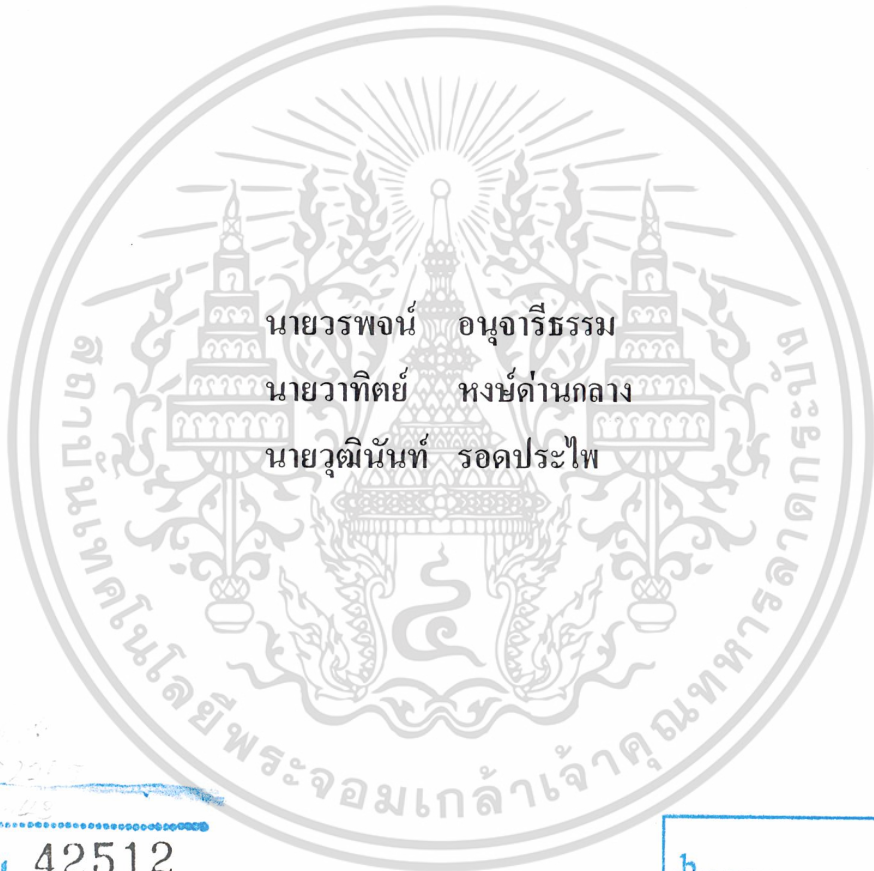


รถเคลื่อนที่ตามเป้าหมายโดยอัตโนมัติ
AUTOMATIC FOLLOWING MACHINE



นายวรพจน์ อนุจารีธรรม
นายวาทิตย์ หงษ์ด่านกลาง
นายวุฒินันท์ รอดประไพ

เลขหม.....
เลขทะเบียน... 42512
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ศ. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 9574

AUTOMATIC FOLLOWING MACHINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY INSTRUMENT ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


2000

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท รถเคลื่อนที่ตามเป้าหมายโดยอัตโนมัติ
AUTOMATIC FOLLOWING MACHINE

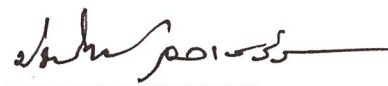
นักศึกษาผู้จัดทำ นายวรพจน์ อนุจารีธรรม รหัสประจำตัว 40010674
นายวาทิตย์ หงษ์ด่านกลาง รหัสประจำตัว 40010720
นายวุฒินันท์ รอดประไพ รหัสประจำตัว 40010756

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.วิศรุต ศรีรัตนะ
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2543

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
อ.วิศรุต ศรีรัตนะ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 9 เมษายน พ.ศ.2544
สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชา ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร รถเคลื่อนที่ตามเป้าหมายโดยอัตโนมัติ
AUTOMATIC FOLLOWING MACHINE
นักศึกษาผู้จัดทำ นายวรพจน์ อนุจารีธรรม
นายวาทีศย์ หงษ์ด่านกลาง
นายวุฒินันท์ รอดประไพ
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.วิศรุต ศรีรัตนะ
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรเรื่องรถเคลื่อนที่ตามเป้าหมายโดยอัตโนมัติ ออกแบบมาเพื่อเพิ่มความ สะดวกและรวดเร็วในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานสำหรับการตรวจเช็ควัตถุดิบ หรือเครื่องมือที่มี ขนาดเล็กในโรงงานอุตสาหกรรมหรือคลังสินค้าซึ่งอาจจำเป็นที่จะต้องมีการบรรทุกและเคลื่อนย้าย วัสดุเหล่านั้นจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหลังจากการตรวจเช็คเสร็จสิ้น โดยในโครงการนี้เป็นการ ศึกษาหลักการการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สเตปมิ่งมอเตอร์ ดีซีมอเตอร์ และตัวตรวจจับ ที่เป็นชนิดอินฟราเรด และอุลตราโซนิก โดยที่ตัวตรวจจับทั้งสองชนิดนี้จัดอยู่ในจำพวกฟร็อกซิมีตี้ เซนเซอร์ การทำงานของโครงการเริ่มจากผู้ควบคุมส่งสัญญาณซึ่งอยู่ในรูปของแสงอินฟราเรดจาก แอล อี ดี ให้กับตัวรับที่ติดอยู่กับตัวรถ เมื่อตัวรับได้รับสัญญาณ ก็จะนำเอาสัญญาณที่ได้ไป ประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งข้อมูลที่ได้จากการ ประมวลผลไปยังดีซีมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนรถ ในขณะที่รถเคลื่อนที่ถ้าตัวตรวจจับ ที่ติดตั้งอยู่ที่ด้านหน้าทั้ง 2 ข้างของตัวรถตรวจพบสิ่งกีดขวาง รถก็จะสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ได้อย่างอัตโนมัติ

Thesis Title AUTOMATIC FOLLOWING MACHINE
Authers Mr.Worapote Anujareetum
Mr.Watit Hongdanklang
Mr.Wutinan Rodprapi
Thesis Advisor Mr.Witsarut Sriratana
Year 2000



ABSTRACT

In this project was designed for increase convenient in the work for check products or small equipment in factory or warehouse. Which have to carry and remove this products to some where after checking finish. This project study principle of microcontroller, stepping motor, dc motor and sensors(infrared and ultrasonic) which this sensors is proximity sensor type. To working start from operator send infrared signal from LED to receiver in body of car. When receiver had receive signal, receiver will send signal to processing at microcontroller. Microcontroller will send data which processed to dc motor for drive a car. While a car is moving, if sensors is check find object, a car can get out of that object by automatic.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก อาจารย์วิศรุต ศรีรัตนะ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่คณะผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ไสว พงศ์สวัสดิ์ ที่ได้ให้ใช้ห้องทำปริญญาบัตร ผศ.ประภาย อุดคกิมพันธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ยืมแบตเตอรี่กับเครื่องชาร์จ ขอบคุนพีโก้ และคุณลุงสุธา (ชื่อปเครื่องกล) ที่ได้ยืมเครื่องมือสำหรับงานกลึง กัด ไซ ขอบคุนคุณป้าทำความสะอาดที่ช่วยเก็บขยะจากการทำโครงการ

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ และขอขอบคุณน้องอูม (4J) ที่ช่วยอัดโปรแกรมลงคอนโทรลเลอร์ และเพื่อนๆ ปีสี่ทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ยืมอุปกรณ์ในการทำปริญญาบัตรนี้ในบางส่วน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	2
2.1 ประวัติไมโครคอนโทรลเลอร์.....	2
2.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252.....	2
2.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.....	4
2.4 ตำแหน่งขาของ MCS-51.....	5
2.5 โครงสร้างภายในของ MCS-51.....	7
2.6 โครงสร้างการอินเทอร์พต์.....	7
2.7 โครงสร้างพอร์ต.....	7
2.8 ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ (Timer/ Counter).....	10
บทที่ 3 ระบบขับเคลื่อน (Drive System).....	11
3.1 สเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor).....	11
3.2 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (DC Machine).....	15
3.3 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง.....	21
บทที่ 4 ตัวตรวจจับและภาครับ-ส่ง.....	23
4.1 ชุดเซนเซอร์ใต้น้ำ.....	23
4.2 ภาควัดสัญญาณอินฟราเรด.....	25
4.3 ภาครับสัญญาณอินฟราเรด.....	25
4.4 วงจรป้องกันการชน.....	25
4.5 IRM TFMT 5330 Receiving Module.....	26
4.6 อุลตราโซนิค (Ultrasonic).....	27
4.7 รูปแบบโปรแกรมเกี่ยวกับการส่งสัญญาณ.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 วงจรตัวส่ง (เป้าหมาย).....	34
4.9 วงจรตัวรับ.....	35
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	37
5.1 ลักษณะของโครงสร้างรถ.....	37
5.2 การทดลองวงจรขับเคลื่อน.....	38
5.3 การทดสอบวงจรขับเคลื่อนสเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor).....	39
5.4 แผนภาพการไหล (Flow Chart) แสดงขั้นตอนการทำงาน.....	41
5.5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
5.6 โปรแกรมการทำงานที่ใช้ในการทดลอง.....	46
บรรณานุกรม.....	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงลำดับการกระตุ้นเฟส.....	12
3.2 แสดงลำดับการกระตุ้นเฟสแบบเฟสคู่.....	13
3.3 แสดงลำดับการกระตุ้นเฟสแบบครึ่งสเตป.....	14
4.1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตโมดูล.....	27
5.1 แสดงผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	38
5.2 แสดงผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนรถ.....	38
5.3 แสดงผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนสเตปปีงมอเตอร์.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252.....	3
2.2 แสดงตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51.....	8
2.3 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51.....	8
2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	9
3.1 แสดงวงจร Bride Drive สำหรับสเตปปีงมอเตอร์ 2 เฟส.....	14
3.2 แสดงวงจรขับสเตปปีงมอเตอร์.....	15
3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมดีซีมอเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	17
3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์แบบขนาน.....	18
3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสอาร์มเจอร์ของมอเตอร์แบบขนาน.....	18
3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แบบขนาน.....	19
3.7 แสดงวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง.....	22
4.1 แสดงลักษณะการทำงานของเซนเซอร์ได้งานหมุน.....	23
4.2 แสดงตำแหน่งการวางตัวตรวจจับ.....	24
4.3 แสดงการวางตำแหน่งเซนเซอร์ต่างๆ กับงานหมุน.....	24
4.4 แสดงตำแหน่งของจุดสีดำที่ใช้บอกตำแหน่งตรงกลางของงานหมุน.....	24
4.5 แสดงวงจรตัวรับสัญญาณอินฟราเรดป้องกันการชนซ้าย-ขวา.....	25
4.6 แสดงวงจรตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดส่วนป้องกันการชน.....	26
4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรภายใน IRM TFMT 5330.....	28
4.8 แสดงวงจรภาครับอุลตราโซนิก.....	33
4.9 แสดงวงจรเปรียบเทียบเอาต์พุทของอุลตราโซนิก.....	33
4.10 แสดงรูปสัญญาณอินฟราเรดจากตัวส่ง.....	34
4.11 แสดงรูปจำลองสัญญาณจากตัวรับ.....	35
4.12 แสดงวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด (เป้าหมาย).....	36
4.13 แสดงวงจรภาครับสัญญาณอินฟราเรด.....	36
5.1 แสดงรูปจำลองการวางตำแหน่งล้อและมอเตอร์.....	37
5.2 แสดงการวางตำแหน่งล้อและมอเตอร์.....	39
5.3 แสดงโครงสร้างรถทั้งหมด.....	40
5.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของล้อ.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.5 แสดงไฟล์ชาร์จการทำงานโดยรวม.....	41
5.6 แสดงไฟล์ชาร์จการทำงานของสเตปป์มอเตอร์.....	42
5.7 แสดงไฟล์ชาร์จการทำงานของโปรแกรมบริการอินเทอร์เน็ตร์ิปต์ตัวตรวจจับกันชน.....	43



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการประดิษฐ์ คิดค้นอุปกรณ์เครื่องใช้ขึ้นมา เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก ทั้งที่เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งในโครงการนี้ก็จะเป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานขนส่งในระบบอุตสาหกรรมได้

สำหรับโครงการนี้ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นรถ หรือมีลักษณะคล้ายกับหุ่นยนต์ชนิดขับเคลื่อนด้วยล้อ (Mobile Robot) สำหรับรถในโครงการนี้ จะออกแบบให้ล้อมีลักษณะพิเศษที่สามารถเคลื่อนที่ได้สองทิศทาง มีจำนวน 4 ล้อ และออกแบบให้วางในทิศทางที่สามารถทำให้รถเคลื่อนที่ไปในทิศทางหน้า-หลัง หรือซ้าย-ขวา ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีวงเลี้ยว ส่วนการขับเคลื่อนล้อจะใช้มอเตอร์จำนวน 4 ตัว เพื่อให้ล้อแต่ละล้อหมุนในทิศทางซึ่งเป็นอิสระต่อกัน โดยควบคุมทิศทาง ความเร็วผ่านวงจรควบคุมมอเตอร์ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมในส่วนของการติดตามเป้าหมาย (ตัวส่ง) ซึ่งตัวส่งนั้นจะเป็นลักษณะของการส่งแสงอินฟราเรดออกจากตัวส่ง โดยที่ตัวรถจะมีแผ่นงานที่ติดตั้งอยู่กับสเตปมอเตอร์หมุนหาทิศทางของที่มาของสัญญาณจากตัวส่งเมื่องานหาทิศทางของตัวส่งเจอแล้วก็จะทำการหมุนรถไปยังทิศทางดังกล่าว แล้วเคลื่อนที่เข้าหาจนกว่าจะถึงระยะที่ต้องการจึงหยุด และเมื่อเป้าหมายเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ รถก็จะทำการสแกน (Scan) หาทิศทาง และทำตามขั้นตอนดังกล่าวอีกครั้ง และที่ตัวรถจะมี ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางป้องกันการชน ซึ่งมีอยู่ 2 ชุดคือซ้าย-ขวา และเมื่อตัวตรวจจับชุดใดตรวจเจอสิ่งกีดขวางแล้ว ก็จะเคลื่อนหลบหลีกไปในทิศทางตรงกันข้ามจนกว่าจะพ้น แล้วทำการเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้า ซึ่งระบบตรวจจับในโครงการจะใช้ตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด ซึ่งมีลักษณะการ รับส่งแตกต่างกันไปในแต่ละวงจร เพื่อไม่ให้แสงอินฟราเรดรบกวนซึ่งกันและกัน รายละเอียดจะกล่าวไว้ในปริิญาานิพนธ์

บทที่ 2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.1 ประวัติไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

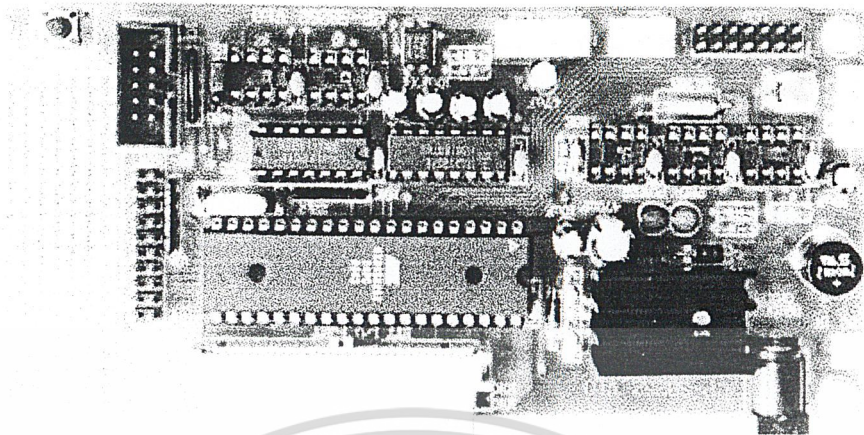
ชิปไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูลนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อใช้ในงานควบคุม ดังนั้นจึงมีวงจรพื้นฐานที่จำเป็นรวมอยู่ภายในชิปแล้ว ทำให้สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูลนี้ จึงเรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

นับตั้งแต่บริษัท INTEL ได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-48 ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปมากแต่ทางบริษัท INTEL ก็ไม่ได้หยุดการพัฒนาไว้เพียงเท่านั้น วิศวกรของบริษัท INTEL ยังได้พยายามหาทางปรับปรุงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่ออกมา เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดบางอย่างที่มีอยู่ในตระกูล MCS-48 และเพื่อประยุกต์ใช้ให้ทันกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จึงได้ถูกผลิตขึ้นมา โดยการเพิ่มคุณสมบัติที่ต่างจากตัว MCS-48 ด้วยเหตุนี้การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 มาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ จึงสามารถทำได้สะดวก และคล่องตัวกว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในขณะนี้คือ ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีความเร็วและประสิทธิภาพที่สูงพอที่จะควบคุมระบบตั้งแต่ขนาดเล็กๆ ไปจนถึงระบบขนาดใหญ่ที่ซับซ้อนมากขึ้น นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ยังมีสมาชิกอีกหลายเบอร์ที่ออกแบบไว้เพื่อจุดประสงค์เฉพาะอย่างโดยตรง เช่น มีระบบสื่อสารข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อใช้ควบคุมระบบที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง สามารถใช้ภาษาเบสิก เพื่อให้การเขียนโปรแกรมควบคุมทำได้สะดวกและง่ายขึ้น มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog) เป็นดิจิทัล (Digital) ในตัวเอง เพื่อใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอนาล็อก จึงเป็นผลทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ มากมายในปัจจุบัน

2.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252

นับตั้งแต่บริษัท INTEL ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ก็ได้ขายลิขสิทธิ์ให้แก่บริษัทต่าง ๆ หนึ่งในจำนวนนี้คือ ATMEL ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEL นั้นสามารถหาได้ง่ายในตลาดเมืองไทย



ภาพที่ 2.1 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT 89S8252

2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89S8252

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงาน ชนิดที่สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้จาก SPI Serial Interface
- มีหน่วยความจำชนิด FEDRAM จำนวน 2 กิโลไบต์
- ทำงานโดยใช้ความดัน 4 - 6 โวลต์
- สามารถใช้คริสตอลความถี่ตั้งแต่ 0 - 24 เมกะเฮิร์ต (MHz)
- สามารถถือ Program Memory ได้ 3 ระดับ
- มี RAM ภายใน 256 * 6 บิต
- มีพอร์ตที่สามารถรับและส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทางจำนวน 4 พอร์ต ๆ ละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต แยกจากกันทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต ใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิปหรือนับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิตจำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา (ในเบอร์ 8052 จะมี 3 ตัว)
- มี 9 Interrupt Source
- มี SPI Serial Interface
- มีโหมดประหยัดพลังงาน และ Power Down
- สามารถกลับมาทำงานยังโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ได้ ในระหว่างที่อยู่ในโหมด

Power Down

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มี Watchday Timer ซึ่งสามารถโปรแกรมได้โดย Watchday Timer ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดความผิดพลาดในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีดาต้าพอยน์เตอร์ 2 ตัว
- มี Power Off Flag
- ใช้โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 (Upwardly Compatible)

2.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรม และข้อมูลภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในตัวเอง สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA (Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์ สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์เพิ่มขึ้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับได้ว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่เบอร์ 8051, 8031, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือนเบอร์ 8051 ทุกอย่าง ต่างกันเพียงชนิดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปของเบอร์ 8751 จะเป็น EPROM แทนที่จะเป็น ROM ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051 ต่างกันเพียงในเบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเท่านั้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะใช้แรงดันไฟฟ้าเพียง 5 โวลต์ในการทำงาน ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ ในการผลิตเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ที่มีตัวอักษร C อยู่ตรงกลางเบอร์ เช่น 80C31, 80C51 จะเป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่าและสามารถควบคุมการใช้พลังงานของตัวชิปได้จากโปรแกรมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบ

MCS-51 เป็นตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากตระกูล MCS-48 ดังนั้นจึงมีความสามารถเหนือกว่าหลายอย่าง เช่น ความเร็วในการประมวลผลของ MCS-51 สามารถใช้ความถี่ได้ถึง 12 เมกะเฮิร์ตหรือสำหรับบางเบอร์ในตระกูลสามารถใช้ได้ถึง 16 เมกะเฮิร์ต ทำให้ช่วงเวลาในการทำงานแต่ละคำสั่งน้อยมาก เมื่อใช้ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ต คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดจะใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาทีส่วนคำสั่งที่ใช้เวลามากที่สุดจะใช้เวลา 4 ไมโครวินาทีเท่านั้น

2.4 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.2

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ (DC. 5 Volts.)
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32 - 39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0 - P0.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหนดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอย (High Impedance Active) นอกจากนี้ใช้งานเป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และข้อมูลภายนอกชิปอีกด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และทำการมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรถูกปล่อยภายใน

- ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา สามารถใช้งานเป็นอินพุท หรือเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหนดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ High Impedance โดยมีวงจรถูกปล่อยภายใน

- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) ขนาด 8 บิตแบบ Open Drain Bidirection พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องโหนดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะ High Impedance นอกจากนี้จะใช้งานเป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วยโดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) และมีวงจรถูกปล่อยภายใน

- ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา สามารถใช้งานเป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้องโหนดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้โดยมีวงจรถูกปล่อยภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายอย่างดังนี้

- ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม
- ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม
- ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0
- ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุทเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1
- ขา P3.4 ใช้เป็นสัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0
- ขา P3.5 ใช้เป็นสัญญาณอินพุทให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท เซมิคอนดักเตอร์ เทคโนโลยี จำกัด (SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY CO., LTD.) หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก ชิพ การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิพเพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซ็ตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงาน หรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาดเมื่อต้องการรีเซ็ตชิพ MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 2 แมกซ์ซีไนซ์เกิดระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์ม เพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์(รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิพรีเซ็ตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด ครอบระหว่างขา RST กับ Vcc

- ขา ALE / PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรม หรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่ง ในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิพ นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 เมอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิพเป็น EPROM

- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบ (Strobe) เพื่ออ่านคำสั่งจาก โปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิพ (Program Strobe Enable) เมื่อชิพทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบ (Strobe) สองครั้งในแต่ละแมกซ์ซีไนซ์เกิด แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก หรือเมื่อใช้โปรแกรมโปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายในชิพจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิพ โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึง ให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิพได้ และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิพ สามารถเลือกให้ทำงานได้จากโปรแกรมที่เก็บในหน่วยความจำภายในชิพหรือจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิพ ด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิพ ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

- ขา XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรออสซิลเลเตอร์

- ขา XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรรออสซิลเลเตอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วนคือ

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

2.6 โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์

AT 89S8252 มีอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ทั้งหมด 6 ตัว โดยเป็นอินเทอร์รัปต์ภายนอก 2 ตัว (INT0 ,INT1) เป็นอินเทอร์รัปต์ Timer 3 ตัว (Timer0, 1 และ 2) และอินเทอร์รัปต์จากพอร์ตสื่อสารอนุกรม เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่ และเข้าไปทำงานที่โปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัปต์

MCS-51 สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และที่เกิดภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่ และเข้าไปทำงานโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ เราสามารถเลือกให้ชิพภายใน MCS-51 ถูกอินเทอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

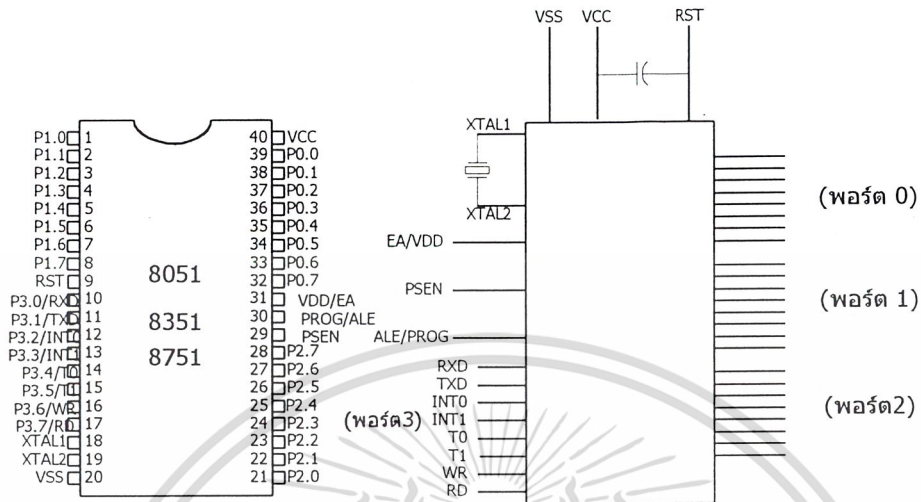
2.7 โครงสร้างพอร์ต

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต (P0,P1,P2,P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ต นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต หรือเอาต์พุทพอร์ตได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

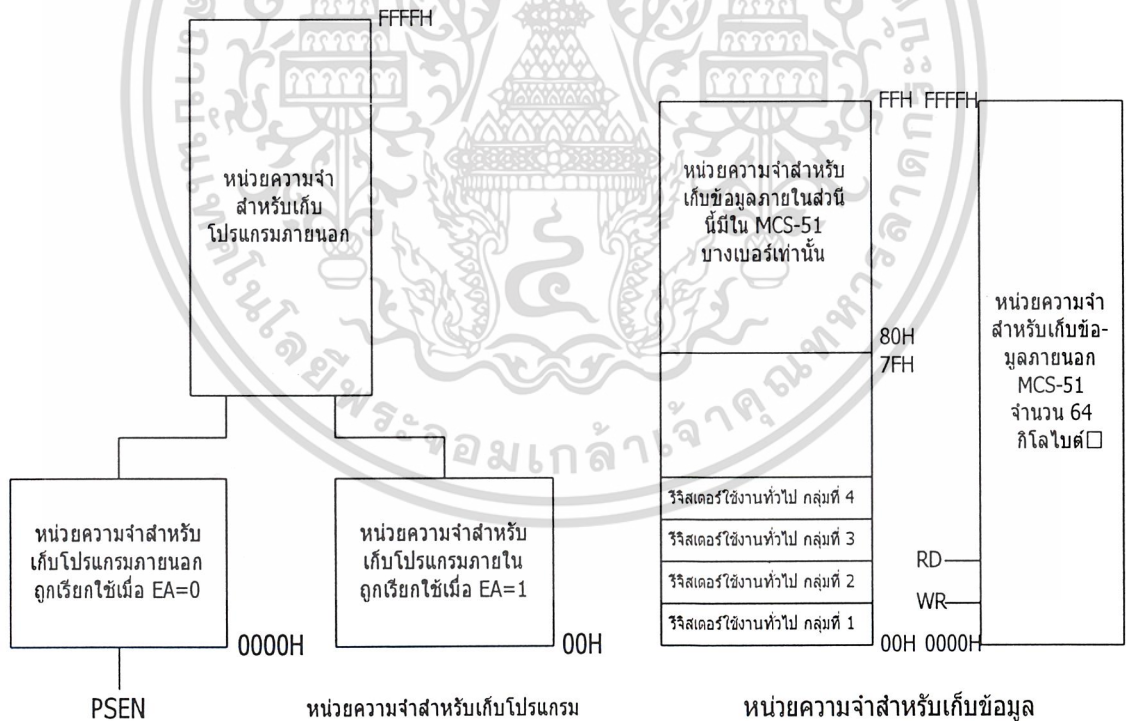
ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับเก็บโปรแกรม พอร์ต 0 จะถูกกำหนดให้การใช้งานเป็นดาต้าบัส และแอดเดรสบัสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์สูง และบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูล) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสบัสไบต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้ทั้งหมด แต่พอร์ต 0 จะถูกใช้ทั้งหมด 8 เส้น เพราะต้องใช้เป็น

เอกสารค่าบัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่ราคา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง)



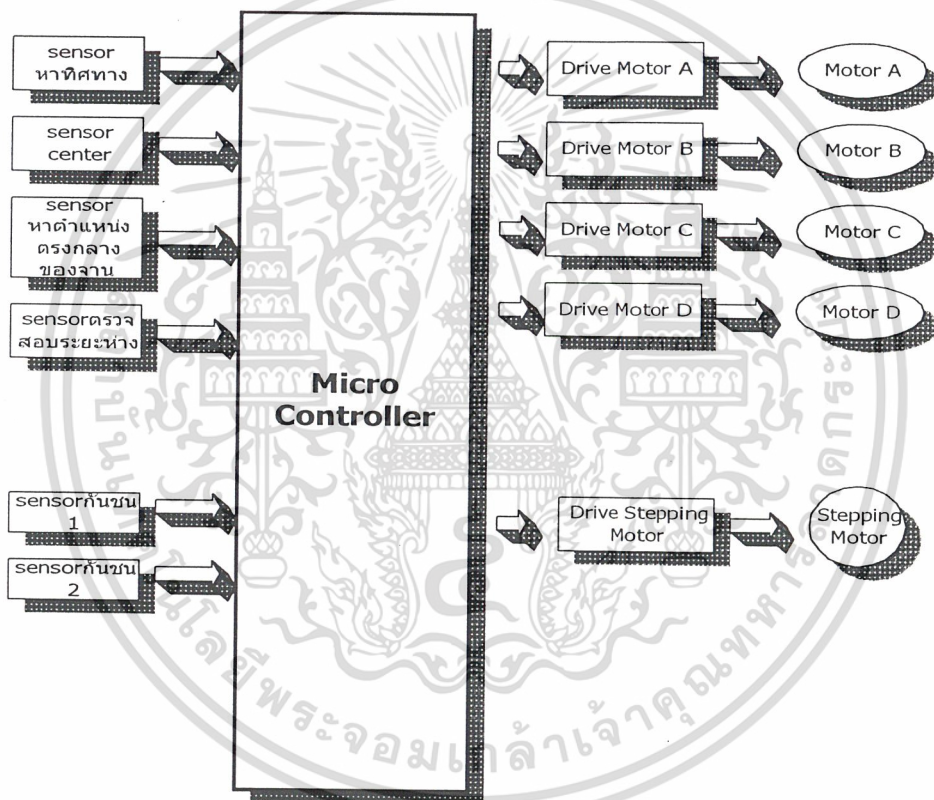
ภาพที่ 2.2 แสดงตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51



ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดใน MCS-51

ดังนั้นในการออกแบบระบบ หากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใดก็จะมีข้อกำหนดทำให้เหลือจำนวนพอร์ตที่จะนำมาใช้งานลดลง. ในการออกแบบจริงจึงต้องพยายามลดขนาดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด พอร์ต 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิต นอกจากจะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูล ในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ (INT0, INT1) สัญญาณอินพุตที่ต้องการนับสำหรับเคาน์เตอร์ (T0,T1) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD, TXD) อีกด้วย ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุต หรือเอาต์พุต ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุต หรือเอาต์พุตพอร์ตได้อย่างอิสระโดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรมซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่ง และเป็นเอาต์พุตในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้



ภาพที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7.1 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ แต่อย่างใด ในด้านอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (Baud Rate) มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110, 1.2K, 2.4K, 4.8K, 9.6K, 19.2K, 375K ตามมาตรฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่าง

ได้ถึง 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมในแต่ละงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ (Timer/ Counter)

2.8.1 ไทเมอร์ : ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทเมอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มค่าทุกๆ แมกซ์ซินไซเกิล ดังนั้นจึงสามารถคิดว่าเป็นไทเมอร์ ใช้รีจิสเตอร์เป็นตัวนับจำนวนแมกซ์ซินไซเกิลได้ และเนื่องจากใน 1 แมกซ์ซินไซเกิลใดๆ ของ MCS-51 ประกอบไปด้วย 12 คาบของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Period) ดังนั้นอัตราเร็วในการนับ (Count Rate) จึงมีค่าเป็น 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้

2.8.2 เคาน์เตอร์ : ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นเคาน์เตอร์ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะซึ่งตรวจจับได้จากขา T0, T1 หรือ T2 ขึ้นกับรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานเป็นเคาน์เตอร์ ในขณะนั้น การตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะจะตรวจเฉพาะในขณะที่สัญญาณมีการเปลี่ยนค่าจาก 1 เป็น 0 (1 to 0 Transition) โดยมีรายละเอียดในการตรวจสอบสัญญาณดังนี้

MCS-51 จะตรวจสอบสถานะสัญญาณที่ขา T0, T1 หรือ T2 โดยการตรวจสอบจะเกิดขึ้นในระหว่างสแตท 5 เฟส 2 ของแต่ละแมกซ์ซินไซเกิล รายละเอียดในการตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะสัญญาณที่แต่ละขาจะมีลักษณะที่เหมือนกันดังนี้

เมื่อขา T0, T1 หรือ T2 มีสถานะสัญญาณเป็น 1 ในขณะสแตท 5 เฟส 2 ของแมกซ์ซินไซเกิลใดๆ และที่สแตท 5 เฟส 2 ของแมกซ์ซินไซเกิลถัดไป หากสัญญาณที่ขา T0, T1 หรือ T2 มีค่าเปลี่ยนเป็น 0 จะทำให้รีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานเป็นเคาน์เตอร์ที่ถูกเพิ่มค่าขึ้นอีก 1 ในช่วงสแตท 3 เฟส 1 ของแมกซ์ซินไซเกิลที่ถัดจากไซเกิลซึ่งตรวจพบการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณ ดังนั้น MCS-51 จำเป็นจะต้องใช้เวลา 2 แมกซ์ซินไซเกิล (24 คาบสัญญาณออสซิลเลเตอร์) เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนสถานะสัญญาณจาก 1 เป็น 0 ที่ขา T0, T1 หรือ T2 จึงทำให้อัตราการนับสูงสุดของเคาน์เตอร์ใน MCS-51 ถูกจำกัดความถี่ของสัญญาณไว้ที่ 1/24 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่อง Duty cycle (อัตราส่วนของช่วงเวลาที่สัญญาณมีค่าเป็น 1 ต่อคาบเวลาของสัญญาณ) ของสัญญาณ แต่เพื่อให้มั่นใจว่าสถานะสัญญาณจะถูกตรวจสอบเข้ามาอย่างน้อย 1 ครั้ง ก่อนที่จะเปลี่ยนระดับจึงสมควรให้สถานะสัญญาณคงค่า 0 หรือ 1 อย่างน้อย 1 แมกซ์ซินไซเกิลเต็ม

นอกจากจะสามารถเลือกการทำงานของรีจิสเตอร์ให้เป็นไทเมอร์ หรือเคาน์เตอร์ได้แล้ว ในแต่ละการทำงานเป็นไทเมอร์หรือเคาน์เตอร์ของไทเมอร์ 0 หรือไทเมอร์ 1 ก็ยังมีการทำงานที่แยกย่อยลงไปอีกถึง 4 แบบ (โหมด 0, 1, 2 และ 3) ตามความเหมาะสมของการใช้งาน (ไทเมอร์ 0 และไทเมอร์ 1 มีให้เลือก 4 แบบ แต่ไทเมอร์ 2 มีให้เลือกเพียง 3 แบบ)

บทที่ 3

ระบบขับเคลื่อน (Drive System)

3.1 สเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเตปปีงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้าที่มีอินพุทเป็นกลุ่มของไบนารีโรเตจ และเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม หรือมุมไปตามสเตป (แต่ละสเตปอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 90 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสเตปปีงมอเตอร์) ตามสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับขดสเตเตอร์จึงจะเกิดแรงผลักดันต่อโรเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนไป แต่ลักษณะของสเตปปีงมอเตอร์จะมีขดของสเตเตอร์อยู่หลายขดซึ่งเรียกว่า “เฟส” นั้นเมื่อป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ในลักษณะซีแควนของเลขไบนารีโดยผ่านวงจรวอร์เตอร์ (Driver) จะทำให้โรเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่อง

3.1.1 คุณสมบัติของสเตปปีงมอเตอร์

ในระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้สเตปปีงมอเตอร์นั้น มีข้อดีอยู่หลายประการคือ

1. เป็นลักษณะการควบคุมแบบไม่ต้องการการป้อนกลับ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว
2. ความผิดพลาดเกี่ยวกับตำแหน่งแทบไม่มีเลย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสเตปปีงนั้นเคลื่อนที่เป็น สเตปด้วยจำนวนองศาที่แน่นอน
3. สเตปปีงมอเตอร์จะถูกนำมาใช้กับเครื่องมือที่ต้องการความละเอียดแม่นยำ และใช้อยู่ในเครื่องมือประเภทดิจิทัล เช่น เครื่องวาดรูป เครื่องคอมพิวเตอร์นิวเมอริคัลคอนโทรล (Computer Numerical Control) หรือ CNC
4. ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก เมื่ออินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์
5. สเตปปีงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล ไปเป็นการเคลื่อนที่ทางกล ดังนั้นการติดต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลก็เป็นไปโดยง่าย และวงจรมอเตอร์กำลังจากสัญญาณดิจิทัล (Digital Power Amplifier) ที่ใช้ก็มีราคาถูกกว่าวงจรมอเตอร์กำลังเชิงเส้น (Linear Power Amplifier) อีกด้วย
6. การออกแบบวงจรมอเตอร์สเตปปีงมอเตอร์ สามารถทำได้ง่ายกว่าวงจรมอเตอร์แบบเซอร์โว และยังสามารถออกแบบวงจรในสเตปปีงมอเตอร์ทำงานหรือหยุดได้แบบทันทีทันใด

3.1.2 โหมดการทำงานของสเตปปีงมอเตอร์

ถ้าจะแบ่งโหมดการทำงานของสเตปปีงมอเตอร์ ตามอัตราเร็วของสเตป จะแบ่งออกได้เป็น

2 โหมด คือหมุนเป็นสเตป (Discrete Stepping Mode) และหมุนเป็นแบบต่อเนื่อง (Slewing Mode)

โดยถ้าการหมุนเป็นแบบสเตป และมีเวลาหยุดนิ่งก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสเตปต่อไป ก็จะเรียกการ

ทำงานในโหมดนี้ว่าการหมุนเป็นสเตป สำหรับตัวอย่างของเครื่องใช้ที่ทำงานในโหมดนี้คือ เครื่องเจาะบัตร์ การทำงานต่างๆ ก็คือสเตปปีงมอเตอร์ จะเป็นตัวส่งแถบกระดาษเข้าไปยังเครื่องปรุกระดาษ เพื่อบันทึกข้อมูลลงในแถบกระดาษซึ่งการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์จะหมุนไป แล้วหยุดชั่วขณะเพื่อประกระดาษให้เรียบร้อยก่อน แล้วจึงค่อยหมุนต่อไปยังตำแหน่งเจาะใหญ่

ถ้าเพิ่มอัตราเร็วในแต่ละสเตปให้เร็วขึ้น และเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดนิ่ง จะเรียกกำหนดการทำงานนี้ว่า การหมุนแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์ กับ อัตราเร็วของสเตป และจำนวนสเตปทั้งหมดได้ดังสมการ

$$N = 60 (f / S)$$

3.1.3 โหมดการกระตุ้นเฟส (Modes of Excitation)

การใช้งานสเตปปีงมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องจ่ายพัลส์เป็นสำคัญอย่างต่อเนื่อง วิธีการกระตุ้นเฟสมีหลายอย่างดังนี้

1. การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (Single - Phase Excitation)

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสเดียวสำหรับมอเตอร์แบบ 3 และ 4 เฟส จากตารางที่ 3.1 เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาสามารถทำได้โดยกระตุ้นเฟส ph1 - ph2 - ph3 ตามลำดับ ในทางกลับกันถ้าต้องการทวนเข็มนาฬิกากระตุ้น ph3 - ph4 - ph1 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน การกระตุ้นลักษณะนี้เป็นลักษณะ “ONE PHASE ONE DRIVE”

2. การกระตุ้นแบบเฟสคู่ (Two - Phase Excitation)

ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่สำหรับมอเตอร์แบบ 3 และแบบ 4 เฟส จากตารางพบว่า ph2 Off และ ph1 On จะพบว่า ph3 จะคงถูกกระตุ้นอยู่

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสเดียว

(1) Three - Phase Motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	*			*			*		
Phase 2		*			*			*	
Phase 3			*			*			*

(2) Four – Phase Motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	*				*				*
Phase 2		*				*			
Phase 3			*				*		
Phase 4				*				*	

ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบเฟสคู่

(1) Three – Phase Motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	*	*		*	*		*	*	
Phase 2		*	*		*	*		*	*
Phase 3	*		*	*		*	*		*

(2) Four – Phase Motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	*	*			*	*			*
Phase 2		*	*			*	*		
Phase 3			*	*			*	*	
Phase 4	*			*	*			*	*

3. การกระตุ้นแบบครึ่งสเตป (Half - Step Mode)

เป็นการรวมรูปแบบการกระตุ้นระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดียวและเฟสคู่ ในตารางที่ 3.3 เป็นการแสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป การกระตุ้นจะต้องจ่ายสัญญาณนาฬิกา 2 สเตป คือ A,b โดยที่ A จะจ่ายลักษณะกระตุ้นเฟสเดียว และ B เป็นการจ่าย Clock ในลักษณะกระตุ้นแบบเฟสคู่

4. Two-Phase-On Drive of Bifilerwound Three Phase VR Motor

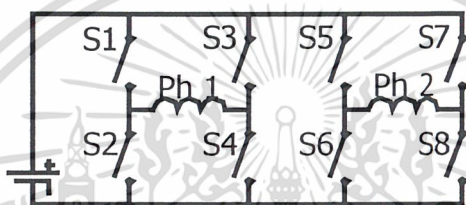
ความต้องการสำคัญในการออกแบบมอเตอร์คือ ต้องการให้ขนาดของเครื่องจักรเล็ก และถ้าเป็นไปได้จะต้องมีความสามารถพิเศษ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการกระตุ้นแบบนี้ขึ้น ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้คือ แรงบิดของเครื่องจักรจะดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การกระตุ้นด้วยวงจรถัด

วงจรแบบบริดจ์เป็นวงจรสำหรับขับมอเตอร์ใน Bipolar Mode ลักษณะการกระตุ้นวงจรตามลำดับ และวงจรที่พบในขดลวดแต่ละขด จะนำกระแสกลับอย่างสม่ำเสมอซึ่งลักษณะนี้จะปรับปรุง 25-30% ของแรงบิดต่อหน่วยของ I/P ซึ่งเป็นไปได้เมื่อใช้กับการไครฟ์ไปโพลาร์ ลักษณะของโวลต์เตจที่ป้อนให้วงจร Bipolar Drive

มันเป็นไปได้ที่จะจัดให้สเตปธรรมชาติ ในรูปของสเตปเล็กๆ หลายๆ สเตป ในความหมายทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Ministep หรือ Microstep Drive ซึ่งจะพบว่าถูกใช้ใน Hybrid Stepping Motor บ่อยๆ แนวความคิดนี้มาจาก Sinusoidal Bipolar ของไฮบริด มอเตอร์ซึ่งคล้ายการชิงโครนัสมอเตอร์



ภาพที่ 3.1 แสดงวงจร Bridge Drive สำหรับสเตปมอเตอร์ 2 เฟส

ตารางที่ 3.3 แสดงลำดับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป

Excitation Sequence In The Half-Step Operation (Three-Phase Motor)

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(A)										
(B)										
Phase 1	*	*			*	*	*			
Phase 2		*	*	*				*	*	*
Phase 3				*	*	*			*	*

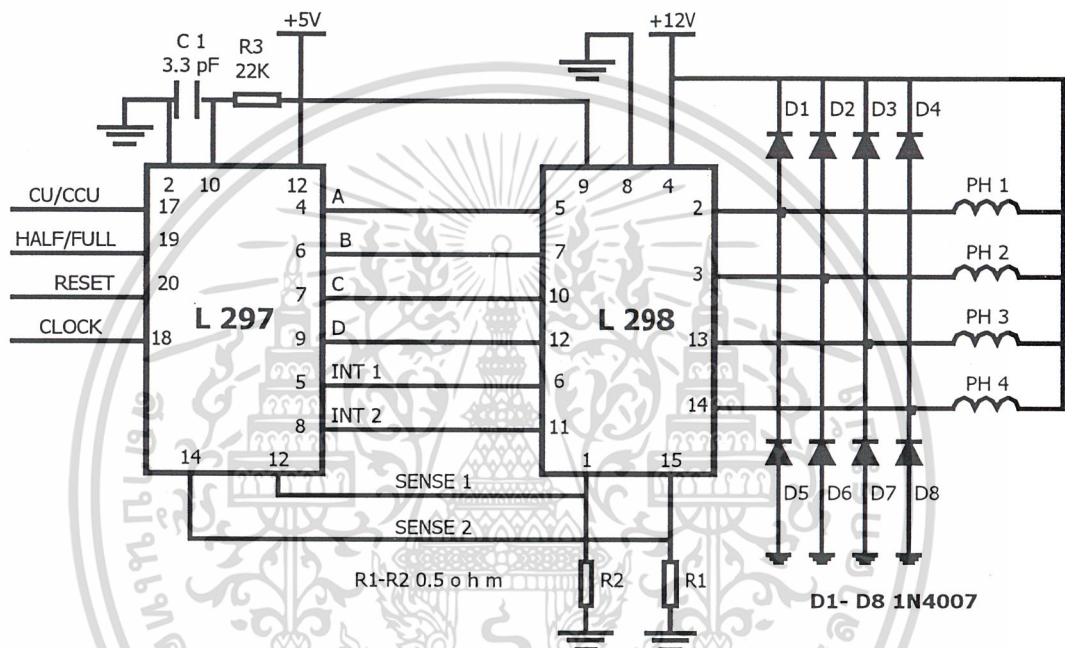
3.1.4 หลักการทำงานของวงจรถัดสเตปมอเตอร์

จากรูปที่ 3.2 เป็นวงจรถัดสเตปมอเตอร์ โดยใช้ไอซี L297 และ L298 โดยไอซี เบอร์ L297 จะเป็นตัวรับสัญญาณ Clock กล่าวคือจะเป็นสัญญาณควบคุมระดับความเร็วของมอเตอร์ และสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปตามทิศทางต่างๆ ได้ด้วยขา 17 (CW/CCW) และปรับระดับความเร็วของมอเตอร์ได้ด้วยขา 19 (HALF/FULL) โดยในการควบคุมขาอินพุตทั้งสองนี้ จะใช้ระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอจิก “0” และ “1” เป็นตัวควบคุม กล่าวคือเมื่อระดับแรงดันที่ขา 17 เป็น “1” มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา และเมื่อเป็น “0” มอเตอร์จะหมุนเร็ว และเมื่อเป็น “1” มอเตอร์จะหมุนช้าลงครึ่งหนึ่ง เพราะเป็นการไคร์ฟแบบเฟสคู่ แต่จะทำให้มอเตอร์มีแรงขับมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้มอเตอร์หยุดหมุนได้โดยป้อนลอจิก “0” เข้าที่ขา 20 ของไอซีเบอร์ L297 (ขาริเซต)

ส่วนไอซี เบอร์ L298 เป็นไอซี ที่ทำหน้าที่ขับกระแสสัญญาณที่ได้จาก A, B, C และ D ของ ไอซีเบอร์ L297 เพื่อให้กระแสเพียงพอที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ ส่วนไดโอด D1 ถึง D8 ทำหน้าที่ป้องกันการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับซึ่งอาจทำให้ไอซีเสียหายได้



ภาพที่ 3.2 แสดงวงจรขับสเตปปีงมอเตอร์

3.2 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (DC Machines)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงกับพลังงานกล โดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนตัวหมุน เมื่อเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator or Dynamo) และถ้าเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานกล เรียกว่ามอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซี่คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กับแปรงถ่าน (Carbon Brush) ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกจากตัวเครื่องจักร จึงเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงแต่เมื่อตัดคาไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าสูงกว่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายใน จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากภายนอกเข้าสู่ตัวเครื่องจักร ซึ่งซี่คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายในขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ก็จะมีกระแสตรงไหลเข้าทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง จะสามารถนำมาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือนำมาเป็นมอเตอร์ก็ได้ จุดเด่นของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง คือ ทำงานอยู่ในตำแหน่งที่มุมระหว่างสนามแม่เหล็ก จากขั้วแม่เหล็ก กับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมเท่ากับ 90 องศา ซึ่งเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปไม่สามารถทำงานที่ตำแหน่งนี้ได้ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง

3.2.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เปลือกนอก (Yoke Frame) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่ พร้อมทั้งเป็นวงจรมแม่เหล็กเชื่อมต่อกันระหว่างขั้วแม่เหล็ก นอกจากนี้เปลือกนอกรยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้งเครื่องจักรรวมถึงเป็นเบ้ายึดลูกปืน (Bearing) สำหรับเพลลาของตัวหมุนการทำเปลือกนอกทำได้โดยการขึ้นรูปโดยการหล่อเหล็กหรือใช้วิธีม้วนเหล็กแผ่นแล้วเชื่อมเป็นวง

2. ขั้วแม่เหล็ก (Pole) เป็นส่วนที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเมื่อหมุนตัวหมุนหรือเกิดแรงบิด เมื่อมีกระแสไหลในอาร์เมเจอร์โดยที่ขั้วแม่เหล็กประกอบไปด้วยแกนขั้วแม่เหล็ก (Pole Core) และขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil)

3. อาร์เมเจอร์ (Armature) เป็นส่วนที่เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และเกิดแรงบิด จากสนามแม่เหล็กโดยจะประกอบด้วยแกนของอาร์เมเจอร์ เป็นแผ่นเหล็กบางๆ (Laminate) วางเรียงซ้อนกัน เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) บนแกนของอาร์เมเจอร์จะมีร่องไว้สำหรับพันขดลวดเรียกว่าร่องสลอต (Slot) โดยร่องนี้จะมีไว้สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

4. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นแท่งตัวนำโดยปกติใช้แท่งทองแดง วางเรียงกันและมีฉนวนกั้นกลาง เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างแท่งทองแดงตัวคอมมิวเตเตอร์ จะใช้เป็นจุดต่อระหว่างขดลวดอาร์เมเจอร์ และมีแปรงถ่านมากดบนคอมมิวเตเตอร์ เพื่อป้อนไฟเข้าไปในอาร์เมเจอร์หรือจ่ายไฟฟ้าออกจากอาร์เมเจอร์ ดังนั้นคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาทำซีคอมมิวเตเตอร์ต้องเป็นตัวนำที่ดีมีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำเป็นตัวนำความร้อน และมีความสึกกร่อนจากการเสียดสีน้อย หรือไม่สึกกร่อนเลยยิ่งดี

5. แปรงถ่าน (Carbon brush) เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่ต่อวงจรระหว่างจุดที่หยุดนิ่งกับส่วนที่เป็นคอมมิวเตเตอร์ ตัวแปรงถ่านจะมีส่วนที่เป็นกราไฟต์ (Graphite) และส่วนที่เป็นสายทองแดงถักเพื่อใช้ต่อกับวงจรไฟฟ้าได้ ช่องยึดแปรงถ่าน เป็นตัวยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ คุณสมบัติของแปรงถ่านต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำ และต้องไม่แข็งจนเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายที่ซีคอมมิวเตเตอร์ สองคุณลักษณะประจำของมอเตอร์ (Motor Characteristics) คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ ก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ที่มอเตอร์ได้ส่งออกไปและได้รับเข้าไป ซึ่งมีทั้งปริมาณทางไฟฟ้า และปริมาณทางกล



ภาพที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมดีซีมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

แรงบิดและกระแสอาร์เมเจอร์

คือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง “แรงบิดกับกระแส” นั่นเอง (T/I_a) คุณลักษณะชนิดนี้ รู้จักกันในรูปของ คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical Characteristic)

ความเร็วและกระแสอาร์เมเจอร์

คือความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ นั่นคือ คุณลักษณะของ S/I_a

ความเร็วและแรงบิด

คือการแสดงความสัมพันธ์โดยใช้เส้นกราฟระหว่างความเร็วกับแรงบิด (S/T) คุณลักษณะ เช่นนี้เรียกว่า “คุณลักษณะทางกล (Mechanical Characteristic)”

3.2.2 คุณลักษณะประจำของมอเตอร์แบบขนาน (Characteristic of Shunt Motor) มีคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้

1. คุณลักษณะระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์เมเจอร์ I_a

ในการพิจารณาคูณลักษณะเช่นนี้จะกำหนดให้ว่า ϕ เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ที่เกิดจาก สนามกระตุ้นมีค่าคงที่ตลอดไป แม้ว่าเมื่อมอเตอร์ได้รับภาระมากจะทำให้ ϕ ลดลงไปที่ตาม นั่นคือ ให้ ϕ เป็นค่าคงที่ทุกๆ ภาระที่มอเตอร์ได้รับ ดังนั้นในกรณีที่เป็นมอเตอร์แบบขนานจึงได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ I_a คือ $T \propto \phi I_a$ นั่นคือเมื่อพล็อตกราฟ ระหว่าง T กับ I_a จึงได้กราฟ เป็นเส้นตรงโดยเริ่มต้นจากค่าศูนย์ด้วยกันทั้งคู่ เส้นกราฟที่ได้นี้เป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้น (Origin) แรงบิด T_{sh} ที่เกิดที่แกน (Shaft) ของมอเตอร์เมื่อส่งออกมายังภายนอกนั้นจึงต้องมีค่าน้อยกว่าแรงบิด ที่เกิดขึ้น T_{in} ที่ค่ากระแส I_a เดียวกัน การที่ T_{sh} น้อยกว่า T_{in} ที่ค่ากระแสเดียวกันนี้ เนื่องจากว่าต้อง สูญเสียแรงบิดจำนวนหนึ่งไป เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่แกนได้รับค่าแรงเสียดทานนี้ถือว่าคงที่ ตลอดไป ดังนั้นเส้นกราฟของ T_{sh} จึงมีความชันเท่ากับเส้นกราฟของ T_{in} จากรูปนี้พบว่าเราไม่อาจใช้

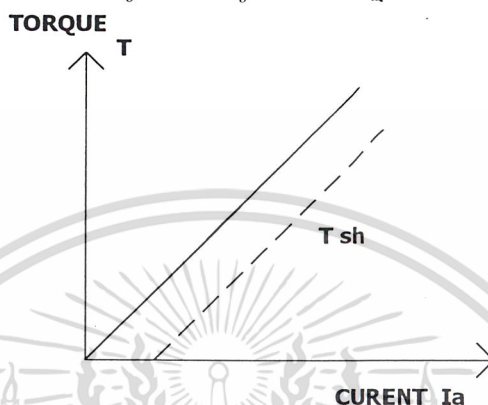
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shunt Motor สตาร์ทในขณะที่มีโหลดหนักๆ ได้ เพราะการทำเช่นนั้นนั้นยอมทำให้มอเตอร์ดึงกระแสจำนวนมากเข้าไปใช้ด้วย นั่นคือ shunt motor จะไม่ใช้ในการสตาร์ทโหลดที่หนัก ๆ

2.คุณลักษณะระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์เมเจอร์ I_a

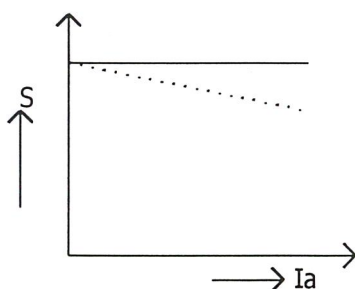
ในการพิจารณากรณีนี้ก็ยังคงให้ ϕ คงที่ตลอดไป นั่นคือจะได้ค่าความเร็ว S เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสวนกลับ E_b ($S \propto E_b$) ในทางปฏิบัติแล้ว มักให้ความเร็วที่ใช้งานกับ



ภาพที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์แบบขนาน

โหลดมีค่าคงที่ นั่นคือ E_b ต้องคงที่ด้วย แต่การลดของ E_b นี้ลดลงไปมากกว่าการลดของ ϕ ฉะนั้นเมื่อรวมผลทั้งหมดที่เกิดขึ้นแล้วความเร็วยอมลดลงไป (E_b ลดไปเป็นอัตราส่วนมากกว่า ϕ)

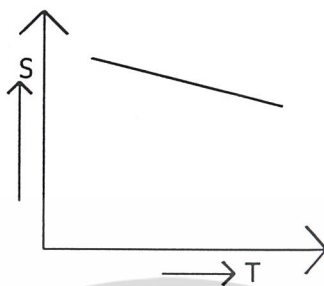
เนื่องจากมอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor) นี้ไม่มีการเปลี่ยนหรือลดความเร็วไปมากนักจากเมื่อตอนมีภาระถึงตอนที่มีการเติมที่ ดังนั้นจึงต่อเข้าหรือตัดออกได้จากภาระโดยทันทีทันใดได้โดยไม่ต้องเกรงว่าจะมีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตราย อย่างไรก็ตามมอเตอร์แบบนี้ให้แรงบิดเริ่มแรกต่ำ (Low Starting Torque) ฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้โหลดที่ต้องการแรงบิดเริ่มแรกสูง แต่เนื่องจากว่าเป็นมอเตอร์แบบที่มีความเร็วค่อนข้างจะคงที่มาก ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อนของเครื่องกลึง, Machine Tools, Wood-Working Machines และเครื่องจักรชนิดต่างๆ ที่ต้องการความเร็วคงที่โดยประมาณ



ภาพที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์แบบขนานด้านการค้า เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขออภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.คุณลักษณะประจำของเครื่องระหว่างความเร็ว S กับแรงบิด T

อาศัยหลักการที่ได้ในข้อ 1 และ 2 ข้างบนนั่นเอง จากข้อ 1. ทราบว่าแรงบิด T เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_a ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่าง S กับ T



ภาพที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แบบขนาน

3.2.3 คุณลักษณะประจำมอเตอร์ชนิดอนุกรม (Characteristic of Series Motors)

เป็นคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ในเรื่องของแรงบิด T กระแสในอาร์เมเจอร์ I_a และความเร็ว S ของมอเตอร์ชนิดนี้เช่นกัน โดยแบ่งการพิจารณาความสัมพันธ์แต่ละอย่าง ได้ดังนี้

1. คุณลักษณะประจำระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์เมเจอร์ I_a

ในการพิจารณานี้สามารถพิจารณาได้จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด T กับกระแส I_a จากสมการที่ได้พิสูจน์มาแล้วในตอนต้นนั้นคือ

$$T \propto \phi I_a$$

และ $\phi \propto I_a$

$$T \propto I_a^2$$

นั่นคือ T/I_a กราฟจะเป็นพาราโบลา ฉะนั้นขณะที่โหลดน้อย I_a ก็น้อย และ ϕ ก็จะน้อย และเมื่อโหลดมากขึ้นจะได้แรงบิด T เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนกับกระแสอาร์เมเจอร์กำลังสอง แต่เมื่อโหลดเพิ่มมากขึ้นจนทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวแล้วก็จะพบว่าแรงบิดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่เพิ่มขึ้น ($T \propto I_a$) เพียงอย่างเดียว นั่นคือได้เส้นกราฟระหว่าง T กับ I_a เป็นเส้นตรง ส่วนแรงบิดที่จ่ายออกมาที่แกน ($T_{sh} = \text{Shaft Torque}$) นั้นมีค่าน้อยกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้น T เพราะมีการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน แรงลมและค่าสูญเสียที่คงที่อื่นๆ อีกค่าสูญเสียเหล่านี้คือ “Stray Losses” แรงบิด T_{sh} นี้แสดงไว้ในรูปด้วยเส้นประแล้ว

จากคุณลักษณะระหว่างแรงบิด T กับกระแสอาร์เมเจอร์ I_a ที่กล่าวมาแล้วจากข้างบนนี้จึงสรุปได้ว่า มอเตอร์แบบอนุกรมนี้เหมาะสำหรับที่จะจุดโหลดเริ่มแรกที่มีโหลดหนักๆ ได้ (ในขณะที่ยังไม่มีการอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก) ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้กับโหลดหนักในขณะเริ่มแรก เช่น ปั่นจัน (Hoist) รถไฟฟ้า (Electric Trains) และอื่นๆ

2. คุณลักษณะประจำระหว่างความเร็ว S กับกระแสอาร์เมเจอร์ I_a ของมอเตอร์อนุกรม

เป็นการศึกษาเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว S กับกระแสที่อาร์เมเจอร์ I_a ได้รับความเร็วเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบนี้ เพื่อนำไปใช้งานนั่นเอง อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะเช่นนี้ สามารถได้จากความสัมพันธ์ของสมการคือ $S \propto E_b/\phi$ จากสมการพบว่าความเร็ว S เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนสวนกลับ E_b แต่ E_b นี้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากไม่ว่าที่ค่าภาระทางกลใดๆ ก็ตามและพบว่าความเร็ว S แปรผกผันกับเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ แต่เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ นี้แปรผันโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ I_a นั่นคือ ความเร็วแปรผกผันกับกระแสอาร์เมเจอร์ ฉะนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด จึงทำให้ความเร็ว S มีการแปรผกผันกับ ϕ มากกว่า E_b มาก นั่นคือ S แปรผกผันกับ I_a โดยตรงนั่นเอง

เมื่อมีโหลดมากๆ จะทำให้มอเตอร์ต้องใช้กระแส I_a มากๆ ด้วย ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์แบบนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว (ซึ่งทำให้ลด E_b ลงไปด้วยและนั่นก็คือ กระแสอาร์เมเจอร์ไหลเข้าไปในมอเตอร์มากขึ้น) แต่ในกรณีที่มอเตอร์มีโหลดน้อยๆ กระแสอาร์เมเจอร์ก็จะน้อยลงไปด้วย ดังนั้นความเร็ว ϕ ก็จะสูงขึ้นจนอาจเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ นั่นก็คือสำหรับมอเตอร์แบบอนุกรมนี้ต้องไม่สตาร์ท หรือให้เริ่มหมุนในขณะที่ไม่มีความเร็ว มิฉะนั้นแล้วจะทำให้มีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ได้ อันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้น ในที่นี้ควรสังเกตว่ามอเตอร์แบบนี้ เป็นมอเตอร์แบบที่มีความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่มอเตอร์ได้รับ

3. คุณลักษณะทางกลของเครื่อง (Mechanic Characteristic)

ความสัมพันธ์ในกรณีนี้อาศัยหลักเกณฑ์จากข้อ 1 และข้อ 2 ที่กล่าวมาแล้วข้างบน โดยที่พบว่า T เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_a^2 เมื่อตอนที่ ϕ ยังไม่อิ่มตัว แต่เมื่อ ϕ อิ่มตัวแล้วก็จะแปรผันโดยตรงกับ I_a เท่านั้น และยังพบได้จากข้อ 2 อีกว่าเมื่อความเร็วสูงๆ นั้นมีโหลดน้อย (I_a น้อย) ส่วนความเร็วต่ำโหลดมาก (I_a มาก) ดังนั้นจึงนับได้ว่าเมื่อความเร็วสูง มอเตอร์ก็ให้แรงบิดต่ำและในทำนองกลับกัน เมื่อความเร็วต่ำก็ให้แรงบิดสูง

3.2.4 คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบผสม (Characteristic of Compound Motor)

ลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบนี้คือการนำเอาคุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ทั้งสองแบบมาผสมกัน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมอเตอร์แบบผสมนี้แบ่งเป็น 2 แบบ โดยแบ่งตามลักษณะการต่อ Series Field เพิ่มเข้าไปให้กับมอเตอร์แบบขนาน ดังนี้

1. มอเตอร์แบบผสมชนิดสะสม (Cumulative Compound Motor)

มอเตอร์แบบนี้จุดต่อสนามอนุกรม (Series Field) เพิ่มเข้าไปโดยให้สนามแม่เหล็กที่ต่อเพิ่มเข้าไปนี้ไปช่วยเพิ่ม หรือเสริมกับสนามแม่เหล็กขนาน (Shunt Field) ของมอเตอร์แบบขนาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์แบบนี้ รวมคุณลักษณะของมอเตอร์ที่เป็นทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานเข้าด้วยกัน นั่นคือขณะที่มอเตอร์ได้รับโหลดสนามอนุกรมก็เพิ่มสนามแม่เหล็กขึ้น จึงทำให้เกิดแรงบิดมากขึ้นกว่าเมื่อเป็นมอเตอร์แบบขนานนั่นคือเมื่อเพิ่มเส้นแรงแม่เหล็กเข้าไปที่สนามแม่เหล็กก็ยอมทำให้ความเร็วลดลงอย่างรวดเร็วกว่าเมื่อเป็นแบบ Shunt Motor

มอเตอร์แบบนี้เกิดแรงบิดที่อาร์เมเจอร์สูงในขณะที่รับโหลดทันทีทันใด และยังมีความเร็วที่ค่าๆ หนึ่งในขณะที่ไม่มีโหลด นั่นคือเมื่อว่าจะไม่มีโหลด ก็ไม่ทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงเกินไปจนเกิดอันตรายได้ ในการนำมอเตอร์ชนิดนี้ไปใช้งานนั้นมักนำไปใช้กับการขับโหลดที่หนักๆ เช่น เครื่องโม่หิน เครื่องตัดเหล็ก (Shear) หรือเครื่องย้ำ (Punch) , เคน, ลิฟท์ (Elevator) เป็นต้น เครื่องจักรกลหนักต่างๆ เหล่านี้มักไม่สะดวกในการนำมอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) มาใช้ เพราะมอเตอร์อนุกรมนี้ต้องต่อกับโหลดตลอดเวลา ในการนำมอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมไปใช้กับลิฟท์นั้นมักจะทำการตัดวงจรขดสนามอนุกรมเมื่อมอเตอร์มีความเร็วถึงค่าที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วของลิฟท์การเคลื่อนที่ขึ้นลงมีความสม่ำเสมอ ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของมอเตอร์แบบนี้ก็คือสามารถปรับความเร็วของตัวเองให้ลดลงโดยอัตโนมัติในขณะที่ได้รับโหลดทันที ในการเพิ่มพลังงานกลสะสมของเครื่องแบบนี้ทำให้โดยการต่อลูกล้อเข้าไปซึ่งจะช่วยให้มีเสถียรภาพในการทำงานดีขึ้น

2. มอเตอร์แบบผสมชนิดที่มีสนามแตกต่าง (Differential - Compound)

อนุกรมหลักกับมอเตอร์ชนิดนี้ มีสนามอนุกรมสวนทางกับสนามขนาน ดังนั้นจึงทำให้สนามแม่เหล็กลดลงในขณะที่มอเตอร์ได้รับ โหลดเพิ่มขึ้น จากคุณลักษณะของมอเตอร์ที่ว่าเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นตามโหลดที่เพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้อัตราความเร็วที่เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนของโหลดมีค่าคงที่สอดคล้องกับการเพิ่ม โหลดนั้นๆ หรือกล่าวง่ายๆ ก็คือว่าเมื่อมอเตอร์ได้รับ โหลดมากขึ้นนั้น แทนที่จะมีความเร็วลดลงไปกลับกลายเป็นว่ามีความเร็วเพิ่มขึ้นเท่าเดิมตามที่โหลดเพิ่มขึ้น ดังนั้นมอเตอร์ชนิดนี้ จึงต้องการนำไปใช้กับโหลดที่ต้องการให้มีความเร็วคงที่หลายๆ ในขณะที่โหลดเพิ่มมากขึ้น แต่มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่ว่าเมื่อได้รับ โหลดมาก ไปยอมทำให้สนามแม่เหล็กอ่อนลงไปมาก นั่นคือความเร็วของมอเตอร์ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นๆ อย่างไม่มีเสถียรภาพ (Instability) และทำให้มอเตอร์วิ่งเกินเลยไป ซึ่งจะทำความเสียหายกับมอเตอร์ ในการทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนต้องทำการตัดวงจรสนามอนุกรม ทั้งนี้เพราะขณะเริ่มงานมอเตอร์กินกระแสไฟมาก

3.3 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

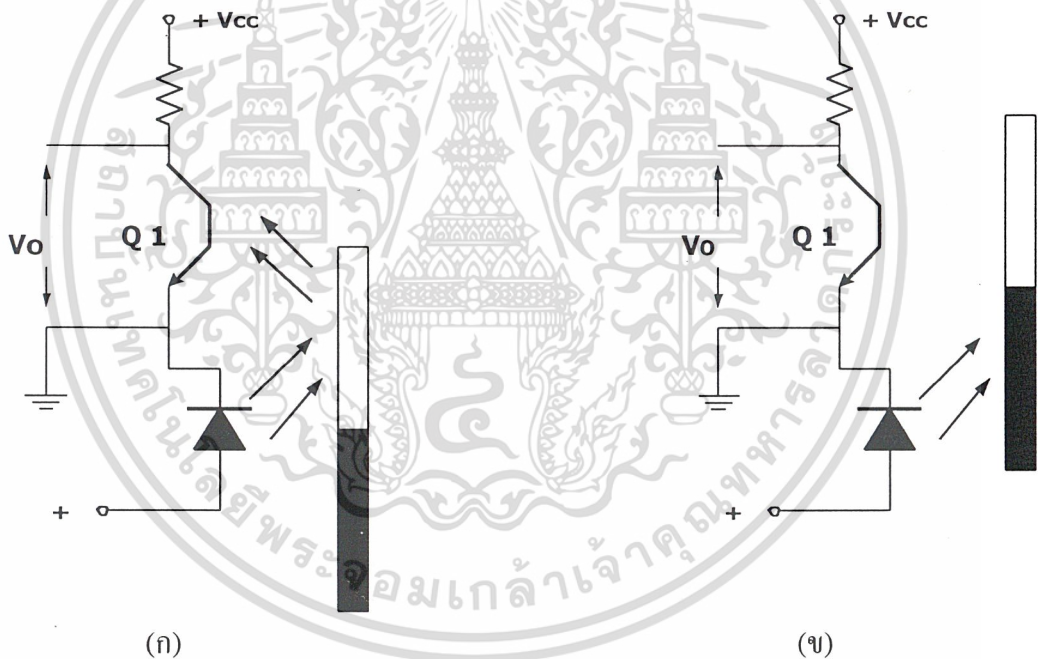
เป็นส่วนของวงจรที่ใช้ขับให้มอเตอร์หมุน โดยจะเป็นวงจรที่จ่ายกระแสและแรงดันให้กับมอเตอร์ โดยกระแสจะไหลผ่านมอเตอร์ได้สองทางคือ ผ่านทาง Q_4 และ Q_5 และผ่านทาง Q_3 และ Q_6 เมื่อทิศทางการไหลของกระแสต่างกันทำให้ทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะกลับข้างกัน

บทที่ 4

ตัวตรวจจับและภาครับ-ส่ง

4.1 ชุดเซนเซอร์ได้งานหมุน

เซนเซอร์ตัวนี้มีหน้าที่ตรวจสอบว่า ตำแหน่งหน้างานตรงกับตำแหน่งหน้าตัวรถหรือยัง โดยเซนเซอร์ตัวนี้เป็นเซนเซอร์แบบอินฟราเรด ที่ใช้ตรวจสอบว่าสีขาวหรือสีดำจะเป็นตัวรับและส่งแรงในตัวเอง ซึ่งวางอยู่ได้งานหมุน หลักการทำงานของเซนเซอร์อาศัยหลักการสะท้อนแสง ซึ่งเมื่อตัวส่งออกแรงไปกระทบกับพื้นสีดำแสงจะถูกดูดกลืน ทำให้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ แต่ถ้าแสงที่ส่งออกไปตกกระทบกับพื้นสีขาว จะทำให้แสงสะท้อนกลับมาที่ตัวรับซึ่งความแตกต่างของสีพื้นเราจะแทนด้วยลอจิกศูนย์หรือหนึ่ง ดังภาพ



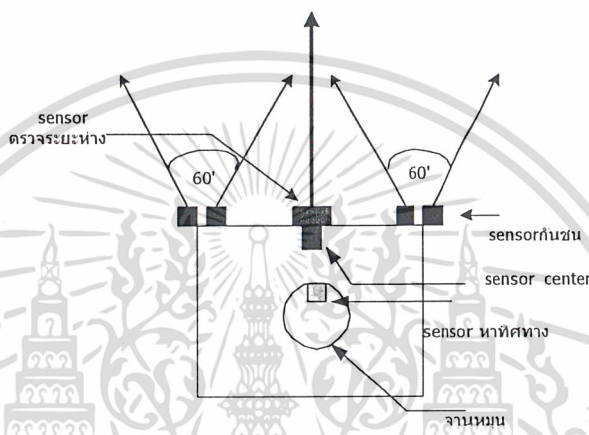
ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะการทำงานของเซนเซอร์ได้งานหมุน

จากภาพที่ 4.1 (ก) จะเห็นว่าแสงตกกระทบกับพื้นสีขาวทำให้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมาที่ Q ซึ่งเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ จะทำให้ Q อยู่ในสถานะ on และจะได้ V_o มีค่า 0 โวลต์ หรือลอจิก “0” ภาพที่ 4.1 (ข) แสงตกกระทบกับพื้นสีดำจะทำให้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมาที่ Q เป็นผลให้ Q อยู่ในสถานะ off จะได้ V_o มีค่าเท่ากับ V_{cc} หรือเป็นลอจิก “1” ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์กับงานหมุนด้วย

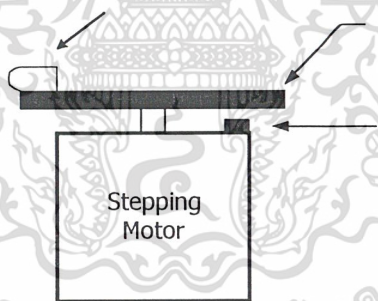
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การป้องกันการชนกับสิ่งกีดขวาง

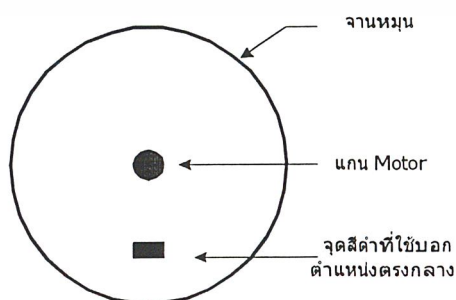
ระบบป้องกันการชนในโครงการนี้จะใช้วงจรป้องกันการชน 2 ชุด คือ ซ้ายและขวา แต่ละชุดจะส่งแสงอินฟราเรดแบบแนว 60 องศากับตัวรถดังภาพที่ ซึ่งเมื่อรถเคลื่อนที่ไปเจอสิ่งกีดขวางหรือผนังจะทำการตรวจสอบว่าเซนเซอร์ตัวใดเจอสิ่งกีดขวางบ้าง และจะหลบหลีกหรือเคลื่อนที่ออกห่าง โดยจะเคลื่อนที่ในทางตรงกันข้ามกับสิ่งกีดขวางที่เจอจนกว่าจะได้ระยะที่ตั้งเอาไว้จึงจะเคลื่อนที่ต่อ



ภาพที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการวางตัวตรวจจับ



ภาพที่ 4.3 แสดงการวางตำแหน่งเซนเซอร์ต่างๆ กับจานหมุน



ภาพที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของจุดสีดำที่ใช้บอกตำแหน่งตรงกลางของจานหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่จะตรวจจับ

ปัจจุบันนี้เซนเซอร์ชนิดใดใช้แสงส่วนใหญ่จะมีการตอบสนองได้เร็วถึง 1/1000 วินาทีหรือ 1 มิลลิวินาที (1 ms.) ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหวนั้นได้ แต่เพื่อความแน่ใจควรจะใช้สูตรต่อไปนี้ในการคำนวณหาความเร็วสูงสุดของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ เมื่อจะใช้งานกับเซนเซอร์รุ่นนั้นๆ

$$V \leq (W-2A)/T \dots\dots\dots(4.1)$$

- โดยที่ V = ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m/s)
- W = ขนาดความกว้างของวัตถุ (m)
- T = เวลาในการตอบสนองของเซนเซอร์รุ่นที่พิจารณา (s)
- A = ขนาดความกว้างต่ำสุดของวัตถุที่เซนเซอร์รุ่นที่พิจารณาสามารถจับได้ (m)

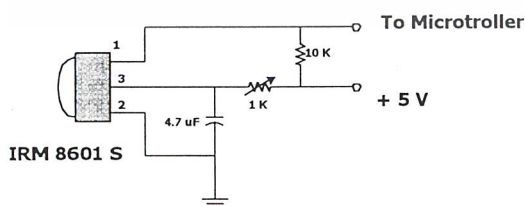
4.2 ภาคส่งสัญญาณอินฟราเรด

ตัวส่ง (Tx) จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กำเนิดสัญญาณความถี่ 38 กิโลเฮิร์ต จากนั้นจะนำสัญญาณพัลส์ไปเป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณแสงอินฟราเรด โดยในแต่ละชุดจะใช้ LED อินฟราเรด 2 ตัว ในทิศทางที่ข้ามุมกัน 60 องศา

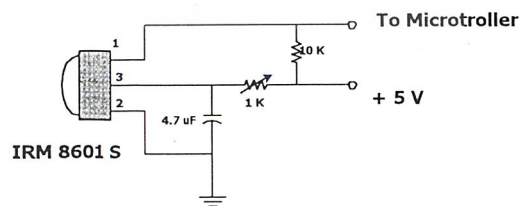
4.3 ภาครับสัญญาณอินฟราเรด

ตัวรับ (Rx) จะใช้ Receiving Module เช่นเดียวกับภาครับของวงจรอื่น แต่จะทำการตรวจสอบว่าเป็นความถี่ที่ตัวส่งส่งออกไปหรือไม่ด้วยเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก

4.4 วงจรป้องกันการชน แสดงได้ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6

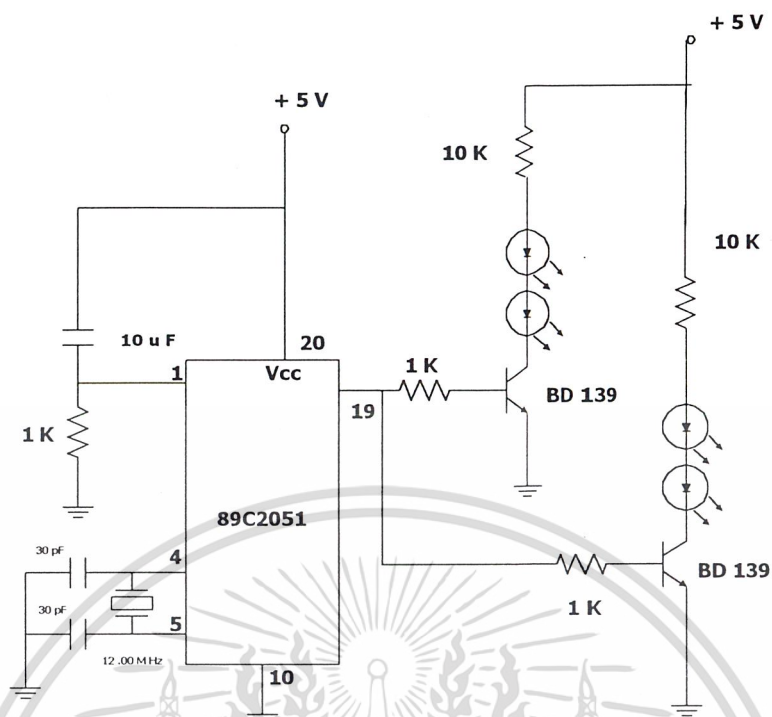


ซ้าย



ขวา

เอกสารภาพที่ 4.5 แสดงวงจรตัวรับสัญญาณอินฟราเรดส่วนป้องกันการชนซ้าย-ขวา ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงวงจรตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดผ่านป้องกันการชน

4.5 IRM TFMT5330 Receiving Module

4.5.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์โฟโตโมดูล

โฟโตโมดูลนี้ถูกออกแบบมาให้เหมาะกับการใช้งานเป็นตัวรับแสงอินฟราเรดที่มีรหัสพัลส์มอดูเลตมาด้วย และพอจะยกคุณสมบัติที่มองเห็นได้ชัดเจนดังต่อไปนี้ มีตัวตรวจจับแสง และวงจรปรีแอมป์บรรจุอยู่ในตัวถึงเดียวกันให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาแอกดีฟที่สถานะลอจิก "0" มีวงจรฟิลเตอร์สำหรับความถี่ PCM ภายใน มีความปลอดภัยจากแสงโดยรอบสูง มีซีลป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้า ต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไอซี TTL และ CMOS ได้โดยตรง

จากคุณสมบัติของอุปกรณ์โฟโตโมดูลข้างต้น พอจะมองออกว่านอกจากการนำไปใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินฟราเรดที่เป็นแบบรีโมตคอนโทรลแล้ว ยังสามารถที่จะใช้เป็นตัวรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากพอร์ตเอาต์พุตของเครื่อง PC ได้(ถ้าส่งมาในลักษณะของแสงอินฟราเรด) ในตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตโมดูลนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำเอาอุปกรณ์นี้ไปใช้งาน

4.5.2 โครงสร้างภายใน

แม้ว่าจะถูกสร้างมาในรูปแบบโมดูลแล้ว ภายในก็ยังคงอาศัยชิปไดโอดอินฟราเรดตัวรับบรรจุรวมอยู่ด้วย นอกเหนือจากวงจรปรีแอมป์ วงจรควบคุม และวงจรดีมอดูเลเตอร์ที่บรรจุรวมอยู่ด้วย ส่วนบล็อกลำโตะแอมป์ภายในนั้น จะมีไดโอดอินฟราเรดรับแสงและถูกขยายขึ้นด้วยวงจรปรีแอมป์

นอกจากนี้สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้ว จะถูกควบคุมอัตราการขยายอัตโนมัติ (AGC) และผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับลิขสิทธิ์สงวนในเพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ผ่าน และถูกคิมอคูเลเตอร์สัญญาณความถี่คลื่นพาห์ออกจากสัญญาณข้อมูล โดยมีอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่โดยทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่แปลงเป็นสัญญาณพัลส์ ข้อมูลแอกทีฟที่ลอจิก “0” ออกทางเอาต์พุต 3 ในส่วนของไดโอดอินฟราเรดจะมีฟิลเตอร์กรองแสงอินฟราเรดประกอบรวมอยู่บนตัวถังด้วย เพื่อเป็นการป้องกันแสงรอบๆข้าง ที่มีความเข้มของแสงใกล้เคียง

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตโมดูล

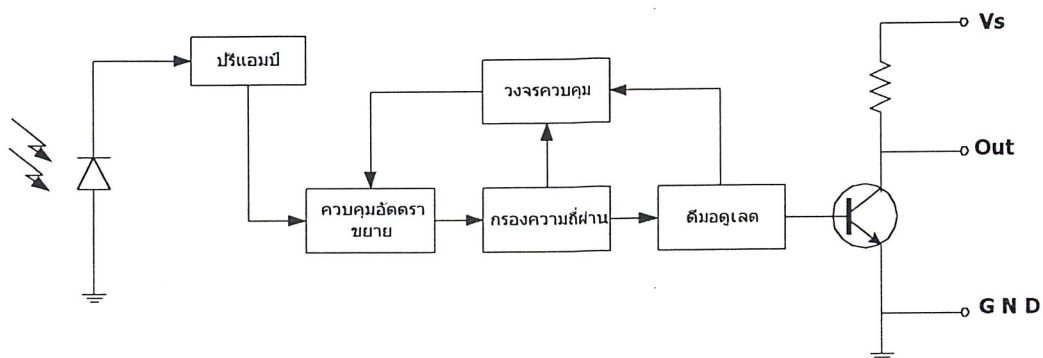
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันชัฟฟลาย	V_s	4.5-5.5	โวลต์
กระแสชัฟฟลาย	I_s	5	มิลลิแอมป์
แรงดันเอาต์พุต	V_o	0.3-6.0	โวลต์
กระแสเอาต์พุต	I_o	5	มิลลิแอมป์
ย่านอุณหภูมิขณะทำงาน	T_{amb}	-2.5 ถึง +85	องศาเซลเซียส
ความสิ้นเปลืองพลังงาน	P_{tot}	50	มิลลิวัตต์
ระยะทางการส่งของตัวส่งมายังตัวรับ	d	35	เมตร
แรงดันเอาต์พุตที่ลอจิก “low”	V_{OSL}	250	มิลลิโวลต์
รัศมีการแผ่ของแสงอินฟราเรด	ϵ	20	วัตต์/ตารางเมตร
ทิศทางการรับแสงอินฟราเรด	$\phi/2$	55	องศา

กับแสงของอินฟราเรด ไม่ให้สามารถผ่านแผ่นกรองแสงเข้ามารบกวนการทำงานของโฟโตโมดูลนี้ได้ อันอาจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูล ที่จะถูกคิมอคูเลเตอร์ออกทางเอาต์พุต จากการทำอินเวอร์เตอร์ก่อนขับสัญญาณออกทางเอาต์พุตนี้เองจึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกับวงจร TTL และ CMOS ได้โดยตรง การนำเอา IRM TFMT5330 ไปประยุกต์ใช้งานนั้นค่อนข้างจะง่ายเพราะเป็นการทำงานที่เสร็จสรรพในตัว ให้เอาต์พุตที่เป็นรหัสพัลส์ออกมาส่งต่อไปเข้าวงจรถอดรหัสหรือควบคุมภายนอกต่อไป

4.6 อุลตราโซนิค (Ultrasonic)

4.6.1 ความหมายของคลื่นอุลตราโซนิค

คลื่นอุลตราโซนิค หมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ 20 เฮิร์ต ถึง 20 กิโลเฮิร์ต อุลตราโซนิคที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตขึ้นไป



ภาพที่ 4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรภายใน IRM TMFT 5330

4.6.2 ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิค

คลื่นอุลตราโซนิคที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ มีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น โดยแบ่งได้เป็น

คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งทุกๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นความยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ ได้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

คลื่นตามขวาง (Transvert Wave) คือคลื่นที่ทุกๆ จุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดใหญ่กว่า ขนาดของความยาวคลื่นและสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลว และก๊าซ คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่นในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวของ คลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค ไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางของการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การเกิดอูลตราโซนิก

อูลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปอื่น ให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา เหมือนเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอูลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanic Wave) อูลตราโซนิกสามารถสร้างได้ โดยตัวทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

1. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-Electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้า และพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

2. แบบแมกนีโตรสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

3. แบบอิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

สำหรับเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้ เพราะมีราคาถูกหาซื้อง่ายรายละเอียดของเพียโซอิเล็กทริกจะกล่าวถึงในภายหลัง

ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wavelength)

ความถี่ คือจำนวนของการอสซิลเลตที่สมบูรณ์ จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตรการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 เฮิร์ต มันก็จะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบรอบ สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่น เป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefaction) การอัด คือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุล และแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุล และแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ

ปริมาณพลังงานของคลื่นอูลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอูลตราโซนิก จะถูกวัดออกมาในรูปของความเข้มของคลื่น อูลตราโซนิกมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (W/cm^2) ซึ่งเป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

การลดทอนของคลื่นอูลตราโซนิก

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอูลตราโซนิก จะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการสูญเสียของลำคลื่นอูลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจาก

ลำคลื่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่นรวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานจะยิ่งถูกดูดซับมาก

4.6.4 ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าแรงกลให้แก่ โซลิดคริสตอลไลน์ ไดอิเล็กทริก (Solid Crystalline Dielectric) ก็จะเกิดความเค้นภายในคริสตอล และทำให้คริสตอล แลตทิซ (Crystal Lattice) ฝิดรูปไปเช่นพวกควอทซ์ ผลก็คือประจุจะเปลี่ยนไป การฝิดรูปร่างของแลตทิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ของประจุบวกและลบเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่อยู่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่าผลของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองขนาด และการมีขั้วของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากกระทำ

$$Q = dF \quad \text{คูลอมป์}$$

D คือ ค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริกของคริสตอล

F คือ แรงที่ทำให้คริสตอลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt ประจุเหนี่ยวนำเขียนในเทอมของระยะทางคือ

$$Q = daY \Delta t / t$$

a คือ พื้นที่ของคริสตอล (m^2)

t คือ ความหนาแน่นของคริสตอล (m)

Y คือ ค่ายังส์โมดูลัส (Young's Modulus)

ประจุที่อิเล็กโทรด จะทำให้เกิดโวลต์เดจเพิ่มขึ้น โดยสมการ

$$E_0 = Q / C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C เป็นค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างอิเล็กโทรด (ฟารัด)

ชิ้นส่วนเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Element) จะมีการตัดแบบต่างๆ เพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ของอนุหภูมิ ซึ่งการตัดก็ถือวิธีการตัดตามแกนต่างๆ

ชนิดของเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1.แบบ Generation-Action Transducer ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

2.แบบ Motor-Action Transducer ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิค จะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้งสองกรณีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุ

การทำงานของทรานส์ดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อม จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นหัวๆ จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นสารโค้งงอมากขึ้นหรือทิศทางใด ตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงมาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณ ก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ ที่ป้อนเข้าชั้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้

ส่วนการทำงานของทรานส์ดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่งคือ เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชั้นสารโค้งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นอุลตราโซนิคทรานส์ดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก ก็คือมีความต้านทานไฟสูงมาก อาจสูงถึง 100 เมกะโอห์ม เรียกว่าถ้าเอาอิมิตีเตอร์ธรรมดาตามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆ เสมอจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสลับจะลดลง

ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ สามารถสรุปเป็นแนวทางได้ดังนี้

1.ไม่ควรให้ตัวทรานส์ดิวเซอร์ได้รับการกระแทก หรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

2. ทรานส์ดิวเซอร์โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานส์ดิวเซอร์ก็ควรอยู่ในขีดจำกัดอันนี้

3. ความถี่เรโซแนนซ์ของทรานส์ดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิร์ต ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน +1 กิโลเฮิร์ต และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 กิโลเฮิร์ต (Bandwidth) สำหรับตัวส่งและมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 กิโลเฮิร์ต สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของ

เอกสารตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้โยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานส์ดีวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

4.6.5 วงจรภาครับอุณหภูมิตัวรับ

เมื่อมีคลื่นอุณหภูมิตัวรับมากระทบทรานส์ดีวเซอร์ตัวรับ จะเกิดแรงดันขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ โดยแรงดันนี้จะมีรูปคลื่นออกมาเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) ที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบตัวมัน และจะมีขนาดสูงสุดเมื่อความถี่ของคลื่นเสียงที่เข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวรับ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ ขนาดสัญญาณที่ออกมาจะน้อยมาก

ส่วนสาเหตุที่ทำให้คลื่นที่ออกมาจากตัวรับเป็นคลื่นไซน์ แทนที่จะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม เนื่องจากว่าคลื่นสี่เหลี่ยมที่เราเห็นนั้น จริงๆ ประกอบด้วยคลื่นรูปไซน์หลายๆ ความถี่ประกอบกันขึ้นมา ซึ่งตัวรับจะสนใจเพียงความถี่เรโซแนนซ์ของมันเท่านั้นที่มันยอมให้ผ่าน ส่วนคลื่นไซน์อื่นๆ นั้นก็จะถูกตัดทิ้งออกไป ส่วนวงจรที่ใช้ในนี้ได้นำไอซีเบอร์ TBA 120S ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณ I.F. และดีเทคเตอร์ในโทรทัศน์ มาสร้างเป็นภาคขยายดังภาพที่ 4.8

โดยหลักการทำงานของมันทำโดยขา 6 ส่งสัญญาณเอาต์พุตผ่านตัวเก็บประจุ $10 \mu\text{F}$ เพื่อนำมาให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ซึ่งอยู่ในตัวไอซี เพื่อช่วยขยายสัญญาณให้ใหญ่ขึ้น R_4 ทำหน้าที่เป็นโหลดให้แก่ตัวทรานซิสเตอร์ และมี C_5 ช่วยป้องกันวงจรออสซิลเลตเนื่องจากสัญญาณรบกวน จากนั้นสัญญาณก็จะถูกส่งผ่านมาให้กับวงจรไดโอดบีม เพื่อทำให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อไปเข้าตัววงจรเปรียบเทียบ (Comparator) อีกที

4.6.6 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

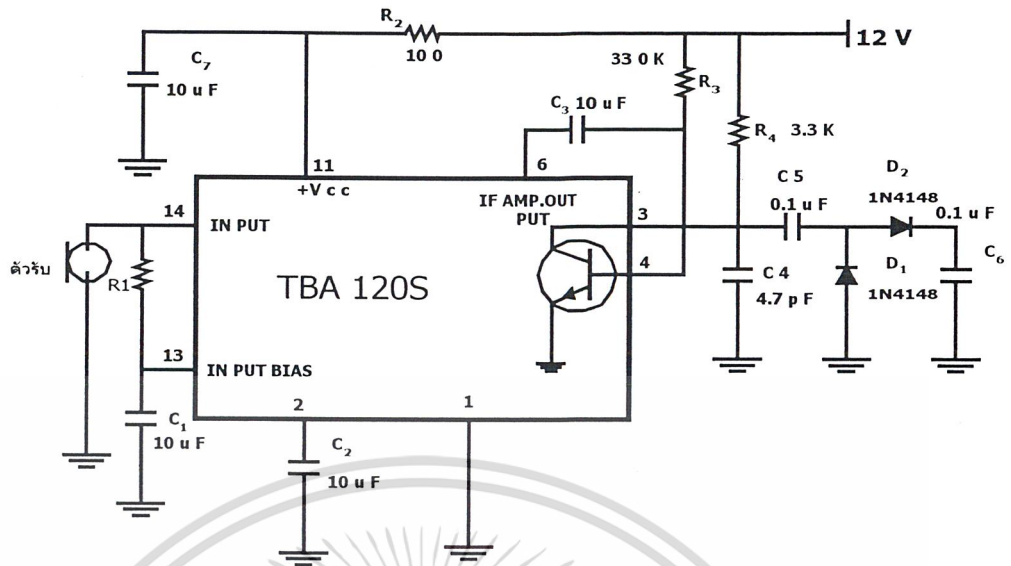
วงจรเปรียบเทียบใช้เพื่อตรวจสอบว่า เอาต์พุตของตัวส่งอุณหภูมิตัวรับ มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าศักดาที่ตั้งไว้ ($V_{\text{SET POINT}}$) ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าข้างหน้ารถของเรานั้น มีวัตถุเข้ามาขวางอยู่หรือไม่ สำหรับวงจรที่ใช้ในนี้ ใช้ไอซีเบอร์ 741 ซึ่งได้แสดงวงจรไว้ดังภาพที่ 4.9

4.7 รูปแบบโปรแกรมเกี่ยวกับการส่งสัญญาณ

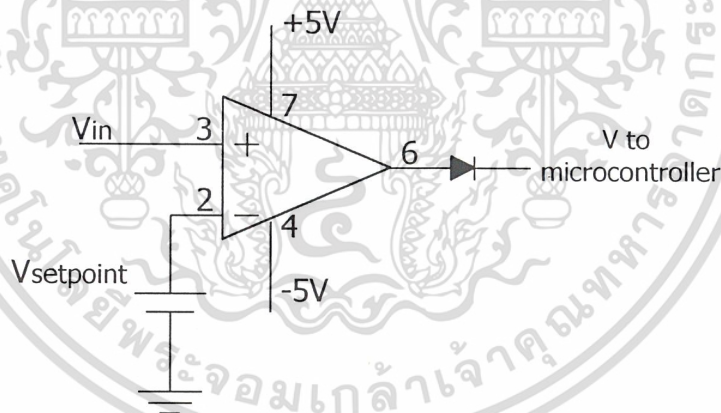
4.7.1 รูปแบบโปรแกรมเกี่ยวกับการส่งสัญญาณให้ตัวรับ

ภาคส่งสัญญาณ จะมีการส่งสัญญาณเป็น 2 ลักษณะคือ แบบแสงอินฟราเรด และอุณหภูมิตัวรับ ซึ่งจะแบ่งกล่าวดังนี้

1. ภาคส่งอินฟราเรด แสงอินฟราเรดที่ส่งออกมาจากตัวส่ง จะมีความถี่ประมาณ 30 เฮิร์ต และมอดูเลต (Modulate) ด้วยความถี่พาหะประมาณ 38 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเป็นวิธีการส่งข้อมูลแบบ PCM (Pulse Code Modulator) ที่ใช้ความถี่พาหะ 38 กิโลเฮิร์ต เพราะว่า Infrared Receiver Module ตอบสนองได้ดีที่สุด ซึ่งจะมีรายละเอียดและบล็อกไดอะแกรมการทำงานภายในเมื่อตัวรับแสงอินฟราเรดและการถอดรหัส



ภาพที่ 4.8 แสดงวงจรภาครับของออดิโอทรานซิสเตอร์

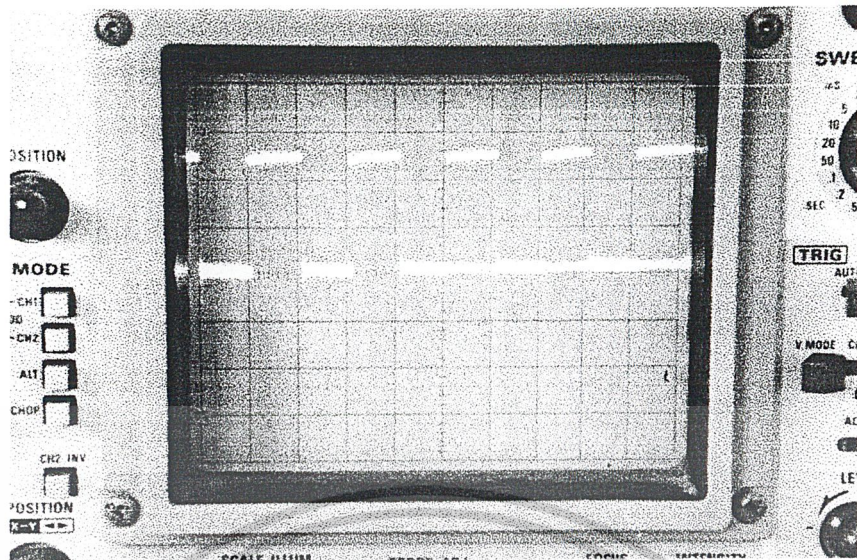


ภาพที่ 4.9 แสดงวงจรเปรียบเทียบเอาต์พุตของออดิโอทรานซิสเตอร์

2. ภาคส่งออดิโอทรานซิสเตอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่สร้างความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของออดิโอทรานซิสเตอร์ คือประมาณ 40 กิโลเฮิร์ต

4.7.2 รูปแบบโปรแกรมเกี่ยวกับการรับสัญญาณจากตัวส่ง

ระบบรับสัญญาณอินฟราเรดจะมีทั้งหมด 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย IR Module และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณอินฟราเรดจากตัวส่ง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่วิเคราะห์สัญญาณที่เข้ามา โดยสัญญาณที่เข้ามาและผ่าน IR Module ซึ่งสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเป็นการอินเวอร์ตสัญญาณข้อมูลของตัวส่ง จากภาพที่ 4.11 สามารถอธิบายแต่ละภาพได้ดังนี้

รูปที่ 1) สัญญาณที่ส่งออกจากตัวส่ง

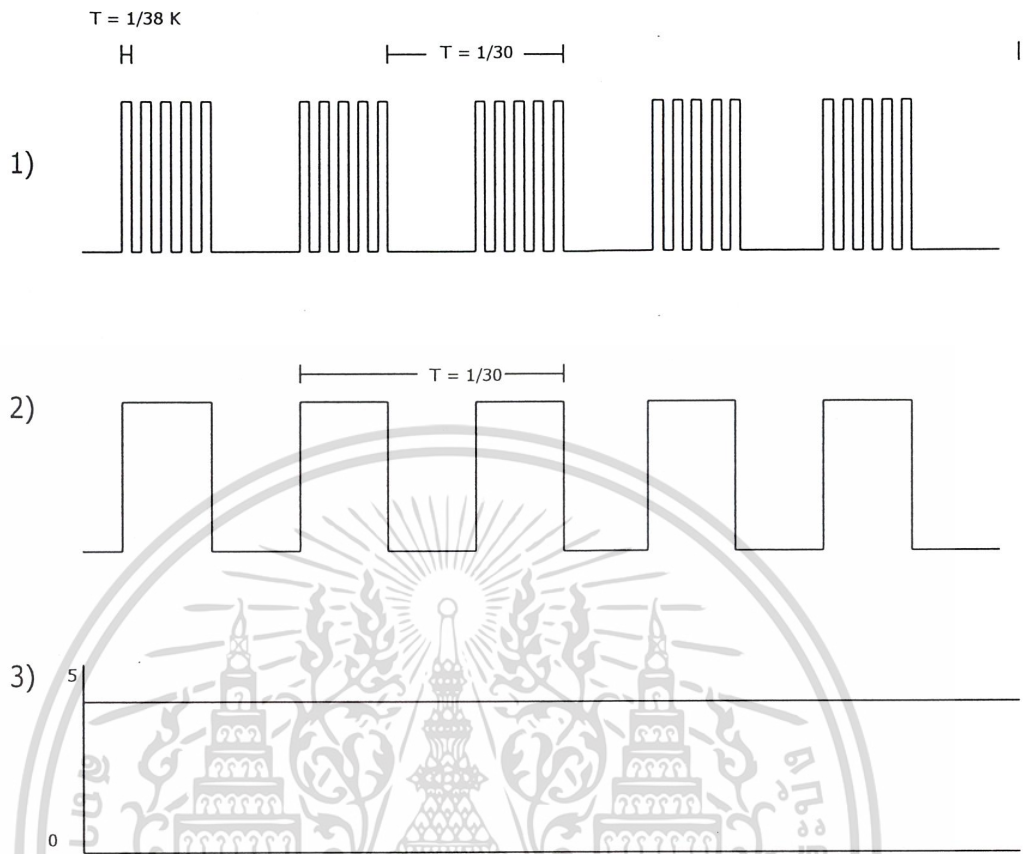
รูปที่ 2) สัญญาณที่ส่งออกจาก IR Module เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์หลังจากรับสัญญาณจากตัวส่งได้แล้ว

รูปที่ 3) สัญญาณจากขา IR Module เมื่อรับส่งไม่ติด

จากภาพของสัญญาณที่ผ่าน IR Module จะเห็นว่าสัญญาณมีความแตกต่างกัน เมื่อรับติดและรับไม่ติด ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมตอบสนองสัญญาณให้คอนโทรลเลอร์ ให้ดูว่ามีพัลส์ 30 เฮอร์ตหรือเป็น 5 โวลต์หรือไม่ ถ้ามีพัลส์แสดงว่ารับติด ถ้าไม่มีพัลส์แสดงว่ารับไม่ติด

4.8 วงจรตัวส่ง (เป้าหมาย)

วิธีการสร้างสัญญาณอินฟราเรดของตัวส่ง จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C2051 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณที่ได้โปรแกรมเอาไว้ ซึ่งจะมีลักษณะของสัญญาณ 2 แบบตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และสัญญาณแต่ละสัญญาณจะออกมาจากขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่างกันด้วย เรานำสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ นำมาขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เบอร์ B0139 เพื่อให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ทำให้มีกระแสไหลผ่าน LED อินฟราเรดและอูดคร้าโซนิค ทำให้เกิดอินฟราเรดเหมือนกับพัลส์ที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์



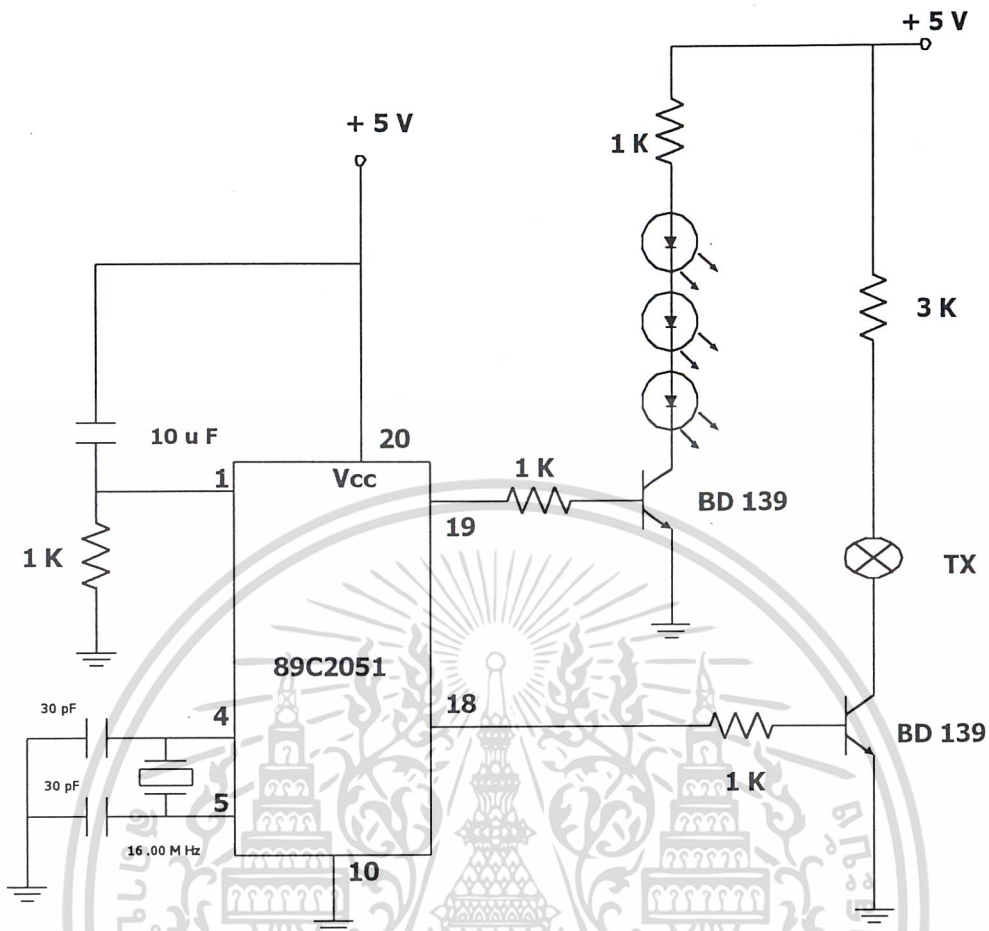
ภาพที่ 4.11 แสดงรูปจำลองสัญญาณจากตัวรับ

4.9 วงจรตัวรับ

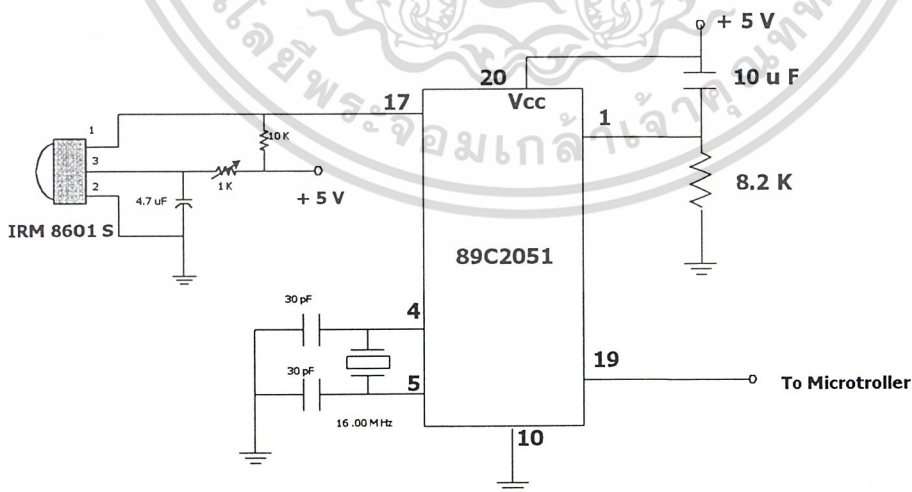
ในส่วนของวงจรภาครับซึ่งจะมีอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. วงจรภาครับหาทิศทางตัวเป้าหมาย
2. วงจรภาครับหมุนรถให้ตรงกับทิศทางตัวเป้าหมาย
3. วงจรภาครับตรวจสอบระยะห่างระหว่างตัวรถกับเป้าหมาย

ซึ่งทั้ง 3 วงจรจะใช้วงจรแบบเดียวกัน แต่จะต่างกันในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะโปรแกรมทำงานไว้ต่างกัน วงจรภาครับจะประกอบด้วยตัวรับสัญญาณแสงอินฟราเรด IRM86015 ทำหน้าที่รับสัญญาณแสงอินฟราเรดและกรองความถี่ 38 กิโลเฮิร์ตออก และนำสัญญาณที่ได้ผ่านเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C2051 เพื่อตรวจสอบว่าเป็นสัญญาณได้โปรแกรมไว้ให้รับหรือถ้าใช่ก็จะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแม่



ภาพที่ 4.12 แสดงวงจรส่งสัญญาณอินฟาเรด(เป้าหมาย)



ภาพที่ 4.13 แสดงวงจรการรับสัญญาณอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

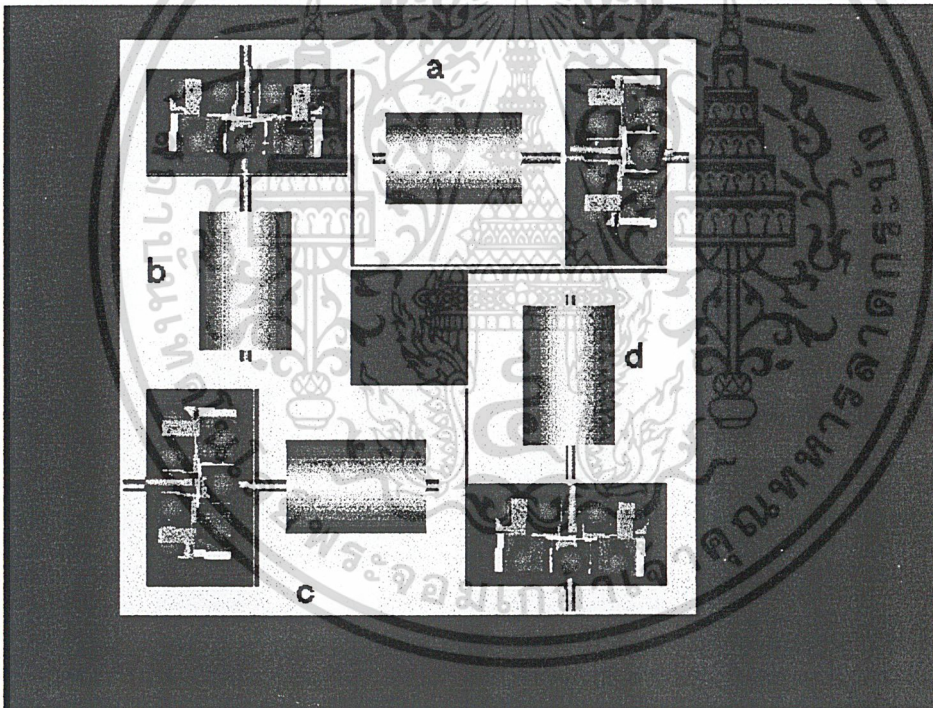
บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

การออกแบบโครงสร้างของรถเคลื่อนที่ตามเป้าหมาย มีดังนี้

5.1 ลักษณะของโครงสร้างรถ ประกอบด้วย

- ขนาด 56*56*60 เซนติเมตร โดยจะแบ่งเป็น 3 ชั้นคือชั้นสำหรับวางระบบขับเคลื่อน ชั้นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และชั้นสำหรับบรรทุกสิ่งของ
- โครงสร้างของรถจะประกอบจากอะลูมิเนียมกลางเพื่อลดน้ำหนักของรถ
- ระบบขับเคลื่อนอิสระ 4 ล้อ โดยอาศัยมอเตอร์กระแสตรงในการขับเคลื่อน



ภาพที่ 5.1 แสดงรูปจำลองการวางตำแหน่งล้อและมอเตอร์

เมื่อต้องการให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า หรือด้านหลังให้จับเฉพาะมอเตอร์ A กับC โดยให้มอเตอร์ B กับ D อยู่กับที่ และถ้าต้องการเคลื่อนที่ไปด้านซ้าย หรือขวาจะจับเฉพาะมอเตอร์ B กับ D โดยให้ A กับC อยู่กับที่ การหมุนรถไปในทิศทางที่ต้องการทำได้โดย การจับมอเตอร์ทุกตัวไปในทิศทางเดียวกัน และพร้อมๆ กัน ในทิศทางที่ต้องการให้รถหมุนไป

เอกสารนี้เป็นระบบเซ็นเซอร์ประกอบด้วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เซนเซอร์สำหรับติดตามตัวส่งจะอยู่ที่งานหมุนเพื่อหาตัวส่ง
2. เซนเซอร์สำหรับกันชนวัตถุ จะติดอยู่ด้านข้างรถทั้ง 2 ด้าน
3. เซนเซอร์สำหรับกำหนดระยะห่างระหว่างตัวรถกับตัวส่ง 1.5 เมตรจะติดอยู่

หน้ารถ

- มีระบบงานหมุนหาทิศทางตัวส่งโดยใช้สเตปปีงมอเตอร์ในการขับเคลื่อนงานหมุน
- พลังงานทั้งหมดได้จากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 1.3 แอมป์ สำหรับจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และขนาด 12 โวลต์ 17 แอมป์ จ่ายให้กับชุดขับเคลื่อน

5.2 การทดลองวงจรขับเคลื่อน

1. ป้อนไฟ 5 โวลต์ที่ขา a และ b สังกะสีทิศทางการทำงานของมอเตอร์

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

อินพุท		เอาต์พุท	
ขา a	ขา b		
0	0	มอเตอร์ไม่หมุน	
0	1	มอเตอร์หมุนซ้าย	
1	0	มอเตอร์หมุนขวา	
1	1	มอเตอร์ไม่หมุน	

2. ทดสอบการขับเคลื่อนโดยเอามอเตอร์มาติดตั้งพร้อมกัน พร้อมทั้งป้อนอินพุท 5 โวลต์ ผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนรถ

อินพุท								เอาต์พุท
ชุดที่ 1		ชุดที่ 2		ชุดที่ 3		ชุดที่ 4		
a	b	a	b	a	b	a	b	
1	0	0	0	0	1	0	0	รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
0	0	1	0	0	0	0	1	รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย
0	0	0	1	0	0	1	0	รถเคลื่อนที่ไปทางขวา
0	1	0	0	1	0	0	0	รถเคลื่อนที่ไปด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

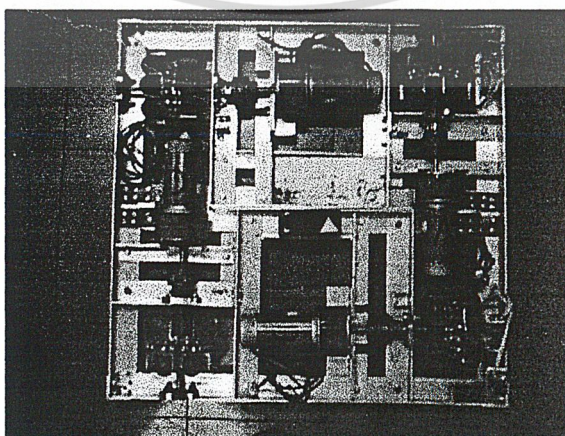
5.3 การทดสอบวงจรขับเคลื่อนสเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor Circuit)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ให้สัญญาณความถี่ 100 เฮิร์ต ที่ขา Clock
2. จ่ายไฟ 5 โวลต์ที่ขาตาม/ทวน
3. จ่ายไฟ 5 โวลต์ที่ขา 1 เฟส / 2 เฟส
4. จ่ายไฟ 5 โวลต์ที่ขาหมุน/หยุด
5. สังเกตการหมุนของมอเตอร์
6. หยุดจ่ายไฟ 5 โวลต์ที่ขาตาม/ทวน สังเกตการหมุน
7. หยุดจ่ายไฟ 5 โวลต์ที่ขาหมุน/หยุด สังเกตการหมุน
8. เปลี่ยนความถี่ ที่ป้อนให้ขา Clock เป็น 200, 300 เฮิร์ต แล้วทำตามข้อ 2 ถึงข้อ 7 อีกครั้ง

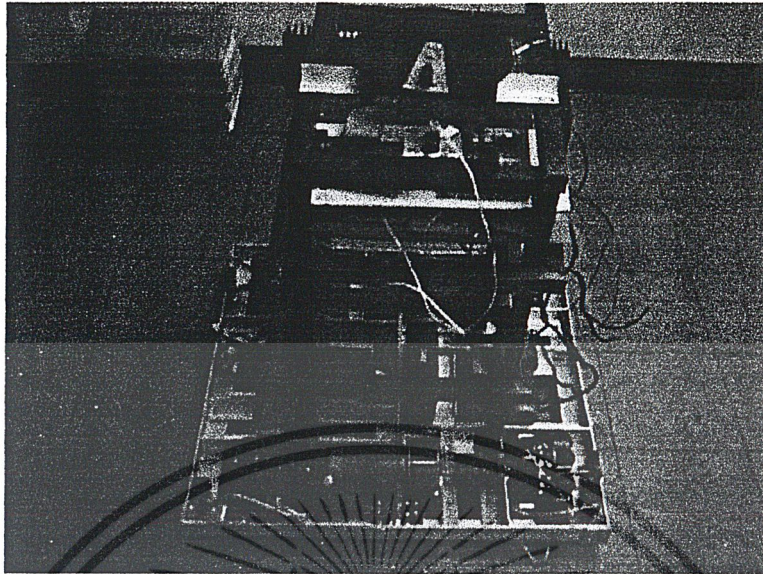
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองวงจรขับเคลื่อนสเตปปีงมอเตอร์

ความถี่ (Hz)	ขาตาม/ทวน	ขา 1 เฟส/ 2 เฟส	ขาหมุน/หยุด	การหมุนของมอเตอร์
100	5	5	5	มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา
	0	5	5	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
	0	5	0	มอเตอร์ไม่หมุน
200	5	5	5	มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาเร็ว
	0	5	5	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาเร็ว
	0	5	0	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาเร็ว
300	5	5	5	มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาเร็วมาก
	0	5	5	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาเร็วมาก
	0	5	0	มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาเร็ว



ภาพที่ 5.2 แสดงการวางตำแหน่งล้อและมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



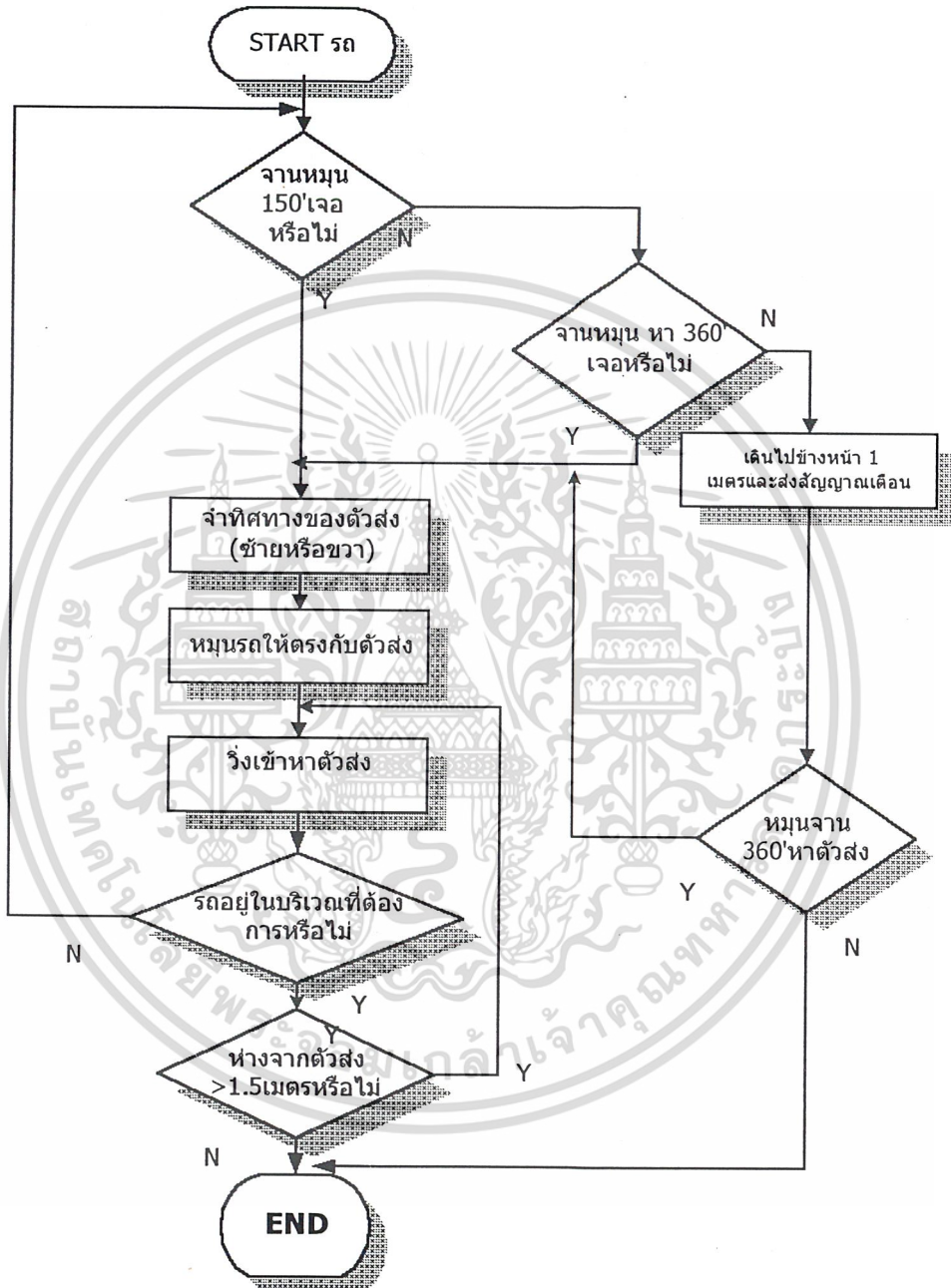
ภาพที่ 5.3 แสดง โครงสร้างรถทั้งหมด



ภาพที่ 5.4 แสดงลักษณะ โครงสร้างของถั่ว

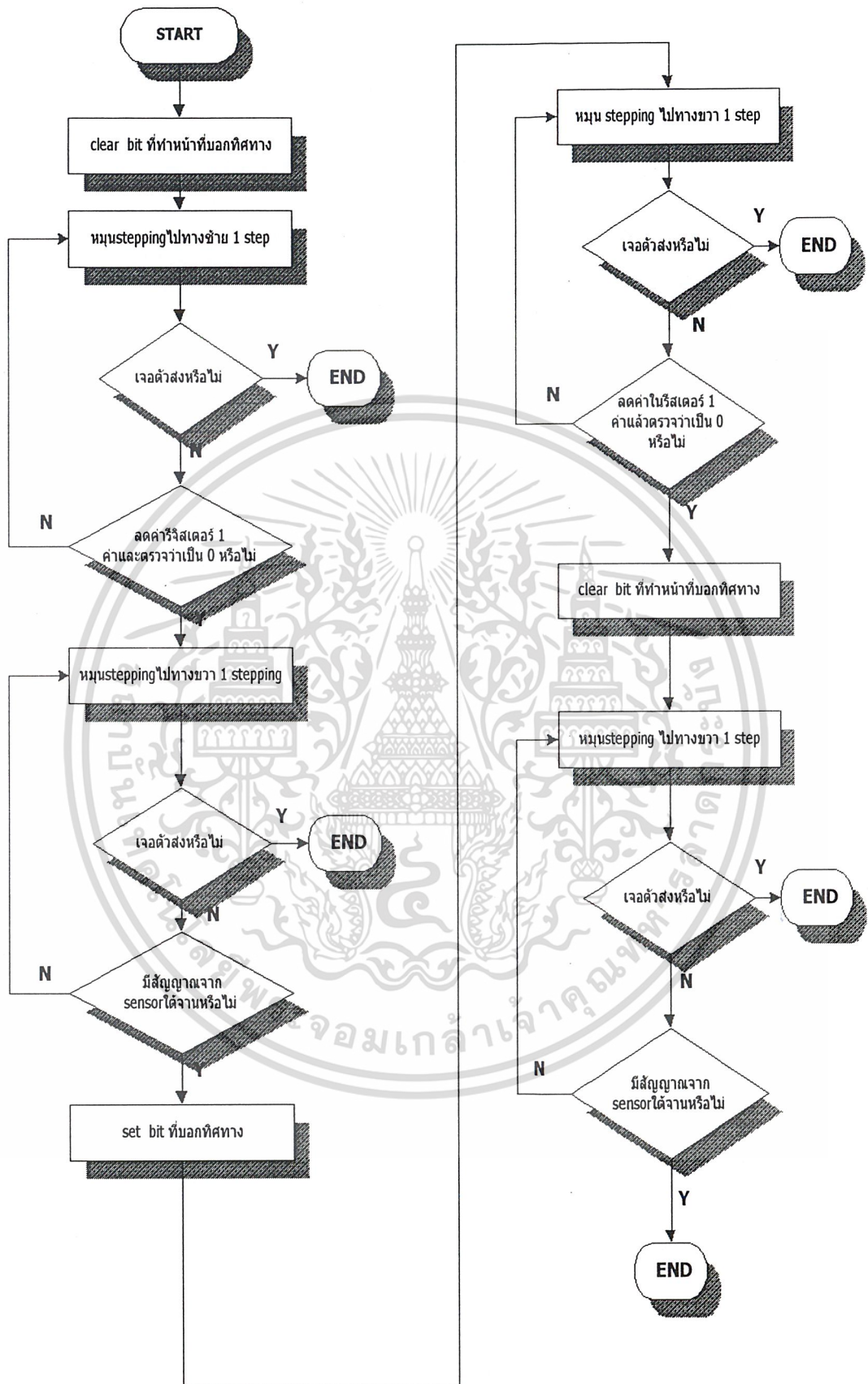
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แผนภาพการไหล (Flow Chart) แสดงขั้นตอนการทำงาน



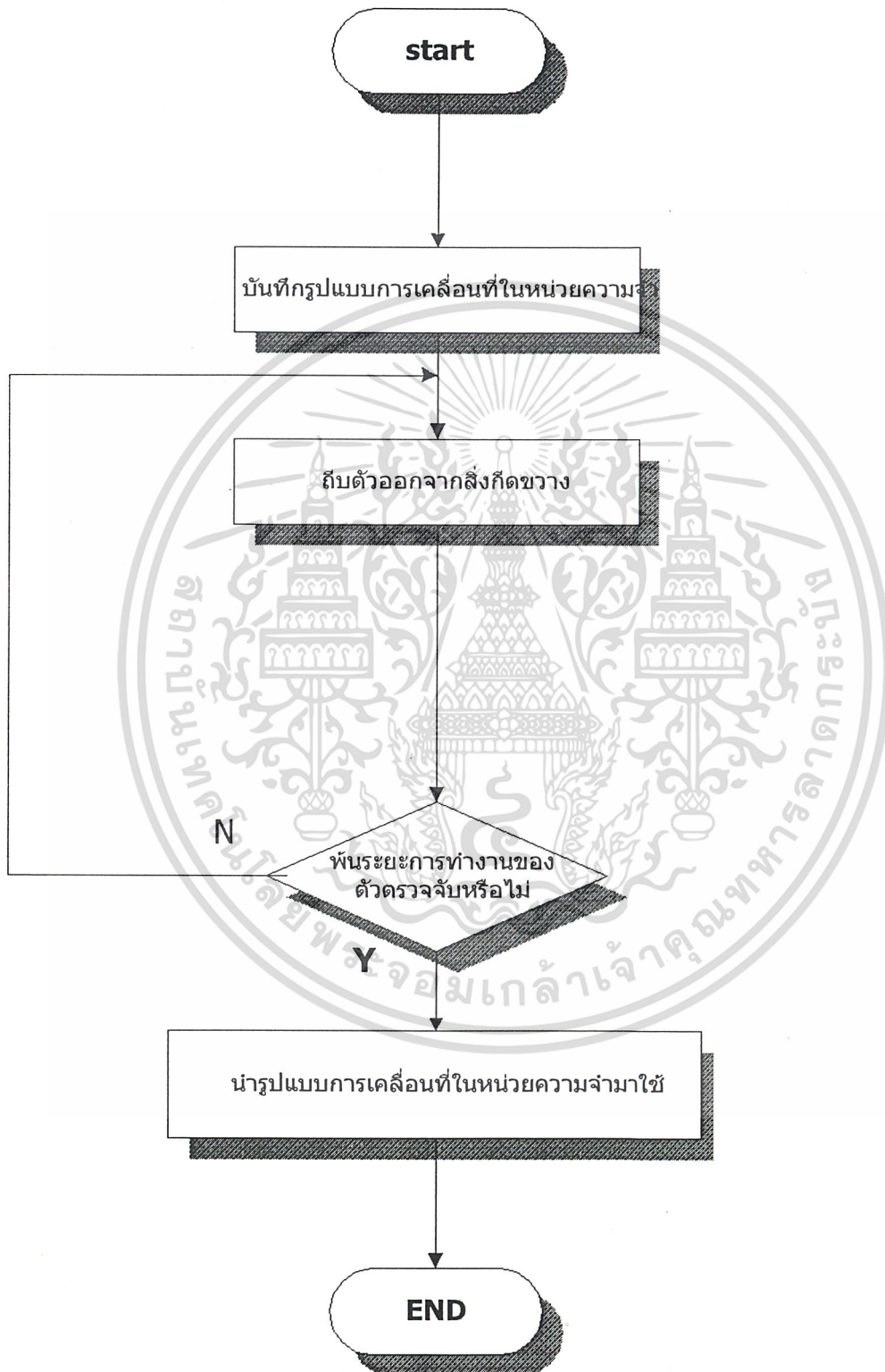
ภาพที่ 5.5 แสดงโฟลว์ชาร์จการทำงานโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.6 แสดงโฟลว์ชาร์จการทำงานของสเตปปีงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.7 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมบริการอินเทอร์เน็ตรีปัดตัวตรวจจับกันชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 อธิบายแผนภาพการไหล (Flow Chart)

1. แผนภาพการทำงานโดยรวม ดังภาพที่ 5.4 อธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนเริ่มแรกเมื่อเริ่มสตาร์ทรถ สเตปป์มอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนงานหาตัวส่งจะทำการหมุนหาตัวส่ง หากไม่เจอตัวส่งจะทำการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นระยะทาง 1 เมตร หลังจากนั้น สเตปป์มอเตอร์จะหมุนงานหาตัวส่งอีกครั้งหากไม่เจอจะหยุดรถพร้อมทั้งส่งสัญญาณ เพื่อบอกว่าไม่พบตัวส่ง ในกรณีงานหาตัวส่งตรวจพบตัวส่งรถ จะทำการหมุนไปในทิศทางของตัวส่งพร้อมทั้งหมุน สเตปป์มอเตอร์กลับไปในตำแหน่งหน้ารถเช่นเดิม หลังจากนั้นรถจะทำการเคลื่อนที่เข้าหาตัวส่งพร้อมทั้งตรวจว่าตัวส่งอยู่ห่างจากตัวรถ เป็นระยะมากกว่า 1.5 เมตรหรือไม่ หากมากกว่าจะทำการเคลื่อนที่เข้าหาตัวส่งและเช็คสถานะเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าตัวส่งจะอยู่ห่างจากรถน้อยกว่าระยะ 1.5 เมตรรถจะหยุด

2. แผนภาพการหมุนสเตปป์มอเตอร์ ดังภาพที่ 5.5 อธิบายได้ดังนี้

การทำงานของสเตปป์มอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนงานหมุนหาตัวส่ง เริ่มจากการกำหนดทิศทางการทำงานของสเตปป์มอเตอร์เทียบกับตัวรถ โดยกำหนดว่าสเตปป์มอเตอร์หมุนอยู่ทางด้านซ้ายของรถ หลังจากนั้นสเตปป์มอเตอร์จะหมุนไปทางทวนเข็มนาฬิกา 1 สเตป พร้อมกับตรวจว่าเจอตัวส่งหรือไม่ หากไม่เจอก็จะทำตามขั้นตอนข้างต้น จนกว่าจะครบจำนวนครั้งที่กำหนด เมื่อครบจำนวนครั้งที่กำหนด งานหาตัวส่งจะหันหน้าไปทางด้านขวาของรถเป็นมุม 90 องศา กับหน้ารถ หลังจากนั้นโปรแกรมจะสั่งงานให้สเตปป์มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกา 1 สเตป พร้อมกับตรวจว่าเจอตัวส่งหรือไม่ หากไม่เจอก็จะทำตามขั้นตอนข้างต้นจนกว่าจะได้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ ซึ่งติดอยู่ในตำแหน่งหน้ารถได้งานหาตัวส่ง เมื่อได้รับสัญญาณแล้วโปรแกรมจะกำหนดทิศทางว่าสเตปป์มอเตอร์หมุนอยู่ทางด้านขวาของตัวรถ และหมุนสเตปป์มอเตอร์ไปตามเข็มนาฬิกา 1 สเตปพร้อมทั้งตรวจว่าเจอตัวส่งหรือไม่ หากไม่เจอก็จะทำตามขั้นตอนข้างต้นจนกว่าจะครบจำนวนครั้งที่กำหนด เมื่อครบจำนวนครั้งที่กำหนด งานหาตัวส่งจะหันหน้าไปทางด้านหลังของรถเป็นมุม 180 องศา กับหน้ารถ หลังจากนั้นโปรแกรมจะกำหนดทิศทางว่าสเตปป์มอเตอร์หมุนอยู่ทางด้านซ้ายของตัวรถและสเตปป์มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา 1 สเตปพร้อมทั้งตรวจว่าเจอตัวส่งหรือไม่หากไม่เจอก็จะทำตามขั้นตอนข้างต้น จนกว่าจะได้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ได้งานหาตัวส่งสเตปป์มอเตอร์จะหยุดหมุน ซึ่งในขณะนี้ทิศทางของงานหาตัวส่งจะกลับมามาตรงกับทิศทางของหน้ารถเช่นเดิม

3. แผนภาพการป้องกันกั้นชน ดังภาพที่ 5.6 อธิบายได้ดังนี้

หลังจากได้รับสัญญาณจากเซนเซอร์กั้นชน โปรแกรมก็จะเข้าสู่โปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์กั้นชน โดยจะเริ่มจากการนำรูปแบบการเคลื่อนที่ก่อนจะได้รับสัญญาณจากเซนเซอร์กั้นชนเก็บไว้ในหน่วยความจำ หลังจากนั้นจะทำการคิดตัวออกจากสิ่งกีดขวางพร้อมทั้งตรวจสอบ

ว่าพื้นระยะอันตรายหรือไม่ หากไม่พื้นจะปฏิบัติตามขั้นตอนข้างต้นจนกว่าจะพื้นระยะอันตรายจะหยุดการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งนำรูปแบบการเคลื่อนที่ซึ่งเก็บไว้ในหน่วยความจำกลับไว้ที่เดิม

5.5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการนี้เป็น การนำความรู้ที่ได้ศึกษานำมาประยุกต์ใช้งานจริง ตัวรถมีโครงสร้างเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ทำจากอะลูมิเนียมกลวงเพื่อลดน้ำหนักของตัวรถ ระบบควบคุมการทำงานจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุม ในการตรวจจับทิศทางของตัวแม่ และป้องกันการชนสิ่งกีดขวาง ใช้สัญญาณอินฟราเรด (Infrared) และสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นตัวรับส่งสัญญาณ สำหรับการเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงในการขับเคลื่อนตัวรถ โดยอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ (battery) ชนิดแห้ง จากการทดลองพบว่ารถสามารถเคลื่อนที่ติดตามเป้าหมายได้ตามที่กำหนด แต่ระยะในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางมีระยะใกล้เกินไปเนื่องจากตัวตรวจจับกันชนมีประสิทธิภาพต่ำจึงต้องใช้สิ่งกีดขวางที่สามารถสะท้อนแสงได้ดี จึงจะทำให้การหลบหลีกมีประสิทธิภาพดีขึ้น ส่วนแบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานได้ในระยะเวลาอันสั้น ทำให้เกิดปัญหาในการขับเคลื่อนรถ จึงต้องทำการประจุแบตเตอรี่บ่อยครั้ง การบรรทุกสิ่งของสามารถบรรทุกได้ประมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อไม่ให้รถรับภาระน้ำหนักมากเกินไปรถเคลื่อนที่ตามเป้าหมายโดยอัตโนมัติ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานขนส่งของโรงงานอุตสาหกรรม และคลังสินค้าได้ แต่ยังคงปรับปรุงในส่วนของความแม่นยำในการติดตามเป้าหมายระยะหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และระบบการจ่ายพลังงานเพิ่มเติม เพื่อให้รถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. ไม่สามารถหาซื้อลูกยางขนาดเล็ก เพื่อนำมาสร้างเป็นล้อให้มีลักษณะกลมอย่างสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องใช้ลูกยางขนาดใหญ่กว่า ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน
2. ไม่สามารถหาซื้อ IR Module ที่รับสัญญาณมอดูเลตแตกต่างกันได้ส่งผลให้ไม่สามารถตรวจสอบว่าเป็นสัญญาณจากตัวส่งใด
3. เนื่องจากสัญญาณติดตามตัวส่ง และสัญญาณตรวจสอบระยะห่างเป็นสัญญาณอินฟราเรดเหมือนกันจึงทำให้สัญญาณรบกวนกันเป็นผลให้ตัวรับทำงานผิดพลาด
4. เนื่องจากลักษณะของล้อไม่กลมส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ และความแม่นยำในการเดินทางกลับจุดเริ่มต้น
5. รถสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ในระยะใกล้เกินไป จึงต้องใช้สิ่งกีดขวางที่สามารถสะท้อนแสงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

บ่อยครั้ง

5.5.2 แนวทางในการพัฒนา

ควรนำระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) มาใช้ เพื่อให้การติดตามเป้าหมาย และการหลบหลีกสิ่งกีดขวางมีความแม่นยำมากขึ้น และนำ Encoder มาใช้ในการจดจำทิศทาง เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่กลับยังจุดเริ่มต้นได้เองโดยอัตโนมัติ

5.6 โปรแกรมการทำงานที่ใช้ในการทดลอง

5.6.1 โปรแกรมควบคุมของตัวแม่

```

org    0000h
      sjmp start1
org    0034h
start1: mov 90h,#00h
      clr p0.6
      clr p0.7
      setb 01
start:  mov ie,#82h
      jnb 01,sexy
      clr 00
      clr p0.0
      setb p0.1
      lcall wa1
      setb p0.0
      lcall cwa2
      setb 00
      mov r3,#02
xxx:   lcall wa1
      djnz r3,xxx
      clr 00
      clr 01

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    sjmp cwait
sexy:  setb 00
        setb p0.0
        setb p0.1
        lcall wa1
        clr p0.0
        lcall cwa2
        clr 00
        mov r3,#02
xxx1:  lcall wa1
        djnz r3,xxx1
        setb 00
        setb 01
yyy1:  lcall cwa2
cwait: mov ie,#85h
        mov 90h,#21h ;interrup protect
wait1: mov 01,#13 ;
wait2: mov 02,#255 ;
wait3: mov 03,#64 ;
wait4: nop
        nop ;
        djnz 03,wait4 ;
        djnz 02,wait3 ;
        djnz 01,wait2 ;
        mov 90h,#12h ;
        lcall delay2 ;
        mov 90h,#00h ;
        lcall delay1 ;
sex:   mov ie,#82h
        jnb 01,csex
        clr p0.0
        setb p0.1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clr 00      ;plus p0.0when impleve stepping program
mov r3,#02
qqq: lcall wa1
djnz r3,qqq
setb 00
setb 01
eee: lcall cwa2
sjmp sd1
csex: setb p0.0
setb p0.1
setb 00
mov r3,#02
cqqq: lcall wa1
djnz r3,cqqq
clr 00
clr 01
ceee: lcall cwa2
sd1: cpl p2.2
mov r0,#50
sd: mov r1,#255
djnz r1,$
djnz r0,sd
sjmp sd1
sd2: sjmp $
jjj: mov ie,#85h
jnb 00,vv
mov 90h,#55h ;interrup protect
clr p0.0 ;
aa: jnb p0.5,cc ;
lcall movstep ;
jb p0.6,ee ;
sjmp aa

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cc:  mov 90h,#0aah    ;
      lcall delay2    ;
      mov 90h,#00h
      lcall delay1    ;
dd:  lcall movstep    ;
      jb p0.6,zz      ;
      sjmp dd         ;
ee:  jb p0.5,$        ;
      mov 90h,#0aah    ;
      lcall delay2    ;
      mov 90h,#00h
      lcall delay1    ;
      sjmp zz         ;
vv:  mov 90h,#0aah    ;interrupt protect
      setb p0.0       ;
ff:  jnb p0.5,gg      ;
      lcall movstep    ;
      jb p0.6,ii      ;
      sjmp ff         ;
gg:  mov 90h,#55h     ;
      lcall delay2    ;
      mov 90h,#00h
      lcall delay1    ;
hh:  lcall movstep    ;
      jb p0.6,zz      ;
      sjmp hh         ;
ii:  jb p0.5,$        ;
      mov 90h,#55h     ;
      lcall delay2    ;
      mov 90h,#00h
      lcall delay1    ;
      sjmp zz         ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

zz:  mov 90h,#21h    ;
     jb p0.5,gostart ;
     jnb p0.7,zz     ;
     mov 90h,#12h   ;
     lcall delay2   ;
     mov 90h,#00h
     lcall delay1   ;
     jb p0.7,$      ;
     sjmp gost      ;

```

```
gostart: mov 90h,#12h
```

```
lcall delay1
```

```
mov 90h,#00h
```

```
lcall delay1
```

```
ljmp start ;
```

```
gost: mov r5,#05
```

```
sl:  jnb p0.5,zz
```

```
djnz r5,sl
```

```
sjmp gostart
```

```
org 01d0h
```

```
wa1: mov r0,#200
```

```
zzz: cpl p0.2
```

```
mov r2,#30
```

```
wa:  mov r1,#126
```

```
djnz r1,$
```

```
djnz r2,wa
```

```
jnb p0.4,jjj4
```

```
djnz r0,zzz
```

```
ret
```

```
cwa2: cpl p0.2
```

```
mov r2,#30
```

```
cwa:  mov r1,#126
```

```
djnz r1,$
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    djnz r2,cwa
    jnb p0.3,jjj4
    jb p0.6,cwa3
    sjmp cwa2
cwa3: nop
    ret
cwa4: cpl p0.2
    mov r2,#30
cwa5: mov r1,#126
    djnz r1,$
    djnz r2,cwa5
    jb p0.6,cwa6
    sjmp cwa4
cwa6: nop
    ret
jjj4: ljmp jjj
movstep: cpl p0.2
    mov r2,#30
bb:   mov r1,#126
    djnz r1,$
    djnz r2,bb
    ret
org 0013h
    ljmp rr
org 0220h
rr:   mov ie,#85h      ;interrup protect
    mov 07,90h
    mov 90h,#12h      ;
    lcall delay2      ;
    mov 90h,#84h      ;
    jnb p3.3,$        ;
    mov 90h,#48h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcall delay2    ;
    mov 90h,07     ;
    reti          ;
org 0003h        ;
    ljmp ll       ;
org 02e0h        ;
ll:  mov ic,#85h
     mov 07,90h   ;
     mov 90h,#12h ;
     lcall delay2 ;
     mov 90h,#48h ;
     jnb p3.2,$   ;
     mov 90h,#84h ;
     lcall delay2 ;
     mov 90h,07   ;
     reti        ;
delay1: mov r0,#255
        djnz r0,$
        ret
delay2: mov r0,#05
xc:    mov r1,#255
        djnz r1,$
        djnz r0,xc
        ret
end

```

5.6.2 โปรแกรมตัวรับ

```

org 0000h
wa:  mov 90h,#0ffh
sex:  mov r7,#02
aa:  mov r0,#20

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bb:  jnb p1.2,ss
      lcall delay
      djnz r0,bb
      djnz r7,aa
      setb p1.3
      sjmp aa
ss:  lcall delay1
      jb p1.2,aa
      clr p1.3
      sjmp ss
org  0070h
delay: mov r1,#02      ;for crital 18.432mhz(r1=08,r2=200)
cc:   mov r2,#200     ;11.059mhz must change(r1=04,r2=239)
      djnz r2,$
      djnz r1,cc
      ret
delay1: mov r3,#255
      djnz r3,$
      ret
end

```

5.6.3 โปรแกรมตัวรับกันชน

```

Org  0000h      ;re30hz
wa:  mov 90h,#0ffh
wa1: cpl 00
      jnb 00,wa2
aa:  mov r0,#100
bb:  jnb p1.4,ss
      lcall delay
      djnz r0,bb

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    sjmp wa1
ss:   lcall delay1
        jb p1.4,aa
        clr p1.5
        sjmp wa1
wa2:  nop
aal:  mov r1,#100
bb1:  jnb p1.2,ss1
        lcall delay
        djnz r1,bb1
        setb p1.3
        sjmp wa1
ss1:  lcall delay1
        jb p1.2,aal
        clr p1.3
        sjmp wa1

*****program delay*****

org 0070h
delay: mov r3,#02
cc:    mov r2,#200
        djnz r2,$
        djnz r3,cc
        ret

delay1: mov r4,#100
        djnz r4,$
        ret

end

```

5.6.4 โปรแกรมส่งสัญญาณกันชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Org 0000h ;sent 300 m38k 12mhz
```

```
sjmp wa
```

```
org 0050h
```

```
wa: mov r0,#64
```

```
wa1: mov 90h,#0ffh
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
mov 90h,#00h
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
djnz r0,wa1
```

```
mov 90h,#00h
```

```
mov r1,#8
```

```
wa2: mov r2,#104
```

```
djnz r2,$
```

```
djnz r1,wa2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sjmp wa
end

```

5.6.5 โปรแกรมตัวส่ง

```
Org 0000h ; 30m40k16mhz
```

```
sjmp wa
```

```
org 0050h
```

```
wa: mov r1,#04
```

```
wa1: mov r2,#168
```

```
wa2: mov 90h,#0ffh
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
mov 90h,#00h
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

```
nop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nop

nop

nop

nop

nop

nop

nop

nop

nop

djnz r0,wa4

djnz r3,wa3

sjmp wa

end



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ประเมษฐ์ ประนยานันท์, ปิยพงศ์ เผ่าวิช “คู่มือและการประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์”, บ.ม.จ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)
2. “รีโมตเครื่องควบคุมไร้สาย”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2538
3. “อุปกรณ์นำใช้ไอซีนำสน”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2541
4. ร.ศ.สัมพันธ์ หาญชล “เครื่องจักรกลไฟฟ้าเล่ม2”, 2537
5. ร.ศ.ร.โยธิน เปรมปราณีรัฐ “สเตปป์มอเตอร์”, วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่9 ฉบับที่4, 2532
6. ผ.ศ.พิชิต ถ้ายอง “เครื่องกลไฟฟ้า”, 2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้