000BH.....เป็นโปรแกรมย่อยของการอินเทอร์รัพท์ลำดับที่ 0, 1, 2..... ตามลำดับโดยหากไม่มีการใช้อินเทอร์รัพท์ประเภทนี้แล้วก็ใช้เป็นโปรแกรมเมมโมรี่ได้ EA จะเป็นขาที่ใช้ในการเลือก และอ้างโปรแกรมเมมโมรี่ได้ โดย EA จะมีค่าเท่ากับ Vcc เมื่ออ้างอิง ROM ภายใน และมีค่าเท่ากับ Vss เมื่ออ้างอิง Rom ภายนอกซึ่งขา PSEN จะเป็นสัญญาณการเฟลช ข้อมูลจาก ROM ภายนอกซึ่งจะไม่ทำงานเมื่ออ้างอิง ROM ภายในอยู่

Port 0 และ Port 2 จะเป็นตัวกำหนดแอดเดรสของคำสั่ง โดยค่าที่ Port 0 จะเป็นค่า 8 บิตล่างของโปรแกรมเคาเตอร์ สัญญาณ ALE จะต่อกับขาของวงจร LATCH เพื่อแสดงข้อมูลแบบแอดเดรส และขา PSEN จะทำให้ชุดคำสั่งที่แอดเดรสนั้น ๆ ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โปร-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรมเมมโมรีมีค่าแอดเดรสอ้างอิงถึง 16 บิตซึ่งค่าที่ใช้จะต้องน้อยกว่า 64K ไบต์

การขยาย RAM พอร์ต 0 จะส่งทั้งข้อมูลและแอดเดรสในการติดต่อกับ RAM ส่วนสาย 3 เส้นที่ต่อจากพอร์ต 2 จะถูกใช้ในการเลือกเพจของ RAM และขา RD และ WR ก็ต่อเข้า RAM เพื่อกำหนดสภาพการอ่านและเขียนวงจรด้วย

คาต้าเมมโมรีสามารถขยายได้ถึง 64K ไบต์ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนอินเทอร์นอลเมมโมรี และเอ็กเทอร์นอลเมมโมรี สำหรับในส่วนของคาต้าเมมโมรีภายในจะมีค่าสูงสุด 256 ไบต์ ( ขึ้นอยู่กับเบอร์ไอซี ) ซึ่งการอ้างอิงแอดเดรสของแรมภายในจะแบ่งออกเป็นสองตอนดังนี้คือ

ตอนที่ 1 เป็น 128 ไบต์ล่างซึ่งสามารถอ้างอิงข้อมูลได้โดยตรงและโดยอ้อม

ตอนที่ 2 เป็น 128 ไบต์บน

สำหรับไบต์ต่ำ 128 ไบต์ของแรม โดยจะเห็นว่า ตำแหน่ง 0 - 1FH แบ่งเป็น 4 พื้นที่โดยแต่ละพื้นที่จะมี 8 ไบต์ซึ่งจอร์จิสเตอร์ไว้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานในแต่ละการอ้างอิงของแบงค์รีจิสเตอร์ ในการใช้งานรีจิสเตอร์แบงค์จะชี้โดย 2 บิตของโปรแกรมสเตตัสเวิร์ตรีจิสเตอร์ (PSW) 128 ไบต์ล่างของคาต้าเมมโมรีจะอ้างอิงได้ทั้งไครค และอินไครคแอดเดรสส่วน 128 ไบต์บนนั้นสามารถอ้างอิงได้เพียงแบงอินไครค แอดเดรสเท่านั้น ซึ่ง ICs 8051 จะไม่มีส่วนไบต์บนนี้ จะพบส่วนไบต์นี้เพียง ICs รุ่นที่มี RAM 256 ไบต์เท่านั้น

ยังมีรีจิสเตอร์อีกกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า SFR (Special Function Register) เป็นรีจิสเตอร์กลุ่มที่ทำงานในหน้าที่พิเศษ อาทิเช่น เป็นไทม์เมอร์ เป็นแอดคิวมูลเตอร์ ฯลฯ

MCS-51 จะมีคำสั่งประเภทต่าง รีจิสเตอร์แสดงสถานะซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ของบิตดังนี้คือ

PSW0 : แสดงพาร์ตี้ของ ACC จะเป็น 1 เมื่อเป็นเลขคี่และเป็นเลขคู่

PSW1 : ไม่มีการใช้งาน

PSW2 : โอเวอร์โฟลว์แฟลค

PSW3 : เลือกรีจิสเตอร์แบงค์

PSW4 : เลือกรีจิสเตอร์แบงค์

PSW5 : แฟลคสเตตัส

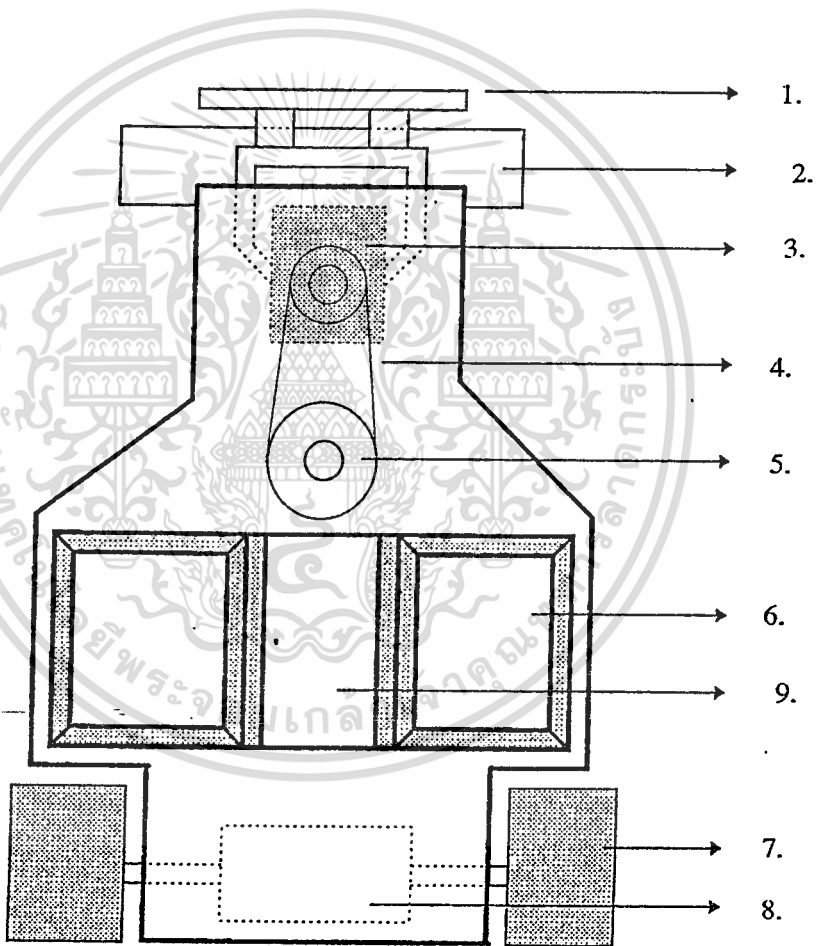
PSW6 : Auxiliary Carry Flag

PSW7 : Carry Flag

### บทที่ 3

#### การออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับติดตั้งกับยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ

รถชนิดนี้เป็นรถชนิดปรับทิศทางอัตโนมัติ โดยการเคลื่อนที่จะควบคุมด้วยอุปกรณ์และโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ลักษณะทั่วไปเป็นรถแบบ 3 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยล้อหลังและบังคับเลี้ยวด้วยล้อหน้า โครงสร้างทำจากเหล็ก ภายในมีอุปกรณ์ต่างๆทำงานเชื่อมโยงกัน ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้



รูป 3.1 แสดงโครงสร้างของตัวรถ

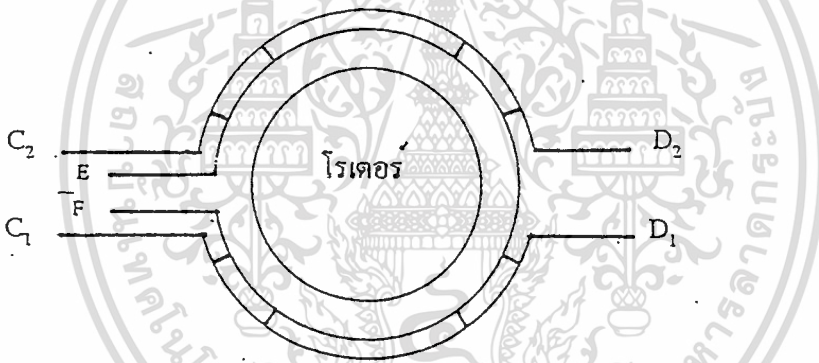
1. ลิมิทสวิตช์
2. เซนเซอร์
3. ล้อหน้า เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สายพาน
5. มอเตอร์ควบคุมการเลี้ยว
6. ที่วางแบตเตอรี่
7. ล้อหลัง เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 27 เซนติเมตร
8. มอเตอร์ขับเคลื่อน เฟืองทด และเพลลา
9. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

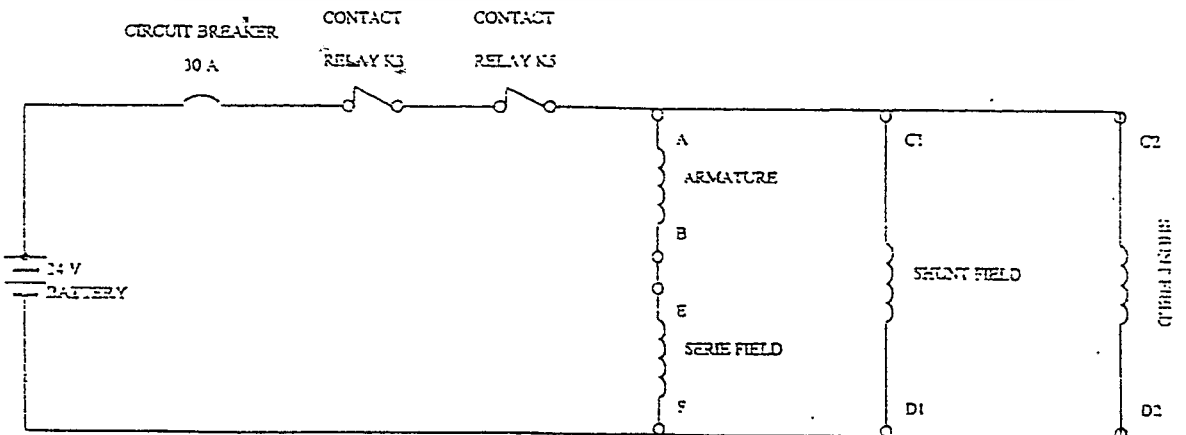
### 3.1 การต่อวงจรทำงานของมอเตอร์

ในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ จะใช้มอเตอร์กระแสตรง ขนาด 24 โวลท์, 300 วัตต์., 16.5 แอมแปร์ ในการเป็นตัวต้นกำลัง ซึ่งโครงสร้างการพันขดลวดของมอเตอร์จะเป็นดังนี้



รูป 3.2 แสดงการจัดวางขดลวดของมอเตอร์

โดยขดลวด  $C_1-D_1$  และ  $C_2-D_2$  จะเป็นขดลวดขาน ซึ่งมีขนาดเล็ก และขดลวด E-F เป็นขดลวดอนุกรมที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในการต่อวงจรสำหรับขับมอเตอร์จะต่อในลักษณะดังรูป 3.3



รูป 3.3 แสดงการต่อวงจรมอเตอร์แบบผสม

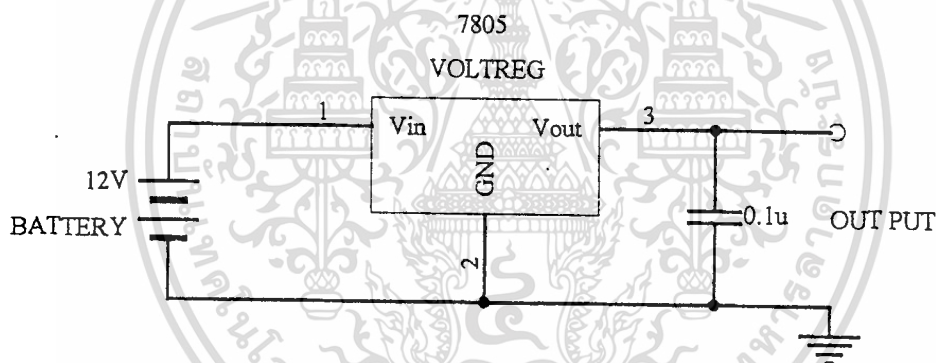
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเป็นการต่อในลักษณะแบบผสม ( Compound ) ซึ่งจะให้ผลทางด้านแรงบิด

## 3.2 การออกแบบและการทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางและตรวจสอบตำแหน่ง

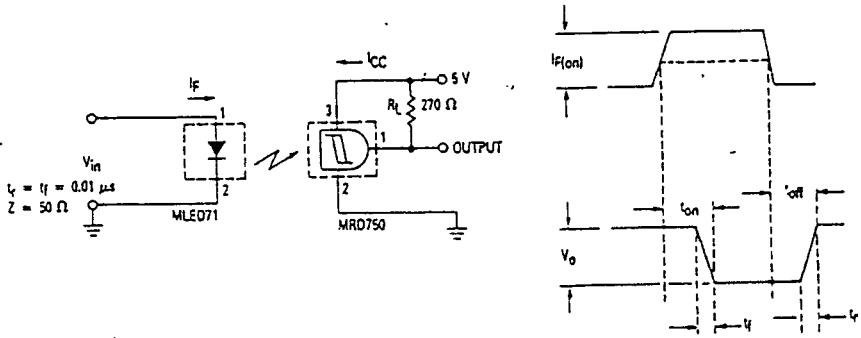
### หยุด

การตรวจสอบเส้นทางและการเคลื่อนที่ของรถนี้จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อนของแสงอินฟราเรดบนแถบเส้นทาง ซึ่งอุปกรณ์ประกอบด้วย ตัวกำเนิดแสงอินฟราเรด คือ อินฟราเรดแอลอีดี เบอร์ MLED 81 และ โฟโตดีเทคเตอร์ เบอร์ MRD 750 ทำหน้าที่ตรวจจับแสงที่สะท้อนกลับมาจากแถบเส้นทาง มีอยู่ทั้งหมด 8 ชุด ( ตัวส่งและตัวรับ ) เพื่อทำให้เกิดความละเอียดในการตรวจจับ อุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางนี้จะรับไฟเลี้ยงวงจรจากชุดวงจรโวลต์เตจเรกกูเลเตอร์ขนาด 5 โวลต์ที่ทำการแปลงไฟมาจากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

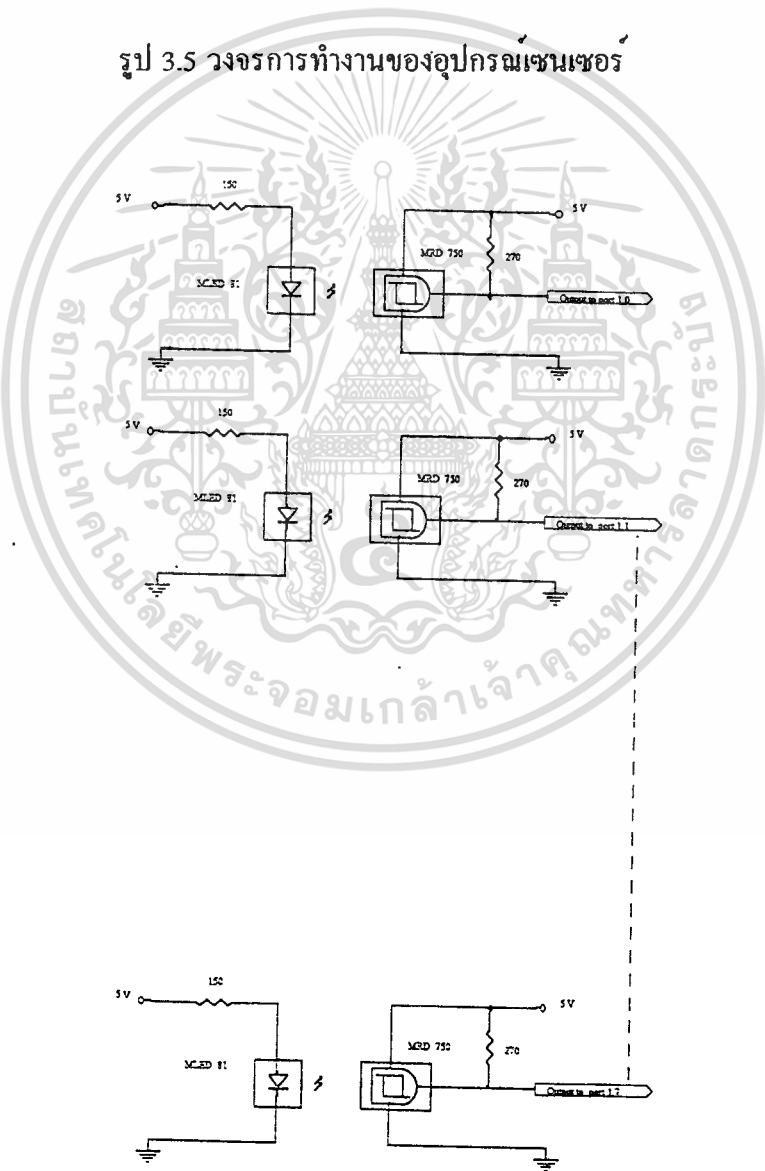


รูป 3.4 วงจรเรกกูเลเตอร์ 5 โวลต์

การทำงานของอุปกรณ์จะให้ระดับสัญญาณเอาต์พุตจากตัวโฟโตดีเทคเตอร์ออกมา 2 ค่า คือ ระดับสัญญาณลอจิก 1 ( 5 โวลต์ ) เมื่อไม่มีแสงอินฟราเรดจากตัวแอลอีดีมาตกกระทบตัวรับ และจะให้ระดับสัญญาณเป็นลอจิก 0 ( 0 โวลต์ ) เมื่อมีแสงอินฟราเรดจากตัวแอลอีดีมาตกกระทบตัวรับ ซึ่งระดับสัญญาณจากเอาต์พุตของโฟโตดีเทคเตอร์ทั้ง 8 ตัวนี้จะถูกส่งไปยังพอร์ท 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลและควบคุมการทำงานของมอเตอร์บังคับทิศทางต่อไป



รูป 3.5 วงจรการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์

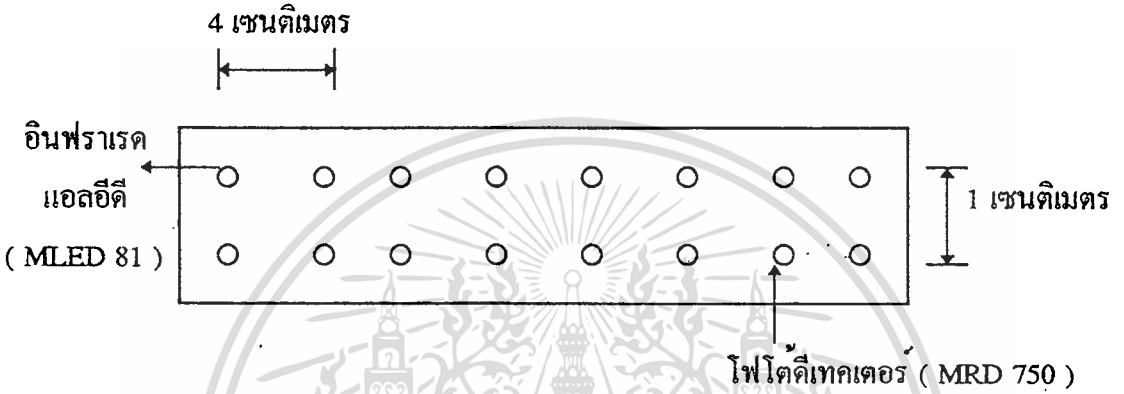


รูป 3.6 วงจรรับส่งสัญญาณอินฟราเรด 8 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

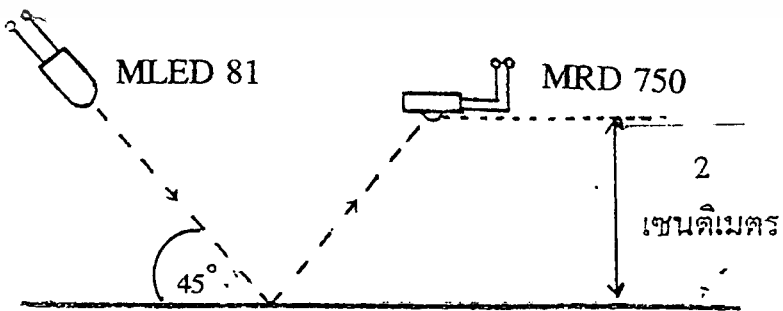
### 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง

อุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางประกอบด้วยอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดทั้งหมด 8 ชุด ซึ่งทำการติดตั้งไว้ที่ส่วนหน้าของรถ อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณอินฟราเรดแต่ละชุดจะวางห่างกัน 4 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่งจะมีระยะห่าง 1 เซนติเมตร



รูป 3.7 แสดงระยะการติดตั้งอุปกรณ์ รับ-ส่ง แสงอินฟราเรด

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางกับตัวรถควรจะต้องติดตั้งให้มีระยะห่างกับแถบเส้นทางประมาณ 2 เซนติเมตร และควรปรับมุมของอุปกรณ์ รับ-ส่งแสงอินฟราเรดแต่ละตัวเพื่อให้ส่งค่าสัญญาณที่ตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง ( เมื่ออุปกรณ์อยู่บนแถบเส้นทางจะได้ค่าสัญญาณเป็นลอจิก 0 และเมื่ออุปกรณ์อยู่นอกแถบเส้นทางจะได้ค่าสัญญาณเป็นลอจิก 1 )



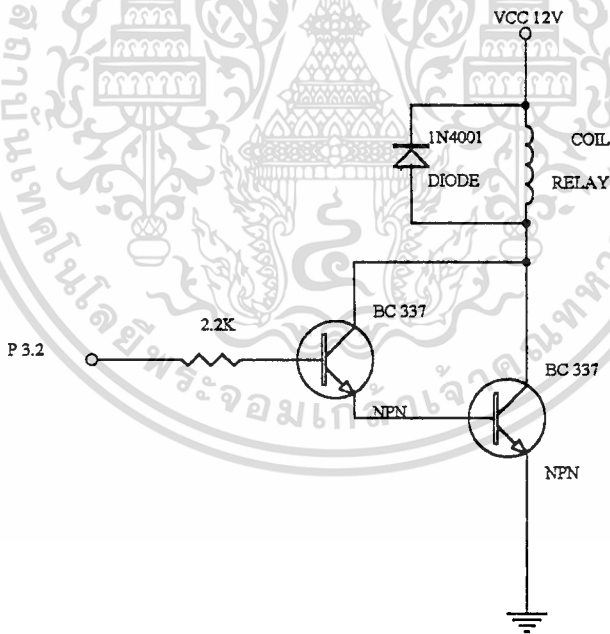
รูป 3.8 แสดงระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

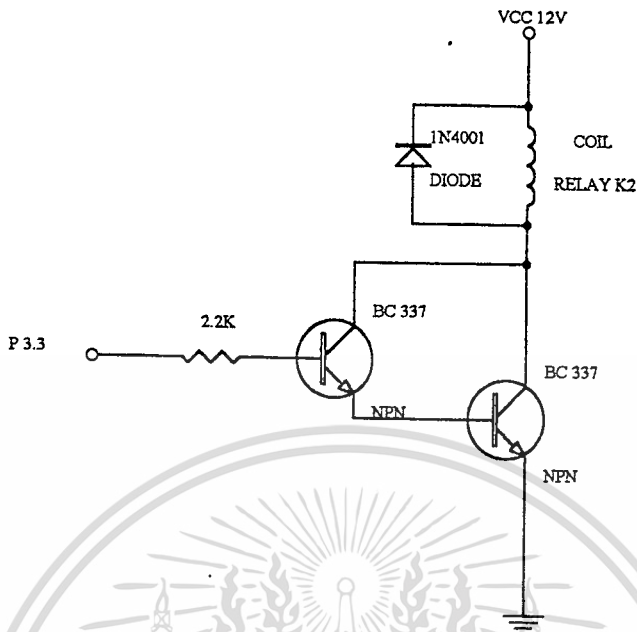
สำหรับอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งหยุดของรถจะใช้อุปกรณ์เซนเซอร์อีก 1 ชุดติดไว้ที่หน้ารถ เมื่อพบป้ายสัญญาณให้หยุด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นป้ายสะท้อนแสง โดยจะทำให้ระดับสัญญาณของโฟโตดีเทคเตอร์เป็นลอจิก 0 และไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณที่มีลอจิก 1 ไปยังพอร์ตที่ 3 ในบิตที่ 4 ( อธิบายอยู่ในหัวข้อ 3.5 ) ซึ่งจะทำการคอยล์  $K_3$  ทำงานและคอนแทค  $K_3$  เปิดวงจรทำให้มอเตอร์ต้นกำลังหยุดทำงาน

### 3.4 วงจรขั้วรีเลย์สำหรับมอเตอร์บังคับทิศทาง

การทำงานของระบบบังคับทิศทางได้แสดงไว้ในบทที่ 2 แล้วซึ่งเป็นการทำงานในส่วนของมอเตอร์ ส่วนในด้านการควบคุมการทำงานสามารถอธิบายได้ด้วยวงจรดังรูป



รูป 3.9 วงจรขั้วรีเลย์สำหรับมอเตอร์หมุนซ้าย



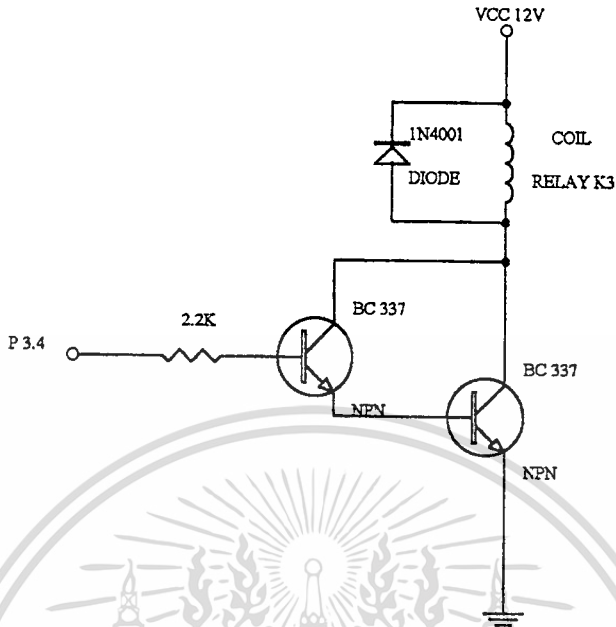
รูป 3.10 วงจรขับรีเลย์สำหรับมอเตอร์หมุนขวา

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจสอบเส้นทางแล้ว ก็จะนำสัญญาณที่ได้นั้นมาทำการประมวลผล แล้วส่งสัญญาณมาควบคุมการทำงานของรีเลย์  $K_1$  และ  $K_2$  เพื่อบังคับให้มอเตอร์หมุนซ้ายหรือหมุนขวาตามลำดับ โดยสัญญาณที่จะมาทริกทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส นั้นจะมาจากพอร์ตที่ 3 บิตที่ 2 และ 3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนซ้าย ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการส่งสัญญาณที่มีค่าลอจิกเป็น 1 ( 5 โวลท์ ) มาที่พอร์ตที่ 3 บิตที่ 2 ซึ่งจะทำให้ทริกให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส เป็นผลให้มีกระแสไฟไหลผ่านคอยล์  $K_1$  ทำให้คอนแทคของรีเลย์  $K_1$  ปิดวงจร กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านไปยังมอเตอร์ได้ มอเตอร์ก็จะหมุนทางซ้ายได้ ( ตามรูปที่ 2.12 )

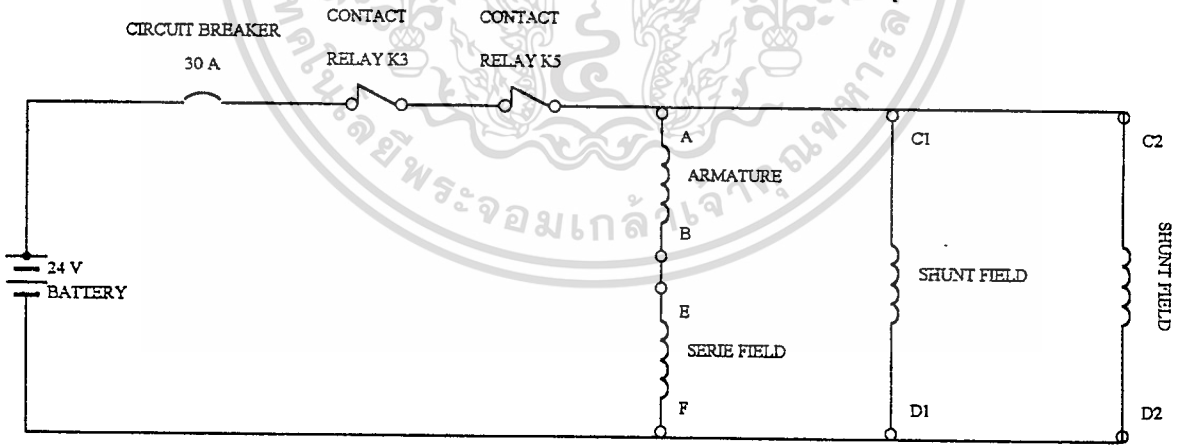
### 3.5 วงจรขับรีเลย์สำหรับมอเตอร์ต้นกำลังและระบบเบรก

ในการเคลื่อนที่ของรถ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางจนเซนเซอร์ทั้ง 8 ชุดอยู่นอกแถบเส้นทางทาง หรือเมื่อถึงจุดที่ต้องการให้หยุด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมการทำงานให้รถหยุดการเคลื่อนที่ โดยผ่านทางรีเลย์ที่จะมีหน้าที่ตัดไฟออกจากมอเตอร์ต้นกำลัง หลังจากนั้นจะทำการเบรกรถให้หยุดในทันที โดยจะส่งสัญญาณควบคุมให้ระบบเบรกของมอเตอร์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.11 วงจรขับรีเลย์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลัง



รูป 3.12 วงจรมอเตอร์ต้นกำลัง

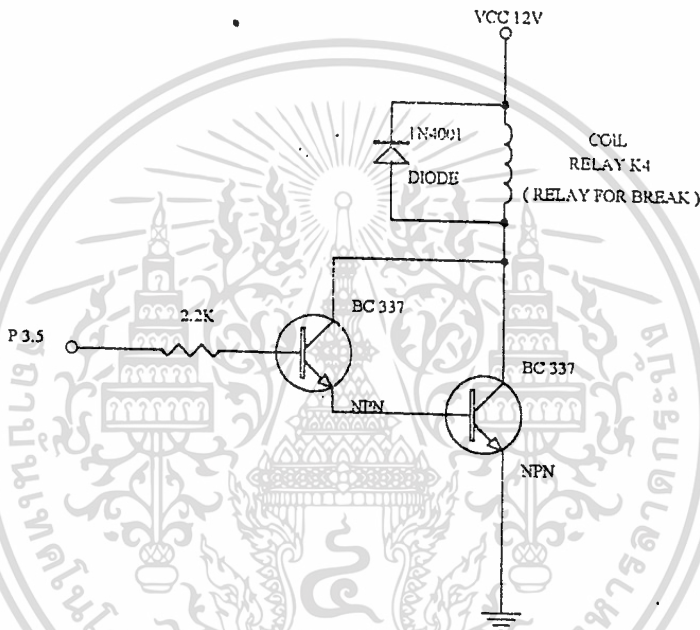
เมื่อถึงสถานะที่ต้องการหยุดรถตามที่กล่าวมาแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณที่มีลอจิกเป็น 1 มาที่พอร์ตที่ 3 บิตที่ 4 ซึ่งสัญญาณลอจิก 1 นี้จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะนำ

เอกกระแส ทำให้มีกระแสไหลผ่านคอยล์ K3 ซึ่งจะทำการยกคอนแทก K3 ในวงจรมอเตอร์ต้นกำลังเปิด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์มาเจอร์และขดลวดฟีดส์ของมอเตอร์ต้นกำลัง ทำให้มอเตอร์ต้นกำลังหยุดการเคลื่อนที่

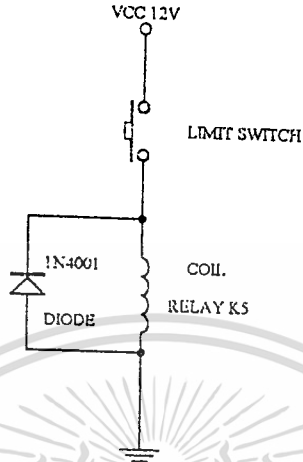
การทำงานของระบบเบรกจะทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำในขดลวดให้เกิดสถานะเป็นแม่เหล็ก แล้วเกิดการดูดแผ่นเหล็กที่ล็อกกับโรเตอร์ขึ้นมา ทำให้มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ หากไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่คอยล์ของเบรกจะทำให้แผ่นเหล็กถูกสปริงดันไว้และล็อกโรเตอร์ไม่ให้เคลื่อนที่ได้



รูป 3.13 แสดงระบบเบรกของมอเตอร์

### 3.6 วงจรของลิมิตสวิตช์

การติดตั้งลิมิตสวิตช์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้รถหยุดการเคลื่อนที่ เมื่อกระทบกับสิ่งกีดขวางที่อาจเข้ามาขวางเส้นทางเคลื่อนที่ การใช้งานลิมิตสวิตช์จะต้องใช้งานร่วมกับรีเลย์ขนาด 12 โวลต์ ( $K_5$ ) โดยคอนแทคของรีเลย์ที่ควบคุมจากลิมิตสวิตช์นี้ได้แสดงไว้ในรูป 3.12



รูป 3.14 แสดงวงจรรีเลย์ของลิมิตสวิตช์

### 3.7 อัลกอริทึม ( Algorithm ) ของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้ คือ

1. การตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง
2. การตรวจสอบตำแหน่งหยุด
3. การตรวจสอบเส้นทาง

ซึ่งในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ต หรือ บิตที่ใช้งานต่างๆ ดังต่อไปนี้

พอร์ต 1 บิตที่ 0-7 ( P1.0-P1.7 ) คือ บิตสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์เซนเซอร์  
ตรวจสอบเส้นทางจำนวน 8 ชุด

พอร์ต 3 บิตที่ 1 ( P 3.1 ) คือ บิตสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์เซนเซอร์  
ตรวจสอบสถานี

บิตที่ 2 ( P 3.2 ) คือ บิตสัญญาณเอาต์พุตสำหรับมอเตอร์  
หมุนซ้าย( ค่าลอจิกเป็น 1 คือหมุนซ้าย )

บิตที่ 3 ( P 3.3 ) คือ บิตสัญญาณเอาต์พุตสำหรับมอเตอร์  
หมุนขวา( ค่าลอจิกเป็น 1 คือหมุนขวา )

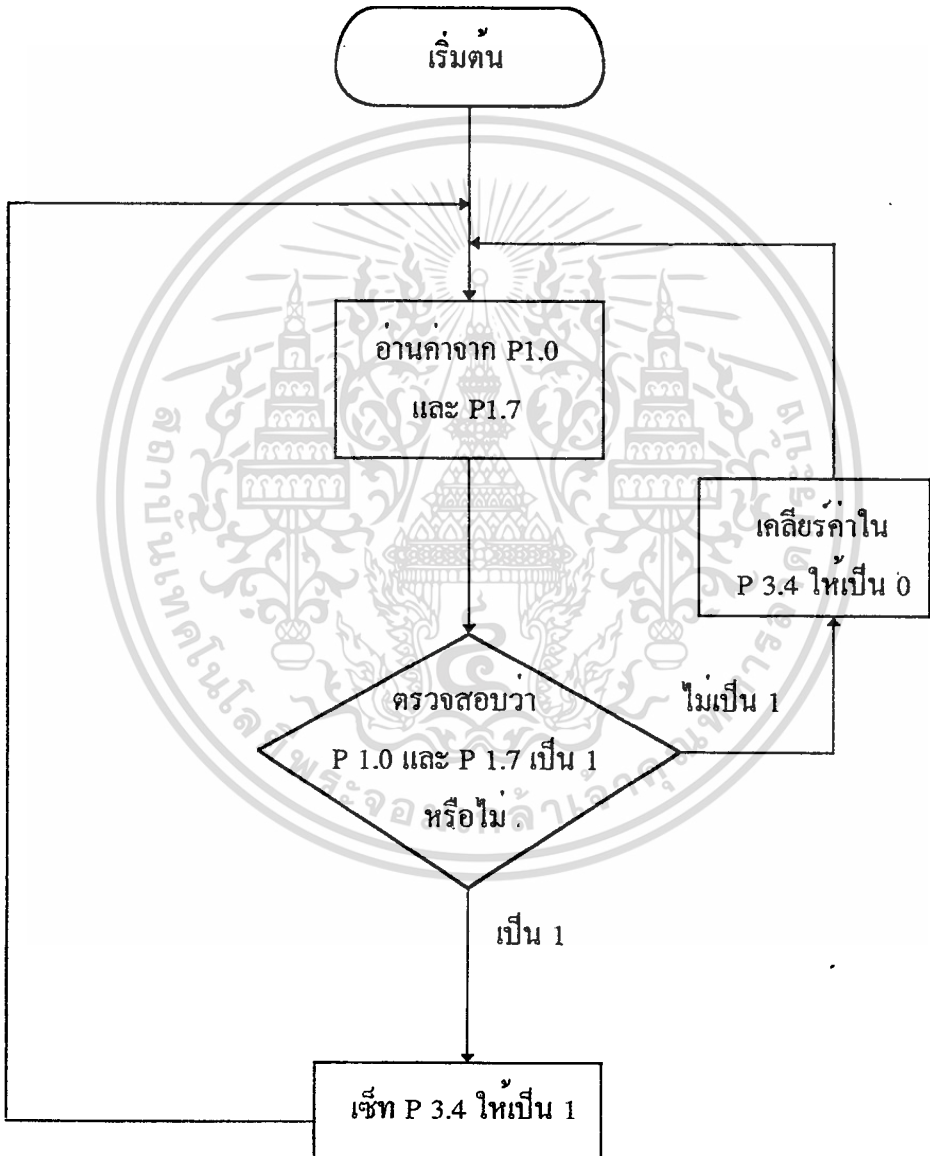
บิตที่ 4 ( P 3.4 ) คือ บิตสัญญาณเอาต์พุตสำหรับรีเลย์  
มอเตอร์ต้นกำลัง ( รีเลย์ปกติปิด )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาของนักศึกษาในชั้นเรียน โดยขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิทที่ 5 ( P 3.5) คือ บิทสัญญาณเอาต์พุตสำหรับระบบเบรก  
( รีเลย์ปัดคิปิด )

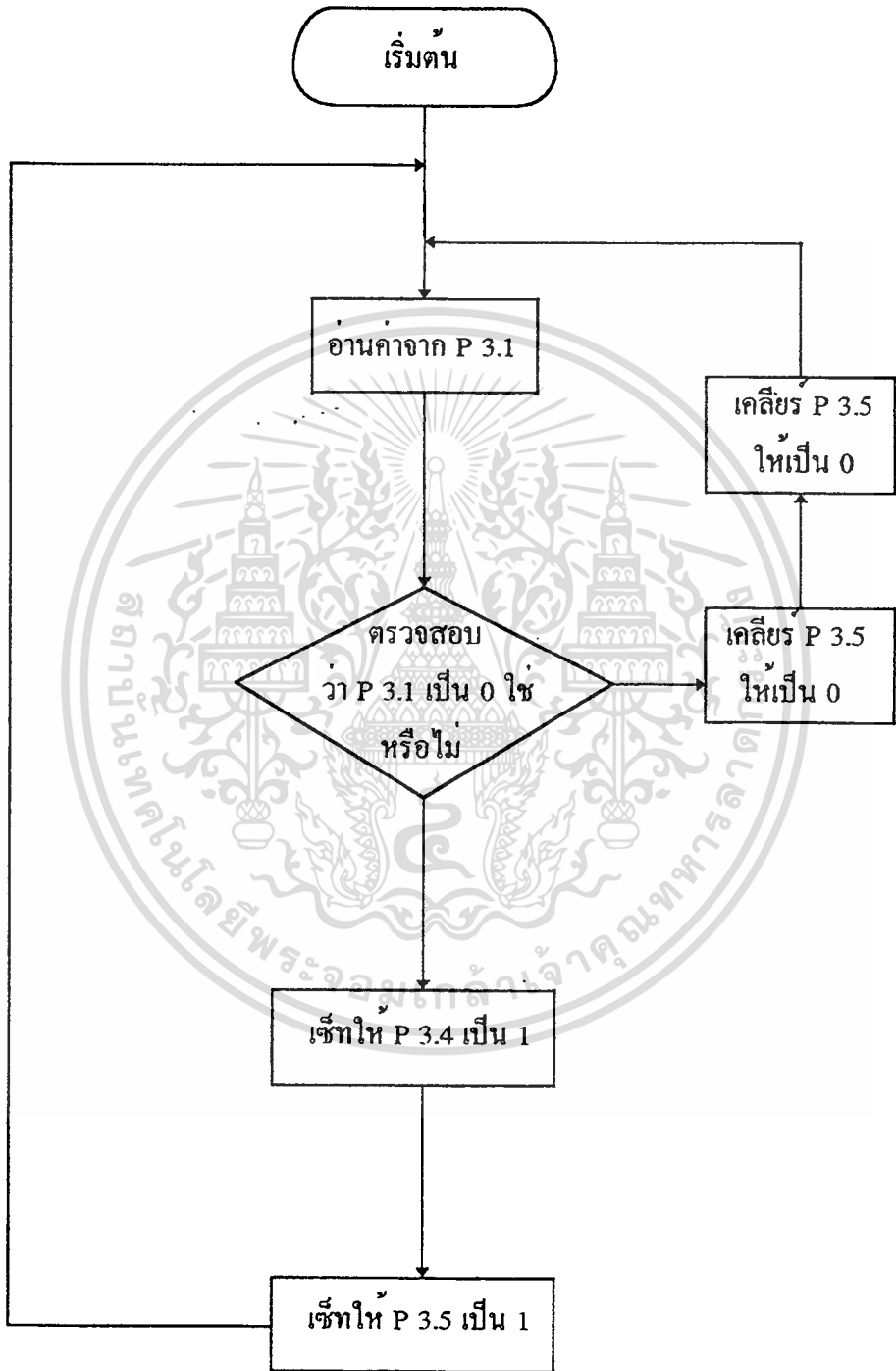
1. การตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง



รูป 3.15 แสดงลำดับขั้นตอนการตรวจสอบการออกนอกเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

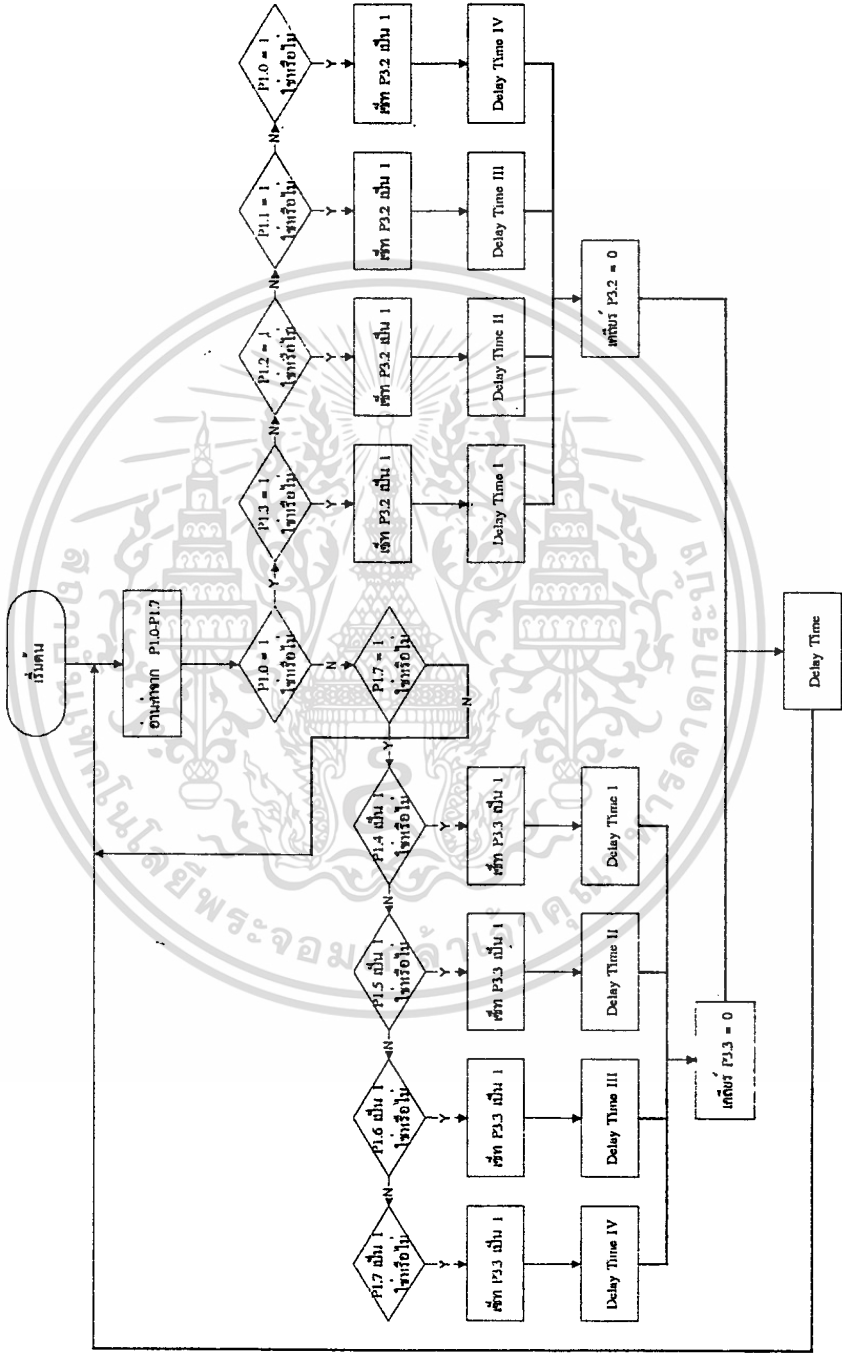
## 2. การตรวจสอบตำแหน่งหยุด



รูป 3.16 แสดงลำดับขั้นตอนการตรวจสอบตำแหน่งหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจสอบเส้นทาง



รูป 3.17 แสดงลำดับขั้นตอนการตรวจสอบเส้นทาง

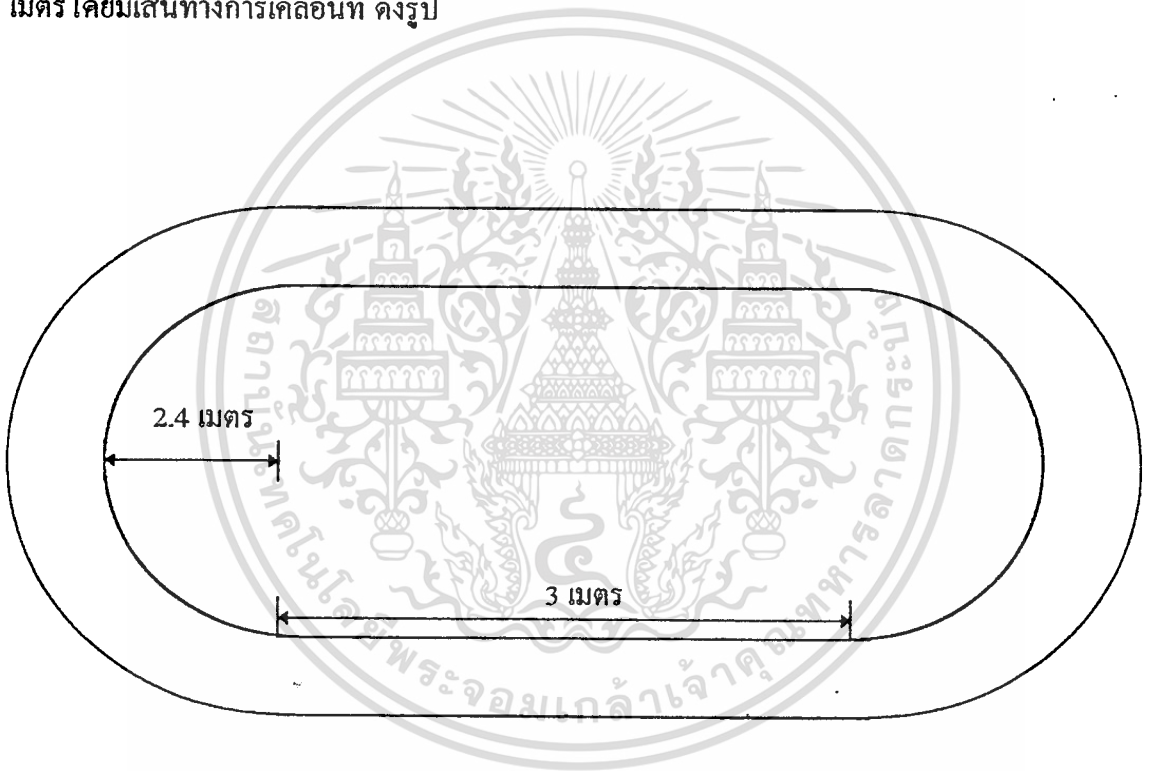
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลองของมอเตอร์ เซนเซอร์ ลิมิตสวิทช์และอุปกรณ์ต่างๆ

#### 4.1 การทดสอบระบบตรวจสอบเส้นทาง

การทดสอบระบบตรวจสอบเส้นทางทำโดย ทดลองให้รถเคลื่อนที่ตามแถบเส้นทางที่กำหนด โดยแถบเส้นมีความกว้าง 30 เซนติเมตร และเส้นทางเคลื่อนที่ที่มีความยาวทั้งหมด 21 เมตร โดยมีเส้นทางเคลื่อนที่ ดังรูป



รูป 4.1 แสดงเส้นทางเคลื่อนที่ของรถ

โดยในการทดสอบได้ทำการทดลองหารัศมีความโค้งของเส้นทางเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับความเร็วของรถ ซึ่งรถมีความเร็วประมาณ 4.2 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะได้รัศมีความโค้งของเส้นทางที่รถสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยที่เซนเซอร์ทั้ง 8 ชุดไม่หลุดออกจากแถบเส้นนำทาง เท่ากับ 2.4 เมตรและสามารถวัดองศาการเลี้ยวของล้อหน้า เมื่ออุปกรณ์เซนเซอร์แต่ละชุดหลุดออกนอกเส้นทางได้ ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเซนเซอร์ที่หลุดออกจากแถบเส้น	องศาการเลี้ยวของล้อหน้า
4	32
3	24
2	16
1	8

ตาราง 4.1 แสดงองศาการเลี้ยวของล้อหน้าเมื่อเซนเซอร์หลุดออกจากแถบเส้น

#### 4.2 การทดสอบระบบตรวจสอบตำแหน่งหยุด

การทดสอบระบบตรวจสอบตำแหน่งหยุดจะทดสอบโดยการนำแถบสะท้อนแสงวางกั้นเส้นทางเคลื่อนที่ของรถไว้ เมื่ออุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจสอบพบแถบสะท้อนแสงจะทำให้สัญญาณจากเอาต์พุตของโฟโตดีเทคเตอร์ มีค่าเป็นลอจิก 0 ซึ่งจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณควบคุมให้รถหยุดการเคลื่อนที่ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าต้องใช้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์เซนเซอร์กับแถบสะท้อนแสงประมาณ 5 เซนติเมตร



## บทที่ 5

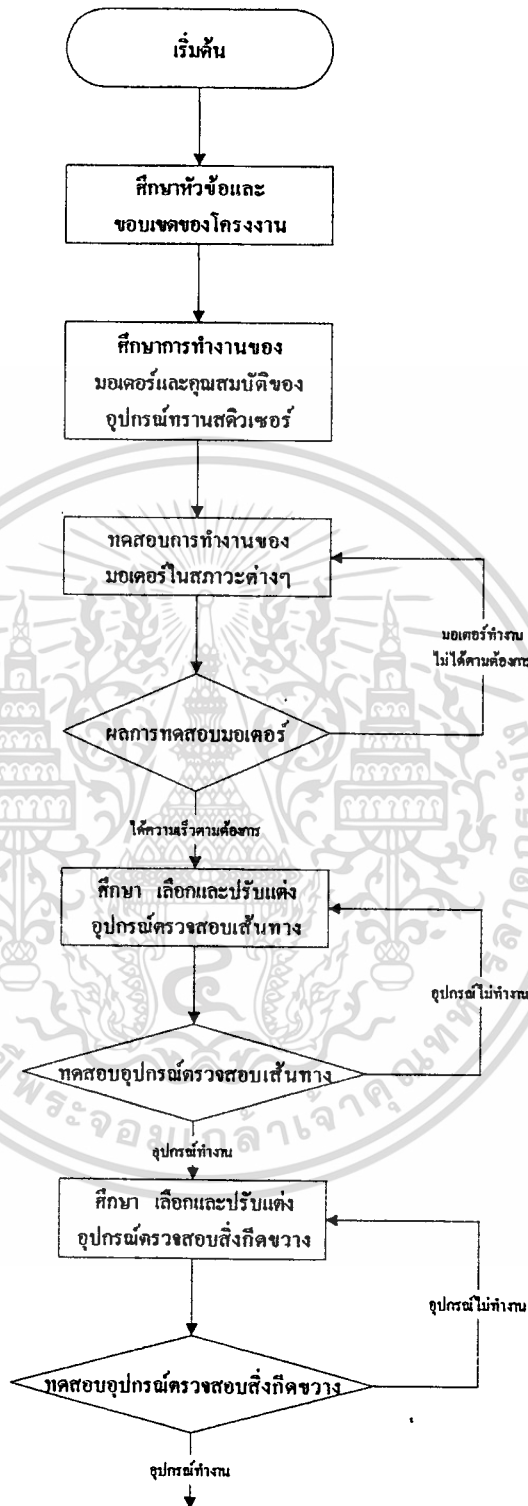
### บทวิจารณ์และสรุป

จากการดำเนินงานของโครงการ “ ขานชนค้ควบคุมอัตโนมัติ ” ตั้งแต่เริ่มแรกจนกระทั่งเสร็จสิ้นโครงการนี้ ถือได้ว่าประสบความสำเร็จในการดำเนินงานเป็นที่น่าพอใจ โดยเริ่มตั้งแต่การได้ศึกษาโครงสร้าง คุณสมบัติ และทดสอบการทำงานของมอเตอร์ ส่วนของเซนเซอร์ก็ได้มีการเลือก และออกแบบวงจรที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ซึ่งก็คือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด ทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นได้ นอกจากนี้ในส่วนของระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวาง คือ ลิมิทสวิตช์ ก็ได้มาจากการเลือก และทดสอบแล้วเช่นเดียวกัน ผลลัพธ์ก็คือ รถสามารถหยุดได้เมื่อมีสิ่งกีดขวาง และสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้เมื่อนำสิ่งกีดขวางนั้นออกไปจากเส้นทาง สุดท้ายเป็นส่วนของอุปกรณ์ควบคุม MCS-51 รวมไปถึงโปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้น โดยให้สัมพันธ์กับสัญญาณจากเซนเซอร์ และความเร็วของรถ ทำให้รถเคลื่อนที่หรือเลี้ยวไปตามแถบเส้นที่กำหนดได้ โดยไม่หลุดออกจากแถบเส้น

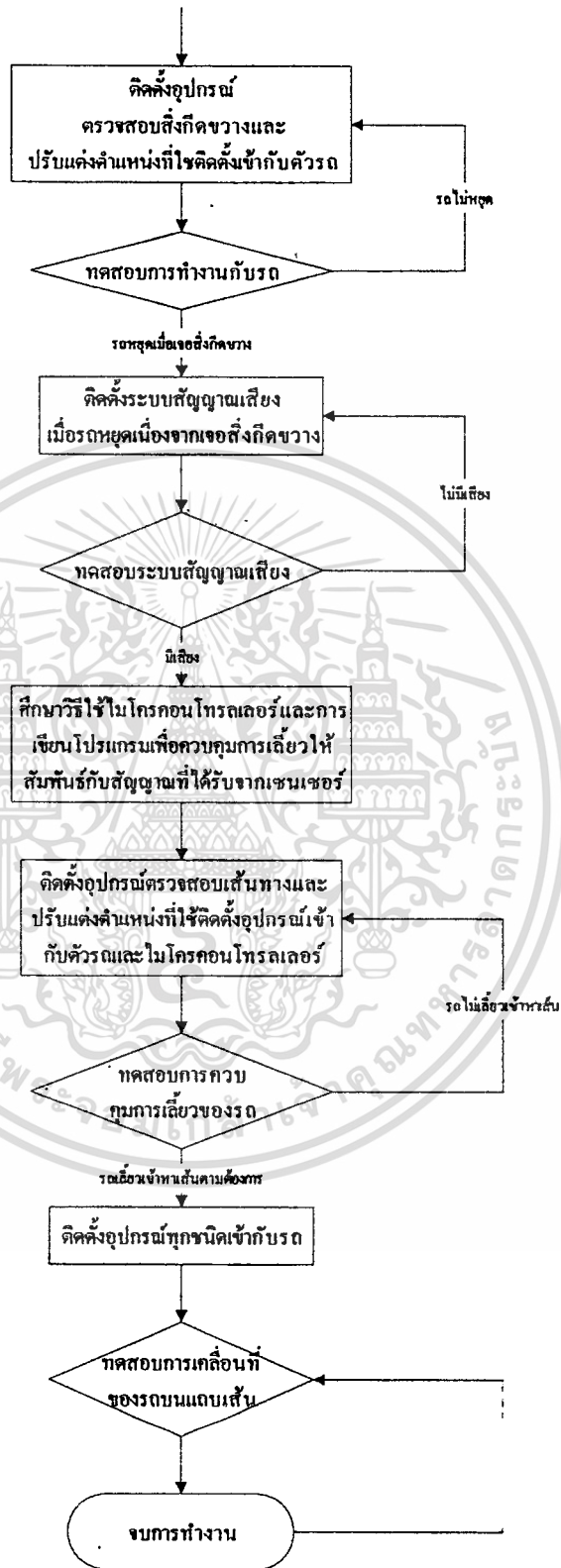
ซึ่งจากผลการทดสอบทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

1. การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวต้นกำลังทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ โดยจะได้ความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นความเร็วที่เหมาะสม เพื่อที่จะได้ทำงานสัมพันธ์กับอุปกรณ์เซนเซอร์
2. การทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดตรวจจับการสะท้อนของอินฟราเรด ทำงานได้ดีอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ทั้งนี้ต้องทดสอบการทำงาน เมื่อต่อเข้ากับตัวรถขณะเคลื่อนที่ก่อน จึงจะสามารถสรุปได้ว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่
3. การทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดอุลตราโซนิก ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากวงจรไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ และอุปกรณ์ตัวรับส่งคลื่นเสียงมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ จากปัญหาเหล่านี้จึงจำเป็นต้องใช้ระบบเซนเซอร์แบบอื่นมาทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางแทน โดยอาจใช้สวิตช์แบบสัมผัสมาทำงานแทน

นอกจากสรุปผลการทดสอบที่ผ่านมาแล้วนั้น ยังสามารถสรุปขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละส่วนออกได้เป็นบล็อกไดอะแกรม และตารางขั้นตอนการทำงาน ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นรูป 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนการทำงานตั้งแต่แรกจนเสร็จสิ้น โครงการงานด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเป็นส่วนหนึ่งของโครงการที่สำเร็จลุล่วงไปแล้ว ซึ่งน่าจะพอเป็นแนวทางในการปรับปรุง “ ยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ ” นี้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป ตัวอย่างเช่น การพัฒนาให้รถสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงระบบตรวจสอบเส้นทาง และระบบตรวจสอบสิ่งกีดขวางให้ดีขึ้น สามารถตรวจสอบได้ทันและสัมพันธ์กับความเร็วของรถที่เปลี่ยนไป หรือการพัฒนาในส่วนของโปรแกรมควบคุมให้มีความสามารถมากขึ้น สั่งงานได้รวดเร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพ รวมถึงการออกแบบตัวถังให้เหมาะสมกับสภาพของงานที่จะนำไปใช้ ซึ่งทั้งหมดนี้ก็เพื่อจะได้สามารถนำรถไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และกว้างขวางขึ้นมากกว่าที่จะนำมาใช้เป็นเพียงรถสำหรับขนย้ายวัสดุสิ่งของเท่านั้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR**  
**TECHNICAL DATA**

## Infrared LED

This device is designed for infrared remote control and other sensing applications, and can be used in conjunction with the MRD821 photodiode. It features high power output, using long-life gallium arsenide technology.

- Low Cost
- Popular T-1 $\frac{1}{2}$  Package
- Ideal Beam Angle for Most Remote Control Applications
- Uses Stable Long-Life LED Technology
- Clear Epoxy Package

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	5	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	100	mA
Forward Current — Peak Pulse	$I_F$	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	100 2.2	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-30 to -70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-30 to -80	$^\circ\text{C}$
Lead Soldering Temperature, 5 seconds max, 1/16 inch from case	—	250	$^\circ\text{C}$

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	10	—	nA
Reverse Leakage Current ( $V_R = 5\text{ V}$ )	$I_R$	—	1	10	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 100\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.35	1.7	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\Delta V_F$	—	-1.5	—	mV/K
Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ )	C	—	25	—	pF

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ( $I_F = 100\text{ mA}$ )	$\lambda_p$	—	940	—	nm
Spectral Half-Power Bandwidth	$\Delta\lambda$	—	50	—	nm
Total Power Output ( $I_F = 100\text{ mA}$ )	$\Phi_e$	—	16	—	mW
Temperature Coefficient of Total Power Output	$\Delta\Phi_e$	—	-0.25	—	%/K
Axial Radiant Intensity ( $I_F = 100\text{ mA}$ )	$I_e$	10	15	—	mW/sr
Temperature Coefficient of Axial Radiant Intensity	$\Delta I_e$	—	-0.25	—	%/K
Power Half-Angle	$\theta$	—	= 30	—	°

**MLED81**
**INFRARED  
LED  
940 nm**

**CASE 279B-01**

# MLED81

## TYPICAL CHARACTERISTICS

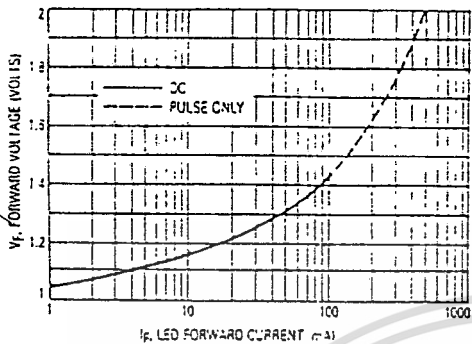


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

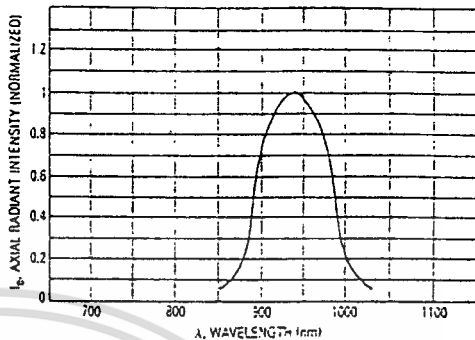


Figure 2. Relative Spectral Emission

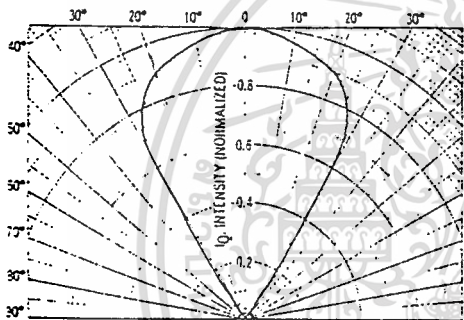


Figure 3. Spatial Radiation Pattern

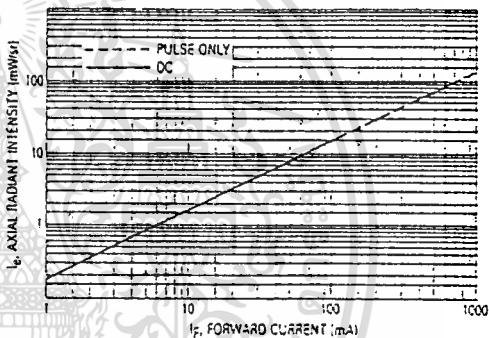


Figure 4. Intensity versus Forward Current

### OUTLINE DIMENSIONS

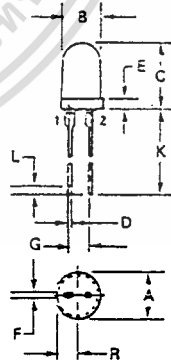
CASE 2798-01

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	5.52	5.96	0.217	0.235
B	4.80	5.20	0.189	0.205
C	9.13	9.14	0.320	0.359
D	0.51	0.71	0.020	0.028
E	1.15	1.39	0.045	0.053
F	0.51	0.76	0.020	0.030
G	2.29	2.79	0.090	0.110
K	25.40	26.67	1.00	1.05
L	0.18	1.92	0.007	0.072
R	2.42	2.79	0.095	0.110

NOTES

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION INCH.

STYLE 1:  
PIN 1, CATHODE  
2, ANODE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA  
SEMICONDUCTOR  
TECHNICAL DATA

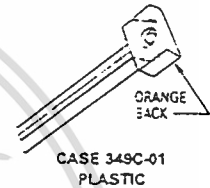
## Photo Detector Logic Output

... incorporates a Schmitt Trigger which provides hysteresis for noise immunity and pulse shaping. The detector circuit is optimized for simplicity of operation and utilizes an open-collector output for application flexibility.

- Popular Low Cost Plastic Package
- High Coupling Efficiency
- Wide  $V_{CC}$  Range
- Ideally Suited for MLED71 Emitter
- Usable to 125 kHz

MRD750

PHOTO DETECTOR  
LOGIC OUTPUT



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

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage Range	$V_O$	0-16	Volts
Supply Voltage Range	$V_{CC}$	0-16	Volts
Output Current	$I_O$	50	mA
Device Dissipation Derate above $25^\circ\text{C}$ (Note 1)	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Maximum Operating Temperature	$T_A$	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (5 seconds maximum; 1/16 inch from case) (Note 2)	$T_L$	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical PC board.

2. Heat sink should be applied to leads during soldering to prevent case temperature from exceeding  $100^\circ\text{C}$ .

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
DEVICE ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )					
Operating Voltage	$V_{CC}$	3	—	15	Volts
Supply Current with Output High, Figure 4 ( $I_F = 0$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{CC}(\text{off})$	—	1.3	5	mA
Output Current, High ( $I_F = 0$ , $V_{CC} = V_O = 15\text{ V}$ , $R_L = 270\ \Omega$ )	$I_{OH}$	—	—	100	$\mu\text{A}$

(continued)

MRD750

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>COUPLED (<math>T_A = 0-70^\circ\text{C}</math>)</b>					
Light Required to Trigger (Tungsten Source, 2870 K)	$H_{(on)}$	—	0.50	—	mW/cm <sup>2</sup>
The following characteristics are measured with an MLED71 emitter at a separation distance of 4 mm (0.155 inches) with the lenses of the emitter and detector on a common axis within 0.1 mm and parallel within 5 degrees.					
Supply Current with Output Low, Figure 5 ( $I_F = I_{F(on)}$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{CC(on)}$	—	3	5	mA
Output Voltage, Low ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_F = I_{F(on)}$ )	$V_{OL}$	—	0.2	0.4	volts
Threshold Current, ON ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{F(on)}$	—	10	20	mA
Threshold Current, OFF ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{F(off)}$	1	7.5	—	mA
Hysteresis Ratio, Figure 1 ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$\frac{I_{F(off)}}{I_{F(on)}}$	—	0.75	—	
Turn-On Time	$t_{on}$	—	1.2	5	$\mu\text{s}$
Fall Time	$t_f$	—	0.1	—	
Turn-Off Time	$t_{off}$	—	1.2	5	
Rise Time	$t_r$	—	0.1	—	

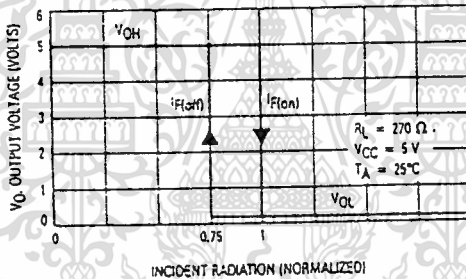


Figure 1. Transfer Characteristics

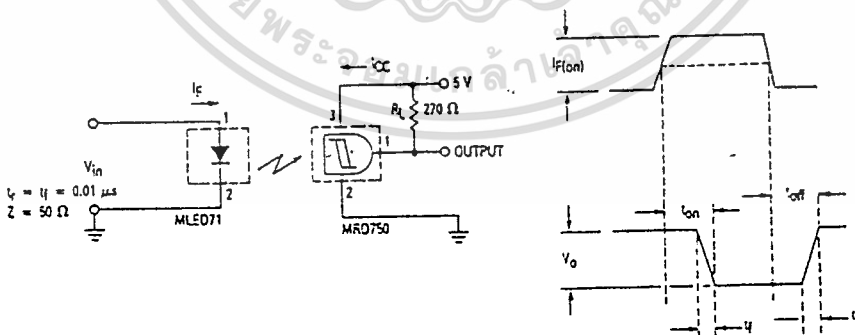


Figure 2. Switching Test Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MRD750

TYPICAL CHARACTERISTICS

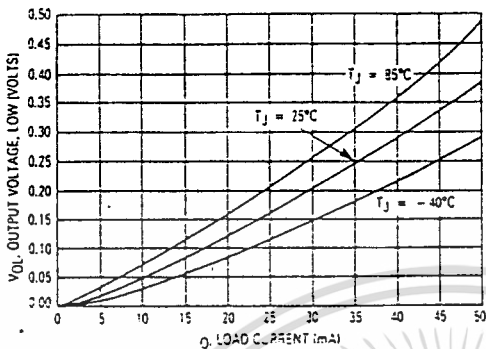


Figure 3. Output Voltage, Low versus Load Current

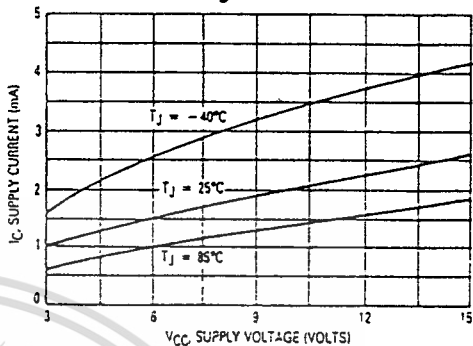


Figure 4. Supply Current versus Supply Voltage — Output High

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS USING MLED71 EMITTER AND MRD750 DIGITAL OUTPUT DETECTOR

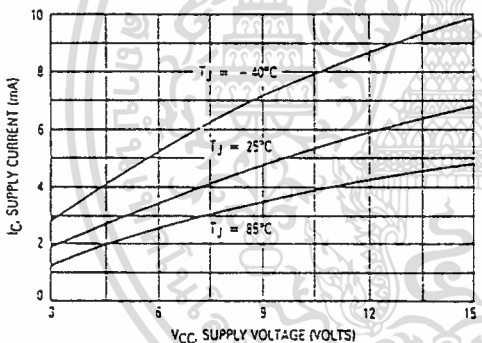


Figure 5. Supply Current versus Supply Voltage — Output Low

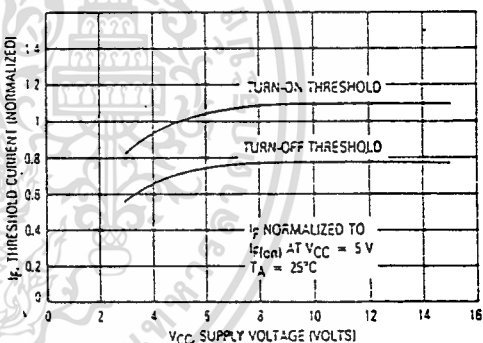


Figure 6. Threshold Current versus Supply Voltage

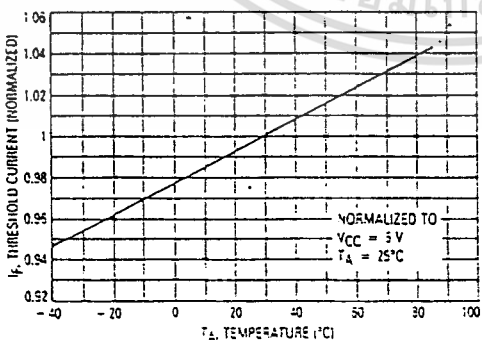


Figure 7. Threshold Current versus Temperature

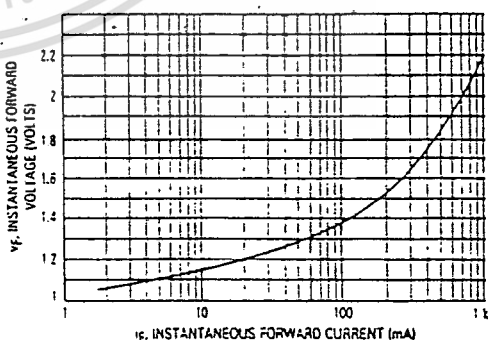


Figure 8. MLED71 Forward Characteristics

4

MRD750

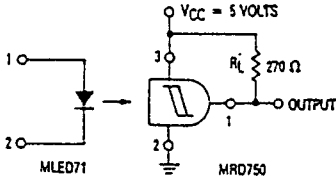


Figure 9. Test Circuit for Threshold Current Measurements

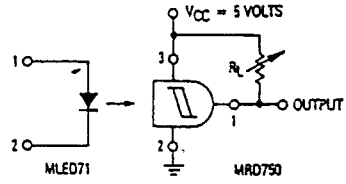


Figure 10. Test Circuit for Output Voltage versus Load Current Measurements

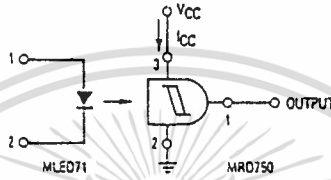


Figure 11. Test Circuit for Supply Current versus Supply Voltage Measurements

STYLE 3:  
PIN 1. OUTPUT  
2. GROUND  
3. Vcc

CASE 349C-01  
PLASTIC

NOTES:

1. DIMENSIONS A, S AND C ARE DATUMS.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D DIMENSION:  
[+/-] 0.25 (0.010) [A] [C] [D]
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR C DIAMETER:  
[+/-] 0.25 (0.010) [A] [C] [D]
4. -T- IS A SEATING LANE.
5. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI 14.5, 1973.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.43	4.50	0.135	0.185
B	2.79	3.30	0.110	0.130
C	2.02	3.18	0.080	0.125
D	0.43	0.56	0.017	0.022
G	1.54 BSC		0.100 BSC	
H	1.52 BSC		0.060 BSC	
J	0.23	0.56	0.009	0.022
K	12.20		0.500	
L	1.37 BSC		0.050 BSC	
M	1.78 BSC		0.070 BSC	
Q	0.78	1.52	0.030	0.060

### Program For Controlling Motor And Sensors

```
;FILENAME      CHKP1.ASM
;DESCRIPTION   P1      = INPUT
;              P3.2,P3.3 = OUTPUT DIRECTION CONTROL
;              P3.4      = MAIN CONTACT ( NORMAL CLOSE )
;              P3.5      = BREAK ( NORMAL CLOSE )
```

```
ORG 0000H
;*****
CLR P3.2
CLR P3.3
CLR P3.4
CLR P3.5

CHK_LI: MOV P1,#11111111B ; CHECK LINE
MOV C,P1.0
ANL C,P1.7
JC BRK_L ; BREAK WHEN OUT OF LINE
CLR P3.4
JB P1.0,CHK_L
JB P1.7,CHK_R
JMP CHK_LI

CHK_L: JB P1.3,DRIR1
JB P1.2,DRIR2
JB P1.1,DRIR3
JB P1.0,DRIR4
JMP CHK_LI
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHK_R: JB      P1.4,DRIL1
      JB      P1.5,DRIL2
      JB      P1.6,DRIL3
      JB      P1.7,DRIL4
      JMP     CHK_LI

BRK_L: SETB   P3.4                ; STOP MOTOR DUE TO OUT OF LINE
      JMP     CHK_LI

DRIR1: SETB   P3.2
      MOV     R0,#00000111B      ; SET DELAY TIME
      CALL    R0UTR
      JMP     CHK_LI

DRIR2: SETB   P3.2
      MOV     R0,#00000110B      ; SET DELAY TIME
      CALL    R0UTR
      JMP     CHK_LI

DRIR3: SETB   P3.2
      MOV     R0,#00000101B      ; SET DELAY TIME
      CALL    R0UTR
      JMP     CHK_LI

DRIR4: SETB   P3.2
      MOV     R0,#00000100B      ; SET DELAY TIME
      CALL    R0UTR
      JMP     CHK_LI

```

```

DRIL1: SETB      P3.3
          MOV      R0,#00000111B      ; SET DELAY TIME
          CALL     ROUTL
          JMP      CHK_LI

```

```

DRIL2: SETB      P3.3
          MOV      R0,#00000110B      ; SET DELAY TIME
          CALL     ROUTL
          JMP      CHK_LI

```

```

DRIL3: SETB      P3.3
          MOV      R0,#00000101B      ; SET DELAY TIME
          CALL     ROUTL
          JMP      CHK_LI

```

```

DRIL4: SETB      P3.3
          MOV      R0,#00000100B      ; SET DELAY TIME
          CALL     ROUTL
          JMP      CHK_LI

```

```

ROUTR: CALL     DETM
          CALL     CLR
          CALL     DELAY2
          RET

```

```

ROUTL: CALL     DETM
          CALL     CLR
          CALL     DELAY2
          RET

```

DETM: DJNZ R0,DELAY

RET

DELAY: MOV R1,#35H

DELAY1: MOV R2,#40H

DJNZ R2,\$

DJNZ R1,DELAY1

JMP DETM

CLR: CLR P3.2

CLR P3.3

MOV R5,#00000100B

RET

DELAY2: DJNZ R5,DELAY3

RET

DELAY3: MOV R3,#070H ; SET DELAY TIME AFTER CLEAR

DELAY4: MOV R4,#00H

DJNZ R4,\$

DJNZ R3,DELAY4

JMP DELAY2

C\_INLIR: MOV C,P1.0 ; CHECK SENSOR IN LINE

ORL C,P1.7

JNC REVR

RET

C\_INLIL: MOV C,P1.0 ; CHECK SENSOR IN LINE

ORL C,P1.7

JNC REVL

RET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

REVR: SETB      P3.3
      MOV       R0,#00000101B
      CALL     DETM
      CALL     CLR
      RET

```

```

REVL: SETB      P3.2
      MOV       R0,#00000101B
      CALL     DETM
      CALL     CLR
      RET
      END

```



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

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

## 80C51-L/80C31-L

Table 1. (Cont.)

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

## 80C51-L / 80C31-L

Table 1. (Cont.)

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

## Notes on data addressing modes:

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

## Notes on program addressing modes:

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

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation 1979

## วิธีการให้ยานยนต์ควบคุมอัตโนมัติ

เนื่องจากภายในตัวรถมีสายต่อและสวิตช์อยู่หลายตัว ทางคณะผู้จัดทำโครงการนี้จึงได้แสดงวิธีการใช้สวิตช์ต่างๆเป็นลำดับขั้น เพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ต่างๆภายในตัวรถ ดังต่อไปนี้

### เมื่อต้องการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์ของแบตเตอรี่ 12 โวลท์สำหรับจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และ เซนเซอร์
2. เปิดสวิตช์รีเลย์ควบคุมการเลี้ยงของมอเตอร์ตัวหน้า และรีเลย์ตัดวงจรของมอเตอร์ตัวหลัง ( อยู่ชั้นล่างของส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ )
3. เปิดสวิตช์จ่ายไฟให้มอเตอร์ตัวหน้า เพื่อให้มอเตอร์เลี้ยงได้เมื่อออกนอกเส้นทาง
4. เปิดสวิตช์เบรกเพื่อให้มอเตอร์ตัวหลังทำงานได้
5. เปิดสวิตช์เบรกเกอร์

**หมายเหตุ** เมื่อรถเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทาง โดยที่เซนเซอร์ทั้ง 8 ตัวหลุดออกจากแถบเส้นทั้งหมดแล้ว รถจะหยุดเองโดยอัตโนมัติและเบรกเกอร์จะตัดเองโดยอัตโนมัติเช่นกัน

### เมื่อหยุดใช้งาน

1. ปิดสวิตช์เบรกเกอร์
2. ปิดสวิตช์เบรกเพื่อให้มอเตอร์ตัวหลังหยุดทำงาน
3. ปิดสวิตช์จ่ายไฟให้มอเตอร์ตัวหน้า เพื่อให้มอเตอร์หยุดทำงาน
4. ปิดสวิตช์รีเลย์ควบคุมการเลี้ยงของมอเตอร์ตัวหน้า และรีเลย์ตัดวงจรของมอเตอร์ตัวหลัง
5. ปิดสวิตช์ของแบตเตอรี่ 12 โวลท์สำหรับจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และ เซนเซอร์

## กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการนี้ เป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำสั่งสอน การให้คำปรึกษาแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้โครงการนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ พิเชิต ล้ายอง สำหรับคำแนะนำเรื่องเซนเซอร์ อาจารย์ สมภพ ผลไม้ ที่อนุญาตให้ใช้ห้องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่างๆให้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ลาดกระบัง ภาคไฟฟ้ากำลัง สโตร์ที่ให้ความสะดวกในเรื่องสถานที่และเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงการ รวมถึงห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ลาดกระบัง เกษตรศาสตร์และพระนครเหนือ สำหรับตำรา และเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ได้นำมาใช้ในโครงการและทำปฏิญานิพนธ์เล่มนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ตั้งใจ วิริยะ อุตสาหะ และพยายามทำให้โครงการนี้สำเร็จ ได้ดังที่ตั้งใจไว้แม้ว่าจะมีอุปสรรคและปัญหาเกิดขึ้นมากมายก็ตาม ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่อยู่ร่วมสถาบันเดียวกัน และต่างสถาบันสำหรับ ความห่วงใยและกำลังใจซึ่งมีส่วนผลักดันให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ในที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- [ 1 ] RAYMOND แอมแปร์ KULWIEC :- MATERIALS HANDLING HANDBOOK, 2nd EDITION, pp. 237-314 AWILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, NEWYORK, 1985 .
- [ 2 ] ยืน ภู่วรรณ, วัฒนา เชียงกุล :- อุปกรณ์ PLC-ไมโครคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2525 .
- [ 3 ] ไพศาล เต็งรังสรรค์, สาธิต นฤภัย :- ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เขียว, ปรียญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2525 .
- [ 4 ] สมชาย จันทบูรณ์, สราวุฒิ เบเกอร์ :- ยานขนของปรับทิศทางอัตโนมัติ, ปรียญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2534 .
- [ 5 ] พงศ์ สุวรรณปิฎก :- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง - กระแสสลับ, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ โอเค้นสโตร, 2525.
- [ 6 ] บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, รวมโครงการงานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 4, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ, 2523.
- [ 7 ] จรัส เขียวมนุกิจ :- Robotic Project Susie, ปรียญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526
- [ 8 ] กิตินัดดา ชื่นวานิช, นพรัตน์ โตประเสริฐ, อมรพันธ์ สีลาภรณ์ :- รถยนต์ไฟฟ้า, ปรียญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2525
- [ 9 ] สัมพันธ์ หาญขเล :- เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2521