รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ

AUTOMATIC ESCHEWING CAR

โดย

นายเทพขนิษฐ์ ยงเกียรติกานต์ 35104161

นายชวัชชัย วิษณุโยธิน 35104184

นางสาวศิริพร นาคอุดม 35104418

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กิตติพล ชิตสกุล

วัน เดือน ปี 1 ต.ค. 2540

เลขทะเบียน 037103

เลขเรียกหนังสือ T 58196 ท595 ร

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037103

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ (Automatic Eschewing Car)

ผู้จัดทำ

1. นายเทพชนิษฐ์ ยงเกียรติกานต์ เลขประจำตัว 35104161
2. นายธวัชชัย วิษณุโยธิน เลขประจำตัว 35104184
3. นางสาวศิริพร นาคอุดม เลขประจำตัว 35104418

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. กิตติพล ชิตสกุล)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ

เทพนิษฐ์ ยงเกียรติกานต์
ธวัชชัย วิษณุโยธิน
ศิริพร นาคอุดม
ดร. กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอโครงงานรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการนำความรู้ 3 ส่วนมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับเซ็นเซอร์วัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค ความรู้ทางด้านการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ และความรู้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์

รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ มีส่วนเซ็นเซอร์ที่ใช้อุลตร้าโซนิค ซึ่งสามารถตรวจจับตำแหน่งของวัตถุได้ในระยะ 1.2 เมตร ค่าระยะทางที่วัดได้จะอยู่ในรูปของข้อมูลทางดิจิตอลขนาด 8 บิท ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้รู้ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ทางด้านหน้าและด้านข้างของตัวรถ ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์เพื่อบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถให้วิ่งไปตรง ๆ เลี้ยวซ้าย หรือเลี้ยวขวา โดยไม่ชนกับวัตถุเหล่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC ESCHEWING CAR

Thepkanith Yongkiatkant
Thawatchai Visanuyotin
Siriporn Narkudom
Kitipol Chitsakul Advisor
1995

ABSTRACT

This thesis presents the automatic eschewing car which is a project that associates with using ultrasound transducers as distance sensors, DC motor control system and knowledge of microcontroller.

Ultrasonic sensors of the automatic eschewing car can detect positions of objects in 1.2 m. range. The 8 bits digital data of distance is sent to process by microprocessor to achieve positions of objects at the front and the side of the car. So that , by control DC motor , the car can go streight on , turn left , or turn right to eschew objects .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ระบบขับเคลื่อน (Driver system) 2

2.1 หลักการทำงานของ DC มอเตอร์ 2

2.2 พัลซ์วิดธ์โมดูเลชั่นแอมปลิฟายเออร์ 18

2.3 การใช้งาน D/A Converter (DAC) 24

2.4 หลักการออกแบบและการสร้างระบบขับเคลื่อน 26

บทที่ 3 ระบบตรวจจับวัตถุและวัดระยะทาง 29

3.1 ลักษณะการใช้งานทั่วไปของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ 30

3.2 การนำไปใช้ในวงจรวัดระยะทาง 33

บทที่ 4 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ 43

4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 43

4.2 การใช้ 8255 กับ 8031 48

4.3 การใช้งาน DOT MATRIX LCD MODULE 50

4.4 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ 60

บทที่ 5 โปรแกรมควบคุมการทำงาน 63

5.1 โปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของรถ 63

5.2 โปรแกรมย่อยควบคุมให้รถวิ่งไปยังเป้าหมาย 63

5.3 โปรแกรมย่อยควบคุมรถให้เคลื่อนที่ได้ตรงและวัดระยะทาง 66

5.4 โปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว 67

5.5 โปรแกรมย่อยควบคุมการตรวจจับระยะวัตถุ 70

บทที่ 6 การทดลองและสรุปผล 72

6.1 การทดลองวงจรควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ 72

6.2 การทดลองโปรแกรมย่อยและวงจรวัดระยะทางโดยใช้อุลตร้าโซนิค 74

6.3 การทดลองโปรแกรมย่อยให้รถเคลื่อนที่ได้ตรง 76

6.4 การทดลองโปรแกรมย่อยในการวัดระยะทาง 77

6.5 การทดลองโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

6.6 การทดลองโปรแกรมหลักควบคุมการทำงาน 79

ภาคผนวก ก. รายละเอียดโปรแกรมทั้งหมด

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการใช้งานไอซีที่สำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ 1

รูป 2.1 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในดีซีมอเตอร์ 3

รูป 2.2 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก 4

รูป 2.3 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์อนุกรมภายใต้สภาวะโวลต์เตจคงที่ 4

รูป 2.4 ดีซีมอเตอร์แบบปรับแยกสนามแม่เหล็กได้ 5

รูป 2.5 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของชันท์มอเตอร์ภายใต้สภาวะอาเมเจอร์โวลต์เตจคงที่และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่ 5

รูป 2.6 ดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แม่เหล็กถาวร 5

รูป 2.7 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร 7

รูป 2.8 หน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่และฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร 7

รูป 2.9 รูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่ 8

รูป 2.10 อาร์เมเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งมีรูปร่างเป็นถ้วยทรงกระบอกและเพลาเอาท์พุททำด้วยเซรามิคอลูมิเนียมเพื่อให้ทนต่อแรงดึงสูง 8

รูป 2.11 แสดงรูปร่างและโครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ 9

รูป 2.12 แสดงถึงดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน 9

รูป 2.13 ดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม 10

รูป 2.14 รูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านและโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร 10

รูป 2.15 ระบบเอนโค้ดเดอร์แบบโรตารี่ 11

รูป 2.16 อินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์แบบลิเนียร์ 12

รูป 2.17 ตัวอย่างกลไกของออปโต้อินคริเมนท์ 12

รูป 2.18 แสดงถึงตัวเซ็นเซอร์แบบมีช่องเปิดให้แสงผ่านได้ช่องเดียวและแบบมีหลายช่อง 13

รูป 2.19 แสดงถึงผลของแสงที่เดินทางในแนวเดียวกันและแสงที่แตกกระจาย 14

รูป 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นลิเนียร์กับความไม่ได้ศูนย์กลาง 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 2.21 (ก) ตัวอย่างลูกคลื่นเอาท์พุทสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เอนโค้ดเดอร์ช่องเดียว (ไบไดเรคชั่น)
(ข) ตัวอย่างสัญญาณเอนโค้ดเดอร์ 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90 องศา (สองทิศทาง) 15
รูป 2.22 ลักษณะการวางรูปของแมกนิติดพิคอัพเอนโค้ดเดอร์ 16
รูป 2.23 โครงสร้างภายในของตัวแมกนิติดพิคอัพ 17
รูป 2.24 ตัวอย่างของแมคนิติดพิคอัพ 17
รูป 2.25 ตัวอย่างลูกคลื่นโวลต์เตจเอาท์พุทของแมกนิติพิคอัพเซ็นเซอร์ 17
รูป 2.26 ลูกคลื่นเอาท์พุทของตัวพิคอัพความเร็วแบบแม่เหล็ก 18
รูป 2.27 แอมปลิฟายเออร์แบบ PWM และดีซีมอเตอร์ 20
รูป 2.28 ค่าเส้นโค้งของความเร็ว-แรงบิด 21
รูป 2.29 ลูกคลื่นของกระแสสามเหลี่ยม 23
รูป 2.30 วงจร Unipolar D/A 24
รูป 2.31 วงจร D/A แบบ Bipolar เอาท์พุทของวงจรสามารถเปลี่ยนแปลงจากแรงดันลบจนถึงแรงดันบวกได้ 25
รูป 2.32 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อน 26
รูป 2.33 วงจรควบคุมดีซีมอเตอร์ 28
รูป 3.1 (ก)โครงสร้างภายในตัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอีเลคทริคที่ใช้สารเซรามิค
(ข) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิคโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศ 31
รูป 3.2 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบต่าง ๆ กัน 32
รูป 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบอุลตร้าโซนิค 35
รูป 3.4 วงจรวัดระยะทางด้วยอุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ 36
รูป 3.5 (ก) การส่งสัญญาณอินเท้อร์รัปต์ให้ 8031 37
(ข) แสดงการส่งข้อมูลระยะทาง 8 บิต เข้า 8031 37
รูป 3.6 วงจรโมโนสเตเบิ้ล 38
รูป 3.7 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของสัญญาณควบคุมต่าง ๆ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 4.1 แผนภาพแสดงหน่วยทำงานพื้นฐานของ 8031 43
รูป 4.2 แสดงการกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไอซี 8031 45
รูป 4.3 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายในเพื่อใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ 46
รูป 4.4 แสดงแผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255 48
รูป 4.5 แสดงคำสั่ง CLEAR DISPLAY 54
รูป 4.6 แสดงคำสั่ง RETURN HOME 54
รูป 4.7 แสดงคำสั่ง ENTRY MODE SET 54
รูป 4.8 แสดงคำสั่ง DISPLAY ON/OFF CONTROL 55
รูป 4.9 แสดงคำสั่ง CURSOR OR DISPLAY SHIFT 55
รูป 4.10 แสดงคำสั่ง FUNCTION SET 56
รูป 4.11 แสดงคำสั่ง SET CG ADDRESS 57
รูป 4.12 แสดงคำสั่ง SET DD RAM ADDRESS 57
รูป 4.13 แสดงการจัดแอดเดรสของ DD RAM หน้าจอ LCD 58
รูป 4.14 แสดงคำสั่ง READ BUSRY FLAG AND ADDRESS 58
รูป 4.15 แสดงคำสั่ง WRITE DATA TO CG DD หรือ RAM 59
รูป 4.16 แสดงคำสั่ง READ DATA FROM CG OR DD RAM 59
รูป 4.17 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ 62
รูป 5.1 แผนภาพการไหลของโปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของรถ 64
รูป 5.2 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมให้รถวิ่งไปยังเป้าหมาย 65
รูป 5.3 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงและวัดระยะทาง 68
รูป 5.4 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยวซ้าย 69
รูป 5.5 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมการตรวจจับระยะวัตถุ 71
รูป 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle (%) และ Speed (rpm) ที่ได้จาก
การทดลอง 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 4.1 แสดงการกำหนดการรับเขียนอ่านข้อมูล 51

ตาราง 4.2 แสดงขาต่าง ๆในการต่อใช้งาน LCD 52

ตาราง 4.3 แสดงคำสั่ง DH44780 53

ตาราง 4.4 แสดงการกำหนดบิตต่าง ๆในการกำหนดแบบตัวอักษร 56

ตาราง 6.1 ผลการทดลองวงจรควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ 73

ตาราง 6.2 ผลการทดลองโปรแกรมและวงจรวัดระยะทางโดยใช้อุลตร้าโซนิค 75

ตาราง 6.3 ผลการทดลองโปรแกรมย่อยให้รถเคลื่อนที่ได้ตรง 76

ตาราง 6.4 ผลการทดลองโปรแกรมย่อยในการวัดระยะทาง 77

ตาราง 6.5 ผลการทดลองโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว 78

ตาราง 6.6 แสดงผลการทดลองโปรแกรมหลักเมื่อไม่คำนึงถึงชุดเซ็นเซอร์ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

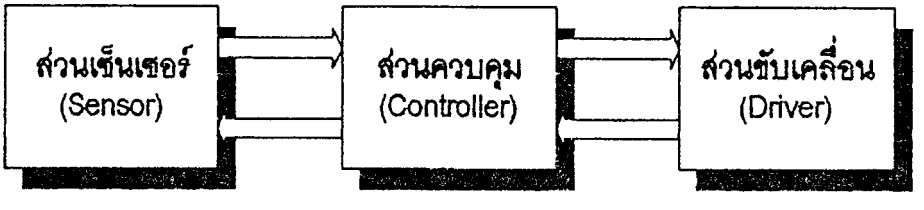
ปัจจุบันนี้มีการนำเอาหุ่นยนต์(Robot) มาใช้งานแทนมนุษย์ และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง หุ่นยนต์เหล่านี้มีอยู่หลายรูปแบบแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน เช่น แขนกล จะทำหน้าที่เสมือนเป็นมือของมนุษย์ สามารถหยิบ จับ ยก สิ่งของต่าง ๆ ได้ หุ่นยนต์เตะฟุตบอล สามารถใช้เล่นฟุตบอลได้เหมือนมนุษย์ เป็นต้น

รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัตินี้ ถือว่าเป็นหุ่นยนต์รูปแบบหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดจุดหมายปลายทางให้รถวิ่งไปถึงได้ โดยไม่ชนกับวัตถุสิ่งของใด ๆ ที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของรถ ซึ่งโครงงานนี้เป็นเพียงแบบจำลองยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่สามารถนำเอาแนวคิดไปประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ เพื่อให้ใช้งานได้จริง เช่น ทำเป็นหุ่นยนต์ส่งของ เครื่องดูดฝุ่นอัตโนมัติ หรืออื่น ๆ แล้วแต่ว่าจะเอาไปใช้งานอย่างไร

รถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่

1. ส่วนขับเคลื่อน (Driver)
2. ส่วนเซ็นเซอร์ (Sensor)
3. ส่วนควบคุม (Controller)

ทั้ง 3 ส่วน จะประกอบกันดังบล็อกไดอะแกรมรูป 1.1 โดยใช้โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ควบคุมการทำงาน รายละเอียดของแต่ละส่วน พร้อมทั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานจะกล่าวถึงในบทต่อไป



รูป 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบขับเคลื่อน (Driver system)

ระบบขับเคลื่อนของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติจะใช้ดีซีมอเตอร์ (DC Motor) ซึ่งจะต้องมีการควบคุมการทำงาน ควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุน ทั้งยังต้องมีชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับการทำงานแล้วป้อนกลับไปสู่ส่วนประมวณผลกลางอีกด้วย ดังนั้นในการออกแบบระบบขับเคลื่อนจึงต้องอาศัยหลักการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์[3]

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิด มีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลาของดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูป 2.1 ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก $\varnothing$ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K\varnothing I \qquad (2.1)$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลามีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N-m)

$\varnothing$ คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)

I คือกระแสเป็น แอมแปร์ (A)

K คือค่าคงที่

ดังนั้น แรงบิดของเพลาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของมอเตอร์ และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\varnothing\omega \qquad (2.2)$$

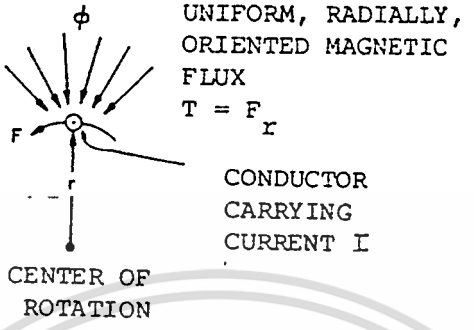
เมื่อ E คือ โวลต์เตจย้อนกลับ (back emf) มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$\varnothing$ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์

ω คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที (rad/s)

สมการ 2.1 และ 2.2 เป็นสมการที่แสดงหลักการทำงานพื้นฐานของดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในดีซีมอเตอร์

2.1.1 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะและวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ (Armature) การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

- ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
- ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ถ้าเราจะพิจารณาแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์เมเจอร์ สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

- ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็ก
- ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
- ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีดีซีมอเตอร์ชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่ง คือ แบบไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor) ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับดีซีมอเตอร์ชนิดแปรงถ่าน ยกเว้นการคอมมิวเตชั่นกระทำโดยเทคนิคทางอิเลคทรอนิกส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีทางเชิงกล

1) ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

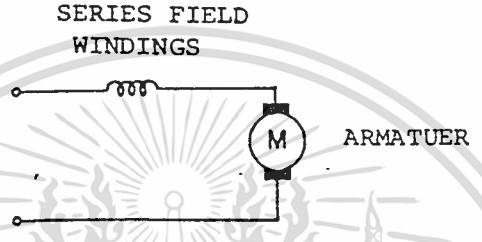
ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ ยังแบ่งแยกได้เป็น 2 แบบ คือ

ก. แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์

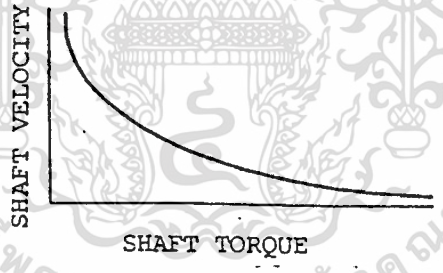
ข. แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรม แสดงดังในรูป 2.2 มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส ดังนั้นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดเป็นนอนลิเนียร์ (Non-linear) ดังในรูป 2.3 มอเตอร์ต่อดังกล่าวจะใช้งานในภาวะเฉพาะเมื่อต้องแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำที่ความเร็วสูง เช่นระบบการขับเคลื่อนของรถลาก



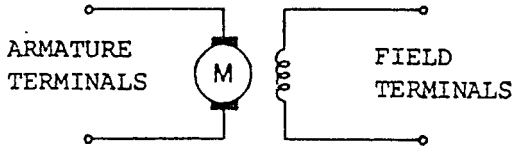
รูป 2.2 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก



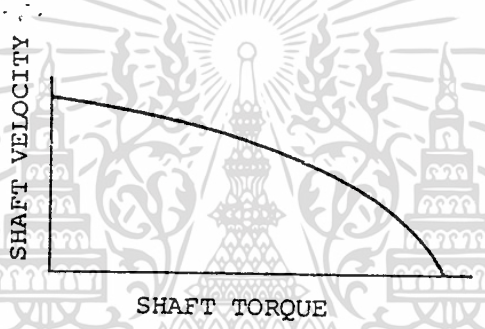
รูป 2.3 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์อนุกรม ภายใต้สภาวะโวลต์เตจคงที่

ดีซีมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น นิยมเรียกกันว่า ชันท์มอเตอร์ (shunt motor) มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอาร์เมเจอร์ ยังผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มักจะใช้งานในกรณีระบบบังคับการเคลื่อนที่ต้องการแรงบิดสูง แสดงตัวอย่างของมอเตอร์แบบนี้ได้ดังรูป 2.4 คุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วของชันท์มอเตอร์ภายใต้ภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่และอาร์เมเจอร์โวลต์เตจคงที่ แสดงได้ดังรูป 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



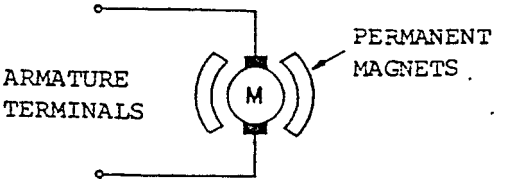
รูป 2.4 ดีซีมอเตอร์แบบแยกปรับสนามแม่เหล็กได้



รูป 2.5 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของชันท์มอเตอร์ภายใต้ภาวะอาร์เมเจอร์โวลต์เตจคงที่และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่

2) ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

ระบบการกระตุ้นฟิลด์ของมอเตอร์โดยทั่วไปในปัจจุบัน มักจะใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร แสดงดังในรูป 2.6



รูป 2.6 ดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบนี้เส้นแรงของฟิลด์จะมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ 2.1 เขียนให้ง่ายขึ้นเป็น

$$T = K_t I \qquad (2.3)$$

และสมการ 2.2 ได้เป็น

$$E = K_e \omega \qquad (2.4)$$

ในระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดและความเร็วอยู่ในลักษณะลิเนียร์ สมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e \omega + L\, di/dt + Ri \qquad (2.5)$$

เมื่อ V คือ โวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์

K_e คือ ค่าคงที่ของโวลต์เตจย้อนกลับ

L คือ อินดัคแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

R คือ ความต้านทานของขั้วมอเตอร์

สมการไดนามิคของมอเตอร์คือ

$$T_g = J\, d\omega/dt + B\omega + T_f + T_L \qquad (2.6)$$

เมื่อ T_g คือ แรงบิดที่กำเนิดโดยอาร์เมเจอร์

J คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด

B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมพ์ปิ้ง

T_f คือ แรงบิดเสียดทานภายใน

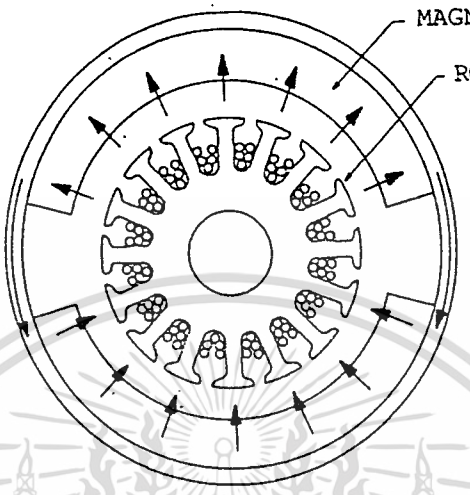
T_L คือ แรงบิดโหลด

สมการต่าง ๆของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นฟิลด์ จะเหมือนกับแบบกระตุ้นฟิลด์คงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบฟิลด์แม่เหล็กถาวร ซึ่งเหนือกว่ามอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟิลด์ ด้วยการพันของขดลวด คือ ไม่มีกำลังสูญเสียในฟิลด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากัน นอกจากนั้นความสัมพันธ์เชิงเส้นในสมการ 2.1 ยังให้ค่าของกระแสอาร์เมเจอร์ที่สูงกว่าดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์เป็นขดลวด การประยุกต์ใช้งานเหมาะกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง

3) ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

รูป 2.7 แสดงถึงการออกแบบของโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว โดยไม่มีสล็อต ทำให้ได้อินดัคแตนซ์ของโรเตอร์ต่ำกว่าแบบแกนเหล็ก ข้อเสียคือทำให้ขนาดของมอเตอร์แบบนี้ใหญ่ขึ้นและราคาแพงกว่าแบบแกนเหล็กด้วย

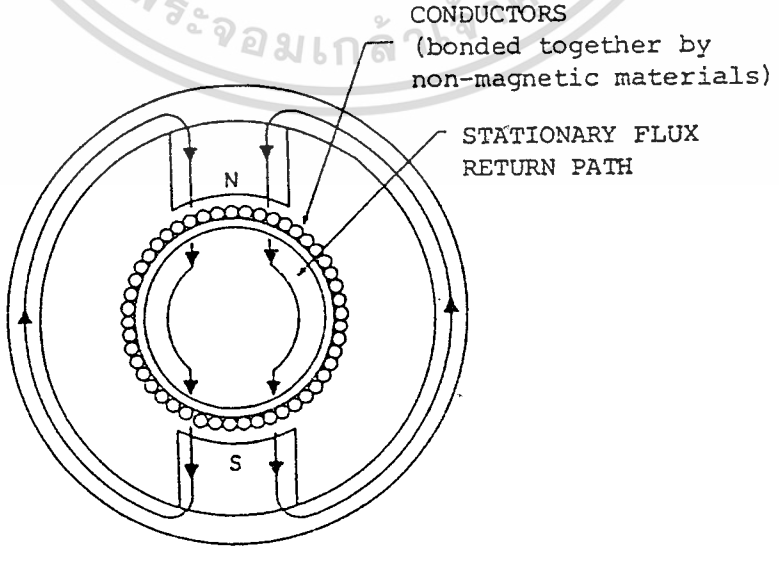
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.7 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร

4) ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

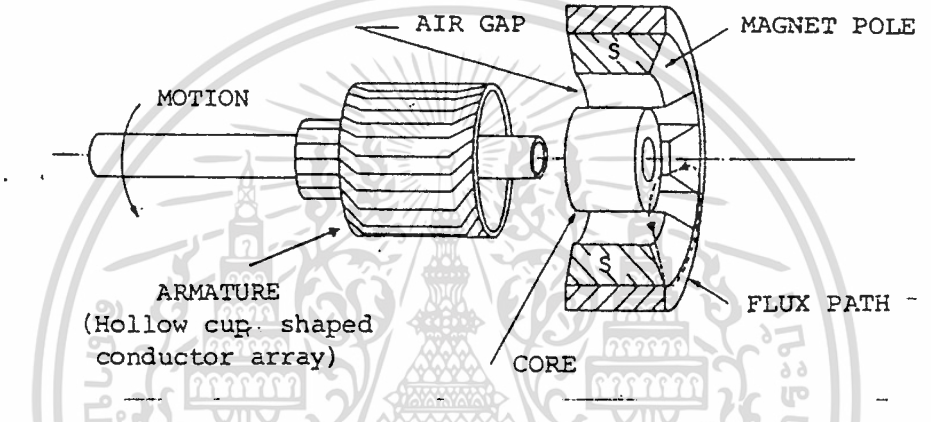
มอเตอร์แบบขดลวดหมุน ได้รับการออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมากดังแสดงในรูป 2.8 และรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์ดังกล่าวแสดงในรูป 2.9 นอกจากนั้นในรูป 2.10 และรูป 2.11 เป็นรูปถ่ายของอาร์เมเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ และรูปลักษณะโครงสร้างภายนอก



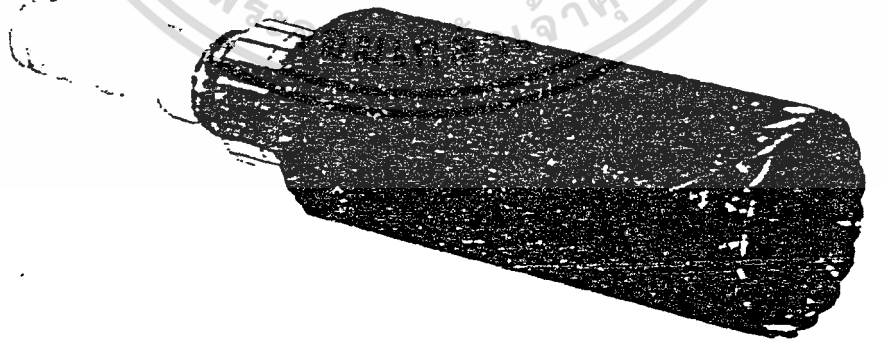
รูป 2.8 หน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่และฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กมอเตอร์แบบนี้มีช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้โครงสร้างของแม่เหล็กให้ใหญ่ขึ้น เพื่อให้ได้ช่องว่างของอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เท่ากันกับของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์แบบนี้จึงมีราคาแพง นอกจากนั้นโครงสร้างของโรเตอร์มีความจุความร้อนต่ำมาก ถ้าหากเกิดโอเวอร์โหลดก็จะทำให้มอเตอร์เสียได้ง่ายและโรเตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าอินดัคแตนซ์ต่ำมากคือ น้อยกว่า 10 ไมโครเฮ็นรี่

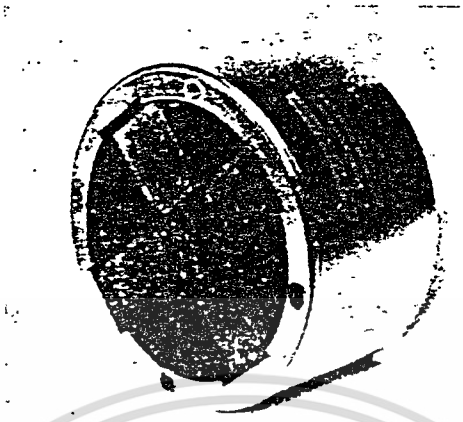


รูป 2.9 รูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่



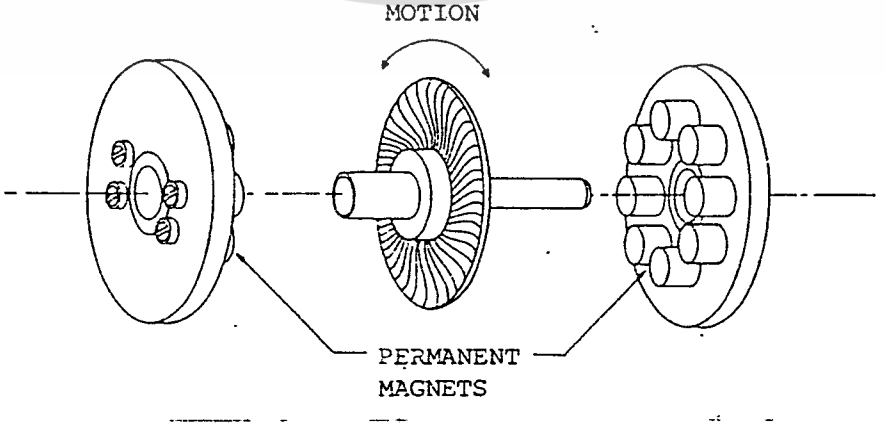
รูป 2.10 อาร์เมเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งมีรูปร่างเป็นถ้วยทรงกระบอก และเพลาเอาท์พุททำด้วยเซรามิคอลูมิเนียมเพื่อให้ทนต่อแรงดึงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



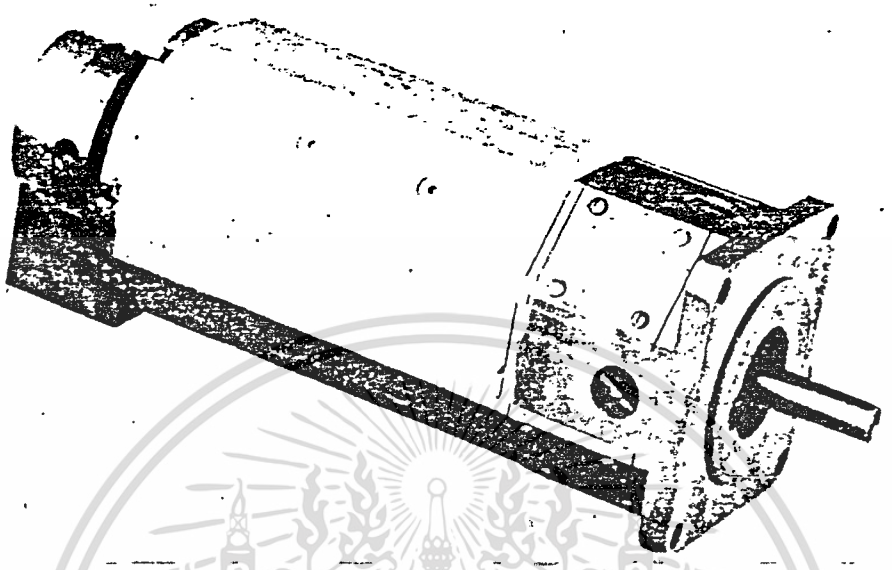
รูป 2.11 แสดงรูปร่างและโครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่

ในรูป 2.12 แสดงถึงมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่อีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งมีโครงสร้างของอาร์เมเจอร์เป็นรูปร่างจาน ทำขึ้นจากขดลวดตัวนำซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น และเรามักจะเรียกกันว่า "printed motor" ตัวอย่างอีกอันหนึ่งของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (หมุน) แสดงในรูป 2.13 ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 7 แรงม้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานเครื่องมือกลได้ดี ให้แรงบิดได้สูงถึง 100 ฟุต-ปอนด์ (ft-lb) และพัลซ์กระแสได้ถึง 800 แอมป์ ในปัจจุบันดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนนี้ให้คุณสมบัติการทำงานที่ดีเยี่ยม เหมาะสำหรับเป็นตัวขับเคลื่อนในระบบการบังคับตำแหน่ง และยังให้อัตราส่วนระหว่างแรงบิดและแรงเฉื่อยได้สูง มีค่าอินดัคแตนซ์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบอื่น ๆ นอกจากนั้นความสามารถในการเพิ่มอัตราเร่งยังกระทำได้สูง 10^6 เรเดียน/ วินาที ^{2} (rad/s^2)



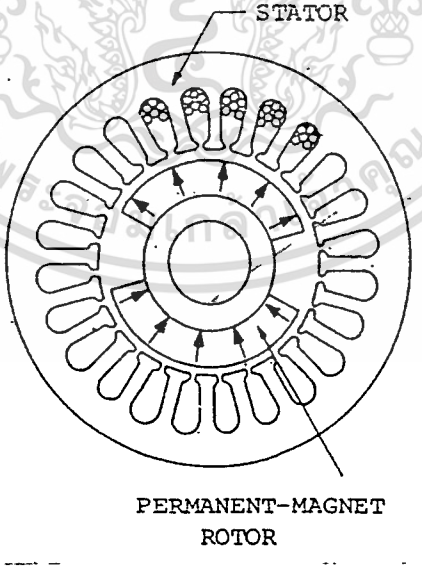
รูป 2.12 แสดงถึงดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.13 ดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

5) ดีซีมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน



รูป 2.14 รูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านและโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร

ดีซีมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านต่างจากดีซีมอเตอร์ที่กล่าวมาแล้วคือ การคอมมิวเตชั่นกระแสอาร์เมเจอร์จะใช้วิธีทางอิเล็คทรอนิกส์ โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้จะมีโรเตอร์เป็น

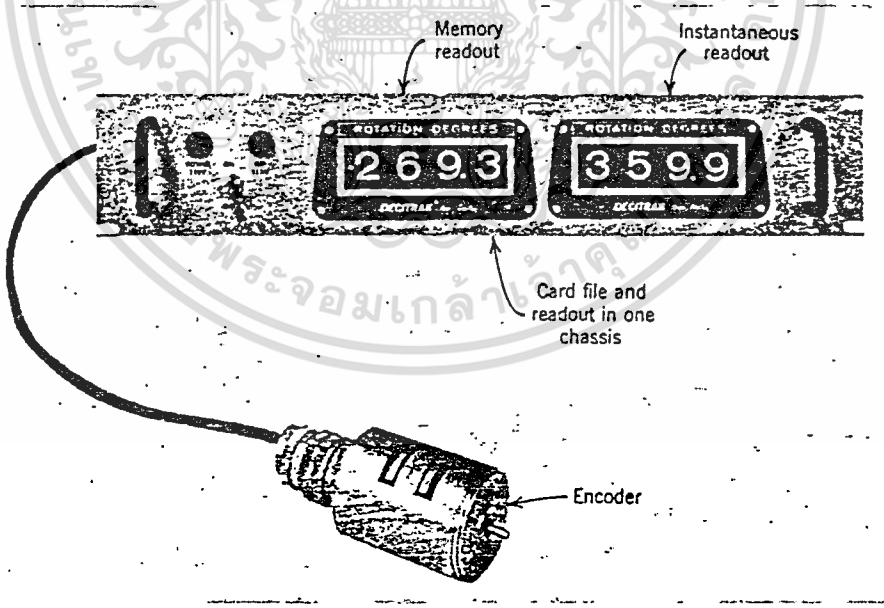
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กยึด "back iron" และขดลวดคอมมิวเตทจะอยู่ภายนอกส่วนของตัวโรเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.14 (เปรียบเทียบกับดีซีมอเตอร์โดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างที่มีส่วนประกอบกลับกัน) การประยุกต์ใช้งานของดีซีมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านนี้มักจะใช้ในระบบที่ต้องการโมเมนต์ของแรงเฉื่อยต่ำ เนื่องด้วยโครงสร้างโรเตอร์ของมอเตอร์แบบนี้สร้างขึ้นด้วยสารแม่เหล็กชนิดพิเศษ เพื่อให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยต่ำ

2.1.2 เซ็นเซอร์และเอนโค้ดเดอร์ในระบบควบคุมมอเตอร์

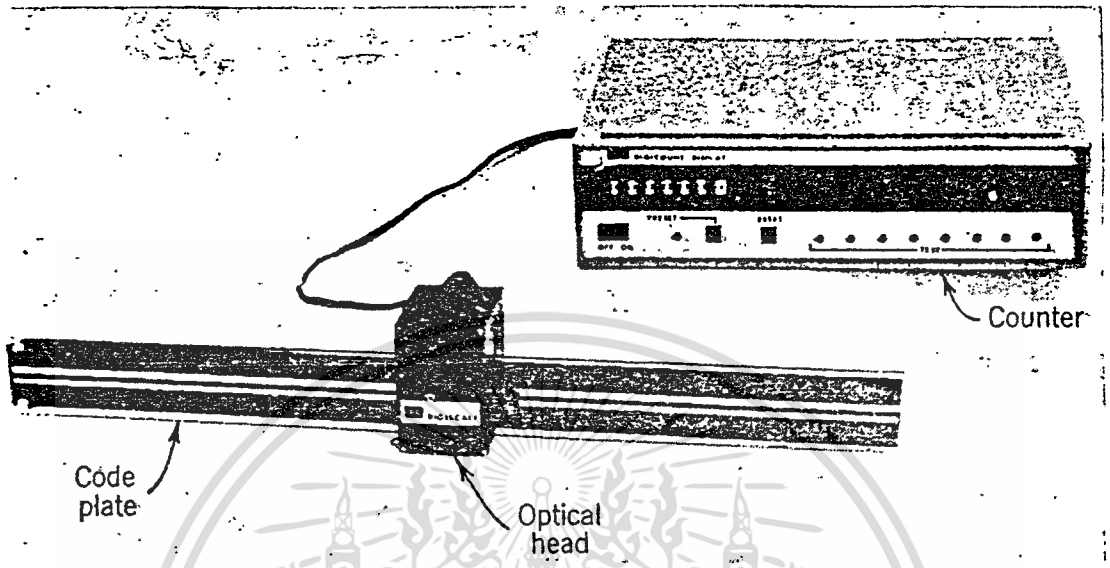
1) อินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์ (Increment Encoder)

ในระบบการบังคับตำแหน่งหรือความเร็วของมอเตอร์ ต้องใช้อินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์หรือเอนโค้ดเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่งและสำหรับสร้างสัญญาณป้อนกลับ โดยที่ตัวเอนโค้ดเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลซ์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา สามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลามอเตอร์ในรูปของอัตราจำนวนพัลซ์ได้ ในรูป 2.15 และ 2.16 แสดงรูปลักษณะของอินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์แบบโรตารี่และแบบลิเนียร์



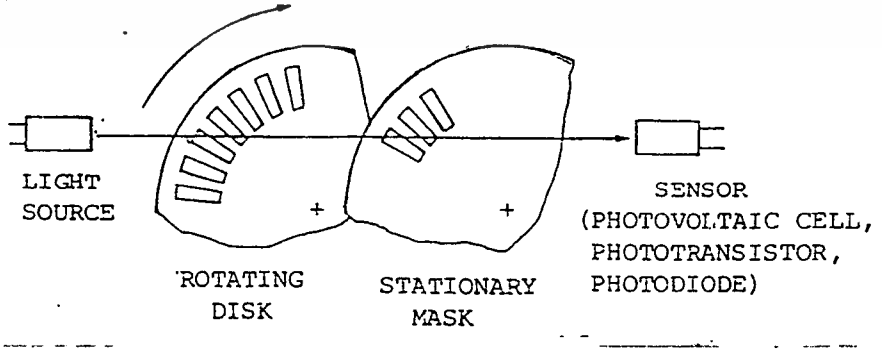
รูป 2.15 ระบบเอนโค้ดเดอร์แบบโรตารี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



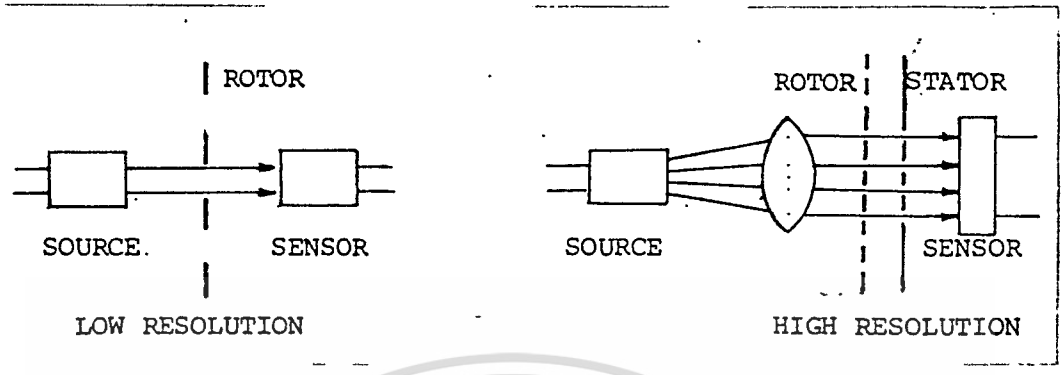
รูป 2.16 อินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์แบบลิเนียร์

อินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ ตัวกำเนิดแสง จานหมุน (ro-tory disk) จานอยู่กับที่และตัวเซ็นเซอร์ บนแผงจานหมุนทำเป็นช่องโดยรอบดังแสดงในรูป 2.17 และบนแผ่นอยู่กับที่จะมีช่องสำหรับให้แสงผ่านตรงข้างไปยังตัวเซ็นเซอร์แต่ถ้าเป็นเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้วัดความเร็วต่ำไม่ต้องมีแผ่นอยู่กับที่ก็ได้ ส่วนตัวกำเนิดแสงอาจจะเป็นหลอดไฟหรือ LED ก็ได้ดังแสดงในรูป 2.18



รูป 2.17 ตัวอย่างกลไกของออปโต้อินคริเมนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.18 แสดงถึงตัวเซ็นเซอร์แบบมีช่องเปิดให้แสงผ่านได้ช่องเดียวและแบบมีหลายช่อง

ความละเอียดของอินคริเมนท์เอนโค้ดเดอร์ คือ จำนวนคาบเวลาของสัญญาณเอาท์พุทต่อการหมุนของเพลา 1 รอบ ซึ่งบวกเป็นจำนวนพัลซ์ต่อรอบหรือจำนวนไซเคิลต่อองศา เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้กันทั่ว ๆไปมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลซ์ต่อรอบ

ในทางปฏิบัตินั้นเนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นลำแสงเดียว ถ้าเราต้องการให้แสงที่ผ่านช่องไปยังเซ็นเซอร์เป็นเส้นตรงพร้อม ๆกัน (collimation) ทำได้โดยใช้เลนส์หรือพาราโบลิคแฟคเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.19

จำนวนพัลซ์ต่อ 1 รอบของสัญญาณที่เอนโค้ดเดอร์สร้างออกมาจะเท่ากับจำนวนช่องว่างบนแผ่นจานหมุน และความกว้างของช่องว่างกับความกว้างของแถบทึบระหว่างช่องว่างจะเท่ากัน เพราะฉะนั้นเราสามารถคำนวณหาความกว้างของช่องว่าง (ω) ได้จาก

$$\omega = \pi D / 2N \qquad (2.7)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแพ็ทเทิร์น

N คือ จำนวนของความละเอียดเป็นพัลซ์ต่อรอบ

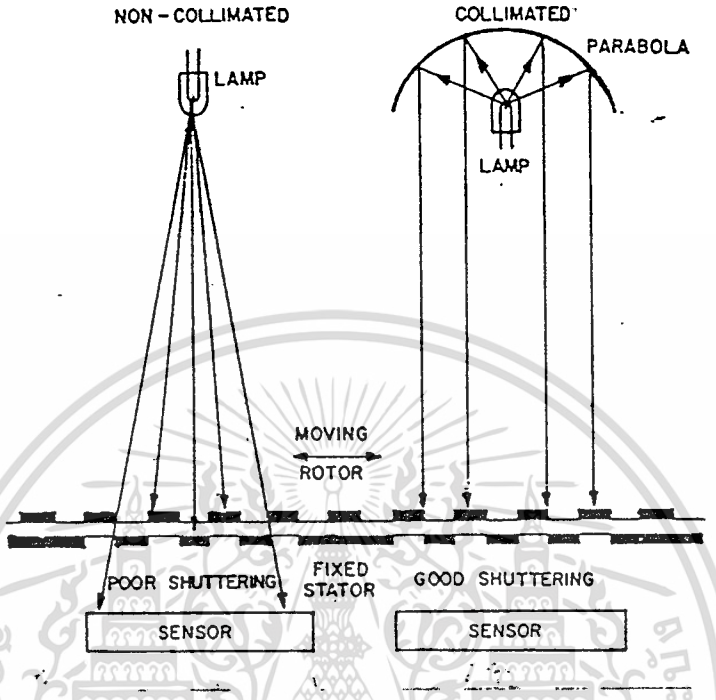
ω คือ ความกว้างของช่องว่าง

ค่าของตัวแปรของสมการ 2.7 นี้หาได้จากรูป 2.20 ถ้าให้ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นหมุนของเอนโค้ดเดอร์ค่าประมาณที่ใกล้เคียงมากของค่าความกว้างของช่องว่างแสดงได้ดังนี้

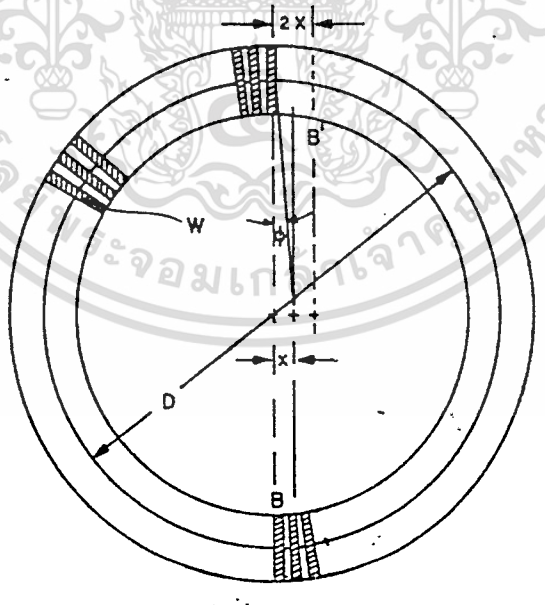
$$\omega = 0.75\pi D / 2N \qquad (2.8)$$

ตัวอย่าง ถ้าแผ่นหมุนของเอนโค้ดเดอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ต้องการค่าความละเอียด 200 พัลซ์ต่อรอบ จะได้ความกว้างของช่องว่างเท่ากับ 0.002356 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.19 แสดงถึงผลของแสงที่เดินทางในแนวเดียวกันและแสงที่แตกกระจาย



LINEARITY ERROR = 2X / W

WHERE W = πD / RESOLUTION = PERIOD WIDTH

X = ECCENTRICITY (PATTERN TO ROTATIONAL AXIS)

2X = TOTAL PERIOD ERROR IN 180° REVOLUTION

D = MEAN PATTERN DIAMETER

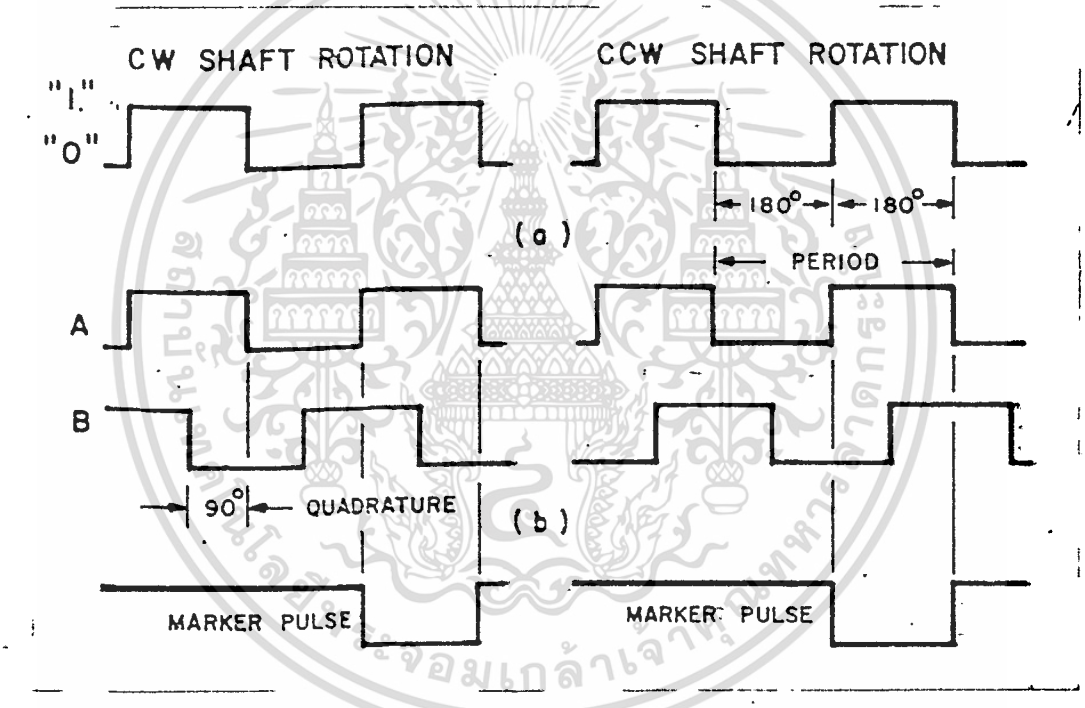
รูป 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นลิเนียร์กับความไม่ได้ศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทของเอนโค้ดเดอร์

โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากเอนโค้ดเดอร์โดยตรงจะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุม หรือสำหรับการประมวณผลสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยายและแปลงรูปร่างลูกคลื่นสัญญาณต่อไว้ในตัวเอนโค้ดเดอร์ด้วยเสมอ

สัญญาณลูกคลื่นที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ปกติแล้วจะเป็นรูปสัญญาณซายน์ ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ รูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ โดยการต่อตัวคอมพาราเตอร์เข้ากับลิเนียร์แอมปลิฟายเออร์ของเอนโค้ดเดอร์ ก็จะได้เอาท์พุทเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมตามที่ต้องการ



รูป 2.21 (ก) ตัวอย่างลูกคลื่นเอาท์พุทสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เอนโค้ดเดอร์ช่องเดียว (ไบไดเรคชั่น)
(ข) ตัวอย่างสัญญาณเอนโค้ดเดอร์ 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90 องศา (สองทิศทาง)

รูป 2.21 (ก) แสดงถึงลูกคลื่นเอาท์พุทสี่เหลี่ยมของเอนโค้ดเดอร์ชนิด 1 ช่องไม่ว่าเพลาจะหมุนในทิศทางใดก็ได้สัญญาณออกมาเหมือนกัน จึงเหมาะที่จะใช้กับงานที่ไม่กำหนดทิศทางเท่านั้น ส่วนในรูป 2.21 (ข) แสดงสัญญาณ 2 ชุด ที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์ชนิด 2 ช่อง เฟสของสัญญาณ 2 ช่องนี้จะต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า เราจะเรียกสัญญาณ 2 ช่องนี้ว่าเป็นควอดราเจอร์ (quadrature) กัน เหมาะที่จะใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลาหรือใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อนอื่น ๆ จากสัญญาณในรูป 2.21 (ข) จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 ช่องจะเริ่มจาก 0 ถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

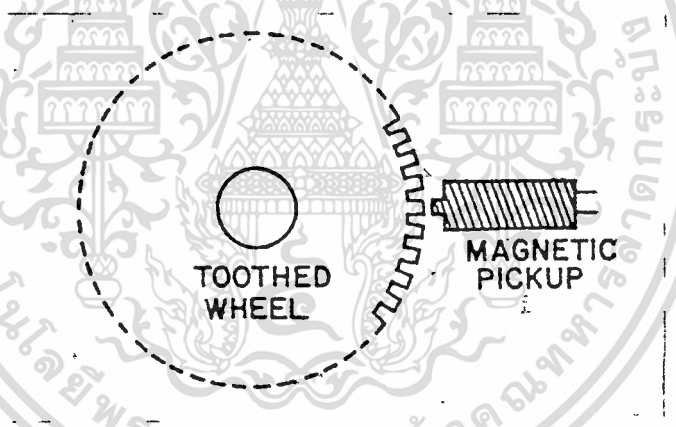
และ 1 ถึง 0 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของแผ่นหมุนของเอนโค้ดเดอร์

ในอินครีเมนท์เอนโค้ดเดอร์บางชนิดจะมีพัลซ์ที่แสดงถึงจำนวนรอบของการหมุน สำหรับใช้เป็นศูนย์ในการอ้างอิงพัลซ์ที่ใช้แสดงจำนวนรอบนี้ จะเกิดขึ้น 1 พัลซ์ต่อ 1 รอบ โดยทั่วไปแล้วใช้บอกถึงตำแหน่งเชิงกลหรือใช้เป็นสัญญาณเคลียร์จำนวนที่นับไว้ในหน่วยเก็บข้อมูล

อินครีเมนท์เอนโค้ดเดอร์ เมื่อเราต่อเอาท์พุทของโรเตอร์นี้เข้ากับวงจรซีโรครอสซิ่งดีเทคเตอร์ ก็สามารถใช้คำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของเพลาที่หมุนได้ในช่วงเวลาที่กำหนด

2) แมกนิติคพิคอัพ

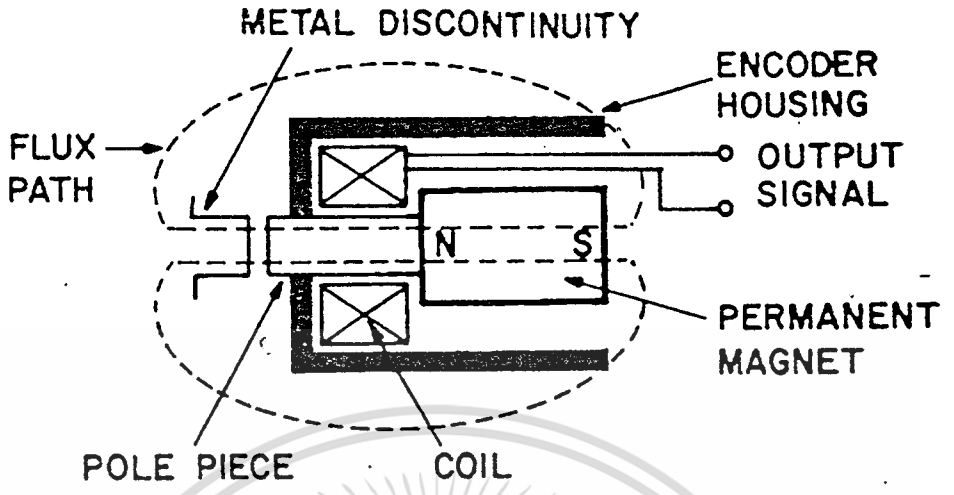
ตัวพิคอัพความเร็วเพลาแบบแม่เหล็กเหมาะที่นำไปใช้สำหรับรับรู้การเคลื่อนที่ในงานอุตสาหกรรมทั่ว ๆไป ประกอบด้วยส่วนสองส่วนคือ ตัวพิคอัพทรานสดิวเซอร์และแผ่นโลหะกลมมีขอบเป็นซี่ ๆ ดังรูป 2.22 ช่องกว้างระหว่างตัวพิคอัพกับซี่ฟันต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุด ประมาณ 0.004 ถึง 0.005 นิ้ว



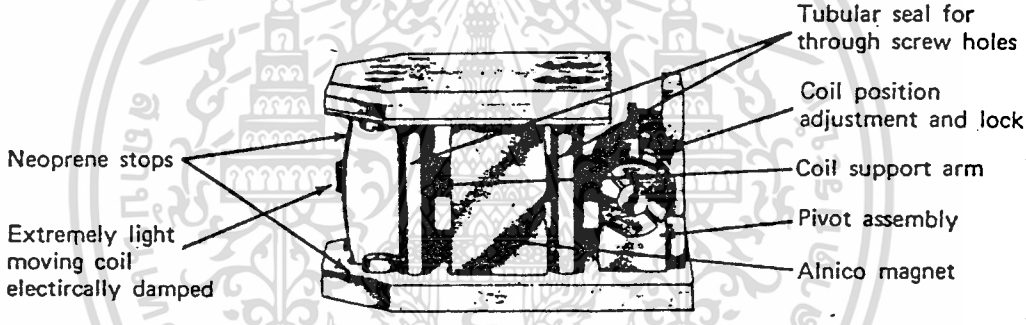
รูป 2.22 ลักษณะการวางรูปของแมกนิติคพิคอัพเอนโค้ดเดอร์

โครงสร้างภายในของแมกนิติคพิคอัพแสดงในรูป 2.23 และรูป 2.24 ส่วนประกอบที่สำคัญคือแม่เหล็กถาวร ส่วนของโพลและขดลวดทั้งหมดนี้จะบรรจุในตัวโครงภายนอก แม่เหล็กถาวรทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านส่วนของโพลและรอบนอก เมื่อแผ่นโลหะกลมหมุนซี่ฟันจะตัดผ่านสนามแม่เหล็กอย่างไม่ต่อเนื่องเป็นช่วง ๆ ทำให้มีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นมาในขดลวดในทิศทางหนึ่ง และเมื่อซี่ฟันเคลื่อนผ่านไปจากส่วนโพลสนามแม่เหล็กก็จะขยาย ทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามในขดลวด ดังแสดงในรูป 2.25 และ 2.26

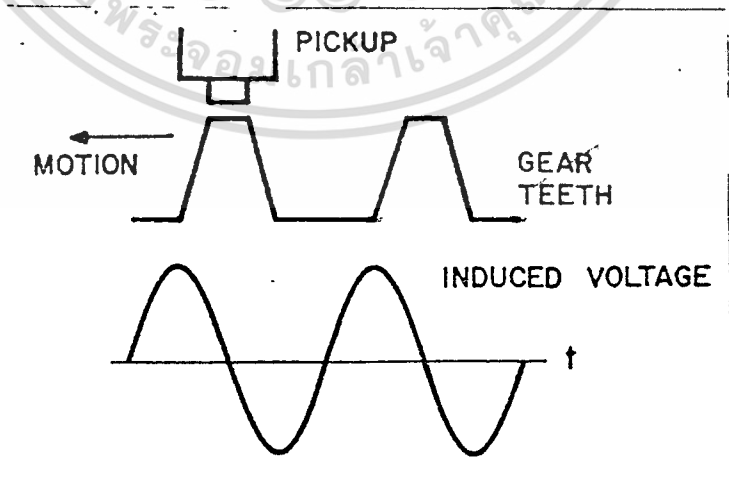
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.23 โครงสร้างภายในของตัวแมกนิติคพิคอัพ

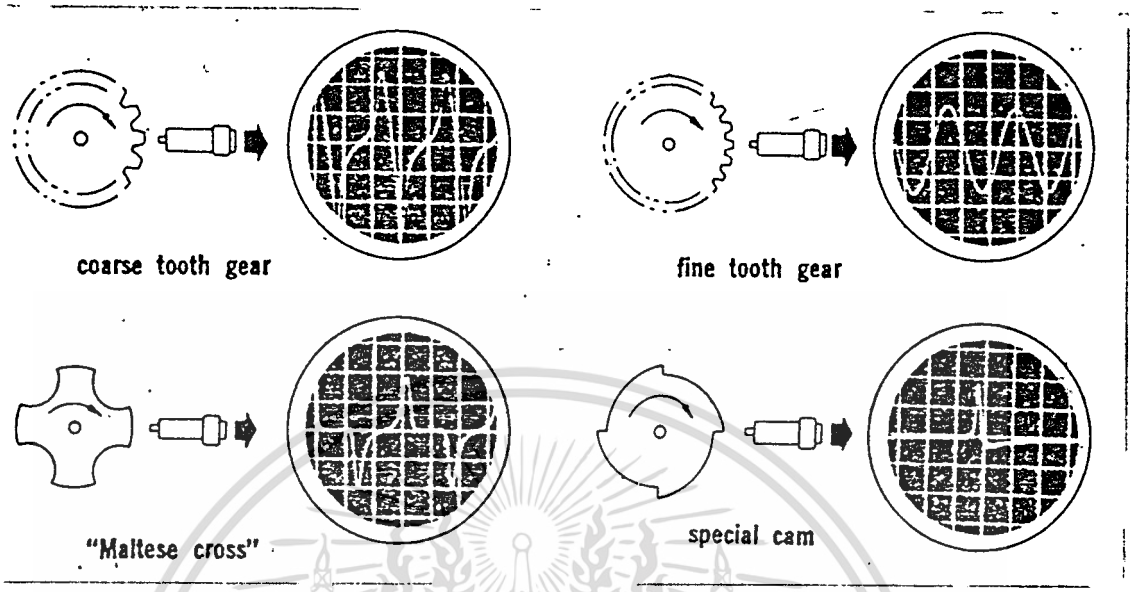


รูป 2.24 ตัวอย่างของแมคนิติคพิคอัพ



รูป 2.25 ตัวอย่างลูกคลื่นโวลต์เตจเอาท์พุทของแมกนิติพิคอัพเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.26 ลูกคลื่นเอาท์พุทของตัวพิคอัพความเร็วแบบแม่เหล็ก
(ก) ฟันเกียร์อย่างหยาบ (ข) ฟันเกียร์อย่างละเอียด
(ค) เพลาหมุนเป็นใบพัด (ง) เพลาหมุนเป็นวงล้อพิเศษ

การตัดผ่านสนามแม่เหล็กของซี่ฟัน 1 ซี่ จะเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นมา 1 ไซเคิล ถ้าซี่ฟันติดผ่านส่วนโพล 100 ซี่ ในเวลา 1 วินาที จะได้สัญญาณโวลต์เตจ 100Hz ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาที่ขั้วเอาท์พุทของเอนโค้ดเดอร์ เอาท์พุทโวลต์เตจมีทั้งบวก ลบ และศูนย์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งต่าง ๆของการหมุนของเพลา จึงสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่แบบสเต็ปได้ และคอนโทรลการเคลื่อนที่ในลักษณะอื่นใช้สำหรับการเซ็นซิ่งความเร็ว อย่างไรก็ตามเนื่องจากโวลต์เตจที่เหนี่ยวนำขึ้นมาไม่เป็นรูปซายน์เสมอไป โดยทั่ว ๆไปแล้วลูกคลื่นขึ้นอยู่กับชนิดของงานที่นำไปใช้ ซึ่งรูปร่างของคลื่นอาจจะไม่สำคัญก็ได้

2.2 พัลซ์วิดธ์โมดูเลชั่นแอมปลิฟายเออร์[3]

ระบบที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยทั่วไปได้แก่ ระบบดีซีลิเนียร์เซอร์โว แอมปลิฟายเออร์ สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ขยายแบบลิเนียร์ มีหน้าที่ควบคุมกระแสและโวลต์-เตจที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าความเร็วที่ต้องการ และเนื่องจากการควบคุมนี้ทำโดยการบังคับขนาดของโวลต์เตจที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ดังนั้นส่วนแอมปลิฟายเออร์จะเป็นตัวลดโวลต์เตจเอาไว้ ซึ่งเท่ากับผลต่างของแหล่งจ่ายโวลต์เตจ และโวลต์เตจที่มอเตอร์ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบที่มีกระแสที่เหมาะสมไหลผ่าน กำลังงานจะสูญเสียในเอาท์พุททรานซิสเตอร์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะขณะที่มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่ำแรงบิดสูง เพราะขณะนั้นโวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์ต่ำกระแสจึงสูง

วิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหาการสูญเสียพลังงาน คือ ใช้แอมปลิฟายเออร์ควบคุมมอเตอร์โดยการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ของโวลต์เตจที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ แอมปลิฟายเออร์ชนิดนี้เรียกว่า "สวิทชิ่งแอมปลิฟายเออร์" ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วต่ำ ๆ โดยมีแรงบิดสูงอยู่ โดยไม่สิ้นเปลืองพลังงานเหมือนพวกลิเนียร์แอมปลิฟายเออร์

2.2.1 การทำงานของแอมปลิฟายเออร์แบบพัลซ์วิดธ์โมดูเลชั่น (PWM)

แอมปลิฟายเออร์แบบ PWM สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของการทำงาน คือ ไบโพล่าร์ ยูนิโพล่าร์และลิมิตยูนิโพล่าร์ ซึ่งง่ายที่สุดจะดูการทำงานได้ตามรูป 2.27 โดยที่เราจะกำหนดให้มีความถี่การสวิตช์เป็น f_s t_{on} ที่เกิดขึ้นในส่วนแรกและ t_{off} เกิดในส่วนหลังโดย

$$t_{on} \text{ เมื่อ } 0 \le t \le t_1$$

$$t_{off} \text{ เมื่อ } t_1 \le t \le t_T$$

ไบโพล่าร์จะมี T_1 และ T_4 นำกระแสระหว่างเฟส on ส่วน T_2 และ T_3 จะนำกระแสขณะเฟส off จะได้ฟังก์ชั่นตกคร่อมมอเตอร์เป็น

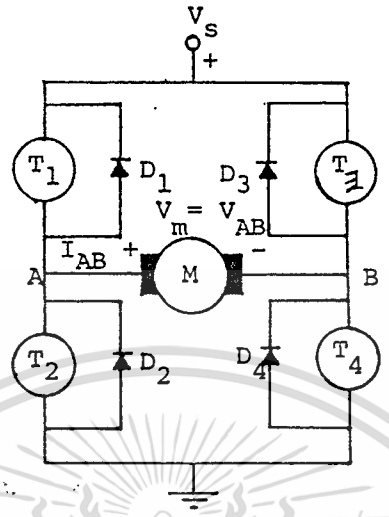
$$V_m = V_{AB} \begin{cases} V_s & 0 \le t \le t_1 \\ -V_s & t_1 \le t \le t_T \end{cases} \qquad (2.9)$$

แบบยูนิโพล่าร์จะลดจำนวนทรานซิสเตอร์ในการสวิตช์ลง การสวิตช์ขึ้นกับ V_{in} เป็นบวกหรือลบ เมื่อ V_{in} เป็นบวก T_4 จะนำกระแสตลอดคาบ ในขณะที่ T_1 นำกระแสในช่วงเฟส on และ T_2 จะนำกระแสในช่วงเฟส off เมื่อ V_{in} เป็นลบ T_2 จะนำกระแสตลอด โดยมี T_3 และ T_4 สลับกันทำงานเมื่อ V_{in} เป็นบวกได้

$$V_{in} \begin{cases} V_s & 0 \le t \le t_1 \\ 0 & t_1 \le t \le t_T \end{cases} \qquad (2.10)$$

การแสดงค่า V_{in} ในทางลบจะเหมือนกันเพียงแต่ V_{in} เป็นลบเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037103



รูป 2.27 แอมปลิฟายเออร์แบบ PWM และดีซีมอเตอร์

จากลักษณะของสองแบบดังที่กล่าวมานั้นมีประโยชน์เหมือนกัน ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีทรานซิสเตอร์คู่หนึ่ง (T_1 ,T_2) หรือ (T_3 ,T_4) จะหยุดนำกระแสขณะที่อีกคู่นำกระแส ซึ่งมีเวลาเก็บสะสมและเวลาที่ปล่อยออกของทรานซิสเตอร์เกิดขึ้น และมันอาจเป็นไปได้ที่ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดนำกระแสในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรของซัพพลาย เราจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงภาวะดังกล่าว สามารถทำได้โดยการสร้างช่วงดีเลย์ (delay time) ระหว่างการหยุดและการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ และด้วยเหตุผลดังกล่าวความถี่ของการสวิตช์จะถูกจำกัดในวงที่แคบลง

แบบที่ 3 ของการทำงานคือแบบลิมิตยูนิโพล่าร์จะแสดงให้เห็นคือ มีความจำเป็นต้องมีช่วงดีเลย์ ซึ่งการสวิตช์ขึ้นกับค่า V_{in} เมื่อ V_{in} เป็นบวก T_4 จะนำกระแสตลอด T_1 จะสวิตช์เป็น on ในช่วงเฟส on ดังนั้นในช่วงเฟส on ทั้ง T_1 และ T_4 จะ on ยังผลแก่โวลต์เตจของมอเตอร์ V_m คือ

$$V_m = V_s \qquad 0 \le t \le t_1 \tag{2.11}$$

ระหว่างเฟส off จะมีกระแสเพียงตัวเดียวที่เป็นผลให้ V_{in} ขึ้นกับ I_{AB} ตราบใดที่ $I_{AB} > 0$ ซึ่งเป็นภาวะปกติ เมื่อ $V_{AB} > 0$ กระแส I_{AB} จะไหลผ่าน D_2 และ T_4 เป็นผลให้ $V_A = 0$ และ

$$V_m = V_{AB} = 0 \quad \text{เมื่อ} \begin{cases} t_1 \le t < t_T \\ I_{AB} > 0 \end{cases} \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ I_{AB} เป็นลบ กระแสจะไหลผ่าน D_1 และ D_4 เป็นผลให้ $V_A = V_s$ และ

$$V_m = V_{AB} = V_s \quad \text{เมื่อ} \begin{cases} t_1 \le t < t_2 \\ I_{AB} < 0 \end{cases} \tag{2.13}$$

ซึ่งจะเกิดขึ้นภายหลังเปลี่ยนขั้วV_{in}

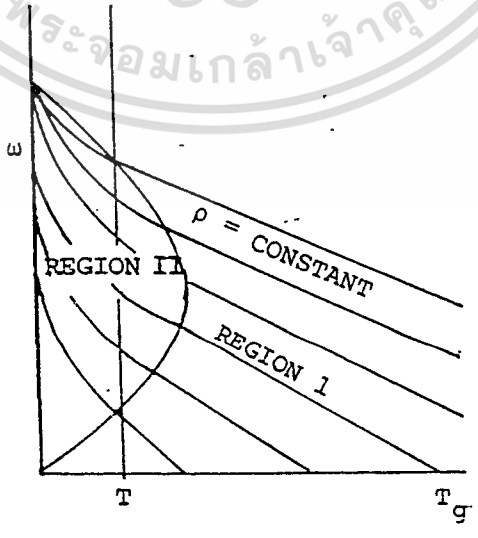
ในที่สุดถ้าเราสามารถทำให้ $I_{AB} = 0$ (เข้าใกล้ศูนย์จนถือว่าเป็นศูนย์) จะทำให้ทั้ง D_1 และ D_4 ไม่นำกระแส และโวลต์เตจ V_{in} จะอยู่ระหว่างค่าศูนย์และ V_s ดังต่อไปนี้

$$0 < V_m < V_s \quad \text{เมื่อ} \begin{cases} t_1 \le t < t_2 \\ I_{AB} = 0 \end{cases} \tag{2.14}$$

อย่างไรก็ตามถ้า $I_{AB} > 0$ เป็นภาวะปกติ เมื่อ $V_{in} > 0$ แบบยูนิโพล่าร์และแบบลิมิตยูนิโพล่าร์จะแสดงคุณสมบัติคล้ายกันมาก

2.2.2 กำลังงานที่สูญเสียในตัวมอเตอร์

เนื่องจากธรรมชาติของแอมปลิฟายเออร์แบบ PWM ซึ่งถูกใช้ในระบบดีซีเซอร์โว จะมีคุณสมบัติเฉพาะบางอย่างที่เป็นลักษณะพิเศษดังรูป 2.28 ซึ่งในรูปจะเป็นระนาบ ω -T_g แบ่งเป็นขอบ เขต I และขอบเขต II และมีเส้นโค้งความสัมพันธ์มีค่าคงที่ต่าง ๆ



รูป 2.28 ค่าเส้นโค้งของความเร็ว-แรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาแรกในการพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับผลของการสูญเสียกำลังงานของแอมปลิฟายเออร์ในมอเตอร์ จะแสดงโดยการเปรียบเทียบ PWM โมดูเลชั่นกับลีเนียร์แอมปลิฟายเออร์ การสูญเสียกำลังงานในมอเตอร์ที่มีความต้านทานของอาร์มาเจอร์ R แรงบิดเสียดทานภายในของมอเตอร์ T_f และ Viscous แด้มพ์ปิ้งแฟคเตอร์ (Damping factor : D)

$$\rho = I^2(t)R + \frac{K_e T_f \omega}{K_t} + \frac{K_e D\omega^2}{K_t} \qquad (2.15)$$

ถ้าเราให้มอเตอร์ถูกขับที่ความเร็ว ω ทำได้โดยใช้ลิเนียร์แอมปลิฟายเออร์ซึ่งมีกระแสอาร์มาเจอร์ I(t) และการสูญเสียกำลังงาน P_L ถ้าใช้แอมปลิฟายเออร์แบบ PWM ขับมอเตอร์ให้มีความเร็วเดียวกันนี้กระแสที่ต้องการคือ $I_p(t)$ และการสูญเสียกำลังงาน P_{Lp} ความแตกต่างอย่างเดียวของกระแส I(t) กับ $I_p(t)$ คือ I_p เป็นผลบวกของ I(t)และลูกคลื่นสามเหลี่ยม S(t) ที่เป็นค่าทั้งหมดของพีคต่อพีคของกระแส ΔI ซึ่งลูกคลื่นของ S(t) แสดงในรูป 2.29 คือ

$$I_p(t) = I(t) + S(t) \qquad (2.16)$$

ค่าการสูญเสียกำลังงานของลิเนียร์แอมปลิฟายเออร์ P_L หาจากสมการ 2.15 คือ

$$P_L = I^2(t)R + \frac{K_e T_f \omega}{K_t} + \frac{K_e D\omega^2}{K_t} \qquad (2.17)$$

P_{Lp} หาจากการแทนสมการ 2.16 ลงในสมการ 2.15 สังเกตว่าเทอมแรกเท่านั้นขึ้นอยู่กับ $I_p(t)$ คือ

$$R I_p^2(t) = R [I(t) + S(t)]^2 = RI^2(t) + 2RI(t)S(t) + RS^2(t) \qquad (2.18)$$

เทอมที่สองทางขวามือของสมการ 2.18 เป็นผลคูณของ S(t) ซึ่งค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และ I(t) ถ้าค่าทั้งสองไม่สัมพันธ์กันดังปรากฏในกรณีส่วนใหญ่ผลคูณที่ได้จะมีค่าเฉลี่ยศูนย์เช่นกัน เทอมสุดท้ายของสมการ 2.18 สามารถหาค่า S(t) ที่ให้มาได้ในรูป 2.29 และจะหาค่าเฉลี่ยนี้ได้เป็น

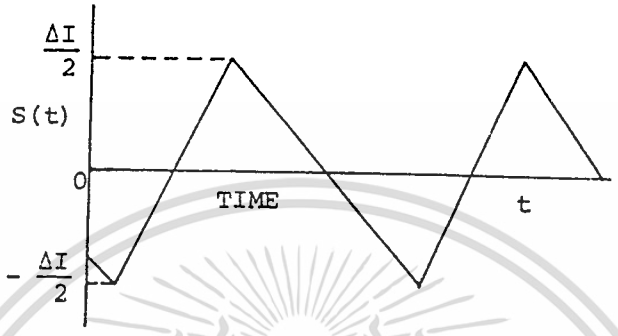
$$[RS^2(t)]_{ave} = R(\Delta I)^2 / 12 \qquad (2.19)$$

ต่อไปเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างเฉลี่ยในการสูญเสียกำลังงานได้จากสมการ 2.15 , 2.16, 2.18 และ 2.19 คือ

$$\begin{aligned} [P_{Lp} - P_L]_{ave} &= [(RI_p^2(t) - RI^2(t)]_{ave} \\ &= [2RI(t)S(t)]_{ave} + [RS^2(t)]_{ave} \\ &= R(\Delta I)^2 / 12 \end{aligned} \qquad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ ΔI และ R คือ 2 แอมแปร์และ 2 โอห์ม ตามลำดับ จากนี้ทำให้ผลของการสูญเสียกำลังงานเปลี่ยนแปลงประมาณ 2/3 วัตต์ ซึ่งมีค่าน้อยจนไม่ต้องนำมาคิด นั่นคือแอมปลิฟายเออร์แบบ PWM ไม่มีผลต่อการสูญเสียกำลังงานในตัวมอเตอร์



รูป 2.29 ลูกคลื่นของกระแสสามเหลี่ยม

2.2.3 การเลือกความถี่ของการสวิตช์

การเลือกความถี่ของการสวิตช์ f_s สามารถกระทำได้อย่างอิสระในบางครั้งของการพิจารณาในการเลือก f_s คือ

(ก) ความถี่ของการสวิตช์ต้องมีค่าสูงพอ ที่ทำให้อินดัคแตนซ์ของมอเตอร์มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่าความถี่ที่ถูกเลือก ดังนั้น

$$2\pi f_s L >> R \tag{2.21}$$

สามารถกล่าวได้ว่าเป็นการลิมิต ΔI ที่มีการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ได้

(ข) อัตราของการสวิตช์ ต้องสูงพอต่อการที่ระบบเซอร์โวไม่มีผลตอบสนองต่ออัตราดังกล่าว ดังนั้นถ้าข้อกำหนดของการเคลื่อนที่อยู่ในแบนด์วิดท์ f_{BW} ที่ต้องการ เราควรเลือก

$$f_s > 10\, f_{BW} \tag{2.22}$$

(ค) f_s ต้องมากกว่าความถี่รีโซแนนซ์ของลูป

$$f_s > (f_{res})_{max} \tag{2.23}$$

ตามภาวะข้างบนแสดงให้เห็นว่ามักต้องการเพิ่มค่า f_s อย่างไรก็ตามการเพิ่ม f_s ทำให้เกิดข้อเสียบางประการ

(ง) การเพิ่มค่าอัตราการสวิตช์ เป็นผลให้ค่ากระแสสูญเสียกำลังงานเพิ่มขึ้นในเอาท์พุททรานซิสเตอร์ด้วยเวลาของการสวิตช์ค่าหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้ f_s ต่ำลงเท่าที่จะทำได้ซึ่งสอดคล้องกับภาวะอื่น ๆที่กล่าวมาแล้ว

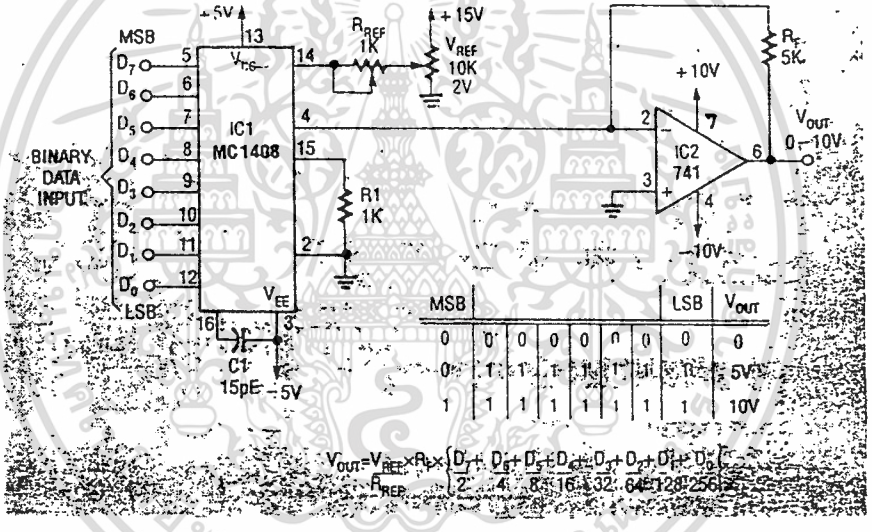
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จ) ดีเลย์เฟสที่ต้องการในไบโพล่าร์และแอมปลิฟายเออร์แบบยูนิโพล่าร์ เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างทรานซิสเตอร์ การจำกัดความถี่ของการสวิตช์โดยเลือกขอบเขตสูงสุดของมัน (ดีเลย์ เฟสมักอยู่ระหว่าง 5-20 ไมโครวินาที)

เหตุผลดังกล่าวในการเพิ่มและลดค่า f_s การเลือก f_s ครั้งสุดท้ายมักจะสะท้อนถึงความมากน้อยของการประนีประนอมระหว่างภาวะทั้งสองนี้

2.3 การใช้งาน D/A Converter (DAC)[4]

2.3.1 การประยุกต์ DAC เบื้องต้น



รูป 2.30 วงจร Unipolar D/A

รูป 2.30 แสดงถึงการประยุกต์นำเอา DAC ไปใช้งานอย่างง่าย ๆ โดย DAC ที่ใช้เป็นของบริษัทโมโตโลล่า เบอร์ MC1408 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) การทำงานของวงจรเป็นไปอย่างตรงไปตรงมาไม่ซับซ้อน ระดับสัญญาณ TTL ขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นรหัสเลขฐานสองถูกป้อนให้กับอินพุทของ DAC ขา D_0 ถึง D_7 เนื่องจากไม่มีสัญญาณนาฬิกาหรือวงจรนาฬิกาภายนอกใด ๆ ที่ต้องการใช้ในวงจรการแปลงสัญญาณจึงเสียเวลาไปประมาณ 300 ns ซึ่งเป็นเวลาช่วง Settle time ของ MC1408 ภายใน MC1408 ใช้เทคนิคแบบไบนารี่แลดเดอร์ในการสวิตช์และแปลงสัญญาณให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้าออกไปทางเอาท์พุท LM741 ซึ่งเป็นไอซีออปแอมป์แปลงจากกระแสให้เป็นแรงดันทางเอาท์พุทตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

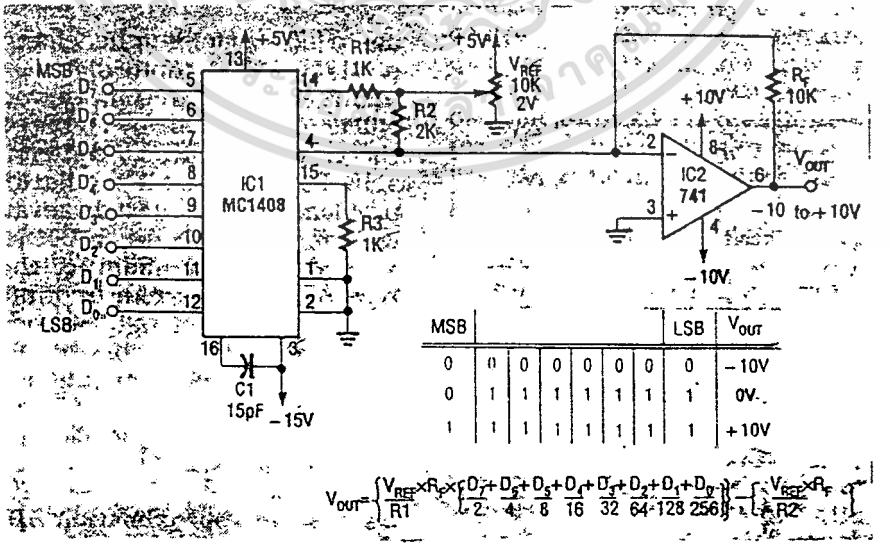
ความละเอียดของวงจรนี้มีขนาด 8 บิต หมายถึง แรงดันเอาท์พุทที่ได้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 จนถึง 10 โวลต์ โดยมีการเปลี่ยนแปลงได้ 256 ขั้น ๆ ละประมาณ 0.039 V รหัสเลขฐาน 16 ที่เป็น 00h จะทำให้เอาท์พุทที่ได้เป็น 0 V ครึ่งหนึ่งของอินพุทคือ 7Fh จะทำให้แรงดัน 5 โวลต์ออกมาที่เอาท์พุท เมื่ออินพุทเป็น FFh แรงดันที่ปรากฏทางเอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับ 10 โวลต์

วงจรรูป 2.30 สามารถนำไปใช้ได้ทุก ๆ วงจรที่ต้องการใช้ตัว DAC เพื่ออินเตอร์เฟสสัญญาณดิจิตอลเข้ากับวงจรอนาลอก รหัสดิจิตอลอาจจะได้มาจากพอร์ตของคอมพิวเตอร์, วงจรนับดิจิตอล หรือวงจร TIL ใด ๆ สัญญาณอนาลอกที่ได้ทางเอาท์พุทอาจนำไปใช้ขับมอเตอร์ ภาคแสดงผล แอมปลิฟายเออร์เออร์ หรือวงจรอนาลอกอื่น ๆ

รหัสเลขฐานสองขนาด 8 บิตถูกป้อนให้กับอินพุทของ DAC เอาท์พุทที่ได้จาก MC 1408 จะเป็นกระแสไฟฟ้าออกมาทางขา 4 ดังนั้นเราจึงต้องใช้ไอซีออปแอมป์มาเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

2.3.2 การประยุกต์ Bipolar D/A

จากตัวอย่างที่ผ่านมาเป็นวงจร Unipolar ซึ่งหมายถึง เอาท์พุทของวงจรเป็นได้เพียงบวกหรือลบอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ถ้าเราต้องการเอาท์พุทที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากค่าที่เป็นบวกไปถึงค่าที่เป็นลบ วงจรที่ใช้จึงเปลี่ยนมาเป็นวงจรในรูป 2.31 แทน



รูป 2.31 วงจร D/A แบบ Bipolar เอาท์พุทของวงจรสามารถเปลี่ยนแปลงจากแรงดันลบจนถึงแรงดันบวกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่ออินพุทของออปแอมป์เข้ากับตัวต้านทานอ้างอิง R_2 เป็นการเปลี่ยนลักษณะของวงจรในส่วนอ้างอิง ทำให้เอาท์พุทของภาคขยายจะสวิงจาก -10 โวลต์ ถึง +10 โวลต์ เมื่อรหัสเลขฐานสองทางอินพุทเพิ่มขึ้นถึง 7Fh สัญญาณอนาลอกทางเอาท์พุทจะเพิ่มขึ้นจนถึง 0 โวลต์ และเมื่อรหัสเลขฐานสองทางอินพุทเป็น FFh เอาท์พุทจะเพิ่มขึ้นจนถึง +10 โวลต์

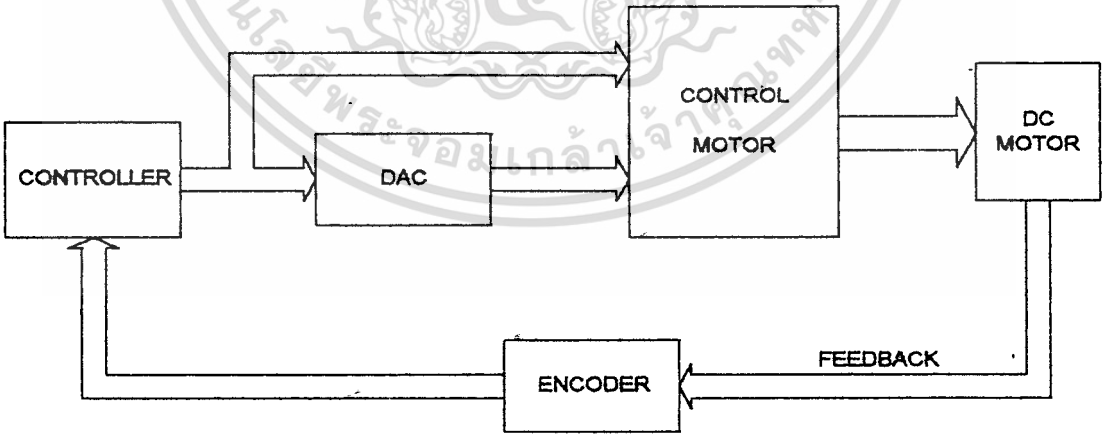
ในรูป 2.31 เป็น DAC ที่มีความละเอียดขนาด 8 บิต และมี setting time ประมาณ 300 ns และมีแรงดันทางเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงจากลบถึงบวก หรือจากบวกถึงลบได้ ดังนั้นในการใช้งานใด ๆ ที่ต้องการคุณสมบัติของวงจร DAC ตามนี้ ก็สามารถนำเอาวงจรในรูป 2.31 ไปใช้งานได้

2.4 หลักการออกแบบและการสร้างระบบขับเคลื่อน

ในระบบขับเคลื่อนได้เลือกใช้ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ และใช้การควบคุมความเร็วแบบ PWM ซึ่งมีข้อดีดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2 การออกแบบระบบขับเคลื่อนแสดงดังบล็อกไดอะแกรม รูป 2.32

สามารถแบ่งระบบขับเคลื่อนออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ส่วนควบคุมดีซีมอเตอร์
- ส่วนป้อนกลับการทำงานของดีซีมอเตอร์



รูป 2.32 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อน

2.4.1 ส่วนควบคุมดีซีมอเตอร์

วงจรในรูป 2.33 มีหลักการทำงานดังนี้คือ ส่วนคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วออกมาจากไอโอพอร์ต เป็นข้อมูลทางดิจิตอลขนาด 8 บิตเข้าสู่ DAC เบอร์ MC1408 ซึ่งจะแปลงข้อมูลความเร็วทางดิจิตอลไปเป็นข้อมูลความเร็วทางอนาลอกออกทางขา 6 ของออปแอมป์ 741

ข้อมูลความเร็วทางอนาลอกนี้จะนำไปต่อที่ขา 4 ของไอซี TL494 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) เป็นขา Dead time control ซึ่งเมื่อมีสัญญาณโวลต์เตจค่าต่าง ๆจ่ายเข้ามาที่ขานี้ จะให้เอาท์พุทออกมาที่ขา 11 เป็นสัญญาณพัลซ์ที่มีความกว้างขึ้นกับระดับสัญญาณโวลต์เตจนั้น ๆ

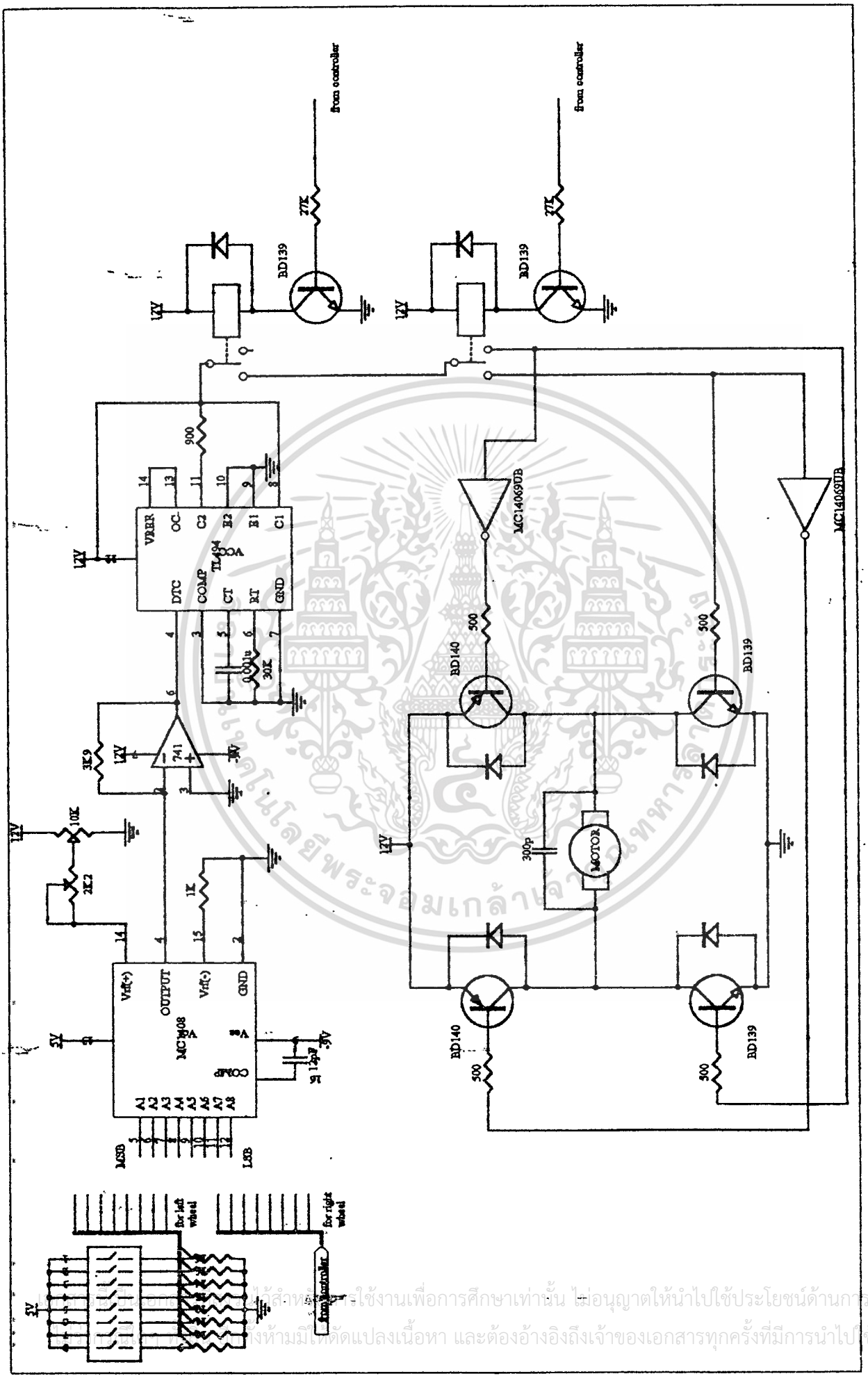
เอาท์พุทจาก TL494 จะต่อเข้ากับวงจรบริดจ์ ขยายสัญญาณควบคุมมอเตอร์โดยผ่านขาคอมมอนของรีเลย์ เพื่อควบคุมการเปิดปิดดีซีมอเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากไอโอพอร์ตของตัวคอนโทรลเลอร์ 1 บิต

สำหรับทิศทางการหมุนของดีซีมอเตอร์นั้น จะใช้รีเลย์เป็นตัวสวิตซ์ให้หมุนไปหน้าหรือกลับหลังการควบคุมการสวิตซ์ของรีเลย์จะอาศัยข้อมูลจากไอโอพอร์ตของตัวคอนโทรลเลอร์อีก 1 บิต

2.4.2 ส่วนป้อนกลับการทำงานของดีซีมอเตอร์

ใช้เอนโค้ดเดอร์ลักษณะคล้าย ๆ แบบโฟโต้อินดริเมนท์ โดยมีจานพลาสติกบากเป็นร่องโดยรอบติดอยู่ที่เพลาของมอเตอร์ แล้วใช้ไอซีเบอร์ MOC75T1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) มาเป็นเซ็นเซอร์วัดจำนวนรอบของมอเตอร์ ซึ่งไอซีตัวนี้จะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสงเป็น LED และมีโฟโต้ดีเทคเตอร์ความเร็วสูง (high-speed photodetector) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับแสง เมื่อมอเตอร์หมุนจานพลาสติกที่เพลาของมอเตอร์ก็จะหมุนไปเป็นจำนวนรอบที่เท่ากัน ร่องของจานพลาสติกจะทำหน้าที่ปิดและเปิดแสงจาก LED ทำให้โฟโต้ดีเทคเตอร์สามารถตรวจจับได้เป็นสัญญาณพัลซ์ส่งไปนับโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.33 วงจรควบคุมคีซีมอเตอร์

ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบตรวจจับวัตถุและวัดระยะทาง

อุลตร้าโซนิค (Ultrasonic)[1] หมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 กิโลเฮิรตซ์ เท่านั้น แต่คนที่อายุยังน้อย ๆอาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นคำว่าอุลตร้าโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์ ขึ้นไป

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอุลตร้าโซนิคมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ซึ่งทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดคลื่นความถี่เสียงนั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 เฮิรตซ์ ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตร้าโซนิค อย่างเช่น 40 กิโลเฮิรตซ์ จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มาก ๆ คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่ามีทิศทางนั่นเอง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิค ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง ซึ่งในโครงงานรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัตินี้ เราได้นำมาประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดระยะทาง เพื่อให้สามารถรับรู้ตำแหน่งของวัตถุที่กีดขวางการเคลื่อนที่ของรถ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมให้รถเคลื่อนที่หลบหลีกวัตถุเหล่านี้ได้ โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน

อย่างไรก็ตามการใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคมาเป็นตัวเซ็นเซอร์ โดยส่งคลื่นผ่านทางอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasound Transducer) มีข้อจำกัดอยู่บ้างเนื่องจากทิศทางของตัวทรานสดิวเซอร์กับวัตถุเป้าหมายที่จะเป็นตัวสะท้อนคลื่นอุลตร้าโซนิค ให้กลับมากระทบทรานสดิวเซอร์ตัวรับ เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ปัญหาจึงเกิดขึ้นเนื่องจากในสภาพความเป็นจริงวัตถุเป้าหมายไม่ได้ตั้งอยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบทรานสดิวเซอร์เสมอไป จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะวัดระยะทางไม่ได้ นอกจากนี้ความถี่รีโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์ ก็ไม่อาจมองข้ามไปได้เพราะว่าทรานสดิวเซอร์จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความถี่นี้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ลักษณะและการใช้งานโดยทั่วไปของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Uitrasonic remote control), เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง, เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล, ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย, ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิรตซ์ เพราะที่ความถี่สูงกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกะเฮิรตซ์ถึง 10 เมกะเฮิรตซ์ ขณะที่ความถี่เป็นจิกะเฮิรตซ์ก็มีใช้กันในหลาย ๆการใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกเป็นภาษาเทคนิคว่า อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ในปัจจุบันอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นกับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่ แบบเปียโซอีเลคทริก (piezo-electric transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกลโดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง แบบแมกนีโตรสตริคทีฟ (magnetostric-tive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่ และแบบอิเลคโตรสตริคทีฟ (electrostrictive tranducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

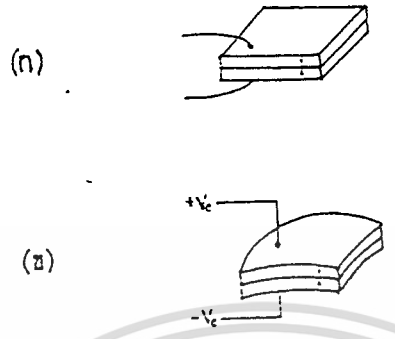
3.1.1 ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอีเล็คทริค

ภายในตัวอุตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริค แบบที่มีใช้กันในปัจจุบันซึ่งได้รับการพัฒนากันมาในระดับหนึ่งแล้ว จะประกอบด้วยชิ้นสารเซรามิคสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็น 2 ขา ชิ้นสารเซรามิคนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิค 2 ชิ้นประกบกันอยู่ โดยวางให้ขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังแสดงเป็นลูกศรในรูป 3.1

ชิ้นสารเซรามิคถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้การสั่นขณะที่มันทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1-2.5 เซนติเมตร ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตระแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตร้าโซนิคเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดโดยสะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อถังลงกราวน์ดเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่ซีลด์



รูป 3.1 (ก) โครงสร้างภายในตัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอีเลคทริคที่ใช้สารเซรามิค
(ข) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิคโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศ

เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิค ดังรูป 3.1 (ข) จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากหรือน้อย หรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้นๆทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณออกไป โดยทั่ว ๆไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาท์พุทจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น ส่วนที่ความถี่อื่น ๆกำลังเอาท์พุทจะลดลงมากกว่านี้

ในทำนองกลับกัน เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นสารเซรามิคเข้ามา จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอีเลคทริคก็คือ มีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมาก อาจสูงถึง 100 เมกะโอห์มเรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆเข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ขณะที่ทำงานความต้านทานทางด้านไฟสลับจะลดลง

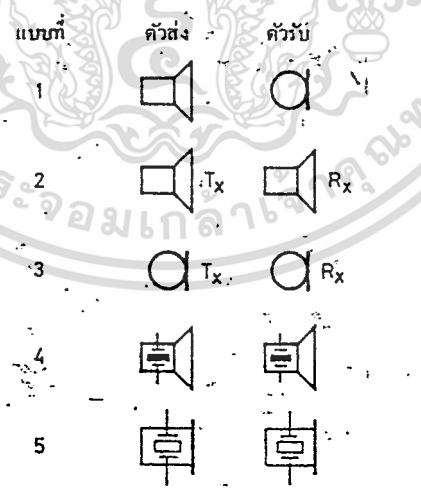
3.1.2 ตัวส่งและตัวรับ

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริคที่ใช้สารเซรามิค (หรือที่ผู้ผลิตบางรายธียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิค) จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ ตัวส่งหรือ transmitter และตัวรับ หรือ receiver

ตัวส่ง คือ อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมา ให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่ตัวมันให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิค หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้าย ๆกับเป็นลำโพง ส่วน **ตัวรับ** คืออุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงคลื่นเสียงย่านอุล ตร้าโซนิคที่มาตกกระทบตัวมัน ให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าหน้าที่ของตัวรับจึงคล้าย ๆกับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันคือ ถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็นลำโพงดังแบบที่ 1 ในรูป 3.2 แต่ก็มีหนังสือบางเล่มเขียนสัญลักษณ์ของทั้งตัวรับและตัวส่งเป็นไมโครโฟนหรือลำโพงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนตัวอักษรว่า T_x และ R_x กำกับไว้ ที่ใช้สัญลักษณ์เหมือนกันเพราะหน้าตาของตัวรับและตัวส่งที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กันจะมีหน้าตาเหมือนกันทุกกระเบียดนิ้ว แต่มีเบอร์บอกมาที่ด้านข้างให้รู้ว่าตัวใดเป็นตัวส่งและตัวรับและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมากจนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลาย ๆการใช้งาน บางเล่มก็เขียนรายละเอียดภายในตัวไมโครโฟนหรือภายในตัวลำโพงให้มีสัญลักษณ์ของผลึกแร่ (cystal) กำกับอยู่ด้วย ดังแบบที่ 4 และ 5



รูป 3.2 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบต่าง ๆ กัน

3.1.3 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

สิ่งที่ควรรู้ขั้นต้นเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในไม่ให้เสียหาย

2. ทรานสดิวเซอร์ที่ขายกันโดยทั่วไป จะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 V_{rms} ดังนั้นขนาดสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรจะอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

3. ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิรตซ์ ที่มีขายโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน ± 1 กิโลเฮิรตซ์ และมีแถบความถี่ (bandwidth) ประมาณ 4.5 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับตัวรับจะเห็นว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับสามารถรับความ ถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง +60 องศาเซลเซียส

5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดจากแนวแกนประมาณ 10 เดซิเบล ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลงไปประมาณ 10 เดซิเบลด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้งจึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มากขึ้น เพราะคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคสามารถสะท้อนกับกำแพง, พื้น และวัตถุที่อยู่ภายในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่ในการเป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10-100 กิโลโอห์ม จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 กิโลโอห์มมาเป็น 10 กิโลโอห์ม ความไวจะลดลงประมาณ 10-12 เดซิเบล

3.2 การนำไปใช้ในวงจรวัดระยะทาง[5]

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นโครงงานรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีตัวตรวจจับ (Sensor) ไว้สำหรับประมาณระยะห่างระหว่างตัวรถและสิ่งกีดขวางเพื่อที่จะได้ไม่ชนกับสิ่งกีดขวางเหล่านั้น

ด้วยคุณสมบัติต่าง ๆของตัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาใช้ในเครื่องวัดระยะทางได้ เพื่อให้สอดคล้องกับแนวความคิดในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง จึงได้ใช้วงจรที่สามารถคำนวณระยะห่างจากตัวรถและสิ่งกีดขวาง ออกมาเป็นข้อมูลเลขฐานสองขนาด 8 บิต และข้อมูลนี้เป็นสิ่งสำคัญที่จะส่งไปส่วนควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกทีหนึ่ง

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรวัดระยะทางโดยใช้อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แสดงดังรูป 3.3 สำหรับการอธิบายการทำงานนั้นจะพิจารณาร่วมกับวงจรวัดระยะทางดังรูป 3.4 และ 3.5

วงจรประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย ๆ ดังนี้

1. วงจรภาคส่งคลื่นอุลตร้าโซนิค
2. วงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิค
3. วงจรออสซิเลเตอร์กำเนิดความถี่ 17,300 เฮิรตซ์
4. ฟลิปฟลอปควบคุมการทำงานของแลตซ์
5. แลตซ์
6. เคาน์เตอร์
7. 3-8 ดีโค้ดเดอร์
8. อนาลอกสวิตซ์
9. ออร์เกท
10. อินเวอร์ทเตอร์และบัฟเฟอร์

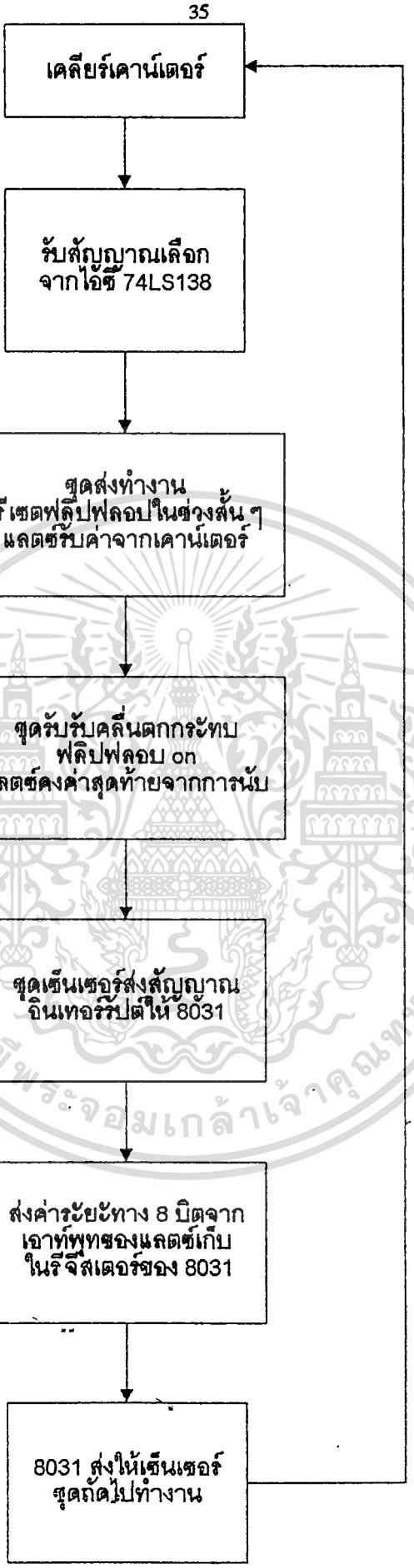
3.2.1 วงจรภาคส่งคลื่นอุลตร้าโซนิค

วงจรภาคส่งคลื่นอุตร้าโซนิคทำหน้าที่ส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคผ่านทางอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ ออกไปเป็นระยะเวลาที่กำหนด เนื่องจากอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ใช้มีความถี่เรโซแนนซ์ 40 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นวงจรภาคส่งจะต้องผลิตพัลซ์ที่มีความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ป้อนให้กับทรานสดิวเซอร์ ซึ่งส่วนต่าง ๆในวงจรภาคส่งทำหน้าที่ดังนี้

1) ไอซี 4093 ประกอบด้วยแนนด์เกทแบบชมิททริกเกอร์ 4 ตัว (ใช้ 2ตัว) นำมาต่อเป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบบริดจ์ ทำให้แรงดันป้อนเข้าสู่ทรานสดิวเซอร์สูงเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟจากไฟเลี้ยง (9 โวลต์) และตัวต้านทานปรับค่าได้สำหรับปรับความถี่ให้ได้ 40 กิโลเฮิรตซ์

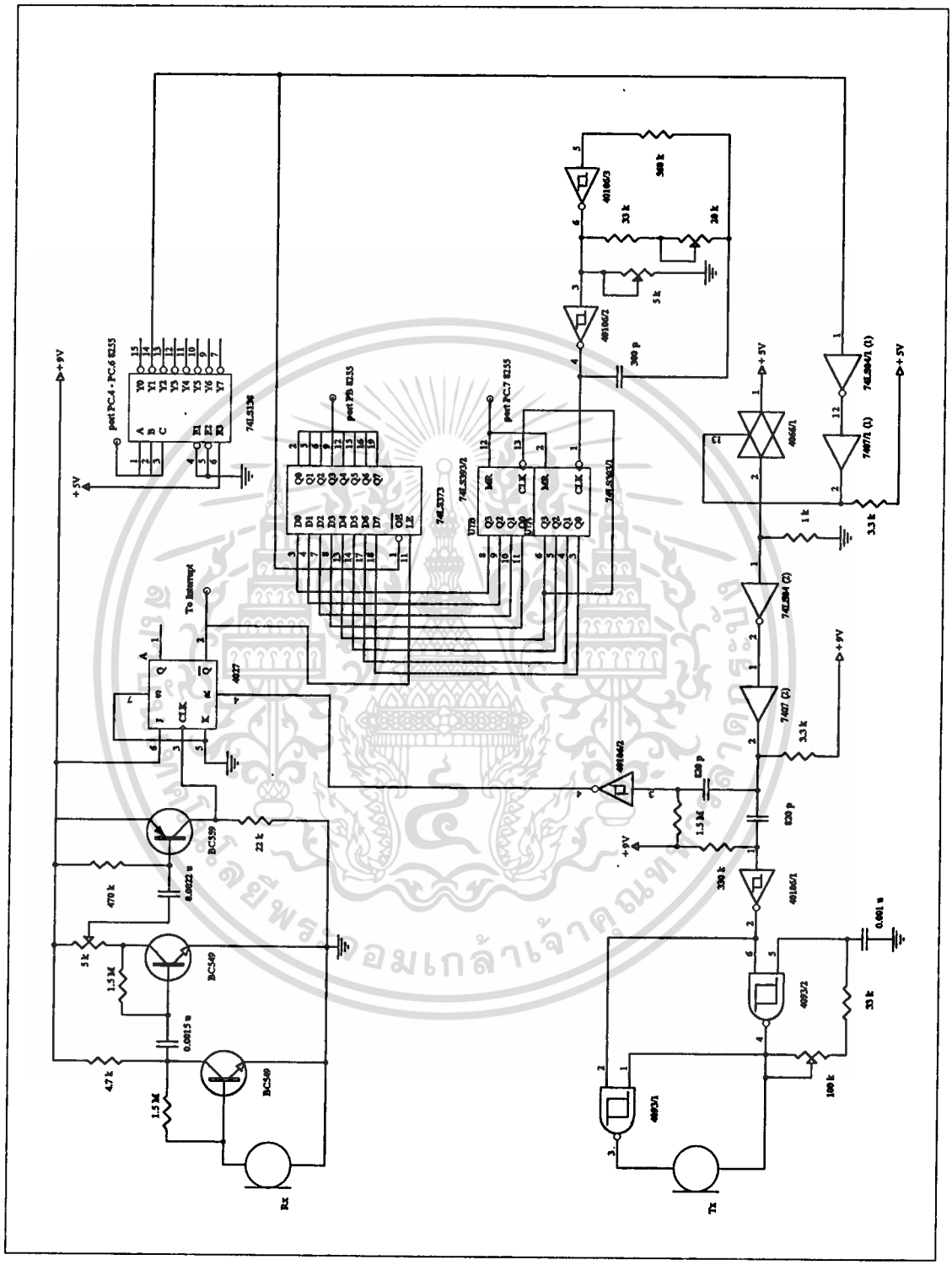
2) วงจรโมโนสเตเบิ้ล ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์แบบชมิททริกเกอร์ต่อกับความต้านทานและตัวเก็บประจุ ดังรูป 3.6 เพื่อกำเนิดพัลซ์ลอจิก 1 เป็นระยะเวลาตามที่กำหนดโดยค่าของความต้านทานและตัวเก็บประจุ ทำให้สามารถควบคุมวงจรภาคส่งให้ส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



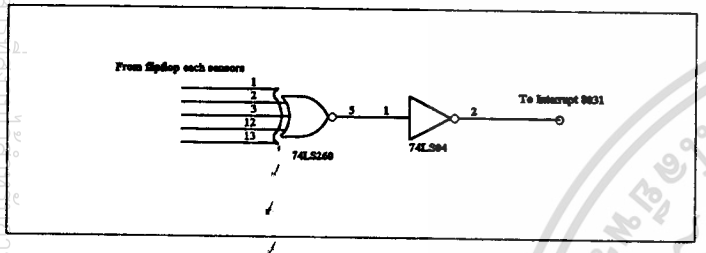
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบอุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์

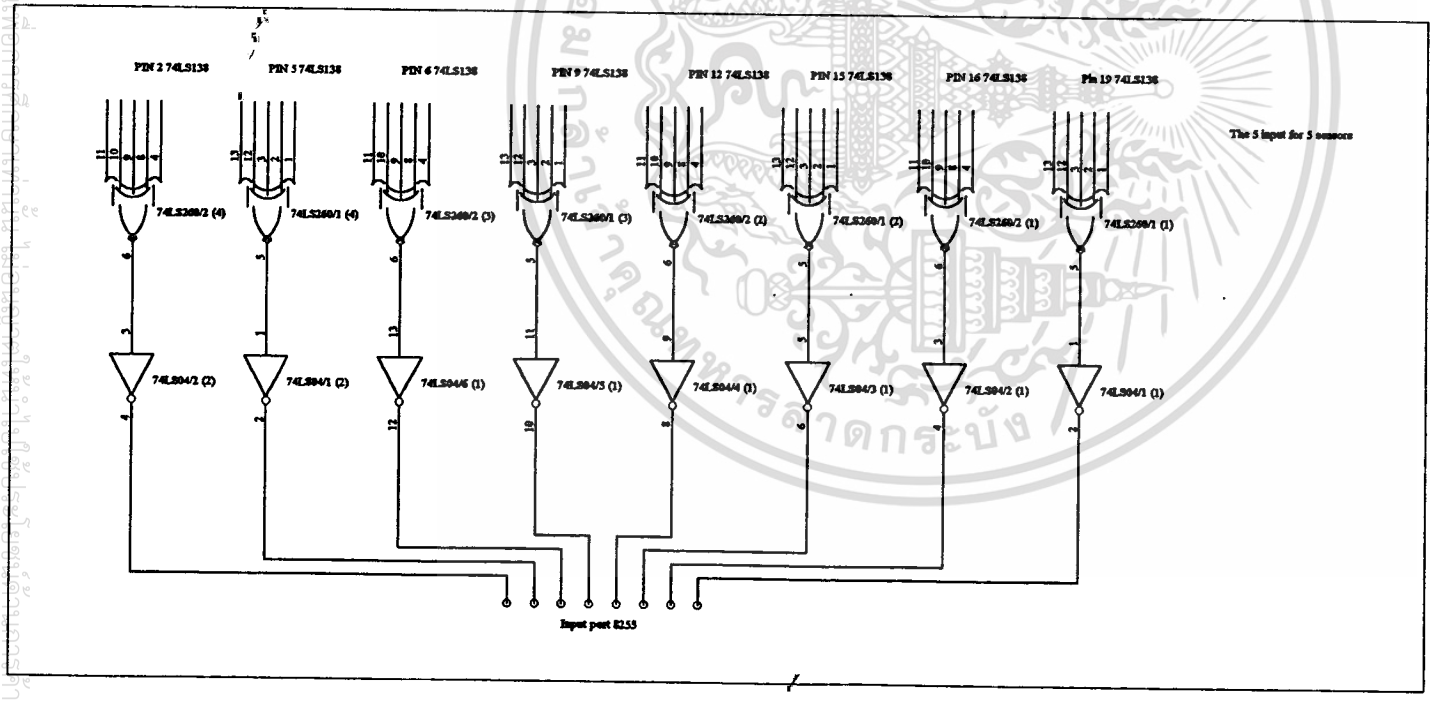


รูป 3.4 วงจรวัดระยะทางด้วยอุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

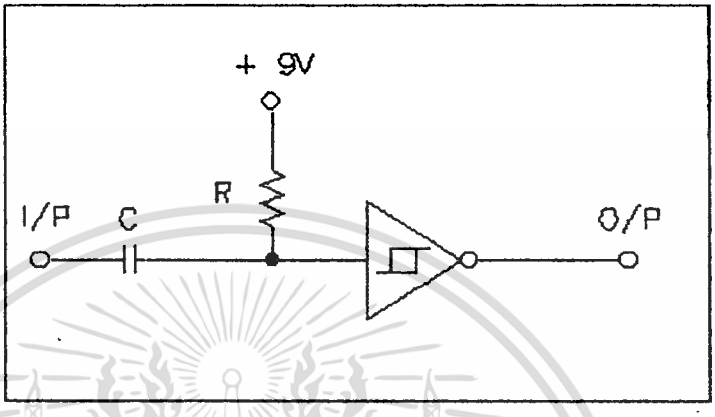


รูป 3.5 (ก) การส่งสัญญาณอินเทอร์รัปต์ให้ 8031



รูป 3.5 (ข) แสดงการส่งข้อมูล
ระยะทาง 8 บิตเข้า 8031

ระยะเวลาที่กำหนด เมื่ออินพุทได้รับค่าโวลต์เตจที่เป็นลอจิก 0 ก็จะทำให้เกิดเป็นพัลซ์ขึ้นมา 1 ลูก และในครั้งต่อไปเมื่ออินพุทได้รับค่าโวลต์เตจที่เป็นลอจิก 1 จะเป็นการคายประจุ (discharge) ของคาปาซิเตอร์ซึ่งในขณะนี้ที่เอาท์พุทยังคงค่าลอจิก 0 อยู่ (ไม่มีพัลซ์เกิดขึ้น)



รูป 3.6 วงจรโมโนสเตเบิ้ล

3.2.2 วงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิค

ในโครงงานนี้จะใช้อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ทั้งตัวรับและตัวส่งที่เหมือนกัน เพราะสามารถใช้แทนกันได้ โดยจะมีทรานซิสเตอร์สำหรับขยายแรงดัน (BC549) ภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิคนี้จะทำงานร่วมกับฟลิปฟลอปซึ่งจะไปควบคุมการทำงานของแลตช์อีกทีหนึ่ง หน้าที่ของส่วนต่าง ๆในภาครับมีดังนี้

1) ภาคขยาย ใช้ทรานซิสเตอร์ BC549 ซึ่งเป็นชนิด NPN ต่อเป็นวงขยายแรงดัน

2) การควบคุมฟลิปฟลอป ใช้ทรานซิสเตอร์ BC599 ซึ่งเป็นชนิด PNP ทำการควบคุมฟลิปฟลอป คือให้ฟลิปฟลอปอยู่ในสถาวะ off ($\overline{Q} = 1$) ตั้งแต่เริ่มส่งคลื่นออกจากภาคส่งจนกระทั่งรับที่ภาครับ เมื่อคลื่นมากระทบทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ทรานซิสเตอร์ BC559 จะทำการควบคุมให้ฟลิปฟลอปอยู่ในสภาวะ on ($\overline{Q} = 0$) ทันที

3.2.3 วงจรออสซิลเลเตอร์กำเนิดความถี่ 17,300 เฮิรตซ์

จะใช้อินเวอร์ทเตอร์แบบชมิททริกเกอร์ 2 ตัวต่อเป็นวงจรกำเนิดความถี่ โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ 20 กิโลโอห์ม สำหรับปรับความถี่ให้ได้ 17,300 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่เป็นความต้านทานชดเชย ซึ่งมีผลให้วงจรทำงานถูกต้อง (การใส่ตัวต้านทานตัวนี้ เป็นผลมาจากเกิดข้อผิดพลาดของระยะทางที่วัดได้ ซึ่งพบจากการทดลอง) พัลซ์ความถี่ 17,300 เฮิรตซ์ นี้จะถูกส่งไปนับที่ส่วนเคาน์เตอร์

3.2.4 ฟลิปฟลอปควบคุมการทำงานของแลตซ์

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ฟลิปฟลอปจะถูกควบคุมจากทรานซิสเตอร์ BC559 อีกที ฟลิปฟลอปที่ใช้เป็น JK ฟลิปฟลอป เมื่อคลื่นอุลตร้าโซนิคมากระทบกับทรานสดิวเซอร์ตัวรับแล้ว เอาท์พุทขา 1 (Q) จะเป็นลอจิก 1 นั่นคือ $\overline{Q}$ เป็นลอจิก 0 (ฟลิปฟลอป on) ซึ่งการที่ $\overline{Q}$ เปลี่ยนจากลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 นั้นจะนำมาใช้เป็นกลไกในการควบคุมแลตซ์

3.2.5 แลตซ์

เมื่อสัญญาณจากฟลิปฟลอป ($\overline{Q}$) อยู่ในสภาวะลอจิก 1 (ยังไม่มีคลื่นมากระทบทรานสดิวเซอร์ตัวรับ) และ JK ฟลิปฟลอป off ($\overline{Q} = 1$) ข้อมูลจากเคาน์เตอร์สามารถผ่านแลตซ์ออกมาได้โดยเอาท์พุทของแลตซ์ก็จะเปลี่ยนไปตามค่าอินพุทซึ่งได้จากการนับ

เมื่อสัญญาณจาก $\overline{Q}$ เป็นลอจิก 0 (เมื่อได้รับคลื่นตกกระทบที่ชุดรับ) ทำให้ค่าจากเคาน์เตอร์ไม่สามารถผ่านแลตซ์ไปได้ ซึ่งตอนนี้เอาท์พุทของแลตซ์ (74LS373) จะคงค่าสุดท้ายที่ผ่านเข้ามาทางอินพุท ซึ่งค่านี้ก็คือค่าของระยะทางที่วัดได้ ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐานสอง 8 บิต นั่นเอง

3.2.6 เคาน์เตอร์

เมื่อวงจรกำเนิดพัลซ์ความถี่ 17,300 เฮิรตซ์ ป้อนเข้าสู่เคาน์เตอร์ เอาท์พุทของเคาน์เตอร์จะเป็นสัญญาณพัลซ์ความถี่ 17,300 เฮิรตซ์ ที่ถูกหารทีละ 2 ไปตามจำนวนเอาท์พุท ในโครงงานนี้ใช้เคาน์เตอร์ 2 ตัว มาต่อกันเพื่อจะส่งค่าข้อมูลให้ได้ 8 บิตไปที่แลตซ์

3.2.7 3-8 ดีโค้ดเดอร์

เนื่องจากจำนวนเซ็นเซอร์ที่ใช้ทั้งหมด 5 ชุด ดังนั้นเพื่อที่จะส่งค่าข้อมูลเลขฐานสอง 8 บิต ไปเข้าพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 จึงต้องใช้ Decoder มาเพื่อให้ข้อมูลเข้าไปประมวลผลทีละชุด Decoder ที่ใช้คือเบอร์ 74LS138 อินพุท (ขา ABC) ของ 74LS138 จะถูกสั่งโดย 8031 ผ่านทางพอร์ตของ 8255 อีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 อนาลอกสวิตช์

ใช้เบอร์ 4066 สัญญาณควบคุมอนาลอกสวิตช์ถูกควบคุมจาก 74LS138 เอาท์พุท ของ 4066 จะเป็นอินพุทให้กับวงจรโมโนสเตเบิ้ล

3.2.9 ออร์เกท

ใช้เบอร์ 74LS260 ซึ่งเป็นออร์เกท (OR gate) ที่มี 5 อินพุท ซึ่งรับค่าอินพุทมาจากเซ็นเซอร์ทั้ง 5 ชุด ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้ง 5 ชุด คือ

1) ค่าระยะทาง 8 บิต

2) สัญญาณที่จะทำการอินเทอร์รัปต์ 8031

3.2.10 อินเวอร์ทเตอร์และบัฟเฟอร์

อินเวอร์ทเตอร์ที่ใช้เป็นเบอร์ 74LS04 ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าลอจิกของสัญญาณให้เป็นตรงข้าม ในการเชื่อมโยงระหว่างเอาท์พุทของไอซี TTL กับอินพุทของไอซี CMOS นั้นจะต้องนำบัฟเฟอร์มาใช้ (ใช้เบอร์ 7407) ซึ่งจะทำการยกระดับแรงดันลอจิก 1 ของไอซี TTL ให้สูงพอที่จะเป็นลอจิก 1 ของไอซี CMOS ได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าไอซี TTL ที่ใช้จะเป็นประเภท LS TTL (ยกเว้น 7407) เพราะว่าในการเชื่อมโยงระหว่างเอาท์พุทของไอซี CMOS กับอินพุทของไอซี TTL นั้น LS TTL สามารถลดกระแสที่จ่ายให้กับไอซี CMOS ได้ เพราะในกรณีดังกล่าวไอซี CMOS ไม่ต้องการกระแสไหลเข้าค่าสูง ๆ

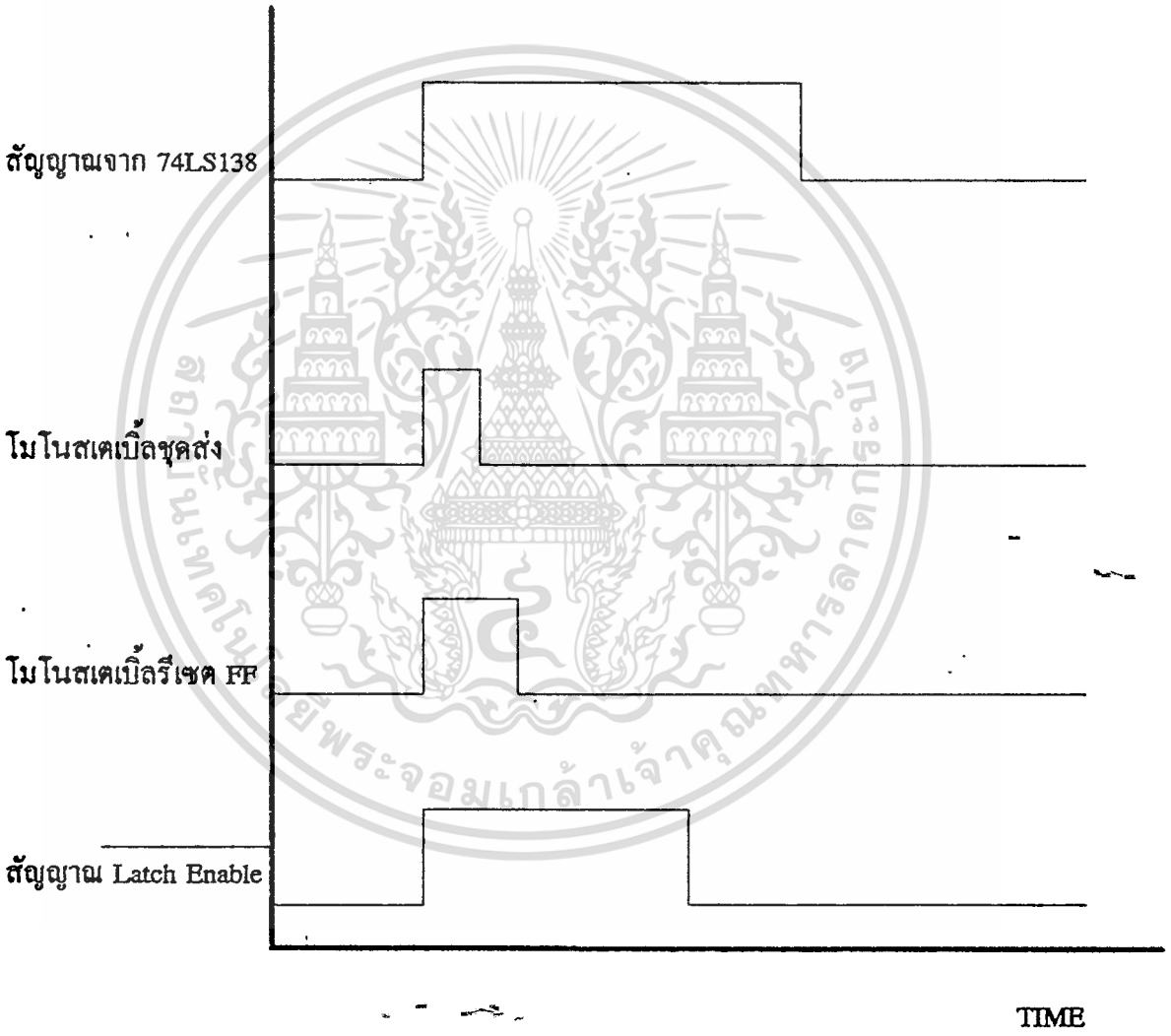
สำหรับไทม์มิ่งไดอะแกรมของสัญญาณควบคุมต่าง ๆ นั้นแสดงดังรูป 3.7

สรุปการทำงานโดยรวมดังนี้

เมื่อภาคส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคได้รับสัญญาณเลือกจาก 8031 ภาคส่งจะทำหน้าที่ส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ ออกมาในระยะเวลาสั้น ๆ (ในการทำงานแต่ละครั้ง) ตามการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิ้ลในขณะนี้วงจรโมโนสเตเบิ้ลอีกชุดหนึ่งที่ควบคุมฟลิปฟลอปจะทำการรีเซตให้ฟลิปฟลอปอยู่ในสภาวะ off (Q=0 , $\overline{Q}$=1) โดยให้ off อยู่ตลอด (เพราะว่าป้อนขา reset)เป็นระยะเวลาหนึ่ง (2ms) เพื่อป้องกันคลื่นส่งออกไปแล้วภาครับจะรับทันทีเนื่องจากทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่งวางอยู่ติดกัน

การที่ฟลิปฟลอปอยู่ในสภาวะ off ($\overline{Q} = 1$) ทำให้ข้อมูลจากเคาน์เตอร์สามารถผ่านออกมาที่แลตช์ได้โดยเอาท์พุทของแลตช์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นั่นคือยังไม่เป็นข้อมูลของระยะทางที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของสัญญาณควบคุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลื่นอุลตร้าโซนิคมากระทบยังทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ทำให้ฟลิปฟลอปเปลี่ยนสถานะไปเป็น on (Q=1 , $\overline{Q}$=0) ข้อมูลจากเคาน์เตอร์จะไม่สามารถผ่านแลตช์ไปได้ และข้อมูลที่ปรากฏที่เอาท์พุทของแลตช์ก็คือ ระยะทางที่วัดได้ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐานสอง 8 บิต

เหตุผลที่ใช้วงจรออสซิลเลเตอร์กำเนิดพัลซ์ความถี่ 17,300 เฮิรตซ์ เพราะว่าต้องการให้ข้อมูลที่เอาท์พุทของแลตช์มีค่าของระยะทางเป็นเซนติเมตรเลย โดยไม่ต้องแปลงหรือนำไปคำนวณอีก พิจารณาจากการที่กำหนดให้อุลตร้าโซนิคมีความเร็วในอากาศเป็น 346 m/s (นั่นคือ 34600 cm/s)

จากสูตรของความเร็ว

$$v = s / t \qquad (3.1)$$

เมื่อ s เป็นระยะทาง และ t เป็นเวลา

แต่จากหลักการวัดระยะทางโดยใช้คลื่นอุลตร้าโซนิคนี้ ให้คลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดออกไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ เพราะฉะนั้นระยะทางก็จะเป็น 2 เท่าของระยะห่าง (2s ในสูตร) และเวลาก็จะเป็น 2 เท่าด้วยเช่นกัน เนื่องจากความเร็วคงที่ ดังนั้นจะได้

$$v = s / t = 2s / 2t \qquad (3.2)$$

และเนื่องจากความเร็วเป็น 34,600 cm/s เปรียบกับออสซิลเลเตอร์ให้กำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม 34,600 ลูก / วินาที นั่นคือความถี่ 34,600 เฮิรตซ์

เนื่องจากต้องใช้เวลาเป็น 2 เท่าเมื่อระยะทางเป็น 2 เท่า นั่นคือความถี่ลดลง 2 เท่า ดังนั้นต้องผลิตความถี่ 34,600/2 เฮิรตซ์ (17300 เฮิรตซ์) ให้เคาน์เตอร์นับ จึงจะได้ผลที่ถูกต้องและนำไปใช้ได้เลย ข้อมูลระยะทาง 8 บิต จะถูกส่งไปยัง 8031 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการหลบหลีกรถ

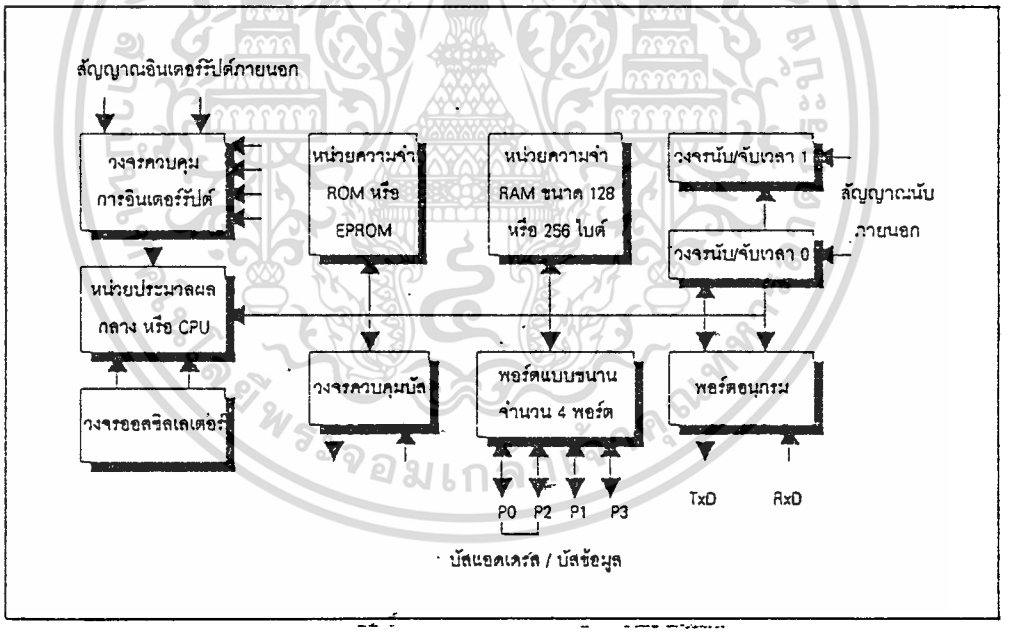
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 มีการต่อขยายพอร์ต 8255 และส่วนแสดงผลเป็นจอแอลซีดี (DOT MATRIX LCD MODULE) ซึ่งรายละเอียดของส่วนต่าง ๆเป็นดังนี้

4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031[2]

หน่วยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 แสดงดังแผนภาพในรูป 4.1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้



รูป 4.1 แผนภาพแสดงหน่วยทำงานพื้นฐานของ 8031

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำแบบแรม (RAM) ภายในจำนวน 128 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ตอินพุท / เอาท์พุทแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกการทำงานได้อย่างอิสระ

- วงจรนับ / จับเวลาขนาด 16 บิตจำนวนสองวงจร

- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

- วงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภทพร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ

- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในเพื่อใช้สร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง

4.1.1 การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของ 8031

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 มีรูปร่างของไอซีเป็นแบบดิพ (DIP) ขนาด 40 ขา แสดงเป็นแผนภาพในรูป 4.2 แต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ชื่อย่อที่กำกับในแต่ละขา แต่จะมีบางขาสัญญาณที่อาจจะมีหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งอย่างซึ่งไม่สามารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้ การกำหนดว่าจะทำงานในลักษณะใดจะขึ้นอยู่กับการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับขาสัญญาณและโปรแกรมควบคุมของระบบนั้น

4.1.2 หน่วยความจำของ 8031

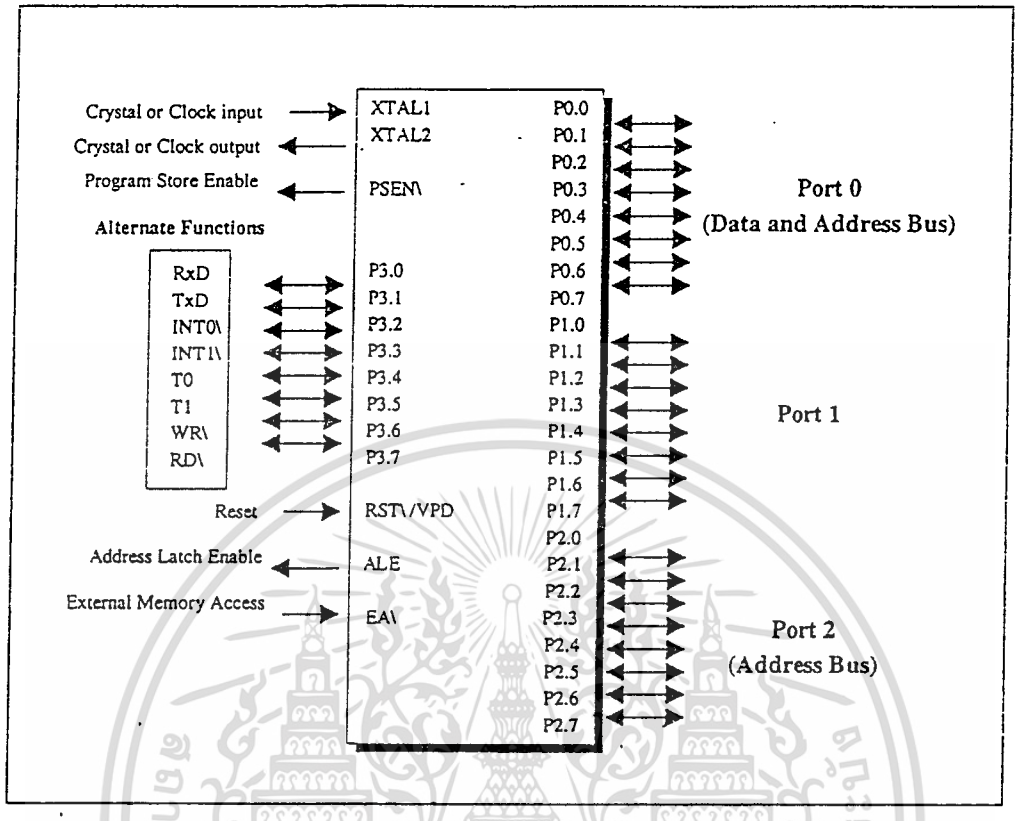
1. หน่วยความจำโปรแกรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ภายในตัวไอซี ดังนั้นในการใช้งานต้องใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเสมอ

2. หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

เป็นหน่วยความจำประเภทแรม หน่วยความจำข้อมูลของ 8031 จะมีอยู่ 2 ชุดคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในมีอยู่จำนวน 128 ไบท์ (00H ถึง 7FH) ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ (00H-1FH) , ส่วนพิเศษที่สามารถเข้าถึงตำแหน่งบิตได้โดยตรง (20F-2FH) และส่วนที่ใช้งานทั่วไป (3H-7FH) ใน 128 ไบท์บน (80H ถึง FFH) เป็นที่อยู่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ และอีกชุดหนึ่งเป็นหน่วยความจำข้อมูลภายนอกมีได้สูงสุด 64 กิโลไบท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.2 แสดงการกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไอซี 8031

4.1.3 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบท์แรก รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่มซึ่งมีชื่อเหมือนกัน ในการทำงานขณะใด ๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่มจะถูกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง ทำได้โดยการเซ็ตหรือเคลียร์บิต RS0, RS1ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW ซึ่งค่าที่เปลี่ยนแปลงไปในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ถูกเลือกใช้งานขณะนั้นจะไม่มีผลต่อรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละกลุ่มเลย แสดงการจัดพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปในรูป 4.3 (a)

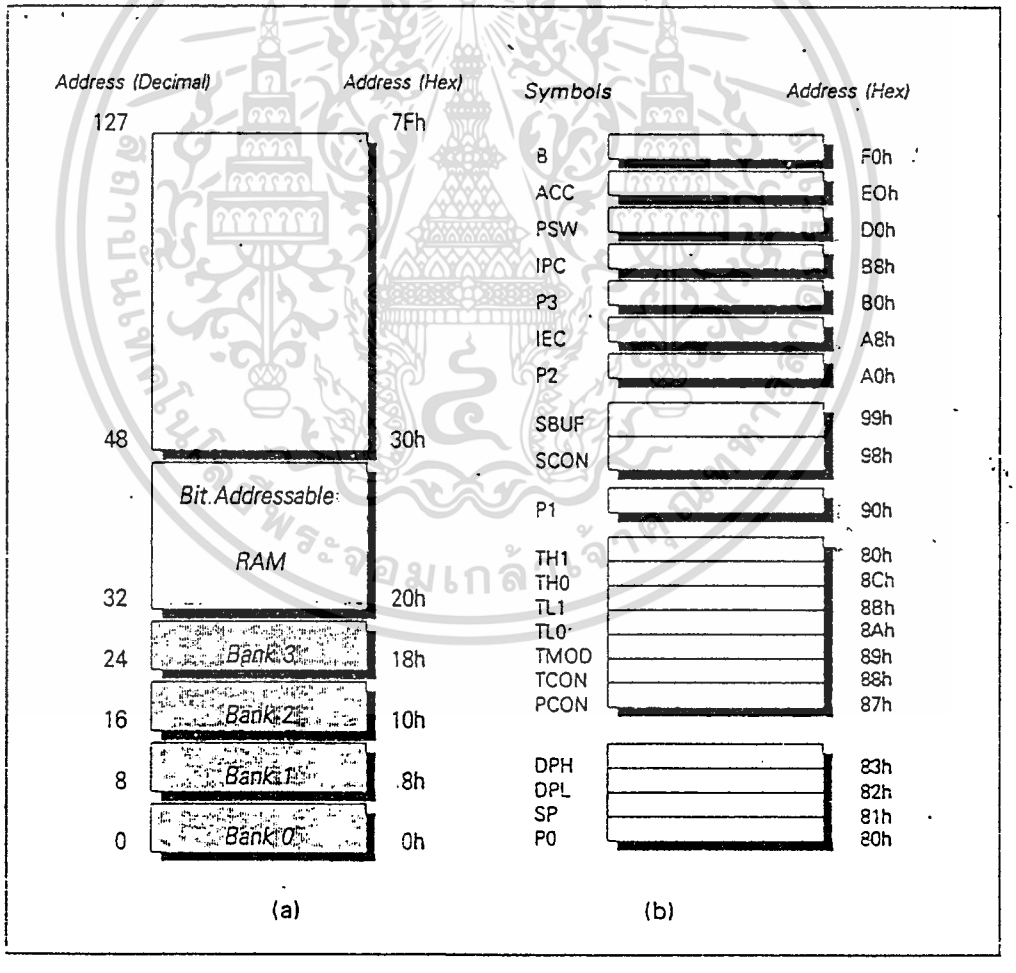
4.1.4 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะหรือ SFR (Special Function Register) ข้อมูลที่ถูกนำไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีความหมายเฉพาะตัวของรีจิสเตอร์ ที่แต่ละตำแหน่งของ SFR อาจจะไม่ใช่เป็นหน่วยความจำ (RAM) แต่อาจจะเป็นตัวนับ (count register) , ชิฟท์รีจิสเตอร์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แลตช์ ซึ่งการอ้างข้อมูลในแต่ละตำแหน่งนั้น 8031 จะถือเสมือนว่าเป็นหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่ง รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน 8031 อาจแยกตามประเภทการใช้งานดังนี้

- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ 8031 โดยรวม ได้แก่ รีจิสเตอร์ PSW, PCON
- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ได้แก่ รีจิสเตอร์ IE, IP
- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ ได้แก่ รีจิสเตอร์ TCON, TMOD
- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม ได้แก่ รีจิสเตอร์ SCON



รูป 4.3 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายในเพื่อใช้งานเป็นรีจิสเตอร์
(a) ช่วงตั้งแต่แอดเดรส 00-19H เป็นแบงก์ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป
(b) ช่วงแอดเดรส 80-FFH เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดพื้นที่สำหรับรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเหล่านี้ แสดงดังในรูป 4.3 (b)

4.1.5 ชุดคำสั่งของ 8031

สามารถจัดกลุ่มคำสั่งตามลักษณะหน้าที่การทำงานที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Intruction) ประกอบด้วยคำสั่งในการบวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งคำสั่งในการเพิ่มค่าข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป

2. กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instructions) ประกอบด้วยกลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ เช่น แอนด์, ออร์, เอกซ์คลูซีฟ-ออร์, คอมพลีเมนต์ รวมทั้งคำสั่งสำหรับเลื่อนบิตข้อมูลไปทางซ้ายหรือขวาโดยผ่านบิตแคร่แฟลกซ์หรือไม่ก็ได้ นอกนี้ยังมีคำสั่งพิเศษที่ใช้ในการสลับที่ข้อมูล 4 บิตบนและ 4 บิตล่าง (SWAP)

3. กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer Intructions) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูล หรือนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปเก็บในหน่วยความจำบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์เพื่อประมวลผล เนื่องจากคำสั่งบางคำสั่งจำเป็นต้องทำงานที่รีจิสเตอร์เฉพาะตัวเท่านั้น เช่น คำสั่งในการคูณหรือหารที่ทำงานกับรีจิสเตอร์ A,B เท่านั้น คำสั่งในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็นกลุ่มคำสั่งย่อย ๆ ดังนี้

- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายในชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำเก็บโปรแกรมภายนอกชิป

4. กลุ่มคำสั่งในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม (Program Control Instructions) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม ในกลุ่มคำสั่งนี้แบ่งออกเป็นคำสั่งที่มีเงื่อนไขและไม่มีเงื่อนไขทำให้การเขียนโปรแกรมสะดวกมากขึ้น

5. กลุ่มคำสั่งสำหรับการประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instructions) การประมวลผลแบบบูลีนเป็นการประมวลผลด้วยข้อมูลขนาด 1 บิต โดยมีหน่วยความจำขนาด 1 บิต สำหรับประมวลผลซึ่งสามารถอ้างตำแหน่งได้โดยตรง หน่วยความจำนี้จะอยู่ในบริเวณเดียวกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปและที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 เวลาของการประมวลชุดคำสั่ง

เวลาในการประมวลผลคำสั่งหนึ่งจนเสร็จสิ้นของ 8031 จะนับเป็นหน่วยของแมชชีนไซเคิล (Machine cycle) การคำนวณหาว่าเวลาที่ใช้ในการทำคำสั่งใดจนเสร็จสิ้นจะต้องดูว่าคำสั่งนั้นใช้จำนวนแมชชีนไซเคิลเป็นเท่าใดในการประมวลผลเวลาที่ใช้จะคำนวณตามสูตร

$$T = (C * 12) / \text{Crystal Frequency}$$

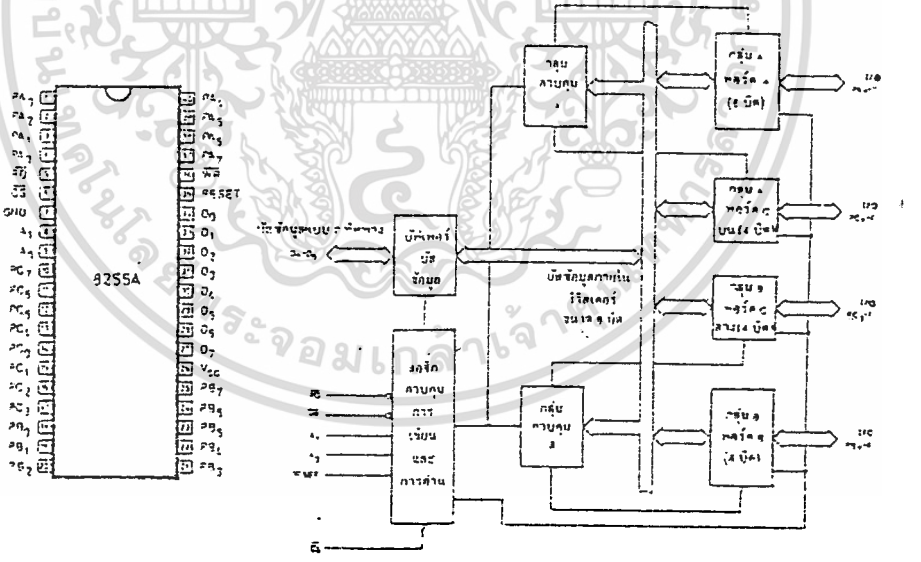
C คือค่าจำนวนแมชชีนไซเคิล

4.2 การใช้ 8255 กับ 8031

4.2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ 8255

8255 เป็นอุปกรณ์ LSI (Large Scale Integrated Circuit) บรรจุอยู่ในแพคเก็จ (package) 40 ขาแบบดิพ (Dual-In-Line Package : DIP)

รูป 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ 8255 ซึ่งหน้าที่ของแต่ละบล็อกมีดังต่อไปนี้



รูป 4.4 แสดงแผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

บล็อกกลุ่มแรกมีจำนวน 4 บล็อกอยู่ทางด้านขวาของรูป เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ โดยมีสาย PA0-PA7, PB0-PB7 และ PC0-PC7 เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ 8255 สายสัญญาณเหล่านี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 พอร์ตได้แก่ พอร์ต A (PA), พอร์ต B (PB) และพอร์ต C (PC) พอร์ตเหล่านี้แต่ละพอร์ตสามารถเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเอาท์พุท และแต่ละบล็อกจะมีสายสัญญาณเชื่อมเข้ากับบัสข้อมูลภายในของ 8255

บล็อกกลุ่มถัดมาได้แก่ กลุ่มควบคุม A และ กลุ่มควบคุม B ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดลักษณะการทำงานของทั้งสามไอโอพอร์ต (8255 มีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันอยู่ 3 โหมด สามารถกำหนดได้โดยการโปรแกรมส่งคอนโทรลเวิร์ดให้กับ 8255) จากรูป 4.4 จะเห็นว่าพอร์ต C นี้จะประกอบด้วยพอร์ตขนาด 4 บิต 2 พอร์ต กลุ่มหนึ่งจะถูกควบคุมโดยกลุ่มควบคุม A และกลุ่มหนึ่งจะถูกควบคุมโดยกลุ่มควบคุม B

บล็อกสุดท้ายที่จะกล่าวถึงได้แก่ ดาต้าบัสบัฟเฟอร์ และ ลอจิกควบคุมการอ่านและการเขียน ซึ่งบล็อกเหล่านี้จะเป็นส่วนที่ติดต่อกับซีพียู ดาต้าบัสบัฟเฟอร์นี้จะเป็นบัฟเฟอร์ให้กับบัสข้อมูลของซีพียู ส่วนลอจิกควบคุมการอ่านและการเขียน จะเป็นส่วนที่ควบคุมให้ข้อมูลเข้าหรือออกจากรีจิสเตอร์ภายในตัวที่ถูกต้องและในเวลาที่เหมาะสม

4.2.2 รายละเอียดการจัดเรียงขาของ 8255

ในส่วนนี้เราจะพิจารณาหน้าที่ของขาแต่ละขาของ 8255 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะมีประโยชน์ในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบบัสของซีพียู สำหรับการจัดขาแสดงดังรูป 4.4 รายละเอียดของแต่ละขามีดังนี้คือ

D0-D7 : เป็นสายข้อมูลอินพุทเอาท์พุทแบบสองทิศทาง (Bidirectional bus) จะเป็นทางผ่านของข้อมูลพอร์ตต่าง ๆ ของ 8255 กับบัสข้อมูลของ 8031

CS (Chip Select Input) : เมื่อขานี้มีสถานะลอจิกเป็น 0 ซีพียูจะสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ 8255 ได้

RD (Read Input) : เมื่อขานี้มีสถานะลอจิกเป็น 0 และสัญญาณ CS มีลอจิกเป็น 0 ข้อมูลจาก 8255 จะปรากฏสู่ระบบบัสข้อมูลซีพียูก็จะสามารถอ่านข้อมูลออกไปได้

WR (Write Input) : เมื่อขานี้มีสถานะลอจิกเป็น 0 และขาสัญญาณ CS มีลอจิกเป็น 0 ข้อมูลจากระบบบัสข้อมูลจะถูกเขียนเข้าไปยัง 8255 ได้

A0-A1 (Address Input) : จะเป็นตัวกำหนดการเลือกใช้รีจิสเตอร์ภายในของ 8255

RESET : เมื่อขานี้มีสถานะเป็น 1 8255 จะอยู่ในสภาวะรีเซ็ตทุก ๆ พอร์ตของ 8255 จะถูกเซ็ตให้อยู่ในโหมดอินพุท

PA0-PA7, PB0-PB7 : ขาสัญญาณเหล่านี้จะถูกใช้เป็นพอร์ตไอโอ ขนาด 8 บิต ใช้ต่อเข้ากับอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ

PC0-PC7 : ขาสัญญาณนี้ถูกใช้เป็นพอร์ตไอโอขนาด 8 บิต ใช้ต่อเข้ากับอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกอื่น เช่นเดียวกับ PA0-PA7, PB0-PB7 แต่กลุ่มของขาสัญญาณเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มโดยแต่ละกลุ่มมีขนาด 4 บิตได้ กลุ่มแรกจะใช้ควบคุม PB0-PB7 และกลุ่มที่สองใช้ควบคุม PA0-PA7

4.3 ส่วนแสดงผล

ในโครงงานรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัตินี้ ใช้แอลซีดี โมดุล (LCD MODULE) ในการแสดงผล

แอลซีดีแบ่งออกเป็นพวก ๆ ได้ดังนี้

1. แบบตัวอักษร
2. แบบกราฟฟิก
3. แบบตัวเลข

4..3.1 ส่วนประกอบของแอลซีดี แบ่งได้เป็น

1. ผลึกแสดงผล (DOT MATRIX LCD) เป็นตัวแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสง ก็คือส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2. ตัวขับผลึก (DRIVER) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึกแอลซีดีอีกทีหนึ่ง โดยมีเบอร์ที่นิยมใช้ในแอลซีดี เช่น HD44100H , MSM5259

3. คอนโทรลเลอร์ (CONTROLLER) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาและจัดการควบคุมแอลซีดี ให้ทำงานแสดงผลต่าง ๆ เช่น การลบจอภาพ, การเกิดตัวอักษร เป็นต้น

สำหรับโครงงานนี้จะใช้แอลซีดีรุ่น DMC161C ซึ่งมีจอแสดงผล แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด 5*8 จุด มีคอนโทรลเลอร์เป็นไอซีเบอร์ DH44780

การศึกษาการทำงานและการใช้งานแอลซีดีนั้น ขอเพียงแค่เข้าใจการทำงานของส่วนคอนโทรลเลอร์ก็เพียงพอแล้ว ซึ่งในแต่ละบริษัทจะใช้ตัวคอนโทรลเลอร์ ที่มีหลักการทำงานเหมือน ๆ กันเป็นส่วนใหญ่ คอนโทรลเลอร์แอลซีดีเบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ในโครงงานนี้เป็นเบอร์ที่นิยมมากที่สุด โดยรูปแบบการทำงานของมันนั้นได้เป็นมาตรฐานให้กับ คอนโทรลเลอร์แอลซีดีตัวอื่น ๆ ด้วย

4.3.2 การต่อใช้งาน HD44780

HD44780 เป็นไอซี LSI ตัวหนึ่งใช้ควบคุมแอลซีดี โดยแสดงผลในรูปตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษรหรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ตัวมันเองสามารถต่อใช้งานแบบ 4 บิตหรือ 8 บิตได้ โดยถ้าเราต่อแบบ 4 บิต จะต่อใช้งานที่ DB7-DB4 เท่านั้น โดยข้อมูลครั้งแรกที่ส่งนั้น DH44780 จะถือเป็นข้อมูลที่ส่งต่อมาเป็นข้อมูล 4 บิตล่าง

ขาต่าง ๆในการต่อใช้งานแอลซีดี ที่ใช้คอนโทรลเลอร์เบอร์ DH44780

1. RS (Registor Selection) จะเป็นขาเลือกรีจิสเตอร์ภายในซึ่งมีอยู่ 2 ตัว คือ Instruction Registor (IR) และ Data registor (DR) โดยถ้าเป็น 1 จะเลือกดาต้า และถ้าเป็น 0 จะเป็นการเลือกคำสั่ง แสดงดังตาราง 4.1

2. R/W (Read / Write) เป็นตัวเลือกว่าจะเขียนข้อมูลหรืออ่านจากตัวไอซี โดยอ่านข้อมูล = 1 และเขียนข้อมูล = 0

3. E (Enable Signal) เป็นขากำหนดสภาพการรับเขียนอ่านข้อมูล

ตาราง 4.1 แสดงการกำหนดการรับเขียนอ่านข้อมูล

RS	R/W	E	Operation
0	0		IR write as internal operation (Display clear, etc.)
0	1		Read busy flag (DB_7) and address counter (DB_0 ~ DB_6)
1	0		DR write as internal operation (DR to DD or CG RAM)
1	1		DR read as internal operation (DD or CG RAM to DR)

4. DB0-DB7 เป็นขารับส่งข้อมูลจากตัวไอซี

5. VDD ไฟเลี้ยงตัววงจร ± 5 โวลต์

6. VSS เป็นขากราวน์ด

7. VO เป็นขารับโวลต์เตจในการขับแอลซีดีให้สว่างหรือมืด

เราสามารถต่อ VR ปรับค่าได้ 2 แบบ

- ต่อกราวน์ดในกรณีแอลซีดีแบบธรรมดา
- ต่อไฟลบในกรณีแอลซีดีบางรุ่นที่ต้องใช้ไฟลบ เช่น LM201 ซึ่งเราอาจประยุกต์ใช้ไฟลบได้จากขา 6 ของไอซี MAX232 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 แสดงขาต่าง ๆในการต่อใช้งานแอลซีดี

Pin No.	Symbol	Level	Function
1	V_{SS}	—	0V
2	V_{DD}	—	-5V
3	V_O	—	—
4	RS	H/L	L : Instruction code input H: Data input
5	R/W	H/L	H: Data read·(LCD module ·MPU) L : Data write (LCD module· MPU)
6	E	H, H→L	Enable signal
7	DB0	H/L	Data bus line Note (1), (2)
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	

การต่อแอลซีดีเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถทำได้ 2 แบบ ได้แก่ แบบเมมโมรี่แมป (MEMORY MAP) และแบบไอโอพอร์ต

1. แบบเมมโมรี่แมป เป็นการต่อแอลซีดีเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะกินเนื้อที่ของหน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง แต่มีข้อดีคือ สามารถลดความยุ่งยากซับซ้อนในการเขียนโปรแกรม

2. แบบไอโอพอร์ต แบบนี้จะต่อแอลซีดีเข้ากับพอร์ตอินพุทเอาท์พุทของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะไม่เสียพื้นที่ในหน่วยความจำเหมือนแบบเมมโมรี่แมป แต่มีข้อเสียคือ จะมีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

โครงงานรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัตินี้ เลือกการต่อแอลซีดีเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบไอโอพอร์ต โดยพอร์ต A ของตัว 8255_2 เป็นดาต้าพอร์ต และพอร์ต B เป็นพอร์ตสัญญาณควบคุม

เมื่อเราเริ่มเปิดไฟป้อนให้ DH44780 แล้วก็จะทำการรีเซ็ตตัวมันเอง โดยใช้เวลาประมาณ 10 ms หลังจากไฟ VDD ถึง 4.5 โวลต์แล้วต้องทำการเซ็ตตัวเองโดยคำสั่งต่าง ๆ ดังนี้

1. DISPLAY CLEAR
2. FUNCTION SET
3. ON / OFF DISPLAY
4. ENTRY MODE SET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 แสดงคำสั่ง DH44780

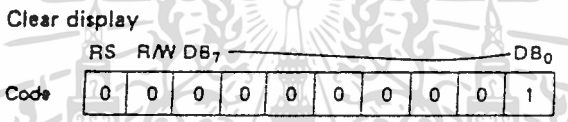
Intruction	Code										Execution Time (max) (when f_{cp} or f_{osc} is 250 kHz)
	RS	R/W	DB 7	DB 6	DB 5	DB 4	DB 3	DB_2	DB 1	DB 0	
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.64 ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1.64 ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40 µs
Display On/Off Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40 µs
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40 µs
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	40 µs
Set CG RAM Address	0	0	0	1	ACG						40 µs
Set DD RAM Address	0	0	1	ADD							40 µs.
Read Busy Flag & Address	0	1	BF	AC							0 µs
Write Data to CG or DD RAM	1	0	Write Data								40 µs
Read Data from CG or DD RAM	1	1	Read Data								40 µs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงสามารถสั่งงานให้แอลซีดีแสดงผลตามที่ต้องการได้ โดยในการโปรแกรมใช้งานจะต้องมีส่วนกำเนิดพัลซ์เพื่ออีนาเบิลคำสั่งต่าง ๆ ซึ่งคำสั่งต่าง ๆ ของ DH44780 แสดงดังตาราง 4.3

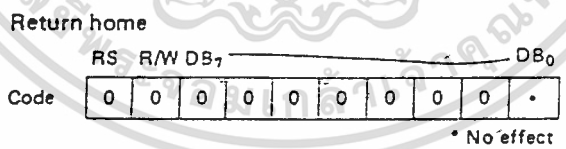
4.3.3 รายละเอียดของคำสั่ง DH44780

1. CLEAR DISPLAY คำสั่งนี้จะเป็นการเขียนช่องว่าง (ASCII 20H) เข้าไปในหน่วยความจำเก็บข้อมูลในการแสดงผล : ดีดี แรม (DISPLAY DATA RAM : DD RAM) ทั้งหมดและทำการตั้งแอดเดรสของหน่วยความจำเหล่านี้ให้เป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพ เซ็ต I/D = 1, S ไม่มีการเปลี่ยน สามารถแสดงคำสั่งนี้ดังรูป 4.5



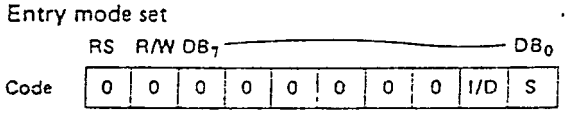
รูป 4.5 แสดงคำสั่ง CLEAR DISPLAY

2. RETURN HOME คำสั่งนี้จะทำการตั้งแอดเดรสของหน่วยความจำเก็บข้อมูลในการแสดงผลเป็นศูนย์ ตัวเคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพ ข้อมูลในจอภาพไม่เปลี่ยน แสดงคำสั่งนี้ดังรูป 4.6



รูป 4.6 แสดงคำสั่ง RETURN HOME

3. ENTRY MODE SET แสดงดังรูป 4.7



รูป 4.7 แสดงคำสั่ง ENTRY MODE SET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

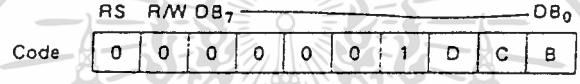
บิต I/D : โดยจะเป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้แอส-เดรสของหน่วยความจำเก็บข้อมูลในการแสดงผลเพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งโดย

1 = เพิ่ม

0 = ลดลงหนึ่ง

บิต S : เป็นกำหนดแสดงผลโดยถ้า S = 1 จะเป็นการใส่ข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์อยู่กับที่ข้อมูลจะถูกดันไปทางซ้าย ถ้า S = 0 ข้อมูลจะอยู่กับที่เคอร์เซอร์จะถูกดันไปทางขวามือ

4. DISPLAY ON/OFF CONTROL แสดงดังรูป 4.8



รูป 4.8 แสดงคำสั่ง DISPLAY ON/OFF CONTROL

บิต D : เป็นบิตให้เปิดปิดหน้าจอภาพ โดยถ้า

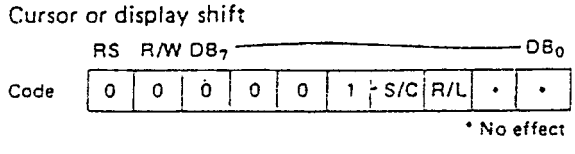
D = 1 จะ ON และ

D = 0 จะ OFF

บิต C : จะแสดงเคอร์เซอร์ ให้บิต C = 1 และถ้าไม่ต้องการแสดงเคอร์เซอร์ บิต C = 0 โดยตัวเคอร์เซอร์จะอยู่ที่เส้นที่ 8 ในแบบ 5*7 จุด และจะอยู่เส้นที่ 11 ในแบบ 5*10 จุด

บิต B : เป็น บิตกำหนดการกระพริบของเคอร์เซอร์ โดย B = 1 จะมีการกระพริบ และ B = 0 ไม่มีการกระพริบ โดยมีระยะเวลาการกระพริบประมาณ 379.2 มิลลิวินาที

5. CURSOR OR DISPLAY SHIFT แสดงดังรูป 4.9



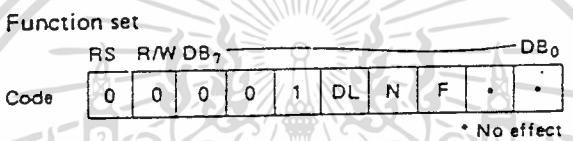
รูป 4.9 แสดงคำสั่ง CURSOR OR DISPLAY SHIFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นคำสั่งกำหนดให้ตำแหน่งเคอร์เซอร์หรือข้อมูลไปเกิดทางซ้ายหรือขวา โดยไม่ต้องใช้คำสั่งเขียนหรืออ่านโดย

S/C	R/L	
0	0	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการย้ายเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	เป็นการดันตัวอักษรที่เกิดไปทางซ้ายมือ
1	0	เป็นการดันตัวอักษรที่เกิดไปทางขวามือ

6. FUNCTION SET แสดงดังรูป 4.10



รูป 4.10 แสดงคำสั่ง FUNCTION SET

บิต DL : เป็นการเซ็ตการติดต่อว่าจะให้เป็นแบบ 8 บิต หรือ 4 บิต โดยถ้าต้องการติดต่อ 4 บิต DL = 0 และ 8 บิต DL = 1

N : เป็นการเซ็ตบรรทัดการแสดงผล N=o แสดง 1 บรรทัด และถ้า N=1 แสดง 2 บรรทัด ในกรณีมากกว่า 2 บรรทัด ก็ให้เซ็ต N=1

F : เป็นการเซ็ตขนาดจุดการแสดงผล 5*7 หรือ 5*10 โดย F=0 เป็นแบบ 5*7 และถ้า F=1 เป็นแบบ 5*10 แสดงดังตาราง 4.4

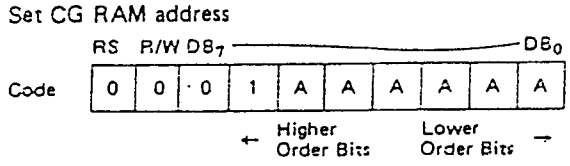
ตาราง 4.4 แสดงการกำหนดบิตต่าง ๆในการกำหนดแบบตัวอักษร

N F	No. of display lines	Character font	Duty factor	Remarks
0 0	1	5 x 7 dots	1/8	
0 1	1	5 x 10 dots	1/11	
1 •	2	5 x 7 dots	1/16	Cannot display 2 lines with 5 x 10 dot character font.

* No effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

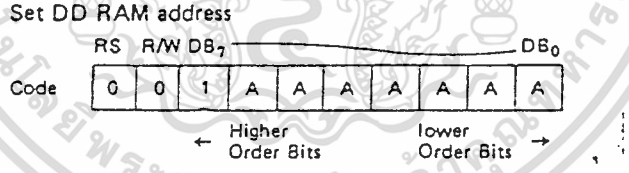
7. SET CG ADDRESS แสดงดังรูป 4.11



รูป 4.11 แสดงคำสั่ง SET CG ADDRESS

ใน DH44780 นั้นจะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ชุดคือหน่วยความจำเก็บข้อมูลในการแสดงผลจำนวน 80*8 บิต และหน่วยความจำในการสร้างตัวอักษร (CHARACTER GENERATOR ROM : CG RAM) จำนวน 512 บิต และ 7200 บิต คำสั่งนี้จะเป็นการตั้งแอดเดรสในซีจี แรม โดยต้องทำการตั้งแอดเดรสก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูลจากซีจี แรม ด้วย

8. SET DD RAM ADDRESS แสดงดังรูป 4.12



รูป 4.12 แสดงคำสั่ง SET DD RAM ADDRESS

เป็นคำสั่งแสดงการเซ็ตค่าแอดเดรสในดีดี แรม ในการเขียนหรืออ่านค่าจากดีดี แรม (ดีดี แรม คือส่วนที่จะแสดงผลหน้าจอแอลซีดี) โดยจำนวนแอดเดรสที่จะเกิดขึ้นบนจอแอลซีดีจะขึ้นอยู่กับการเซ็ตค่า N ด้วย

N = 0 (1บรรทัด) แอดเดรสจะอยู่ 00H-4FH

N = 1 (2 บรรทัด) แอดเดรสจะอยู่ 00H- 27H สำหรับบรรทัดที่ 1 และ 40H-67H สำหรับบรรทัดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 ตัวอักษร 1 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	40	41	42	43	44	45	46	47

16 ตัวอักษร.2 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

20 ตัวอักษร 1 บรรทัด

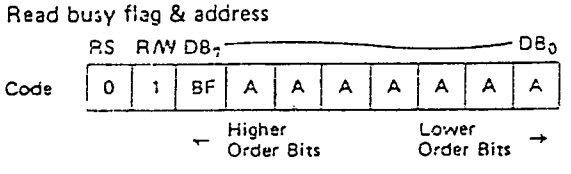
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13

20 ตัวอักษร 2 บรรทัด

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53

รูป 4.13 แสดงการจัดแอดเดรสของดีดี แรมหน้าจอแอลซีดี

9. READ BUSRY FLAG AND ADDRESS แสดงดังรูป 4.14



รูป 4.14 แสดงคำสั่ง READ BUSRY FLAG AND ADDRESS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

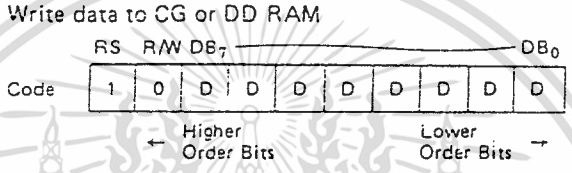
เป็นคำสั่งอ่านค่า BUSY FLAG ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าตัว HD44780 นี้อยู่ในขบวน การทำงานภายในอยู่ หรืออยู่ในสภาพพร้อมที่จะรับข้อมูลโดย

BF = 1 อยู่ในขบวนการทำงานภายใน ไม่พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

BF = 0 พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

และนอกจากนี้ยังเป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลแอดเดรสของซีจี แรม หรือดีดี แรมด้วย

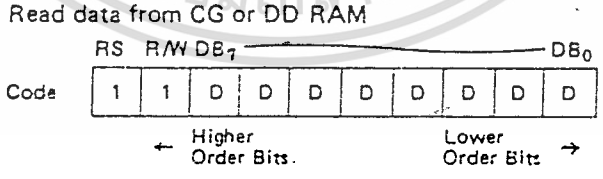
10. WRITE DATA TO CG DD หรือ RAM แสดงดังรูป 4.15



รูป 4.15 แสดงคำสั่ง WRITE DATA TO CG DD หรือ RAM

เป็นคำสั่งเขียนข้อมูลเข้าไปในซีจี แรมหรือดีดี แรม โดยเมื่อเขียนข้อมูลและแอดเดรสจะเพิ่มหรือลด โดยอัตโนมัติตามคำสั่งที่เซ็ตในเอนไทร์โหมดข้อกำหนดที่จะรู้ว่าเป็นการเขียนข้อมูลของซีจี แรม หรือดีดี แรม ทำได้โดยการเซ็ตค่าแอดเดรสของซีจี แรม หรือดีดี แรม ขึ้นมาก่อนจะเขียนข้อมูล

11. READ DATA FROM CG OR DD RAM แสดงดังรูป 4.16



รูป 4.16 แสดงคำสั่ง READ DATA FROM CG OR DD RAM

เป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลจากซีจี แรมหรือดีดี แรม โดยก่อนอ่านค่าจากดีดี แรมหรือซีจี แรมนี้ควรจะใช้คำสั่งเซ็ตแอดเดรสก่อน เพื่อให้รู้ว่าข้อมูลที่อ่านได้นั้นเป็นดีดี แรม หรือว่าซีจี แรม จากตารางการทำงานจะเห็นว่าการใช้งานแอลซีดีนั้นง่ายเพียงแต่เราส่งคำสั่งเริ่มแรกและเซ็ตความต้องการในขนาดตัวอักษร, เคอร์เซอร์ หลังจากนั้นเราก็สามารถเขียนตัวอักษรเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในดีดี แรม ตามตารางอักษรที่ให้มานั้นก็จะเกิดอักษรในจอภาพแอลซีดี เรายังสามารถกำหนดตำแหน่งตัวอักษรที่จะเกิดบนจอได้ โดยการเซ็ตค่าแอดเดรสดีดี แรม ตามตาราง 4.13

4.4 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูป 4.17 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยว เบอร์ 8031 วงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่ 11.0592 เมกะเฮิร์ท มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 8 กิโลไบต์เบอร์ 2764 โดยแอดเดรสไบต์ล่างจะต่อผ่านไอซีเบอร์ 74LS373 ซึ่งจะทำหน้าที่แลตซ์แอดเดรสไบต์ล่างจากพอร์ต 0 ของ 8031 ไว้ เพื่อให้พอร์ต 0 สามารถจะเป็นอินพุทข้อมูลรับรหัสคำสั่งจาก 2764 ได้

ขา T0, T1 ของ 8031 จะต่อกับส่วนป้อนกลับการทำงานของดีซีมอเตอร์เพื่อนับจำนวนพัลซ์ที่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนรอบของมอเตอร์แต่ละข้าง โดยขา T0 จะต่อกับส่วนป้อนกลับมอเตอร์ข้างซ้าย ขา T1 จะต่อกับส่วนป้อนกลับมอเตอร์ข้างขวา

ขา INT 0 ต่อกับขา DA ของคีย์บอร์ดเอนโค้ดเดอร์ เบอร์ MM74C922 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ข) เพื่อรับรู้ภาวะการกดคีย์บอร์ด

ขา INT 1 ต่อกับส่วนเซ็นเซอร์ เพื่อให้สามารถรับรู้ภาวะการส่งข้อมูลระยะวัตถุจากส่วนเซ็นเซอร์

สำหรับหน่วยความจำภายนอกจะถูกแบ่งเป็น 8 เซกเมนต์ (0-7) ด้วยดีโค้ดเดอร์เบอร์ 74LS138

-เซกเมนต์ที่ 5 จะใช้เป็นแอดเดรสให้กับ MM74C922 โดย MM74C922 จะต่อกับคีย์บอร์ดแบบแมทริกซ์ขนาด 4 x 4

-เซกเมนต์ที่ 6 และเซกเมนต์ที่ 7 จะใช้เป็นแอดเดรสให้กับพอร์ต 8255 เซกเมนต์ละตัว

8255 ตัวที่ 1 มีการใช้พอร์ตดังนี้

- พอร์ต A ใช้เป็นเอาท์พุทพอร์ต กำหนดความเร็วของดีซีมอเตอร์ล้อซ้าย
- พอร์ต B ใช้เป็นอินพุทพอร์ต รับข้อมูลระยะวัตถุจากส่วนเซ็นเซอร์
- พอร์ต C ไบต์บนใช้เป็นเอาท์พุทพอร์ต ควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์

8255 ตัวที่ 2 มีการใช้พอร์ตดังนี้

- พอร์ต C ไบต์ล่างใช้เป็นเอาท์พุทพอร์ต ควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์ดังนี้

PC 0 ควบคุมการเปิดปิดมอเตอร์ล้อขวา โดยถ้าเป็น 0 จะปิด เป็น 1 จะเปิด

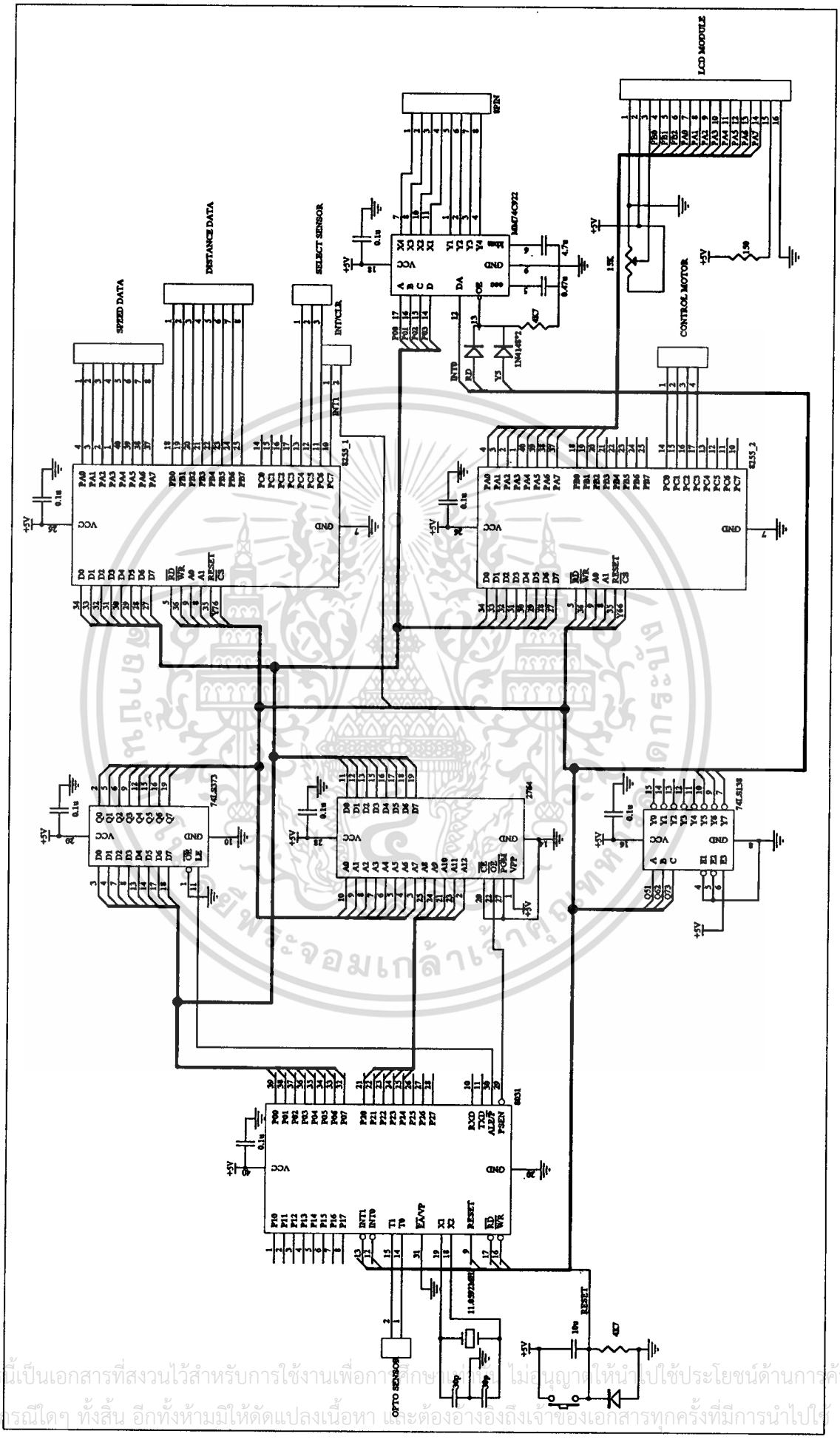
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC 1 ควบคุมการหมุนไปหน้า/ถอยหลัง ของมอเตอร์ล้อขวา โดยถ้าเป็น 0 จะไปหน้า เป็น 1 จะถอยหลัง

PC 2 ควบคุมการเปิดปิดมอเตอร์ล้อซ้าย โดยถ้าเป็น 0 จะปิด เป็น 1 จะเปิด

PC 3 ควบคุมการหมุนไปหน้า/ถอยหลัง ของมอเตอร์ล้อซ้าย โดยถ้าเป็น 0 จะไปหน้า เป็น 1 จะถอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.17 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

5.1 โปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของรถ

การทำงานของรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ จะถูกควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ให้สามารถแนะนำตัวเองที่ส่วนแสดงผลรับค่าระยะทางเป้าหมาย และสามารถวิ่งไปยังเป้าหมายได้โดยไม่ชนสิ่งกีดขวางใด ๆเลย มีอัลกอริทึมดังแผนภาพการไหลรูป 5.1

สำหรับอัลกอริทึมของโปรแกรมย่อยควบคุมการทำงานต่าง ๆจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

5.2 โปรแกรมย่อยควบคุมให้รถวิ่งไปยังเป้าหมาย

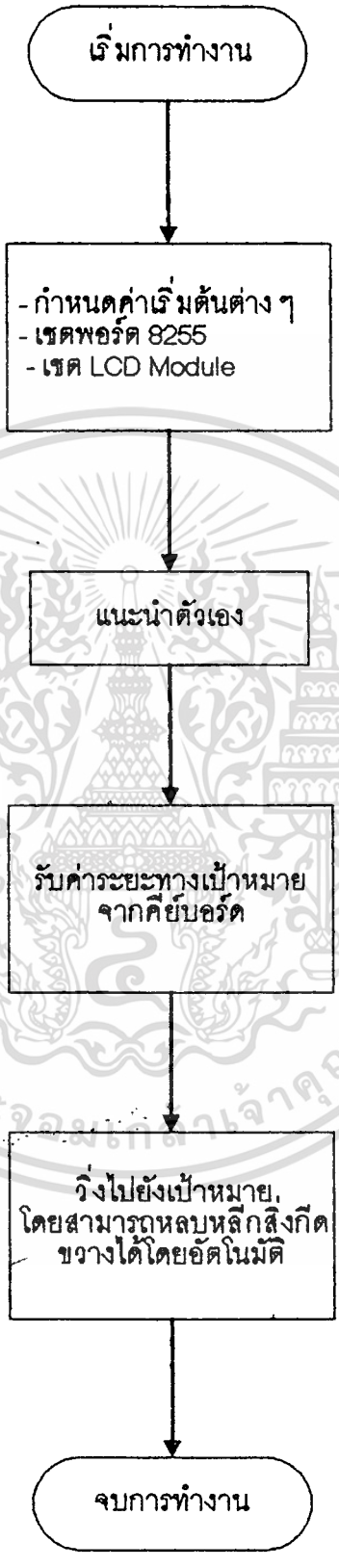
อัลกอริทึมแสดงขั้นตอนของโปรแกรมแสดงดังรูป 5.2 อธิบายได้ดังนี้คือ

ขั้นแรกกำหนดค่าในรีจีสเตอร์ต่าง ๆก่อน จากนั้นจึงตรวจสอบว่าถึงเป้าหมายหรือยังถ้าถึงแล้วก็จบการทำงาน แต่ถ้ายังไม่ถึงก็ให้ทำขั้นตอนต่อไป เริ่มจากใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับระยะวัตถุที่กีดขวางการวิ่งของรถว่าอยู่ในระยะวิกฤต (ระยะที่ต้องหลบ) หรือยัง ในขั้นตอนต่อไปต้องตัดสินใจว่าจะให้รถเลี้ยวหรือไปตรง โดยอาศัยข้อมูลระยะวัตถุจากเซ็นเซอร์ ร่วมกับบิตที่แสดงพิกัดระยะเป้าหมาย ในการเลี้ยวจะทำให้พิกัดเป้าหมายเปลี่ยนไปเมื่ออ้างอิงกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ ดังนั้นเมื่อมีการเลี้ยวจะต้องเปลี่ยนพิกัดเป้าหมายใหม่ แล้วจึงวนกลับไปตรวจสอบว่าถึงเป้าหมายหรือยังอีกครั้งหนึ่ง ถ้าหากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัดสินใจให้วิ่งไปตรง ๆต้องมีการเปลี่ยนแปลงระยะทางเป้าหมายซึ่งเกิดจากระยะการเคลื่อนที่ของรถด้วย แล้วจึงวนกลับไปตรวจสอบต่อไปว่าถึงเป้าหมายหรือยัง การทำงานของโปรแกรมจะวนไปเรื่อย ๆจนกระทั่งพิกัดเป้าหมายเป็นศูนย์ แสดงว่าถึงเป้าหมายแล้ว จึงออกจากโปรแกรมย่อยนี้ได้

การกำหนดระยะวิกฤตสำหรับด้านหน้าและด้านข้างกำหนดไว้ที่ระยะ 10 นิ้ว ส่วนด้านหน้าเยื้องทางซ้ายและขวากำหนดไว้ที่ระยะ 8 นิ้ว ซึ่งเมื่อชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะวัตถุได้น้อยกว่าหรือเท่ากับระยะวิกฤต จะแสดงลอจิกเป็น 1 ถ้ามากกว่าจะแสดงลอจิกเป็น 0

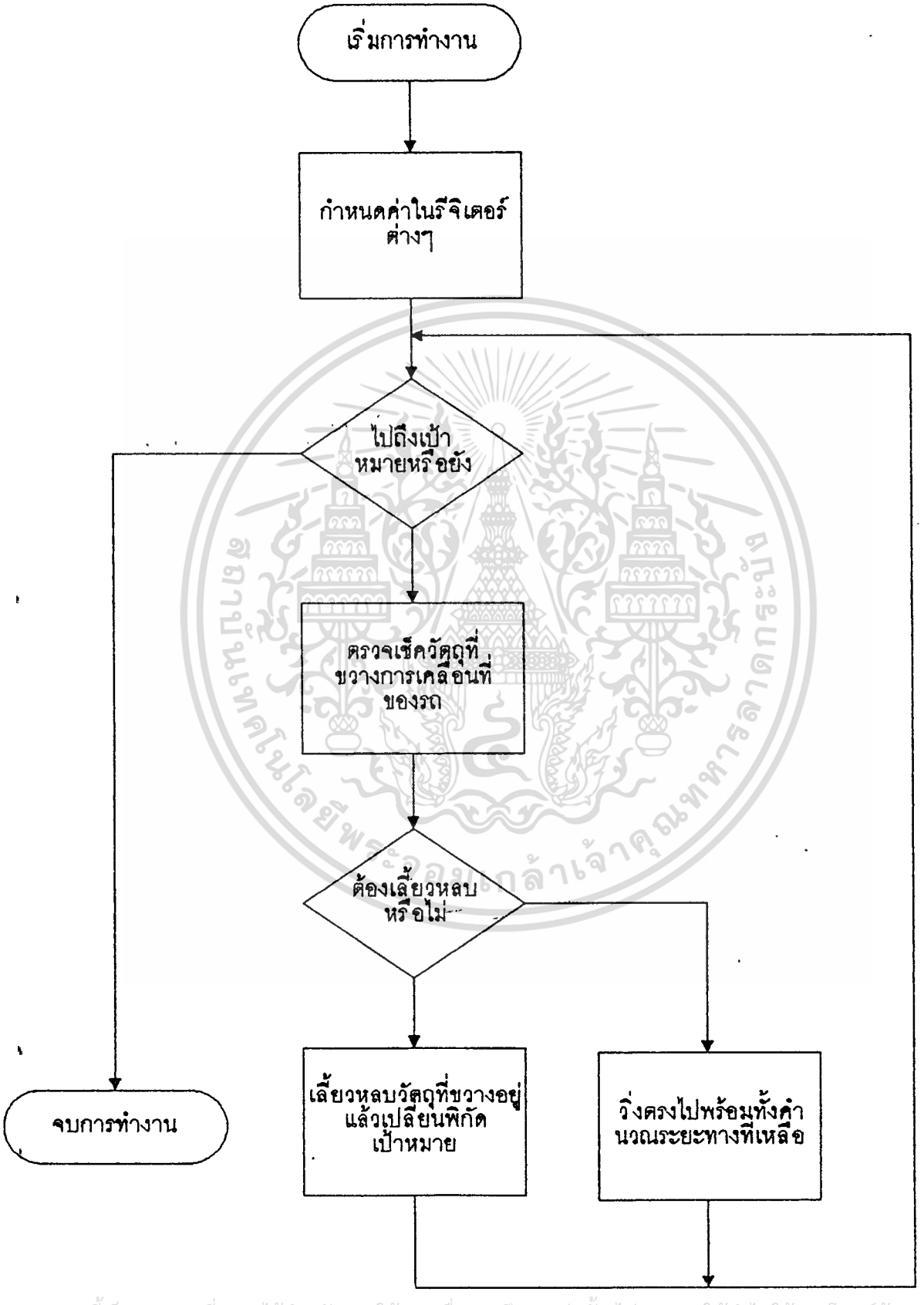
หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ แบ่งได้เป็น 2 กรณีได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.1 แผนภาพการไหลของโปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.2 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมให้รถวิ่งไปยังเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรณีที่ข้อมูลตรวจจับวัตถุสมมาตร หมายถึง กรณีที่ชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะวิกฤตได้เหมือนกันทั้งสองข้าง หรือตรวจจับไม่ได้เหมือนกันทั้งสองข้าง ดังนั้นจึงต้องมีการตัดสินว่าจะให้วิ่งหรือเลี้ยวไปทางใด โดยอาศัยบิตแสดงพิกัดเป้าหมาย ซึ่งจะแสดงว่าเป้าหมายอยู่ทางซ้ายหรือทางขวา ก็ให้เลี้ยวไปตามกรณีนั้น ๆ

ตัวอย่างเช่น ข้อมูลตรวจจับวัตถุเป็น 01110 หมายความว่า มีวัตถุขวางอยู่ด้านหน้าและด้านหน้าเยื้องทางซ้ายและทางขวา จึงต้องทำการหลบโดยพิจารณาบิตแสดงพิกัดเป้าหมาย ถ้าเป็น 0 แสดงว่าเป้าหมายอยู่ทางขวา ก็ให้เลี้ยวขวา ถ้าเป็น 1 แสดงว่าเป้าหมายอยู่ทางซ้ายก็ให้เลี้ยวซ้าย

2. กรณีที่ข้อมูลตรวจจับวัตถุไม่สมมาตร หมายถึง กรณีที่ชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะวิกฤตทั้งสองข้างไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจให้เลี้ยวหลบไปทางที่ไม่มีวัตถุขวางอยู่ได้เลย

ตัวอย่างเช่น ข้อมูลตรวจจับวัตถุเป็น 10100 แสดงว่ามีวัตถุอยู่ด้านหน้าและด้านซ้าย ให้เลี้ยวหลบไปด้านขวาได้เลย

นอกจากนี้ยังมีกรณีพิเศษซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เช่น 11111 หรือ 10101 เป็นลักษณะที่รถวิ่งเข้าไปในซอยตัน จึงต้องถอยหลังจนกว่าข้างใดข้างหนึ่งจะว่าง จึงเลี้ยวหลบไปทางนั้น

5.8 โปรแกรมย่อยควบคุมให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงและวัดระยะทาง

การควบคุมให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงจะอาศัยหลักการนับพัลซ์จากการหมุนของมอเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบแล้วทำการเพิ่มหรือลดความเร็วของมอเตอร์ จนจำนวนพัลซ์มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับการวัดระยะทางนั้น คำนวณได้ดังนี้

-รัศมีของล้อเท่ากับ 1.5 นิ้ว

-เฟืองใหญ่มี 36 ซี่ หมุน 1 รอบทำให้ล้อหมุนคิดเป็นระยะทาง $2\pi(1.5)$ นิ้ว

-เฟืองเล็กมี 16 ซี่ หมุน 1 รอบทำให้เฟืองใหญ่หมุนไป 16/36 รอบ ทำให้ล้อหมุนไปเป็นระยะทาง $(16/36) * 2\pi(1.5)$ จานตัดแสงหมุนไป 1 รอบนับพัลซ์ได้ 41 พัลซ์

-ล้อหมุนไป 1 ฟุต เท่ากับ 12 นิ้ว จะนับจำนวนพัลซ์ได้

$\{ 12/[(16/36)2\pi(1.5)] \} * 41 = 117$ พัลซ์

อัลกอริทึมของโปรแกรมย่อยควบคุมให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงและวัดระยะทาง แสดงดังแผนภาพการไหลรูป 5.3 อธิบายได้ดังนี้คือ

ขั้นแรกจะมีการกำหนดค่าในรีจีสเตอร์ต่าง ๆ กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นและเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคาน์เตอร์ทั้งสองเป็นโหมด 1 จากนั้นจะเริ่มเปิดมอเตอร์ทั้งสองข้างให้รถวิ่งไปข้างหน้า แล้วเปรียบเทียบจำนวนพัลซ์ที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ทั้งสอง โดยมอเตอร์ข้างขวาซึ่งนับจำนวนพัลซ์ด้วยเคาน์เตอร์ 1 จะมีความเร็วคงที่และมอเตอร์ข้างซ้ายซึ่งนับจำนวนพัลซ์ด้วยเคาน์เตอร์ 0 จะมีการปรับความเร็ว ถ้าค่าในเคาน์เตอร์ 0 มากกว่าในเคาน์เตอร์ 1 จะต้องลดความเร็วของมอเตอร์ข้างซ้าย แต่ถ้าน้อยกว่าต้องเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ข้างซ้าย

ในการวัดระยะทางจะมีการตรวจว่าขณะนี้รถวิ่งไปยังเป้าหมายหรือสวนทางกับเป้าหมาย ถ้าวิ่งไปยังเป้าหมายให้ลดระยะทางที่เหลือลง ถ้าสวนทางกับเป้าหมายให้เพิ่มระยะทางที่เหลือขึ้น

5.4 โปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว

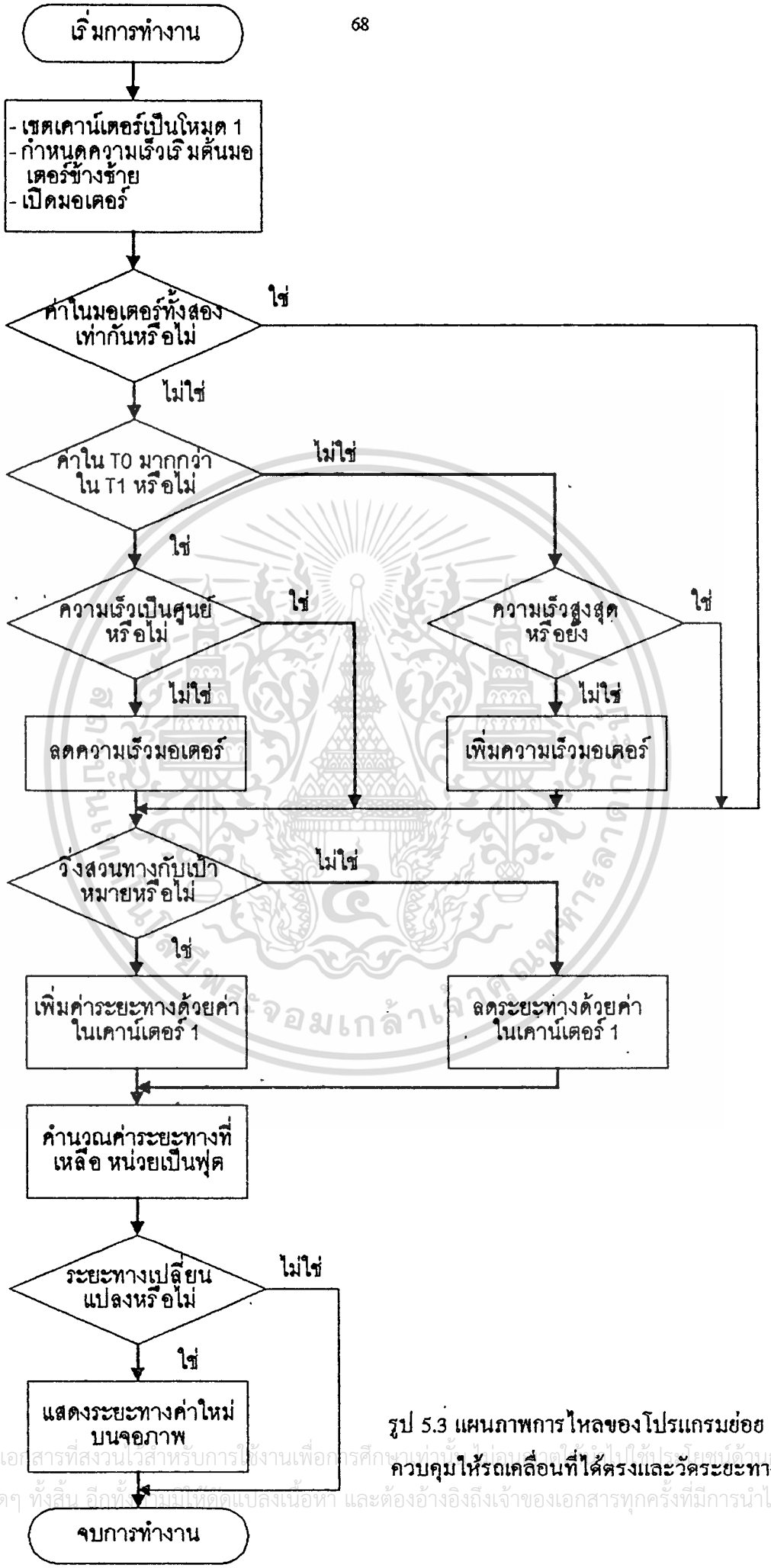
ในการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวานั้น เพื่อที่จะไม่ให้เสียระยะทางที่เกิดจากการเลี้ยวจึงต้องให้ล้อข้างหนึ่งหมุนไปข้างหน้าอีกข้างหมุนกลับหลัง เป็นระยะที่เท่ากันเพื่อให้รถหมุนรอบจุดที่เป็นตำแหน่งที่ต้องการจริง ๆ

การเลี้ยวจะควบคุมให้รถเลี้ยวเป็นมุมฉากเพื่อให้รถยังคงวิ่งอยู่บนแกนของพิกัดเป้าหมาย มีการคำนวณจำนวนที่ใช้ในการเลี้ยวดังนี้

- จากผลการคำนวณในหัวข้อที่แล้ว ล้อหมุนไป 12 นิ้ว นับจำนวนพัลซ์ได้ 117 พัลซ์
- ระยะระหว่างล้อทั้งสองเท่ากับ 11 นิ้ว
- ล้อทั้งสองต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางที่อยู่ระหว่างล้อซึ่งเป็นแนวโค้งของวงกลมรัศมี 11/2 นิ้ว เท่ากับ 5.5 นิ้ว
- การให้รถเลี้ยวเป็นมุมฉากจะต้องให้ล้อแต่ละข้างหมุนไปเป็นระยะทางเท่ากับหนึ่งในสี่ของเส้นรอบวง เท่ากับ (1/4)2π(5.5) นิ้ว คิดเป็นจำนวนพัลซ์เท่ากับ (117/2) * (1/4)2π (5.5) เท่ากับ 84 พัลซ์

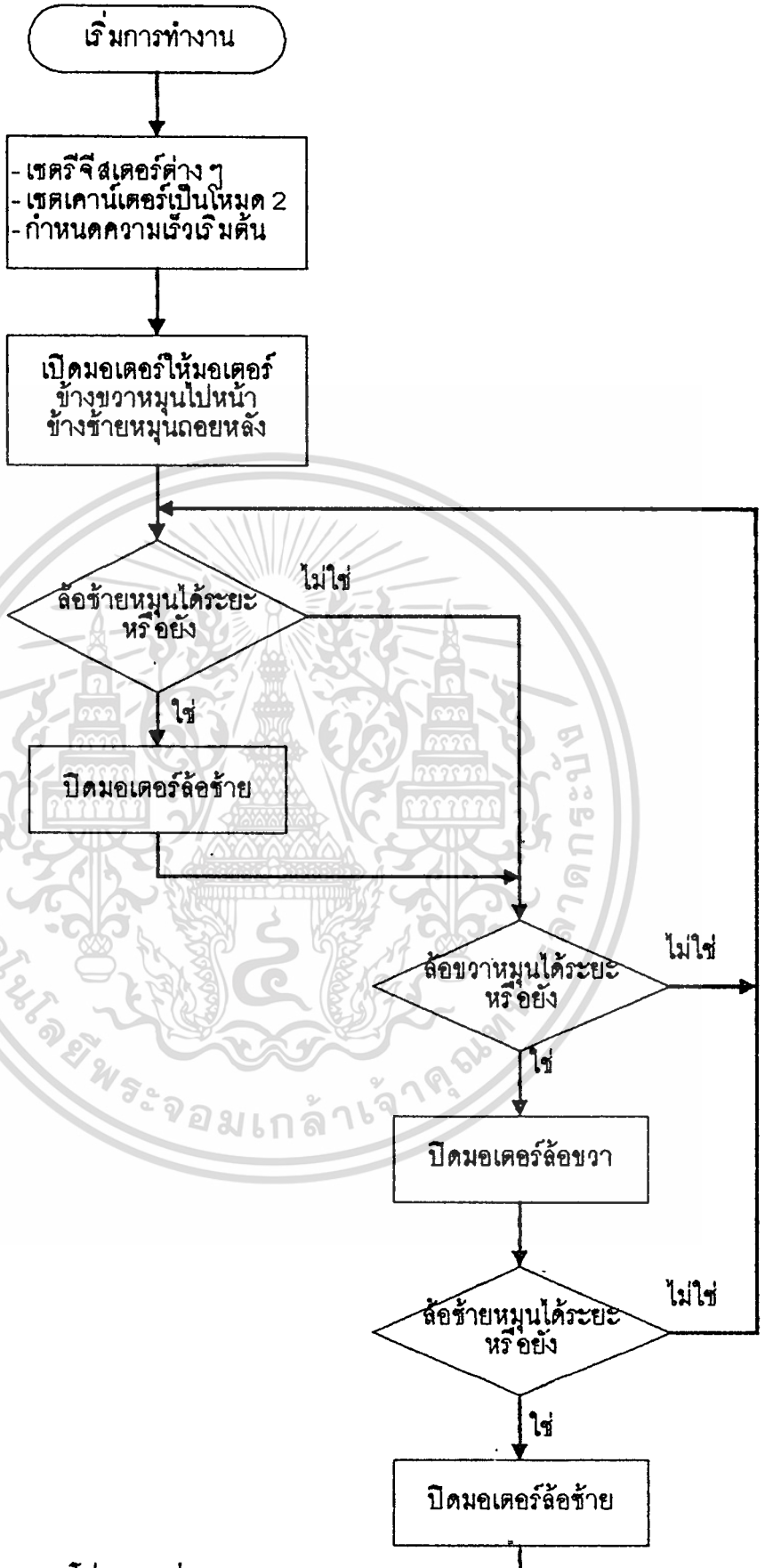
อัลกอริทึมของโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยวแสดงดังแผนภาพการไหลรูป 5.4 ซึ่งเป็นตัวอย่างโปรแกรมการเลี้ยวซ้าย อธิบายได้ดังนี้คือ เริ่มต้นจะมีการเซตค่าในรีจีสเตอร์ต่าง ๆ ค่าความเร็วเริ่มต้นของมอเตอร์ล้อซ้าย และเซตเคาน์เตอร์ทั้งสองข้างเป็นโหมด 2 คือแบบ 8 บิต ออโต้รีโหลด (Auto reload) โดยจะให้เกิดโอเวอร์โฟลว เมื่อนับจำนวนพัลซ์ได้ 84 พัลซ์ ดังนั้นค่าที่จะให้โหลดอัตโนมัติต้องเท่ากับ ABh จากนั้นจึงทำการเปิดมอเตอร์โดยให้ข้างขวาหมุนไปข้างหน้าส่วนข้างซ้ายหมุนถอยหลัง แล้วจึงทำการเช็คว่าข้างใดเกิดโอเวอร์โฟลวก็ให้ปิดมอเตอร์ข้างนั้นจนกระทั่งปิดครบทั้งสองข้างจึงจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.3 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อย ควบคุมให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงและวัดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.4 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อย
ควบคุมการเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 โปรแกรมย่อยควบคุมการตรวจจับระยะวัตถุ

การทำงานของโปรแกรม

กำหนดการใช้งานพอร์ต B ของ 8255 เป็นอินพุทพอร์ต สำหรับการเก็บค่าระยะทางที่เป็นเลขฐานสอง 8 บิต จากเอาท์พุทของไอซี 74LS373 พอร์ต C 4-6 เป็นเอาท์พุทพอร์ตสำหรับการเลือกชุดเซ็นเซอร์ โดยเป็นอินพุทให้กับไอซี 74LS138 และพอร์ต C 7 เป็นเอาท์พุทพอร์ตสำหรับสัญญาณเคลียร์เคาน์เตอร์ โดยเป็นอินพุทให้กับไอซี 74LS393

ในตอนแรกกำหนดให้เซ็นเซอร์ชุดที่ 1 ทำงานโดยการกำหนดค่าให้รีจีสเตอร์ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ 8031 หลังจากนั้นเข้าสู่ส่วนโปรแกรมย่อยการตรวจสอบค่าว่าขณะนี้กำลังจะให้เซ็นเซอร์ชุดใดทำงาน ซึ่งในครั้งแรกนี้กำหนดให้ชุดที่ 1 ทำงาน

ดังที่กล่าวในข้างต้นแล้วว่า พอร์ต C 4-6 เป็นเอาท์พุทพอร์ตสำหรับการเลือกชุดเซ็นเซอร์เพราะฉะนั้นเมื่อเลือกว่าจะให้เซ็นเซอร์ชุดที่ 1 ทำงาน ต้องทำการเซตพอร์ต C 4 = 1 พอร์ต C 5-6 = 0 เพราะว่าต้องการเลขฐานสอง (ซึ่งเป็นอินพุทให้ไอซี 74LS138) ที่มีค่า 001 (เป็นเลขฐานสิบที่มีค่า 1)

เมื่อเซ็นเซอร์ชุดที่ 1 ทำงานแล้วจะได้ค่าระยะทางออกมาที่เอาท์พุทของ 74LS373 นำค่านี้ผ่านอินพุทพอร์ต B แล้วเข้ามาเก็บในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ 8031 ขั้นตอนต่อไปคือ เลือกเซ็นเซอร์ชุดถัดไปมาทำงานโดยการเพิ่มค่าในรีจีสเตอร์ตัวเดิมอีก 1 แล้วผ่านโปรแกรมย่อยการเลือกชุดเซ็นเซอร์ ถ้าตรงกับเงื่อนไขของชุดใดก็จะทำการเซตพอร์ต C 4-6 ตามชุดนั้น ๆ

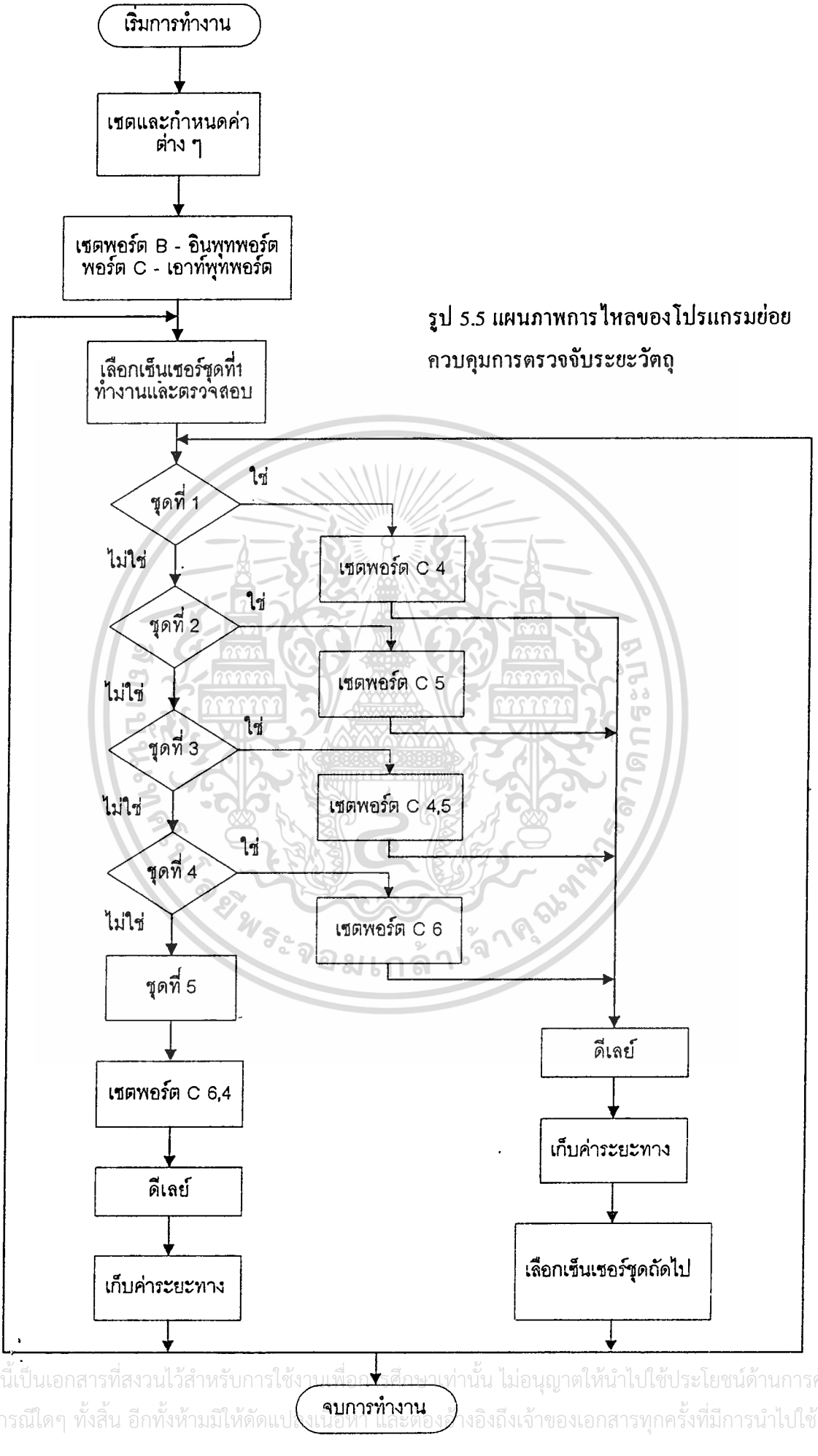
การเคลียร์เคาน์เตอร์กระทำเมื่อก่อนเข้าส่วนโปรแกรมย่อยการเลือกชุดเซ็นเซอร์และหยุดเคลียร์เมื่อทำการเซตพอร์ต C 4-6 แล้ว

เมื่อทำงานในเซ็นเซอร์ชุดที่ 5 เสร็จแล้ว ให้วนกลับไปทำชุดที่ 1 โดยกำหนดค่า #01H ให้กับรีจีสเตอร์

การที่ต้องมีโปรแกรมย่อยดีเลย์ เพื่อให้การใช้งาน 8031 กับ 8255 นั้นถูกต้อง

แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมการตรวจจับระยะวัตถุแสดงดังรูป5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.5 แผนภาพการไหลของโปรแกรมย่อยควบคุมการตรวจจับระยะวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดลองและสรุปผล

6.1 การทดลองวงจรควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อให้สามารถบอกได้ว่า การปรับความเร็วดีซีมอเตอร์สามารถทำได้โดยการปรับดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ของพัลซ์ที่จ่ายเป็นไฟเลี้ยงให้แก่ดีซีมอเตอร์

2. ศึกษาคุณสมบัติของดีซีมอเตอร์ที่ดิวตี้ไซเคิล ค่าต่าง ๆ

ขั้นตอนการทดลอง

1. เพิ่มค่าข้อมูล 8 บิตเพื่อปรับค่าดิวตี้ไซเคิล จนกระทั่งมอเตอร์เริ่มหมุนวัดค่าดิวตี้ไซเคิล (%) และวัดความเร็วมอเตอร์ (rpm) โดยการนับจำนวนรอบของมอเตอร์ในเวลา 1 นาที

2. ปรับค่าข้อมูล 8 บิตเพื่อให้ได้ดิวตี้ไซเคิล ตามต้องการวัดความเร็วมอเตอร์

3. ที่ดิวตี้ไซเคิลค่าต่าง ๆตามข้อ 1 และข้อ 2 ให้กลับทิศการหมุนของมอเตอร์แล้ววัดความเร็วมอเตอร์

4. ทำการทดลองข้อ 1-3 ซ้ำ โดยเปลี่ยนใช้มอเตอร์อีกตัวแทน

ผลการทดลอง

- มอเตอร์ตัวแรกเริ่มหมุนเมื่อดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 45% ความเร็ว 42 rpm เท่ากับความเร็วเมื่อกลับทิศ

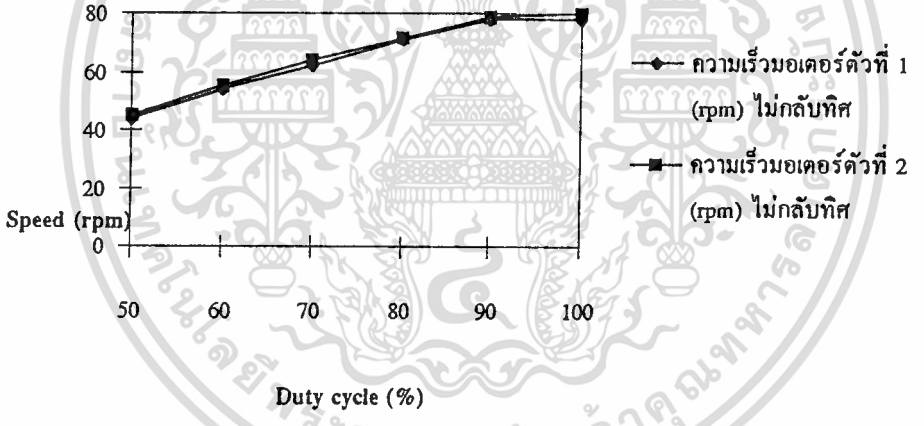
- มอเตอร์ตัวที่สองเริ่มหมุนเมื่อดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 46% ความเร็ว 42 rpm เท่ากับความเร็วเมื่อกลับทิศ

ผลการทดลองแสดงดังตาราง 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.1 ผลการทดลองวงจรควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์

ดิวตี้ไซเคิล	ความเร็วมอเตอร์ตัวแรก (rpm)		ความเร็วมอเตอร์ตัวที่สอง (rpm)	
(%)	ไม่กลับทิศ	กลับทิศ	ไม่กลับทิศ	กลับทิศ
50	44	44	45	45
60	54	54	55	55
70	62	62	64	64
80	71	71	72	72
90	78	78	79	79
100	78	78	80	80



รูป 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle (%) และ Speed(rpm) ที่ได้จากการทดลอง

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์เราไม่สามารถปรับความเร็วได้ตลอดช่วงความเร็วตั้งแต่ 0 ถึงความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เพราะว่ามอเตอร์จะเริ่มหมุนเมื่อมีดิวตี้ไซเคิล ต่ำสุดค่าหนึ่ง

2. ที่ดิวตี้ไซเคิลค่าเดียวกัน มอเตอร์ตัวเดียวกัน ความเร็วเมื่อไม่กลับทิศหมุนและกลับทิศหมุนของมอเตอร์จะเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเร็วดีซีมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับดิวตี้ไซเคิล

4. มอเตอร์แต่ละตัวจะเริ่มหมุนที่ดิวตี้ไซเคิลต่างกัน และที่ดิวตี้ไซเคิลค่าเดียวกันจะมีความเร็วต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว

6.2 การทดลองโปรแกรมย่อยและวงจรวัดระยะทางโดยใช้อุลตร้าโซนิค

จุดประสงค์

เพื่อสามารถเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ของ 8031 มาควบคุมการวัดระยะทางด้วยอุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ได้

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมวงจรวัดระยะทางด้วยอุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์ พร้อมทั้งต่อสายเข้าเซ็นเซอร์แต่ละชุดให้ครบ และหาวัสดุผิวเรียบมาเป็นสิ่งกีดขวาง

2. โหลดโปรแกรมผ่านอีพรอมอีมูเลเตอร์ (EPROM Emulator)

3. วัดค่าระยะทางที่วัดได้โดยวัดค่าลอจิกที่เอาท์พุทของไอซี 74LS373 ค่าที่วัดได้เป็นเลขฐานสอง จำนวน 8 บิต โดยขาเอาท์พุทของไอซี 74LS373 เป็นดังนี้

MSB LSB

2 5 6 9 12 15 16 19

4. เปลี่ยนค่าระยะทางโดยเลื่อนสิ่งกีดขวางออกตามระยะที่กำหนด แล้วทำการวัดอีกครั้ง โดยโหลดโปรแกรมใหม่ด้วยวิธีกดปุ่มรีเซตของอีพรอมอีมูเลเตอร์

5. เปลี่ยนชุดเซ็นเซอร์โดยเปลี่ยนค่าในโปรแกรมที่คำสั่ง MOV check,#__H แล้วทำตามข้อ 2-5 ทำการทดลองจนครบทั้ง 5 ชุด

ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบระยะทางที่กำหนดกับระยะทางที่วัดได้ของเซ็นเซอร์แต่ละชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.2 ผลการทดลองโปรแกรมและวงจรวัดระยะทางโดยใช้อุลตร้าโซนิค

ผลการวัดของเซ็นเซอร์แต่ละชุด		ระยะทางที่กำหนด (เซนติเมตร)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
เซ็นเซอร์	ระยะที่วัดได้	18	19	26	38	50	60	69	81	90	103
ชุดที่ 1	% ผิดพลาด	80	5	13.33	5	0	0	1.43	1.25	0	3
เซ็นเซอร์	ระยะที่วัดได้	18	20	27	38	50	60	70	82	90	103
ชุดที่ 2	% ผิดพลาด	80	0	10	5	0	0	0	2.5	0	3
เซ็นเซอร์	ระยะที่วัดได้	18	19	26	38	50	60	70	80	90	103
ชุดที่ 3	% ผิดพลาด	80	5	13.33	5	0	0	0	0	0	3
เซ็นเซอร์	ระยะที่วัดได้	18	18	26	38	51	61	68	80	90	102
ชุดที่ 4	% ผิดพลาด	80	10	13.33	5	2	1.67	2.86	0	0	2
เซ็นเซอร์	ระยะที่วัดได้	18	19	26	38	49	60	71	81	90	102
ชุดที่ 5	% ผิดพลาด	80	5	13.33	5	2	0	1.43	1.25	0	2

ข้อสังเกต จากการทดลองพบว่า ระยะทางต่ำสุดที่วัดได้คือ 18 เซนติเมตร ทั้งนี้เป็นผลจากการรีเซต JK ฟลิบฟลอบ วงจรนี้สามารถวัดระยะทางได้ไกลกว่า 100 เซนติเมตรได้แต่ต้องปรับความต้านทานปรับค่าได้ของชุดรับคลื่นให้เหมาะสม เพื่อความแม่นยำของระยะทางที่จะวัดได้

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

วงจรวัดระยะทางโดยใช้อุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์นี้ สามารถวัดได้ในช่วงระยะทาง 18-100 เซนติเมตร โดยเกิดความผิดพลาดขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะการใช้อุลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของการสะท้อนที่ผิวของสิ่งกีดขวาง มุมสะท้อน มุมระหว่างสิ่งกีดขวางกับตัวเซ็นเซอร์ เนื่องจากถ้ามุมระหว่างสิ่งกีดขวางกับเซ็นเซอร์เบนออกจาก 90 องศามาก ๆคลื่นสะท้อนจะเบนออกไป ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถรับคลื่นสะท้อนได้ จากการสังเกตพบว่า มุมเบี่ยงเบนระหว่างสิ่งกีดขวางกับเซ็นเซอร์ต้องไม่เกิน 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทดลองโปรแกรมย่อยให้รถเคลื่อนที่ได้ตรง

จุดประสงค์

เพื่อให้สามารถบอกได้ว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถช่วยควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ให้เท่ากันได้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวของรถเข้ากับแหล่งจ่ายอันเดียวกัน

2. เปิดสวิทช์ให้รถวิ่งไปเป็นระยะทาง 15 ฟุต แล้ววัดระยะทางที่รถเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปจากแนวเส้นตรง ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ โดยใช้โปรแกรมย่อยควบคุมการทำงานให้รถเคลื่อนที่ได้ตรง

4. ทำการทดลองเหมือนข้อ 2

ตาราง 6.3 ผลการทดลองโปรแกรมย่อยให้รถเคลื่อนที่ได้ตรง

ครั้งที่	ไม่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์		ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	
	แนวการเบี่ยงเบน	ระยะเบี่ยงเบน	แนวการเบี่ยงเบน	ระยะเบี่ยงเบน
1	ขวา	3 ฟุต 10 นิ้ว	ซ้าย	2.36 นิ้ว
2	ขวา	4 ฟุต 2 นิ้ว	ขวา	3.15 นิ้ว
3	ขวา	4 ฟุต 2 นิ้ว	ซ้าย	1 นิ้ว

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแม้จะต่อแบตเตอรี่ทั้ง 2 ตัว เข้ากับแหล่งจ่ายอันเดียวกัน ความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองตัวก็ยังแตกต่างกัน แต่ถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์แล้วจะช่วยให้ความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองตัวใกล้เคียงกันมากขึ้น ทำให้รถวิ่งไปได้ตรงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การทดลองโปรแกรมย่อยในการวัดระยะทาง

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมย่อย ในการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของรถ เพื่อควบคุมให้รถวิ่งไปเป็นระยะทางที่กำหนดได้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้งค่าระยะทางเป้าหมายให้รถวิ่งไปตรง ๆ เป็นระยะทาง 1 ฟุต
2. ให้รถวิ่งไปยังเป้าหมายแล้ววัดระยะการเคลื่อนที่ของรถ
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และข้อ 2 โดยเพิ่มระยะทางขึ้นทีละ 1 ฟุต จนถึงที่ระยะ 6 ฟุต

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองโปรแกรมย่อยในการวัดระยะทาง

ระยะทางที่ตั้งไว้ (ฟุต)	ระยะทางที่วัดได้		ระยะผิดพลาด (นิ้ว)	เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด (%)
	ฟุต	นิ้ว		
1	0	11.5	0.5	4.17
2	1	11.25	0.75	3.125
3	2	10.5	1.5	4.17
4	3	10	2	4.17
5	4	10	2	3.33
6	5	9	3	4.17

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะทางในการเคลื่อนที่ ระยะที่วัดได้ก็จะผิดพลาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าในส่วนของการคำนวณจำนวนพัลซ์ต่อหน่วยระยะทางมีความผิดพลาด อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของขนาดของล้อซึ่งสามารถชดเชยด้วยโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 การทดลองโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้งระยะเป้าหมายโดยให้รถเลี้ยวขวาเลยแล้วจึงวิ่งตรง วัดมุมในการเลี้ยวเทียบกับมุม 90 องศา ทดลองจำนวน 5 ครั้ง

2. ตั้งระยะเป้าหมายโดยให้รถวิ่งตรงไปก่อนแล้วค่อยเลี้ยวขวา วัดมุมในการเลี้ยวเทียบกับมุม 90 องศา ทดลองจำนวน 5 ครั้ง

3. ทำการทดลองซ้ำกับข้อ 1 และข้อ 2 แต่เปลี่ยนเป็นเลี้ยวซ้ายแทน

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองโปรแกรมย่อยควบคุมการเลี้ยว

ครั้งที่	มุมเบี่ยงเบนเมื่อเลี้ยวขวา (องศา)		มุมเบี่ยงเบนเมื่อเลี้ยวซ้าย (องศา)	
	เลี้ยวเลย	ตรงแล้วเลี้ยว	เลี้ยวเลย	ตรงแล้วเลี้ยว
1	3	2	5	2
2	5	2	4	3
3	4	2	4	2
4	4	3	3	2
5	3	3	4	2

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองสังเกตได้ว่าเมื่อมีการวิ่งตรง ๆ ไปก่อนแล้วจึงเลี้ยว จะมีมุมการเบี่ยงเบนไปจากมุม 90 องศาน้อยกว่าเมื่อให้เลี้ยวเลย เนื่องจากเมื่อมีการวิ่งตรง ๆ ไปก่อนจะมีการปรับความเร็วมอเตอร์ทั้งสองข้างให้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการเลี้ยว ล้อแต่ละข้างจะหมุนไปจนได้จำนวนพัลซ์ที่ต้องการแล้วหยุดเกือบพร้อมกัน ทำให้มุมใกล้เคียงกับที่ต้องการ แต่เมื่อให้เลี้ยวเลยจะมีการกำหนดความเร็วเริ่มต้นล้อซ้ายค่าหนึ่งซึ่งไม่เท่ากับความเร็วล้อขวา ทำให้มอเตอร์แต่ละข้างหยุดไม่พร้อมกัน มุมการเลี้ยวจึงเบี่ยงเบนไปจากที่ควรจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการเลี้ยวแต่ละครั้งมุมที่เบี่ยงเบนไปจากที่ต้องการ อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของขนาดของล้อ ซึ่งสามารถชดเชยด้วยโปรแกรมได้

6.6 การทดลองโปรแกรมหลักควบคุมการทำงาน

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรทั้งหมดและโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้งค่าพิกัดเป้าหมายเป็น (3,3), (-3,3), (-3,-3), (3,-3) แล้วให้รถวิ่งไปยังเป้าหมาย วัดค่าความผิดพลาดแต่ละแนวแกน

2. เขียนโปรแกรมโดยไม่คำนึงถึงชุดเซ็นเซอร์ทั้งหมด แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 1

ผลการทดลอง

- เมื่อใช้ชุดเซ็นเซอร์ปรากฏว่ารถเลี้ยวซ้ายตลอดเวลา ไม่สามารถวิ่งไปยังเป้าหมายได้

- เมื่อไม่คำนึงถึงชุดเซ็นเซอร์ รถจะไม่สามารถหลบวัตถุที่กีดขวางการเคลื่อนที่ได้ แต่ถ้าไม่มีวัตถุกีดขวางก็สามารถวิ่งไปยังจุดที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายได้ ดังแสดงในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลองโปรแกรมหลักเมื่อไม่คำนึงถึงชุดเซ็นเซอร์

พิกัดเป้าหมาย : (X,Y) (นิ้ว)	36,36	-36,36	-36,-36	36,-36
พิกัดที่วิ่งไปจริง : (X,Y) (นิ้ว)	33.5,30	-32.5,34	-32,-34.5	29,-36
ความผิดพลาด : (%X,%Y)	6.94,16.67	9.72,5.5	11.1,4.16	19.4,0

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดลองเมื่อใช้ชุดเซ็นเซอร์ปรากฏว่ารถเลี้ยวซ้ายตลอดเวลา แสดงว่ารถตรวจจับวัตถุได้ทางขวาและทางด้านหน้าตลอด นั่นคือชุดเซ็นเซอร์มีความไม่สมบูรณ์และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดในการทำงาน

2. เมื่อไม่คำนึงถึงชุดเซ็นเซอร์ รถยังคงวิ่งไปได้ตามทิศของเป้าหมาย แต่มีความผิดพลาดมากน้อยไม่เท่ากัน เนื่องจากเป็นความผิดพลาดรวมของการทำงานแต่ละส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก รายละเอียดโปรแกรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************************
;PROGRAM AUTOMATIC ESCHEWING CAR
;*****************************************************
                ORG 0000H
                JMP MAIN
;*****************************************************
;       VARIABLE SPECIFY
;*****************************************************
;8255_1
                PORTA1 EQU 0E0H
                PORTB1 EQU 0E1H
                PORTC1 EQU 0E2H
                PCWR1  EQU 0E3H
;8255_2
                PORTA2 EQU 0C0H
                PORTB2 EQU 0C1H
                PORTC2 EQU 0C2H
                PCWR2  EQU 0C3H
;KEYBOARD
                KBD    EQU 0A0H
;DISPLAY DATA MEMORY
                DDMEM  EQU 10H  ;(TO 1FH)
;SPEED DATA
                SPD    EQU 0AH
;CANCEL KEY
                CANKEY EQU 0AH
;GO KEY
                GOKEY  EQU 0BH
;MINUS KEY
                MIKEY  EQU 0CH
;TARGET DISPLAY DATA MEMORY
                XPOS1MEM EQU 15H
                XPOS2MEM EQU 16H
                XPOS3MEM EQU 17H
                YPOS1MEM EQU 1DH
                YPOS2MEM EQU 1EH
                YPOS3MEM EQU 1FH
;TARGET POSITION MEMORY IN FEET
                XDIST EQU 08H
                YDIST EQU 09H
;NUMBER OF PULSES TO GOTO TARGET
                XABS_L  EQU  0BH
                XABS_H  EQU  0CH
                YABS_L  EQU  0DH
                YABS_H  EQU  0EH
                ABSBUF_L  EQU  22H
                ABSBUF_H  EQU  23H
;DECISOR REGISTER
                DECISOR EQU 21H
;BIT DECISOR
                BUFB   BIT  0FH
                YCOOR  BIT  0EH
                XCOOR  BIT  0DH
                OBJL   BIT  0CH
                OBJML  BIT  0BH
                OBJM   BIT  0AH
                OBJMR  BIT  09H
                OBJR   BIT  08H
;CONTROL MOTOR MEMORY
                CTRLMEM EQU 22H
;NUMBER OF PULSES IN ONE FOOT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสวงหาผลประโยชน์ หรือการนำไปเผยแพร่ในรูปแบบอื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ONEFOOT EQU 117
;*****************************************************
;       MAIN PROGRAM
;*****************************************************
;INTERRUPT FROM KEYBOARD
                ORG 0003H
                MOV R0,#KBD
                MOVX A,@R0
                RETI
;*****************************************************
;INTERRUPT FROM SENSOR
                ORG 0013H
                MOV R1,SP
                MOV @R1,#00H
                DEC R1
                MOV @R1,#30H
                RETI

;ORIGIN ADDRESS FOR RETURN INTERRUPT
                ORG 0030H
                JMP INTR
;*****************************************************
                ORG 0040H
MAIN:           MOV SP,#2FH             ;INITAIL STACK POINTER
                CALL DELAY              ;WAIT FOR VCC RISES
                CALL INI8255_1          ;INITIAL PORT 8255
                CALL INI8255_2          ;INITIAL PORT 8255
                CALL INILCD             ;INITIAL LCD MODULE
                CALL WELCOME            ;SHOW INTRODUCTION MESSAGE
                CALL GETARGET           ;RECIEVE TARGET'S POSITION
                CALL GOTOTAR            ;RUN TO ACHIEVE TARGET'S POSITI
                JMP GOAL                ;SHOW ACHIEVE MESSAGE
;*****************************************************
;               DELAY
;*****************************************************
DELAY:          PUSH 06
                PUSH 07
                MOV R7,#00H
INDLY:          MOV R6,#00H
                DJNZ R6,$
                DJNZ R7,INDLY
                POP 07
                POP 06
                RET
;*****************************************************
;       INITAIL 8255
;*****************************************************
INI8255_1:      MOV R0,#PCWR1
                MOV A,#10000010B        ;PORT A,C = OUTPUT
                                        ;PORT B = INPUT
                MOVX @R0,A
                DEC R0
                CLR A
                MOVX @R0,A
                DEC R0
                MOVX @R0,A
                DEC R0
                MOVX @R0,A
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
INI8255_2:      MOV R0,#PCWR2
                MOV A,#80H              ;ALL PORTS ARE OUTPUT
                MOVX @R0,A
                DEC R0
                CLR A
                MOVX @R0,A
                DEC R0
                MOVX @R0,A
                DEC R0
                MOVX @R0,A
                RET
;*************************************************
;       INITIAL LCD
;PORTA2=DATA
;PC0_2 =RS
;PC1_2 =R/W
;PC2_2 =E
;*************************************************
INILCD:
;FUNCTION SET
                MOV A,#00111000B ;8 BIT,2 LINES,5*7 DOTS
                CALL ENACODE
;ENTRY MODE SET
                MOV A,#00000110B ;INCREMENT ADDRESS
                                 ;CURSOR SHIFTS RIGHT
                CALL ENACODE
;DISPLAY ON/OFF CONTROL
                MOV A,#00001100B ;DISPLAY ON,CURSOR OFF
                                 ;BLINK OFF
                CALL ENACODE
                RET
;*************************************************
;       INTRODUCTION MESSAGE
;*************************************************
WELCOME:        MOV DPTR,#MESS1
                CALL SHOWSHOW
                MOV DPTR,#MESS2
                CALL SHOWSHOW
                MOV DPTR,#MESS3
                CALL SHOWSHOW
                MOV DPTR,#MESS4
                CALL SHOWSHOW
                RET
;*************************************************
;       SHOW MESSAGE
;*************************************************
SHOWSHOW:       CALL FILLDMEM
                CALL SHOWLCD
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                RET
;*************************************************
;       SHOW ACHIEVE MESSAGE
;*************************************************
GOAL:           MOV DPTR,#MESS7
                CALL SHOWSHOW
                MOV A,#01H
                CALL ENACODE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                JMP GOAL
;*****************************************************
MESS1:          DB 'HELLO MY NAME IS'
MESS2:          DB '  MR. ESCHEWER  '
MESS3:          DB '  ENTER TARGET  '
MESS4:          DB ' IN  UNIT  FEET '
MESS5:          DB 'XPOS    YPOS    '
MESS6:          DB 'EXCESS  30  FEET'
MESS7:          DB '   G  O  A  L   '
;*****************************************************
;       FILL DISPLAY DATA MEMORY
;FILL DISPLAY DATA TO BUFFER(INTERNAL RAM)
;*****************************************************
FILLDMEM:       PUSH 01
                PUSH 02
                PUSH 03
                MOV R1,#DDMEM   ;INITIAL BUFFER ADDRESS
                MOV R2,#00H     ;CHARACTER OFFSET
                MOV R3,#10H     ;COUNTER
FILLCHAR:       MOV A,R2
                MOVC A,@A+DPTR
                MOV @R1,A
                INC R1
                INC R2
                DJNZ R3,FILLCHAR
                POP 03
                POP 02
                POP 01
                RET
;*****************************************************
;       SHOW LCD DISPLAY
;*****************************************************
SHOWLCD:        PUSH 01
                PUSH 07
                MOV R1,#DDMEM   ;INITIAL BUFFER ADDRESS
                MOV R7,#08H     ;COUNTER
                MOV A,#80H      ;SET DDRAM ADDRESS
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
SET_ST:         MOV A,@R1
                CALL SENDPA2
                CALL ENADATA
                INC R1
                DJNZ R7,SET_ST

                MOV R7,#08H     ;COUNTER
                MOV A,#0C0H     ;SET DDRAM ADDRESS
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
SET_ND:         MOV A,@R1
                CALL SENDPA2
                CALL ENADATA
                INC R1
                DJNZ R7,SET_ND
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                CALL DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                POP 07
                POP 01
                RET
;*****************************************************
;       ROUTINE SEND/RECIEVE DATA TO/FROM PORTS
;USE A PASS VALUE
;*****************************************************
SENDPA1:        MOV R0,#PORTA1
                MOVX @R0,A
                RET
GETPB1:         MOV R0,#PORTB1
                MOVX A,@R0
                RET
SENDPC1:        MOV R0,#PORTC1
                MOVX @R0,A
                RET
SNDPCWR1:       MOV R0,#PCWR1
                MOVX @R0,A
                RET
;*****************************************************
SENDPA2:        MOV R0,#PORTA2
                MOVX @R0,A
                RET
SENDPB2:        MOV R0,#PORTB2
                MOVX @R0,A
                RET
SENDPC2:        MOV R0,#PORTC2
                MOVX @R0,A
                RET
;*****************************************************
;       ENABLE LCD TO RECIEVE INSTRUCTION CODE
;*****************************************************
ENACODE:        PUSH 03
                CALL SENDPA2
                CLR A
                CALL SENDPB2
                MOV A,#00000100B ;SET ENABLE
                CALL SENDPB2
                CLR A
                CALL SENDPB2
                MOV R3,#00H
                DJNZ R3,$
                POP 03
                RET
;*****************************************************
;       ENABLE LCD TO RECIEVE DATA
;*****************************************************
ENADATA:        PUSH 03
                CALL SENDPA2
                MOV A,#01H
                CALL SENDPB2
                MOV A,#00000101B ;SET ENABLE AND RS,CLEAR R/W
                CALL SENDPB2
                MOV A,#01H
                CALL SENDPB2
                MOV R3,#00H
                DJNZ R3,$
                POP 03
                RET
;*****************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;ROUTINE RECEIVE THE POSITION OF TARGET FROM KEYBOARD
;*****************************************************
GETARGET:       MOV DPTR,#MESS5
                CALL FILLDMEM
                MOV IE,#81H      ;ENABLE INT0
                SETB IT0         ;INT0 CHECK FALL EDGE
;*****************************************************
;       RECIEVE X-POSITION
;*****************************************************
X_POS:          MOV XDIST,#00H   ;CLEAR X-POSTION
                CLR XCOOR        ;CLEAR X-SIGN
                MOV R1,#XPOS1MEM ;INITIAL X-DISPLAY BUFFER
                MOV R0,#05H      ;SET POSITION MEMORY
                MOV R2,#03H      ;COUNTER
XCLRCHAR:       MOV @R1,#20H     ;BLANK CHARACTER
                MOV @R0,#0AH
                INC R1
                INC R0
                DJNZ R2,XCLRCHAR
                CALL SHOWLCD
                MOV A,#85H       ;SET DDRAM BLINK ADDRESS
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
                MOV A,#00001111B ;DISPLAY ON,CURSOR ON
                                 ;BLINK ON
                CALL ENACODE
;*****************************************************
XFIRST:         JNB IE0,$        ;WAIT FOR X-FIRST KEY
                ANL A,#0FH       ;CLEAR UPPER NIBBLE
                CJNE A,#CANKEY,XCKFIRST
                JMP XFIRST
XCKFIRST:       JC XWRFIRST
                CJNE A,#MIKEY,XFIRST ;IF FIRST KEY IS MINUS
                SETB XCOOR           ;SET X-SIGN
XWRFIRST:       MOV R1,#XPOS1MEM
                MOV R7,A
                CALL WRITEKEY
                MOV A,#86H
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
;*****************************************************
XSECOND:        JNB IE0,$        ;WAIT FOR X-SECOND KEY
                ANL A,#0FH
                CJNE A,#GOKEY,XCKSEC
                CJNE R7,#MIKEY,XCKVALUE
                JMP XSECOND
XCKSEC:         JNC XSECOND
                CJNE A,#CANKEY,XWRSEC
                JMP X_POS
XWRSEC:         MOV R1,#XPOS2MEM
                MOV R6,A
                CALL WRITEKEY
                MOV A,#87H
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
;*****************************************************
XTHIRD:         JNB IE0,$        ;WAIT FOR X-THIRD KEY
                ANL A,#0FH
                CJNE A,#GOKEY,XCKTHIRD
                JMP XCKVALUE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
XCKTHIRD:       JNC XTHIRD
                CJNE A,#CANKEY,XWRTHIRD
                JMP X_POS
XWRTHIRD:       MOV R1,#XPOS3MEM
                MOV R5,A
                CALL WRITEKEY
;*****************************************************
XFORTH:         JNB IE0,$       ;WAIT FOR X-FORTH KEY
                ANL A,#0FH
                CJNE A,#CANKEY,XCKFORTH
                JMP X_POS
XCKFORTH:       CJNE A,#GOKEY,XFORTH
                JMP XCKVALUE
;*****************************************************
;       CHECK X-POSITION RECIEVE FROM KEYBOARD
;*****************************************************
XCKVALUE:       MOV R0,#04H     ;DATA X-POSITION
                MOV R2,#00H
                MOV R3,#04H     ;COUNTER
                MOV R4,#01H     ;SIGNIFICANT
XCKVAL1:        INC R0
                DJNZ R3,XCKVAL2
                MOV A,R2
                ADD A,XDIST
                MOV XDIST,A
                MOV B,#ONEFOOT
                MUL AB
                MOV XABS_L,A
                MOV XABS_H,B
                CALL SHOWXPOS
                JMP Y_POS
XCKVAL2:        CJNE @R0,#0AH,XCKVAL3
                JMP XCKVAL1
XCKVAL3:        JNC XCKVAL1
                MOV B,R4
                MOV A,@R0
                CLR OV
                MUL AB
                JB OV,XEXCESS
                CLR C
                ADD A,R2
                JC XEXCESS
                CJNE A,#31,XCKVAL4
                JMP XEXCESS
XCKVAL4:        JNC XEXCESS
                XCH A,R2
                MOV B,#10
                MOV A,R4
                MUL AB
                XCH A,R4
                JMP XCKVAL1
;*****************************************************
XEXCESS:        CALL EXCESS
                JMP X_POS
;*****************************************************
;       SHOW X-POSITION TO LCD DISPLAY
;*****************************************************
SHOWXPOS:       MOV R1,#XPOS1MEM
                JB XCOOR,XFILLMIN
                CLR A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL FILLPOS
XFILLPOS:       MOV A,XDIST
                MOV B,#10
                DIV AB
                INC R1
                CALL FILLPOS
                INC R1
                MOV A,B
                CALL FILLPOS
                CALL SHOWLCD
                RET             ;RETURN FROM SHOWXPOS

XFILLMIN:       MOV A,#MIKEY
                CALL FILLPOS
                JMP XFILLPOS
;*************************************************
;ROUTINE FILL CHARCTER TO SELECTED BUFFER ADDRESS
;*************************************************
FILLPOS:        MOV DPTR,#POSSHOW
                MOVC A,@A+DPTR
                MOV @R1,A
                RET
POSSHOW:        DB '0123456789  -   '
;*************************************************
;       RECIEVE Y-POSITION
;*************************************************
Y_POS:          MOV YDIST,#00H  ;CLEAR Y-POSITION
                CLR YCOOR       ;CLEAR Y-SIGN
                MOV R0,#05H     ;SET POSITION MEMORY
                MOV R1,#YPOS1MEM
                MOV R2,#03H     ;COUNTER
YCLRCHAR:       MOV @R1,#20H    ;BLANK CHARACTER
                MOV @R0,#0AH
                INC R1
                INC R0
                DJNZ R2,YCLRCHAR
                CALL SHOWLCD
                MOV A,#0C5H     ;SET DDRAM BLINK ADDRESS
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
                MOV A,#00001111B ;DISPLAY ON,CURSOR ON
                                 ;BLINK ON
                CALL ENACODE
;*************************************************
YFIRST:         JNB IE0,$       ;WAIT FOR Y-FIRST KEY
                ANL A,#0FH
                CJNE A,#CANKEY,YCKFIRST
                JMP X_POS
YCKFIRST:       JC YWRFIRST
                CJNE A,#MIKEY,YFIRST
                SETB YCOOR
YWRFIRST:       MOV R1,#YPOS1MEM
                MOV R7,A
                CALL WRITEKEY
                MOV A,#0C6H
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
;*************************************************
YSECOND:        JNB IE0,$       ;WAIT FOR Y-SECOND KEY
                ANL A,#0FH
```

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE A,#GOKEY,YCKSEC
                CJNE R7,#MIKEY,YCKVALUE
                JMP YSECOND
YCKSEC:         JNC YSECOND
                CJNE A,#CANKEY,YWRSEC
                JMP Y_POS
YWRSEC:         MOV R1,#YPOS2MEM
                MOV R6,A
                CALL WRITEKEY
                MOV A,#0C7H
                CALL SENDPA2
                CALL ENACODE
;*****************************************************
YTHIRD:         JNB IE0,$       ;WAIT FOR Y-THIRD KEY
                ANL A,#0FH
                CJNE A,#GOKEY,YCKTHIRD
                JMP YCKVALUE
YCKTHIRD:       JNC YTHIRD
                CJNE A,#CANKEY,YWRTHIRD
                JMP Y_POS
YWRTHIRD:       MOV R1,#YPOS3MEM
                MOV R5,A
                CALL WRITEKEY
;*****************************************************
YFORTH:         JNB IE0,$       ;WAIT FOR Y-FORTH KEY
                ANL A,#0FH
                CJNE A,#CANKEY,YCKFORTH
                JMP Y_POS
YCKFORTH:       CJNE A,#GOKEY,YFORTH
                JMP YCKVALUE
;*****************************************************
;       CHECK Y-POSITION RECIEVE FROM KEYBOARD
;*****************************************************
YCKVALUE:       MOV R0,#04H
                MOV R2,#00H
                MOV R3,#04H     ;COUNTER
                MOV R4,#01H     ;SIGNIFICANT
YCKVAL1:        INC R0
                DJNZ R3,YCKVAL2
                MOV A,R2
                ADD A,YDIST
                MOV YDIST,A
                MOV B,#ONEFOOT
                MUL AB
                MOV YABS_L,A
                MOV YABS_H,B
                CALL SHOWYPOS
                JMP RETGETAR
YCKVAL2:        CJNE @R0,#0AH,YCKVAL3
                JMP YCKVAL1
YCKVAL3:        JNC YCKVAL1
                MOV B,R4
                MOV A,@R0
                CLR OV
                MUL AB
                JB OV,YEXCESS
                CLR C
                ADD A,R2
                JC YEXCESS
                CJNE A,#31,YCKVAL4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                JMP YEXCESS
YCKVAL4:        JNC YEXCESS
                XCH A,R2
                MOV B,#10
                MOV A,R4
                MUL AB
                XCH A,R4
                JMP YCKVAL1
;*************************************************
YEXCESS:        PUSH 15H
                PUSH 16H
                PUSH 17H
                CALL EXCESS
                POP 17H
                POP 16H
                POP 15H
                JMP Y_POS
;*************************************************
;       SHOW Y-POSITION TO LCD DISPLAY
;*************************************************
SHOWYPOS:       MOV R1,#YPOS1MEM
                JB YCOOR,YFILLMIN
                CLR A
                CALL FILLPOS
YFILLPOS:       MOV A,YDIST
                MOV B,#10
                DIV AB
                INC R1
                CALL FILLPOS
                INC R1
                MOV A,B
                CALL FILLPOS
                CALL SHOWLCD
                RET             ;RETURN FROM SHOWYPOS

YFILLMIN:       MOV A,#MIKEY
                CALL FILLPOS
                JMP YFILLPOS
;*************************************************
;       RETURN FROM GETARGET ROUTINE
;*************************************************
RETGETAR:       MOV A,#00001100B ;CURSOR OFF,BLINK OFF
                CALL ENACODE
                RET     ;RETURN FROM GETARGET
;*************************************************
WRITEKEY:       MOV DPTR,#KEYSHOW
                MOVC A,@A+DPTR
                MOV @R1,A
                CALL SHOWLCD
                RET
KEYSHOW:        DB '0123456789  -    '
;*************************************************
;       SHOW EXCESS MESSAGE WHEN VALUE IS MORE THAN 30 FEET
;*************************************************
EXCESS:         MOV DPTR,#MESS6
                CALL FILLDMEM
                CALL SHOWLCD
                CALL DELAY
                CALL DELAY
                CALL DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL DELAY
                MOV DPTR,#MESS5
                CALL FILLDMEM
                RET
;*****************************************************
;       ROUTINE GO TO TARGET POSITION
;AND CONTROL A CAR TO AVOIL ESCHEWING OBJECT
;*****************************************************
GOTOTAR:        CALL INIGOFWD
                MOV SPD,#11100000B      ;INITIAL SPEED
ACHIEVE:        MOV A,XABS_H
                CLR C
                ADD A,YABS_H
                JC SCANOBJ      ;SCAN OBJECT BY SENSOR
                JNZ SCANOBJ
                MOV A,XABS_L
                CLR C
                ADD A,YABS_L
                JC SCANOBJ
                CJNE A,#30,ENDORNOT
                JMP SCANOBJ
ENDORNOT:       JNC SCANOBJ
                CALL BREAK
                RET             ;RETURN FROM ROUNTINE GOTOTAR

SCANOBJ:        CALL SENSOR
                CALL DECISE
                CALL GOFWD
                JMP ACHIEVE
;*****************************************************
;       ROUTINE INITIAL VALUE WHEN BEGIN GO STREIGHT
;*****************************************************
INIGOFWD:       MOV TMOD,#55H           ;SET COUNTER MODE 1
                MOV TCON,#01010000B     ;ON COUNTER
                MOV TH0,#00H
                MOV TH1,#00H
                MOV TL0,#00H
                MOV TL1,#00H
                MOV ABSBUF_L,YABS_L
                MOV ABSBUF_H,YABS_H
                RET
;*****************************************************
BREAK:          CLR A
                CALL SENDPC2
                RET
;*****************************************************
;ROUTINE CHECK OBJECTS NEAR A CAR
;       r2 = sensor selector
;       r3 = distance
;       r5 = counter
;       r6,r7 = delay register
;*****************************************************
SENSOR:         MOV R2,#01H
                MOV R5,#04H     ;COUNTER
                SETB IT1        ;FALLING EDGE TRIGGED
                CLR OBJM
BEGIN_SEN:      MOV A,#00001111B ;SET PC.7 (CLEAR SIGNAL)
                CALL SNDPCWR1
                CLR EX1         ;DISABLE INT1
                CALL SELECT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV A,#00001110B ;CLEAR PC.7 (STOP CLEAR SIGNAL)
                CALL SNDPCWR1
                SETB EX1         ;ENABLE INT1

WAIT_SEN:       MOV R6,#6        ;  DELAY TIME ABOUT 2.9 msec
MEASTIME:       MOV R7,#240      ;(SOUND CAN GO ABOUT 2*50 cm.)
                DJNZ R7,$
                DJNZ R6,MEASTIME
                CLR EX1          ;DISABLE INT1
                MOV DPTR,#TABLE
                MOV A,R2
                INC R2
                DEC A
                RL A
                JMP @A+DPTR
TABLE:          JMP CASE1
                JMP CASE2
                JMP CASE3
                JMP CASE4

CASE1:          CLR OBJL
                SJMP COUNTER
CASE2:          CLR OBJML
                SJMP COUNTER
CASE3:          CLR OBJMR
                SJMP COUNTER
CASE4:          CLR OBJR
                SJMP COUNTER

COUNTER:        DJNZ R5,BEGIN_SEN
                RET              ;RETURN FROM SENSOR
;*************************************************
;       ROUTINE SELECT SENSOR TO MEASURE OBJECT-DISTANCE
;*************************************************
SELECT:         MOV A,R2
SENS1:          CJNE A,#01,SENS2        ;SELECT SENSOR1
                MOV A,#00001001B ;SET PC1.4
                CALL SNDPCWR1
                RET

SENS2:          CJNE A,#02,SENS3        ;SELECT SENSOR2
                MOV A,#00001011B        ;SET PC1.5
                CALL SNDPCWR1
                RET

SENS3:          CJNE A,#03,SENS4        ;SELECT SENSOR3
                MOV A,#00110000B        ;SET PC1.4,PC1.5
                CALL SENDPC1
                RET

SENS4:          MOV A,#00001101B        ;SELECT SENSOR4
                CALL SNDPCWR1
                RET
;*************************************************
;       ROUTINE RECIEVE DINTANCE VALUE
;*************************************************
INTR:           CLR EX1          ;DISABLE INT1
                CALL GETPB1      ;GET DISTANCE VALUE
                MOV R3,A
                CALL CKOBJ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                INC R2
                JMP COUNTER
;*****************************************************
;       ROUTINE DECISE OBJECT DISTANCE COMPARE
;                WITH CRITICAL DISTANCE
;*****************************************************
CKOBJ:          CJNE R2,#01H,SEN_2
                CJNE R3,#19H,SET1
                SETB OBJL
                JMP JMP1
SET1:           JNC NOTSET1
                SETB OBJL
NOTSET1:        CLR OBJL
JMP1:           RET

SEN_2:          CJNE R2,#02H,SEN_3
                CJNE R3,#14H,SET2
                SETB OBJML
                JMP JMP2
SET2:           JNC NOTSET2
                SETB OBJML
NOTSET2:        CLR OBJML
JMP2:           RET

SEN_3:          CJNE R2,#03H,SEN_4
                CJNE R3,#14H,SET3
                SETB OBJMR
                JMP JMP3
SET3:           JNC NOTSET3
                SETB OBJMR
NOTSET3:        CLR OBJMR
JMP3:           RET

SEN_4:          CJNE R3,#19H,SET4
                SETB OBJR
                JMP JMP4
SET4:           JNC NOTSET4
                SETB OBJR
NOTSET4:        CLR OBJR
JMP4:           RET

                RET             ;RETURN FROM SENSOR
;*****************************************************
;       ROUTINE DECISE MOBILE DIRECTION OF A CAR
;*****************************************************
DECISE:         MOV A,YABS_H
                JNZ DETECT1
                MOV A,YABS_L
                CJNE A,#15,STOP
                JMP DETECT1
STOP:           JNC DETECT1
                CALL BREAK
                MOV C,YCOOR
                CPL C
                MOV YCOOR,C
                RET
DETECT1:        MOV C,OBJM
                ORL C,OBJML
                ORL C,OBJMR
                MOV BUFB,C
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                JNB YCOOR,REVERSE
                MOV C,XCOOR
                ANL C,/OBJL
                JC CALLTURN
                MOV C,OBJR
                ORL C,XCOOR
                JNC CALRTURN
                MOV C,BUFB
                JC REVERSE
                RET                 ;RETURN FROM DECISE

REVERSE:        MOV C,BUFB          ;CHECK REVERSE
                ANL C,OBJL
                ANL C,OBJR
                JNC TURN
                CALL BREAK
                CALL INIGOFWD
REV:            CALL GOREV          ;REVERSE LOOP
                JNB YCOOR,INREV
                MOV A,YABS_H
                JNZ INREV
                MOV A,YABS_L
                CJNE A,#10,INNEREV
                JMP INREV
INNEREV:        JNC INREV
                MOV C,YCOOR
                CPL C
                MOV YCOOR,C
                CALL INIGOFWD
INREV:          CALL SENSOR
                MOV C,OBJR
                ANL C,OBJL
                JC REV
TURN:           CALL BREAK          ;CHECK TURN
                MOV C,OBJL
                ORL C,OBJR
                JNC MLMR
                CLR C
                ORL C,/OBJL
                ORL C,OBJR
                JC CALLTURN
CALRTURN:       CALL RTURN
                CALL INIGOFWD
                RET                 ;RETURN FROM DECISE
CALLTURN:       CALL LTURN
                CALL INIGOFWD
                RET                 ;RETURN FROM DECISE
MLMR:           MOV C,OBJML
                ORL C,OBJMR
                JNC HOWTURN
                MOV C,OBJML
                ANL C,OBJMR
                JC HOWTURN
                CLR C
                ORL C,/OBJML
                ORL C,OBJMR
                JC CALLTURN
                CALL RTURN
                CALL INIGOFWD
                RET                 ;RETURN FROM DECISE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
HOWTURN:        JB XCOOR,CALLTURN
                CALL RTURN
                CALL INIGOFWD
                RET                 ;RETURN FROM DECISE
;*****************************************************
;       ROUTINE TURN LEFT
;*****************************************************
LTURN:          MOV TL0,#0ADH
                MOV TL1,#0ADH
                MOV TH0,#0ADH
                MOV TH1,#0ADH
                MOV TMOD,#66H           ;SET COUNTER MODE 2
                MOV R0,#PORTA1          ;PORT CONTROL SPEED
                MOV A,SPD
                MOVX @R0,A
                MOV TCON,#01010000B     ;ON COUNTER
                MOV R0,#PORTC2          ;PORT CONTROL MOTOR
                MOV CTRLMEM,#00001101B  ;RIGHT WHEEL ON ,FORWARD
                                        ;LEFT WHEEL ON ,REVERSE
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A
LCKTF0:         JNB TF0,LCKTF1
                CLR CTRLMEM.2           ;T0 OVERFLOW,OFF LEFT MOTOR
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A
LCKTF1:         JNB TF1,LCKTF0
                CLR CTRLMEM.0           ;T1 OVERFLOW,OFF RIGHT MOTOR
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A

                JNB TF0,LCKTF1
                CLR CTRLMEM.2
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A
;RETURN TURN LEFT AND CHANGE X,Y POSITION
RETLTURN:       MOV A,YABS_L
                XCH A,XABS_L
                MOV YABS_L,A
                MOV A,YABS_H
                XCH A,XABS_H
                MOV YABS_H,A
                MOV A,XDIST
                XCH A,YDIST
                MOV XDIST,A

                MOV C,XCOOR
                CPL C
                MOV BUFB,C
                MOV C,YCOOR
                MOV XCOOR,C
                MOV C,BUFB
                MOV YCOOR,C
                CALL SHOWXPOS
                CALL SHOWYPOS
                CLR TF0
                CLR TF1
                RET                     ;RETURN FROM LTURN
;*****************************************************
;       ROUTINE TURN RIGHT
;*****************************************************
```

ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RTURN:          MOV TL0,#0ADH
                MOV TL1,#0ADH
                MOV TH0,#0ADH
                MOV TH1,#0ADH
                MOV TMOD,#66H           ;SET COUNTER MODE 2
                MOV R0,#PORTA1          ;PORT CONTROL SPEED
                MOV A,SPD
                MOVX @R0,A
                MOV TCON,#01010000B     ;ON COUNTER
                MOV R0,#PORTC2          ;PORT CONTROL MOTOR
                MOV CTRLMEM,#00000111B  ;RIGHT WHEEL ON ,REVERSE
                                        ;LEFT WHEEL ON ,FORWARD
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A
RCKTF0:         JNB TF0,RCKTF1
                CLR CTRLMEM.2           ;TO OVERFLOW,OFF LEFT MOTOR
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A
RCKTF1:         JNB TF1,RCKTF0
                CLR CTRLMEM.0           ;T1 OVERFLOW,OFF RIGHT MOTOR
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A

                JNB TF0,RCKTF1
                CLR CTRLMEM.2
                MOV A,CTRLMEM
                MOVX @R0,A
;RETURN TURN RIGHT AND CHANGE X,Y POSITION
RETRTURN:       MOV A,YABS_L
                XCH A,XABS_L
                MOV YABS_L,A
                MOV A,YABS_H
                XCH A,XABS_H
                MOV YABS_H,A
                MOV A,XDIST
                XCH A,YDIST
                MOV XDIST,A

                MOV C,YCOOR
                CPL C
                MOV BUFB,C
                MOV C,XCOOR
                MOV YCOOR,C
                MOV C,BUFB
                MOV XCOOR,C
                CALL SHOWXPOS
                CALL SHOWYPOS
                CLR TF0
                CLR TF1
                RET
;*****************************************************
;       ROUTINE GO FORWARD AND MEASURE DISTANCE
;*****************************************************
GOFWD:          MOV A,#00000101B        ;ON MOTOR FORWARD
                CALL GOSTR
FWDTUNE:        JB YCOOR,FWDADD
                CLR C
                MOV A,ABSBUF_L
                SUBB A,TL1
                MOV YABS_L,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV A,ABSBUF_H
                SUBB A,TH1
                MOV YABS_H,A
                CALL CALCU
                JMP FWDPLY
FWDADD:         CLR C
                MOV A,ABSBUF_L
                ADD A,TL1
                MOV YABS_L,A
                MOV A,ABSBUF_H
                ADDC A,TH1
                MOV YABS_H,A
                CALL CALCU
FWDPLY:         MOV A,YDIST
                CJNE A,03H,CH_FWD
                RET             ;RETURN FROM GOFWD
CH_FWD:         MOV YDIST,R3
                CALL SHOWYPOS
                RET             ;RETURN FROM GOFWD
;*************************************************
;       ROUTINE GO REVERSE AND MEASURE DISTANCE
;*************************************************
GOREV:          MOV A,#00001111B        ;ON MOTOR REVERSE
                CALL GOSTR
REVTUNE:        JNB YCOOR,REVADD
                CLR C
                MOV A,ABSBUF_L
                SUBB A,TL1
                MOV YABS_L,A
                MOV A,ABSBUF_H
                SUBB A,TH1
                MOV YABS_H,A
                CALL CALCU
                JMP REVDPLY
REVADD:         CLR C
                MOV A,ABSBUF_L
                ADD A,TL1
                MOV YABS_L,A
                MOV A,ABSBUF_H
                ADDC A,TH1
                MOV YABS_H,A
                CALL CALCU
REVDPLY:        MOV A,YDIST
                CJNE A,03H,CH_REV
                RET             ;RETURN FROM GOREV
CH_REV:         CALL SHOWYPOS
                RET             ;RETURN FROM GOREV
;*************************************************
;       ROUTINE CONTROL A CAR TO STREIGHTLY RUN
;*************************************************
GOSTR:          CALL SENDPC2
                MOV A,SPD
                CALL SENDPA1
                MOV A,TH1
                CJNE A,TH0,DEC_INC
                MOV A,TL1
                CJNE A,TL0,DEC_INC
                RET             ;RETURN GOSTR
DEC_INC:        JC DECSPD
                MOV A,SPD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE A,#0FFH,INCSPD
                JMP RETGOSTR
INCSPD:         INC SPD          ;INCREMENT MOTOR SPEED
                MOV A,SPD
                CALL SENDPA1
                JMP RETGOSTR
DECSPD:         MOV A,SPD        ;DECREMENT MOTOR SPEED
                JZ RETGOSTR
                DEC SPD
                MOV A,SPD
                CALL SENDPA1
RETGOSTR:       RET
;*****************************************************
;       ROUTINE CALCULATE DISTANCE COORDINATE
;*****************************************************
CALCU:          PUSH 0EH         ;PUSH YABS_H
                PUSH 0DH         ;PUSH YABS_L
                MOV R4,#16       ;COUNTER
                MOV R1,#00H      ;SHIFT REGISTER
                MOV R3,#00H      ;QUOTIENT
;CALCULATE TO OBTAIN QUOTIENT
GETQUOT:        CLR C
                MOV A,YABS_L
                RLC A
                MOV YABS_L,A
                MOV A,YABS_H
                RLC A
                MOV YABS_H,A
                MOV A,R1
                RLC A
                MOV R1,A
                CLR C
                SUBB A,#ONEFOOT
                JNC CHANGER1
                CPL C            ;C='0'
                MOV A,R3
                RLC A
                MOV R3,A
                DJNZ R4,GETQUOT
                POP 0DH
                POP 0EH
                RET

CHANGER1:       CPL C            ;C='1'
                MOV R1,A
                MOV A,R3
                RLC A
                MOV R3,A
                DJNZ R4,GETQUOT
                POP 0DH
                POP 0EH
                RET
;*****************************************************
;       ROUTINE SHOW NEW Y-POSITION TO DISPLAY
;*****************************************************
YDPLY:          MOV A,YDIST
                CJNE A,03H,CH_DPLY
                RET              ;RETURN FROM GOFWD OR GOREV
CH_DPLY:        MOV YDIST,R3
                CALL SHOWYPOS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET                 ;RETURN FROM GOFWD OR GOREV
;*************************************************************
                END
;*************************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ข้อมูลการใช้งานไอซีที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

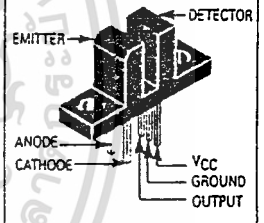
MOC75T1,2
MOC75U1,2

Slotted Optical Switches
Logic Output

SLOTTED
OPTICAL SWITCHES
LOGIC OUTPUT

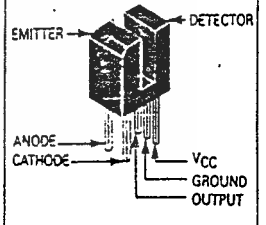
These devices consist of a GaAs LED facing a silicon, high-speed integrated circuit detector in a molded plastic housing. A slot in the housing between the emitter and the detector provides a means of mechanically interrupting the signal and switching the output from an on-state to an off-state. The detector incorporates a schmitt trigger which provides hysteresis for noise immunity and pulse shaping. The detector circuit is optimized for simplicity of operation and has an open-collector output for application flexibility.

T PACKAGE



CASE 354C-01
PLASTIC

U PACKAGE



CASE 354B-01
PLASTIC

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS: (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Power Dissipation	P_D	100	mW
Forward Current (Continuous)	I_F	60	mA
Forward Current (Peak) (Pulse Width ≤ 1 μs, PRR < 300 PPS)	I_F	1.5	A
Reverse Voltage	V_R	6	V
OUTPUT DETECTOR			
Output Voltage Range	V_O	0–16	V
Supply Voltage Range	V_{CC}	0–16	V
Output Current	I_O	50	mA
Power Dissipation	P_D	150*	mW
TOTAL DEVICE			
Storage Temperature	T_{stg}	−40 to +85	°C
Operating Temperature	T_J	−40 to +85	°C
Lead Soldering Temperature (5 seconds maximum)	T_L	260	°C

*Derate 2 mW/°C above 25°C ambient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDIVIDUAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS (0–70°C) (See Note 1)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED						
Forward Voltage (I_F = 20 mA)		V_F	—	1.1	1.6	V
Reverse Current (V_R = 3 V)		I_R	—	—	10	μA
Reverse Breakdown Voltage (I_R = 100 μA)		$V_{(BR)R}$	6	—	—	V
Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)		C	—	—	100	pF
OUTPUT DETECTOR						
Operating Voltage		V_{CC}	3	—	15	V
Supply Current (I_F = 0, V_{CC} = 5 V)		$I_{CC(off)}$	—	1.3	5	mA
Output Current, High (I_F = 0, V_{CC} = V_o = 15 V)		I_{OH}	—	—	100	μA
COUPLED (0–70°C) (See Note 1)						
Threshold Current, ON (R_L = 270 Ω, V_{CC} = 5 V)	MOC75(T,U)1 MOC75(T,U)2	$I_{F(on)}$	— —	20 10	30 15	mA
Threshold Current, OFF (R_L = 270 Ω, V_{CC} = 5 V)	MOC75(T,U)1 MOC75(T,U)2	$I_{F(off)}$	0.5 0.5	15 8	— —	mA
Hysteresis Ratio (R_L = 270 Ω, V_{CC} = 5 V)		$\frac{I_{F(off)}}{I_{F(on)}}$	—	0.75	—	—
Supply Current (I_F = $I_{F(on)}$, V_{CC} = 5 V)		$I_{CC(on)}$	—	3	5	mA
Output Voltage, Low (I_F = $I_{F(on)}$ V_{CC} = 5 V, R_L = 270 Ω)		V_{OL}	—	0.2	0.4	V
Turn-On Time	R_L = 270 Ω, V_{CC} = 5 V, I_F = $I_{F(on)}$ T_A = 25°C	t_{on}	—	1.2	—	μs
Fall Time		t_f	—	0.1	—	
Turn-Off Time		t_{off}	—	1.2	—	
Rise Time		t_r	—	0.1	—	

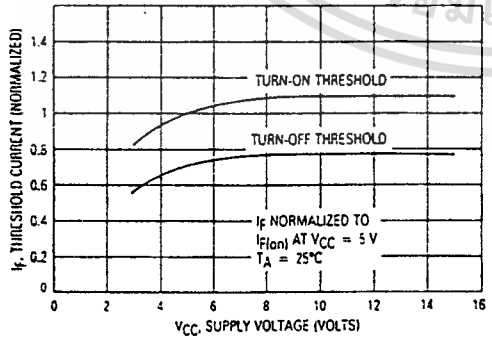


Figure 1. Normalized Threshold Current versus Supply Voltage

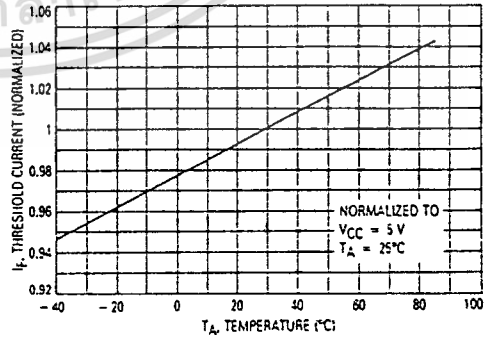


Figure 2. Threshold Current versus Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

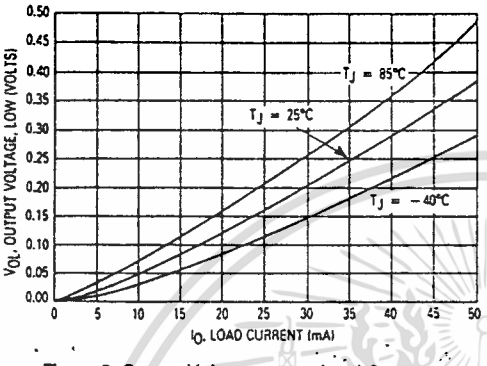


Figure 3. Output Voltage versus Load Current

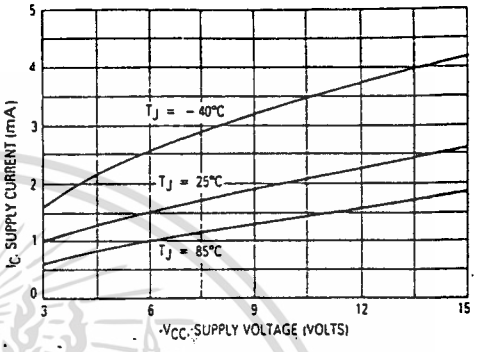


Figure 4. Supply Current versus Supply Voltage — Output High

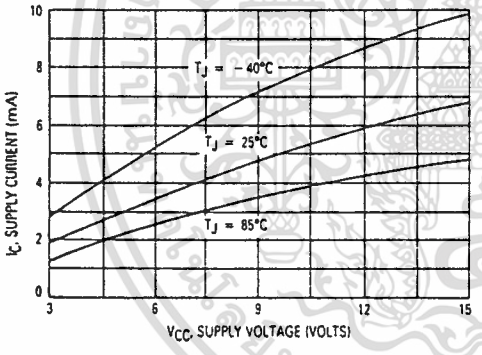


Figure 5. Supply Current versus Supply Voltage — Output Low

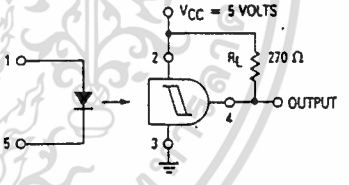


Figure 6. Test Circuit for Threshold Current Measurements

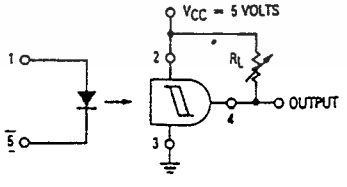


Figure 7. Test Circuit for Output Voltage versus Load Current Measurements

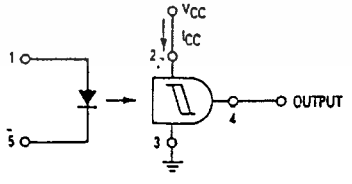


Figure 8. Test Circuit for Supply Current versus Supply Voltage Measurements

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

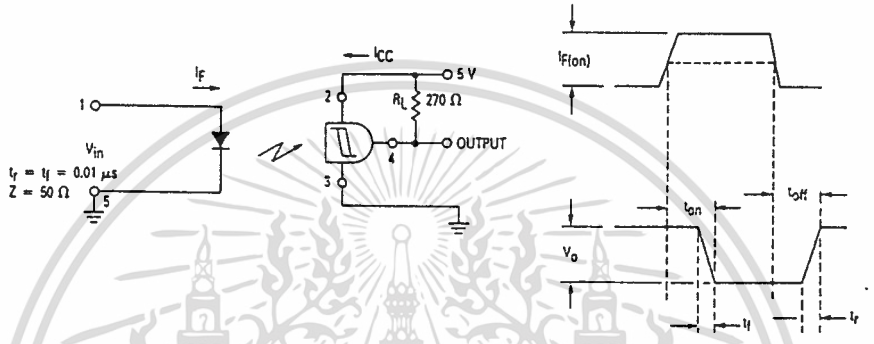
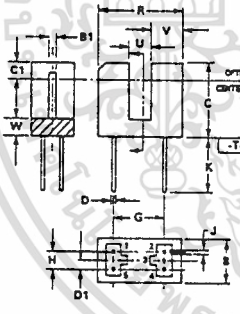


Figure 9. Switching Test Circuit

OUTLINE DIMENSIONS

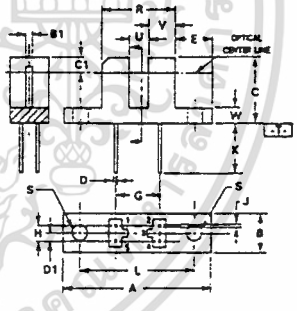


U PACKAGE
CASE 354B-01

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
B	6.19	6.50	0.244	0.256
C	10.64	10.94	0.419	0.431
D	0.35	0.56	0.014	0.022
G	7.36 BSC		0.290 BSC	
H	2.54 BSC		0.100 BSC	
J	0.43	0.56	0.017	0.022
K	7.36	—	0.290	—
R	11.98	12.19	0.472	0.480
U	3.07	3.32	0.115	0.129
V	4.36	4.52	0.172	0.178
W	2.38	2.88	0.094	0.106
B1	0.88	1.14	0.035	0.045
C1	2.54 NOM		0.100 NOM	
D1	1.27 BSC		0.050 BSC	

STYLE 1:
PIN 1. CATHODE
2. V_{CC}
3. GROUND
4. OUTPUT
5. ANODE

NOTES:
1. DIMENSIONS R AND B ARE DATUMS AND -T- IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR LEAD DIMENSION J:
   ⌖ 0.51 (0.020) Ⓜ T B Ⓜ
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR LEAD DIMENSION D:
   ⌖ 0.51 (0.020) Ⓜ T B Ⓜ C Ⓜ
4. DIMENSIONING AND TOLERANCING ARE PER Y14.5, 1982.



T PACKAGE
CASE 354C-01

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	24.13	25.01	0.950	0.985
B	6.19	6.50	0.244	0.256
C	10.64	10.94	0.419	0.431
D	0.25	0.55	0.014	0.022
E	5.21	6.55	0.246	0.258
G	7.36 BSC		0.290 BSC	
H	2.54 BSC		0.100 BSC	
J	0.43	0.56	0.017	0.022
K	7.36	—	0.290	—
L	19.05 BSC		0.750 BSC	
R	11.98	12.19	0.472	0.480
S	3.24	3.37	0.124	0.133
U	3.07	3.32	0.115	0.129
V	4.36	4.52	0.172	0.178
W	2.38	2.88	0.094	0.106
B1	0.88	1.14	0.035	0.045
C1	2.54 NOM		0.100 NOM	
D1	1.27 BSC		0.050 BSC	

STYLE 1:
PIN 1. CATHODE
2. V_{CC}
3. GROUND
4. OUTPUT
5. ANODE

NOTES:
1. DIMENSIONS A AND B ARE DATUMS AND -T- IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR MOUNTING HOLES:
   ⌖ ⌀ 0.36 (0.014) Ⓜ T A Ⓜ B Ⓜ
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR LEAD DIMENSION J:
   ⌖ 0.51 (0.020) Ⓜ T B Ⓜ
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR LEAD DIMENSION D:
   ⌖ 0.51 (0.020) Ⓜ T A Ⓜ B Ⓜ
5. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER Y14.5, 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder
MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder

general description

These CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 kΩ on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be defeated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period; this two key roll over is provided between any two switches.

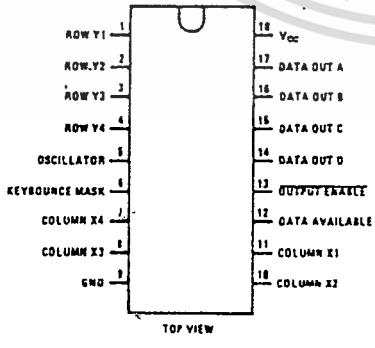
An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The TRI-STATE® outputs provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

features

- 50 kΩ maximum switch on resistance
- On or off chip clock
- On chip row pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keybounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- TRI-STATE outputs LPTTL compatible
- Wide supply range 3V to 15V
- Low power consumption

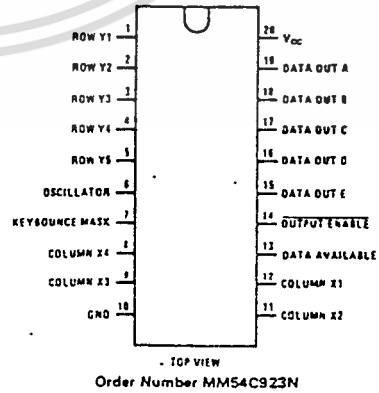
connection diagrams

Dual-In-Line Package



Order Number MM54C922N
or MM74C922N
See Package 20

Dual-In-Line Package



Order Number MM54C923N
or MM74C923N
See Package 20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings

Voltage at Any Pin	V_{CC} − 0.3V to V_{CC} + 0.3V	Package Dissipation	500 mW
Operating Temperature Range		Operating V_{CC} Range	3V to 15V
MM54C922, MM54C923	−55°C to +125°C	V_{CC}	18V
MM74C922, MM74C923	−40°C to +85°C	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C		

dc electrical characteristics

Min/max limits apply across temperature range unless otherwise noted

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS						
V_{T+}	Positive-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	V_{CC} = 5V, $I_{IN} \geq$ 0.7 mA	3	3.6	4.3	V
		V_{CC} = 10V, $I_{IN} \geq$ 1.4 mA	6	6.8	8.6	V
		V_{CC} = 15V, $I_{IN} \geq$ 2.1 mA	9	10	12.9	V
V_{T-}	Negative-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	V_{CC} = 5V, $I_{IN} \geq$ 0.7 mA	0.7	1.4	2	V
		V_{CC} = 10V, $I_{IN} \geq$ 1.4 mA	1.4	3.2	4	V
		V_{CC} = 15V, $I_{IN} \geq$ 2.1 mA	2.1	5	6	V
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	V_{CC} = 5V,	3.5	4.5		V
		V_{CC} = 10V	8	9		V
		V_{CC} = 15V,	12.5	13.5		V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Inout Voltage, Except Osc and KBM Inputs	V_{CC} = 5V,		0.5	1.5	V
		V_{CC} = 10V,		1	2	V
		V_{CC} = 15V,		1.5	2.5	V
I_{rp}	Row Pull-Up Current at Y1, Y2, Y3, Y4 and Y5 Inputs	V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0.1 V_{CC}	−2	−5		μA
		V_{CC} = 10V	−10	−20		μA
		V_{CC} = 15V	−22	−45		μA
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	V_{CC} = 5V, I_O = −10μA	4.5			V
		V_{CC} = 10V, I_O = −10μA	9			V
		V_{CC} = 15V, I_O = −10μA	13.5			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	V_{CC} = 5V, I_O = 10μA			0.5	V
		V_{CC} = 10V, I_O = 10μA			1	V
		V_{CC} = 15V, I_O = 10μA			1.5	V
R_{on}	Column "ON" Resistance at X1, X2, X3 and X4 Outputs	V_{CC} = 5V, V_O = 0.5V		500	1400	Ω
		V_{CC} = 10V, V_O = 1V		300	700	Ω
		V_{CC} = 15V, V_O = 1.5V		200	500	Ω
I_{CC}	Supply Current	V_{CC} = 5V, Osc at 0V		0.55	1.1	mA
		V_{CC} = 10V		1.1	1.9	mA
		V_{CC} = 15V		1.7	2.6	mA
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current at $\overline{\text{Output Enable}}$	V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V		0.005	1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current at $\overline{\text{Output Enable}}$	V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V	−1.0	−0.005		μA
CMOS/LPTTL INTERFACE						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, V_{CC} = 4.5V	V_{CC} − 1.5			V
		74C, V_{CC} = 4.75V	V_{CC} − 1.5			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, V_{CC} = 4.5V			0.8	V
		74C, V_{CC} = 4.75V			0.8	V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	54C, V_{CC} = 4.5V, I_O = −360μA	2.4			V
		74C, V_{CC} = 4.75V, I_O = −360μA	2.4			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	54C, V_{CC} = 4.5V, I_O = −360μA			0.4	V
		74C, V_{CC} = 4.75V, I_O = −360μA			0.4	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dc electrical characteristics (con't)

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet)						
I_{SOURCE}	Output Source Current (P-Channel)	V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V, T_A = 25°C	−1.75	−3.3		mA
I_{SOURCE}	Output Source Current (P-Channel)	V_{CC} = 10V, V_{OUT} = 0V, T_A = 25°C	−8	−15		mA
I_{SINK}	Output Sink Current (N-Channel)	V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}, T_A = 25°C	1.75	3.6		mA
I_{SINK}	Output Sink Current (N-Channel)	V_{CC} = 10V, V_{OUT} = V_{CC}, T_A = 25°C	8	16		mA

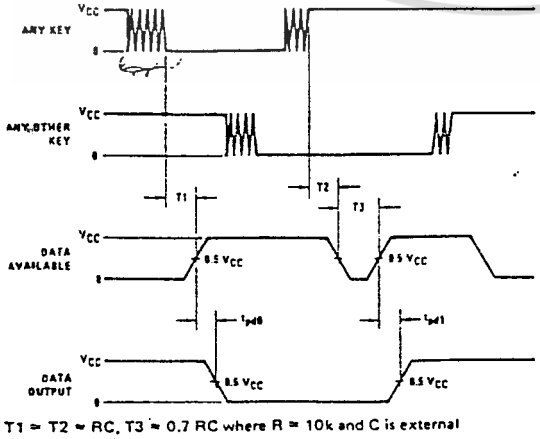
ac electrical characteristics T_A = 25°C

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{pd0},t_{pd1}	Propagation Delay Time to	C_L = 50 pF, *(Figure 1)*				
	Logical "0" or Logical "1"	V_{CC} = 5V		60	150	ns
	from D.A.	V_{CC} = 10V		35	80	ns
		V_{CC} = 15V		25	60	ns
t_{0H},t_{1H}	Propagation Delay Time from	R_L = 10k, C_L = 5 pF, *(Figure 2)*				
	Logical "0" or Logical "1"	V_{CC} = 5V R_L = 10k		80	200	ns
	into High Impedance State	V_{CC} = 10V C_L = 10 pF		65	150	ns
		V_{CC} = 15V		50	110	ns
t_{H0},t_{H1}	Propagation Delay Time from	R_L = 10k, C_L = 50 pF, *(Figure 2)*				
	High Impedance State to a	V_{CC} = 5V R_L = 10k		100	250	ns
	Logical "0" or Logical "1"	V_{CC} = 10V C_L = 50 pF		55	125	ns
		V_{CC} = 15V		40	90	ns
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input, (Note 2)		5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	Any Output, (Note 2)		10		pF

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

switching time waveforms



T1 = T2 = RC, T3 = 0.7 RC where R = 10k and C is external capacitor at KBM input.

FIGURE 1

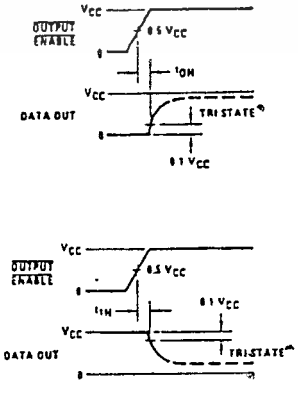
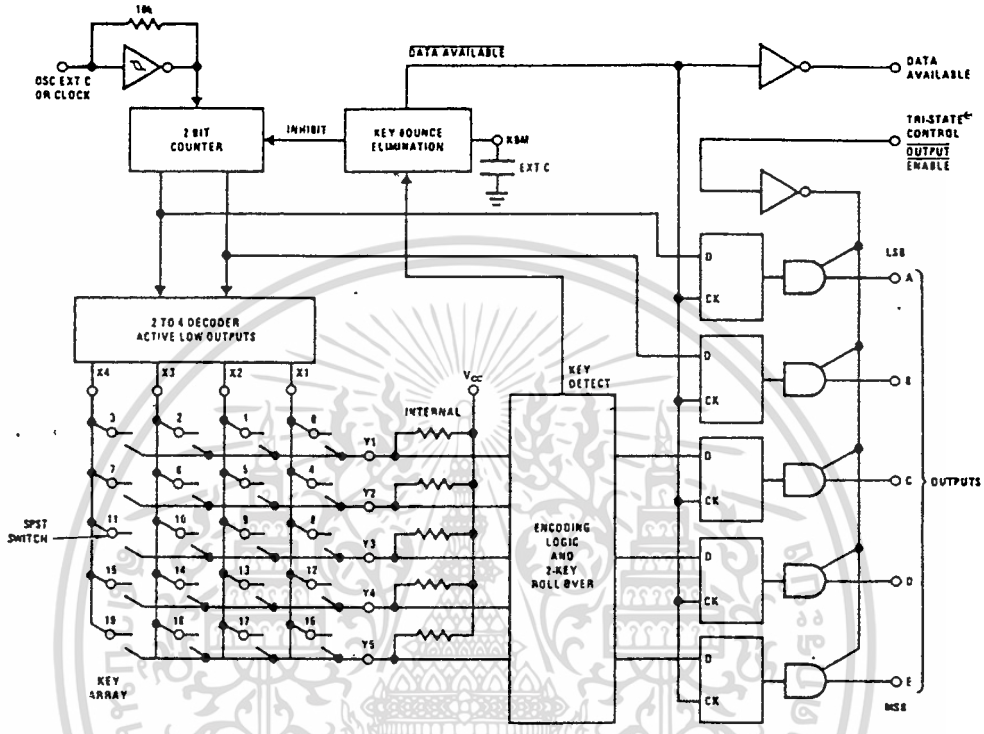


FIGURE 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

block diagram



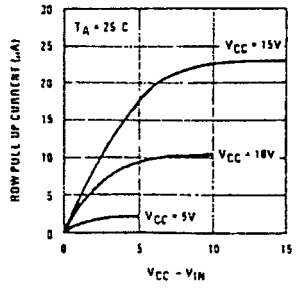
truth table

SWITCH POSITION	0 Y1,X1	1 Y1,X2	2 Y1,X3	3 Y1,X4	4 Y2,X1	5 Y2,X2	6 Y2,X3	7 Y2,X4	8 Y3,X1	9 Y3,X2	10 Y3,X3	11 Y3,X4	12 Y4,X1	13 Y4,X2	14 Y4,X3	15 Y4,X4	16 Y5*,X1	17 Y5*,X2	18 Y5*,X3	19 Y5*,X4
DATA OUT A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
DATA OUT B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
DATA OUT C	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
DATA OUT D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
DATA OUT E*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

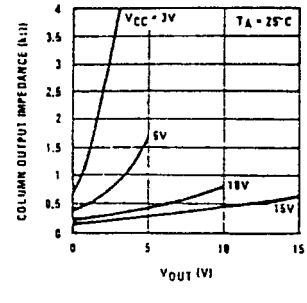
*Omit for MM54C922/MM74C922

typical performance characteristics

Typical I_{rp} vs V_{IN} at Any Y Input



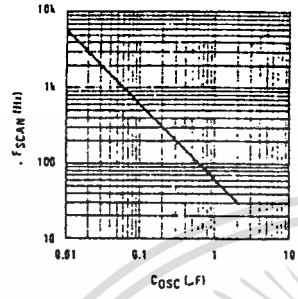
Typical R_{on} vs V_{OUT} at Any X Output



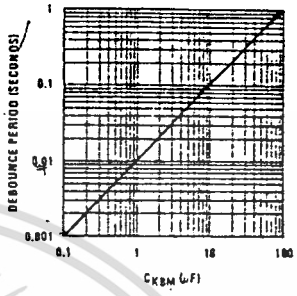
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

typical performance characteristics (con't)

Typical F_{SCAN} vs C_{OSC}

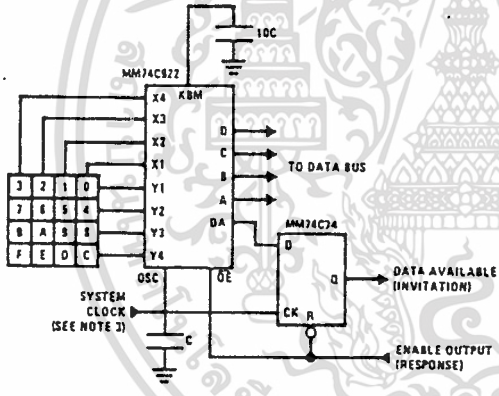


Typical Debounce Period vs C_{KBM}

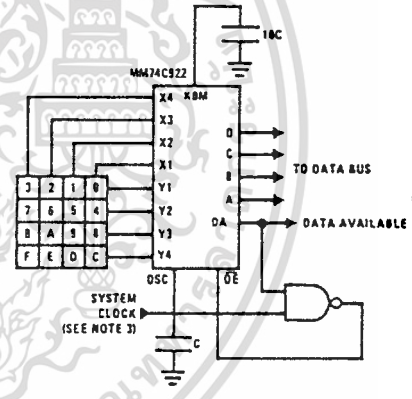


typical applications

Synchronous Handshake (MM74C922)



Synchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



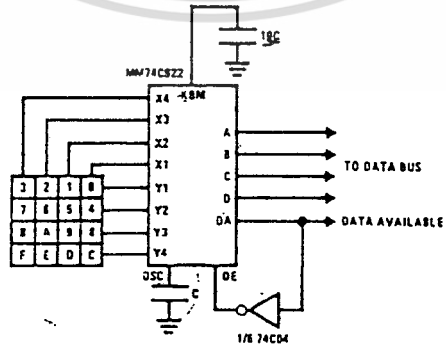
Outputs are enabled when valid entry is made and go into TRI-STATE when key is released.

Asynchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)

Keyboard Suppliers

Mini Key Series KL
Digitran Company
Pasadena, California

Computronics Engineering
7235 Hollywood Blvd
Hollywood, California 90046



Outputs are in TRI-STATE until key is pressed, then data is placed on bus. When key is released, outputs return to TRI-STATE.

Note 3: The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc. and driving osc. directly if the system clock rate is lower than 10 kHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instruction	Code										Execution Time (max) (when fcp or fosc is 250 kHz)
	RS	R/W	DB_7	DB_6	DB_5	DB_4	DB_3	DB_2	DB_1	DB_0	
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.64 ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1.64 ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40μs
Display On/Off Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40μs
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40μs
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	40μs
Set CG RAM Address	0	0	0	1	ACG						40μs
Set DD RAM Address	0	0	1	ADD							40μs
Read Busy Flag & Address	0	1	BF	AC							0μs
Write Data to CG or DD RAM	1	0	Write Data								40μs
Read Data from CG or DD RAM	1	1	Read Data								40μs
	I/D=1: Increment I/D=0: Decrement S =1: Accompanies display shift S/C=1: Display shift S/C=0: Cursor move R/L=1: Shift to the right R/L=0: Shift to the left DL=1: 8 bits, DL=0: 4 bits N =1: 2 lines, N=0: 1 line F =1: 5×10 dots, F=0: 5×7 dots BF=1: Internally operating BF=0: Can accept instruction										Execution time changes when frequency changes Example: When fcp or fosc is 270 kHz: $40\mu s \times \frac{250}{270} = 37\mu s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MC1408
MC1508

EIGHT-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER

. . . designed for use where the output current is a linear product of an eight-bit digital word and an analog input voltage.

- Eight-Bit Accuracy Available in Both Temperature Ranges
  Relative Accuracy: ±0.19% Error maximum
  (MC1408L8, MC1408P8, MC1508L8)
- Seven and Six-Bit Accuracy Available with MC1408 Designated by 7 or 6 Suffix after Package Suffix
- Fast Settling Time — 300 ns typical
- Noninverting Digital Inputs are MTTL and CMOS Compatible
- Output Voltage Swing — +0.4 V to −5.0 V
- High-Speed Multiplying Input
  Slew Rate 4.0 mA/μs
- Standard Supply Voltages: +5.0 V and −5.0 V to −15 V

EIGHT-BIT MULTIPLYING DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC1408P8	0 to +75°C	Plastic
MC1408L8		Ceramic
MC1508L8	−55 to +125°C	Ceramic

FIGURE 1 — D-to-A TRANSFER CHARACTERISTICS

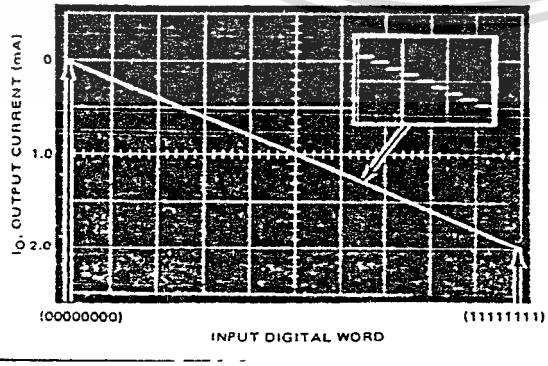
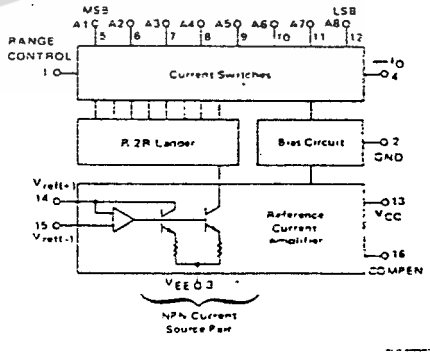


FIGURE 2 — BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+5.5 -16.5	Vdc
Digital Input Voltage	V_5 thru V_{12}	0 to +5.5	Vdc
Applied Output Voltage	V_O	+0.5,-5.2	Vdc
Reference Current	I_{14}	5.0	mA
Reference Amplifier Inputs	V_{14},V_{15}	V_{CC},V_{EE}	Vdc
Operating Temperature Range MC1508 MC1408 Series	T_A	 -55 to +125 0 to +75	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +5.0 Vdc, V_{EE} = -15 Vdc, $\frac{V_{ref}}{R14}$ = 2.0 mA, MC1508L8: T_A = -55°C to +125°C. MC1408L Series: T_A = 0 to + 75°C unless otherwise noted. All digital inputs at high logic level.)

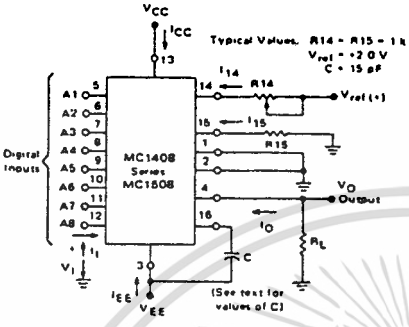
Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Relative Accuracy (Error relative to full scale I_O) MC1508L8, MC1408L8, MC1408P8	4	E_r	 — — —	 — — —	 ± 0.19 ± 0.39 ± 0.78	%
Settling Time to within ± 1/2 LSB (includes t_{PLH})(T_A = + 25°C) (Note 2)	5	t_s	—	300	—	ns
Propagation Delay Time T_A = + 25°C	5	t_{PHL}, t_{PHL}	—	30	100	ns
Output Full Scale Current Drift		TCI_O	—	- 20	—	PPM/°C
Digital Input Logic Levels (MSB) High Level, Logic "1" Low Level, Logic "0"	3	 V_{IH} V_{IL}	 2.0 —	 — —	 — 0.8	Vdc
Digital Input Current (MSB) High Level V_{IH} = 5.0 V Low Level V_{IL} = 0.8 V	3	 I_{IH} I_{IL}	 — —	 0 - 0.4	 0.04 - 0.8	mA
Reference Input Bias Current (Pin 15)	3	I_{15}	—	- 1.0	- 5.0	µA
Output Current Range V_{EE} = -5.2 V V_{EE} = -15 V, T_A = 25°C	3	I_{OR}	 0 0	 2.0 2.0	 2.1 4.2	mA
Output Current V_{REF} = 2.000 V, R14 = 1000 Ω	3	I_O	 1.9	 1.99	 2.1	mA
Output Current (All Bits Low)	3	$I_{O(min)}$	—	0	4.0	µA
Output Voltage Compliance (E_r ≤ 0.19% at T_A = + 25°C) Pin 1 Grounded Pin 1 Open, V_{EE} below - 10 V	3	V_O	 — —	 — —	 -0.55, +0.4 -5.0, +0.4	Vdc
Reference Current Slew Rate	6	SR I_{ref}	—	4.0	—	mA/µs
Output Current Power Supply Sensitivity		PSRR(-)	—	0.5	2.7	µA/V
Power Supply Current (All Bits Low)	3	I_{CC} I_{EE}	— —	+ 13.5 - 7.5	+ 22 - 13	mA
Power Supply Voltage Range (T_A = + 25°C	3	V_{CCR} V_{EER}	+ 4.5 - 4.5	+ 5.0 - 15	- 5.5 - 16.5	Vdc
Power Dissipation All Bits Low V_{EE} = - 5.2 Vdc V_{EE} = -15 Vdc All Bits High V_{EE} = - 5.2 Vdc V_{EE} = -15 Vdc	3	P_D	 — — — —	 105 190 90 160	 170 305 — —	mW

Notes: 1. All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated output current.
2. All bits switched.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS

FIGURE 3 – NOTATION DEFINITIONS TEST CIRCUIT



V_I and I_I apply to inputs A1 thru A8

The resistor tied to pin 15 is to temperature compensate the bias current and may not be necessary for all applications.

$$I_O = K\left\{\frac{A1}{2} + \frac{A2}{4} + \frac{A3}{8} + \frac{A4}{16} + \frac{A5}{32} + \frac{A6}{64} + \frac{A7}{128} + \frac{A8}{256}\right\}$$

where $K \cong \frac{V_{ref}}{R14}$

and A_N = "1" if A_N is at high level
A_N = "0" if A_N is at low level

FIGURE 4 – RELATIVE ACCURACY TEST CIRCUIT

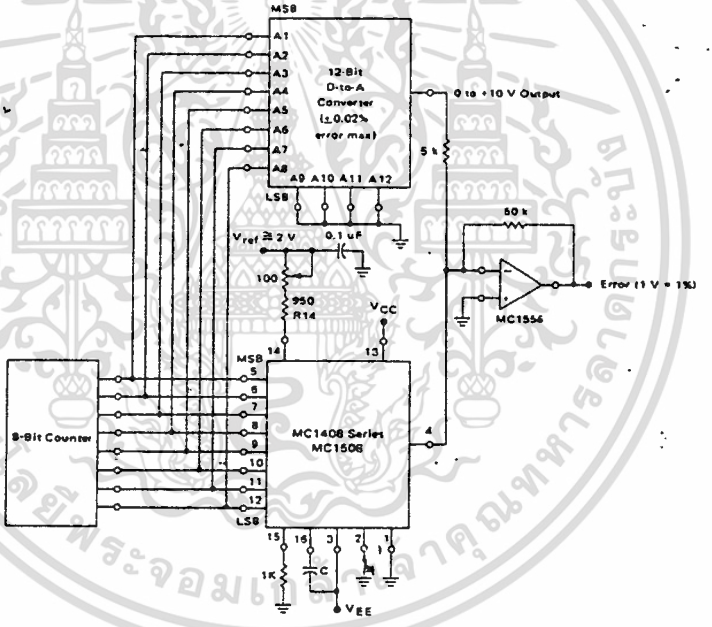
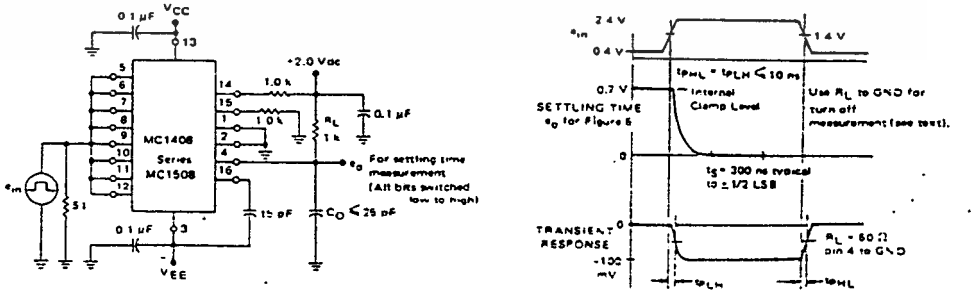


FIGURE 5 – TRANSIENT RESPONSE and SETTLING TIME



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS (continued)

FIGURE 6 – REFERENCE CURRENT SLEW RATE MEASUREMENT

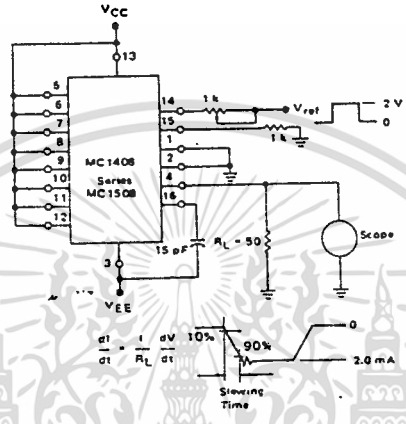


FIGURE 7 – POSITIVE V_{ref}

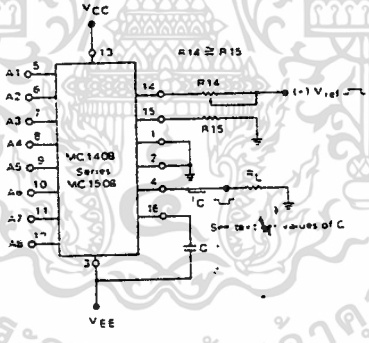
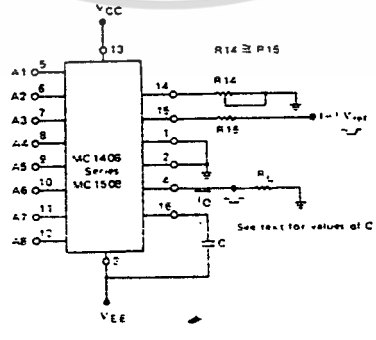
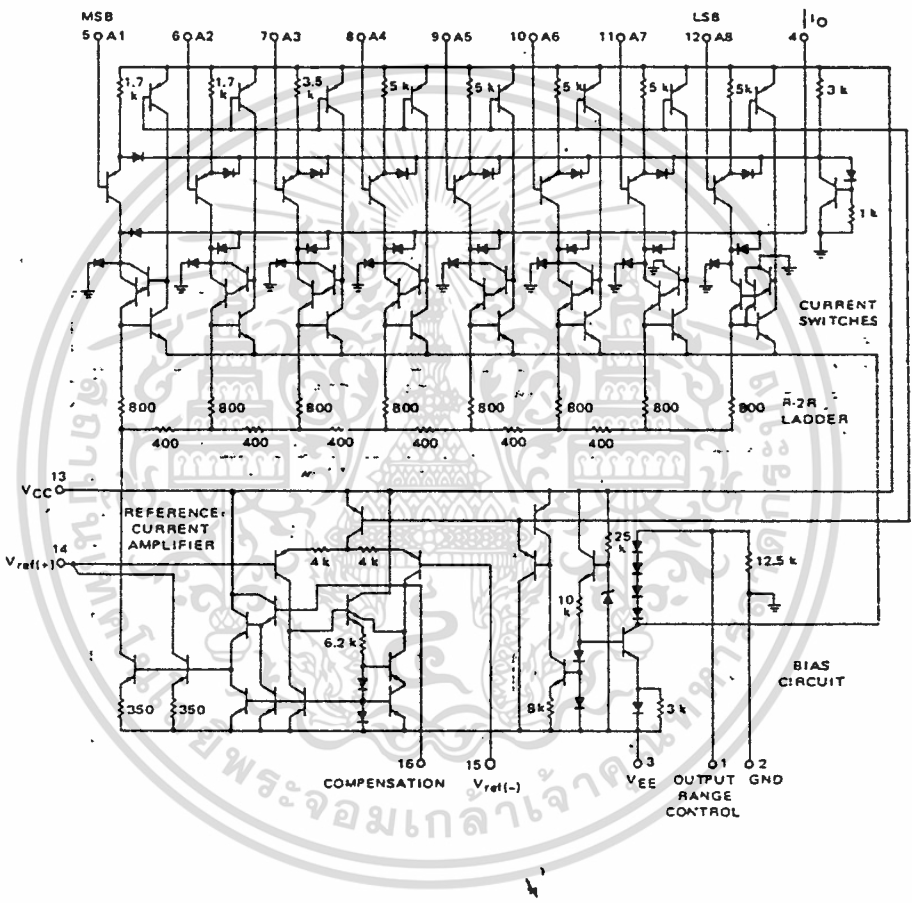


FIGURE 8 – NEGATIVE V_{ref}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 9 – MC1408, MC1508 SERIES EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC



CIRCUIT DESCRIPTION

The MC1408 consists of a reference current amplifier, an R-2R ladder, and eight high-speed current switches. For many applications, only a reference resistor and reference voltage need be added.

The switches are noninverting in operation, therefore a high state on the input turns on the specified output current component. The switch uses current steering for high speed, and a termination amplifier consisting of an active load gain stage with unity gain feedback. The termination amplifier holds the parasitic capacitance of the ladder at a constant voltage during switching, and provides a low impedance termination of equal voltage for all legs of the ladder.

The R-2R ladder divides the reference amplifier current into binarily-related components, which are fed to the switches. Note that there is always a remainder current which is equal to the least significant bit. This current is shunted to ground, and the maximum output current is 255/256 of the reference amplifier current, or 1.992 mA for a 2.0 mA reference amplifier current if the NPN current source pair is perfectly matched.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

TL494

Switchmode Pulse Width Modulation Control Circuit

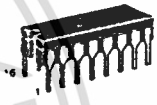
SWITCHMODE
PULSE WIDTH MODULATION
CONTROL CIRCUIT

SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUITS

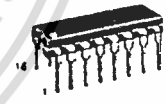
The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

This device features:

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

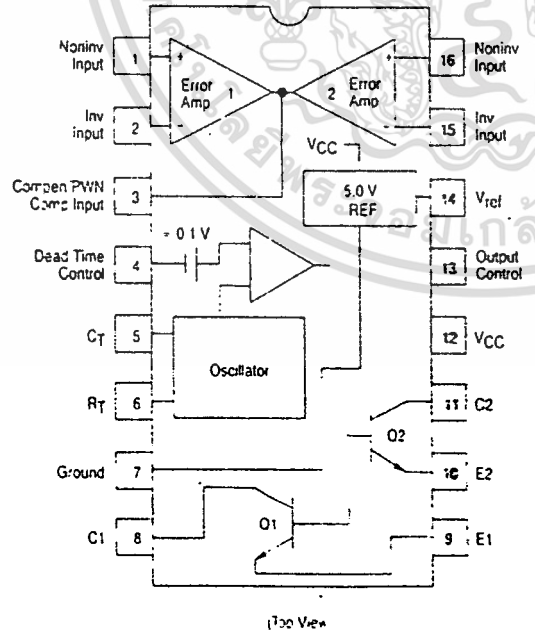


J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN	0° to +70°C	Plastic
TL494CJ		Ceramic
TL494IN	−25° to +85°C	Plastic
TL494IJ		Ceramic
TL494MJ	−55° to +125°C	Ceramic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	TL494M	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	42			V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	42			V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I_{C1}, I_{C2}	500			mA
Amplifier Input Voltage Range	V_{IR}	−0.3 to +42			V
Power Dissipation @ $T_A \leq 45°C$	P_D	1000			mW
Operating Junction Temperature Plastic Package	T_J	125		—	°C
Ceramic Package		150			
Storage Temperature Range Plastic Package	T_{stg}	−55 to +125		—	°C
Ceramic Package		−65 to +150			
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to +70	−25 to +85	−55 to +125	°C

NOTES: 1. Maximum thermal limits must be observed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	N Suffix	J Suffix	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	80	100	°C/W
Derating Ambient Temperature	T_A	45	50	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Condition/Value	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	—	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	—	—	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	−0.3	—	V_{CC} − 2.0	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	—	—	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	—	—	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	kΩ
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERICISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 µF, R_T = 12 kΩ unless otherwise noted.)
For typical values T_A = 25°C, for min/max values T_A is the operating abmient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
REFERENCE SECTION								
Reference Voltage (I_O = 1.0 mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation (V_{CC} = 7.0 V to 40 V)	Reg_{line}	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Load Regulation (I_O = 1.0 mA to 10 mA)	Reg_{load}	—	3.0	15	—	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current (V_{ref} = 0 V)	I_{SC}	15	35	75	15	35	75	mA
OUTPUT SECTION								
Collector Off-State Current (V_{CC} = 40 V, V_{CE} = 40 V)	$I_{C(off)}$	—	2.0	100	—	2.0	100	µA
Emitter Off-State Current V_{CC} = 40 V, V_C = 40 V, V_E = 0 V)	$I_{E(off)}$	—	—	−100	—	—	−150	µA
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2)								V
Common-Emitter (V_E = 0 V, I_C = 200 mA)	$V_{sat(C)}$	—	1.1	1.3	—	1.1	1.5	
Emitter-Follower (V_C = 15 V, I_E = −200 mA)	$V_{sat(E)}$	—	1.5	2.5	—	1.5	2.5	
Output Control Pin Current								
Low State (V_{OC} ≤ 0.4 V)	I_{OCL}	—	10	—	—	10	—	µA
High State (V_{OC} = V_{ref})	I_{OCH}	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time	t_r							ns
Common-Emitter (See Figure 12)		—	100	200	—	100	200	
Emitter-Follower (See Figure 13)		—	100	200	—	100	200	
Output Voltage Fall Time	t_f							ns
Common-Emitter (See Figure 12)		—	25	100	—	25	100	
Emitter-Follower (See Figure 13)		—	40	100	—	40	100	

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics	Symbol	TL494 Min	TL494 Typ	TL494 Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	V_{IO}	—	2.0	10	mV
Input Offset Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	I_{IO}	—	5.0	250	nA
Input Bias Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	I_{IB}	—	−0.1	−1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range (V_{CC} = 40 V, T_A = 25°C)	V_{ICR}	−0.3 to V_{CC}−2.0			V
Open-Loop Voltage Gain (ΔV_O = 3.0 V, V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	A_{VOL}	70	95	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency (V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	f_{C-}	—	350	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain (V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	ϕ_m	—	65	—	deg.
Common Mode Rejection Ratio (V_{CC} = 40 V)	CMRR	65	90	—	dB
Power Supply Rejection Ratio (ΔV_{CC} = 33 V, V_O = 2.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 3.5 V)	I_{O+}	−2.0	−4.0	—	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	—	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{(Pin\ 3)}$ = 0.7 V)	I_{I-}	0.3	0.7	—	mA
DEAD-TIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V to 5.25 V)	$I_{IB\ (DT)}$	—	−2.0	−10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ) ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V, C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	DC_{max}	 45 —	 48 45	 50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{TH}	 — 0	 2.8 —	 3.3 —	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency (C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	f_{osc}	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* (C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	σf_{osc}	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage (V_{CC} = 7.0 V to 40 V, T_A = 25°C)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta V)$	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) (C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ)	$\Delta f_{osc}\ (\Delta T)$	—	—	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, I_{ref} = 1.0 mA)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref}, All other inputs and outputs open) (V_{CC} = 15 V) (V_{CC} = 40 V)	I_{CC}	 — —	 5.5 7.0	 10 15	mA
Average Supply Current (C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ, $V_{(Pin\ 4)}$ = 2.0 V) V_{CC} = 15 V) (See Figure 12)	—	—	7.0	—	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N}(x_n - \bar{X})^2}{N-1}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Block Diagram

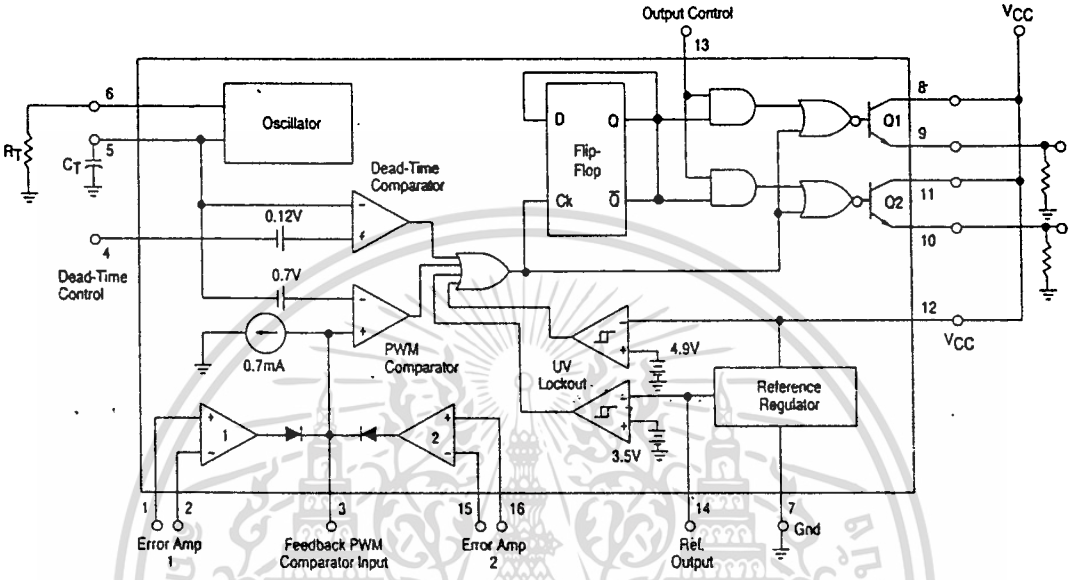
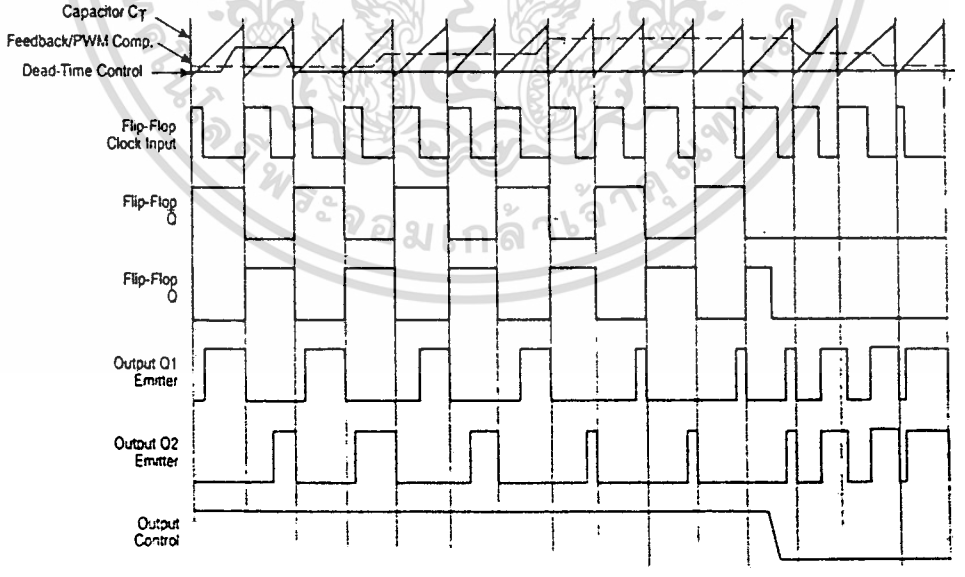


Figure 2. Timing Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานรถหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัตินี้ จะสำเร็จลงด้วยดีไม่ได้ถ้าหากขาดซึ่งบุคคลเหล่านี้

ดร. กิตติพล ชิตสกุล ผู้จัดทำขอขอบคุณสำหรับคำแนะนำต่าง ๆซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินโครงงาน และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

อ. นพดล ผู้ซึ่งคอยดูแลและให้คำปรึกษาที่ดีอยู่เสมอ

เพื่อน ๆทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดเวลาที่ได้อยู่ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ทนง โชติสรยุทธ์,"เทคนิคการใช้งานอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์สำหรับนักทดลอง", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิคส์, ฉบับที่ 44, เมษายน 2524
2. ปรเมษฐ์ ประนยานันทน์, ปิยพงศ์ เผ่าวณิช, "คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51"
3. ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์, "วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์", กันยายน 2526
4. วิสุทธิ์ อัศวนนทวงศ์, "พื้นฐาน A/D และ D/A คอนเวอร์ทเตอร์", วารสารอิเลคทรอนิคส์เวิลด์, ฉบับที่ 135, 2535
5. ศักดิ์ศรี แซ่โล้, "เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิคส์, ฉบับที่ 58, มกราคม 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้