สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51

VELOSITY AND POSITION CONTROL SYSTEM DEMONSTRATOR FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

ชื่อนักศึกษา

1. นายคมกริช ดีจะมาลา รหัสประจำตัว 40031505
2. นายชัยวัฒน์ งามสมโสด รหัสประจำตัว 40031508
3. นายรัชพล สิทธิสินธุ์ รหัสประจำตัว 40031516

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์วรวิทย์ สมหา
2. อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
3. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล

T 032863

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
อาจารย์วรวิทย์	สมหา	
อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	
อาจารย์พงษ์เกียรติ	เชษฐพิทักษ์สกุล	
อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	
อาจารย์อำพล	ทองระอา	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 27 พฤศจิกายน 2541 เวลา 22.00 น. ถึงเวลา 24.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผ.ศ. ดร. ธีรพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ ๘ เดือน ธ.ค. พ.ศ. ๔๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32863
วัน, เดือน, ปี 14 มิ.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51

VELOSITY AND POSITION CONTROL SYSTEM DEMONSTRATER FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

นายคมกริช ดีจะมาลา

นายชัยวัฒน์ งามสมโสด

นายรัชพล สิทธิสินธุ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51
VELOSITY AND POSITION CONTROL SYSTEM DEMONSTRATOR
FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

ผู้จัดทำ

1. นายคมกริช	ดีจะมาลา	รหัสประจำตัว 40031505
2. นายชัยวัฒน์	งามสมโสด	รหัสประจำตัว 40031508
3. นายรัชพล	สิทธิสินธุ์	รหัสประจำตัว 40031516

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....
(อาจารย์วรวิทย์ สมหา)

ลงนาม.....
(อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี)

ลงนาม.....
(อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....
(ผศ.ดร. ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51
VELOSITY AND POSITION CONTROL SYSTEM DEMONSTAROR
FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 เบอร์ AT89S8252
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของชิปไอซี AT89C2051 ตระกูลของ MCS
3. เพื่อศึกษาหลักการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส
4. เพื่อออกแบบวงจร และขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS เบอร์ AT89C2051
5. เพื่อสามารถนำเครื่องควบคุมความเร็ว และตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส ไปใช้งานจริงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้ IC เบอร์ AT89C2051 มาใช้ในการสร้าง PWM แทน IC เบอร์ SLE 4520 ที่มีปัญหาในการจัดหาซื้อได้
2. สามารถแก้ไขข้อบกพร่องของ DISPLAY โดยใช้การ SCAN – DISPLAY ด้วย IC MAX 7219 ได้
3. รู้หลักการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส
4. รู้หลักการทำงานของระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส
5. รู้จักการออกแบบวงจรและขั้นตอนการทำงานวงจรควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส
6. สามารถสร้างเครื่องต้นแบบของชุดทดลอง เครื่องควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS AT 89S8252
7. สามารถนำชุดทดลองเครื่องควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ 3 เฟส ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51

นายคมกริช ดีจะมาลา
นายชัยวัฒน์ งามสมโสด
นายรัชพล สิทธิสินธุ์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วรวิทย์ สมหา
อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS (AT89S8252) มีคุณสมบัติในการทำงานที่สามารถใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับขนาด 1/4 แรงม้า ระบบนี้จะใช้หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ PWM ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ 3 เฟส อีกทั้งสามารถกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้แน่นอน มีความผิดพลาดน้อยและสามารถกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VELOSITY AND POSITION CONTROL SYSTEM DEMONSTRATOR FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

MR.KOMGRICH DEJAMALA
MR.CHAIWAT NGAMSOMSAD
MR.RATCHAPOL SITTISIN

ADVISORS

MR.WORAWIT SOMHA
MR.SURAPONG SIRIPONGDEE
MR.PONGKIAT CHEDPITAKSAKUL

1998

ABSTRACT

This thesis presents the project of velocity and position control system demonstrator for three phase motor using MCS (AT89S8252). This system is designed for an 1/4 horse power induction motor. Microcontroller will generate the pulse width modulation signal to control speed, degree and direction of movement of three phase motor. This project can be applied for many industries

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือ และสนับสนุนในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และด้านการเงินจากภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ตลอดจนการได้รับคำปรึกษาอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ทุกท่าน รวมทั้งอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำรวมทั้งกำลังใจในการทำงานอยู่ตลอดเวลา

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในกลุ่มทุกคนที่ได้ร่วมแรงร่วมใจกันทำงานจนสามารถบรรลุเป้าหมายร่วมกัน เพื่อน ๆ ร่วมชั้นเรียนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือและกำลังใจ และที่สำคัญที่สุด ความสำเร็จครั้งนี้ขอมอบให้กับบุคคลซึ่งทำให้ได้รับการศึกษาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน คือ คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ ญาติพี่น้อง และผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	3
2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	8
2.3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสไควเรลเกจโรเตอร์	8
2.3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์	13
2.4 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ	15
2.4.1 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสไควเรลเกจโรเตอร์	16
2.4.2 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์	19
2.5 วิธีควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	20
2.5.1 การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์	21
2.5.2 การควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์	21
2.6 วิธีการระบุตำแหน่งการหมุนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ	23
2.7 การมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างพัลส์	30
2.7.1 หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.2 เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์	31
2.7.3 ข้อกำหนดทางเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณ ตามความกว้างของพัลส์ แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์	32
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	33
2.8.1 โครงสร้างของ 8051	33
2.8.2 การทำงานของ MCS-51	36
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้าง และการทำงาน	37
3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	37
3.2 วงจรภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	38
3.3 วงจรสร้างสัญญาณ PWM (โดยใช้ MCS-51)	40
3.4 วงจรเข้ารหัส	41
3.5 วงจรแสดงผลและรับคีย์	42
3.6 วงจรป้องกัน	44
3.7 วงจรอ้างอิงเริ่มต้น	46
3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	47
3.8.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	47
3.8.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	48
3.8.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลต์	48
3.8.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์	49
3.9 หลักการเขียนโปรแกรม	49
3.10 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน	55
3.10.1 โครงตัวเครื่อง (Frame)	55
3.10.2 แกนเพลาเกลียวและขอย	55
3.10.3 วิธีการคำนวณการออกแบบโครงสร้างของเครื่อง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	58
4.1 การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	58
4.2 การทดลองวงจร Pulse Width Modulation (PWM)	58
4.3 การทดลองการเข้ารหัส	61
4.4 การทดลอง Dead Time	61
4.5 การทดลองตำแหน่งและความเร็ว	62
สรุปผลการทดลอง	63
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ปัญหา และการพัฒนา	64
5.1 บทสรุป	64
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	65
5.3 แนวทางการพัฒนา	66
ภาคผนวก ก ภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์	67
ภาคผนวก ข ลายวงจรพิมพ์	71
ภาคผนวก ค โปรแกรมการทำงาน	74
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	113
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	117
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน	120
บรรณานุกรม	136
ประวัติผู้แต่ง	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับ	4
รูปที่ 2.2 แท่งแม่เหล็กรูปตัวยูวางคว่ำเข้าหาจานตัวนำ	5
รูปที่ 2.3 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N	6
รูปที่ 2.4 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่ได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	7
รูปที่ 2.5 การต่อขดลวดเฟส A	10
รูปที่ 2.6 การต่อขดลวดเฟส A และเฟส B	10
รูปที่ 2.7 การต่อขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C	10
รูปที่ 2.8 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสตาร์	11
รูปที่ 2.9 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบเดลต้า	11
รูปที่ 2.10 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในทิศทางหนึ่ง	12
รูปที่ 2.11 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟส เพื่อให้หมุนในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงข้ามกับรูปที่ 2.10	12
รูปที่ 2.12 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวค์โรเตอร์	14
รูปที่ 2.13 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวค์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทาง	15
รูปที่ 2.14 วงจรสตาร์ทโดยตรง	16
รูปที่ 2.15 วงจรสตาร์ทลดแรงดันป้อนโดยต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์	17
รูปที่ 2.16 วงจรสตาร์ทแบบต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์อันดับมอเตอร์	18
รูปที่ 2.17 วงจรสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า	19
รูปที่ 2.18 วงจรสตาร์ทสลิปริงมอเตอร์แบบต่อตรง	20
รูปที่ 2.19 วิธีควบคุมความเร็วโดยใช้มอเตอร์ 2 ตัวทำงานร่วมกัน	22
รูปที่ 2.20 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสลิปริง	27
รูปที่ 2.21 การต่อขดลวดแบบ Y-Δ	28
รูปที่ 2.22 หลักการสร้างสัญญาณ PWM ตามวิธีฮาร์โมนิกย่อย	31
รูปที่ 2.23 สัญญาณ PWMตามหลักการเทียบพื้นที่ใต้โค้งไซน์	33
รูปที่ 2.24 แผนผังโครงสร้างของ 8051	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	37
รูปที่ 3.2 วงจรสวิตชิ่งแบบฮาล์ฟบริดจ์	38
รูปที่ 3.3 วงจรชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	40
รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณ PWM (โดยใช้ MCS-51)	41
รูปที่ 3.5 ตัวเข้ารหัสและวงจรประกอบ	42
รูปที่ 3.6 วงจรป้องกัน	45
รูปที่ 3.7 วงจรป้องกันตัวเครื่อง	46
รูปที่ 3.8 วงจรอ้างอิงเริ่มต้น	46
รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	47
รูปที่ 3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	48
รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลต์	48
รูปที่ 3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์	49
รูปที่ 3.13 ผังการทำงานของโปรแกรม	51
รูปที่ 3.13 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม	52
รูปที่ 3.13 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม	53
รูปที่ 3.13 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม	54
รูปที่ 3.14 โครงตัวเครื่อง	55
รูปที่ 3.15 แกนเพลาเกลียวและขอย	56
รูปที่ 3.16 การทดรอบจากพูลเลย์ตัวเล็กไปยังตัวใหญ่	56
รูปที่ 3.17 เกลียวเพลาที่ใช้ติดตั้งขอย	57
รูปที่ 4.1 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต อยู่ 120 องศา ระหว่าง เฟส 1/1 และ เฟส 2/1	59
รูปที่ 4.2 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต อยู่ 240 องศา ระหว่าง 1/1 และ 3/1	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.3 ลักษณะการตรงกันข้ามของแรงดันที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต ในเฟส 1/1 และ 1/2 ในกิ่งเดียวกัน	60
รูปที่ 4.4 พัลส์ที่ได้จากตัวเข้ารหัสจะมีความแตกต่างกันอยู่ 4 รหัส ใน 1 รูปคลื่น	60
รูปที่ 4.5 สัญญาณจากตัวเข้ารหัส 1 สัญญาณ และสัญญาณจากตัวเข้ารหัส ที่ผ่านวงจร Exclusive OR	61
รูปที่ ก.1 การวางอุปกรณ์ภายในโครงเครื่อง	68
รูปที่ ก.2 ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	68
รูปที่ ก.3 แผงหน้าปัดแสดงการทำงาน	69
รูปที่ ก.4 การติดตั้งมอเตอร์สามเฟสกับชุดแมคคานิกส์มอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	69
รูปที่ ก.5 อุปกรณ์เข้ารหัส (Encoder)	70
รูปที่ ข.1 ลายวงจรพิมพ์ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่ง	72
รูปที่ ข.2 วงจรชุดสร้างสัญญาณ PWM	73
รูปที่ จ.1 จอแสดงผลหลังการเปิดสวิตช์ Power	118
รูปที่ จ.2 หน้าจอแสดงผลรอการเซ็ตค่าจากคีย์บอร์ด	118
รูปที่ จ.3 หน้าจอแสดงผลการเซ็ต Mode 1	118
รูปที่ จ.4 หน้าจอแสดงผลใส่ค่าจากคีย์บอร์ดในตำแหน่งเดิมที่ชี้อยู่	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 การทดลองตำแหน่งและความเร็ว	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจากประเทศเกษตรกรรมไปเป็นประเทศอุตสาหกรรม จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในประเทศไทยมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะงานควบคุม ที่ต้องใช้มอเตอร์ในงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายประเภท มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จึงมีบทบาทเกี่ยวเนื่องกับระบบควบคุมเฟสของมอเตอร์ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลโดยทั่วไป และเป็นระบบที่จำเป็นที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีราคาแพง เป็นผลให้ต้องมีการลงทุนสูงในงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการสร้างชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 3 เฟส ในเวลาหมุนให้ช้าหรือเร็วได้ตามที่กำหนด รวมทั้งสามารถควบคุมตำแหน่งการหยุดหมุน และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยระบบนี้สามารถใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1/4 แรงม้า เมื่อศึกษาระบบเป็นอย่างดีแล้ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เช่นใช้เป็นส่วน Backgage ในเครื่องตัดเหล็กหรือเครื่องพับเหล็กได้ ซึ่งโครงงานนี้ได้พัฒนา Scan Display Sevensegment และใช้ IC เบอร์ AT89C2051 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM ส่วนของ Key Guard ได้เพิ่มคีย์ฟังก์ชั่นเลื่อนซ้าย,ขวา เข้าไป โดยในขณะทำงานนั้น Seven Segment จะแสดงผลการทำงานอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนต่าง ๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำรวมทั้งวิธีการควบคุมความเร็ว และการกำหนดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตลอดจนการใช้หลักการ มอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ หรือ PWM และการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน จะกล่าวถึง แผนผังการทำงานของโครงงาน , การออกแบบวงจร, หน้าที่ของวงจรต่าง ๆ และการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในโครงงาน

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง จะกล่าวถึงผลการทดลองในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ และรูปคลื่นสัญญาณตามจุดทดสอบต่าง ๆ ของแต่ละวงจรในโครงงาน

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ปัญหา และการพัฒนา จะกล่าวถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ ของระบบที่ทำในโครงงาน, การอธิบายสาเหตุของข้อบกพร่อง,แนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้เป็นระบบที่ดีขึ้น และแนวทางในการที่จะสามารถพัฒนาโครงงานให้มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบเดิมที่สร้างขึ้นมา

ภาคผนวก ก ภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์

ภาคผนวก ข ภาพวงจรรวมและลายวงจรพิมพ์ที่ใช้ในโครงงาน

ภาคผนวก ค การรวบรวมโปรแกรมการทำงาน

ภาคผนวก ง การสรุปรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานทั้งหมด

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานของโครงงาน

ภาคผนวก ฉ การรวบรวมรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานจากคู่มือการใช้งานอุปกรณ์นั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีทั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์แบบซิงโครนัสซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กไปจนถึงโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือแม้แต่บ้านพักอาศัย ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของเครื่องอำนวยความสะดวกทั้งที่เป็นสิ่งจำเป็นและฟุ่มเฟือยในรูปแบบต่าง ๆ กันมากมายตั้งแต่ขนาดเล็ก ๆ ไปจนถึงขนาดใหญ่ ยกเว้นเพียงบางชนิดที่อาจจะออกแบบ ให้สามารถปรับความเร็วได้ แต่ก็เป็นส่วนน้อย

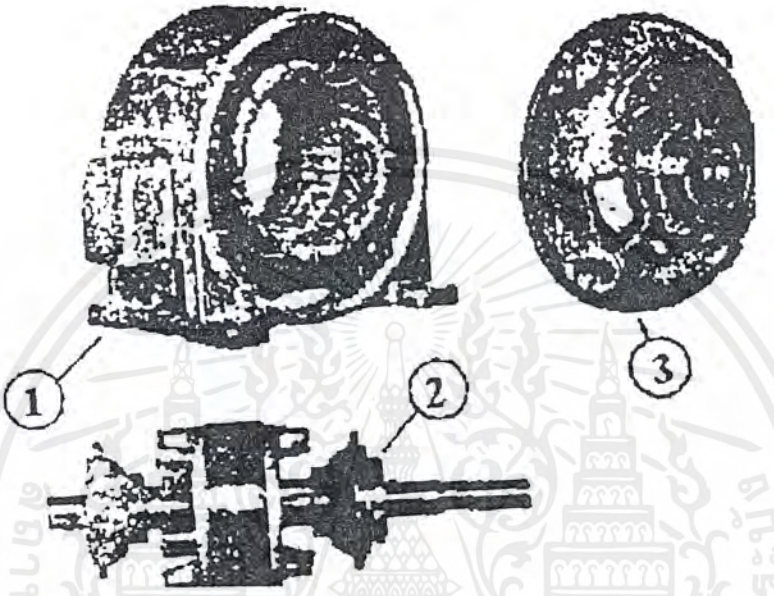
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคือเครื่องกลไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ส่วนโรเตอร์ของมอเตอร์โดยตรง แต่ได้จากการเหนี่ยวนำหรือที่เรียกว่าอินดั๊กชั่น (Induction) ดังนั้นจึงเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนี้บางทีเรียกชื่อสั้น ๆ ว่า มอเตอร์ไฟสลับ หรือมอเตอร์กระแสสลับ แบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ แบบที่มีโรเตอร์เป็นสไควเรลเกจ (Squirrel Cage) หรือทรงกระรอกเรียกมอเตอร์แบบนี้ว่าสไควเรลเกจมอเตอร์ (Squirrei Cage Motor) และแบบที่โรเตอร์พันด้วยเส้นลวดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า วาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) เรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า วาวด์โรเตอร์มอเตอร์ (Wound Rotor Motor)หรือเรียกว่า สลิปริงมอเตอร์ (Slip Ring Motor)

มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้ จะมีส่วนประกอบคล้าย ๆ กันดังนี้ คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) เหมือนกัน ฝาครอบ (End Plate) เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงเฉพาะส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) เท่านั้น และมอเตอร์ไฟสลับหรืออินดั๊กชั่นมอเตอร์นี้ ยังแบ่งได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดหนึ่งเฟส (Single-Phase) และชนิดสามเฟส (Three-Phase) และโดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะใช้มอเตอร์สามเฟสเป็นจำนวนมากและเป็นที่นิยมใช้โดยเฉพาะงานด้านควบคุมจะใช้อย่างมาก

ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับทั้งชนิดหนึ่งเฟสและสามเฟส จะเหมือนกัน โดยประกอบไปด้วยสามส่วนส่วนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนอยู่กับที่ หรือ สเตเตอร์
2. ส่วนเคลื่อนที่ หรือ โรเตอร์
3. ฝาครอบ



หมายเลข 1 เรียกว่า ส่วนอยู่กับที่ หมายเลข 2 เรียกว่า ส่วนที่เคลื่อนที่ หมายเลข 3 เรียกว่าฝาครอบ

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับ

2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) เบื้องต้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีหลักการดังนี้

1. เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นจานตัวนำกลมบาง

ทำได้โดยนำเอาแท่งแม่เหล็กรูปตัวยู (U) วางคว่ำให้ขั้วแม่เหล็ก N และ S หันเข้าหาจานตัวนำที่ทำด้วยแผ่นเหล็ก,ทองแดงหรืออลูมิเนียม ดังรูปที่ 2.2 โดยให้จานตัวนำและแท่งแม่เหล็กมีศูนย์กลางร่วมกัน เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N จะพุ่งเข้าหาจานตัวนำและกลับเข้าหาขั้ว S เมื่อแท่งแม่เหล็กและจานตัวนำอยู่นิ่งกับที่ จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่วนจานตัวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านจานตัวนำก็ตาม เพราะเส้นแรงแม่เหล็กและจานตัวนำ ไม่มีการเคลื่อนที่

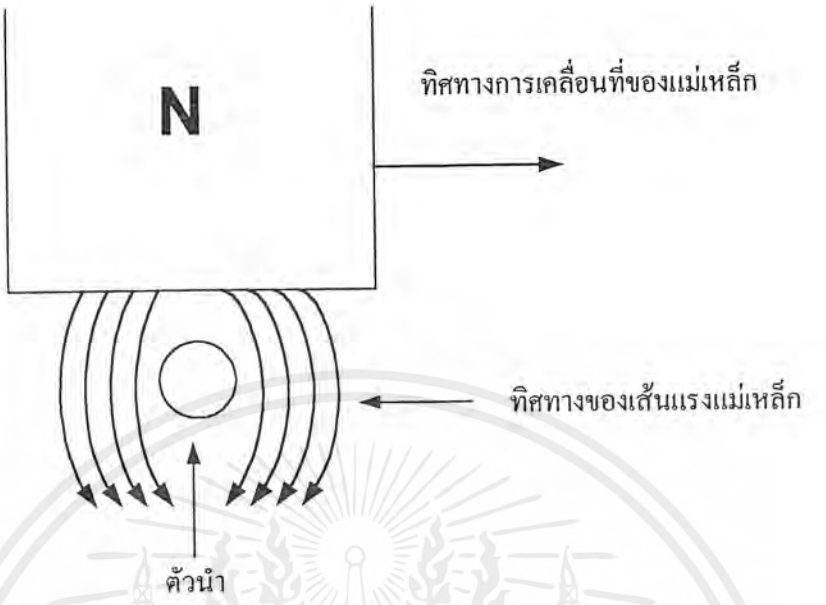
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้จานตัวนำอยู่กับที่แล้วให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาในกรณีนี้ก็เหมือนกับว่าให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วให้จานตัวนำเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาจะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่จานตัวนำจะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหาได้โดยใช้กฎมือขวา(Right Hand Rule) ของเฟลมมิ่ง จะได้ว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลออกจากใต้ขั้วแม่เหล็ก N ไปสู่ขอบจานตัวนำเมื่อมองจากจุด A เข้าหาจานตัวนำ และก็จะพบว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลออกจากขอบจานตัวนำให้เข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S หาทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำได้จากกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง

รูปที่ 2.2 แท่งแม่เหล็กรูปตัวยูวางคร่ำเข้าหาจานตัวนำ

จากทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะพิจารณาต่อไปได้อีกว่า ที่ขั้วแม่เหล็ก N เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกมาจากขั้วแม่เหล็ก N และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสการเหนี่ยวนำด้านขวามือ จะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วแม่เหล็ก N ที่ขั้วแม่เหล็ก S เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือก็จะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านขวามือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S ทิศทางการเคลื่อนที่ ของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำนี้ หาได้จากกฎมือขวา ดังนั้นลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N

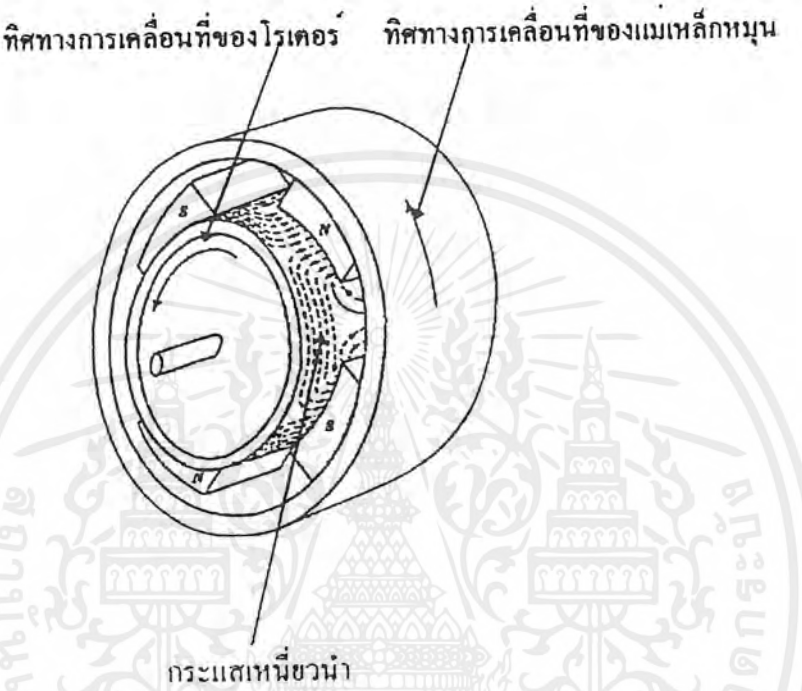
จากรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ ที่จานตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N นี้ เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำ และเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก N เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้เกิดแรงขึ้นที่ตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางขวามือ ดังรูปที่ 2.3 หรือจานตัวนำจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา นั้นก็คือส่วนจานตัวนำจะเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับทิศทางในการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กที่กำหนดไว้ในครั้งแรก ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของจานตัวนำนี้ ก็หาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง และจานตัวนำ ซึ่งเป็นส่วนเคลื่อนที่นี้จะเคลื่อนที่หรือหมุนด้วยความเร็วที่น้อยกว่าความเร็วของแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ หรือแท่งแม่เหล็กหมุนเสมอ

2. เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก

จากรูปที่ 2.4 ส่วนเคลื่อนที่ที่เป็นตัวนำรูปทรงกระบอก จะอยู่ภายในโครงเหล็กทรงกระบอก ที่มีขั้วแม่เหล็ก N และ S ยึดติดอยู่ 2 คู่ หรือ 4 ขั้วแม่เหล็ก สมมุติว่าถ้าทำให้ตัวนำทรงกระบอกอยู่กับที่แล้วให้ขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับโครงเหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ก็เหมือนกับว่า ถ้าให้ขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วทำให้ตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา จะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ตัวนำทรงกระบอกโดยจะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่หรือการไหลของกระแสเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง จะได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลจากขอบแกนทรงกระบอกเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลออกจากแกนทรงกระบอกผ่านภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ไปยังขอบแกนซ้ายมือด้านนอก



รูปที่ 2.4 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่ได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ดังนั้นทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำ ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N ทั้งสองขั้วจะมีทิศทางเหมือนกัน คือไหลจากขอบด้านนอกของแกนตัวนำซ้ายมือ ผ่านภายใต้ขั้ว N ไปสู่ขอบของแกนตัวนำขวามือ และทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ทั้งสองขั้วนี้ก็จะมีลักษณะทิศทางเหมือนกัน คือ ไหลจากขอบแกนตัวนำด้านในขวามือ ผ่านภายใต้ขั้ว S ออกมาสู่ขอบแกนตัวนำด้านซ้ายมือ

เมื่อเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กแล้ว จะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่หมุนไป ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่หมุนไปของแกนตัวนำทรงกระบอกนี้ หาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของ คือกางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากแก่กันและกัน เมื่อให้นิ้วชี้แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก N และ S นิ้วกลางแทนทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N หรือ S แล้วนิ้วหัวแม่มือจะแทนทิศทางการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแกนตัวนำทรงกระบอกที่เคลื่อนที่ไป ดังนั้นจะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอก ตามรูปที่ 2.4 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ตามทิศทางของขั้วแม่เหล็กที่กำหนดให้เคลื่อนที่ไว้ครั้งแรก

แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถที่จะทำให้ขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับโครงมอเตอร์เคลื่อนที่ได้ แต่เป็นข้อที่น่าสังเกตก็คือ ถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์เคลื่อนที่หมุนไปในทิศทางใด ขอให้เข้าใจว่าสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงจะต้องเคลื่อนที่ในทิศทางนั้นเสมอ

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลรักษาน้อยและมีความเร็วเกือบคงที่ คือความเร็วจะลดลงจากสภาพไม่มีโหลดจนกระทั่งขับโหลดเต็มที่เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือ

1. ควบคุมความเร็วได้ยาก
2. ขณะที่โหลดน้อยจะทำงานที่ Power Factor ต่ำและล้าหลัง
3. กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน มักจะเป็น 5 เท่า หรือ 7 เท่าของกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ (หรือกระแสไฟฟ้าที่พิกัด)

โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่หมุน (Rotor) ส่วนที่อยู่กับที่จะมีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล็อต ส่วนที่หมุนจะมีหน้าที่ในการหมุนแกน ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มี 2 แบบ ประกอบไปด้วย แบบสไควเรลเกจโรเตอร์ และแบบวาวด์โรเตอร์

2.3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสไควเรลเกจโรเตอร์

มอเตอร์แบบนี้มีใช้งานกันแพร่หลายที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานอุตสาหกรรม โดยปกติแล้วมอเตอร์สามเฟสแบบนี้จะทำงานด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา

ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้คือ สเตเตอร์โรเตอร์ และฝาครอบหัวท้าย ซึ่งฝาครอบนี้อาจจัดเข้าเป็นสเตเตอร์ก็ได้ แกนโรเตอร์ (Rotorcore) จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางลามิเนทลักษณะกลม เจาะรูด้านนอกโดยรอบเป็นสล็อต นำมายึดติดกันให้เป็นแกนรูปทรงกระบอก รูสล็อตโดยรอบฝังด้วยตัวนำไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นทองแดงหรือโลหะผสม หรืออลูมิเนียม ในกรณีที่สล็อตฝังด้วยแท่งตัวนำ ปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำที่โผล่ออกไปที่ด้านทั้งสองของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนโรเตอร์ จะถูกต่อเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยแหวนตัวนำ โดยการเชื่อมให้หลอมละลายติดกัน แต่ก่อนใช้วิธีนี้ ซึ่งมีปัญหาอย่างมาก คือรอยต่ออาจหลอมละลาย หรือแยกจากกันด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน

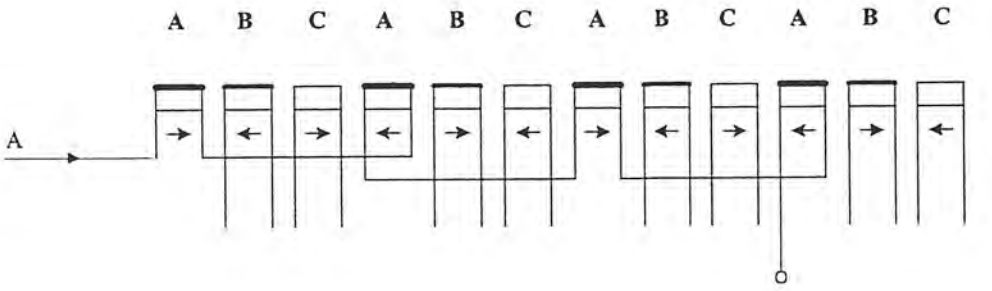
ในปัจจุบันนี้ ตัวนำที่บรรจุอยู่ในสล็อตของโรเตอร์ จะใช้วิธีหล่อด้วยตัวนำไฟฟ้าซึ่งปกติจะเป็นโลหะผสมหรืออลูมิเนียมเข้าไปด้วย รวมทั้งหล่อแหวนตัวนำเชื่อมตัวนำในสล็อตแต่ละด้าน ของโรเตอร์ด้วยสำหรับสเตเตอร์สำหรับสเตเตอร์จะประกอบด้วยโครงเหล็ก แกน ขดลวด และขดลวด โครงเหล็กนี้จะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าแบบที่ผิวนอกเรียบอาจทำด้วยแผ่นเหล็กเหนียว ม้วนให้เป็นรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมให้ติดกันก็ได้ ส่วนด้านนอกจะมีกล่องต่อสายและขาตั้งซึ่งลักษณะของสเตเตอร์มอเตอร์สามเฟส, แกนเหล็กสเตเตอร์หรือแกน ขดลวด จะทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทเช่นเดียวกับแกนโรเตอร์ โดยตัดตรงกลางแผ่นลามิเนทออกแล้วเซาะด้านในให้เป็นร่องเกิดโดยรอบที่เรียกว่าสล็อต แล้วนำเอาแผ่นลามิเนทเหล่านี้มาอัดยึดติดกัน แล้วทำการพันขดลวดสเตเตอร์

ฝาครอบหัวท้ายของมอเตอร์จะทำด้วยเหล็กหล่อมีรูตรงกลางสำหรับอักแบริ่งรองรับเพลาให้ติดแน่นทั้งสองข้าง ที่ฝาครอบนี้จะเจาะให้มีช่องสำหรับการถ่ายเทอากาศด้วย คือเป็นช่องสำหรับให้ลมร้อนออกมาเป็นการช่วยระบายความร้อนของมอเตอร์ด้วย แบริ่งที่อัดติดกับรูตรงกลางของฝาครอบ อาจจะเป็นแบบปลอกหรือสลีฟ (Sleeve bearing) และแบบบอลล์ (Ball bearing) แต่ส่วนมากจะใช้แบริ่งแบบบอลล์ ลักษณะของฝาครอบดังรูป2.1

การต่อมอเตอร์สไควเรลเกจ สามเฟสใช้งาน โดยมอเตอร์สามเฟสนั้นโพลแต่ละโพลจะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด หรือ 3 เฟส คือ เฟส 1 เฟส 2 และเฟส 3 หรือ เฟส A เฟส B และเฟส C การต่อขดลวดมี 2 แบบด้วยกันคือ แบบสตาร์หรือวาย (Y) และแบบเดลต้า (Δ) ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป โดยจะเริ่มต้นภายหลังจากการพันขดลวดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขดลวดแต่ละเฟสที่ขั้วแม่เหล็กแต่ละโพลนั้น จะมีปลายสาย 2 เส้น คือ ต้นกับปลาย

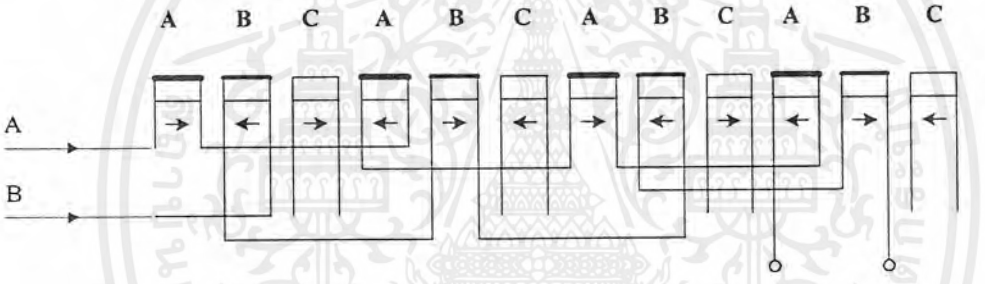
การต่อขดลวดแต่ละเฟสกระทำได้ดังนี้ คือเริ่มต้นจากขดลวดเฟส A ต่อสายไฟเข้าที่ต้นของเฟส A ที่โพลที่ 1 แล้วต่อปลายของเฟส A ที่โพลที่ 1 เข้ากับปลายของเฟส A ที่โพลที่ 2 (ทิศทางของกระแสจะไหลสวนทางกัน) ต่อต้นของเฟส A ที่โพลที่ 2 เข้ากับต้นของเฟส A ที่โพลที่ 3 และต่อปลายของเฟส A ที่โพลที่ 3 เข้ากับปลายของเฟส A ที่โพลที่ 4 ในที่สุด จะเหลือต้นกับปลายของเฟส A เพียง 2 เส้นดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



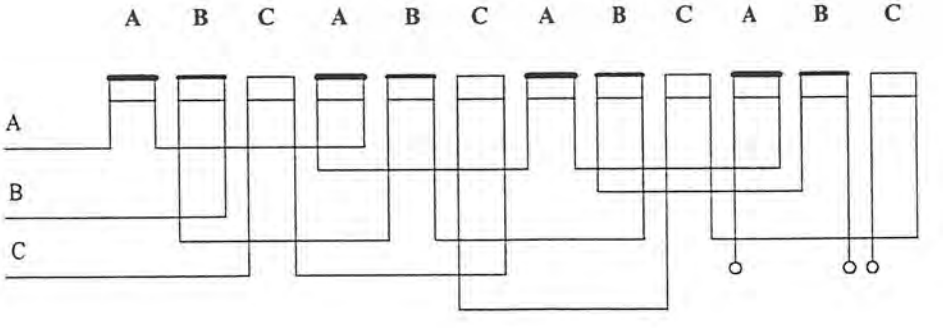
รูปที่ 2.5 การต่อขดลวดเฟส A

การต่อขดลวดเฟส B และเฟส C ก็กระทำในลักษณะเดียวกัน คือ เริ่มต้นที่เฟส B ของโพลที่ 1 ไปเรื่อยจนถึงโพลที่ 4 จะเหลือปลายสาย 2 เส้นเช่นเดียวกับเฟส A ดังรูปที่2.6



รูปที่ 2.6 การต่อขดลวดเฟส A และเฟส B

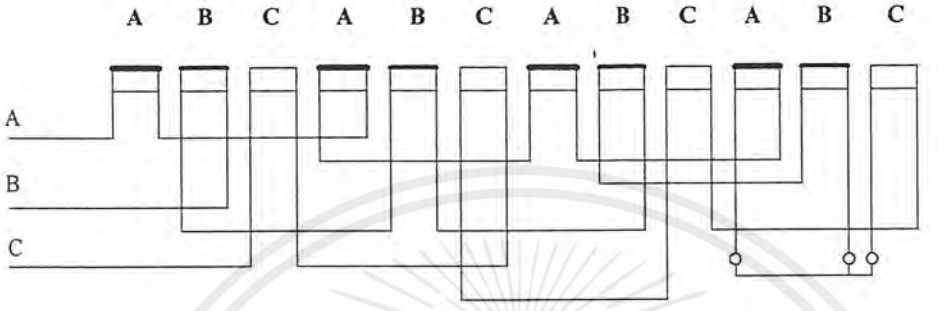
การต่อขดลวดเฟส C ก็เริ่มจากขดลวดเฟส C ที่โพลที่ 1 ไปเรื่อยจนถึงโพลที่ 4 จะเหลือปลายสายเพียง 2 เส้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การต่อขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C

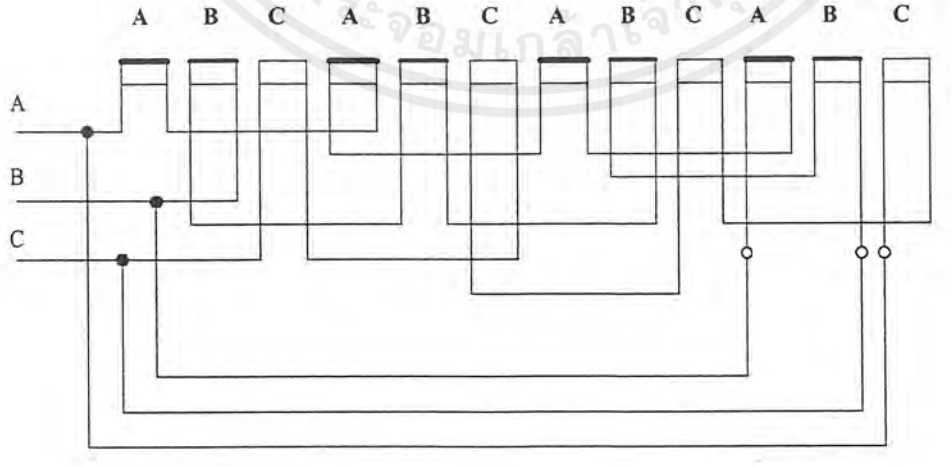
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเกจใช้งานมี 2 แบบด้วยกันคือ ต่อแบบสตาร์ และต่อแบบเดลต้า สำหรับการต่อขดลวดให้เป็นแบบสตาร์นั้นให้นำเอาปลายของขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C มาต่อเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.8 จุดต่อนี้เรียกว่า Star Point



รูปที่2.8 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสตาร์

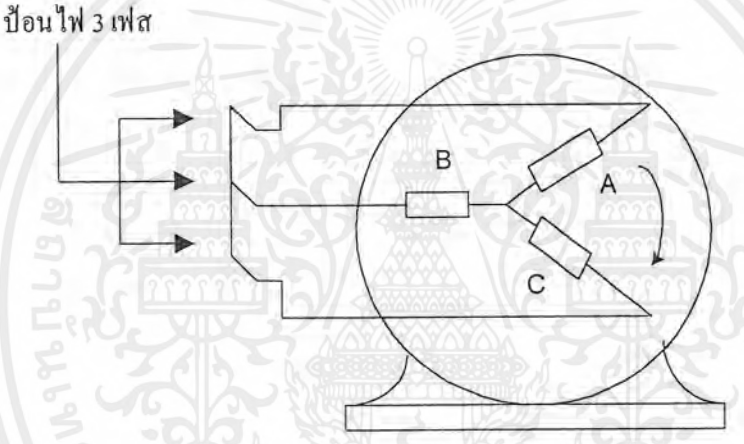
ส่วนการต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบเดลต้านั้น กระทำได้ดังนี้คือ จากการต่อขดลวด เฟส A เฟส B และเฟส C ในรูปที่ 2.8 ให้เอาปลายสายของเฟส A ที่โพลที่ 4 ต่อเข้ากับต้นของเฟส B ที่โพลที่ 1 และเอาปลายสายของเฟส B ที่โพลที่ 4 ต่อเข้ากับต้นของเฟส C ที่โพลที่ 1 จะได้ขดลวดแบบเดลต้าดังรูปที่ 2.9 การต่อขดลวดมอเตอร์แบบสตาร์ก็เพื่อใช้กับไฟฟ้าแรงดันสูง เช่นแรงดัน 380 โวลท์ เป็นต้น และการต่อขดลวดมอเตอร์แบบเดลต้า ก็เพื่อใช้กับไฟฟ้าแรงดันต่ำ เช่น 220 โวลต์



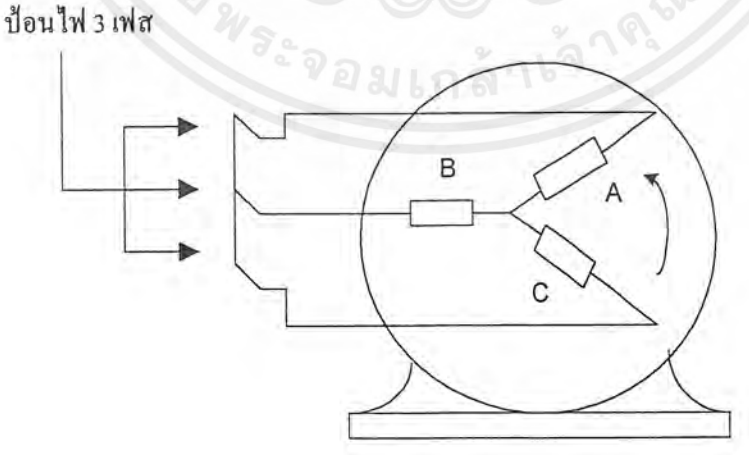
รูปที่ 2.9 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต่อสายมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้มอเตอร์หมุนกลับทางนั้น กระทำได้ง่าย ๆ ดังนี้ คือ ถ้าแต่เดิมต่อปลายสายของขดลวดเฟส A และเฟส B และเฟส C เข้ากับแรงดันไฟฟ้า เฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ มอเตอร์สามเฟสตัวนั้นก็จะหมุนไปในทิศทางหนึ่ง การที่จะกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้สลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส B หรือ สลับปลายสายของขดลวดเฟส B กับเฟส C หรือสลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส C เพียงคู่หนึ่งคู่ใดเพียงคู่เดียว มอเตอร์ก็จะหมุนกลับทาง ไม่ควรต่อสลับปลายสายพร้อมกันทั้งสามปลายในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางเดิมอีก การต่อปลายสายมอเตอร์สามเฟสสมมุติว่าให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ต่อตามรูปที่ 2.10 และเมื่อต้องการต่อมอเตอร์สามเฟสให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็ต่อตามรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในทิศทางขวามือ



รูปที่ 2.11 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟส เพื่อให้หมุนในทิศทางซ้ายมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

มอเตอร์แบบนี้จะมีใช้เฉพาะบางงานเท่านั้น โดยสามารถปรับความเร็วได้ง่าย และสะดวก ซึ่งต่างจากมอเตอร์แบบสไควเรลเกจที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่เสมอ มอเตอร์แบบนี้มีส่วนประกอบเหมือนกับมอเตอร์แบบสไควเรลเกจ คือประกอบด้วย สเตเตอร์ โรเตอร์ และฝาครอบ สเตเตอร์และฝาครอบ' โดยส่วนของจะเหมือนกับมอเตอร์แบบชนิดสไควเรลเกจทุกประการ แม้แต่การพันขดลวด การต่อขดลวด ดังนั้นจึงจะไม่กล่าวรายละเอียดเพิ่มเติมอีก ส่วนที่แตกต่างกันคือโรเตอร์ โดยโรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์นี้จะใช้ทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทเจาะรูเป็นสล็อต และมีรูสำหรับการระบายความร้อน แล้วนำแผ่นลามิเนทแต่ละแผ่นมาอัดเข้าด้วยกันเป็นแกนโรเตอร์เช่นเดียวกับแกนโรเตอร์ของมอเตอร์สไควเรลเกจทุกประการ ที่แตกต่างกันจริง ๆ ก็เฉพาะขดลวดที่พันลงในสล็อตโรเตอร์ จะพันด้วยเส้นทองแดงกลมหรือแบนซึ่งแล้วแต่จะออกแบบ โดยพันให้แต่ละเฟสห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า และ พันให้มีจำนวนโพลที่สเตเตอร์ทุกประการด้วย เมื่อพันขดลวดลงในสล็อตโรเตอร์เสร็จแล้ว จะต่อขดลวดเป็นแบบสตาร์ เหลือปลายสายต่อเข้ากับสลิปริงเพียง 3 ปลายเท่านั้น สลิปริงที่ยึดติดอยู่กับเพลาโรเตอร์นี้ แต่ละตัวจะมีฉนวนรองรับเพื่อไม่ให้เกิดการตีดต่อถึงกันทางไฟฟ้า ที่สลิปริงจะมีแปรงถ่าน (Carbon Brushes) วางสัมผัสอยู่ในซองแปรงถ่าน และมีสปริงกดให้สัมผัสแน่นตลอดเวลาด้วย จากแปรงถ่านนี้จะต่อสายออกไปภายนอก เพื่อต่อเข้ากับความต้านทานเพื่อควบคุมความเร็วต่อไป

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์มีหลักการทำงาน เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน และมีความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส ความเร็วซิงโครนัสนี้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนโพลของมอเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจะยุบตัวและขยายตัว ตัดกับขดลวดที่ส่วนโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและกระแสเหนี่ยวนำด้วย กระแสเหนี่ยวนำนี้จะไหลผ่านสลิปริงผ่านความต้านทานภายนอกที่ต่อร่วมกับขดลวดโรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มเดินและปรับความเร็ว

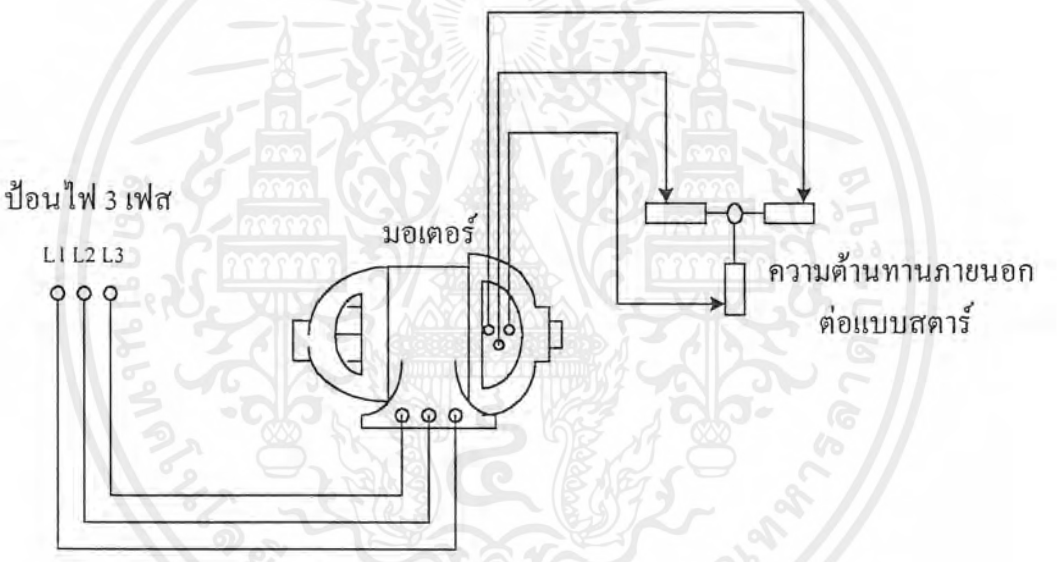
ขณะเริ่มเดินความต้านทานภายนอกจะต่อแบบสตาร์ ความต้านทานที่ต่อเข้าไปร่วมกับขดลวดโรเตอร์ จะมีผลทำให้แรงบิดเริ่มต้นดีขึ้น และเป็นผลทำให้อิมพีแดนซ์ของส่วนโรเตอร์เพิ่มขึ้น กระแสโรเตอร์ก็จะลดลง แต่กระแสเกือบจะมีเฟสเดียวกันกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์จึงเป็นผลทำให้แรงบิดตอนสตาร์ทสูงขึ้น

เมื่อความเร็วมอเตอร์สูงขึ้นแล้วจึงค่อย ๆ ลดความต้านทานภายนอกออกจากวงจรของขดลวดโรเตอร์ เมื่อลดความต้านทานภายนอกออกหมด สลิปริงจะต่อลัดวงจรที่จุดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตาร์ของความต้านทานภายนอก ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัด (Rated Spud) ถ้าต้องการปรับความเร็วของมอเตอร์แบบนี้ก็ให้เพิ่มความต้านทาน หรือให้ลดความต้านทานภายนอกเข้ากับวงจรขดลวดโรเตอร์ ปกติแล้วจะปรับความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วเต็มพิกัด

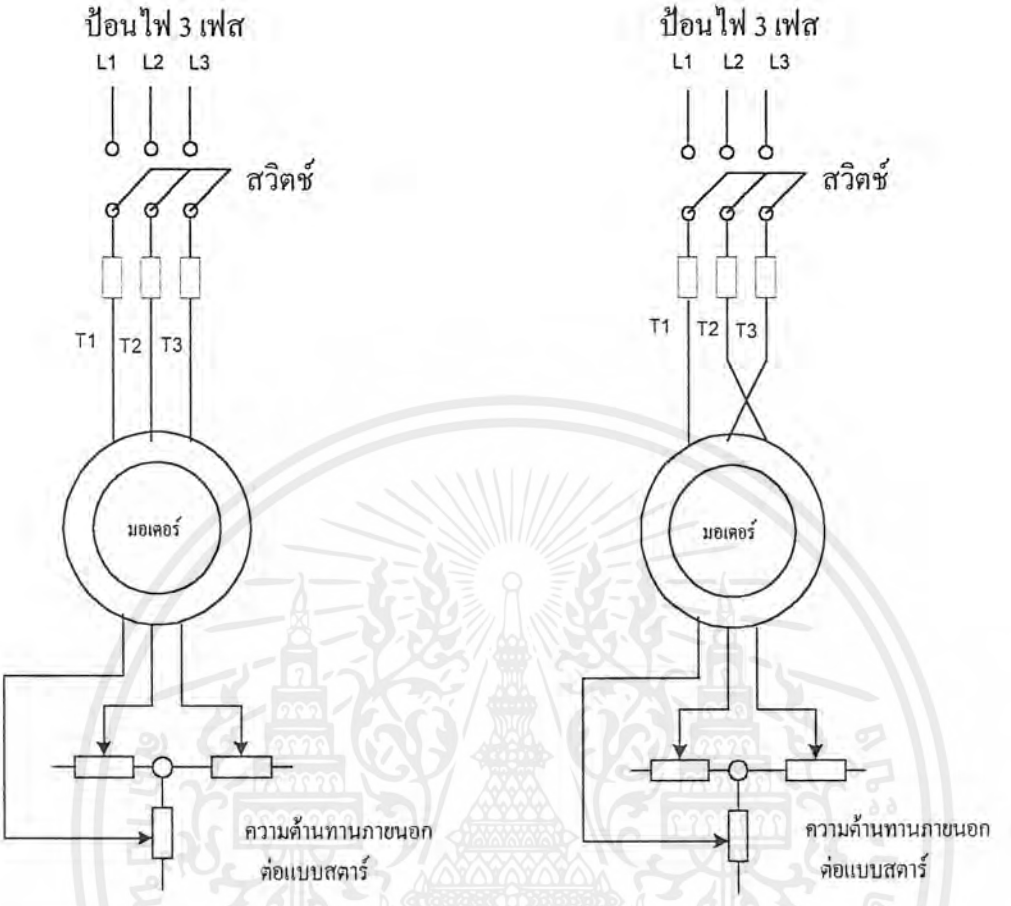
การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์เพื่อใช้งาน ใช้วิธีการต่อขดลวดสเตเตอร์เริ่มต้นตั้งแต่การต่อกลุ่มคอยล์ (Coil Group) หรือต่อขดลวดแต่ละชุดหรือแต่ละเฟสภายในแต่ละโพล การต่อขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์ การต่อขดลวดเป็นแบบสตาร์หรือเดลต้า ทำได้เช่นเดียวกับมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเกจ ในการต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ต่อได้ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

สำหรับการต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทางก็กระทำได้เช่นเดียวกับมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเกจ กล่าวคือให้สลับปลายสายที่ต่อเข้ากับส่วนขดลวดสเตเตอร์ เพียงคู่หนึ่งคู่ใดเท่านั้น ดังรูปที่ 2.13 ในรูปที่ 2.13 ก. เป็นการต่อมอเตอร์ให้หมุนไปทิศทางหนึ่ง และรูปที่ 2.13 ข. เป็นการต่อมอเตอร์ในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงกันข้าม แต่ถ้าต่อปลายสายที่โรเตอร์ให้สลับกัน มอเตอร์จะไม่หมุนกลับทางแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. มอเตอร์จะหมุนในทิศทางหนึ่ง ข. มอเตอร์จะหมุนในอีกทิศทางหนึ่ง

รูปที่ 2.13 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทาง

2.4 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เรียกว่าอินดั๊กชั่นมอเตอร์ก็เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า นั่นก็คือโรเตอร์ทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิ จะต่างเพียงนิดเดียวคือ โรเตอร์ของมอเตอร์จะเชื่อมครบวงจรแบบ Short Circuit ตลอดเวลาดังนั้นเมื่อป้อนไฟสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์แล้วกระแสอินพุตของขดลวดสเตเตอร์ (ขดลวดปฐมภูมิ) จะสูงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสตาร์ทนี้จะยังไม่มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ เกิดต้านกับแรงดันป้อน กระแสในช่วงสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าประมาณ 5-7 เท่า ของกระแสเมื่อมอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด แต่แรงบิดในช่วงนี้จะมีค่าประมาณ 1.5-2.5 เท่า ของแรงบิดที่โหลดเต็มพิกัดเท่านั้น กระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงในชั่วขณะนี้ จะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลดลง (Drop) ในสาย อันจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

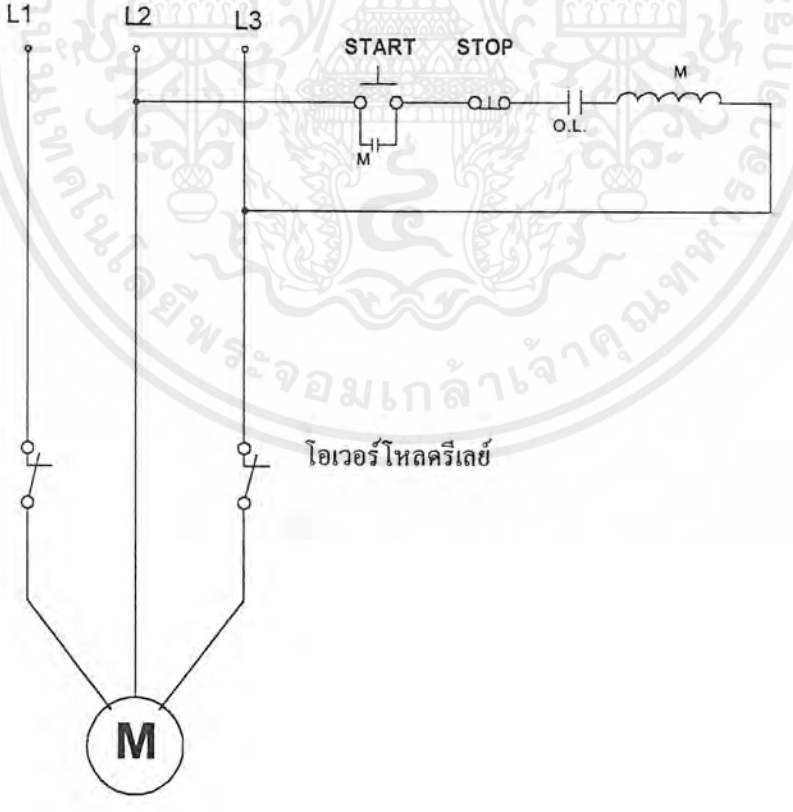
มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่ต่อร่วมในวงจรเดียวกัน นั้นมอเตอร์ที่มีขนาดตั้งแต่ 30 แรงม้าขึ้นไปจึงไม่ควรที่จะสตาร์ทโดยตรง (Direct Start)

แรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถที่จะแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มความต้านทานให้กับวงจรโรเตอร์ ซึ่งกรณีนี้สามารถใช้กับมอเตอร์สามเฟสแบบสลิปริงได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถทำได้ไปใช้กับมอเตอร์แบบสไควเรลเกจได้ อย่างไรก็ตามวิธีการลดกระแสสตาร์ทก็สามารถทำได้โดยการลดแรงดันป้อนของสเตเตอร์ในช่วงสตาร์ทเมื่อมอเตอร์ทำงานแล้วจึงเพิ่มแรงดันให้มีค่าตามพิกัดกำหนด

2.4.1 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสไควเรลเกจโรเตอร์

1. วิธีสตาร์ทโดยตรง (Direct Start หรือ On Line Start)

วิธีมักจะใช้กับมอเตอร์ขนาดแรงม้าต่ำ ๆ คือไม่ควรเกิน 30 แรงม้า ดังได้กล่าวแล้วว่ากระแสสตาร์ทจะมีค่าที่สูงมาก ประมาณ 5-7 เท่าของกระแสเต็มพิกัด แต่แรงบิดต่ำมากคือเพียง 1.5-2.5 เท่าของแรงบิดที่โหลดเต็มพิกัดเท่านั้น วงจรสตาร์ทโดยตรงเป็นดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรสตาร์ทโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

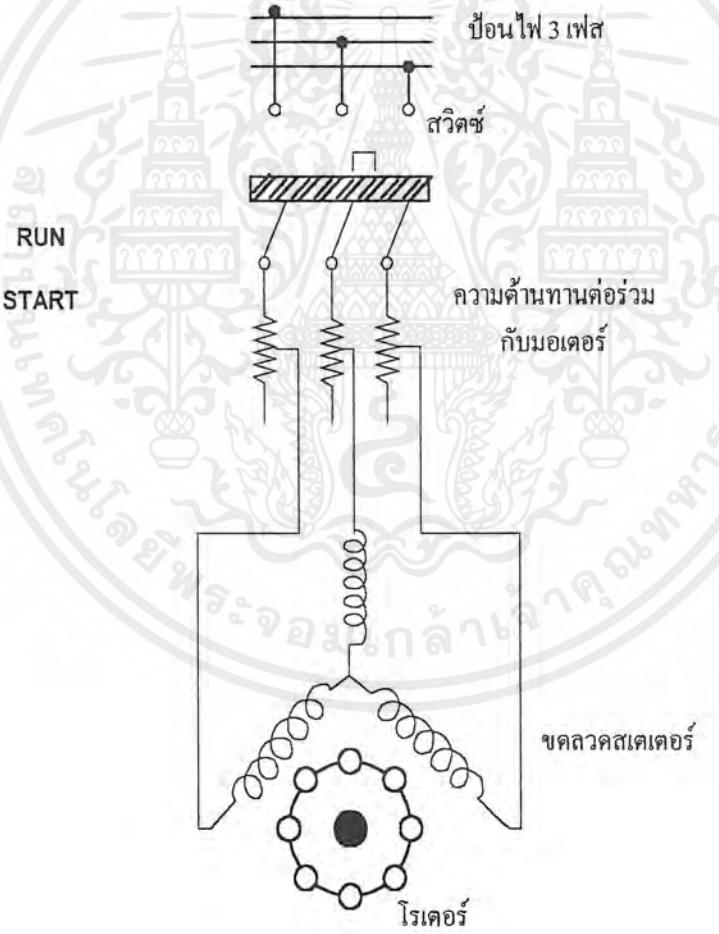
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2. วิธีสตาร์ทโดยลดแรงดันป้อน (Reduce Voltage Start)

วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบลดแรงดันป้อนนี้มีหลายวิธีด้วยกันดังนี้

ก. ต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์ (Primary Resistor or Rheostat)

การต่อวิธีนี้เพื่อที่จะลดแรงดันป้อนในช่วงสตาร์ทให้ต่ำลง โดยที่กระแสไฟฟ้าในช่วงสตาร์ทก็จะลดลงด้วย เนื่องจากกระแสจะแปรผันโดยตรงกับแรงดัน และแรงบิดแปรผันกับแรงดันกำลังสองสมมุติว่าถ้าแรงดันป้อนลดลง 50 % แต่แรงบิดสตาร์ทจะลดลงเพียง 25 % ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัดเท่านั้น เมื่อมอเตอร์ทำงานแล้วมีความเร็วสูงขึ้น แล้วจึงค่อย ๆ ลดความต้านทานออกจากวงจรขดลวดสเตเตอร์ วงจรสตาร์ทแบบนี้ดังรูปที่ 2.15



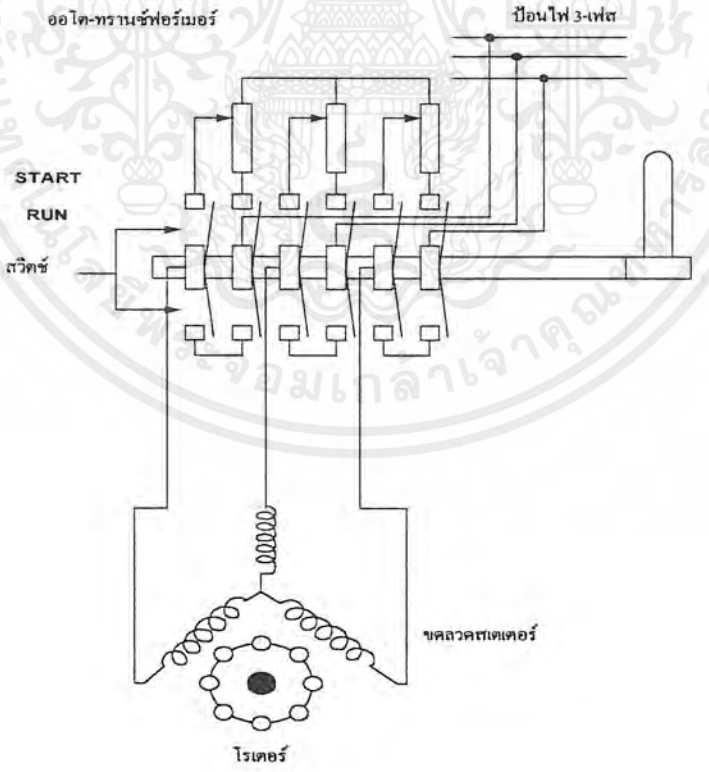
รูปที่ 2.15 วงจรสตาร์ทลดแรงดันป้อนโดยต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
32863

ข. วิธีต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์ (Auto-Transformer) อันดับกับมอเตอร์

วิธีสตาร์ทมอเตอร์แบบนี้บางทีเรียกว่า ออโต-สตาร์ทเตอร์ (Auto-Starter) หรือเรียกว่า คอมเพนเซเตอร์ (Compensator) ซึ่งจะประกอบด้วย ออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์ และเป็นสวิตช์อัตโนมัติ ตามรูปใช้ออโต-ทราส์ฟอร์เมอร์ หนึ่งเฟส 3 ตัว หรือออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์สามเฟส 1 ตัว เมื่อเริ่มสตาร์ท จะสับสวิตช์ไปยังตำแหน่งสตาร์ท จะสังเกตเห็นว่าแรงดันป้อนมอเตอร์จะมีค่าลดลงเหลือเพียง XV เท่านั้น เมื่อมอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้นประมาณ 80 % ของความเร็วเต็มพิกัดแล้วจึงสับสวิตช์ไปยังตำแหน่งรัน (Run) ขณะนี้แรงดันป้อนมอเตอร์จะมีค่าตามพิกัดคือ V สวิตช์ที่ใช้ ถ้าใช้กับมอเตอร์ขนาดแรงม้าต่ำจะใช้ชนิด Air Break แต่ถ้ามอเตอร์ขนาดแรงม้าสูงจะใช้สวิตช์ชนิด Oil -Immersed ทั้งนี้เพื่อลดการสปาร์ค (Spark) ที่หน้าสัมผัส

วิธีสตาร์ทแบบนี้ จะออกแบบให้มีรอยต่อ (Tap) ที่หม้อแปลงเป็น 3 ขนาดด้วยกัน คือ 80, 65 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันป้อนเต็มพิกัด เพื่อให้สามารถเลือกแรงดันสตาร์ทได้อย่างเหมาะสม วงจรสตาร์ทแบบนี้ดังรูปที่ 2.16



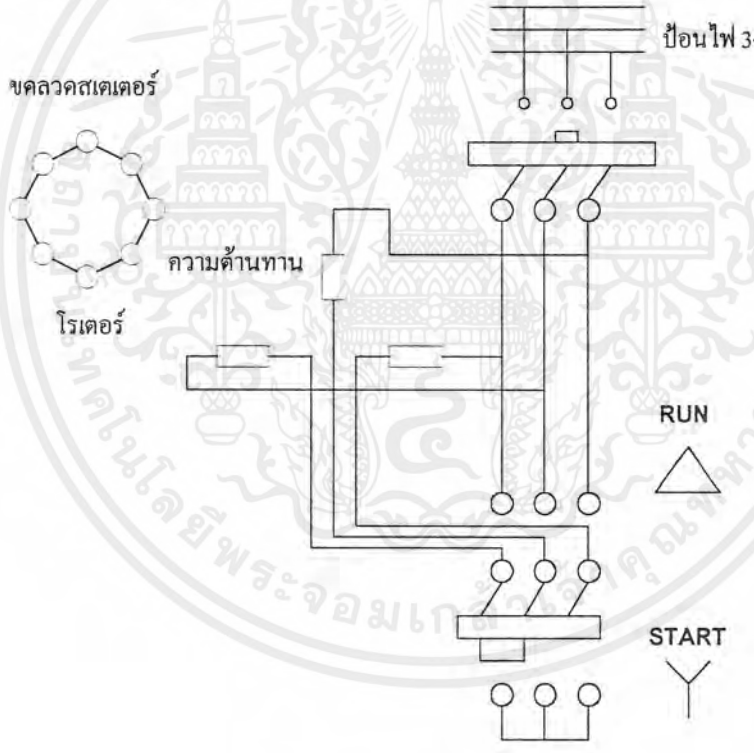
รูปที่ 2.16 วงจรสตาร์ทแบบต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์อันดับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. วิธีสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (Star - Delta Starter)

วิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์สามเฟส ที่มีลักษณะที่ขดลวดสเตเตอร์ทำงานแบบเดลต้าเท่านั้น วงจรสตาร์ทจะประกอบด้วยสวิตช์ชนิด 2 ทาง แบบ TPDT โดยที่สวิตช์นี้จะทำการต่อขดลวดสเตเตอร์ แบบสตาร์ในตอนสตาร์ท และต่อขดลวดแบบเดลต้าเมื่อมอเตอร์ทำงานปกติ

ขณะสตาร์ท ขดลวดต่อแบบสตาร์นั้น แรงดันป้อนขดลวดแต่ละชุดจะมีค่า $1/\sqrt{3}$ ของแรงดันปกติ แต่แรงบิดสตาร์ทจะมีค่าเพียง $1/\sqrt{3}$ ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด คือเมื่อมอเตอร์ต่อแบบเดลต้า และทำงานที่แรงดันเต็มพิกัด และกระแสสตาร์ทจะลดลงในสัดส่วนเดียวกันกับแรงดันป้อนขณะสตาร์ท คือลดลง $1/\sqrt{3}$ ของกระแสโหลดเต็มพิกัด วิธีสตาร์ทมอเตอร์วิธีนี้มีราคาถูก และการควบคุมทำได้ง่ายและสะดวก วงจรสตาร์ทดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า

2.4.2 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์

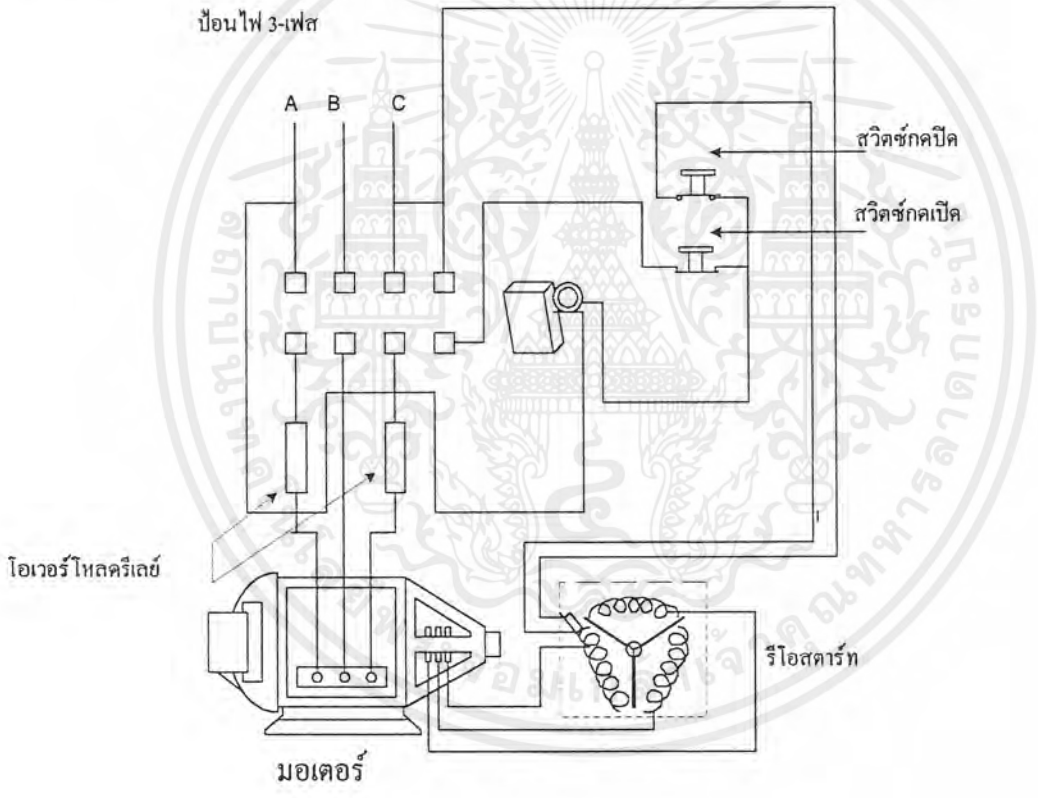
มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์หรือสลิปริงมอเตอร์นี้ มักจะสตาร์ทด้วยแรงดันเต็มพิกัด คือป้อนแรงดันตามพิกัดให้กับขดลวดสเตเตอร์เลย กระแสไฟฟ้าตอนสตาร์ทจะถูกปรับให้ลดลงโดยการต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้เข้ากับวงจรโรเตอร์ ความต้านทานที่ปรับค่าได้ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เรียกว่า รีโอสตาร์ท จะต่อร่วมกับโรเตอร์ด้วยการต่อแบบสตาร์ ขณะสตาร์ทจะปรับค่าความต้านทานให้มีค่าสูง ๆ รวมในวงจรโรเตอร์ แต่พอความเร็วสูงขึ้นแล้ว จึงค่อย ๆ ลดความต้านทานลง จนกระทั่งตัดออกหมด และต่อลัดวงจรโรเตอร์ เหมือนกับรูปที่ 2.12 และ 2.13

การเพิ่มความต้านทานเข้าไปในโรเตอร์นั้น ไม่เพียงแต่ทำให้กระแสสตาร์ทลดลงเท่านั้น ยังทำให้แรงบิดสตาร์ทสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเพาเวอร์แฟคเตอร์ดีขึ้น

รีโอสตาร์ทที่ต่อร่วมกับโรเตอร์ อาจจะใช้แบบปรับความต้านทานได้เป็นขั้น ๆ หรือเป็นแบบปรับค่าได้อย่างต่อเนื่องก็ได้ และอาจจะเป็นแบบบังคับด้วยมือ หรือแบบทำงานอัตโนมัติก็ได้ ซึ่งการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์เป็นวงจรดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรสตาร์ทสลิปริงมอเตอร์แบบต่อตรง

2.5 วิธีควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส จะมีความเร็วค่อนข้างคงที่ ความเร็วเปลี่ยนแปลงที่โหลดเต็มพิกัด (Speed Regulation) จะน้อยกว่า 5 % การควบคุมความเร็วทำได้ยาก และความยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าการควบคุมความเร็วของ ดี.ซี. ชั้นมอเตอร์ วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแบ่งได้เป็น การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์ และการควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์

2.5.1 การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์

การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์ มีวิธีการทำดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงแรงดันที่ป้อน

เป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก แต่ไม่นิยมนำไปใช้เพราะความเร็วเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก และจะมีผลทำให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วย

2. เปลี่ยนความถี่ที่ป้อน

วิธีนี้ก็มักไม่ค่อยนำไปใช้ ทั้งนี้จากกฎที่ว่า ความเร็วซิงโครนัสจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่เปลี่ยนไปวิธีนี้จะใช้กรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดของเครื่องกำเนิดเท่านั้น ความถี่จากเครื่องกำเนิดเปลี่ยนแปลงได้เมื่อปรับความเร็วจากต้นกำลังที่ขับเครื่องกำเนิด อย่างไรก็ตาม การปรับความเร็วของต้นกำลังที่ขับเครื่องกำเนิดก็ยังมีขีดจำกัดอยู่

3. เปลี่ยนจำนวนโพลของสเตเตอร์

วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์สไควเรลเกจได้ เพราะสเตเตอร์มีจำนวนโพลมากเท่าไรก็ตาม โรเตอร์ก็จะมีจำนวนเท่านั้นด้วย ซึ่งเมื่อจำนวนโพลเปลี่ยนแปลงไป ความเร็วซิงโครนัสก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย วิธีเปลี่ยนจำนวนโพลของสเตเตอร์ กระทำได้โดยการพันขดลวดสามเฟสหลายชุดลงในสต็อก เช่น มอเตอร์ขนาด 36 สล็อต อาจจะใช้พันขดลวดสเตเตอร์ไว้ 2 ชุด ซึ่งอาจจัดเป็นชนิด 4 โพล และ 6 โพล ถ้าความถี่ป้อน 50 ไซเกิล ความเร็วจะมีค่า 1500 และ 1000 รอบ/นาที ถ้าพันขดลวดไว้เป็น 3 ชุด ซึ่งอาจจัดเป็น 4 โพล 6 โพล และ 8 โพล ความเร็วจะมีค่า 1500, 1000 และ 750 รอบ/นาที ขดลวดสเตเตอร์แต่ละชุดจะถูกใช้งานไม่พร้อมกัน ถ้าให้ขดลวดชุดหนึ่งทำงาน ขดลวดชุดอื่นจะถูกปล่อยไว้เฉย ๆ เมื่อจะให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วอื่น ก็จะปลดขดลวดชุดเก่าออก และต่อขดลวดชุดใหม่แทน ซึ่งก็มีความยุ่งยากบ้าง แต่ถ้าใช้สวิตช์อัตโนมัติ ก็จะกระทำได้รวดเร็วขึ้น วิธีนี้มักจะมีกับมอเตอร์ลิฟต์ และมอเตอร์รถราง และรถไฟ และใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กที่ขับเครื่องมือกล

2.5.2 การควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์

การควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์มีวิธีการดังนี้

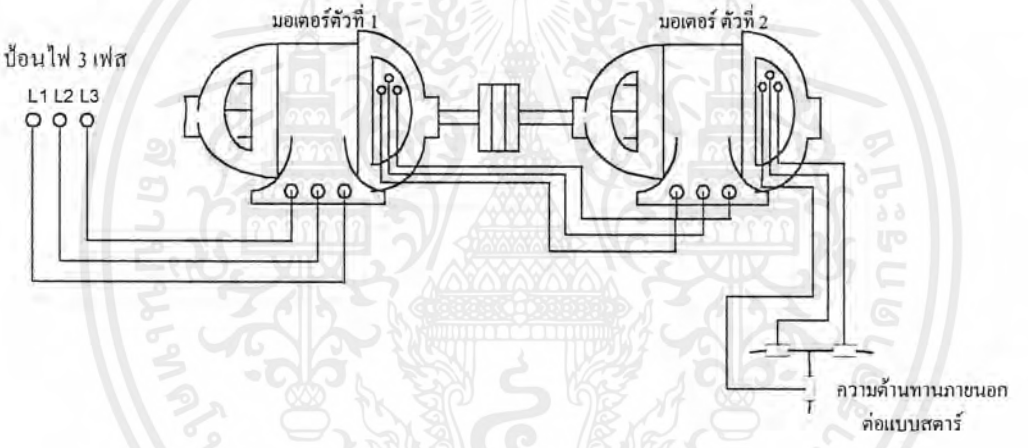
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต่อรีโอสตาร์ทเข้ากับมอเตอร์

วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสลิปริงเท่านั้น โดยจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง สตาร์ทเตอร์ที่ใช้กับโรเตอร์จะต้องเป็นแบบที่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง ซึ่งอย่างไรก็ตามเมื่อต่อรีโอสตาร์ทเข้าไปในวงจรโรเตอร์ จะทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากมีกระแสเพิ่มขึ้น เป็นเหตุทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง นั่นก็คือความสูญเสียของกระแส จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วที่ลดลง วิธีนี้จึงมักใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น

2. วิธีการให้มอเตอร์สองตัวทำงานร่วมกัน

วิธีนี้จะใช้มอเตอร์ 2 ตัวทำงานร่วมกัน โดยต่อร่วมเพลาเดียวกันดังรูปที่ 2.19 ดังนั้นมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน



รูปที่ 2.19 วิธีควบคุมความเร็วโดยใช้มอเตอร์ 2 ตัวทำงานร่วมกัน

ต่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1 เข้ากับสายเมนของการไฟฟ้า ขณะเดียวกันก็ต่อเอาต์พุตจากมอเตอร์ตัวที่ 1 เข้ากับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 2 นั้นก็คือมอเตอร์ตัวที่ 1 จะต้องเป็นมอเตอร์สลิปริง โดยที่ขดลวดสเตเตอร์ และขดลวดโรเตอร์จะต้องมีสัดส่วน 1:1

หลักการทำงานก็คือ เมื่อป้อนแรงดันด้วยความถี่ f ให้กับมอเตอร์ตัวที่ 1 จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้วยความถี่ f_r เกิดที่โรเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1 และแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้ก็จะป้อนให้กับมอเตอร์ตัวที่ 2 มอเตอร์ทั้งสองก็จะเกิดแรงบิดขึ้นมา เมื่อความเร็วสูงขึ้น ความถี่ของโรเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1 ก็จะลดลง ทำให้ความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ตัวที่ 2 ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย เป็นเหตุให้ความเร็วของมอเตอร์ตัวที่ 1 ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ไม่ค่อยได้นำไปใช้งาน

3. วิธีการป้อนแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับโรเตอร์

วิธีการนี้มีหลักการง่าย ๆ คือ ป้อนแรงเคลื่อนหรือแรงดันไฟฟ้ากับโรเตอร์ ของมอเตอร์ที่จะปรับความเร็ว โดยให้ความถี่ของแรงดันป้อนโรเตอร์เท่ากับความถี่เหนี่ยวนำของมอเตอร์ด้วย มอเตอร์ที่จะควบคุมความเร็วต้องเป็นมอเตอร์สปริง ถ้าแรงดันป้อนมีเฟสเดียวกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำของโรเตอร์ จะทำให้กระแสในโรเตอร์มากขึ้น ทำให้ดูเหมือนว่าความต้านทานลดลง และถ้าแรงดันป้อนมีเฟสต่างกัน 180 องศา กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำของโรเตอร์จะทำให้กระแสโรเตอร์ลดลง ทำให้ดูเหมือนว่าความต้านทานโรเตอร์เพิ่มขึ้น ลักษณะแบบนี้จึงทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป

2.6 วิธีการระบุตำแหน่งการหมุนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การระบุตำแหน่งการหมุนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องศึกษาจากคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ที่ปรับความเร็วได้ จะใช้ความต้านทานที่ปรับค่าจากภายนอก ได้ต่อกับอนุกรมเข้ากับขดลวดโรเตอร์ เพื่อปรับความเร็วหรือเพิ่มแรงบิดเริ่มต้นหมุนมอเตอร์แบบนี้นำไปใช้กับโหลดที่ต้องเริ่มต้นหมุนบ่อย ๆ เช่น ปั้นจั่น เป็นต้น ส่วนงานที่ต้องการกำลังกลค่อนข้างคงที่และเริ่มต้นหมุนไม่บ่อยนัก เช่น มอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มเครื่องเป่าอากาศ พัดลม เป็นต้น จะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบทรงกระบอก

คุณลักษณะ แรงบิด และความเร็วในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ทำให้ทราบข้อมูลการทำงานที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ดังนี้

1. แรงบิดที่เกิดขึ้น (Developed Torque) เป็นศูนย์ที่ความเร็วซิงโครนัส
2. ความแตกต่างระหว่างแรงบิดและความเร็วเกือบเป็นเชิงเส้นในช่วงระหว่างแรงบิดขณะไม่มีโหลด (No Load Torque) กับแรงบิดขณะจ่ายโหลดเต็มที่ (Full Load Torque) เราเรียกช่วงนี้ว่า ย่านทำงานปกติ (Normal Operating Range) ของมอเตอร์
3. มีแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque ; T_{max} ซึ่งบางครั้งเรียกว่า Pull – out Touque) เป็น 2-3 เท่า ของแรงบิดที่พิกัดขนาดจ่ายโหลดเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มีแรงบิดเริ่มต้นหมุน (Starting Torque) มากกว่าแรงบิดที่พิกัดเล็กน้อย ดังนั้น มอเตอร์จึงเริ่มต้นขับโหลดหรือต่อกับโหลดขณะเริ่มต้นหมุนได้ทันที โดยแรงบิดที่โหลดนั้นจะต้องไม่มากกว่าแรงบิดที่พิกัด
5. การสลับสายคู่ใดคู่หนึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทาง มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางได้ แต่ก่อนที่จะกลับทิศทางนั้น จะมีจุดหนึ่งที่มอเตอร์หยุดอยู่กับที่อย่างรวดเร็ว ซึ่งเราเรียกว่า Plugging ซึ่งนำไปสู่หลักการควบคุมมอเตอร์แบบหนึ่ง
6. ถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำถูกขับด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วซิงโครนัส จะมีผลทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์กลับทิศทางและมอเตอร์ดังกล่าวจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนกำลังกลเป็นกำลังไฟฟ้า

การที่จะระบุตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์เพื่อที่จะให้มอเตอร์สามารถหมุนไปได้ตามทิศทางที่ต้องการ จะต้องมีการคำนวณดังนี้

1. การคำนวณแรงบิดเริ่มต้นหมุน

แรงบิดที่เริ่มต้นหมุนเกิดขึ้นขณะโรเตอร์ยังไม่เคลื่อนที่ ทำให้ค่าสลิป (S) เท่ากับ 1 จึงเขียนสมการได้ดังนี้

$$I'_{R(st)} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_S + R'_R) + (X_S + X'_R)^2}} \qquad (2.1)$$

ถ้าต้องการทราบค่าแรงบิดเริ่มต้นหมุน จะต้องหาค่า input power ของโรเตอร์ขณะทำการเริ่มต้นหมุน ($P_{iR(st)}$) โดยใช้สมการ

$$P_{iR(st)} = 3I'^2 R'_R \qquad (2.2)$$

ขณะเริ่มต้นหมุนฟลั๊กแม่เหล็กที่สเตเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและสร้างแรงบิดที่เริ่มต้นหมุน (T_{st}) ที่โรเตอร์ ดังนั้นความเร็วซิงโครนัสเชิงมุมทางกลที่ทำให้เกิด T_{st} จะเป็นความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส (ω_S) เขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{st} = \frac{P_{iR(st)}}{\omega_s} \qquad (2.3)$$

โดย

$$\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} \qquad (2.4)$$

2. การคำนวณแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque)

โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของโหลด จะมีขนาดต่ำกว่าค่าพิกัดของมอเตอร์เล็กน้อย แต่ถ้าโหลดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะมีจุดหนึ่งที่มอเตอร์ไม่อาจสร้างแรงบิดเพิ่มขึ้นได้อีก เรียกว่ามอเตอร์มีแรงบิดสูงสุด ถ้าโหลดเพิ่มขึ้นเกินกว่านี้มอเตอร์จะหยุดหมุน

จากหลักการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทฤษฎีวงจรไฟฟ้าทำให้ทราบว่า เมื่อวงจรมีอิมพีแดนซ์ ของโหลด ($R_{R/S}$) มีค่าเหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ของโหลด จะได้รับกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการหาค่าสลิบขณะแรงบิดสูงสุด (S_{mt}) ที่หาได้จาก

$$S = \frac{R'_R}{\sqrt{R_S^2 + (X_S + X'_R)^2}} \qquad (2.5)$$

ตามปกติความต้านทานของสเตเตอร์ (R_s) จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์เทียบเคียง ($X_e = X_S + X_R$) จึงเขียนสมการ (2.5) ใหม่ได้ดังนี้

$$S_{mt} = \frac{R'_R}{X_e} \qquad (2.6)$$

เมื่อ X_e = รีแอกแตนซ์เทียบเคียง

ถ้าใช้ค่า S_{mt} นี้หาค่ากระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์ขณะแรงบิดสูงสุด ($I_{R(mt)}$) จะได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I'_{R(mt)} = \frac{V_l}{\sqrt{2}X_e} \quad (2.7)$$

และได้สมการ

$$P'_{iR(mt)} = 3I'^2_{R(mt)} \frac{R'_R}{S_{mt}} = \frac{3V_l^2}{2X_e} \quad (2.8)$$

สามารถหาค่าแรงบิดสูงสุดของโรเตอร์ได้จาก

$$T_{mt} = \frac{P_{O(mt)}}{\omega_{r(mt)}} \quad (2.9)$$

จะได้สมการ

$$P_{O(mt)} = P_{dR(mt)} - P_{mech} \quad (2.10)$$

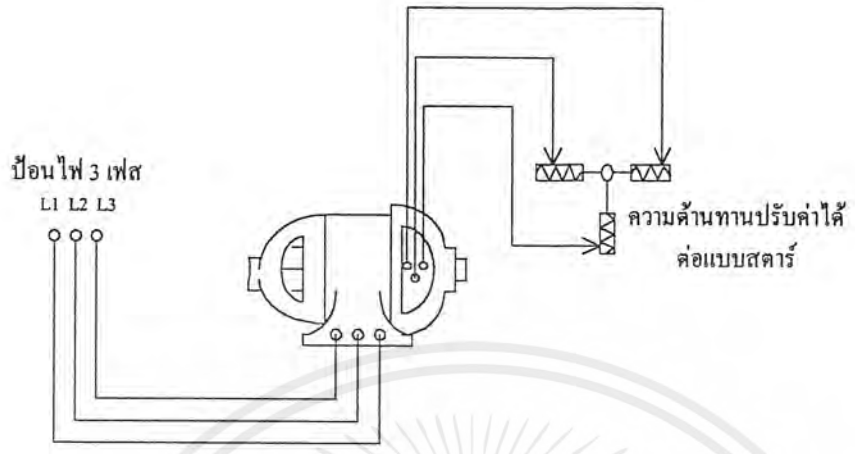
และสมการ

$$P_{dR(mt)} = P_{iR(mt)}(1 - S_{mt}) \quad (2.11)$$

เทคนิคในการเริ่มต้นหมุน (Induction Motor Starting Technique) ในการอธิบายเกี่ยวกับเทคนิคการเริ่มต้นหมุน จะกล่าวถึงมอเตอร์ที่สลิปริง และไม่มีสลิปริงแยกกันเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

1.เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สลิปริงทำได้โดยต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้จากภายนอกอนุกรมกับขดลวดที่โรเตอร์ (โดยผ่านสลิปริง) ทั้ง 3 เฟส แล้วลัดวงจรที่จุดต่อร่วม ดังรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสลิปริง

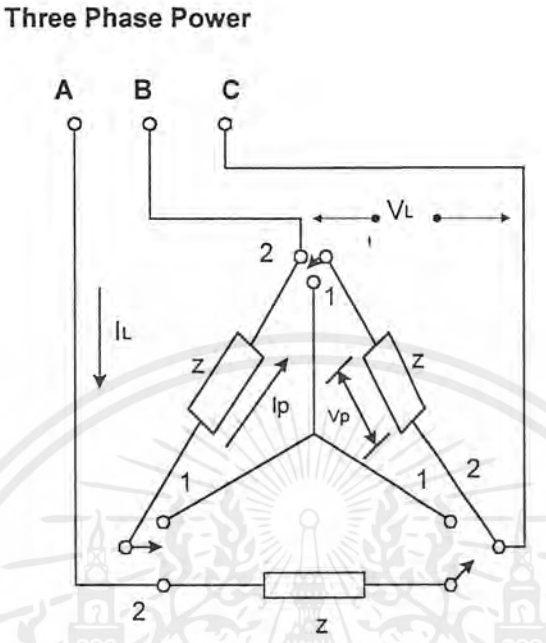
เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดให้ขดลวดที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนจะถูกจำกัดให้มีค่าต่ำลงเนื่องจากความต้านทานดังกล่าว ถ้าปรับค่าความต้านทานลดลงเรื่อย ๆ ความเร็วของมอเตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อปรับความต้านทานให้มีค่าเท่ากับศูนย์ มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัด

2. เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ไม่มีสลิปริงทำได้ 3 วิธี คือ วิธีการต่อมอเตอร์โดยตรงกับสาย , วิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุน และวิธีการต่อขดลวดแบบ Y -Δ

เทคนิคการต่อมอเตอร์โดยตรงกับสาย (Across The Line Starting) เทคนิคนี้จะมีปัญหาเกี่ยวกับค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน เพราะมอเตอร์ขณะเริ่มต้นหมุน จะใช้กระแสไฟฟ้า 5-10 เท่าของกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ เช่น มอเตอร์มีขนาด 220 V และกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ 10 แอมแปร์ ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน 250-500 แอมแปร์ ทันที ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การมืดสลัวชั่วขณะของแสงสว่าง และการตัดอัตโนมัติของอุปกรณ์ป้องกัน ด้วยเหตุนี้การเริ่มต้นหมุนแบบนี้จึงใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีพิกัดไม่เกิน 5 แรงม้า หรือ 3.5 กิโลวัตต์ เท่านั้น

วิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุนจะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้ในห้องทดลอง คือ การใช้ Variac 3 เฟส ปรับค่าแรงดันไฟฟ้า คือการใช้ Autotransformer 3 เฟส ที่ปรับค่าได้ด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การต่อขดลวดแบบ Y-Δ

วิธีการต่อขดลวดแบบ Y-Δ (Wye – Delta Starting) มีวิธีการคือขณะเริ่มต้นหมุนขดลวดที่สเตเตอร์ จะต่อแบบ Y เมื่อความเร็วของมอเตอร์เป็น 75 % ของความเร็วซิงโครนัส จึงเปลี่ยนมาต่อแบบ Δ ด้วยสวิทช์อยู่ที่ รีเลย์ (ดังรูปที่ 2.21 เมื่อสวิทช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 ขดลวดที่สเตเตอร์จะต่อแบบ Yและเมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 2 ขดลวดสเตเตอร์จะต่อแบบΔ) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติจริง

ขณะเริ่มต้นหมุนเหตุผลที่ต่อขดลวดแบบ Y ก็เพราะทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนมีค่าต่ำกว่าการต่อขดลวดแบบ Δ

การพิสูจน์ว่าเมื่อขดลวดที่สเตเตอร์แบบ Y กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าการต่อแบบ Δ ทำได้โดยการพิจารณาเมื่อ

V_L = แรงดันไฟฟ้าที่สาย

V_P = แรงดันไฟฟ้าที่เฟส

Z = อิมพีแดนซ์ต่อเฟส

I_L = กระแสไฟฟ้าที่สาย

I_P = กระแสไฟฟ้าที่เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเริ่มต้นหมุนที่ต่อขดลวดแบบ Δ จะได้จากสมการ

$$I_P = \frac{V_L}{Z} \tag{2.12}$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3} I_P = \frac{\sqrt{3} V_L}{Z} \tag{2.13}$$

การเริ่มต้นหมุนที่ต่อขดลวดแบบ Y จะได้สมการ

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \tag{2.14}$$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3} Z} \tag{2.15}$$

$$I_{LY} = I_P = \frac{V_L}{\sqrt{3} Z} \tag{2.16}$$

หากกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนขณะที่ต่อขดลวดแบบ Y ด้วยกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนขณะที่ต่อขดลวดแบบ Δ จะได้สมการ

$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{V_L / (\sqrt{3} Z)}{\sqrt{3} V_L / Z} \tag{2.17}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} = \frac{1}{3} \tag{2.18}$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3} I_{L\Delta} \tag{2.19}$$

จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนของการต่อขดลวดแบบ Y เป็น 1/3 ของการต่อขดลวดแบบ Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามการต่อขดลวดแบบ Y จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าแรงบิดที่พิกัด 1/3 เท่าทั้งนี้เพราะแรงบิดเริ่มต้นหมุนจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าที่สามยกกำลังสอง นอกจากนี้การต่อขดลวดแบบ Y นั้นมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดที่สเตเตอร์เท่ากับ $V_L/3$

2.7 การมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์

2.7.1หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์

เทคนิคในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตช์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดัน และความถี่ตามต้องการ ที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 วิธีคือ

1. เทคนิค PWM แบบฮาร์โมนิกย่อย (Sub Harmonic PWM Technique)

วิธีการนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า " หลักการ PWM แบบสัญญาณไซน์ " (Sinusoidal PWM) เป็นสัญญาณควบคุมที่ได้จากการสุ่มระหว่างสัญญาณอ้างอิงรูปไซน์กับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.22

จากรูปที่ 2.22 ความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์รูปคลื่นสามเหลี่ยม ทั้งนี้เราสามารถคำนวณหาค่ามุมสวิตช์ (Switching Angle) ที่เกิดขึ้นใน 1/4 วัฏจักรของความถี่เอาต์พุต ได้ตามสูตร

$$A\sin(\alpha_1) = (-1)\left(2i - \frac{2P\alpha}{\pi}\right) \qquad (2.20)$$

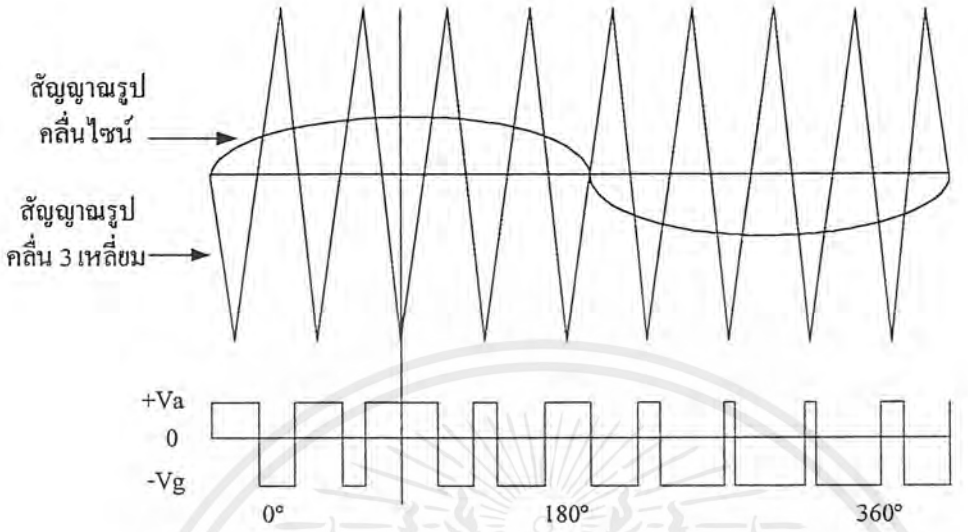
โดย A = ตัวประกอบความสูง ระหว่างค่าสูงสุดสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณคลื่นพาห์

P = อัตราส่วนระหว่างความถี่สัญญาณพาห์กับความถี่สัญญาณอ้างอิง

$\alpha 1$ = มุมสวิทซ์ใด ๆ ในช่วง 1/4 วัฏจักร โดย $1<1<(p-1)/2$

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการออกแบบวงจรควบคุมแบบประยุกต์ใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ เราสามารถคำนวณค่ามุมสวิตช์สำหรับทุกความถี่เอาต์พุต เพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำของวงจรได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 หลักการสร้างสัญญาณ PWM ตามวิธีฮาร์โมนิกย่อย

2. เทคนิค PWMแบบจำกัดฮาร์โมนิก (Harmonic Elimination Techique)

วิธีการนี้ใช้สำหรับวงจรควบคุมแบบดิจิตอลหรือควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เพียงเท่านั้น โดยนำค่ามุมที่คำนวณได้ตามหลักการนี้สำหรับทุกความถี่ขาออกเพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำของวงจร หลักการคำนวณมาจากทฤษฎีฟูริเออร์ตามรูปคลื่น PWM

2.7.2 เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ (แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์)

จากหลักการสร้างสัญญาณ PWM ทั้งสองหลักการที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่น แบบฮาร์โมนิกย่อยสามารถคำนวณหามุมได้ง่าย แต่วงจรควบคุมมักเป็นแบบแอนะลอกที่ยุ่งยากในการเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มฟังก์ชั่นในวงจรควบคุมนั้น ๆ ส่วนวิธีกำจัดฮาร์โมนิกสามารถลดฮาร์โมนิกในระบบลงได้อย่างมากอีกทั้งวงจรควบคุมจะต้องทำงานเป็นวงจรดิจิตอล หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสะดวกต่อการเปลี่ยนแปลง เพิ่มเติมฟังก์ชั่นในวงจรควบคุม แต่ก็ยุ่งยากในการคำนวณมากไป และเช่นเดียวกันขณะที่ความถี่สูงขึ้น จำนวนฮาร์โมนิก ที่สามารถกำจัดได้ก็จะน้อยลงเรื่อย ๆ ไม่เป็นไปตามต้องการที่ทุกความถี่เอาต์พุต

สำหรับเทคนิค PWM แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งนี้ ยังคงใช้วิธีคำนวณมุมสวิตช์ เพื่อนำไปเก็บในหน่วยความจำของวงจรควบคุม ซึ่งเป็นแบบดิจิตอล หรือไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นกัน ทั้งนี้จะใช้หลักการแบ่งฐานเวลาของสัญญาณที่ความถี่หลักมูลขาออกใน 1 วัฏจักร ออกเป็นส่วนย่อย ๆ ช่วงละเท่า ๆ กัน จำนวน N_s ส่วน จำนวนส่วนย่อยนี้จะต้องเป็นเลขคู่และเป็นตัวคูณของ 3 (ในกรณีอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส) ซึ่งจะมีค่ามากน้อยเท่าไรก็ได้ ซึ่งเมื่อแบ่งส่วนย่อยมากขึ้นเท่าใด กระแสของมอเตอร์ก็จะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากขึ้นเท่านั้น

2.7.3 ข้อกำหนดทางเทคนิคการมอดูเลทสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ (แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์)

การสร้างสัญญาณแบบPWM เพื่อควบคุมการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ทั้งแบบแอนะลอกและแบบดิจิตอล ซึ่งแบบดิจิตอลมีข้อได้เปรียบกว่าแบบแอนะลอกอยู่หลายประการ เช่น ปรับแต่งค่ามุมสวิตช์ได้ตามต้องการ ปรับปรุงระบบควบคุมวงจรได้ง่าย ปรับปรุงเสถียรภาพของการทำการควบคุมได้ เป็นต้น ในปัจจุบันใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบ PWM ส่วนใหญ่ จึงนิยมประยุกต์ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมวงจร ทั้งนี้ด้วยเทคนิคทางด้านซอฟท์แวร์จึงทำให้มีความคล่องตัวในการออกแบบระบบควบคุมได้ดีกว่า

หลักการทางเทคนิคของการสร้างสัญญาณ PWM คือ ต้องสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความถี่การสวิตช์ (Switching Frequency : f_s) คงที่ ,ความกว้างระหว่างมุมสวิตช์,ความสูงขององค์ประกอบหลักมูล จะแปรเปลี่ยนไปตามค่าความถี่หลักมุมที่ต้องการ ทั้งนี้อัตราโวลต์ต่อเฮิรตซ์ จะต้องมีค่าคงที่ตามที่กำหนด จำนวนมุมสวิตช์ในครึ่งไซเคิลจะเท่ากับอัตราส่วนความถี่มอดูเลต (Frequency Modulation Ratio : p) อีกทั้งฮาร์โมนิกลำดับต่าง ๆ ที่อาจเป็นผลเสียต่อแรงบิด และความเร็วของมอเตอร์ ควรมีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น มักมีความถี่ไม่ต่ำกว่าค่าความถี่การสวิตช์ที่เลือกใช้

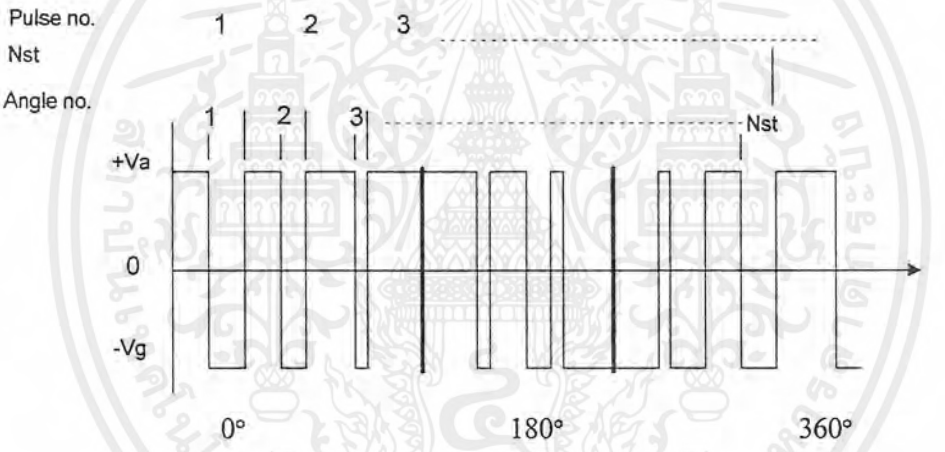
อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถกรองความถี่ฮาร์โมนิกที่มีผลกระทบต่อมอเตอร์ และระบบไฟฟ้าออกได้ง่าย จึงมักใช้ความถี่การสวิตช์ค่อนข้างสูง สำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาดกำลังต่ำและใช้ความถี่การสวิตช์ค่อนข้างต่ำ สำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาดกำลังงานสูง ทั้งนี้เพราะความถี่การสวิตช์สูงสุดที่สามารถเลือกใช้ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา Turn on และ Turn off ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังในอินเวอร์เตอร์เช่นกัน

วงจร PWM ที่ได้ออกแบบสร้างขั้นนี้ ใช้หลักการเทียบเคียงพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์ดังได้กล่าวถึงหลักการ และผลการจำลองสัญญาณกระแสแล้ว ทั้งนี้โดยการคำนวณหาค่ามุมสวิตช์และตัวนับค่ามุม เมื่อได้ค่าตัวนับของมุมสวิตช์ทุกมุมของทุกความถี่ขาออกแล้ว จึงนำมาสร้างเป็น "แพทเทอร์นการสวิตช์" เก็บไว้ในส่วนหน่วยความจำกึ่งถาวร (EPROM) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเพื่อให้โปรแกรมหลักสามารถเรียกใช้ได้ขณะสร้างสัญญาณที่ความถี่หลักมูลใด ๆ วงจร PWM นี้สามารถควบคุมความถี่หลักมูลได้ตั้งแต่ 0 จนถึง 60 เฮิรตซ์ โดยใช้ความถี่การสวิตช์ค่อนข้างคงที่ ที่ 1,440 เฮิรตซ์โดยประมาณ ทำให้สามารถกำจัดความถี่ที่เป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่มีค่าต่ำกว่า 1.4 กิโลเฮิรตซ์ได้

สัญญาณ PWM โดยใช้หลักการเทียบเคียงพื้นที่ใต้โค้งไซน์ จะมีการแบ่งฐานเวลาออกเป็นส่วนย่อย ช่วงละเท่าๆ กันออกเป็น N_{st} ส่วน มุมสวิตช์ต่างๆ ที่จะต้องคำนวณหาเพื่อเก็บไว้เป็น "แพทเทอร์นการสวิตช์" ในหน่วยความจำ คือมุมที่ทำให้วงรอบภาระ (Duty cycle) ของแต่ละส่วนย่อย ๆ นั้น มีค่าเทียบเท่าขนาด ของสัญญาณไซน์ ณ ค่ามุมนั้น ๆ ซึ่งจะเห็นที่ได้ว่ามุมสวิตช์ที่จะคำนวณหามีจำนวน N_{st} มุมเช่นกัน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 สัญญาณ PWMตามหลักการเทียบพื้นที่ใต้โค้งไซน์

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว คือ ไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก บรรจุไว้ในแผงวงจรรวมเพียงชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS-51 อันได้แก่เบอร์ 8051 และ 8052 ผลิตโดยบริษัท Intel มีการทำงานเป็นแบบ 8 บิต

2.8.1 โครงสร้างของ 8051

ภายใน 8051 จะประกอบขึ้นด้วยเกตต่าง ๆ เช่น AND ,OR และNOT ซึ่งเกตเหล่านี้จะถูกออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่าง ๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่ง และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น โครงสร้างภายในของ 8051 จะประกอบด้วยส่วนย่อย ๆ ดังแผนผังในรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.24 แผนผังในรูปที่ 2.24 เป็นโครงสร้างใหญ่ ๆ ของ 8051 เนื่องจากลักษณะของ 8051 เป็นคอมพิวเตอร์ จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

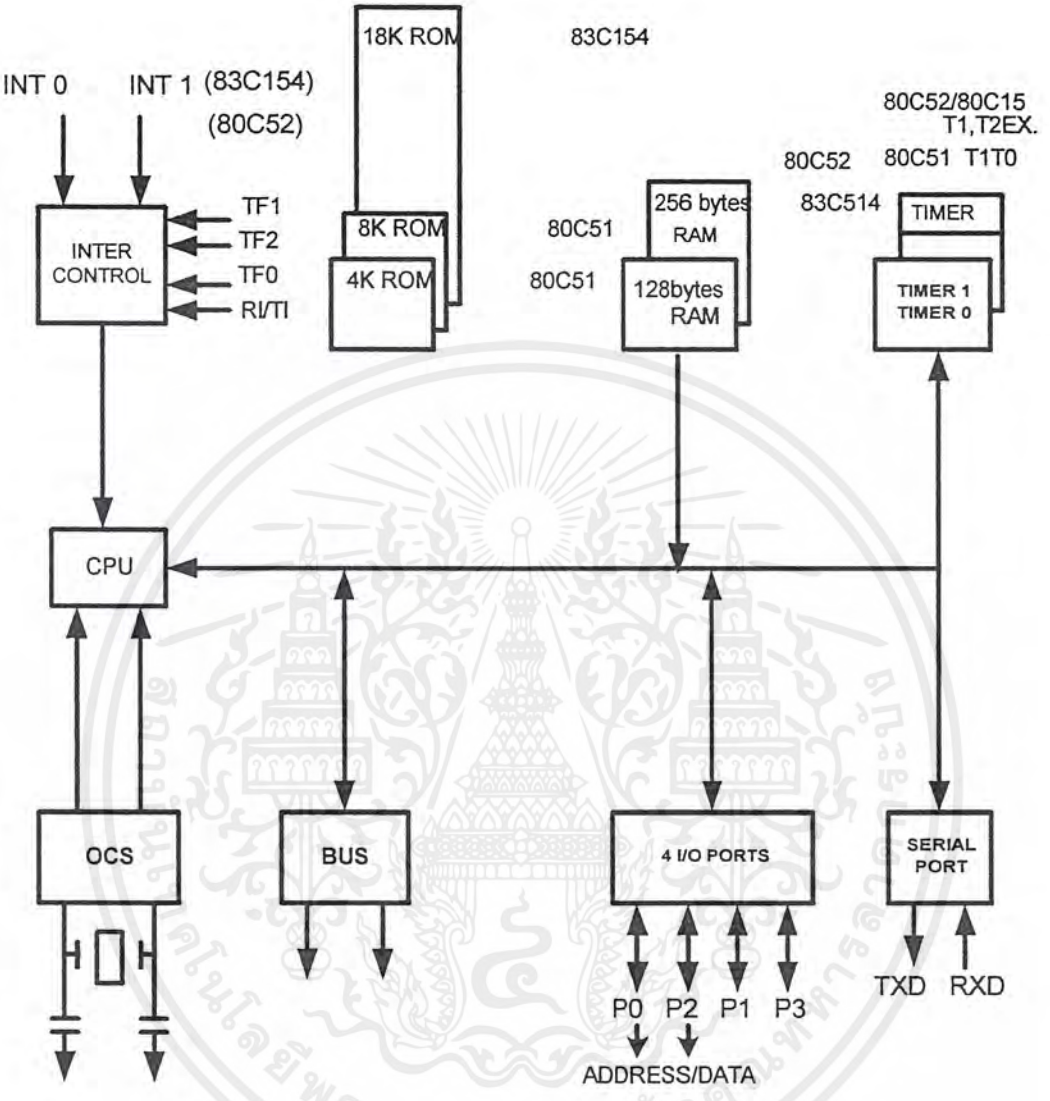
ส่วนที่ 1 ตัวประมวลผล หรือ CPU (Central Processing Unit) ส่วนนี้จะมีวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่น ๆ เรียกว่า วงจรควบคุม โดยสัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม ได้แก่ สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ , อุปกรณ์รับข้อมูลเข้า หรือส่งออกจากตัว 8051 ซึ่งควบคุมการขัดจังหวะ และส่วนควบคุมเส้นทาง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมด้วย ใน CPU นี้ยังประกอบด้วยส่วนย่อยอีกส่วนที่เรียกว่า ส่วนคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (Arithmetic Logic Unit) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่น การบวก, ลบ, คูณ หรือหารข้อมูล แล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ หรือหน่วยความจำที่ต้องการ

ส่วนที่ 2 คือ หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล ซึ่งในการจะนำข้อมูลออกมาใช้ จะต้องรู้ตำแหน่ง (Address) ของหน่วยความจำ การนำข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำเรียกว่า การเขียนข้อมูล และการนำข้อมูลออกจากหน่วยความจำ เรียกว่า การอ่านข้อมูล ในไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปรวมทั้ง 8051 ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะมีค่าได้เพียง 8 บิต แต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 255 การติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

1. ค่าตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำใน 8051 จะติดต่อกับหน่วยจำประเภท Program Memory หรือ Data Memory ได้สูงสุดชนิดละ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นการอ้างอิงแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐาน 2 ทั้งหมด 16 เส้น
2. ข้อมูลที่อ่าน หรือเขียนกับหน่วยความจำที่ตำแหน่งในข้อ 1
3. สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

สัญญาณเหล่านี้จะถูกวงจรควบคุมภายใน 8051 สร้างมาจากวงจรถอดรหัสของคำสั่งที่ 8051 อ่านจากหน่วยความจำ Program Memory เข้าไปทำงานนั่นเอง ในรูปที่ 2.39 หน่วยความจำได้แก่ 4K ROM และ 128 Byte RAM ซึ่งขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดต่าง ๆ กันตามเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แผนผังโครงสร้างของ 8051

สัญญาณเหล่านี้จะถูกวงจรควบคุมภายใน 8051 สร้างมาจากวงจรถอดรหัสของคำสั่งที่ 8051 อ่านจากหน่วยความจำ Program Memory เข้าไปทำงานนั่นเอง ในรูปที่ 2.39 หน่วยความจำได้แก่ 4K ROM และ128 Byte RAM ซึ่งขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดต่าง ๆ กันตามเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุต และเอาต์พุต (Input/Output Device) เป็นส่วนที่จะใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก 8051 ทำให้ 8051 ติดต่อกับภายนอกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การทำงานของ 8051

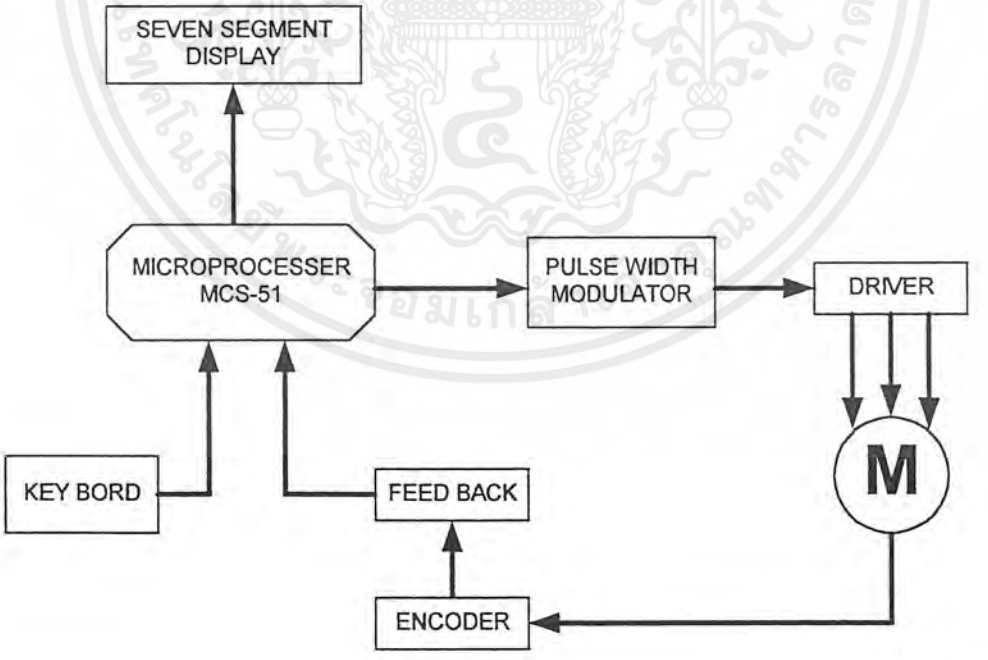
คำสั่งแต่ละคำสั่งของ 8051 จะใช้เวลาทำงาน 1,2 หรือ 3 Machine Cycle แล้วแต่ว่าเป็นคำสั่งประเภทใด 1 Machine Cycle จะใช้เวลา 12 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นแต่ละคำสั่งของ 8051 จะใช้เวลาทำงาน 12,24 หรือ 36 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกานั่นเอง แต่ละ Machine Cycle จะถูกแบ่งออกเป็น 6 สภาวะ คือ S1,S2,S3,S4,S5 และ S6 แต่ละสภาวะ จะประกอบด้วย 2 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ในไซเคิลแรกจะเรียกว่าเฟส 1 (P1) และไซเคิลที่ 2 เรียกว่าเฟส 2 (P2) ในแต่ละเฟสจะนับตั้งแต่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา ถึงขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกาที่อยู่ถัดไป เมื่อ 8051 ทำงานเสร็จ 1 Macchine Cycleจะเริ่มทำงาน Stat 1 Phase 1 (SIP 1)ของไซเคิลต่อไป ใน 1 Machine Cycle วงจร Timing and Control จะสร้างสัญญาณ ALE ออกมา 2 ไซเคิล เพื่อ Fetch คำสั่งเข้าไป 2 ครั้งเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

เนื้อหาบทนี้ กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรส่วนต่าง ๆ ของโครงงานระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 โดยนำหลักการจากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มาประกรอบการออกแบบและการสร้างวงจรต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งานในโรงงานการออกแบบ การสร้าง และการทำงาน จะประกอบไปด้วยแผนผังการทำงานของโครงงาน, วงจรภาคตัดสัญญาณ PWM, วงจรขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง, วงจรแสดงผลและรับคีย์, วงจรป้องกัน, วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้นวงจรแหล่งจ่าย, วิธีการเขียนโปรแกรม และโครงสร้างของโครงงานและการออกแบบ

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน



รูปที่3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.1 เป็นแผนผังการทำงานของโครงงานทั้งหมดโดยการทำงานจะเริ่มที่ไมโครโปรเซสเซอร์จะรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดซึ่งเป็นรหัสที่ใช้ควบคุมความเร็ว, ตำแหน่ง, การหมุนเดินหน้า, การหมุนถอยหลัง ไมโครโปรเซสเซอร์จะรับข้อที่เป็นรหัสแล้วเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บไว้แล้วทำมา ในขณะเดียวกันก็จะส่งข้อมูลว่าในขณะนั้นกำลังทำงานอะไรออกไปที่ชุดแสดงผล ที่เป็น 7-Segment ซึ่งในการทำงาน ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งข้อมูลไปยังชุดสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งจะเป็นการสั่งให้ชุดสร้างสัญญาณ PWM ทำงานตามฟังก์ชั่น ตามที่ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งมา

เมื่อ PWM ทำงานจะใช้สัญญาณควบคุมมอเตอร์ส่งไปยังชุดขับมอเตอร์ ซึ่งชุดขับมอเตอร์จะขับมอเตอร์ตามข้อมูลสัญญาณนั้น ๆ ในขณะที่มอเตอร์ทำงานหมุนอยู่นั้น ก็จะไปควบคุมชุดเข้ารหัส (Encoder) ให้ทำงานตามสั่ง พัลส์ที่เป็นรหัสป้อนกลับไปควบคุมการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ และก็จะทำงานเช่นนี้ต่อเนื่องไป จนกว่าจะมีข้อมูลจากส่วนคีย์บอร์ดส่งคำสั่งเข้ามาใหม่

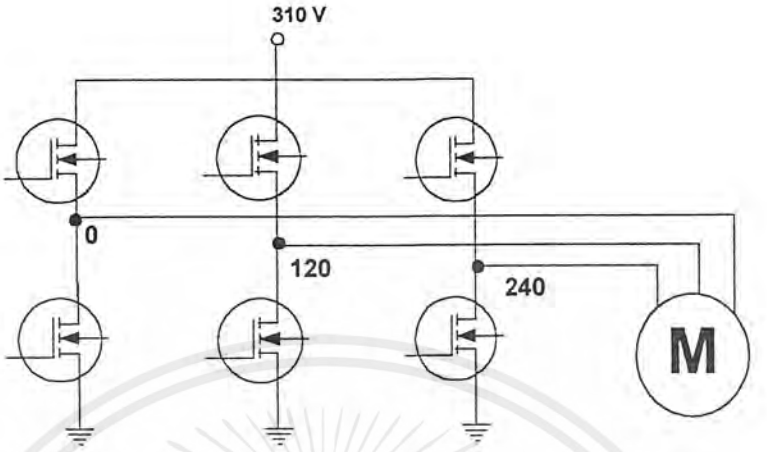
3.2 วงจรภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

การสร้างระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 ส่วนที่จะเป็นตัวควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในโครงงาน คือส่วนของภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง จึงต้องออกแบบและสร้างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

การออกแบบ เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มีขนาด 1/4 แรงม้า เมื่อมอเตอร์เป็นแบบ 3 เฟส จะต้องแบ่งกำลังให้แต่ละเฟสทำงานเท่ากัน ดังนั้นแต่ละส่วนจะต้องได้รับกำลังต่ำสุด จึงจะสามารถจ่ายกำลังงานได้ตามพิกัด ซึ่งเป็นตัวที่เราจะต้องนำมาใช้ในการหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่จะนำมาทำหน้าที่ในการสวิตชิ่ง

การสร้างชุดสวิตชิ่งกำลังนี้จะใช้มอสเฟตทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่ง เนื่องจากสามารถที่จะทำการไบอัสได้ง่าย ไม่ลำบากในการจัดวงจร มีความเร็วในการสวิตชิ่งสูง และมี Time Recovery ต่ำ เมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ โดยเฉพาะชุดที่ใช้ในการขับชุดสวิตชิ่ง ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องไปถึงการขับมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้ สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ซึ่งวงจรสวิตชิ่งที่ใช้ในโครงงานเป็นแบบฮาล์ฟบริดจ์ โดยใช้ทั้งหมด 3 ชุด ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรสวิตชิ่งแบบฮาล์ฟบริดจ์

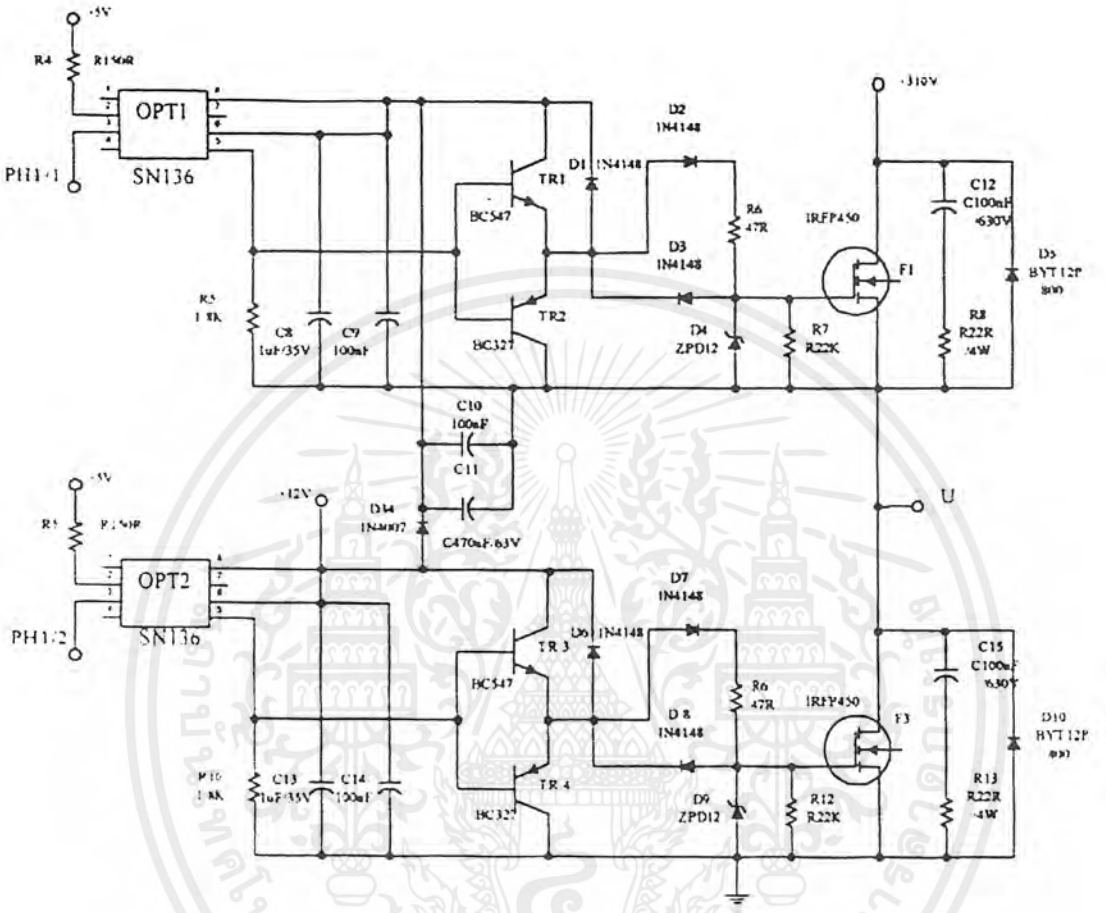
ในโครงงานจะใช้มอสเฟสเบอร์ IRFP 450 เป็นตัวสวิตชิ่ง โดยสามารถแสดงรูปแบบวงจรสวิตชิ่งที่ใช้มอเตอร์ได้จริง ทั้งภาคหน้าและภาคหลังได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งในที่นี้จะแสดงเพียงเฟสเดียว เพราะอีกสองเฟสจะมีลักษณะเหมือนกัน

การสร้างชุดสวิตชิ่งจะออกแบบให้ชุดขับมอเตอร์แยกกันทางไฟฟ้ากับชุดสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้อุปกรณ์ ออฟโต (Opto) เป็นตัวแยกซึ่งข้อมูลจาก PWM จะมีขนาดแรงดันเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ ส่วนภายในชุดสวิตชิ่งที่ขาเกทของเพาเวอร์มอตเฟท จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 ถึง 12 โวลต์ ตามสัญญาณจาก PWM

จากวงจรรูปที่3.3 เนื่องจากความต้านทานระหว่างขาเกทและขาซอร์ส มีความต้านทานสูงมากจึงสามารถเทียบแรงดันไบอัสระหว่างมอสเฟตในกิ่งเดียวกันของวงจรฮาล์ฟบริดจ์กับกราวด์ได้

การป้องกันมอสเฟตไม่ให้เกิดการเสียหาย เนื่องจากแรงดันป้อนกลับ จะใช้ไดโอดความเร็วสูงต่อคร่อมตัวมอสเฟต ซึ่งคุณสมบัติของไดโอดจะต้องทนกระแสได้สูง และ Time Recovery ต่ำ เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

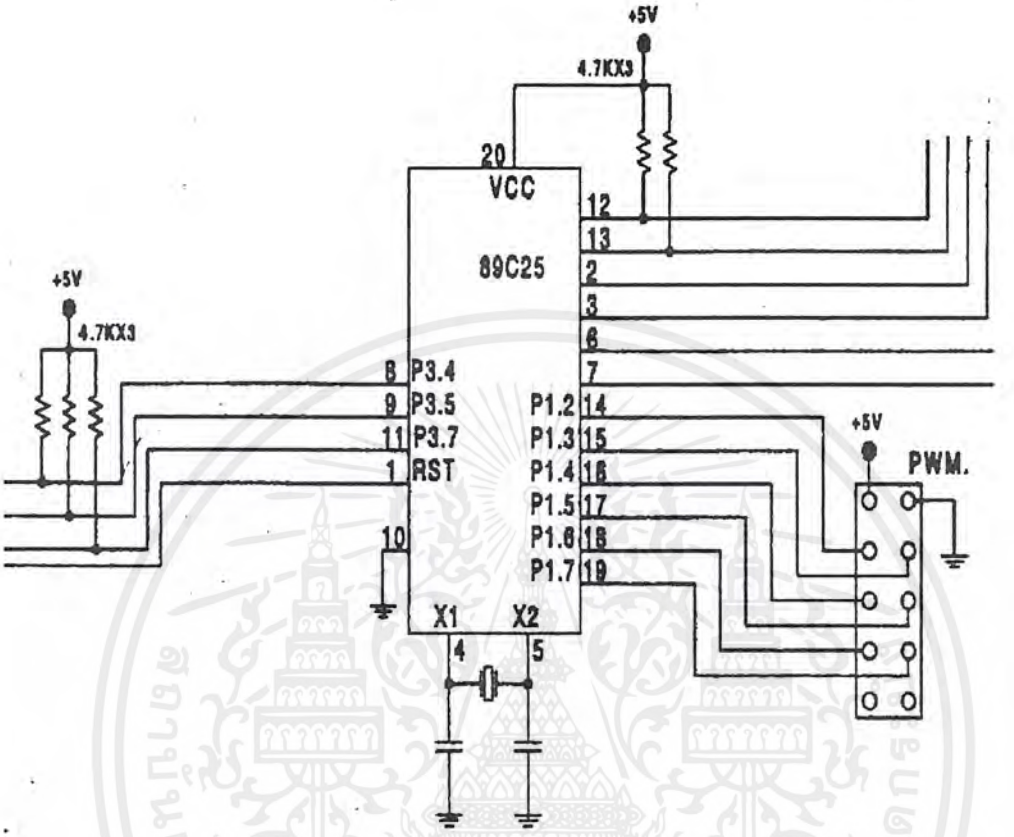


รูปที่ 3.3 วงจรชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

3.3 วงจรสร้างสัญญาณ PWM (โดยใช้ MCS-51)

วงจรสร้างสัญญาณ PWM เป็นวงจรที่มีความสำคัญมากที่สุดวงจรหนึ่งในโครงงานนี้ เพราะเป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณ PWM เพื่อส่งออกไปควบคุมการสวิตช์ของวงจรสวิตชิ่งกำลัง โดยลักษณะการออกแบบของวงจรจะใช้ IC AT89C2051 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



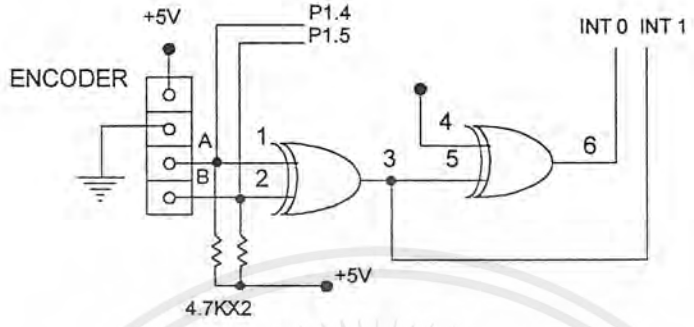
รูปที่3.4 วงจรสร้างสัญญาณ PWM (โดยใช้ MCS-51)

3.4 วงจรเข้ารหัส

วงจรเข้ารหัสเป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบทิศทาง และตำแหน่งกาหมุนของมอเตอร์ โดยลักษณะของวงจร จะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป มีลักษณะคล้ายมอเตอร์ขนาดเล็กโดยวงจรจะอยู่ภายใน ซึ่งติดตั้งอยู่กับพูลเลย์ตัวใหญ่ ไฟเลี้ยงที่ใช้จะใช้ไฟ 5 โวลต์ เมื่อมอเตอร์หมุน จะทำให้พูลเลย์ตัวใหญ่ ไฟเลี้ยงที่ใช้ไฟ 5 โวลต์ เมื่อมอเตอร์หมุน จะทำให้พูลเลย์ที่ติดอยู่ที่มอเตอร์หมุน ถ่ายกำลังงานส่งไปที่พูลเลย์ตัวใหญ่หมุนตาม ทำให้อุปกรณ์ที่เป็นตัวเข้ารหัส หมุน เมื่อตัวเข้ารหัสหมุน วงจรภายในตัวเข้าหมุนครบ 1 รอบ จะทำให้พัลส์ออกมา 100 พัลส์ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตของตัวเข้ารหัส จะมี 2 เอาต์พุต เป็นลักษณะของรหัสเกรย์ (Gray Code) โดยจะสามารถดูรูปสัญญาณได้ ในการทดลองบทที่ 4 ซึ่งจะมีความแตกต่างกัน 4 รหัส



รูปที่ 3.5 ตัวเข้ารหัสและวงจรประกอบ

จากเอาต์พุตของตัวเข้ารหัส จะนำมาทำการป้อนเข้าวงจรประกอบตัวเข้ารหัส เพื่อให้ได้สัญญาณตามที่ต้องการ เนื่องจากในการนับจะมีค่าเศษ จึงแก้ปัญหาด้วยการใช้วงจรประกอบ ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเป็นลักษณะของการติดตั้งเพื่อใช้งาน

3.5 วงจรแสดงผลและรับคีย์

การใช้งานวงจรแสดงผลในโครงงานนี้ จะใช้ตัวแสดงผลเป็น ET-SDP8 (Serial Display 7- segment 8 Digit) เป็นตัวแสดงผล ซึ่งการแสดงผลการทำงานของระบบไมโครคอมพิวเตอร์นับเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งการแสดงผลอาจทำได้มสกหลายวิธีโดยอาจเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมของงาน เช่น หลอดแสดงผล LED สีต่าง ๆ แผงแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน (7 Segment) จอแสดงผล LCD ลำโพง เป็นต้น

ในระบบไมโครคอมพิวเตอร์นั้น การแสดงผลด้วยแผงแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน นับเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่กำลังเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งการแสดงผลด้วยแผงแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน นี้หากต้องใช้การแสดงผลหลาย ๆ หลักแล้ว การควบคุมการแสดงผลอาจมีความยุ่งยาก ทั้งทางด้าน Software และ Hardware ซึ่ง วิธีการควบคุมการแสดงผลอาจทำได้หลายวิธีเช่น ใช้วิธีการ Latch ข้อมูล ซึ่งวิธีนี้ต้องใช้วงจรและอุปกรณ์ควบคุมหลายตัว และกินกำลังงานสูง หรือหากใช้การสแกนโดยการเขียนโปรแกรมสั่งงานให้ CPU มาควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงผลก็มักประสบปัญหาเมื่อ CPU มีความจำเป็นต้องไปทำงานอย่างอื่นเป็นเวลานาน ๆ แล้วจะทำให้ส่วนแสดงผลหยุดทำงานหรือดับไป

จากปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นนั้น จึงได้ทำการพัฒนาบอร์ด ET-SDP8 ขึ้นเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแสดงผลของแผลแสดงแบบตัวเลข 7 ส่วน จำนวนหลัก 8 หลัก ซึ่งใช้ IC MAX7219 เป็นตัวควบคุมการแสดงผล ทำให้วงจรมีขนาดเล็กและการเขียนโปรแกรมสั่งงานก็ง่ายและสะดวกมากขึ้น

คุณสมบัติ

1. ทำงานที่ความเร็วสูงถึง 10 เมกะเฮิตซ์
2. สามารถควบคุมการแสดงผลของแผงแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน ชนิดคอมมอนแคโถดได้ 8 หลักต่อบอร์ดควบคุม 1 ชุด และสามารถต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มจำนวนหลักของการแสดงผล ให้ได้หลาย ๆ หลักอีกด้วย
3. สามารถควบคุมความสว่างของการแสดงผลได้ 16 ระดับ ด้วย Software
4. ใช้การเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยใช้สัญญาณในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้นทำให้ประหยัดพอร์ตควบคุมได้เป็นอย่างมาก
5. ใช้การสั่งงานให้แสดงผลเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นบอร์ดจะทำการควบคุมการแสดงผลของแผลแสดงผลทุกหลักเอง จนกว่าเราต้องการเปลี่ยนค่าการแสดงผลเป็นค่าใหม่จึงจะส่งข้อมูลและคำสั่งใหม่ให้บอร์ดอีกทำให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมเพราะสามารถให้ CPU ไปทำงานอย่างอื่นได้โดยไม่ต้องกลัวว่าส่วนแสดงผลจะหยุดทำงาน
6. ใช้ไฟเลี้ยงเดี่ยว +5 โวลต์ 1 ชุด
7. สามารถเปลี่ยนโปรแกรมโหมด การแสดงผลได้ 2 โหมด คือโหมดแสดงผลด้วยรหัส BCD และโหมดแสดงผลตามค่าที่กำหนดให้
8. ขณะไม่มีการแสดงผล กินกำลังงานต่ำมากเพียง 150 ไมโครแอมป์
9. ขณะเปิดเครื่องครั้งแรก จอแสดงผลทุกหลักจะไม่แสดงผล (ว่าง) หมดปัญหาเรื่องการแสดงค่าที่ไม่ต้องการ
10. ขนาดเล็กกะทัดรัด เพียง 1.5 นิ้ว x 6.5 นิ้ว (4 cm x 16.5 cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของบอร์ด ET-SDP8 บอร์ด ET-SDP8 มีสัญญาณในการเชื่อมต่อเพียง 4 เส้นดังนี้ คือ

1. DIN เป็นขาสัญญาณอินพุตใช้สำหรับ รับข้อมูลอินพุตแบบอนุกรม โดยข้อมูลโหลดเข้าไปอยู่ในชิฟต์รีจิสเตอร์ ขนาด 16 บิต โดยสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา ที่ส่งเข้ามาทางขา CLK โดยข้อมูลจะเริ่มจาก D 15..D0
2. CLK เป็นขาสัญญาณอินพุตใช้สำหรับรับสัญญาณนาฬิกาอินพุตจากภายนอก ซึ่งอัตราความเร็วสูงสุด 10 เมกะเฮิตซ์ โดยเมื่อสัญญาณนาฬิกาเป็นช่วงขอบขาขึ้น (Rising Edge) สัญญาณข้อมูลขา DIN จะถูกเลื่อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ภายใน เมื่อสัญญาณนาฬิกาเป็นช่วงขอบขาลง (Falling Edge) ข้อมูลที่อยู่ในชิฟต์รีจิสเตอร์ ตำแหน่งสุดท้าย (D15) จะถูกเลื่อนออกมาที่ขาสัญญาณ DOUT
3. LOAD เป็นขาสัญญาณอินพุต ใช้สำหรับควบคุมการโหลดข้อมูลที่ถูกเลื่อนเข้ามาไว้ในชิฟรีจิสเตอร์เข้าไปยังหน่วยความจำของ IC MAX 7219 โดยค่าในชิฟรีจิสเตอร์ทั้งหมดจะถูกโหลดเมื่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา LOAD เป็นขอบขาขึ้น (Rising Edge)
4. DOUT เป็นขาสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งเป็นข้อมูลแบบอนุกรมชุดเดียวกันกับ สัญญาณ DIN โดยสัญญาณ DOUT นี้เราใช้สำหรับต่อเข้าสัญญาณ DIN ของบอร์ดถัดไป เมื่อต้องการเพิ่มจำนวนหลักแสดงผลให้มากขึ้น

3.6 วงจรป้องกัน

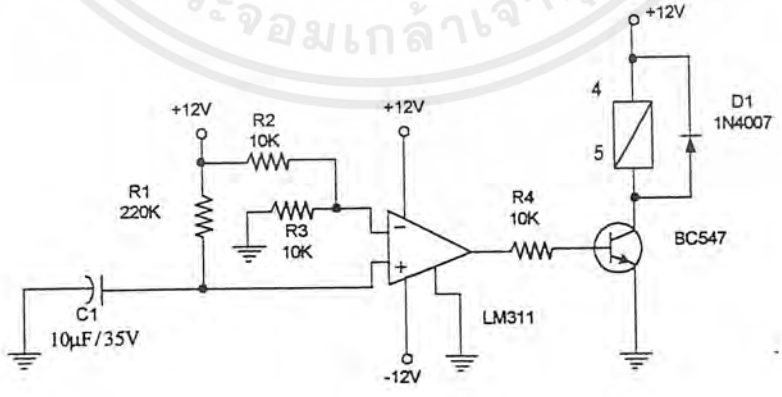
เนื่องจากโครงงานนี้เป็นโครงงานที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากถึง1/4 แรงม้า หรือ 196.67 วัตต์ ซึ่งคิดเฉพาะชุดกำลัง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานภายในโครงงานนี้ไม่ให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการสวิตชิ่งกำลัง เพิ่มในส่วนของทางด้านวงจรควบคุมนั้น อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการกำลังในการทำงานมากนัก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความสำคัญในการป้องกันมาก แต่ในส่วนของวงจรที่ใช้กำลังในการทำงานมาก จะต้องได้รับการป้องกันเป็นพิเศษ ซึ่งในการป้องกันอุปกรณ์ในการสวิตชิ่งกำลังสามารถที่จะทำได้ทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟแวร์ ในกรณี ซอฟแวร์ขณะที่วงจรกำลังทำงาน เราสามารถที่จะกำหนดการ Turn On ของมอสเฟตแต่ละตัวได้โดยการกำหนดเวลา Dead time ที่ไอซีผลิต PWM เบอร์ 89C2051 รวมทั้งการป้องกันในส่วนของแมคคานิกส์ ซึ่งเมื่อเครื่องทำงาน จะเกินการวิ่งของยอย ซึ่งยอยจะมีแรงในการวิ่งมาก เพราะถูกทดสอบลงมา กรณีเกิดการผิดพลาดของโปรแกรม จะมีการป้องกันโดยการใช้สวิตช์ตัดไฟจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุม ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รีเซ็ต และหยุดการทำงาน ตัวตัดไฟจะใช้ไมโครสวิตช์ในการตัด

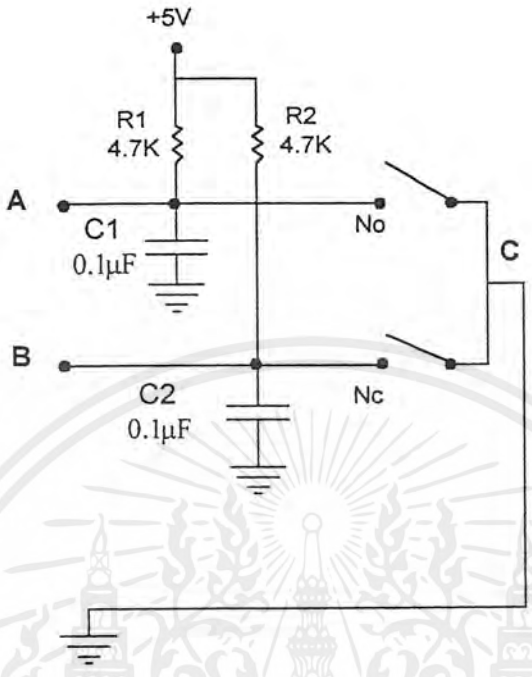
ในส่วนทางด้านฮาร์ดแวร์ ทั้งชุดจ่ายไฟให้สวิตชิ่งกำลัง และชุดสวิตชิ่งกำลังจะได้รับการป้องกันเป็นพิเศษ โดยการป้องกันกรณีของชุดสวิตชิ่งกำลัง เกิดการลัดวงจรหรือดึงกระแสเกินจะมีฟิวส์ขนาด 10 แอมแปร์ เป็นตัวตัดไฟเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเพิ่มมากขึ้นในส่วนอื่น ๆ ในส่วนของวงจรเร็กติไฟเออร์ จะป้องกันในกรณีของการจ่ายไฟให้แก่วงจรในตอนแรก กรณีตัวเก็บประจุค่า 470 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ ทำการชาร์จประจุจะดึงกระแสมาก เราจะทำการหน่วงเวลาไว้ก่อน โดยให้กระแสผ่านรีซิสเตอร์ค่า 47 โอห์มก่อนแล้วค่อยให้รีเลย์ตัดไฟเข้าวงจร 100 % ซึ่งจะสามารถป้องกันทั้งแรงดันที่จะกระชากเข้าวงจรมอสเฟต เร็วเกินไปด้วย ซึ่งจะพิจารณาการออกแบบจะได้วงจรดังรูปที่ 3.6

ส่วนวงจรป้องกันทางด้านกลไก หรือด้านแมคคานิกส์ จะเป็นวงจรที่ใช้ป้องกันตัวยอยซึ่งติดตั้งตัวบอกตำแหน่งอยู่ด้านบนตัวยอย เพื่อเคลื่อนที่ไปชนกรอบของตัวเครื่อง ซึ่งในการเคลื่อนที่ของยอยนั้น จะมีกำลังในการเคลื่อนที่สูงมาก เพราะถูกทดรอบลงมามาก ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรป้องกัน โดยติดตั้งไมโครสวิตช์ที่กรอบหรือผนังของเครื่องแต่ละด้าน ซึ่งไมโครสวิตช์จะทำการตัดไฟเลี้ยงวงจรควบคุมออกทันที ในกรณีถ้ายอยเกิดการเคลื่อนที่เลยจุดอ้างอิงที่ 0040 มิลลิเมตร ก็จะไปชนกระเดื่องของไมโครสวิตช์และตัดไฟออกจากวงจรควบคุมทันทีทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน ตัวยอยก็จะเคลื่อนที่ ทำให้เครื่องปลอดภัย ซึ่งสามารถสร้างวงจรได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 วงจรป้องกัน

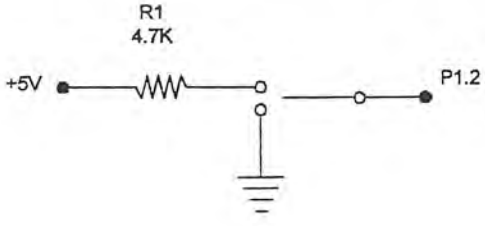
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรป้องกันตัวเครื่อง

3.7 วงจรอ้างอิงเริ่มต้น

วงจรอ้างอิงเริ่มต้น (First Reference) เป็นวงจรที่ใช้ตรวจสอบตัวบอกตำแหน่งว่าชี้บอกตำแหน่งที่ศูนย์หรือยัง ใช้ในกรณีเมื่อเริ่มต้นการใช้งานของเครื่อง ซึ่งสามารถที่จะออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรอ้างอิงเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 ตัวสวิตช์ที่ใช้เป็นไมโครสวิตช์ ลักษณะของวงจรกรณีปกติขา P1.2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้รับแรงดันขนาด 5 โวลต์ จากรีซิสเตอร์พูลอัพ ค่า 4.7 กิโลโอห์ม เมื่อบอกตัวบอกตำอหน่งเคลื่อนที่มาชนไมโครสวิตช์ ไมโครสวิตช์ จะตัดวงจรให้ขา P1.2 จะได้รับแรงดันไฟ 0 โวลต์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาและรับรู้แล้วทำการสั่งมอเตอร์ให้หยุดทำงานและปรับเปรียบเทียบตัวชี้ตำแหน่งให้เข้าสู่จุดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0040 มิลลิเมตร

3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟจะแบ่งออกเป็น 4 ชุดหลัก ๆ ดังนี้

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดสร้างสัญญาณ PWM

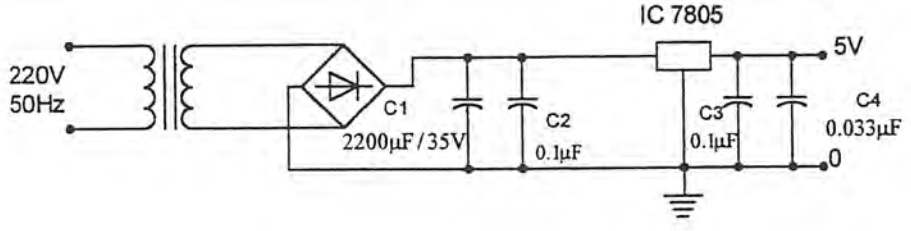
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดขับเพาเวอร์มอสเฟต

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้วงจรขยายแรงดัน DAC

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้เพาเวอร์มอสเฟต เพื่อส่งถ่ายกำลังงานไปยังมอเตอร์ โดยการสวิตชิ่งอินเวอร์เตอร์

3.8.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จะเป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายไฟให้ชุดสร้างสัญญาณ PWM และชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการสร้างแหล่งจ่ายไฟนี้ จะสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึงประมาณ 10 แอมแปร์ และใช้ไอซีเบอร์ 7805 เป็นตัวจำกัดแรงดันให้คงที่ โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จะออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.9

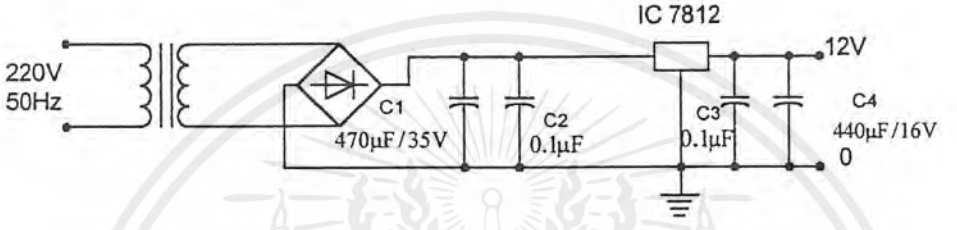


รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

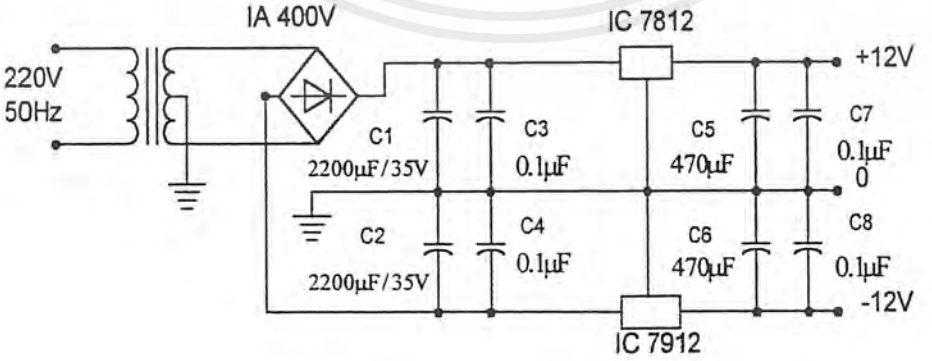
การออกแบบวงจรจะใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับชุดขับเพาเวอร์มอสเฟตและชุดป้องกันวงจร ซึ่งชุดนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไม่มากจึงกินกระแสต่ำ ซึ่งใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ เบอร์ 74LS7812 เพียงตัวเดียวในการจำกัดแรงดัน ซึ่งจะได้วงจรดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

3.8.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลต์

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลต์ จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายแรงดันขนาด 12 โวลต์ ให้แก่วงจร ออปแอมป์ ที่ใช้ขยายแรงดันไฟตรง ที่ได้จากวงจร Converter แบบ R-2R Ladder โดยแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุตของวงจรออปแอมป์ จะใช้ในการควบคุมความถี่สวิตชิ่ง สามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.11

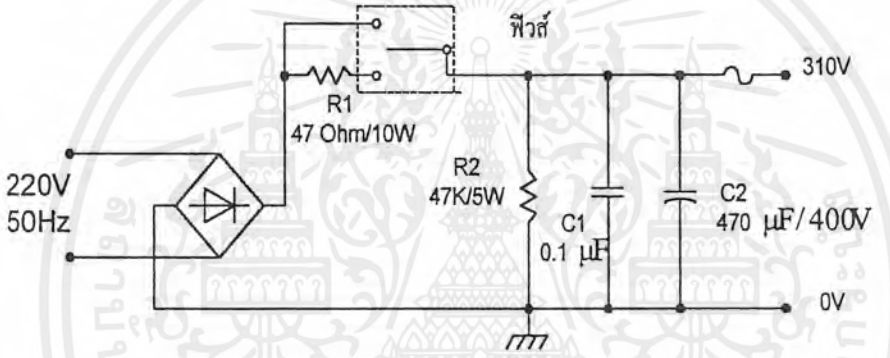


รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง±12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์

เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ต้องระมัดระวังในการต่อใช้งานเป็นพิเศษ เพราะมีแรงดันสูงถึง 310 โวลต์ ดีซี ซึ่งใช้จ่ายให้กับเพาเวอร์มอสเฟต โดยในวงจรจะใช้บริดจ์ซึ่งทนแรงดันสูงสุดถึง 400 โวลต์ และ ทนกระแสได้ถึง 20 แอมแปร์ และเนื่องจากเป็นไฟที่ไม่ต้องการความเรียบของแรงดันมากนัก ดังนั้น จึงใช้ C ฟิลเตอร์ที่มีค่าต่ำ ๆ เพียง 470 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ โดยก่อนต่อเข้าวงจรเพาเวอร์มอสเฟต จะต่อฟิวส์ 10 แอมแปร์ ไว้ก่อน เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายที่จะเกิดขึ้นในกรณีมอสเฟตเกิดการลัดวงจร ซึ่งสามารถทำการออกแบบวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์

3.9 หลักการเขียนโปรแกรม

หลักการควบคุมเครื่อง จะใช้ตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่บนไปบนไม้บรรทัดตามต้องการได้ ค่าสเกลสูงสุดที่แสดงบนไม้บรรทัดที่วัดได้จะเท่ากับ 385 mm โดยการควบคุมตำแหน่งจะใช้ตัวเข้ารหัส เป็นตัวผลิตพัลส์ออกมาโดยใช้ Exclusive OR ช่วยในการแปลงสัญญาณ เพื่อความละเอียดในการวัด โดยใช้สัญญาณได้จาก Exclusive OR ป้อนที่เขา INT 0 และ INT 1 จะทำให้เกิดการนับพัลส์ทุกขอบขาและสัญญาณจากตัวบอกรหัสจะเป็นตัวบอกทิศทางในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ด้วย โดยป้อนที่ขา P1.4 และ P1.5 ตามลำดับ

โปรแกรมควบคุม PWM จะใช้หลักการควบคุมทั้งความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่โดยใช้ IC เบอร์ AT89C2051 ซึ่งเป็น CPU 20 ขา โดยจะถูกโปรแกรมเพื่อสร้าง PWM ใช้แล้ว

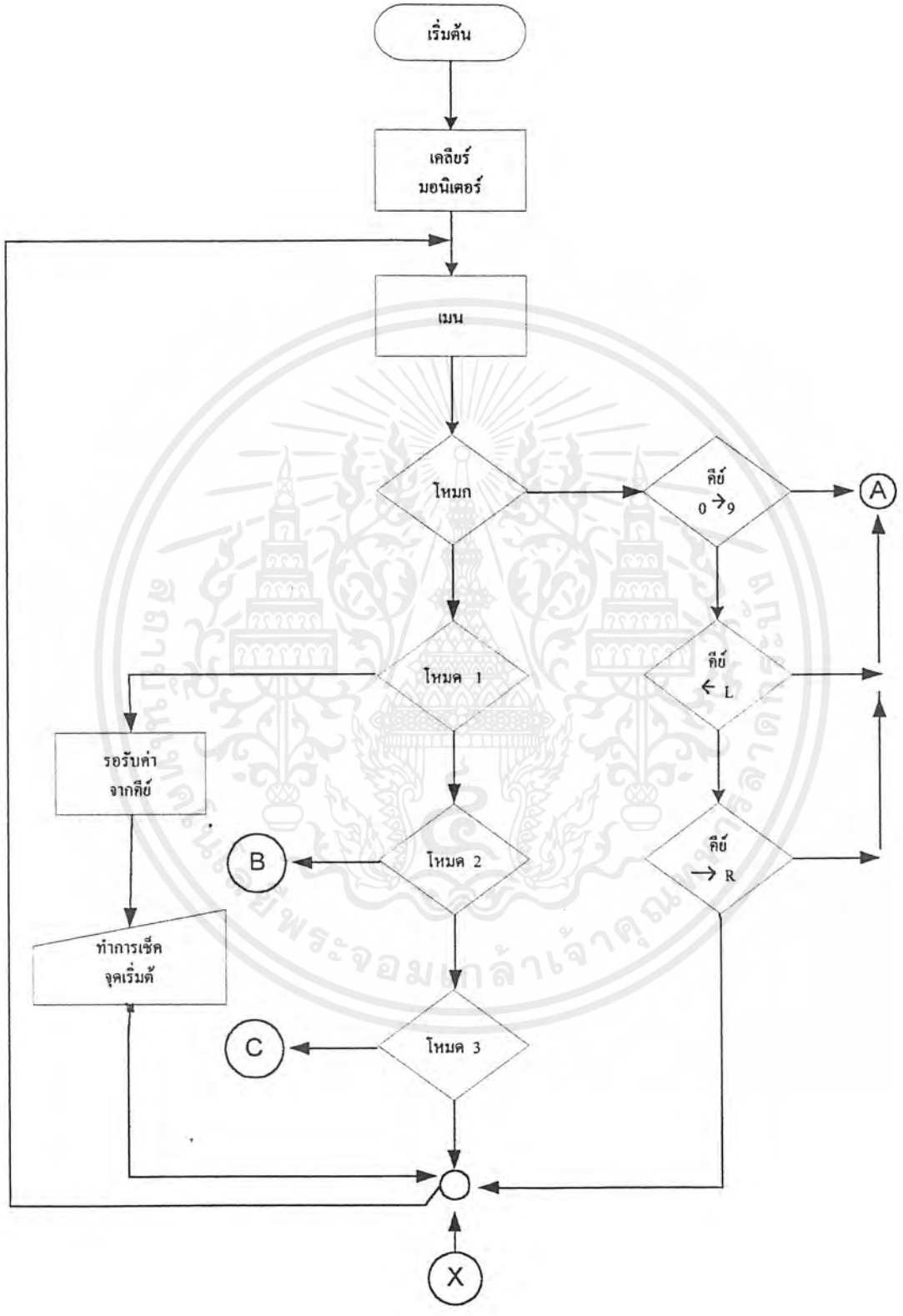
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะใช้ CPU เบอร์ AT89S8252 ควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งความเร็วก็จะถูกควบคุมโดยการเพิ่มและลดของความถี่ ของสัญญาณ PWM

วิธีการเขียนโปรแกรมจะต้องใช้ความสัมพันธ์กันระหว่าง CPU เบอร์ 89S8252 กับ IC เบอร์ AT89C2051 ซึ่งทำหน้าที่เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ และจะใช้สัญญาณของคริสตอลคนละตัวกัน

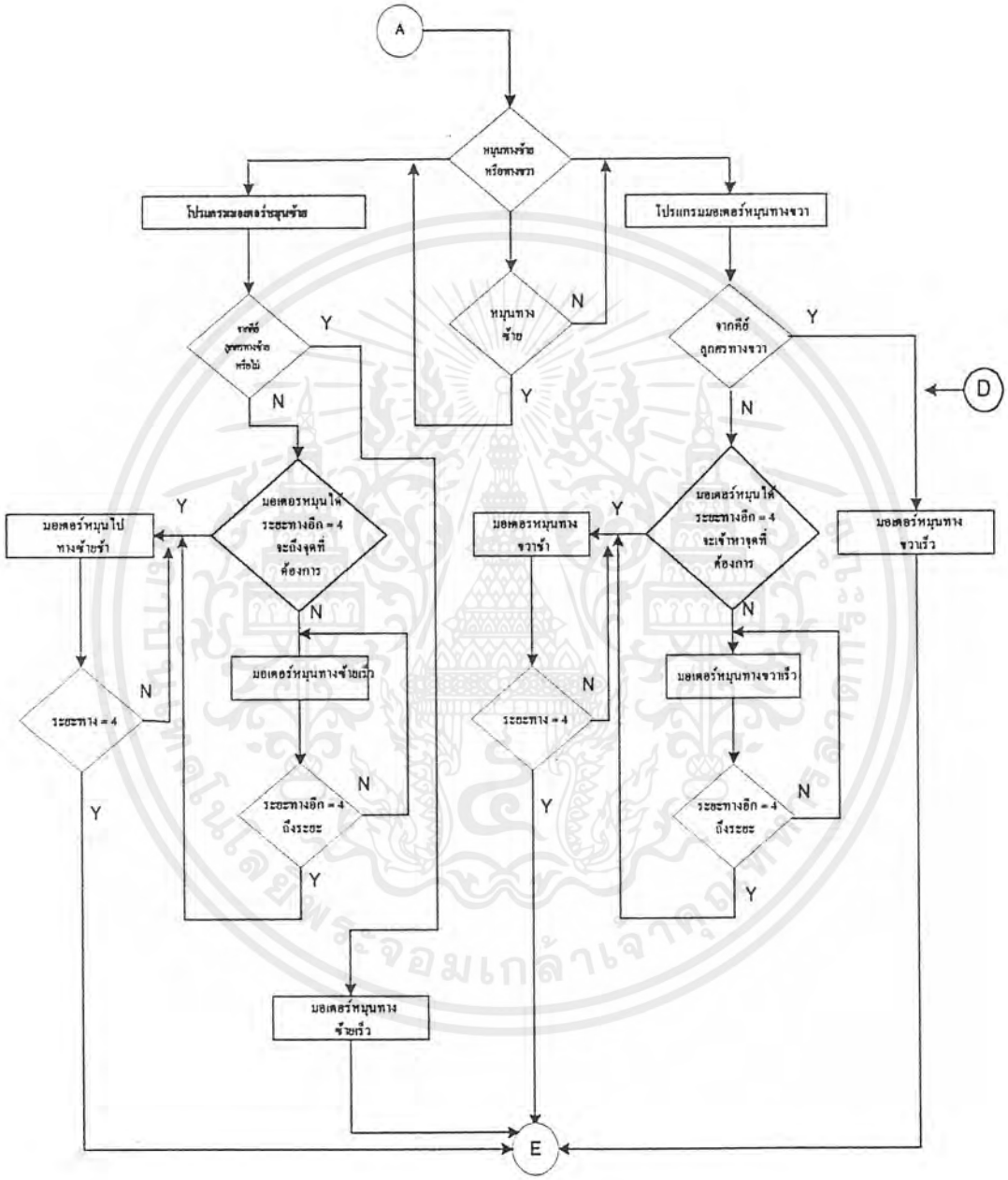
ในการทำงานของ IC เบอร์ 89C2051 ทางด้านการควบคุม ซึ่ง IC เบอร์นี้มีขาของ CPU 20 ขา ที่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งจะใช้โปรแกรมการผลิตสัญญาณ PWM ไว้ใน IC 89C2051 โดยในการโปรแกรมควบคุมความเร็วจะได้รับคำสั่งจาก CPU 89S8252 มาส่งงานอีกทีหนึ่ง โดยควบคุมที่ขา 8, 9 และ ขา 11 ของ CPU AT89C2051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



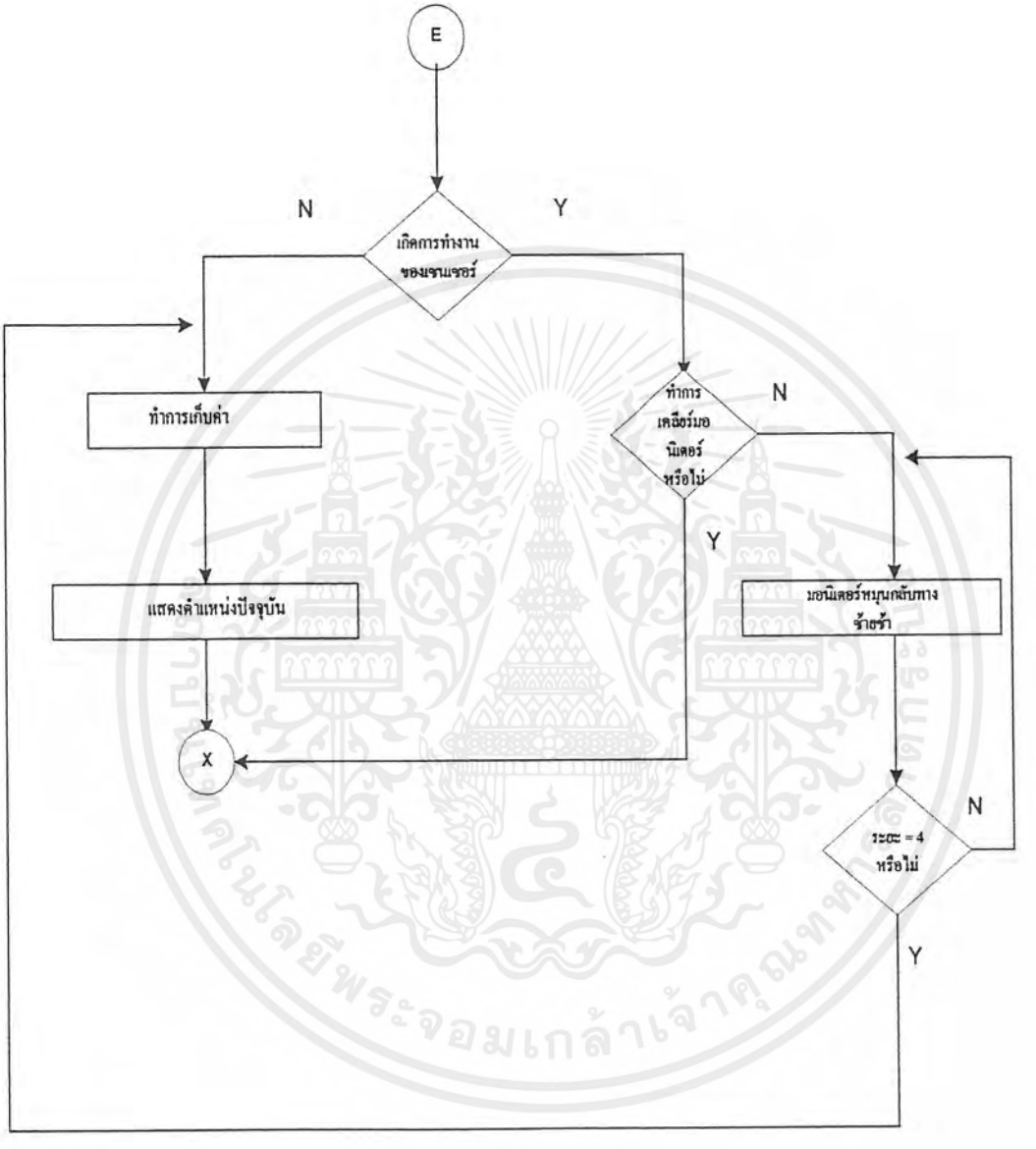
รูปที่ 3.13 ผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



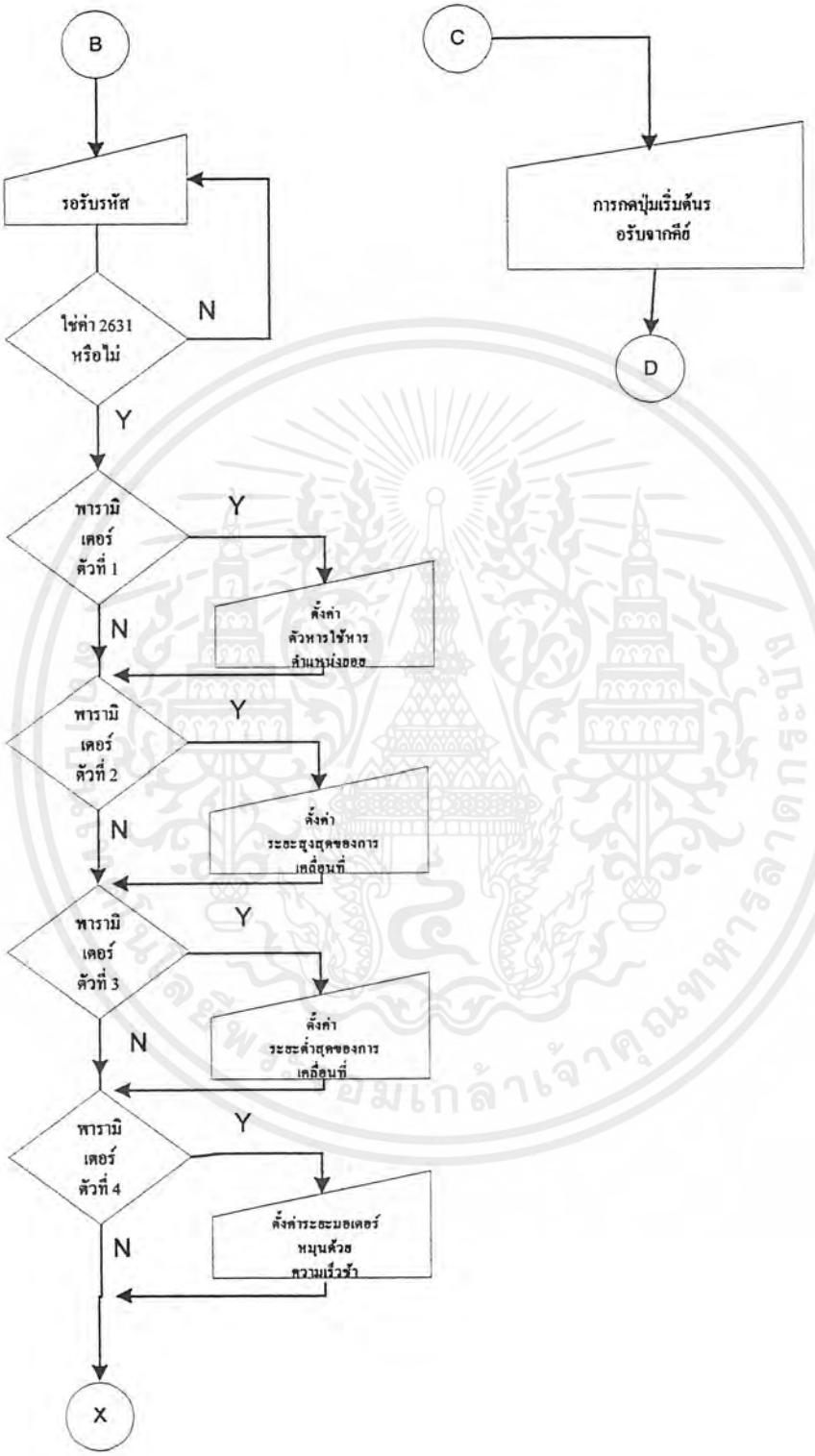
รูปที่ 3.13 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม

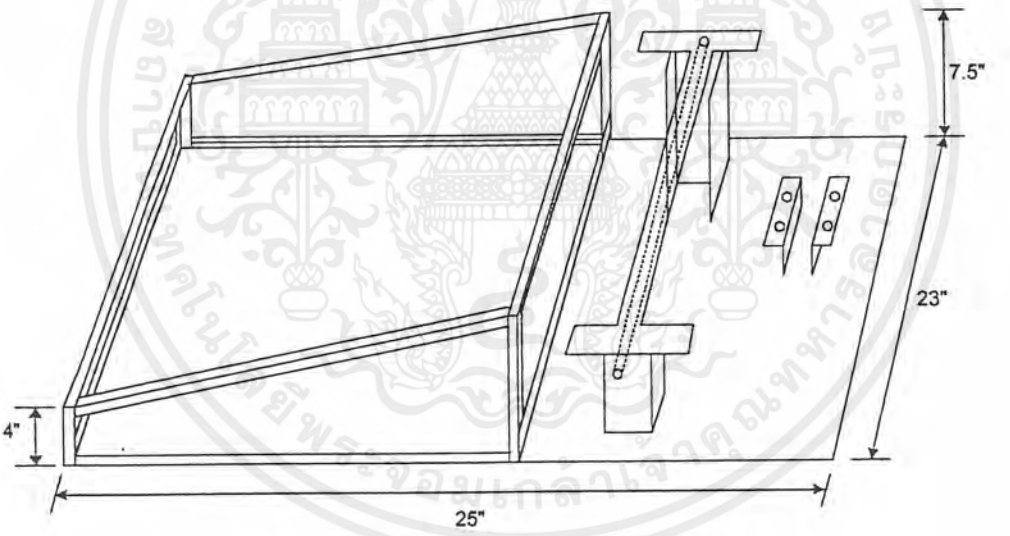
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน

ลักษณะเครื่องที่สมบูรณ์จะมีส่วนประกอบที่ต้องทำการออกแบบเพื่อที่จะทำให้เครื่องสามารถทำงานได้สมบูรณ์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

3.10.1 โครงตัวเครื่อง (Frame)

ลักษณะของโครงตัวเครื่อง จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 23 x 25 x 7.5 นิ้ว ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมคางหมู โดยภายในกล่องจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ภาคขับมอเตอร์และอุปกรณ์สร้างสัญญาณ PWM และส่วนที่สองจะประกอบไปด้วย โครงเหล็กซึ่งยึดติดกับ เพลาเกลียวและยอยที่ใช้บอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ โดยโครงเครื่องมีการแบ่งพื้นที่ภายในดังรูปที่ 3.14

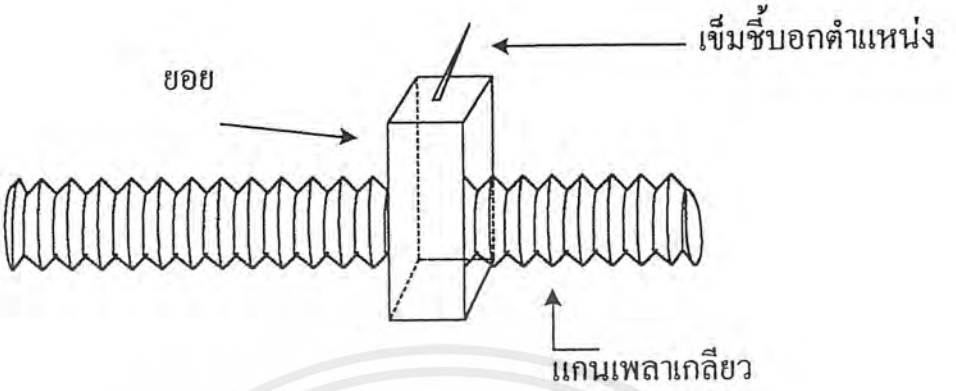


รูปที่ 3.14 โครงตัวเครื่อง

3.10.2 แกนเพลาเกลียวและยอย

แกนเพลาเกลียวและยอยเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดของตัวเครื่องเพราะเป็นส่วนที่ใช้บอกตำแหน่ง โดยมีเพลาหมุนจะทำให้ยอยเคลื่อนที่ โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของยอยที่ติดตั้ง ตัวเข็มชี้บอกตำแหน่งอยู่ด้านบน จะคิดอัตราเคลื่อนที่สูงสุดของมันที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุด 1,430 รอบ/นาที

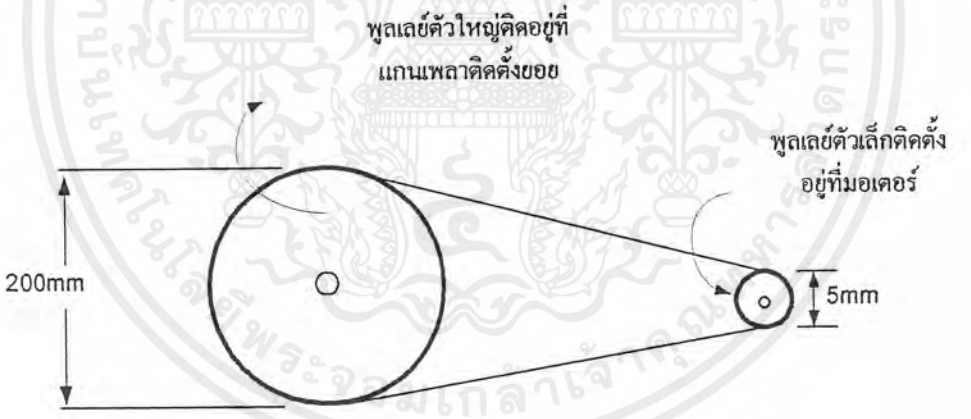
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.15 แกนเพลาเกลียวและยอย

3.10.3 วิธีการคำนวณการออกแบบโครงสร้างของเครื่อง

พิจารณารูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การทดรอบจากพูลเลย์ตัวเล็กไปยังตัวใหญ่

จากความเร็วสูงสุด RPM = 1,430 รอบ/นาที

จากการหมุนเฟือง 1 รอบ ได้ระยะเท่ากับ 2.5 mm.

ความยาวตลอดที่นับจาก Sensor ตัวแรก ถึง Sensor ตับบน เท่ากับ 346.5 mm.

และจากการวัดระยะทั้งหมด 5 เฟือง ได้ระยะเท่ากับ 10 mm. เท่ากับระยะการหมุน 2 ½ รอบ

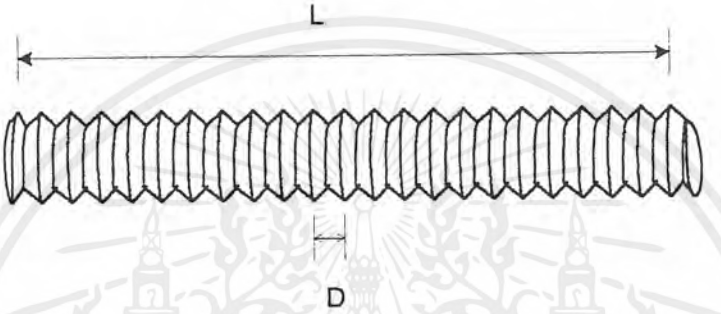
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเฟืองเมื่อเทียบกับอัตราส่วนในจำนวน 5 เฟือง = (346.5 mm x 5)/10 mm

= 173.25 เฟือง

จำนวนรอบหาได้จาก (173.25 เฟือง/5 เฟือง) x 2 ½ รอบ = 86.625 รอบ

ดังนั้น ตลอดความยาวของเพลา เฟืองจะหมุนไปเป็นระยะทางเท่ากับ 86.625 รอบ



รูปที่ 3.17 เกลียวเพลาที่ใช้ติดตั้งยอย

ทำการเทียบอัตราส่วน 86.625 รอบ ใช้เวลา = (86.625 รอบ/นาที / 1430 นาที)

= 0.060576923 นาที

คิดเป็นหน่วยวินาที = 0.060576923 x 60 = 3.63461538 วินาที

ดังนั้นตลอดความยาวที่ Sensor ตัวล่างถึง Sensor ตัวบนที่มีค่า = 346.5 mm.

จำนวนเฟือง = 173.25 เฟือง

จำนวนรอบ = 86.625 รอบ

คิดที่ RPM MAX ของมอเตอร์ (1430 RPM) ใช้เวลาในการเคลื่อนที่จากจุดต่ำสุดไปจุดสูงสุด = 3.63461538 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของส่วนประกอบในวงจรของโครงงานที่สำคัญ และการทดลองทดสอบเครื่อง ซึ่งในการทดลองในส่วนของวงจร Power จะต้องอาศัยความระมัดระวังและรอบคอบในการทดลอง โดนเฉพาะอย่างยิ่งวงจรในส่วนของวงจรสวิตชิ่งกำลัง เพราะว่าแรงดันที่ใช้มีค่าสูงมาก โดยการทดลองจะมีคลื่นสัญญาณตามจุดต่าง ๆ ที่ทดสอบ บันทึกเป็นผลการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้ ซึ่งโครงงานนี้จะกำเนิดความถี่สวิตชิ่ง ในย่านประมาณ 288 เฮิรตซ์ ถึง 2.5 กิโลเฮิรตซ์ โดยรูปแบบของความถี่หลักมูลจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่สวิตชิ่งโดยอัตโนมัติ โดยใน 1 ความถี่หลักมูลจะมีช่วง ON ของความถี่สวิตชิ่ง 48 ครั้งเสมอ ผลคือทำให้ ความถี่หลักมูลเปลี่ยนแปลงจากประมาณ 6 เฮิรตซ์ ถึง 54 เฮิรตซ์ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือ ออสซิลโลสโคป 100 เมกะเฮิรตซ์ 1 เครื่อง, มัลติมิเตอร์ดิจิตอล 1 เครื่อง, มัลติมิเตอร์แอนะลอก 1 เครื่องและวงจรที่ได้ออกแบบไว้

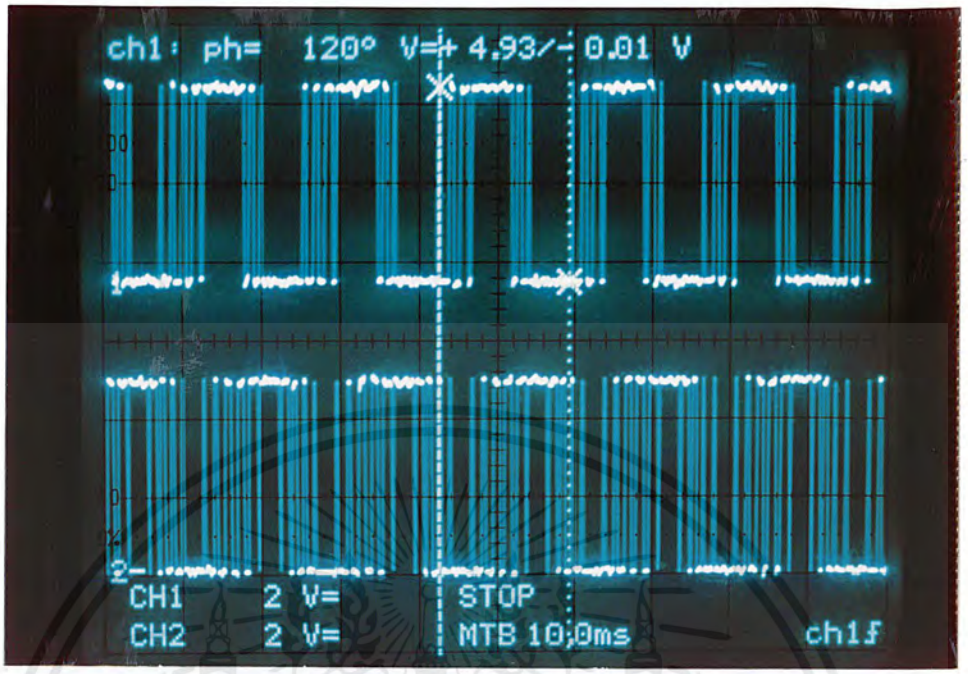
4.1 การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ผลการทดลองแหล่งจ่ายทั้ง 3 แหล่งจ่าย สามารถที่จะให้เอาต์พุต ได้ตรงตามที่ทำการออกแบบ คือ 5 โวลต์, ±12โวลต์ และ 310 โวลต์

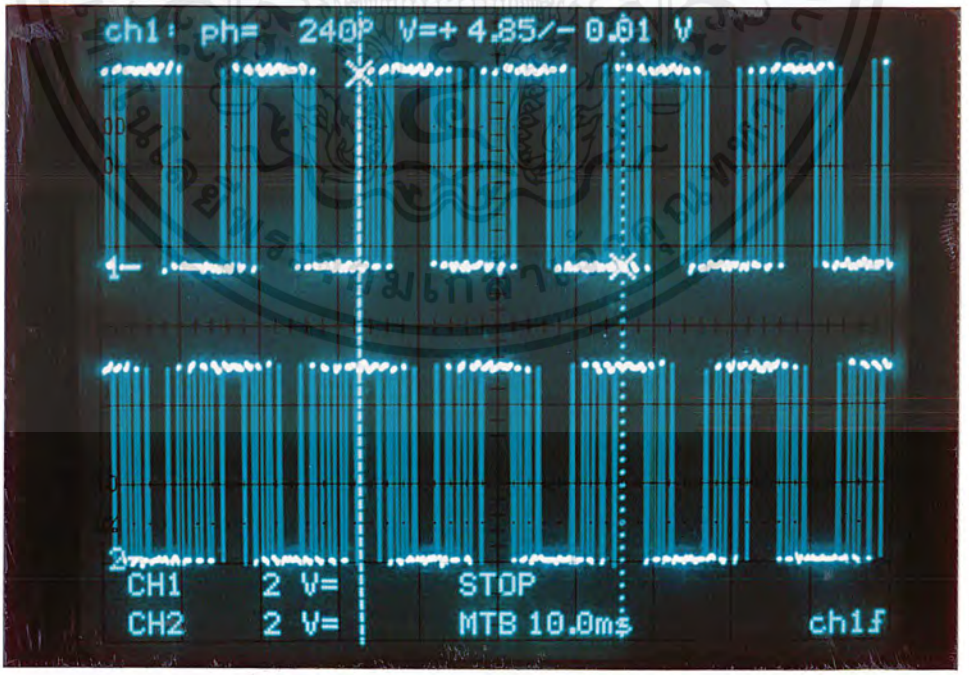
4.2 การทดลองวงจร PWM

การกำเนิดสัญญาณ PWM สามารถทำได้โดยใช้ไอซี AT89C2051 ในการผลิตสัญญาณ PWM ซึ่งจะผลิตสัญญาณ PWM โดยให้เอาต์พุตออกมาเป็น 3 เฟส แตกต่างกัน 120 องศา โดยแต่ละเฟสจะแบ่งออกเป็น phx/1 และ phx/2 โดยวิธีการกำเนิดสัญญาณ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุม สัญญาณที่ออกมา ในการทดลองนี้จะแสดงผลการทดลองของ ph1/1, ph2/1 และ ph1/1, ph3/1 เพื่อให้เห็นความต่างเฟส และความถี่สวิตชิ่งที่มีผลต่อรูปคลื่น PWM รวมทั้ง ph1/1, ph1/2 เพื่อให้เห็นลักษณะการตรงกันข้ามของแรงดัน ในการไบอัสมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

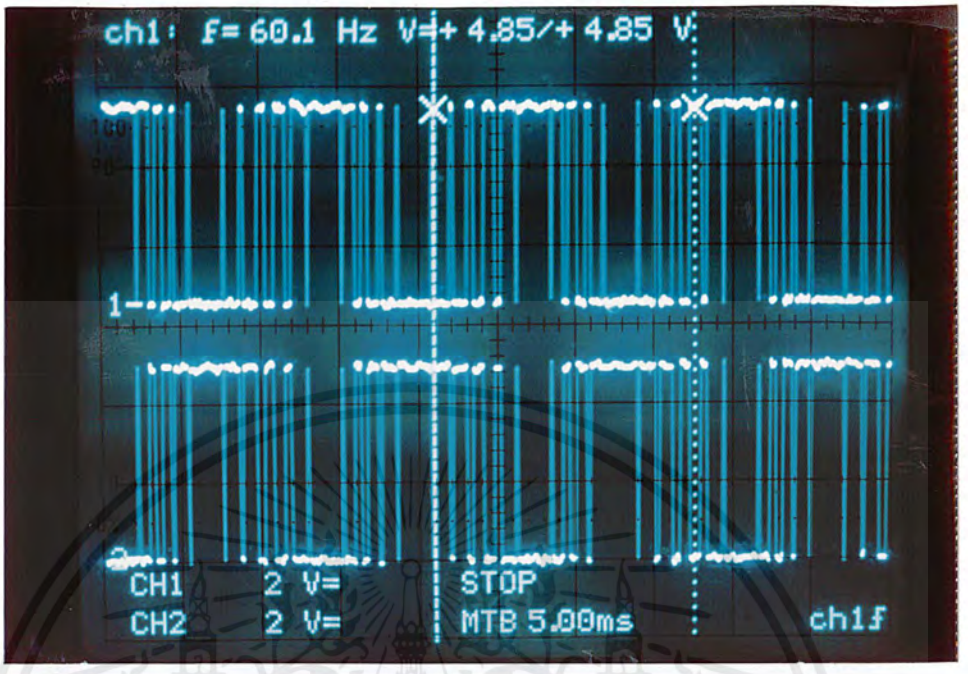


รูปที่ 4.1 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟตอยู่ 120 องศา ระหว่าง เฟส 1/1 และ เฟส 2/1

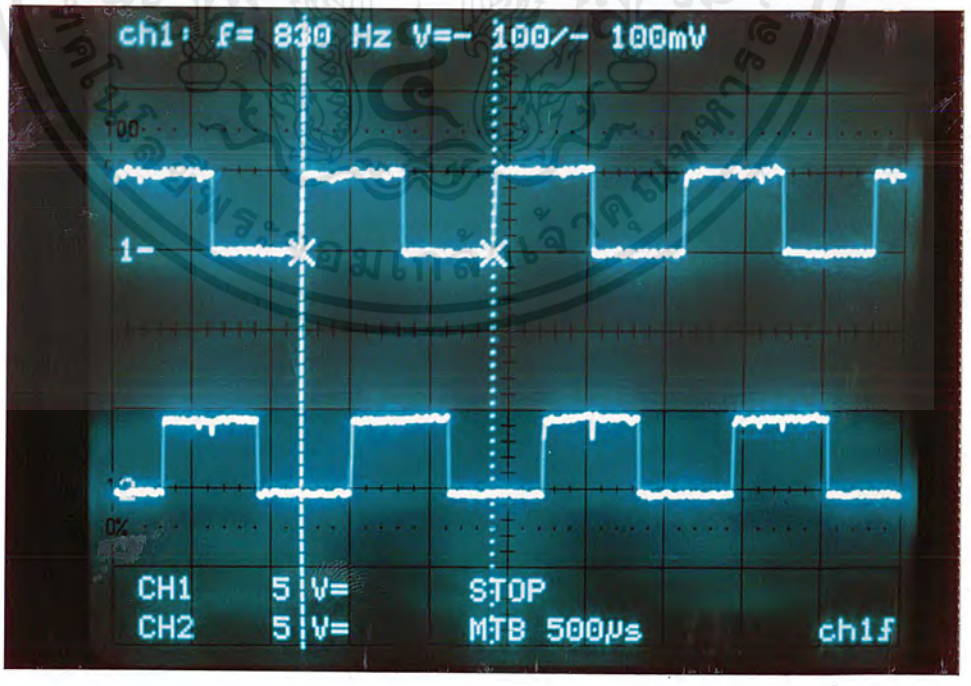


รูปที่ 4.2 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟตอยู่ 240 องศา ระหว่าง 1/1 และ 3/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

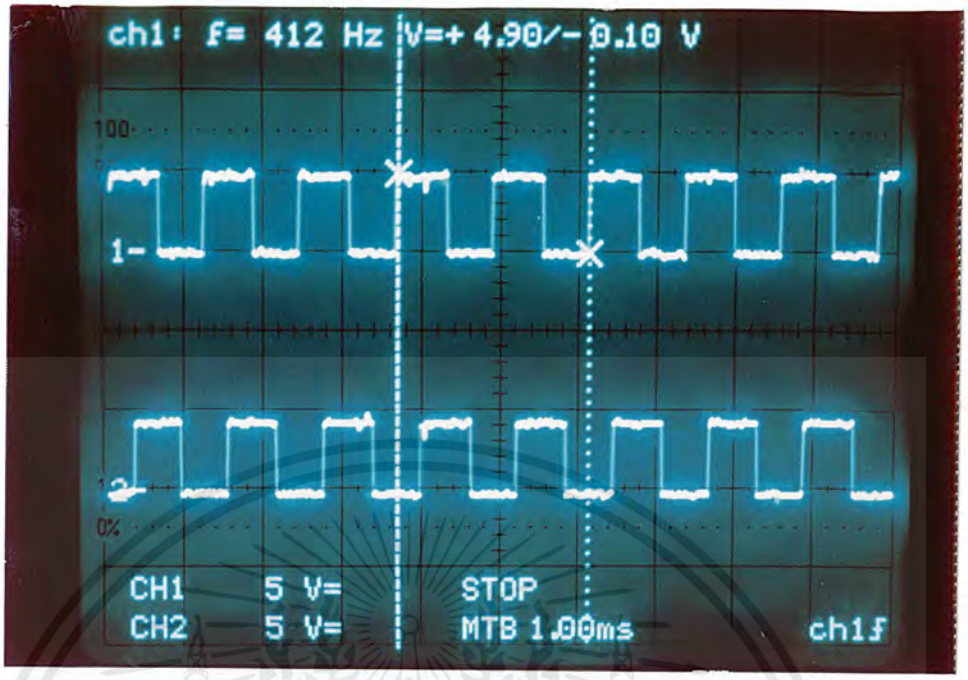


รูปที่ 4.3 ลักษณะการตรงกันข้ามของแรงดันที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต ในเฟส 1/1 และ 1/2 ในกิ่งเดียวกัน



รูปที่ 4.4 พัลส์ที่ได้จากตัวเข้ารหัสจะมีความแตกต่างกันอยู่ 4 รหัส ใน 1 รูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณจากตัวเข้ารหัส 1 สัญญาณ และสัญญาณจากตัวเข้ารหัสที่ผ่านวงจร Exclusive OR

4.3 การทดลองการเข้ารหัส

การทดลองการเข้ารหัสจะทำการวัดสัญญาณที่ออกมาจากอุปกรณ์เข้ารหัสหรือตัวเข้ารหัส และสัญญาณที่ได้จากวงจรประกอบ ตัวเข้ารหัส ซึ่งสัญญาณที่ได้จะมีอยู่ 4 สัญญาณ คือ สัญญาณที่ออกมาจากตัวเข้ารหัส 2 สัญญาณ และสัญญาณที่ได้จาก Exclusive OR เพื่อใช้ในการนับพัลส์

4.4 การทดลอง Dead time

เนื่องจากสวิตชิ่งที่ใช้เป็นแบบ ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ จะใช้มอสเฟต จำนวน 2 ตัว ต่ออนุกรมกันในกิ่งเดียวกัน โดยเอาต์พุตจะต่อออกที่จุดกึ่งกลางระหว่างมอสเฟตทั้ง 2 ตัว และต่อแรงดันขนาด 310 โวลต์ ที่ด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับกราวด์ ดังนั้นจะต้องไม่ให้มอสเฟตแต่ละตัว Turn On พร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดการช๊อตทอล์กทำให้เพาเวอร์มอสเฟตพังได้ ดังนั้นจะต้องมีการกำหนด DeadTime ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดช่วงห่างของการ Turn On ของมอสเฟต แต่ละตัว ซึ่งใช้แรงดันบวกทั้งคู่ การกำหนดการ Turn On นั้น สามารถกำหนดค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 0 ถึง 15 ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยค่า "0" หมายถึงไม่มีค่าเวลา DeadTime และ "15" จะมีค่า Deadtime สูงสุด 5 ไมโครวินาที ในการทดลองจะทำการวัดที่เฟสใดเฟสหนึ่งใน 3 เฟส ของรูปคลื่นที่ไบอัสให้เพาเวอร์มอสเฟต โดยจะวัดรูปคลื่นที่เฟส 1 โดยวัดที่ ph1/1 และ ph1/2 โดยใช้ค่า DeadTime คือค่า 15 โดยจะวัดที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต

4.5 การทดลองตำแหน่งและความเร็ว

ในการทดลองตำแหน่งและความเร็วจะเป็นลักษณะของการทำการทดสอบเครื่อง โดยสามารถทดสอบได้เมื่อประกอบเครื่องเสร็จเรียบร้อย

การทดลองตำแหน่ง จะทำได้ในกรณีเดียวกันกับการทดสอบความเร็ว คือทำการทดลองได้เมื่อประกอบเครื่องเสร็จแล้ว ลักษณะของตัวบอกตำแหน่งจะเป็นยอยติดตั้งตัวบอกตำแหน่งไว้ข้างบน ซึ่งตำแหน่งที่กำหนดจะกำหนดไว้โดยใช้ไม้บรรทัด เป็นสเกลตำแหน่ง ซึ่งไม้บรรทัดนี้ได้มาตรฐานตามมาตรฐานเครื่องมือวัดทุกประการ โดยตำแหน่งที่กำหนดไว้ให้สูงสุดของเครื่องคือ 385.5 มิลลิเมตร จากจุด 0040 ในการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ลำดับการทดลอง	ตำแหน่งเริ่มต้นปรากฏที่จอแสดงผล (mm)	ตำแหน่งปลายทางที่กำหนดจากคีย์ (mm)	ผลหลังจากการทำงานของเครื่องที่จอแสดงผล (mm)	ผลที่อ่านได้จากสเกลของไม้บรรทัด (mm)	ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวบอกตำแหน่ง	ค่าผิดพลาด(%)
1	0040	0150	0150	0150	→	0
2	0150	0275	0275	0275	→	0
3	0275	0100	0100	0100	←	0
4	0100	0040	0040	0040	←	0

การทดลองความเร็ว จะกำหนดให้เครื่องมีความเร็ว 2 ระดับ คือ ความเร็วสูง และความเร็วต่ำ โดยในการทดลองตัวบอกตำแหน่งอยู่ใกล้จุดที่ต้องการต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิเมตร จะให้ตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ต้องการ ในระดับความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าตัวบอกตำแหน่งอยู่ไกลจากตำแหน่งที่ต้องการมากกว่า 10 มิลลิเมตรขึ้นไป เมื่อตัวบอกตำแหน่งทำงานจะเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ต้องการด้วยความเร็วสูง จนกระทั่งตัวบอกตำแหน่งใกล้ตำแหน่งที่ต้องการเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เรียกว่าเป็นจุด Fast Slow ตัวบอกตำแหน่ง จะทำการลดระดับความเร็วลงมาเป็นความเร็วต่ำ จนถึงตำแหน่งที่ต้องการในที่สุด

หมายเหตุ ลักษณะของความเร็วที่ตัวบอกตำแหน่งหมุนระยะทางตัวบอกตำแหน่งอยู่ใกล้ตำแหน่งที่ต้องการ เท่ากับ หรือต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร เครื่องจะมีความเร็วต่ำโดยอัตโนมัติ

สรุปผลการทดลองบทที่ 4

จากผลการทดลองในแต่ละวงจร ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อนำวงจรแต่ละวงจรมาประกอบเข้าด้วยกัน ก็ไม่พบปัญหาอะไร สามารถที่จะทำงานได้ ในส่วนของการควบคุมวงจรด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถที่จะควบคุมวงจรได้ โดยไม่มีปัญหามากนัก ซึ่งสามารถควบคุมให้เครื่องทำงานได้ตามต้องการ

การทดลองทดสอบเครื่องพบว่าเครื่องสามารถที่จะระบุตำแหน่งที่ต้องการได้ และเป็นไปตามเงื่อนไขของความเร็วที่กำหนดจากเครื่อง โดยผ่านทางโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ปัญหา และการพัฒนา

5.1 บทสรุป

การศึกษา และทดลองสร้างชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS เบอร์ AT89S8252 เป็นแนวคิดที่จะศึกษาระบบที่มีส่วนในการใช้งานอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนามาใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งการจัดสร้างโครงสร้างจะต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงงาน โดยศึกษาจากการสบถามผู้มีความชำนาญในเรื่องที่เกี่ยวกับโครงงานที่ทางกลุ่มจัดทำ รวมถึงการศึกษาดูงานในโรงงานอุตสาหกรรมจริง ตลอดจนศึกษาการทำงานของระบบต่าง ๆ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน

โดยการสร้างโครงงานนี้ ได้ใช้แนวความคิด เพื่อใช้ในงานออกแบบวงจร และส่วนประกอบของการทำงาน จากการศึกษาการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้งานจริงในโรงงาน เป็นการดัดแปลงและพัฒนาวงจร เพื่อสามารถนำโครงงานที่ทำสำเร็จไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

สำหรับการศึกษาการเขียนโปรแกรมโดยจะศึกษาในเรื่องของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยละเอียดเพื่อสามารถนำมาควบคุมการทำงานของวงจรด้านฮาร์ดแวร์ได้ และส่วนสำคัญของการควบคุมมอเตอร์ คือ การสร้างมอดูเลตความกว้างของพัลส์โดยใช้ไอซี เบอร์ AT 89C2051 ซึ่งมีส่วนในการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS เบอร์ AT89C8252

การศึกษาและจัดสร้างโครงงานนี้สำเร็จทำให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส เข้าใจการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานตามต้องการ และตลอดจนการนำเอาไอซีเบอร์ AT89C2051 มาสร้างการมอดูเลตความกว้างของพัลส์

การจัดสร้างโครงงานได้เครื่องต้นแบบที่สมบูรณ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ความสามารถของโครงงาน คือสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 3 เฟส ให้หมุนช้าหรือเร็วได้ตามกำหนด สามารถควบคุมตำแหน่งการหยุดหมุน และสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส ได้

ซึ่งส่วนที่ถูกพัฒนาเพิ่มขึ้นมา คือสามารถ SCAN DISPLAY ในขณะมอเตอร์ทำงานได้ สามารถพัฒนาใช้ไอซีเบอร์ AT89C2051 ตระกูล MCS ในการสร้างการมอดูเลตความกว้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ในการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟสซึ่งสามารถนำโครงงานนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้ต่อไป เช่นใช้เป็นส่วน Backgage ในเครื่องตัดเหล็กหรือเครื่องพับเหล็ก

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. ปัญหาที่พบทางด้านฮาร์ดแวร์

1.1 ในส่วนของการสร้างโครงเครื่อง ค่อนข้างทำได้ยาก เพราะต้องใช้โครงเหล็กมาทำทั้งหมด เนื่องจากขณะที่มอเตอร์ทำงานนั้นจะเกิดการสั่นสะเทือน

แนวทางแก้ไข

ใช้โครงเหล็กทำส่วนของโครงเครื่องทั้งหมด จึงทำให้ไม่เกิดการสั่นสะเทือน และทำให้มีความแข็งแรงขึ้น

1.2 ในส่วนของการทำเกลียว นั้นค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากเกลียวที่ทำเป็นเกลียวของมิลลิเมตร (mm) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก โดยในท้องตลาดส่วนใหญ่จะรับทำ เฉพาะเกลียวที่เป็นนิ้ว

แนวทางแก้ไข

หาร้านที่รับทำเกลียวมิลลิเมตร (mm) โดยการสอบถามจากโรงกลึงหลาย ๆ ร้าน

1.3 ในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บางตัวจัดหาซื้อได้ยาก เช่น ตัวไดโอด (เบอร์ U-150)

แนวทางแก้ไข

สอบถามผู้เชี่ยวชาญในการซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.4 อุปกรณ์บางตัวไม่มีคู่มือการใช้งาน ทำให้ยากลำบากต่อการนำมาใช้งาน เช่น อุปกรณ์ตัวเข้ารหัส ซึ่งได้นำอุปกรณ์เก่ามาใช้ โดยทำการศึกษาดัดแปลงการใช้งานเอง

แนวทางแก้ไข

สอบถามผู้ที่ชำนาญและมีประสบการณ์ จากการใช้งานของอุปกรณ์ตัวนั้น และสอบถามจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

2. ปัญหาที่พบทางด้านซอฟแวร์

2.1 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดสำเร็จ ที่ซื้อมาจะทำด้วยความยากลำบาก บางทีก็จะเกิดการทำงานที่ไม่แน่นอนของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไข

ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของบอร์ดก่อนการเขียนโปรแกรมให้ดี, ทำการสร้างส่วนของฮาร์ดแวร์ให้รองรับการต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และสามารถนำบอร์ดนี้ไปขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ และรับคำปรึกษามาเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรม

2.2 ในช่วง Fast Slow มอเตอร์จะเกิดความร้อน เนื่องจากในช่วง Fast Slow ความถี่ที่ MCS Generate ออกมา เป็นสัญญาณ PWM นั้น จะต่ำกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์กินกระแสทำให้เกิดความร้อนขึ้น

แนวทางแก้ไข

ต้องทำการพัฒนาในการ Generate ความถี่ของสัญญาณ PWM ให้มีความถี่ที่สม่ำเสมอและทำให้มอเตอร์กินกระแสน้อยลง

2.3 มีปัญหาในการเขียนโปรแกรมของส่วนแสดงผล ชุด Scan Display ซึ่งต้องใช้ IC MAX 7219 เป็นตัว Scan Display ซึ่งมีปัญหาการทำงานของ IC MAX 7219

แนวทางแก้ไข

สอบถามอาจารย์ที่ปรึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพิ่มทาง อินเตอร์เน็ต ในการเขียนโปรแกรม

2.4 เนื่องจากในการสร้างการมอดูเลตความกว้างของพัลส์ต้องใช้ IC AT89C2051 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์ จึงมีปัญหาที่การทำงานของตัวดังกล่าวเนื่องจากต้องนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม

แนวทางแก้ไข

สอบถามอาจารย์ที่ปรึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพิ่มทาง อินเตอร์เน็ต ในการเขียนโปรแกรม

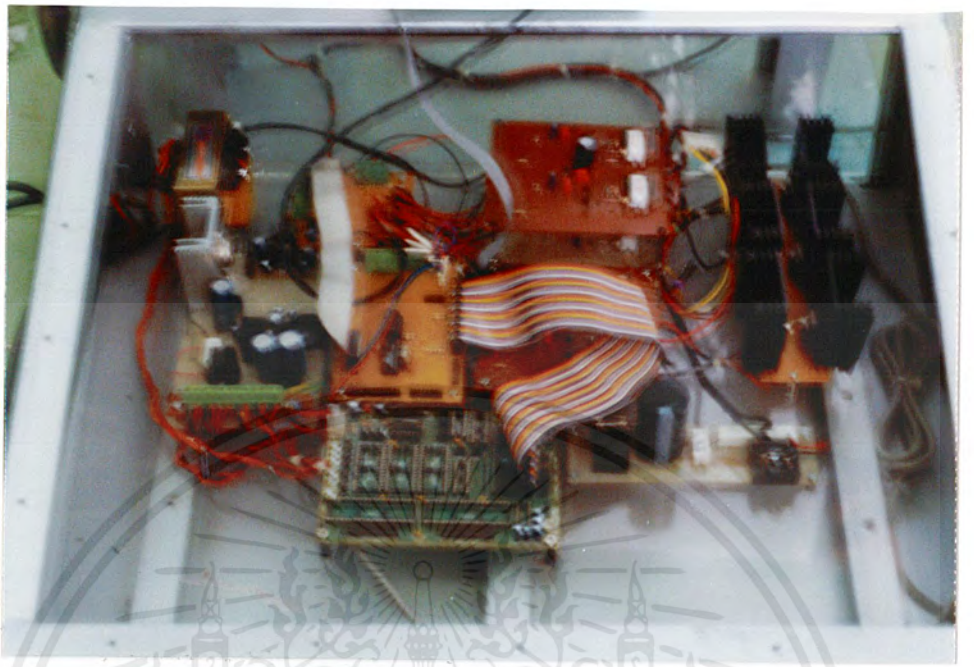
5.3 แนวทางพัฒนา

1. พัฒนาในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานที่ความเร็วต่ำวิ่งเข้าหาตำแหน่งที่ต้องการ หรือที่จุด Fast Slow ปรากฏว่ามอเตอร์มีอาการร้อนเนื่องจากที่จุดนี้ค่าความถี่จะมีค่าต่ำ ในการขับมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส
2. พัฒนาการสร้างการเข้ารหัสแทนที่อุปกรณ์เข้ารหัส
3. พัฒนาความเร็วของมอเตอร์ควรให้มีความเร็วหลายระดับมากยิ่งขึ้น
4. ในการควบคุมควรมีปุ่มรีเซ็ตระบบจะทำให้ระบบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

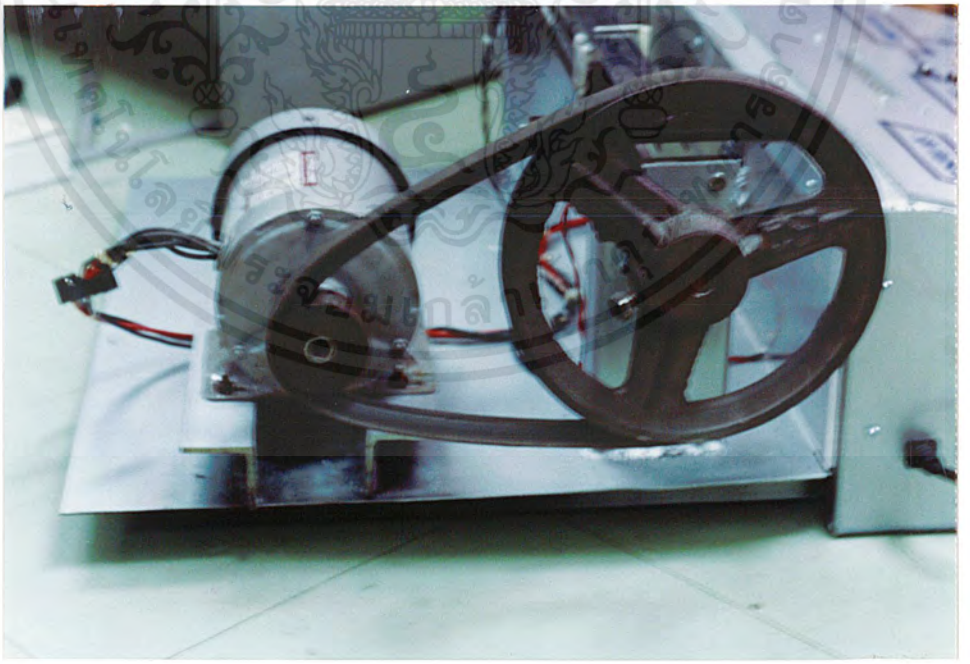
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

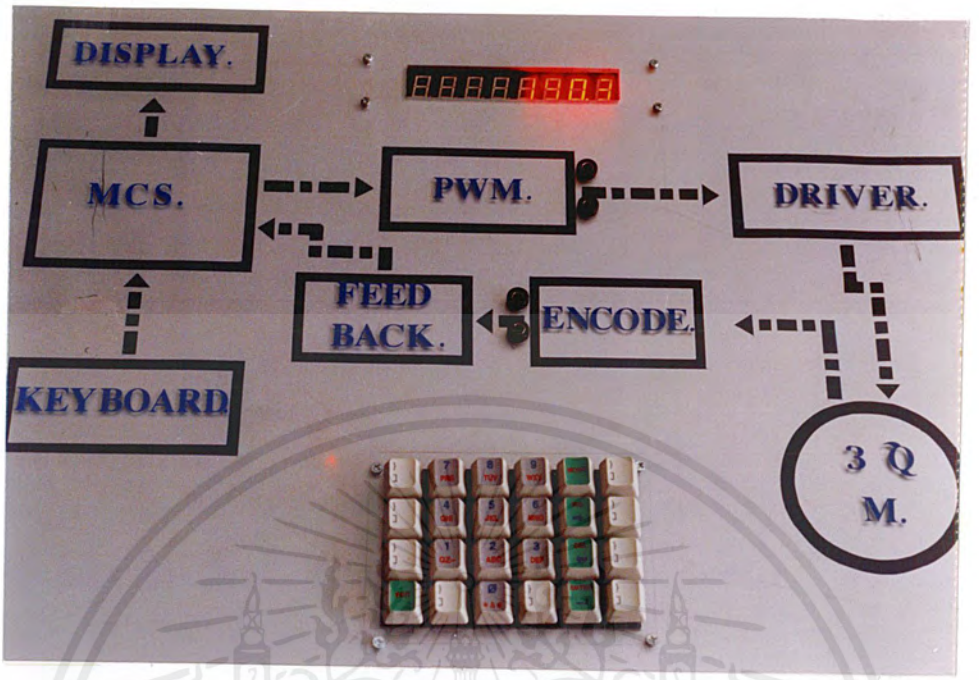


รูปที่ ก.1 การวางอุปกรณ์ภายในโครงเครื่อง

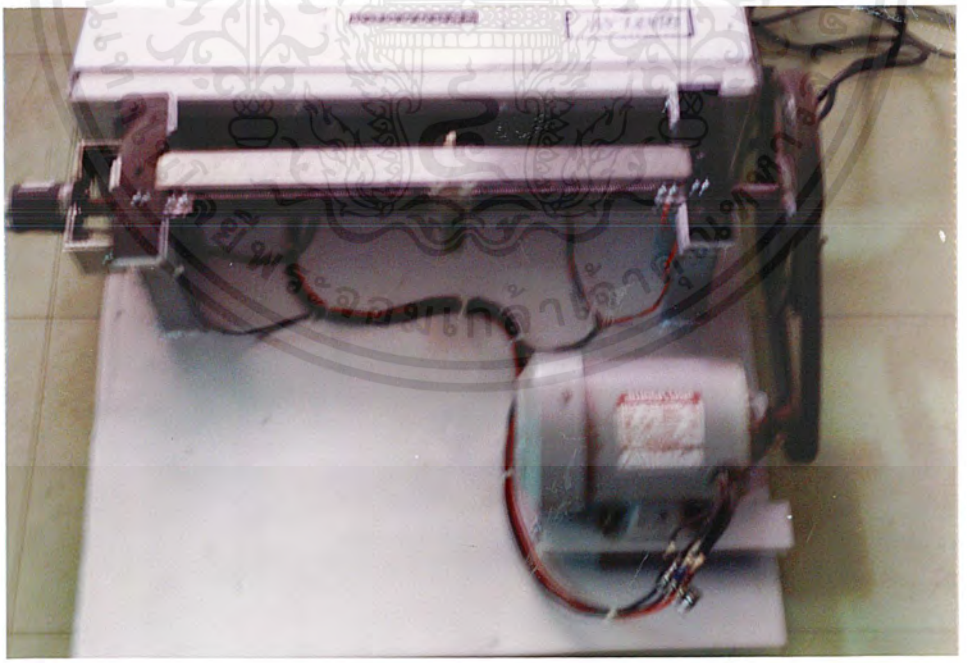


รูปที่ ก.2 ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

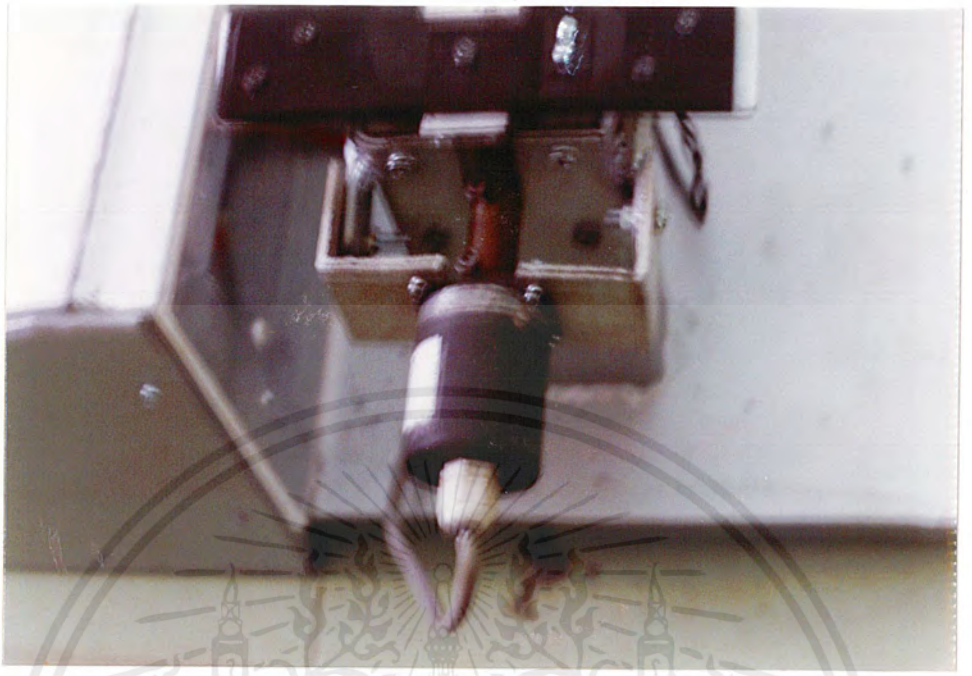


รูปที่ ก.3 แผงหน้าปัดแสดงการทำงาน



รูปที่ ก.4 การติดตั้งมอเตอร์สามเฟสกับชุดแมคคานิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



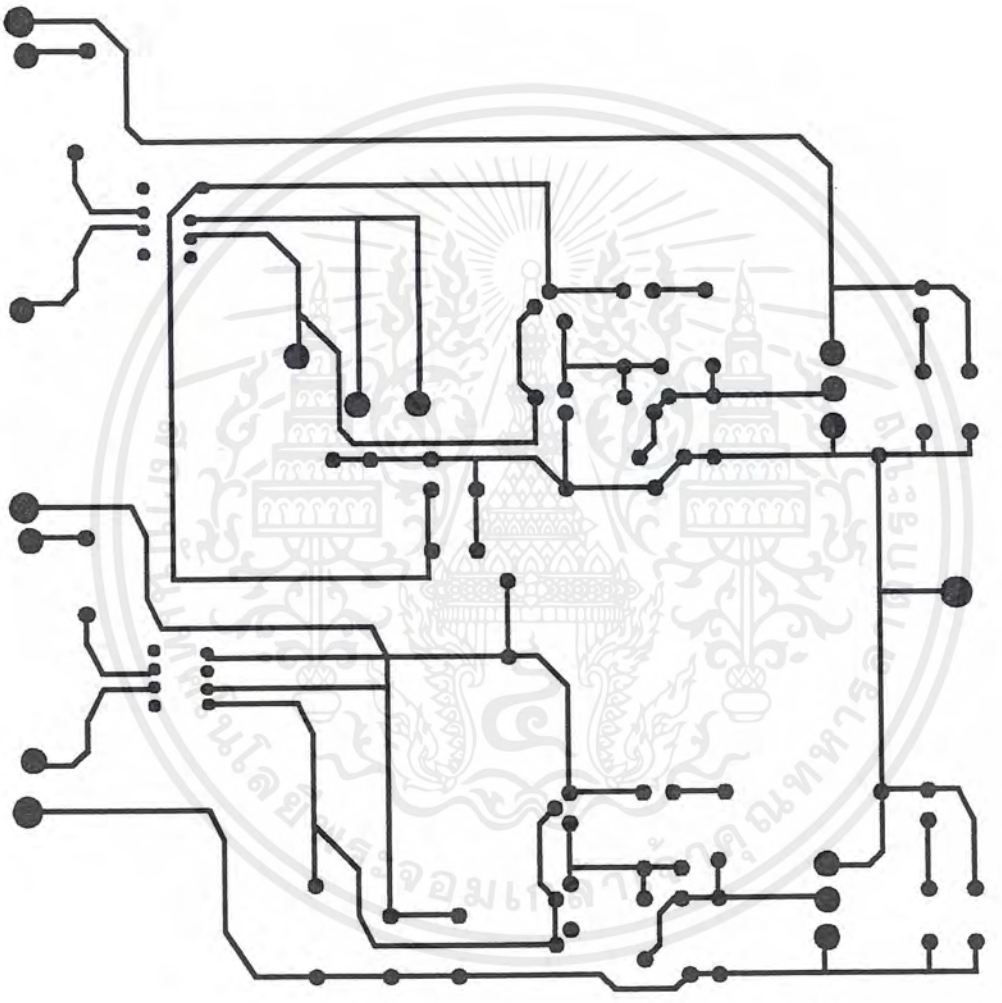
รูปที่ ก.5 อุปกรณ์เข้ารหัส (Encoder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

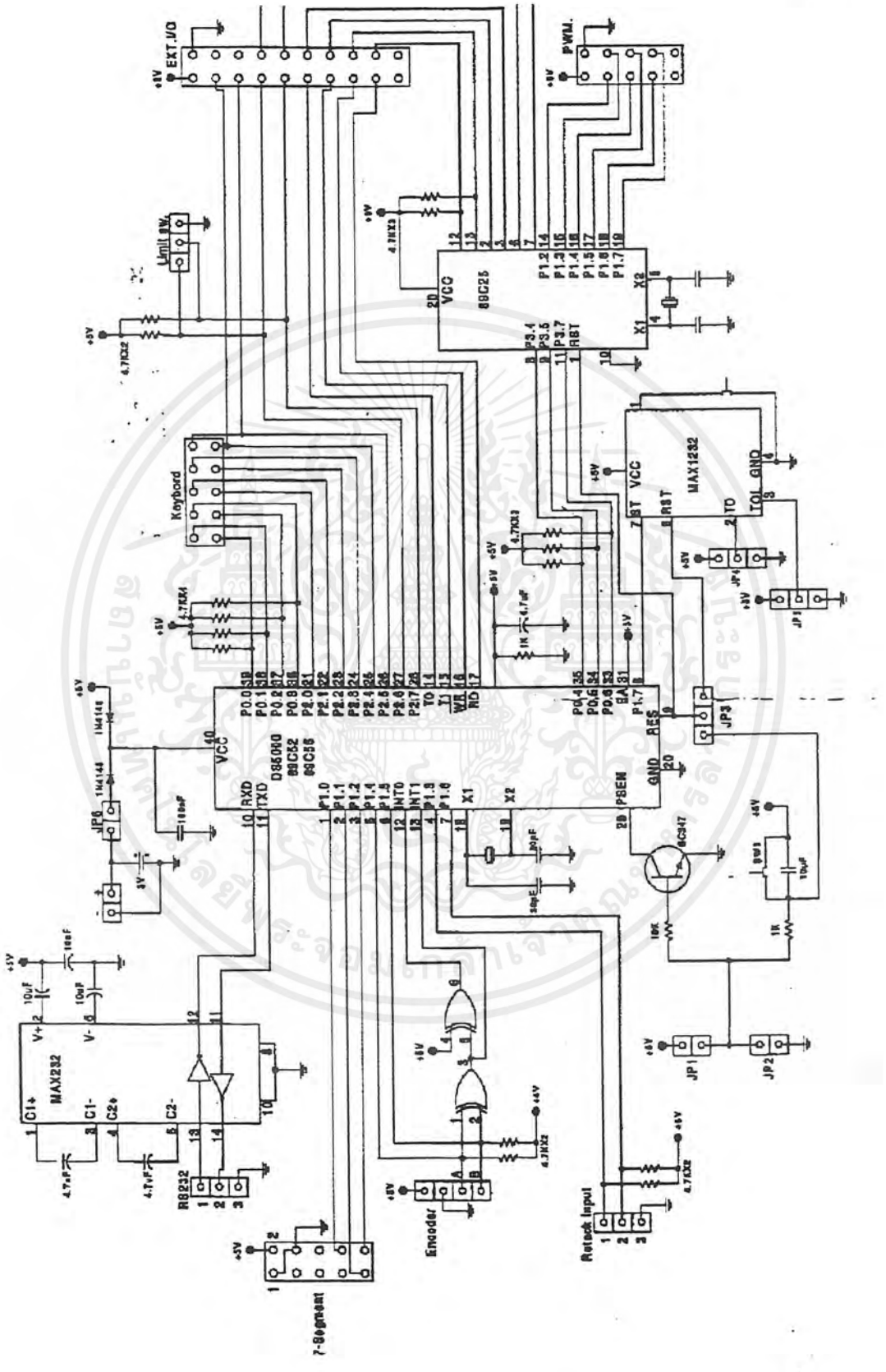
ลายวงจรพิมพ์และวงจรการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 ลายวงจรพิมพ์ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 วงจรชุดสร้างสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51

```
;* INTERNAL MICROPROCESSOR MCS-51 RAM

MXCLK     EQU   P1.0      ; MAX7219 HARDWARE
MXLDB     EQU   P1.1
MXDAT     EQU   P1.2
STMOTOR   EQU   P0.6      ; MOTOR DATA
DIRECT    EQU   P0.5
SPEED     EQU   P0.4
ENDLIMIT  EQU   P2.7
SLIMIT    EQU   P2.6
STRETACK  EQU   P1.6
CONTINUE  EQU   P1.3
POWERDNF  EQU   P0.7
PAREA     EQU   80H
DISBUF    EQU   70H       ; DISPLAY BUFFER
FLAG      EQU   6FH       ; FLAG
PWMST     EQU   6EH       ; PWM STATUS
ENCDATA   EQU   6AH       ; 6AH->6DH
ENCPOINT  EQU   69H       ; POINTER ENCODER DATA
ENCNEW    EQU   68H       ; INPUT NEW ENCODER DATA
NOR       EQU   64H       ; NORMINATOR 64H->67H
DENOR     EQU   60H       ; DENORMINATOR 60H->63H
RESULT    EQU   5CH       ; RESULT OF OPERATE 5CH->5FH
DOTFLAG   EQU   5BH       ; DOT FLOATING POINT
FIRSTTIME EQU   5AH       ; FIRST TIME CHECKING
RTFLAG    EQU   59H       ; RETACK FLAG
RPTKEY    EQU   58H       ; REPEAT KEY FLAG
TRACK     EQU   55H       ; TRACKING POSITION
DEST      EQU   52H       ; DESTINATION POSITION
ABSPOST   EQU   50H       ; ABSOLUTE POSITION

;* PARAMETER DATA

ENC       EQU   40H       ; ENCODER P/R
MAX       EQU   43H       ; MAXIMUM BACKGUAGE
MIN       EQU   46H       ; MINIMUM BACKGUAGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FSP       EQU   49H       ; FAST/SLOW POINT
STEP      EQU   4CH       ; STEP
PROG      EQU   4DH       ; PROGRAM NUMBER
RES       EQU   4EH       ; RESERVE
;*********************
;* START PROGRAM    *
;* INITIAL PARAMETER *
;*********************

        ORG   0000H         ; START ADDRESS 0000H
        LJMP  START
        LJMP  ENCODER       ; READ ENCODER ADDRESS
        ORG   0013H
        LJMP  ENCODER       ; READ ENCODER ADDRESS

START:    CLR   MXCLK       ; SET MAX7219
        CLR   MXLDB
        LCALL MXSET

        MOV   R0,#09H       ; DISPLAY SOFTWARE VERSION
        MOV   R1,#0FH
        LCALL MXBYTE
        MOV   DISBUF,#0
        MOV   DISBUF+1,#1H
        MOV   DISBUF+2,#15
        MOV   DISBUF+3,#15
        MOV   DISBUF+4,#1
        MOV   DISBUF+5,#1DH
        MOV   DISBUF+6,#05H
        MOV   DISBUF+7,#67H
        MOV   DOTFLAG,#2
        LCALL MXLOAD
        MOV   R7,#100
VER1:     LCALL DELAY
        DJNZ  R7,VER1
        MOV   R0,#09H       ; RESTORE DECODE MODE
        MOV   R1,#01FH
        LCALL MXBYTE

        MOV   A,FIRSTTIME   ; CHECK FIRST TIME
        CJNE  A,#1,S1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SJMP   S4

S1:     MOV    FIRSTTIME,#1        ; SETUP FIRST TIME
        MOV    ABSPOST,#1FH
        MOV    ABSPOST+1,#40H
        MOV    DOTFLAG,#2          ; DOTFLAG ->0

        MOV    R0,#ENC             ; INITAIL PARAMETER
        MOV    R2,#12
        MOV    R3,#0
S2:     MOV    DPTR,#PARADATA
        MOV    A,R3
        MOVC   A,@A+DPTR
        MOV    @R0,A
        INC    R0
        INC    R3
        DJNZ   R2,S2

        MOV    R7,#128             ; 128 BYTE CLEAR MEMORY
        MOV    R0,#80H
        MOV    A,#0
S3:     MOV    @R0,A
        INC    R0
        DJNZ   R7,S3

S4:     MOV    ENCDATA,#0          ; FILL ENCODER DATA
        MOV    ENCDATA+1,#1
        MOV    ENCDATA+2,#3
        MOV    ENCDATA+3,#2
        MOV    R0,#ENCDATA

S5:     MOV    A,P1                ; CHECK ENCODER STATUS
        RR     A
        RR     A
        RR     A
        RR     A
        ANL    A,#3
        MOV    ENCNEW,A
        MOV    A,@R0
        INC    R0
        CJNE   A,ENCNEW,S5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DEC   R0
        MOV   ENCPOINT,R0

        MOV   RTFLAG,#0          ; RETACK FLAG -> 0
        MOV   PROG,#0            ; PROGRAM FLAG -> 0
        MOV   STEP,#1            ; TOP LIMIT FLAG ->1

        LCALL ABSTOACT           ; SET FIRST DESTINATION
        MOV   DEST,TRACK
        MOV   DEST+1,TRACK+1
        MOV   DEST+2,TRACK+2

        SETB  IT0                ; SET EXTERNAL INTERRUPT
        SETB  IT1
        MOV   IP,#5
        MOV   IE,#85H

;**********************
;* PROGRAM START LOOP *
;**********************

MAINLOOP:   LCALL ABSTOACT       ; MAIN LOOP
        MOV   P2,#0C0H
        MOV   A,P0
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#0FH,MODE1
        LCALL CHECKPOST
        SJMP  MAINLOOP

MODE1:      SETB  STMOTOR        ; OTHER CASE  STOP MOTOR
        MOV   RPTKEY,#0
        LCALL KEY                ; CHECK MODE
        CJNE  A,#12,UPK1
        MOV   A,#15              ; OFF DISPLAY
        MOV   DISBUF,A
        MOV   DISBUF+1,A
        MOV   DISBUF+2,A
        MOV   DISBUF+3,A
        MOV   DISBUF+4,A
        MOV   DISBUF+5,#1
        MOV   DISBUF+6,#3DH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DISBUF+7,#15H
        MOV   DOTFLAG,#0
        LCALL  MXLOAD
        MOV   RPTKEY,#1
        LCALL  KEY
        JB    ACC.3,MAINLOOP
        JB    ACC.4,MAINLOOP
        PUSH  ACC
        MOV   DOTFLAG,#0
        MOV   DISBUF,A
        LCALL  MXLOAD
        MOV   R7,#10
MODE2:    LCALL  DELAY
        DJNZ  R7,MODE2
        POP   ACC
        CJNE  A,#1,MODE3
        LCALL  PRESET          ; PRESET POSITION
        LJMP  MAINLOOP

MODE3:    CJNE  A,#2,MODE4
        LCALL  PARA            ; CHANGE PARAMETER
        LJMP  MAINLOOP

MODE4:    CJNE  A,#3,MODE5       ; TAKE REFERENCE
        LCALL  REFER
MODE5:    LJMP  MAINLOOP

UPK1:     CJNE  A,#13,DNK1       ; UP KEY PRESS
        MOV   A,#4
        JNB   ENDLIMIT,UPK3
        CLR   DIRECT
        SETB  SPEED
        CLR   STMOTOR
UPK2:     LCALL  ABSTOACT
        MOV   A,#4
        JNB   ENDLIMIT,UPK3
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.3
        JNB   P0.1,UPK2
        SETB  STMOTOR
        SJMP  UPK4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
UPK3:    SETB  STMOTOR
         LCALL ERROR
         LJMP  MAINLOOP
UPK4:    MOV   R7,#30
UPK5:    LCALL DELAY
         DJNZ  R7,UPK5
         LCALL ABSTOACT          ; SET FIRST DESTINATION
         MOV   DEST,TRACK
         MOV   DEST+1,TRACK+1
         MOV   DEST+2,TRACK+2
         LJMP  MAINLOOP

DNK1:    CJNE  A,#14,ESC1        ; DOWN KEY PRESS
         MOV   A,#5
         JNB   SLIMIT,DNK3
         SETB  SPEED
         SETB  DIRECT
         CLR   STMOTOR
DNK2:    LCALL ABSTOACT
         MOV   A,#5
         JNB   SLIMIT,DNK3
         MOV   P2,#0FFH
         CLR   P2.3
         JNB   P0.2,DNK2
         SETB  STMOTOR
         SJMP  DNK4
DNK3:    SETB  STMOTOR
         LCALL ERROR
         LJMP  MAINLOOP
DNK4:    MOV   R7,#30
DNK5:    LCALL DELAY
         DJNZ  R7,DNK5
         LCALL ABSTOACT          ; SET FIRST DESTINATION
         MOV   DEST,TRACK
         MOV   DEST+1,TRACK+1
         MOV   DEST+2,TRACK+2
         LJMP  MAINLOOP

ESC1:    CJNE  A,#17,NUMK1       ; CANCLE KEY PRESS
         SETB  STMOTOR
         SETB  DIRECT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SETB   SPEED
        LJMP   MAINLOOP

NUMK1:      PUSH   ACC             ; 0-9 KEY PRESS
        CLR    C
        SUBB   A,#10
        JNC    NUMK2
        POP    ACC
        LCALL  ENTER
        LJMP   MAINLOOP
NUMK2:      POP    ACC
        LJMP   MAINLOOP

;*********************************
;* TAKE THE REFERENCE FUNCTION *
;*********************************

REFER:      MOV    A,#15            ; OFF DISPLAY
        MOV    DISBUF,A
        MOV    DISBUF+1,A
        MOV    DISBUF+2,A
        MOV    DISBUF+3,A
        MOV    DISBUF+4,A
        MOV    DISBUF+5,#47H
        MOV    DISBUF+6,#4FH
        MOV    DISBUF+7,#05H
        MOV    DOTFLAG,#0
        LCALL  MXLOAD
        MOV    RPTKEY,#1
REFER2:     LCALL  KEY
        CJNE   A,#16,REFER1
        SJMP   REFER7

REFER1:     CJNE   A,#17,REFER2      ; CANCLE KEY PRESS
        RET

REFER5:     SETB   STMOTOR
        SETB   DIRECT
        SETB   SPEED
        MOV    R7,#30
REFER10:    LCALL  DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DJNZ  R7,REFER10
        LJMP  REFER11

REFER7:   MOV   DISBUF,#1        ; (1) START KEY PRESS
        LCALL MXLOAD
        CLR   DIRECT
        SETB  SPEED
        CLR   STMOTOR
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.4
REFER3:   JNB   P0.1,REFER5
        JB    ENDLIMIT,REFER3
        SETB  STMOTOR

        INC   DISBUF             ; (2) FOUND END LIMIT
        LCALL MXLOAD
        MOV   R7,#30
REFER6:   LCALL DELAY
        DJNZ  R7,REFER6

        INC   DISBUF             ; (3) REVERSE DIRECTION
        LCALL MXLOAD
        CLR   SPEED
        SETB  DIRECT
        CLR   STMOTOR
REFER4:   JNB   ENDLIMIT,REFER4
        SETB  STMOTOR
        SETB  DIRECT
        SETB  SPEED

        MOV   R7,#30
REFER8:   LCALL DELAY
        DJNZ  R7,REFER8

        MOV   NOR+2,MAX          ; MODIFIE ABSOLUTION
        MOV   NOR+3,MAX+1
        MOV   DENOR+2,ENC
        MOV   DENOR+3,ENC+1
        LCALL MULT
        MOV   R0,RESULT+2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R1,RESULT+3

        MOV   NOR+2,ENC          ; MODIFILE FLOATING POINT
        MOV   NOR+3,ENC+1
        MOV   DENOR+2,#0
        MOV   DENOR+3,#10
        LCALL DIV
        MOV   NOR+2,RESULT+2
        MOV   NOR+3,RESULT+3
        MOV   DENOR+2,#0
        MOV   DENOR+3,MAX+2
        LCALL MULT

        MOV   A,R1
        ADD   A,RESULT+3
        MOV   RESULT+3,A
        MOV   A,R0
        ADDC  A,RESULT+2
        MOV   RESULT+2,A

        MOV   ABSPOST,RESULT+2
        MOV   ABSPOST+1,RESULT+3

REFER11:  LCALL ABSTOACT         ; SET FIRST DESTINATION
        MOV   DEST,TRACK
        MOV   DEST+1,TRACK+1
        MOV   DEST+2,TRACK+2
        RET


;******************
;* CHECK POSITION *
;******************

CHECKPOST:  JB   DIRECT,CHECKDOWN
        JNB   ENDLIMIT,CHECKUP3
        MOV   A,DEST+1           ; UP POSITION
        CLR   C
        SUBB  A,TRACK+1
        MOV   RES+1,A
        MOV   A,DEST
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SUBB   A,TRACK
        MOV    RES,A
        JC     CHECKUP3
        JNZ    CHECKUP1
        MOV    A,RES+1
        JNZ    CHECKUP1
        MOV    A,DEST+2
        CJNE   A,TRACK+2,CHECKUP1
CHECKUP3:   SETB   STMOTOR
        RET
CHECKUP1:   MOV    A,RES
        JNZ    CHECKUP2
        MOV    A,RES+1
        CJNE   A,FSP+1,CHECKUP2
        JNB    SPEED,CHECKUP2
        SETB   STMOTOR
        CLR    SPEED
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        LCALL  DELAY
        CLR    STMOTOR
CHECKUP2:   RET

CHECKDOWN:   JNB    SLIMIT,CHECKDOWN3
        MOV    A,TRACK+1          ; DOWN POSITION
        CLR    C
        SUBB   A,DEST+1
        MOV    RES+1,A
        MOV    A,TRACK
        SUBB   A,DEST
        MOV    RES,A
        JC     CHECKDOWN3
        JNZ    CHECKDOWN1
        MOV    A,RES+1
        JNZ    CHECKDOWN1
        MOV    A,DEST+2
        CJNE   A,TRACK+2,CHECKDOWN1
CHECKDOWN3:   SETB   STMOTOR
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CHECKDOWN1:   MOV   A,RES
        JNZ   CHECKDOWN2
        MOV   A,RES+1
        CJNE  A,FSP+1,CHECKDOWN2
        JNB   SPEED,CHECKDOWN2
        SETB  STMOTOR
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        CLR   SPEED
        CLR   STMOTOR
CHECKDOWN2:   RET


;*******************
;* ENTER FUNCTION *
;*******************

ENTER:      MOV   A,#15          ; OFF DISPLAY
        MOV   DISBUF,A
        MOV   DISBUF+1,A
        MOV   DISBUF+2,A
        MOV   DISBUF+3,A
        MOV   DISBUF+4,A
        MOV   DISBUF+5,#1
        MOV   DISBUF+6,#0FH
        MOV   DISBUF+7,#3DH
        MOV   DOTFLAG,#0
        LCALL MXLOAD
        LCALL SCANF
        JZ    ENTERO1
        LCALL STARTMOTOR
ENTERO1:    RET

;************************
;* START MOTOR FUNCTION *
;* INPUT : DPTR : R1    *
;************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
STARTMOTOR:  SETB  SPEED
             SETB  DIRECT
             SETB  STMOTOR
             CLR   C              ; CHECK OVER RANGE
             MOV   A,DPL
             SUBB  A,MAX+1
             MOV   A,DPH
             SUBB  A,MAX
             MOV   A,#1
             JNC   STARTMO

             CLR   C              ; CHECK UNDER RANGE
             MOV   A,DPL
             SUBB  A,MIN+1
             MOV   A,DPH
             SUBB  A,MIN
             MOV   A,#2
             JC    STARTMO

             MOV   DEST,DPH       ; STORE POSITION TO DEST BUFF
             MOV   DEST+1,DPL
             MOV   DEST+2,R1

             MOV   A,DEST+1       ; CHECK DIRECTION
             CLR   C
             SUBB  A,TRACK+1
             MOV   RES+1,A
             MOV   A,DEST
             SUBB  A,TRACK
             MOV   RES,A
             JNC   STARTM1

             MOV   A,TRACK+1      ; DOWN DIRECTION
             CLR   C
             SUBB  A,DEST+1
             MOV   RES+1,A
             MOV   A,TRACK
             SUBB  A,DEST
             MOV   RES,A

             MOV   A,RES+1        ; FSP CHECKING
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CLR   C
        SUBB  A,FSP+1
        MOV   A,RES
        SUBB  A,FSP
        JNC   STARTM3
        CLR   SPEED
STARTM3:    SETB  DIRECT
        CLR   STMOTOR
        SJMP  STARTMO1

STARTM1:    MOV   A,RES+1          ; UP DIRECTION
        CLR   C
        SUBB  A,FSP+1
        MOV   A,RES
        SUBB  A,FSP
        JNC   STARTM2
        CLR   SPEED
STARTM2:    CLR   DIRECT
        CLR   STMOTOR
STARTMO1:   RET

STARTMO:    LCALL ERROR
        RET

;*********************************
;* FIRST PARAMETER SET (MAX7219) *
;* REG = A,R0,R1,R2              *
;*********************************

MXSET:      CLR   MXCLK        ;FALLING CLOCK EDGE
        CLR   MXLDB
        MOV   R0,#0FH      ;DISPLAY TEST - NORMAL (XXXXXXX0)
        MOV   R1,#00H
        LCALL MXBYTE
        MOV   R0,#0CH      ;SHUTDOWN - NORNAL (XXXXXXX1)
        MOV   R1,#01H
        LCALL MXBYTE
        MOV   R0,#09H      ;DECODE MODE - NO DECODE (00000000)
        MOV   R1,#01FH
        LCALL MXBYTE
        MOV   R0,#0AH      ;INTENSITY - MIN-MAX (00-0FH)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R1,#0CH
        LCALL MXBYTE
        MOV   R0,#0BH       ;SCAN LIMIT - 4 DIGIT (03H)
        MOV   R1,#07H
        LCALL MXBYTE
        RET

;*********************************
;* SEND ADDRESS,DATA TO MAX7219 *
;* IN  = R0 ADDRESS (B0-B3)    *
;*     = R1 DATA               *
;* REG = A,R0,R1,R2            *
;*********************************

MXBYTE:     PUSH  ACC
        PUSH  0
        PUSH  1
        PUSH  2
        MOV   R2,#8         ;SEND ADDRESS
        MOV   A,R0
MXBYTE1:    RLC   A
        MOV   MXDAT,C
        SETB  MXCLK
        CLR   MXCLK
        DJNZ  R2,MXBYTE1
        MOV   R2,#8         ;SEND DATA
        MOV   A,R1
MXBYTE2:    RLC   A
        MOV   MXDAT,C
        SETB  MXCLK
        CLR   MXCLK
        DJNZ  R2,MXBYTE2
        SETB  MXLDB         ;LOAD BIT
        CLR   MXLDB
        POP   2
        POP   1
        POP   0
        POP   ACC
        RET

;*************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;* LOAD DISBUF TO DISPLAY (MAX7219) *
;* IN  = DISBUF              *
;* REG = A,R0,R1,R2          *
;************************************

MXLOAD:     PUSH   ACC
            PUSH   0
            PUSH   1
            PUSH   2

            MOV    R0,#0FH       ;DISPLAY TEST - NORMAL MODE (RESET)
            MOV    R1,#00H
            LCALL  MXBYTE

            MOV    A,DOTFLAG

            MOV    R0,#1         ;SEND 0
            MOV    R1,DISBUF
            LCALL  MXLOAD1
            LCALL  MXBYTE
            MOV    R0,#2         ;SEND 1
            MOV    R1,DISBUF+1
            LCALL  MXLOAD1
            LCALL  MXBYTE
            MOV    R0,#3         ;SEND 2
            MOV    R1,DISBUF+2
            LCALL  MXLOAD1
            LCALL  MXBYTE
            MOV    R0,#4         ;SEND 3
            MOV    R1,DISBUF+3
            LCALL  MXLOAD1
            LCALL  MXBYTE
            MOV    R0,#5         ;SEND 4
            MOV    R1,DISBUF+4
            LCALL  MXLOAD1
            LCALL  MXBYTE
            MOV    R0,#6         ;SEND 5
            MOV    R1,DISBUF+5
            LCALL  MXLOAD1
            LCALL  MXBYTE
            MOV    R0,#7         ;SEND 6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R1,DISBUF+6
        LCALL MXLOAD1
        LCALL MXBYTE
        MOV   R0,#8         ;SEND 7
        MOV   R1,DISBUF+7
        LCALL MXLOAD1
        LCALL MXBYTE
        POP   2
        POP   1
        POP   0
        POP   ACC
        RET

MXLOAD1:    CLR   C
        RRC   A
        PUSH  ACC
        MOV   A,R1
        MOV   0E7H,C
        MOV   R1,A
        POP   ACC
        RET

;*************************
;* DELAY FUNCTION      *
;* INPUT , OUTPUT : NONE *
;*************************

DELAY:      PUSH  0
        PUSH  1
        MOV   R0,#50
DELAY1:     MOV   R1,#0
DELAY2:     DJNZ  R1,DELAY2
        DJNZ  R0,DELAY1
        POP   1
        POP   0
        RET

;*****************
;* READ KEYBOARD *
;* INPUT : NONE  *
;* OUTPUT : ACC  *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************

KEY:    PUSH  DPH          ; SAVE REGISTER
        PUSH  DPL
        PUSH  0
        PUSH  1
        PUSH  2
KEYS:   MOV   R0,#0FEH     ; INITIAL FIRST VALUE
        MOV   R1,#5
        MOV   R2,#0
KEY1:   MOV   A,R0         ; 5 LOOP
        MOV   P2,A
        RL    A
        MOV   R0,A
        MOV   A,P0
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#0FH,KEY2
        INC   R2
        DJNZ  R1,KEY1
        SJMP  KEYS

KEY2:   MOV   R0,#0        ; ENCODE KEY
        JNB   0E0H, KEY3
        MOV   R0,#1
        JNB   0E1H, KEY3
        MOV   R0,#2
        JNB   0E2H, KEY3
        MOV   R0,#3
KEY3:   MOV   A,#4
        MOV   B,R2
        MUL   AB
        ADD   A,R0

        LCALL DELAY        ; DELAY
        MOV   DPTR,#KEYDATA
        MOVC  A,@A+DPTR

        PUSH  ACC          ; CHECK KEY PRESS
        MOV   A,RPTKEY
        JNZ   KEYPRESS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP   ACC
        PUSH  ACC
        CJNE  A,#17,KEYPRESS2     ; REPEAT ESC KEY
        SJMP  KEYPRESS1
KEYPRESS2:  CJNE  A,#13,KEYPRESS3     ; REPEAT UP KEY
        SJMP  KEYPRESS1
KEYPRESS3:  CJNE  A,#14,KEYPRESS4     ; REPEAT DOWN KEY
        SJMP  KEYPRESS1
KEYPRESS4:  CLR   C               ; REPEAT 0-9 KEY
        SUBB  A,#10
        JC    KEYPRESS1
KEYPRESS:   MOV   A,P0
        ANL   A,#0FH
        CJNE  A,#0FH,KEYPRESS
KEYPRESS1:  POP   ACC
KEYO:       POP   2               ; RESTORE REGISTER
        POP   1
        POP   0
        POP   DPL
        POP   DPH
        RET                   ; RETURN VALUE IN ACC

;**********************
; READ ENCODER       *
; CALL FROM INTERRUPT *
;**********************

ENCODER:    PUSH  PSW
        PUSH  ACC             ; SAVE REGISTER & FLAG
        PUSH  0
        PUSH  1
        PUSH  2

        MOV   R0,ENCPOINT         ; CHECK NEW POSITION
        MOV   A,P1
        RR    A
        RR    A
        RR    A
        RR    A
        ANL   A,#3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CJNE   A,ENCNEW,ENCODER3
        SJMP   ENCODERO
ENCODER3:   MOV    ENCNEW,A          ; CHECK BUTTOM POINT
        MOV    A,R0
        MOV    R1,A
        CJNE   A,#ENCDATA,ENCODER5
        MOV    R0,#ENCDATA+3
        SJMP   ENCODER6
ENCODER5:   DEC    R0
ENCODER6:   MOV    A,@R0
        CJNE   A,ENCNEW,ENCODER4
        MOV    ENCPOINT,R0        ; ADD TO POSITION

        MOV    A,ABSPOST+1
        CLR    C
        ADD    A,#1
        MOV    ABSPOST+1,A
        MOV    A,ABSPOST
        ADDC   A,#0
        MOV    ABSPOST,A
        SJMP   ENCODERO

ENCODER4:   PUSH   1              ; CHECK TOP POINT
        POP    0
        MOV    A,R0
        CJNE   A,#ENCDATA+3,ENCODER7
        MOV    R0,#ENCDATA
        SJMP   ENCODER8
ENCODER7:   INC    R0
ENCODER8:   MOV    A,@R0
        CJNE   A,ENCNEW,ENCODERO
        MOV    ENCPOINT,R0        ; SUB TO POSITION

        MOV    A,ABSPOST+1
        CLR    C
        SUBB   A,#1
        MOV    ABSPOST+1,A
        MOV    A,ABSPOST
        SUBB   A,#0
        MOV    ABSPOST,A
        SJMP   ENCODERO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ENCODERO:   POP   2
            POP   1
            POP   0
            POP   ACC
            POP   PSW
            RETI

;*****************
;* 16 BIT DIVIDE *
;*****************

DIV:        PUSH  ACC
            PUSH  3

            MOV   NOR,#0
            MOV   NOR+1,#0
            MOV   DENOR,#0
            MOV   DENOR+1,#0
            MOV   R3,#15
DIV1:       CLR   C
            MOV   A,DENOR+3
            RLC   A
            MOV   DENOR+3,A
            MOV   A,DENOR+2
            RLC   A
            MOV   DENOR+2,A
            MOV   A,DENOR+1
            RLC   A
            MOV   DENOR+1,A
            MOV   A,DENOR
            RLC   A
            MOV   DENOR,A
            DJNZ  R3,DIV1
            MOV   R3,#16
DIV2:       CLR   C
            MOV   A,NOR+3
            SUBB  A,DENOR+3
            MOV   RESULT+3,A
            MOV   A,NOR+2
            SUBB  A,DENOR+2
            MOV   RESULT+2,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   A,NOR+1
        SUBB  A,DENOR+1
        MOV   RESULT+1,A
        MOV   A,NOR
        SUBB  A,DENOR
        MOV   RESULT,A
        JC    DIV3
        MOV   NOR,RESULT
        MOV   NOR+1,RESULT+1
        MOV   NOR+2,RESULT+2
        MOV   NOR+3,RESULT+3
        SETB  C
        SJMP  DIV4
DIV3:   CLR   C
DIV4:   MOV   A,NOR+3
        RLC   A
        MOV   NOR+3,A
        MOV   A,NOR+2
        RLC   A
        MOV   NOR+2,A
        MOV   A,NOR+1
        RLC   A
        MOV   NOR+1,A
        MOV   A,NOR
        RLC   A
        MOV   NOR,A
        DJNZ  R3,DIV2
        MOV   RESULT, NOR
        MOV   RESULT+1, NOR+1
        MOV   RESULT+2, NOR+2
        MOV   RESULT+3, NOR+3

        POP   3
        POP   ACC
        RET

;*************************
;* 16 BIT MULTIPLICATION *
;*************************

MULT:   PUSH  ACC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        PUSH   3

        MOV    NOR,#0
        MOV    NOR+1,#0
        MOV    DENOR,#0
        MOV    DENOR+1,#0
        MOV    RESULT+2,#0
        MOV    RESULT+3,#0

        MOV    R3,#16
MULT1:  CLR    C
        MOV    A,DENOR+2
        RRC    A
        MOV    DENOR+2,A
        MOV    A,DENOR+3
        RRC    A
        MOV    DENOR+3,A
        JNC    MULT2
        MOV    A,RESULT+3
        ADD    A,NOR+3
        MOV    RESULT+3,A
        MOV    A,RESULT+2
        ADDC   A,NOR+2
        MOV    RESULT+2,A
MULT2:  CLR    C
        MOV    A,NOR+3
        RLC    A
        MOV    NOR+3,A
        MOV    A,NOR+2
        RLC    A
        MOV    NOR+2,A
        DJNZ   R3,MULT1

        POP    3
        POP    ACC
        RET

;**********************
;* HEX TO DECIMAL     *
;* input : dptr       *
;* output : r1:r2:r3: *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;**********************

HTOD:     PUSH   ACC          ; SAVE REGISTER
          PUSH   0
          PUSH   1
          PUSH   2
          PUSH   3
          PUSH   4
          PUSH   5
          PUSH   DPH
          PUSH   DPL

          CLR    A            ; INITIAL INPUT
          MOV    R1,A
          MOV    R2,A
          MOV    R3,A
          MOV    R4,#16
HTOD1:    MOV    A,DPL
          RLC    A
          MOV    DPL,A
          MOV    A,DPH
          RLC    A
          MOV    DPH,A
          MOV    R5,#3
          MOV    R0,#3
HTOD2:    MOV    A,@R0
          ADDC   A,ACC
          DA     A
          MOV    @R0,A
          DEC    R0
          DJNZ   R5,HTOD2
          DJNZ   R4,HTOD1

          MOV    5,1
          MOV    6,2
          MOV    7,3

          MOV    A,DOTFLAG
          MOV    R0,#DISBUF
          JZ     HTOD6
HTOD9:    CLR    C
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RRC   A
        JC    HTOD6
        INC   R0
        SJMP  HTOD9

HTOD6:  MOV   R1,#7
HTOD12: MOV   A,@R1          ; STORE TO DISPLAY BUFFER
        ANL   A,#0FH
        MOV   @R0,A
        MOV   A,R0
        CJNE  A,#DISBUF+4,HTOD10
        SJMP  HTOD8
HTOD10: MOV   A,@R1
        RR    A
        RR    A
        RR    A
        RR    A
        INC   R0
        ANL   A,#0FH
        MOV   @R0,A
        MOV   A,R0
        CJNE  A,#DISBUF+4,HTOD11
        SJMP  HTOD8
HTOD11: INC   R0
        DEC   R1
        SJMP  HTOD12

HTOD8:  MOV   R0,#DISBUF+4   ; ZERO DETECTOR
        MOV   R1,#3
HTOD3:  MOV   A,@R0
        CJNE  A,#0,HTOD4
        MOV   A,#15
        MOV   @R0,A
        DEC   R0
        DJNZ  R1,HTOD3

HTOD4:  LCALL MXLOAD         ; SHOW TO DISPLAY
        POP   DPL            ; RESTORE REGISTER
        POP   DPH
        POP   5
        POP   4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP   3
        POP   2
        POP   1
        POP   0
        POP   ACC
        RET

;*********************
;* DECIMAL TO HEX   *
;* INPUT : R1:R2:R3 *
;* OUTPUT : DPTR    *
;*********************

DTOH:       PUSH   ACC              ; SAVE REGISTER
        PUSH   0
        PUSH   1
        PUSH   2
        PUSH   3
        PUSH   4
        PUSH   5

        MOV    R5,#0
        MOV    R6,#0
        MOV    R7,#0

        MOV    A,DOTFLAG
        MOV    R0,#DISBUF
        JZ     DTOH8
DTOH9:      CLR    C
        RRC    A
        JC     DTOH8
        INC    R0
        SJMP   DTOH9
DTOH8:      MOV    R1,#7
DTOH12:     MOV    A,@R0            ; STORE BUFFER TO REGISTER
        MOV    @R1,A
        MOV    A,R0
        CJNE   A,#DISBUF+4,DTOH10
        SJMP   DTOH7
DTOH10:     INC    R0
        MOV    A,@R0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RL   A
        RL   A
        RL   A
        RL   A
        ANL  A,#0F0H
        ORL  A,@R1
        MOV  @R1,A
        MOV  A,R0
        CJNE A,#DISBUF+4,DTOH11
        SJMP DTOH7
DTOH11: INC  R0
        DEC  R1
        SJMP DTOH12

DTOH7:  MOV  1,5
        MOV  2,6
        MOV  3,7
        MOV  R4,#16          ; CONVERT DECIMAL -> HEX
DTOH1:  MOV  R5,#3
        MOV  R0,#1
        CLR  C
DTOH2:  MOV  A,@R0
        RRC  A
        PUSH PSW
        JNB  ACC.7,DTOH3
        CLR  C
        SUBB A,#30H
DTOH3:  JNB  ACC.3,DTOH4
        CLR  C
        SUBB A,#03H
DTOH4:  MOV  @R0,A
        INC  R0
        POP  PSW
        DJNZ R5,DTOH2
        MOV  A,DPH
        RRC  A
        MOV  DPH,A
        MOV  A,DPL
        RRC  A
        MOV  DPL,A
        DJNZ R4,DTOH1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP   5              ; RESTORE REGISTER
        POP   4
        POP   3
        POP   2
        POP   1
        POP   0
        POP   ACC
        RET                  ; RETURN VALUE WITH DPTR


;****************
;* PRESET VALUE *
;****************

PRESET:     MOV   A,#15          ; OFF DISPLAY
            MOV   DISBUF,A
            MOV   DISBUF+1,A
            MOV   DISBUF+2,A
            MOV   DISBUF+3,A
            MOV   DISBUF+4,A
            MOV   DISBUF+5,#1
            MOV   DISBUF+6,#0DBH
            MOV   DISBUF+7,#0E7H
            MOV   DOTFLAG,#0
            LCALL MXLOAD

            LCALL SCANF          ; CALL SCANF FUNCTION
            PUSH  I
            JZ    PRESET3

            MOV   R0,DPH         ; CHECK OVER RANGE
            MOV   R1,DPL
            CLR   C
            MOV   A,R1
            SUBB  A,MAX+1
            MOV   A,R0
            SUBB  A,MAX
            JNC   PRESET3
            CLR   C              ; CHECK UNDER RANGE
            MOV   A,R1
            SUBB  A,MIN+1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV   A,R0
SUBB  A,MIN
JC    PRESET3

MOV   NOR+2,R0          ; MODIFIE ABSOLUTION
MOV   NOR+3,R1
MOV   DENOR+2,ENC
MOV   DENOR+3,ENC+1
LCALL MULT

MOV   R0,RESULT+2
MOV   R1,RESULT+3

MOV   NOR+2,ENC         ; MODIFILE FLOATING POINT
MOV   NOR+3,ENC+1
MOV   DENOR+2,#0
MOV   DENOR+3,#10
LCALL DIV
MOV   NOR+2,RESULT+2
MOV   NOR+3,RESULT+3
MOV   DENOR+2,#0
POP   ACC
MOV   DENOR+3,A
LCALL MULT

MOV   A,R1
ADD   A,RESULT+3
MOV   RESULT+3,A
MOV   A,R0
ADDC  A,RESULT+2
MOV   RESULT+2,A

MOV   ABSPOST,RESULT+2
MOV   ABSPOST+1,RESULT+3

LCALL ABSTOACT          ; SET FIRST DESTINATION
MOV   DEST,TRACK
MOV   DEST+1,TRACK+1
MOV   DEST+2,TRACK+2
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PRESET3:    POP   ACC
            LCALL  ABSTOACT
            RET

;*************************************
;* SCANF FUNCTION              *
;* RETURN : DPTR=INTEGER,R1=FLOATING *
;*************************************

SCANF:      MOV   R0,#DISBUF
            MOV   FLAG,#0
            MOV   DOTFLAG,#0

SCANF1:     MOV   RPTKEY,#1
            LCALL  KEY              ; 0-9 KEY PRESS
            MOV   R2,A
            CLR   C
            SUBB  A,#10
            JNC   SCANF2
            MOV   A,FLAG
            CJNE  A,#5,SCANF9
            SJMP  SCANF1
SCANF9:     MOV   A,DOTFLAG
            RL    A
            MOV   DOTFLAG,A
            MOV   A,FLAG
            JNZ   SCANF3
            MOV   A,#15             ; OFF DISPLAY
            MOV   DISBUF,A
            MOV   DISBUF+1,A
            MOV   DISBUF+2,A
            MOV   DISBUF+3,A
            MOV   DISBUF+4,A
SCANF3:     MOV   A,R2
            MOV   DISBUF+4,DISBUF+3
            MOV   DISBUF+3,DISBUF+2
            MOV   DISBUF+2,DISBUF+1
            MOV   DISBUF+1,DISBUF
            MOV   DISBUF,A
            INC   R0
            LCALL  MXLOAD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        INC   FLAG
        SJMP  SCANF1

SCANF2:   MOV   A,R2          ; ENTER KEY PRESS
        CJNE  A,#15,SCANF8
        LJMP  SCANF6

SCANF8:   CJNE  A,#17,SCANF7      ; ESC KEY PRESS
        LJMP  SCANFO

SCANF7:   CJNE  A,#19,SCANF11     ; DELETE KEY PRESS
        MOV   A,FLAG
        JNZ   SCANF10
        SJMP  SCANF1
SCANF10:  MOV   A,DOTFLAG
        CLR   C
        RRC   A
        MOV   DOTFLAG,A
        MOV   DISBUF,DISBUF+1
        MOV   DISBUF+1,DISBUF+2
        MOV   DISBUF+2,DISBUF+3
        MOV   DISBUF+3,DISBUF+4
        MOV   DISBUF+4,#15
        LCALL MXLOAD
        DEC   FLAG
        SJMP  SCANF1

SCANF11:  CJNE  A,#11,SCANF1      ; DOT KEYPRESS
        MOV   A,DOTFLAG
        JZ    SCANF15
        RRC   A
        JNC   SCANF1
SCANF15:  MOV   A,DOTFLAG
        XRL   A,#1
        MOV   DOTFLAG,A
        LCALL MXLOAD
        LJMP  SCANF1

SCANF6:   MOV   A,FLAG
        JZ    SCANFO
        MOV   R3,#5           ; PROCESS DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   R0,#DISBUF+4
SCANF4:     MOV   A,@R0
        CJNE  A,#15,SCANF5
        MOV   @R0,#0
SCANF5:     DEC   R0
        DJNZ  R3,SCANF4
        LCALL DTOH              ; CONVERT TO HEX
        MOV   A,DOTFLAG         ; 1 FLOATING POINT
        CLR   C
        RRC   A
        MOV   R0,#DISBUF
        MOV   R1,#0
        JZ    SCANF14
SCANF12:    RRC   A
        JC    SCANF13
        INC   R0
        SJMP  SCANF12
SCANF13:    MOV   A,@R0
        MOV   R1,A
SCANF14:    MOV   A,#1
        RET

SCANFO:     MOV   A,#0
        RET

;*******************
;* ENTER PARAMETER *
;*******************

PARA:       MOV   R0,#09H           ; NEW DECODE MODE
        MOV   R1,#01FH
        LCALL MXBYTE
        MOV   DOTFLAG,#0
        MOV   A,#15
        MOV   DISBUF,A
        MOV   DISBUF+1,A
        MOV   DISBUF+2,A
        MOV   DISBUF+3,A
        MOV   DISBUF+4,A
        MOV   DISBUF+5,#1
        MOV   DISBUF+6,#3DH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DISBUF+7,#0E7H
        LCALL  MXLOAD
        LCALL  SCANF
        JZ    PARA10
        MOV   A,DPH
        CJNE  A,#10,PARA10
        MOV   A,DPL
        CJNE  A,#47H,PARA10
        SJMP  PARA11
PARA10:    LJMP  PARAO
PARA11:    MOV   R0,#09H          ; NEW DECODE MODE
        MOV   R1,#05FH
        LCALL  MXBYTE
        MOV   DOTFLAG,#2
        MOV   DISBUF+5,#1
        MOV   DISBUF+6,#1
        MOV   DISBUF+7,#0DBH

        MOV   DPH,ENC          ; FIRST DISPLAY PARA
        MOV   DPL,ENC+1
        LCALL  HTOD
        MOV   DISBUF,ENC+2
        LCALL  MXLOAD

        MOV   R0,#ENC
        MOV   R2,#0
        MOV   FLAG,#0

PARA1:     MOV   RPTKEY,#0
        LCALL  KEY
        CJNE  A,#13,PARA2
        MOV   A,R2             ; UP KEY PRESS
        JZ    PARA1
        LCALL  PUP
        SJMP  PARA1

PARA2:     CJNE  A,#14,PARA3
        MOV   A,R2             ; DOWN KEY PRESS
        CJNE  A,#3,PARA4
        SJMP  PARA1
PARA4:     LCALL  PDN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SJMP   PARA1

PARA3:      CJNE   A,#17,PARA5        ; MODE KEY PRESS
        SJMP   PARAO

PARA5:      CLR    C                 ;0-9 KEY PRESS
        SUBB   A,#10
        JNC    PARA1
        LCALL  PARAENC
        SJMP   PARA1

PUP:        PUSH   0                 ; UP KEY PRESS
        DEC    R2
        DEC    R0
        MOV    A,@R0
        MOV    DISBUF,A
        DEC    R0
        MOV    A,@R0
        MOV    DPL,A
        DEC    R0
        MOV    A,@R0
        MOV    DPH,A
        DEC    DISBUF+6
        LCALL  HTOD
        POP    0
        DEC    R0
        DEC    R0
        DEC    R0
        MOV    R7,#10
PUP1:       LCALL  DELAY
        DJNZ   R7,PUP1
        RET

PDN:        PUSH   0                 ; DOWN KEY PRESS
        INC    R2
        INC    R0
        INC    R0
        INC    R0
        MOV    A,@R0
        MOV    DPH,A
        INC    R0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   A,@R0
        MOV   DPL,A
        INC   DISBUF+6
        LCALL HTOD
        INC   R0
        MOV   A,@R0
        MOV   DISBUF,A
        LCALL MXLOAD
        POP   0
        INC   R0
        INC   R0
        INC   R0
        MOV   R7,#10
PDN1:   LCALL DELAY
        DJNZ  R7,PDN1
        RET

PARAO:  MOV   R0,#09H          ; RESTORE DECODE MODE
        MOV   R1,#01FH
        LCALL MXBYTE
        LCALL ABSTOACT
        RET

PARAENC: PUSH  2
        PUSH  1
        PUSH  0
        LCALL SCANF
        JZ    PARAENC1
        POP   0
        PUSH  0
        MOV   A,DPH
        MOV   @R0,A
        INC   R0
        MOV   A,DPL
        MOV   @R0,A
        INC   R0
        MOV   A,R1
        MOV   @R0,A
        MOV   DISBUF,A
        MOV   DOTFLAG,#2
        LCALL HTOD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PARAENC1:   POP   0
            PUSH  0
            MOV   A,@R0
            MOV   DPH,A
            INC   R0
            MOV   A,@R0
            MOV   DPL,A
            INC   R0
            MOV   A,@R0
            MOV   DISBUF,A
            MOV   DOTFLAG,#2
            LCALL HTOD
            POP   0
            POP   1
            POP   2
            RET

;****************************************
;* CONVERT ABSOLUTE VALUE TO ACTUAL VALUE *
;****************************************

ABSTOACT:   PUSH  DPH
            PUSH  DPL
            MOV   DOTFLAG,#82H
            MOV   A,PROG
            JNZ   ABSTOACT1
            MOV   DOTFLAG,#2
            MOV   DISBUF+5,#0
            MOV   DISBUF+6,#0
            MOV   DISBUF+7,#0

ABSTOACT1:  MOV   NOR+2,ABSPOST      ; ABSOLUTE POSITION TO NOR
            MOV   NOR+3,ABSPOST+1
            MOV   DENOR+2,ENC        ; P/R -> DENOR
            MOV   DENOR+3,ENC+1
            LCALL DIV                ; CALL DIVISION

            MOV   DPH,RESULT+2       ; PUT THE RESULT
            MOV   DPL,RESULT+3       ; TO DISPLAY
            MOV   TRACK,DPH
            MOV   TRACK+1,DPL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL  HTOD

        MOV    NOR+2,RESULT        ; MULTIPIER BY 10
        MOV    NOR+3,RESULT+1
        MOV    DENOR+2,#0
        MOV    DENOR+3,#10
        LCALL  MULT                ; CALL TO MULTIPIER

        MOV    NOR+2,RESULT+2      ; DIVISION BY P/R
        MOV    NOR+3,RESULT+3
        MOV    DENOR+2,ENC         ; P/R -> DENOR
        MOV    DENOR+3,ENC+1
        LCALL  DIV                 ; CALL  TO DIVISION

        MOV    DISBUF, RESULT+3    ; DISPLAY IT
        MOV    TRACK+2,RESULT+3
        LCALL  MXLOAD

        POP    DPL
        POP    DPH
        RET

;**********************
;* DISPLAY ERROR CODE *
;* INPUT : A          *
;**********************

ERROR:      MOV    R0,#09H         ; NEW DECODE MODE
        MOV    R1,#07
        LCALL  MXBYTE
        SETB   STMOTOR
        SETB   DIRECT
        SETB   SPEED
ERROR0:     MOV    DISBUF,A
        MOV    DISBUF+1,#15
        MOV    DISBUF+2,#15
        MOV    DISBUF+3,#05
        MOV    DISBUF+4,#1DH
        MOV    DISBUF+5,#5
        MOV    DISBUF+6,#5
        MOV    DISBUF+7,#4FH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DOTFLAG,#0
        LCALL  MXLOAD
        MOV   R7,#12
ERROR1:     LCALL  DELAY
        DJNZ  R7,ERROR1
        MOV   DISBUF+1,#15
        MOV   DISBUF+2,#15
        MOV   DISBUF+3,#0
        MOV   DISBUF+4,#0
        MOV   DISBUF+5,#0
        MOV   DISBUF+6,#0
        MOV   DISBUF+7,#0
        MOV   DOTFLAG,#0
        LCALL  MXLOAD
        MOV   R7,#12
ERROR2:     LCALL  DELAY
        DJNZ  R7,ERROR2
        MOV   P2,#0FFH
        CLR   P2.4
        JB    P0.1,ERROR0
        MOV   R0,#09H          ; RESTORE DECODE MODE
        MOV   R1,#01FH
        LCALL  MXBYTE
        MOV   A,#15
        MOV   DISBUF,A
        MOV   DISBUF+1,A
        MOV   DISBUF+2,A
        MOV   DISBUF+3,A
        MOV   DISBUF+4,A
        MOV   DISBUF+5,#0
        MOV   DISBUF+6,#0
        MOV   DISBUF+7,#0
        LCALL  MXLOAD
        MOV   DEST,TRACK
        MOV   DEST+1,TRACK+1
        MOV   DEST+2,TRACK+2
        RET

;*************
;* DATA AREA *
;*************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PARADATA:    DB    00,160,00,01,95H,00,00,20,00,00,05,00
KEYDATA:     DB    7, 4, 1, 10, 8, 5, 2, 0, 9, 6, 3, 11, 12, 13
             DB    14, 15, 16, 17, 18, 19

             END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

รายการอุปกรณ์ภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

ตัวต้านทาน	47 โอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน	150โอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน	22 กิโลโอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน	22 โอห์ม/4วัตต์	6 ตัว
ตัวเก็บประจุ	100 นาโนฟารัด	9 ตัว
ตัวเก็บประจุ	100 นาโนฟารัด/630โวลต์	6 ตัว
ตัวเก็บประจุ	1 ไมโครฟารัด/35 โวลต์	6ตัว
ตัวเก็บประจุ	470 ไมโครฟารัด/63 โวลต์	3 ตัว
ไดโอด	1N4007	3 ตัว
ไดโอด	BYT12P800	6 ตัว
ไดโอด	1N4148	18 ตัว
ซีเนอร์ไดโอด	ZPD12	6 ตัว
ทรานซิสเตอร์	BC 547	6 ตัว
ทรานซิสเตอร์	BC 327	6 ตัว
มอสเฟส	IRFP 450	6 ตัว
ออปโตคับเปิล	SN 136	6 ตัว

รายการอุปกรณ์สร้างสัญญาณ PWM

ไอซี	AT89C2051	1 ตัว
คริสตอล	24 MHz	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	30 ไมโครฟารัด	2 ตัว

รายการอุปกรณ์ชุดแสดงผลและรับคีย์

ไอซี	MAXIM MAX 7219	1 ตัว
ตัวต้านทาน	9.53 กิโลโอห์ม	1 ตัว
Serial Display 7-Segment	8 digit	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ป้องกัน,วงจรป้องกันตัวเครื่อง,วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น

ตัวต้านทาน	10 กิโลโอห์ม	3 ตัว
ตัวต้านทาน	4.7 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	220 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	10 ไมโครฟารัด/35โวลต์	1 ตัว
ไดโอด	1N4007	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์	BC 547	1 ตัว
รีเลย์	12 โวลต์	1 ตัว
ไอซี	LM 311	1 ตัว
ไมโครสวิตซ์		2 ตัว

รายการอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

ตัวต้านทาน	1 กิโลโอห์ม/5วัตต์	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.33 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	100 ไมโครฟารัด/16 โวลต์	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	2,200 ไมโครฟารัด /35 โวลต์	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์	MJ 2955	1 ตัว
ไดโอดบริดจ์	KBP201	1 ตัว
ไอซี	7805	1 ตัว

รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.33 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	470 ไมโครฟารัด/35 โวลต์	1 ตัว
ไดโอดบริดจ์	KBP201	1 ตัว
ไอซี	7812	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12โวลต์

ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.33 ไมโครฟารัด	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ	470 ไมโครฟารัด/ 25 โวลต์	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ	2,200 ไมโครฟารัด / 35 โวลต์	2 ตัว
ไดโอดบริดจ์	KBP201	1 ตัว
ไอซี	7812	1 ตัว
ไอซี	7912	1 ตัว

รายการอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์

ตัวต้านทาน	47 โอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	47 กิโลโอห์ม/ 5 วัตต์	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	470 ไมโครฟารัด/ 400โวลต์	1 ตัว
ฟิวส์	10 แอมแปร์	1 ตัว

รายการอุปกรณ์ชุดแมคคานิกส์

มอเตอร์ 3 เฟส	1 ตัว
พูลเลย์	1 ตัว
สายพาน	1 เส้น
ยอย	1 ตัว
ตัวบอกตำแหน่ง	1 ตัว
ไม้บรรทัดเหล็ก 450 มิลลิเมตร	1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

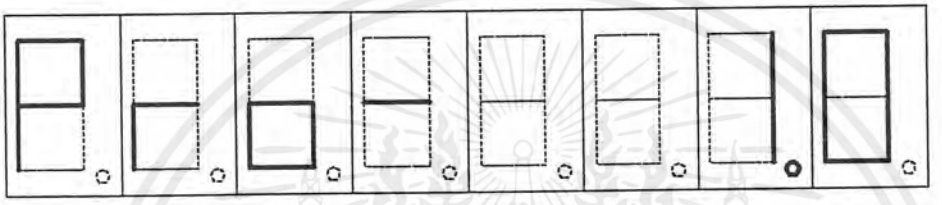
ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

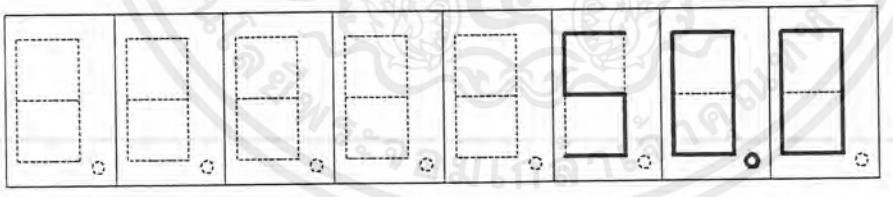
คู่มือการใช้งาน
ชุดทดลองระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส
โดยใช้ MCS-52

1. เสียบปลั๊กไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์
2. เปิดสวิตช์ Power ที่อยู่ทางด้านข้างของเครื่อง

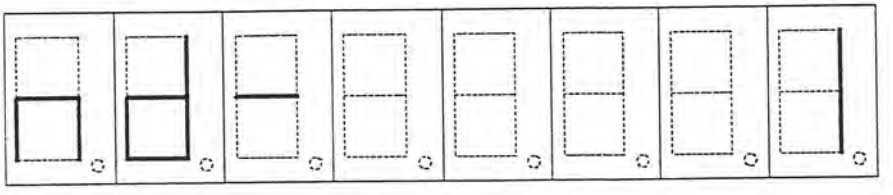


รูปที่ จ.1 จอแสดงผลหลังการเปิดสวิตช์ Power

3. หน้าจอแสดงผลรอการเซ็ตค่าจากคีย์บอร์ด
   รอการเซ็ตค่าเริ่มต้น (อ้างตำแหน่งเริ่มต้น)ก่อนเริ่มทำงานทุกครั้งโดยการกด Mode 1 ใส่ค่าตำแหน่งเดิมเริ่มต้นหลังจากนั้นกด Enter เช่น อ้างตำแหน่งเริ่มต้นที่ 200 แล้วกด Enter

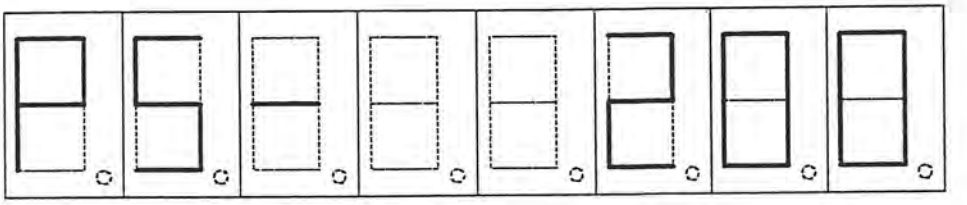


รูปที่ จ.2 หน้าจอแสดงผลรอการเซ็ตค่าจากคีย์บอร์ด



รูปที่ จ.3 หน้าจอแสดงผลการเซ็ต Mode 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.4 หน้าจอแสดงผลใส่ค่าจากคีย์บอร์ดในตำแหน่งเดิมที่ชี้อยู่

4. ทำการเลื่อนคีย์ลูกศรให้หมุนเลื่อนไปทางซ้าย หรือ ทางขวาตามต้องการ
5. เมื่อต้องการให้ เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการสามารถทำได้โดยป้อนค่าที่ต้องการแล้วกด Enter

   เช่น ต้องการเลื่อนไปที่ 300 แล้วกด Enter มอเตอร์ก็จะเลื่อนไปยังตำแหน่งที่ 300 ตามต้องการ
6. กด Mode 2 คือต้องการดูค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ค่า

   S1 = ค่าตัวหารรอบของ Encoder ซึ่งค่าตรงนี้จะขึ้นอยู่กับเฟืองถี่หรือห่าง

   S2 = ค่าระยะสูงสุด (Maximum)

   S3 = ค่าระยะต่ำสุด (Minimum)

   S4 = จุดเปลี่ยน Fast Slow Point

   หากต้องการออกจาก Mode 2 ให้กดคีย์ลูกศร <Esc>
7. กด Mode 3 เป็นการหาตำแหน่งสุดท้ายที่อ้างอิง(Take Referent) ทางด้านขวา

   เช่น ทำการกด Mode 3 แล้วกด Enter มอเตอร์จะวิ่งไปยังหลังสุดที่จุดอ้างอิง (Referent) ตัวยอยจะกระทบ Limit สวิตช์ และจะแสดงค่าที่ อ้างอิงสูงสุด ทางด้านขวามือของเกลียว หรือค่าของ S2 นั่นเอง
8. ต้องการเลิกการทำงาน โดยการกดปุ่ม Power Switch ทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARRIS

IRFP450/451/452/453
IRFP450R/451R/452R/453R

N-Channel Power MOSFETs
Avalanche Energy Rated*

August 1991

Features

- 12A and 14A, 450V - 500V
- $r_{DS(on)}$ = 0.4Ω and 0.5Ω
- Single Pulse Avalanche Energy Rated*
- SOA is Power-Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance

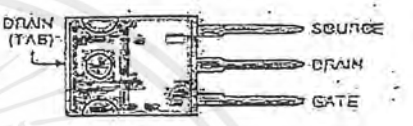
Description

The IRFP450, IRFP451, IRFP452, and IRFP453 are n-channel enhancement-mode silicon-gate power field-effect transistors. IRFP450R, IRFP451R, IRFP452R and IRFP453R types are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high-power bipolar switching transistors, requiring high speed and low gate-drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

The IRFP types are supplied in the JEDEC TO-247 plastic package.

Package

TO-247
TOP VIEW



Terminal Diagram

N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE

Absolute Maximum Ratings (T_C = +25°C), Unless Otherwise Specified

	IRFP450 IRFP450R	IRFP451 IRFP451R	IRFP452 IRFP452R	IRFP453 IRFP453R	UNITS
Drain-Source Voltage (1) ..... V_{DS}	500	450	500	450	V
Drain-Gate Voltage (R_{GS} = 20kΩ) (1) ..... V_{DGR}	500	450	500	450	V
Continuous Drain Current					
T_C = +25°C ..... I_D	14	14	12	12	A
T_C = +100°C ..... I_D	8.8	8.8	7.9	7.9	A
Pulsed Drain Current (2) ..... I_{DM}	56	56	48	48	A
Gate-Source Voltage ..... V_{GS}	±20	±20	±20	±20	V
Maximum Power Dissipation					
T_C = +25°C ..... P_D	180	180	180	180	W
Linear Derating Factor	1.44	1.44	1.44	1.44	W/°C
Inductive Current, Clamped ..... I_{LM} (See Figure 14, L = 100μH)	52	52	48	48	A
Single Pulse Avalanche Energy Rating (4) ..... E_{AS}*	860	860	880	880	mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range ..... T_J, T_{STG}	-55 to +150	-55 to +150	-55 to +150	-55 to +150	°C
Maximum Lead Temperature for Soldering (0.063" (1.6mm) from case for 10s) ..... T_L	300	300	300	300	°C

NOTES:

1. T_J = +25°C to +150°C.
2. Pulse Test: Pulse width ≤ 300μs, Duty Cycle ≤ 2%.
3. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5).
4. V_{DD} = 50V, starting T_J = +25°C, L = 7.3mH, R_{GS} = 25Ω, I_{PEAK} = 14A. See Figure 15.

*R Suffix Types Only.

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Proper I.C. handling procedures should be followed.
Copyright © Harris Corporation 1991

File Number 2331.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 IRFP450R, IRFP451R, IRFP452R, IRFP453R

Electrical Characteristics T_C = 25°C, Unless Otherwise Specified

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITIONS	LIMITS MIN	LIMITS TYP	LIMITS MAX	UNITS
Drain-Source Breakdown Voltage IRFP450/452, IRFP450R/452R	BV_{DSS}	V_{GS} = 0V, I_D = 250µA	500	–	–	V
IRFP451/453, IRFP451R/453R			450	–	–	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250µA	2.0	–	4.0	V
Gate-Source Leakage Forward	I_{GSS}	V_{GS} = 20V	–	–	500	nA
Gate-Source Leakage Reverse	I_{GSS}	V_{GS} = -20V	–	–	-500	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	V_{DS} = Max Rating, V_{GS} = 0V	–	–	250	µA
		V_{DS} = Max Rating x 0.8, V_{GS} = 0V, T_J = +125°C	–	–	1000	µA
On-State Drain Current (Note 2) IRFP450/451, IRFP450R/451R	$I_{D(ON)}$	V_{DS} > $I_{D(ON)}$ x $r_{DS(ON)}$ Max, V_{GS} = 10V	14	–	–	A
IRFP452/453, IRFP452R/453R			12	–	–	A
Static Drain-Source On-State Resistance (Note 2) IRFP450/451, IRFP450R/451R	$r_{DS(ON)}$	V_{GS} = 10V, I_D = 7.5A	–	0.3	0.4	Ω
IRFP452/453, IRFP452R/453R			–	0.4	0.5	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	V_{DS} ≥ 50V, I_D = 7.5A	9.3	13.8	–	S(℧)
Input Capacitance	C_{ISS}	V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz See Figure 10	–	2000	–	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		–	400	–	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		–	100	–	pF
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	V_{DD} = 250V, I_D = 14A, R_G = 6.1Ω See Figure 16. (MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature)	–	16	27	ns
Rise Time	t_r		–	45	65	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		–	68	100	ns
Fall Time	t_f		–	41	60	ns
Total Gate Charge (Gate-Source + Gate-Drain)	Q_g	V_{GS} = 10V, I_D = 14A, V_{DS} = 0.8V Max Rating. See Figure 17 for test circuit. (Gate charge is essentially independent of operating temperature.)	–	82	130	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		–	12	–	nC
Gate-Drain ("Miller") Charge	Q_{gd}		–	42	–	nC
Internal Drain Inductance	L_D	Measured between the contact screw on header that is closer to source and gate pins and center of center of die. Modified MOSFET symbol showing the internal device inductances.	–	5.0	–	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the source lead, 6mm (0.25") from header and source bonding pad.	–	12.5	–	nH
Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$		–	–	0.70	°C/W
Case-to-Sink	$R_{\theta CS}$	Mounting surface flat, smooth and greased	–	0.10	–	°C/W
Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	–	–	30	°C/W

Source Drain Diode Ratings and Characteristics

Continuous Source Current (Body Diode)	I_S	Modified MOSFET symbol showing the integral reverse P-N junc. rectifier.	–	–	14	A
Pulse Source Current (Body Diode) (Note 3)	I_{SM}		–	–	56	A
Diode Forward Voltage (Note 2)	V_{SD}	T_J = +25°C, I_S = 14A, V_{GS} = 0V	–	–	1.4	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	T_J = +150°C, I_F = 13A, dI_F/dt = 100A/µs	–	1300	–	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	T_J = +150°C, I_F = 13A, dI_F/dt = 100A/µs	–	7.4	–	µC
Forward Turn-on Time	t_{ON}	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by L_S + L_D.	–	–	–	–

NOTES: 1. T_J = +25°C to +150°C
2. Pulse Test: Pulse width ≤ 300µs, Duty Cycle ≤ 2%
3. Repetitive Rating: Pulse width limited by max. junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5)
4. V_{DD} = 50V, Start T_J = +25°C, L = 7.5mH, R_{GS} = 25Ω, I_{PEAK} = 14A (See Figure 12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves

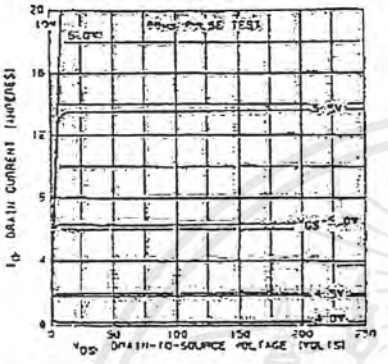


FIGURE 1. TYPICAL OUTPUT CHARACTERISTICS

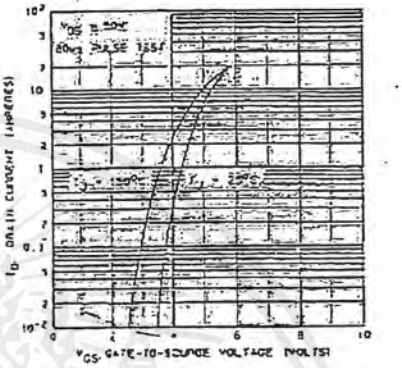


FIGURE 2. TYPICAL TRANSFER CHARACTERISTICS

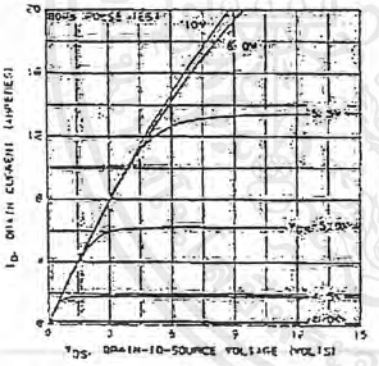


FIGURE 3. TYPICAL SATURATION CHARACTERISTICS

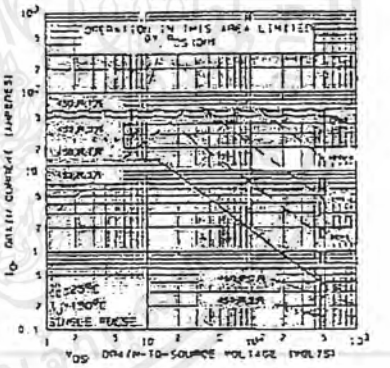


FIGURE 4. MAXIMUM SAFE OPERATING AREA

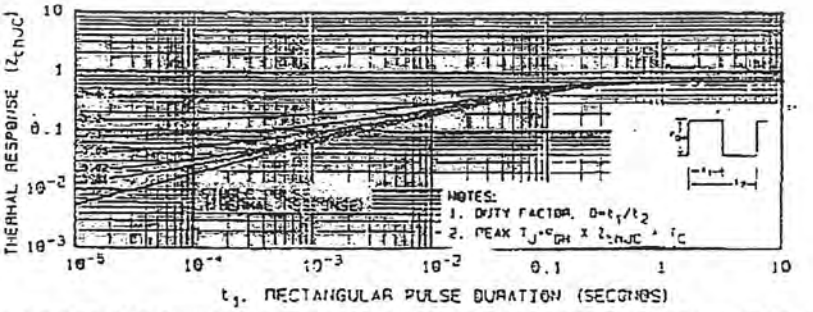


FIGURE 5. MAXIMUM EFFECTIVE TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE, JUNCTION-TO-CASE vs PULSE DURATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves (Continued)

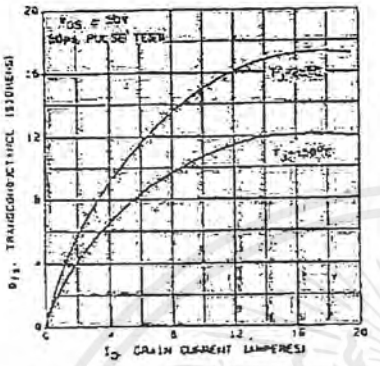


FIGURE 6. TYPICAL TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

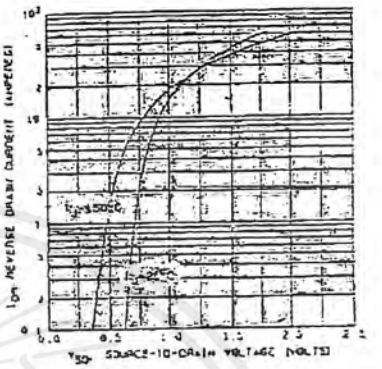


FIGURE 7. TYPICAL SOURCE-DRAIN DIODE FORWARD VOLTAGE

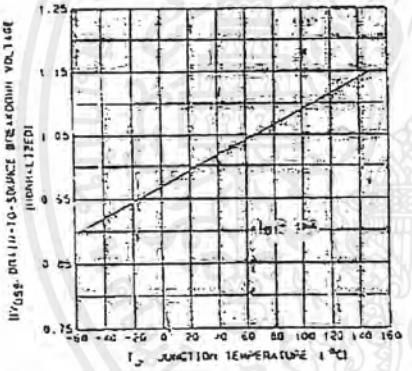


FIGURE 8. BREAKDOWN VOLTAGE vs TEMPERATURE

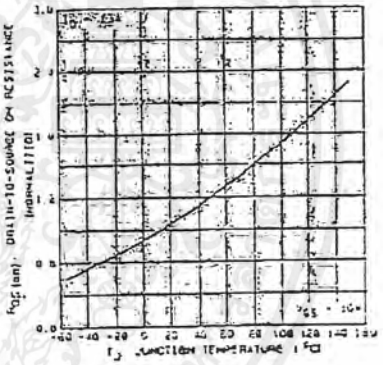


FIGURE 9. NORMALIZED ON-RESISTANCE vs TEMPERATURE

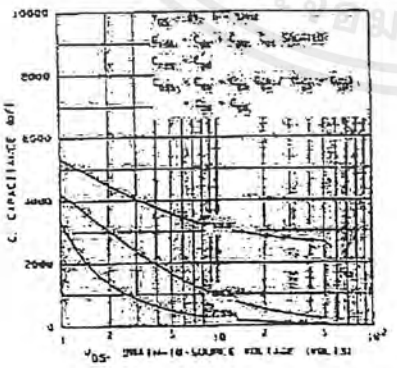


FIGURE 10. TYPICAL CAPACITANCE vs DRAIN-TO-SOURCE VOLTAGE

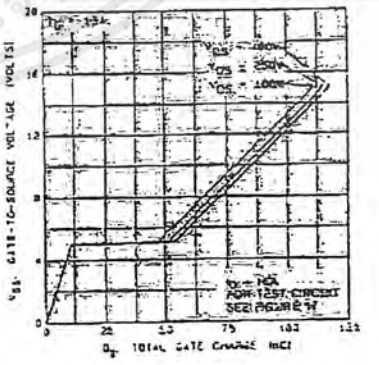


FIGURE 11. TYPICAL GATE CHARGE vs GATE-TO-SOURCE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves (Continued)

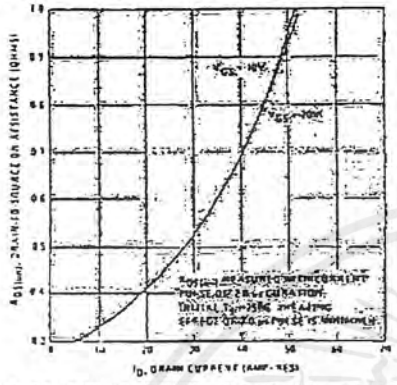


FIGURE 12. TYPICAL ON-RESISTANCE VS. DRAIN CURRENT

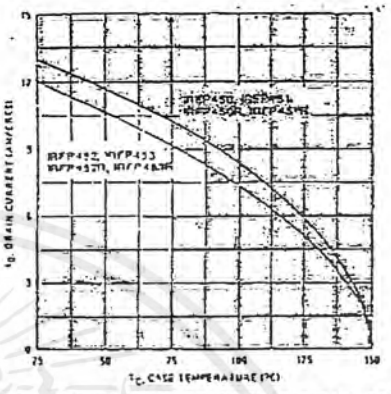


FIGURE 13. MAXIMUM DRAIN CURRENT VS. CASE TEMPERATURE

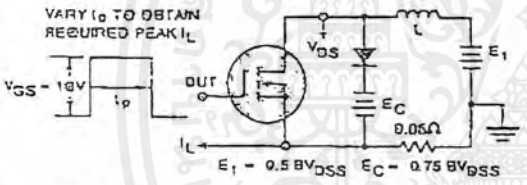


FIGURE 14a. CLAMPED INDUCTIVE TEST CIRCUIT

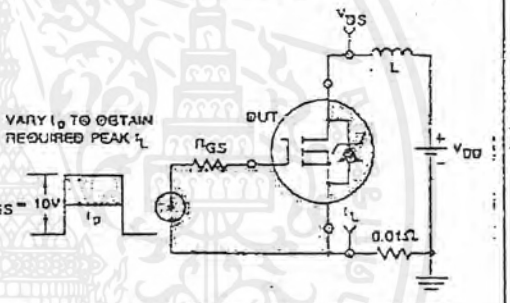


FIGURE 15a. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

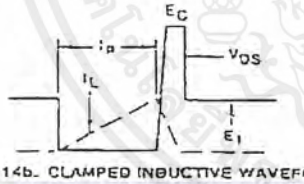


FIGURE 14b. CLAMPED INDUCTIVE WAVEFORMS

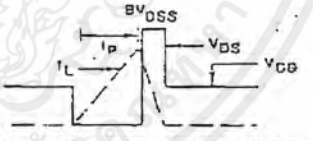


FIGURE 15b. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

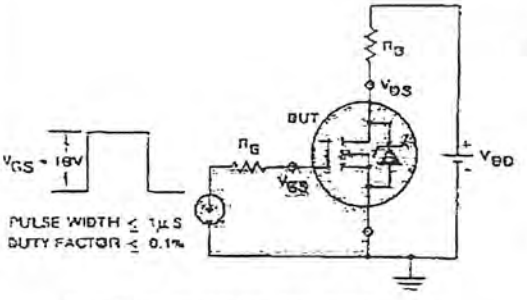


FIGURE 16. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

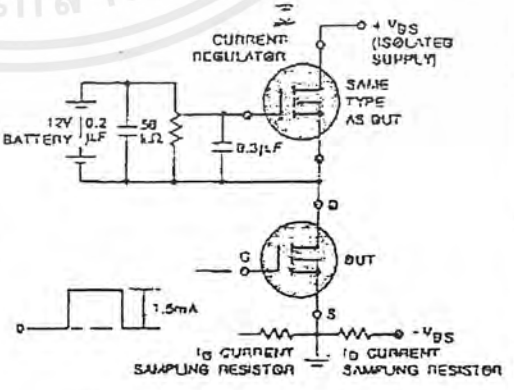
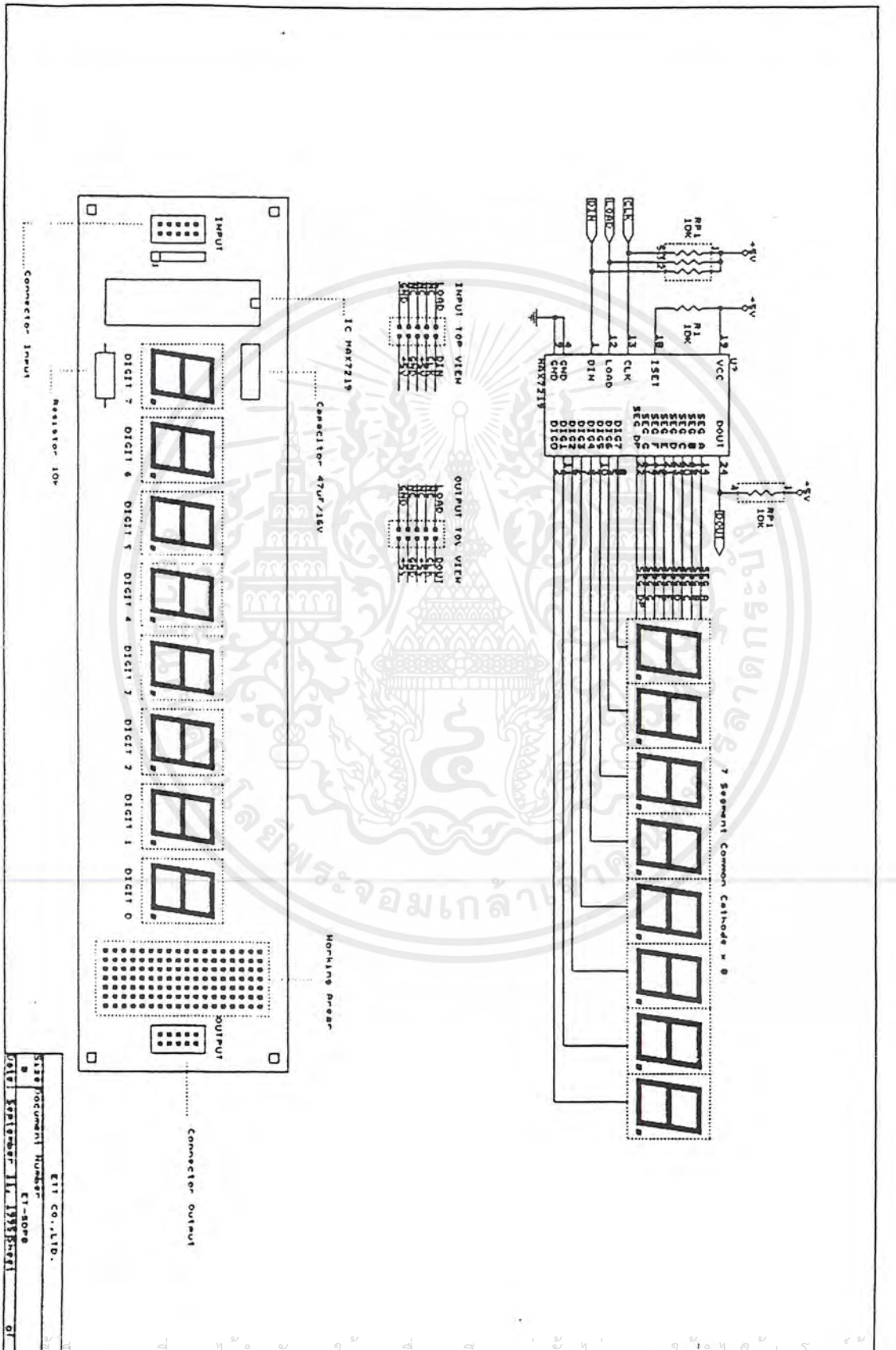


FIGURE 17. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-4452; Rev 1; 5/92

MAXIM

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

General Description

The MAX7219 is a compact, serial input/output common-cathode display driver that interfaces microprocessors (µPs) to 7-segment numeric LED displays of up to 8 digits, bar-graph displays, or 64 individual LEDs. Included on-chip are a BCD code-B decoder, multiplex scan circuitry, segment and digit drivers, and an 8x8 static RAM that stores each digit. Only one external resistor is required to set the segment current for all LEDs.

A convenient 3-wire serial interface connects to all common µPs. Individual digits may be addressed and updated without rewriting the entire display. The MAX7219 also allows the user to select code-B decoding or no-decode for each digit.

The MAX7219 includes a 150µA low-power shutdown mode, analog and digital brightness control, a scan-limit register which allows the user to display from 1 to 8 digits, and a test mode which forces all LEDs on.

Applications

Bar-Graph Displays
7-Segment Displays
Industrial Controllers
Panel Meters
LED Matrix Displays

Features

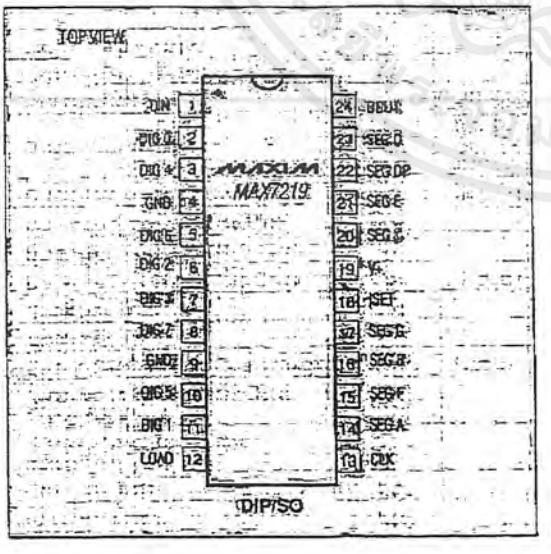
- ♦ 10MHz Serial Interface
- ♦ Individual LED Segment Control
- ♦ Decode/No-Decode Digit Selection
- ♦ 150µA Low-Power Shutdown (Data Retained)
- ♦ Digital and Analog Brightness Control
- ♦ Display Blanked on Power-Up
- ♦ 24-Pin DIP and SO Packages
- ♦ Drives Common-Cathode LED Display

Ordering Information

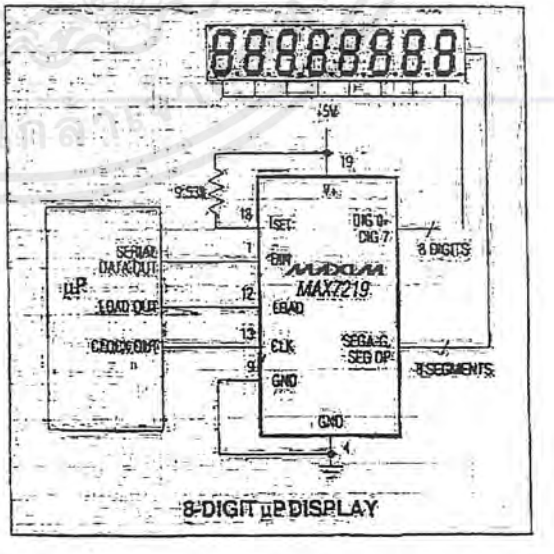
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7219CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7219C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7219ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7219ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP

* Contact factory for dice specifications.

Pin Configuration



Typical Application Circuit

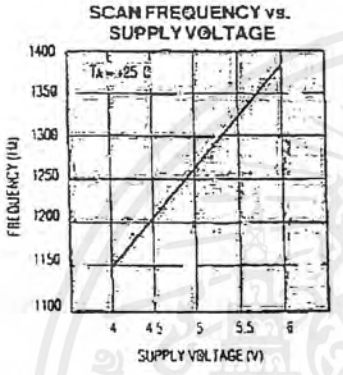


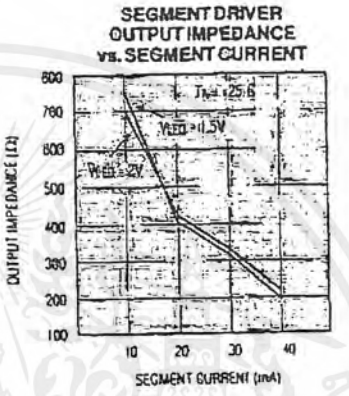
Call toll free 1-800-998-8800 for free samples or literature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Typical Operating Characteristics





Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	DIN	Serial Data Input. Data is loaded into an internal 16-bit shift register on the rising edge of CLK.
2, 3, 5-8, 10, 11	DIG0-7	8 digit drive lines that sink current from the display.
4, 9	GND	Ground (both GND pins must be connected)
12	LOAD	Load Data Input. On LOAD's rising edge, the last 16 bits of serial input data are latched
13	CLK	Clock Input. 10MHz maximum rate. On CLK's rising edge, data is shifted into the internal shift register. On CLK's falling edge, data is clocked out of DOUT.
14-17, 20-23	SEG A-G, DP	7-segment drive and decimal point lines that source current to the display.
18	ISET	Connect to V+ through a resistor (R_{SET}) to set the peak segment current (Refer to "*Selecting R_{SET} Resistor*" section).
19	V+	Supply Voltage
24	DOUT	Serial Data Output. The data into DIN is valid at DOUT 16.5 clock cycles later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram

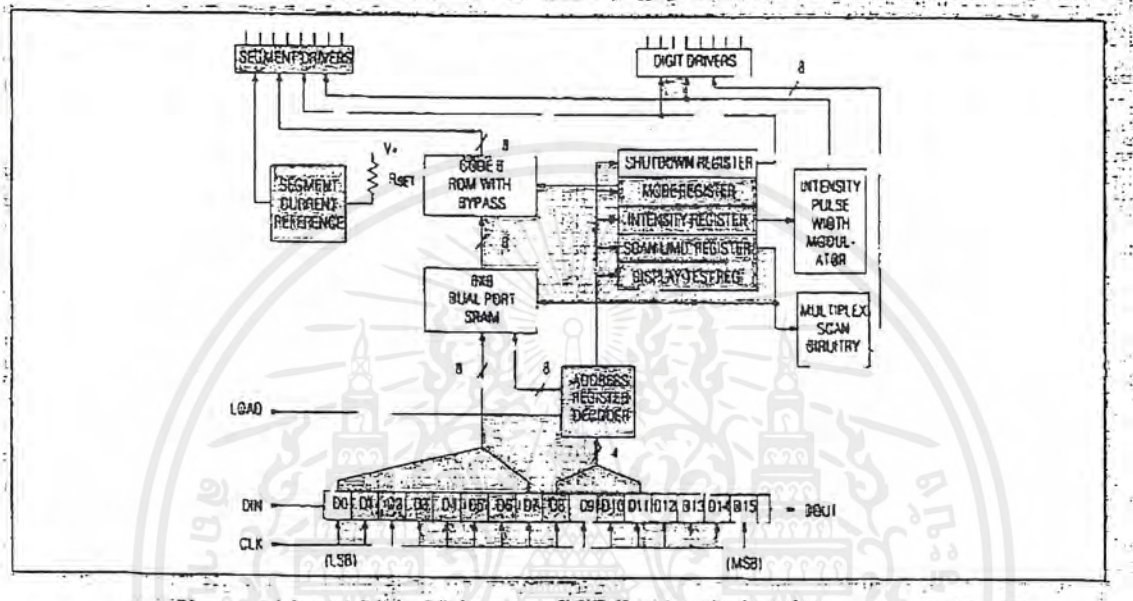


TABLE 1. SERIAL DATA FORMAT (16 BITS)

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	X	X	X	ADDRESS				MSB			DATA				LSB

X = "don't care" bit

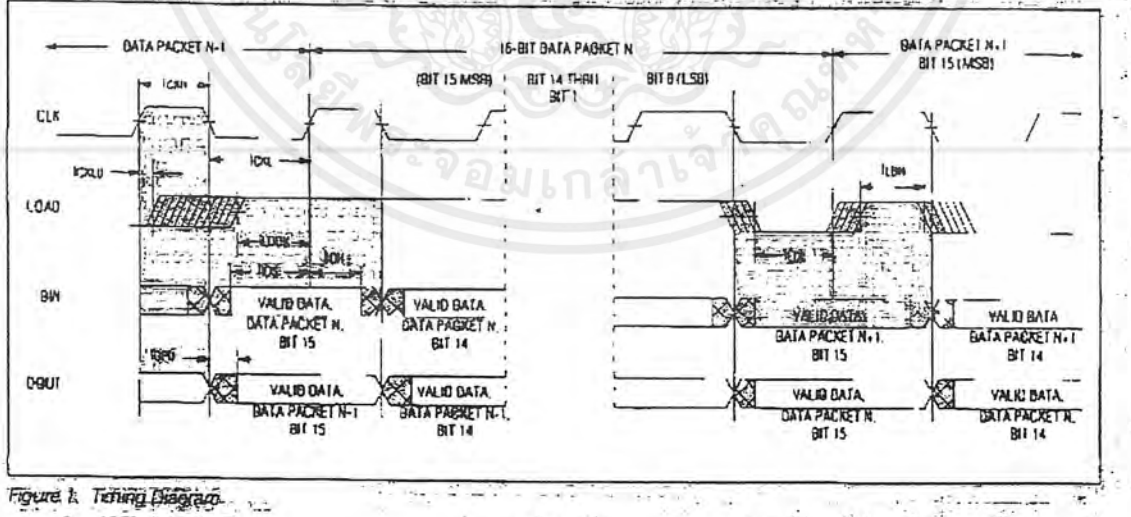


Figure 1. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Detailed Description

Serial Addressing Modes

Serial data at DIN, sent in 16-bit packets, is shifted into the internal 16-bit shift register with each rising edge of CLK. The data is then latched into either the digit or control registers on the rising edge of LOAD. LOAD must go high concurrently with or after the 16th rising clock edge, but before the next rising clock edge or data will be lost. Data at DIN is propagated through the shift register and appears at DOUT 16.5 clock cycles later. Data is clocked out on the falling edge of CLK. Data bits are labeled D0-D15 (Table 1). D8-D11 contain the register address, D0-D7 contain the data, and D12-D15 are "don't care" bits. The first bit received is D15, the most significant bit (MSB).

Digit and Control Registers

Table 2 lists the 14 addressable digit and control registers. The digit registers are realized with an on-chip, 8x8 dual-port SRAM. They are addressed directly so that individual digits can be updated and retain data as long as V+ typically exceeds 2V. The control registers consist of: decode mode, display intensity, scan limit (number of scanned digits), shutdown, and display test (all LEDs on). A no-operation (no-op) register is also included, which allows data to be passed from DIN to DOUT when devices are cascaded without changing the display or affecting any control registers.

Shutdown Mode

When the MAX7219 is in shutdown mode, the scan oscillator is halted, all segment current sources are pulled to ground, and all digit drivers are pulled to V+, thereby blanking the display. Data in the digit and control registers remains unaltered. Shutdown can be used to save power or as an alarm to flash the display by successively entering and leaving the shutdown mode. For minimum supply current in shutdown mode, logic inputs should be at ground or V+ (CMOS logic levels).

Typically, it takes less than 250µs for the MAX7219 to leave shutdown mode. Note that the display driver can still be programmed while in shutdown mode, and that shutdown mode can be overridden by the display-test function.

Table 2. Register Address Map

REGISTER	D15-D12	D11	ADDRESS D10	D9	D8	HEX CODE
NO-OP	X	0	0	0	0	X0
DIGIT 0	X	0	0	0	1	X1
DIGIT 1	X	0	0	1	0	X2
DIGIT 2	X	0	0	1	1	X3
DIGIT 3	X	0	1	0	0	X4
DIGIT 4	X	0	1	0	1	X5
DIGIT 5	X	0	1	1	0	X6
DIGIT 6	X	0	1	1	1	X7
DIGIT 7	X	1	0	0	0	X8
DECODE-MODE	X	1	0	0	1	X9
INTENSITY	X	1	0	1	0	XA
SCAN-LIMIT	X	1	0	1	1	XB
SHUTDOWN	X	1	1	0	0	XC
DISPLAY-TEST	X	1	1	1	1	XF

Table 3. Shutdown Register Format (Address (Hex) = XC)

	ADDR CODE (HEX)	REGISTER DATA D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SHUTDOWN MODE	XC	X	X	X	X	X	X	X	0
NORMAL OPERATION	XC	X	X	X	X	X	X	X	1

Initial Power-Up

On initial power-up, all control registers are reset, the display is blanked, and the MAX7219 enters shutdown mode. Therefore the user must program the display driver prior to display use since it will initially be set to scan one digit, it will not decode data in the data registers, and the intensity register will be set to its minimum value.

Decode-Mode Register

The decode-mode register sets BCD code B (0-9, E, H, L, P, and -) or no-decode operation for each digit. Each bit in the register corresponds to one digit. A logic high selects code B decoding while a logic low bypasses the decoder. Examples of the decode mode control-register format are shown in Table 4.

Table 4. Decode-Mode Register Examples (Address (Hex) = X9)

	REGISTER DATA D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	(HEX CODE)
NO DECODE FOR DIGITS 7-0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
CODE B DECODE FOR DIGIT 0 NO DECODE FOR DIGITS 7-1	0	0	0	0	0	0	0	1	01
CODE B DECODE FOR DIGITS 3-0 NO DECODE FOR DIGITS 7-4	0	0	0	0	1	1	1	1	0F
CODE B DECODE FOR DIGITS 7-0	1	1	1	1	1	1	1	1	FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Table 5. Code B Font

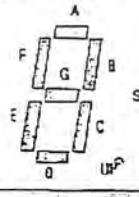
7-SEGMENT CHARACTER	REGISTER DATA							ON SEGMENTS = 1						
	D7	D6-D4	D3	D2	D1	D0	DP	A	B	C	D	E	F	G
0		X	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	0
1		X	0	0	0	1		0	1	1	0	0	0	0
2		X	0	0	1	0		1	1	0	1	1	0	1
3		X	0	0	1	1		1	1	1	1	0	0	1
4		X	0	1	0	0		0	1	1	0	0	1	1
5		X	0	1	0	1		1	0	1	1	0	1	1
6		X	0	1	1	0		1	0	1	1	1	1	1
7		X	0	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0
8		X	1	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1
9		X	1	0	0	1		1	1	1	1	0	1	1
-		X	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	1
E		X	1	0	1	1		1	0	0	1	1	1	1
H		X	1	1	0	0		0	1	1	0	1	1	1
L		X	1	1	0	1		0	0	0	1	1	1	0
P		X	1	1	1	0		1	1	0	0	1	1	1
blank		X	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0

* The decimal point is set by bit D7 = 1

When the code B decode mode is used, the decoder looks only at the lower nibble of the data in the digit registers (D3-D0), disregarding bits D4-D6. D7, which sets the decimal point (SEG DP), is independent of the decoder and is positive logic (D7=1 turns the decimal point on). The code-B font is listed in Table 5.

When no-decode is selected, data bits D7-D0 correspond to the segment lines of the MAX7219. Table 6 shows the one-to-one pairing of each data bit to the appropriate segment line.

Table 6. No-decode Mode Data Bits and Corresponding Segment Lines



STANDARD 7-SEGMENT LED

	REGISTER DATA							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CORRESPONDING SEGMENT LINE	DP	A	B	C	D	E	F	G

Intensity Control and Interdigit Blanking

The MAX7219 allows the display brightness to be controlled with an external resistor (R_{SET}) connected between V+ and ISET, and digitally using the intensity register. The peak current sourced from the segment drivers will nominally be 100 times the current entering ISET. This resistor can either be fixed, or variable to allow brightness adjustment from the front panel. Its minimum value should be 9.53kΩ, which typically sets the segment current at 37mA.

Digital control of segment current is provided by an internal pulse-width modulated DAC, which is loaded from the lower nibble of the intensity register. The DAC scales the average segment current in 16 steps from a maximum of 31/32, down to 1/32 of the peak current set by R_{SET}. The intensity register format is listed in Table 7. Maximum brightness occurs with a duty cycle of 31/32 because the interdigit blanking time is set to 1/32 of a cycle. Interdigit blanking time can be increased by decreasing the duty cycle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Table 7. Intensity Register Format (Address (Hex) = XA)

DUTY CYCLE	REGISTER DATA D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	(HEX CODE)
1/32 (min on)	X	X	X	X	0	0	0	0	X0
3/32	X	X	X	X	0	0	0	1	X1
5/32	X	X	X	X	0	0	1	0	X2
7/32	X	X	X	X	0	0	1	1	X3
9/32	X	X	X	X	0	1	0	0	X4
11/32	X	X	X	X	0	1	0	1	X5
13/32	X	X	X	X	0	1	1	0	X6
15/32	X	X	X	X	0	1	1	1	X7
17/32	X	X	X	X	1	0	0	0	X8
19/32	X	X	X	X	1	0	0	1	X9
21/32	X	X	X	X	1	0	1	0	XA
23/32	X	X	X	X	1	0	1	1	XB
25/32	X	X	X	X	1	1	0	0	XC
27/32	X	X	X	X	1	1	0	1	XD
29/32	X	X	X	X	1	1	1	0	XE
31/32 (max on)	X	X	X	X	1	1	1	1	XF

Scan-Limit Register

The scan-limit register sets how many digits are displayed, from 1 to 8. They are displayed in a multiplexed manner with a typical display scan rate of 1300Hz with 8 digits displayed. If fewer digits are displayed, the scan rate is 8fOSC/N, where N is the number of digits scanned. Since the number of scanned digits affects the display brightness, the scan-limit register should not be used to blank portions of the display (such as leading zero suppression). The scan-limit register format is listed in Table 8.

If the scan-limit register is set for three digits or less, individual digit drivers will dissipate excessive amounts of power. Consequently, the value of the RSET resistor must be adjusted according to the number of digits displayed, to limit individual digit driver power dissipation. Table 9 lists the number of digits displayed and the corresponding maximum recommended segment current when the internal digit drivers are used.

Display-Test Register

The display-test register operates in two modes: normal and display test. Display-test mode turns all LEDs on by overriding - but not altering - all controls and digit registers (including the shutdown register). In display-test mode, 8 digits are scanned and the duty cycle is 31/32. Table 9 lists the display-test register format.

Table 8. Scan-Limit Register Format (Address (Hex) = XB)

	REGISTER DATA D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	(HEX CODE)
DISPLAY DIGIT 0 ONLY	X	X	X	X	X	0	0	0	X0
DISPLAY DIGITS 0,1	X	X	X	X	X	0	0	1	X1
DISPLAY DIGITS 0,1,2	X	X	X	X	X	0	1	0	X2
DISPLAY DIGITS 0,1,2,3	X	X	X	X	X	0	1	1	X3
DISPLAY DIGITS 0,1,2,3,4	X	X	X	X	X	1	0	0	X4
DISPLAY DIGITS 0,1,2,3,4,5	X	X	X	X	X	1	0	1	X5
DISPLAY DIGITS 0,1,2,3,4,5,6	X	X	X	X	X	1	1	0	X6
DISPLAY DIGITS 0,1,2,3,4,5,6,7	X	X	X	X	X	1	1	1	X7

* See "*Scan-Limit Register*" text for application.

Table 9. Maximum Segment Current for 1, 2 or 3 Digit Displays

NUMBER OF DIGITS DISPLAYED	MAXIMUM SEGMENT CURRENT
1	10mA
2	20mA
3	30mA

Table 10. Display-Test Register Format (Address (Hex) = XF)

	REGISTER DATA D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
NORMAL OPERATION	X	X	X	X	X	X	X	0
DISPLAY TEST MODE	X	X	X	X	X	X	X	1

Note: The MAX7219 remains in display-test mode (all LEDs on) until the display-test register is reconfigured for normal operation.

No-Op Register

The no-op register is used when cascading MAX7219s. Connect all devices' LOAD inputs together and connect DOUT to DIN on adjacent MAX7219s. DOUT is a CMOS logic level output that easily drives DIN of a successively cascaded MAX7219. Refer to the "*Serial Addressing Modes*" section for detailed information on serial input/output timing. For example, if four MAX7219s are cascaded, then to write to the fourth chip, send the desired 16-bit word, followed by three no-op codes (hex XOXX, see Table 2). When load goes high, data is latched in all devices. The first three chips receive no-op commands, and the fourth receives the intended data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Driver

Applications Information

Supply Bypassing and Wiring

To minimize power-supply ripple due to the peak digit driver currents, connect a 10µF electrolytic and a 0.1µF ceramic capacitor between V+ and GND as close to the device as possible. The MAX7219 should be placed in close proximity to the LED display, and connections should be kept as short as possible to minimize the effects of wiring inductance and electromagnetic interference. Also, both GND pins must be connected to ground.

Selecting R_{SET} Resistor and Using External Drivers

The current per segment is approximately 100 times the current in ISET. To select RSET, see Table 11. The MAX7219's maximum allowable segment current is 40mA. For an LED forward voltage drop of 2.5V, RSET must be greater than 9.53k. For segment current levels above the MAX7219 limits, external drivers will be needed. In this application, the MAX7219 serves as only a controller for other high-current drivers or transistors. Therefore, to conserve power in the MAX7219, use RSET = 47k when using external current sources as segment drivers.

The example in Figure 2 uses the MAX7219's segment drivers, a MAX333 single-pole double-throw analog switch, and external transistors, to drive 4.0" AND4107SCL common-cathode displays. The 5.6V zener diode has been added in series with the decimal point LED because the decimal point LED forward voltage is typically 4.2V, while for all other segments the LED forward voltage is typically 8V. Note that since external transistors are used to sink current (DIG 0 and DIG 1 are used as logic switches), peak segment currents of 40mA are allowed even though only two digits are displayed. In applications where the MAX7219's digit drivers are used to sink current and fewer than four digits are displayed, see Table 9 which specifies the maximum allowable segment current. RSET must be selected accordingly (see Table 11).

Refer to the "Power Dissipation" section to calculate acceptable limits for ambient temperature, segment current, and the LED forward-voltage drop.

Table 11. RSET vs. Segment Current and LED Forward Voltage

	V_{LED} (V)				
I_{SEG} (mA)	1.5	2	2.5	3	3.5
40	11.3	10.4	9.8	8.9	7.8
30	15.3	15	14	12.9	11.4
20	26.2	24.6	22.8	20.9	18.6
10	60.1	56	51.7	47	41.9

Table 12. Package Thermal Resistance Data

PACKAGE	THERMAL RESISTANCE (θ_{JA})
24 Narrow DIP	+75°C/W
24 Wide SO	+85°C/W
24 CERDIP	+60°C/W
Maximum Junction Temperature (T_J) = +150°C	
Maximum Ambient Temperature (T_A) = +85°C	

Computing Power Dissipation

The upper limit for power dissipation (PD) for the MAX7219 is determined from the following equation:

$$PD = (V+ \times 8mA) + (V+ - V_{LED})(DUTY \times I_{SEG} \times N)$$

where:

V+ = Supply Voltage

DUTY = Duty Cycle set by intensity register

N = number of segments driven (worst case is 8)

V_{LED} = LED forward voltage

I_{SEG} = Segment Current set by RSET

Dissipation Example:

I_{SEG} = 40mA, N = 8, DUTY = 31/32, V_{LED} = 1.8V at 40mA, V+ = 5.25V

$$PD = 5.25V(8mA) + (5.25V - 1.8V)(31/32 \times 40mA \times 8)$$

$$= 1.11W$$

Thus, for a CERDIP package (θ_{JA} = +60°C/W from table 12), the maximum allowed ambient temperature T_A is given by:

$$T_{Jmax} = T_A + PD \times \theta_{JA}$$

$$+150°C = T_A + 1.11W \times +60°C/W$$

$$T_A = +83.4°C$$

Cascading Drivers

The example in Figure 3 drives 16 digits using a 3-wire µP interface. If the number of digits is not a multiple of 8, set both drivers' scan-limit registers to the same number so one display will not appear brighter than the other. For example, if 12 digits are needed, use 6 digits per display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

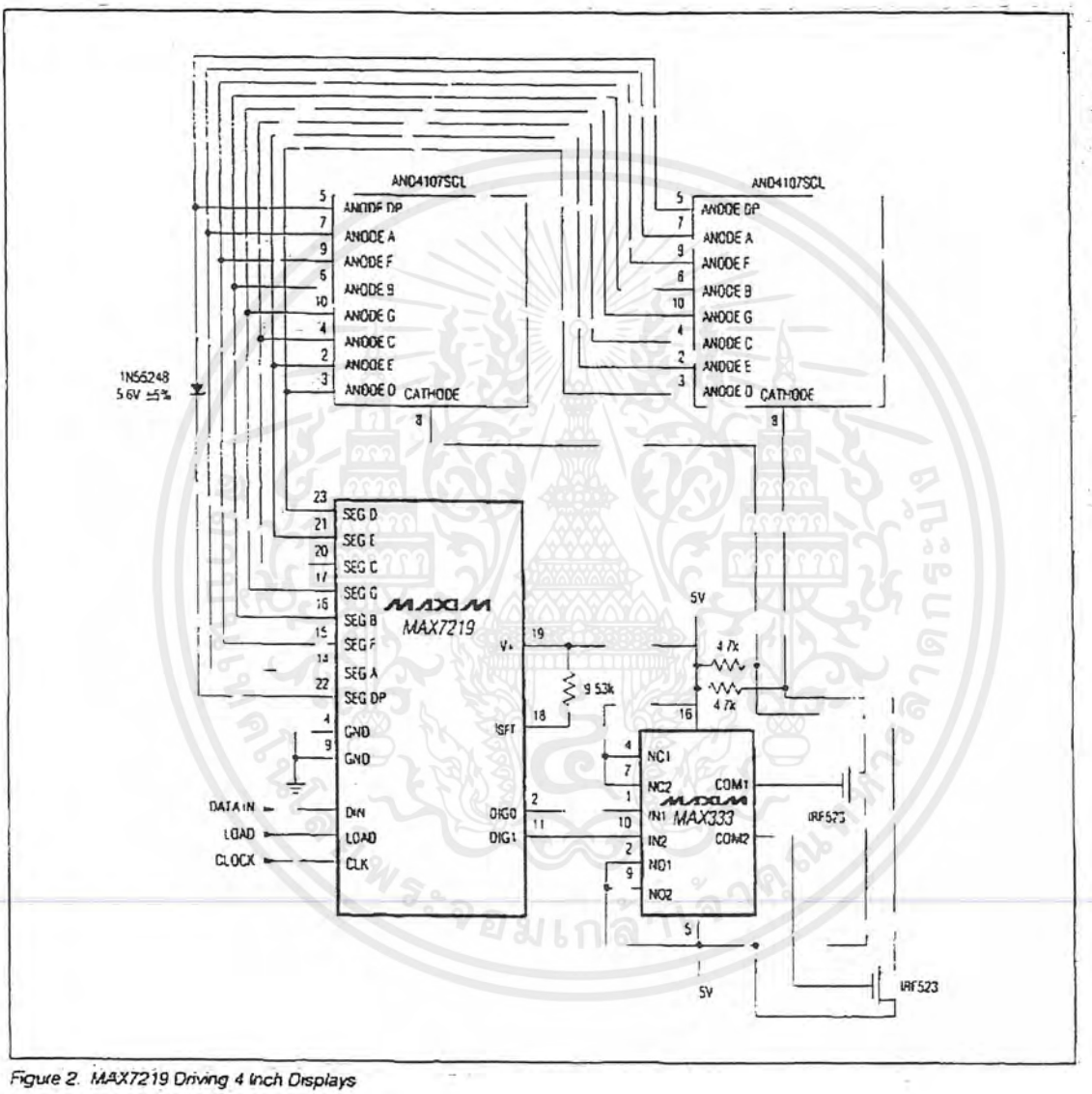


Figure 2. MAX7219 Driving 4 Inch Displays

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with both scan-limit registers set for 6 digits so that both displays have a 1/6 duty cycle per digit. If 11 digits are needed, set both scan-limit registers for 6 digits and leave one digit driver unconnected. If one display is set for 6 digits and the other for 5 digits, the second display will appear brighter because its duty cycle per digit will be 1/5 while the first display's will be 1/6. Refer to the "No Op Register" section for additional information.

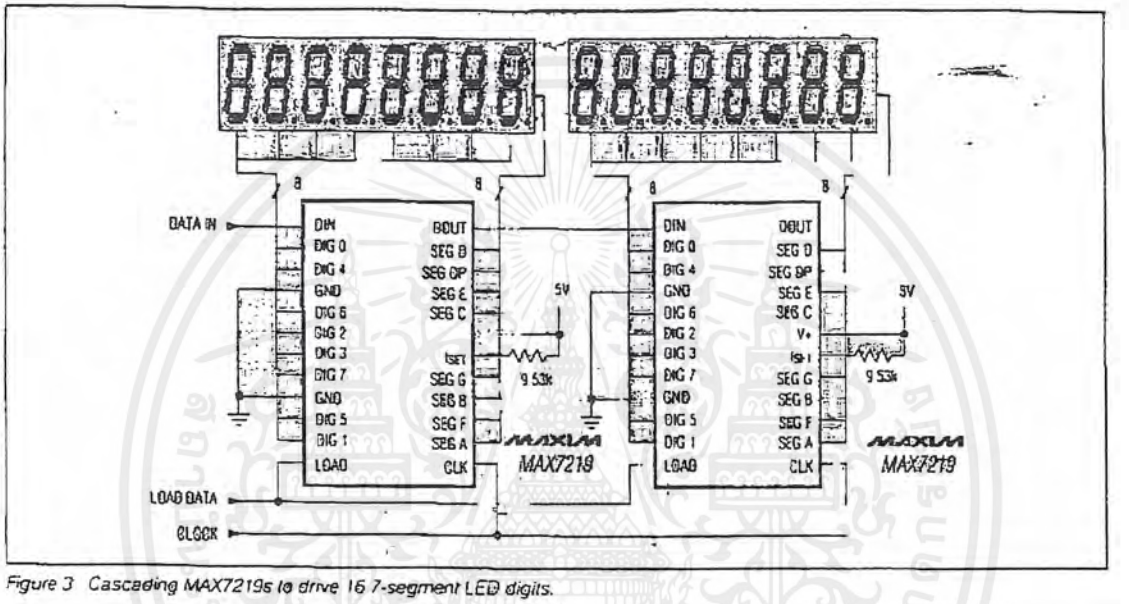
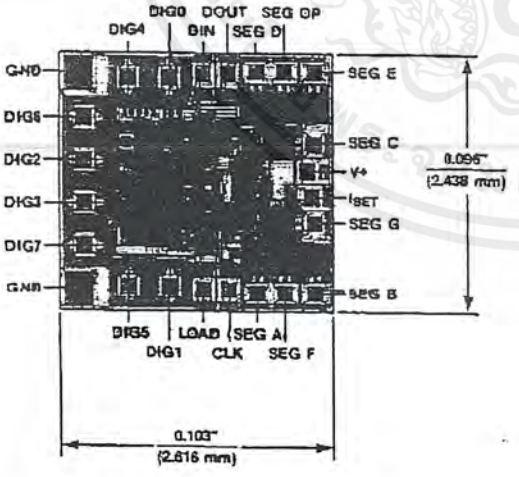


Figure 3. Cascading MAX7219s to drive 16 7-segment LED digits.

Chip Topography



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ณรงค์ ชอนตะวัน, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, เอราวัณการพิมพ์, กรุงเทพฯ

ธีรวัฒน์ ประกอบผล, การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ,พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2540

ประเสริฐ ฟูรัตนพาณิชย์, วันชัย เค่นพายัพ, ปริญญานิพนธ์เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ 3 เฟส, คณะวิศวะกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2537

ศ.ดร. ไพศิษฐ์ พิพัฒนกุล, อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสำหรับช่างเทคนิค, สมาคมส่งเสริมไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2536

มงคล ทองสงคราม, เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ, รามาการพิมพ์, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2535

มงคล ทองสงคราม, อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2538

ผศ. สมยศ จุณณะปิยะ,การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS –51, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2537

สุเจตน์ จันทรังษี, ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051, โครงการตำรามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ, 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายคมกริช ดีจะมาลา
วันเดือนปีเกิด	19 กรกฎาคม พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดนครพนม
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดนครพนม
ที่อยู่ปัจจุบัน	130/79 ถนน สุขสวัสดิ์ อำเภอ พระสมุทร เจดีย์ ตำบล ในคลองบางปลากด จังหวัด สมุทรปราการ 10290
โทรศัพท์	-

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	อนุบาลนครพนม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนป้อมนาคราชสวาทยานนท์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	ทุนรัฐบาล
คติพจน์	ความพยายามอยู่ที่ไหนความสำเร็จอยู่ที่นั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายชัยวัฒน์ งามสมโสด
วันเดือนปีเกิด	13 มีนาคม พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	1 หมู่ 7 ตำบล หนองไม้ซุง อำเภอ อุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
โทรศัพท์	-

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดหนองไม้ซุง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนภาชี"สุนทรวิทยานุกูล"
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซีเมนต์ไทยอนุสรณ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	ทุนรัฐบาล
คติพจน์	อดีตเป็นของเรา แต่เราไม่ใช่อดีต อนาคตเป็นของเรา เพราะเราสร้างอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายรัชพล สิทธิสินธุ์
วันเดือนปีเกิด	2 ตุลาคม พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดอุบลราชธานี
ที่อยู่ปัจจุบัน	26 ถนน สุรศักดิ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000
โทรศัพท์	045-241042

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนศรีอุบลรัตนาราม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศรีประทุมวิทยาคาร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขต นนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับ	-
ทุนการศึกษา	ทุนรัฐบาล
คติพจน์	มุ่งมั่นตั้งใจ ไม่ไกลต้องถึงฝัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้