สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51

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

ชื่อนักศึกษา

1.นายครรชิต	ก้อนมณี	รหัสประจำตัว	39031103
2.นายไชยพล	ศุภผลา	รหัสประจำตัว	39031109
3.นายนิรันดร์	ประทุมภักดิ์	รหัสประจำตัว	39031116
4.นายสุชาติ	สุทธิเภท	รหัสประจำตัว	39031138

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1.อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

2.อาจารย์วรวิทย์ สมหา

3.อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

T030149

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี	
อาจารย์วรวิทย์ สมหา	
อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์	
อาจารย์โกศล ตราชู	
อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 27 เมษายน 2541 เวลา 14.00 น. ถึงเวลา 16.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร.ธีรพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 30149
วัน, เดือน, ปี 8 ส.ค. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51

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

นายครรชิต ก้อนมณี

นายไชยพล สุภผลา

นายนิรันดร์ ประทุมภักดิ์

นายสุชาติ สุทธิเภท

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
VELOCITY AND POSITION CONTROL SYSTEM FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
2. เพื่อศึกษาหลักการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส
3. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของชิปไมโครโปรเซสเซอร์ MCS-51
4. เพื่อออกแบบวงจรและขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
5. เพื่อสร้างเครื่องควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
6. เพื่อสามารถนำเครื่องควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51 ไปใช้งานจริงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้หลักการทำงานของวงจรระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
2. รู้หลักการและวิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส
3. รู้หลักการทำงานของชิปไมโครโปรเซสเซอร์ MCS-51
4. รู้หลักการและวิธีการออกแบบวงจรและขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
5. สามารถสร้างเครื่องต้นแบบ ของเครื่องควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51
6. สามารถนำเครื่องควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51 ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟสโดยใช้ MCS-51

นายครรชิต ก้อนมณี
นายไชยพล ศุภผลา
นายนิรันดร์ ประทุมภักดิ์
นายสุชาติ สุทธิเภท

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
อาจารย์วรวิทย์ สมหา
อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 มีคุณสมบัติการทำงานที่สามารถใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับขนาด 1/4 แรงม้า ระบบนี้จะใช้หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 3 เฟส , สามารถกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้แน่นอน มีความผิดพลาดน้อย และสามารถกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VELOCITY AND POSITION CONTR0L SYSTEM FOR THREE PHASE MOTOR USING MCS-51

MR.KANCHIT GONMANEE
MR.CHAIYAPON SUPAPARA
MR.NIRAN PRATHOOMPAK
MR.SUCHAT SUTTIPHET

ADVISORS

MR.SURAPONG SIRIPONGDEE
MR.WORAWIT SOMHA
MR.PIYA SUPAVARASUWAT

1997

ABSTRACT

This thesis presents the project of velocity and position control system for three phase motor using MCS-51. This system is designed for an 1/4 horse power induction motor. Microcontroller MCS-51 will generate the pulse width modulation signals to control the 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 เนื่องมาจากการได้รับความช่วยเหลือ และสนับสนุนในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และด้านการเงินจากภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ตลอดจนการได้รับคำปรึกษาอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ทุกท่าน รวมทั้งอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ,คำชี้แนะ และให้กำลังใจอยู่ตลอดเวลา

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในกลุ่มทุกคนที่ได้ร่วมแรงร่วมใจกันทำงานจนสามารถบรรลุเป้าหมายร่วมกัน เพื่อนๆร่วมชั้นเรียนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และกำลังใจ และที่สำคัญที่สุด ความสำเร็จในครั้งนี้ขอมอบให้กับบุคคลซึ่งทำให้ได้รับการศึกษาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน 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	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานิพนธ์	1
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 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่นวนำแบบสไควเรลเกจโรเตอร์	16
2.4.2 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์	19
2.5 วิธีควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	20
2.5.1 การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์	20
2.5.2 การควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์	21
2.6 วิธีการระบุตำแหน่งการหมุนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ	23
2.7 การมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.1 หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์	29
2.7.2 เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์	30
2.7.3 ข้อกำหนดทางเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์	31
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	33
2.8.1 โครงสร้างของ 8051	33
2.8.2 การทำงานของ 8051	35
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	36
3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	36
3.2 วงจรภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	37
3.3 วงจรสร้างสัญญาน PWM	39
3.4 วงจรเข้ารหัส	40
3.5 วงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์	41
3.6 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	42
3.7 วงจรแสดงผลและรับคีย์	43
3.8 วงจรป้องกัน	44
3.9 วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น	45
3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	46
3.10.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	46
3.10.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	47
3.10.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์	47
3.10.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์	48
3.11 หลักการเขียนโปรแกรม	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.12 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน	54
3.12.1 โครงตัวเครื่อง (Frame)	54
3.12.2 แกนเพลาเกลียวและยอย	55
3.12.3 วิธีการคำนวณการออกแบบโครงสร้างของเครื่อง	55
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	58
4.1 การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	58
4.2 การทดลองวงจร VCO	58
4.3 การทดลองวงจร PWM	59
4.4 การทดลอง Deadtime	62
4.5 การทดลองการเข้ารหัส (Encoder)	63
4.6 การทดลองตำแหน่งและความเร็ว	65
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ปัญหา และการพัฒนา	67
5.1 บทสรุป	67
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	68
5.3 แนวทางการพัฒนา	70
ภาคผนวก ก ภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์	71
ภาคผนวก ข ลายวงจรพิมพ์	75
ภาคผนวก ค โปรแกรมการทำงาน	81
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	92
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	97
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน	102
บรรณานุกรม	109
ประวัติผู้แต่ง	110

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 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์	14
รูปที่ 2.13 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทาง	15
รูปที่ 2.14 วงจรสตาร์ทโดยตรง	16
รูปที่ 2.15 วงจรสตาร์ทลดแรงดันป้อนโดยต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์	17
รูปที่ 2.16 วงจรสตาร์ทแบบต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์อันดับกับมอเตอร์	18
รูปที่ 2.17 วงจรสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า	19
รูปที่ 2.18 วงจรสตาร์ทสลิปริงมอเตอร์แบบต่อตรง	20
รูปที่ 2.19 วิธีควบคุมความเร็วโดยใช้มอเตอร์ 2 ตัวทำงานร่วมกัน	22
รูปที่ 2.20 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสลิปริง	26
รูปที่ 2.21 การต่อขดลวดแบบ Y - Δ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.22 หลักการสร้างสัญญาณ PWM ตามวิธีฮาร์โมนิกย่อย	30
รูปที่ 2.23 สัญญาณ PWM ตามหลักการเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์	32
รูปที่ 2.24 แผนผังโครงสร้างของ 8051	34
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	36
รูปที่ 3.2 วงจรสวิตชิ่งแบบฮาล์ฟบริดจ์	38
รูปที่ 3.3 วงจรชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	38
รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณ PWM	39
รูปที่ 3.5 ตัวเข้ารหัสและวงจรประกอบ	40
รูปที่ 3.6 วงจร VCO	41
รูปที่ 3.7 วงจร DAC	42
รูปที่ 3.8 วงจรแสดงผลและรับคีย์แบบใช้ 7-Segment	43
รูปที่ 3.9 วงจรป้องกัน	45
รูปที่ 3.10 วงจรป้องกันตัวเครื่อง	45
รูปที่ 3.11 วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น	46
รูปที่ 3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	47
รูปที่ 3.13 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	47
รูปที่ 3.14 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์	48
รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์	48
รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรม	51
รูปที่ 3.16 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม	52
รูปที่ 3.16 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม	53
รูปที่ 3.17 โครงตัวเครื่อง	54
รูปที่ 3.18 แกนเพลาเกลียวและยอย	55
รูปที่ 3.19 การทดรอบจากพูลเลย์ตัวเล็กไปยังตัวใหญ่	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.20 เกลียวเพลาที่ใช้ติดตั้งยอย	56
รูปที่ 4.1 รูปคลื่นที่ได้จากวงจร VCO	59
รูปที่ 4.2 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต อยู่ 120 องศา ระหว่างเฟส 1/1 และ เฟส 2/1	60
รูปที่ 4.3 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต อยู่ 240 องศา ระหว่างเฟส 1/1 และ เฟส 3/1	60
รูปที่ 4.4 ความถี่สวิตชิ่งที่มีประมาณ 48 พัลส์ ใน 1 ความถี่หลักมูล	61
รูปที่ 4.5 ลักษณะการตรงกันข้ามของแรงดันที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต ในเฟส 1/1 และ 1/2 ในกิ่งเดียวกัน	61
รูปที่ 4.6 ค่าDeadtime สูงสุด 5 ไมโครวินาทีที่กำหนดจากไมโครคอนโทรลเลอร์	62
รูปที่ 4.7 พัลส์ที่ได้จากตัวเข้ารหัสจะมีความแตกต่างกันอยู่ 4 รหัส ใน 1 รูปคลื่น	63
รูปที่ 4.8 สัญญาณจากตัวเข้ารหัส นำมา Exclusive OR กัน ที่ผ่านและไม่ผ่าน Exclusive OR	64
รูปที่ 4.9 สัญญาณจากตัวเข้ารหัส 1สัญญาณ และสัญญาณจากตัวเข้ารหัส ที่ผ่านวงจร Exclusive OR	64
รูปที่ ก.1 เครื่องประกอบสำเร็จ	72
รูปที่ ก.2 การวางอุปกรณ์ภายในกล่อง	72
รูปที่ ก.3 ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง	73
รูปที่ ก.4 ชุดแมคคานิกส์	73
รูปที่ ก.5 การติดตั้งมอเตอร์สามเฟสกับชุดแมคคานิกส์	74
รูปที่ ก.6 อุปกรณ์เข้ารหัส (ตัว Encoder)	74
รูปที่ ข.1 ลายวงจรพิมพ์ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง (ด้านบน)	76
รูปที่ ข.2 ลายวงจรพิมพ์ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง (ด้านล่าง)	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ ข.3 ลายวงจรพิมพ์ชุดสร้างสัญญาณ PWM	78
รูปที่ ข.4 ลายวงจรพิมพ์ DAC และ VCO	79
รูปที่ ข.5 ลายวงจรพิมพ์ภาคแสดงผล	80
รูปที่ จ.1 จอแสดงผลเมื่อกดปุ่มรีเซ็ต	98
รูปที่ จ.2 จอแสดงผลกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น	99
รูปที่ จ.3 จอแสดงผลแสดงว่าเครื่องพร้อมรับการป้อนข้อมูล	100
รูปที่ จ.4 จอแสดงผลแสดงตำแหน่งที่ต้องการ	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 การทดองตำแหน่งและความเร็ว	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจากประเทศเกษตรกรรมไปเป็นประเทศอุตสาหกรรม การศึกษาในด้านอุตสาหกรรม จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทย มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะงานควบคุม ที่ต้องใช้มอเตอร์ ในงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายประเภท มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จึงมีบทบาทเกี่ยวเนื่องกับระบบควบคุมเฟสของมอเตอร์ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลโดยทั่วไป และเป็นระบบที่จำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีราคาแพง เป็นผลให้ต้องมีการลงทุนสูงในงานอุตสาหกรรมนั้นๆ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการสร้าง ชุดควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 3 เฟสในเวลาหมุนให้ช้าหรือเร็วได้ตามที่กำหนด รวมทั้งสามารถควบคุมตำแหน่งการหยุดหมุน และควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยระบบนี้สามารถใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1/4 แรงม้า เมื่อศึกษาระบบนี้เป็นอย่างดีแล้ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เช่นใช้เป็นส่วน Backgage ในเครื่องตัดเหล็กหรือเครื่องพับเหล็กได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนต่างๆดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ จะกล่าวถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำรวมทั้งวิธีการควบคุมความเร็ว และ การกำหนดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตลอดจนการใช้หลักการ มอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulse Width Modulation (PWM) และการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน จะกล่าวถึง แผนผังการทำงานของโครงงาน, การออกแบบวงจร, หน้าที่ของวงจรต่างๆ และการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในโครงงาน

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง จะกล่าวถึงผลการทดลองในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ และรูปคลื่นสัญญาณตามจุดทดสอบต่างๆ ของแต่ละวงจรในโครงงาน

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ปัญหา และการพัฒนา จะกล่าวถึงข้อบกพร่องต่างๆของระบบที่ทำในโครงงาน, การอธิบายสาเหตุของข้อบกพร่อง, แนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้เป็นระบบที่ดีขึ้น และแนวทางในการที่จะสามารถพัฒนาโครงงานให้มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบเดิมที่สร้างขึ้นมา

ภาคผนวก ก เป็นภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์

ภาคผนวก ข เป็นการรวบรวมลายวงจรพิมพ์ที่ใช้ในโครงงาน

ภาคผนวก ค เป็นการรวบรวมโปรแกรมการทำงาน

ภาคผนวก ง เป็นการสรุปรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานทั้งหมด

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้งานของโครงงาน

ภาคผนวก ฉ เป็นการรวบรวมรายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานจากคู่มือการใช้งานอุปกรณ์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีทั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์แบบซิงโครนัส ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กไปจนถึงโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือแม้แต่บ้านพักอาศัย ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของเครื่องอำนวยความสะดวก ทั้งที่เป็นสิ่งจำเป็นและฟุ่มเฟือยในรูปแบบต่างๆกันมากมายตั้งแต่ขนาดเล็กๆไปจนถึงขนาดใหญ่ๆ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นมอเตอร์ที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นเพียงบางชนิดที่อาจจะออกแบบ ให้สามารถปรับความเร็วได้ แต่ก็เป็นส่วนน้อย

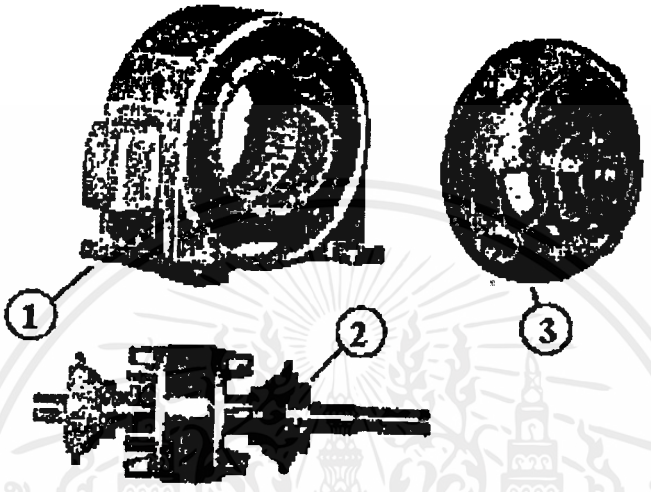
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคือเครื่องกลไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ส่วนโรเตอร์ของมอเตอร์โดยตรง แต่ได้จากการเหนี่ยวนำหรือที่เรียกว่าอินดั๊กชั่น (Induction) ดังนั้นจึงเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนี้บางทีเรียกชื่อสั้นๆว่า มอเตอร์ไฟสลับ หรือมอเตอร์กระแสสลับ แบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกัน คือ แบบที่มีโรเตอร์ เป็นสไควเรลเกจ (Squirrel Cage) หรือทรงกระรอก เรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า สไควเรลเกจมอเตอร์ (Squirrel Cage Motor) และแบบที่โรเตอร์พันด้วยเส้นลวดเล็กๆที่เรียกว่า วาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) เรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า วาวด์โรเตอร์มอเตอร์ (Wound Rotor Motor) หรือเรียกว่า สลิปริงมอเตอร์ (Slip Ring Motor)

มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้ จะมีส่วนประกอบคล้ายๆกันดังนี้คือ ส่วนอยู่กับที่ (Stator) เหมือนกัน ฝาครอบ (End Plate) เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เพียงเฉพาะส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) เท่านั้น และมอเตอร์ไฟสลับหรืออินดั๊กชั่นมอเตอร์นี้ ยังแบ่งออกได้เป็น2ชนิดด้วยกันคือ ชนิดหนึ่งเฟส (หนึ่งยก,Single-Phase) และชนิดสามเฟส (สามยก,Three-Phase) แต่โดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะใช้มอเตอร์สามเฟสเป็นจำนวนมากและเป็นที่นิยมใช้โดยเฉพาะงานด้านควบคุม จะใช้อย่างมาก

ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับทั้งชนิดหนึ่งเฟสและสามเฟส จะเหมือนกัน โดยประกอบไปด้วยสามส่วนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



หมายเลข 1 เรียกว่า ส่วนอยู่กับที่ หมายเลข 2 เรียกว่า ส่วนเคลื่อนที่ หมายเลข 3 เรียกว่า ฝาครอบ

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟสลับ

2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) เบื้องต้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีหลักการดังนี้

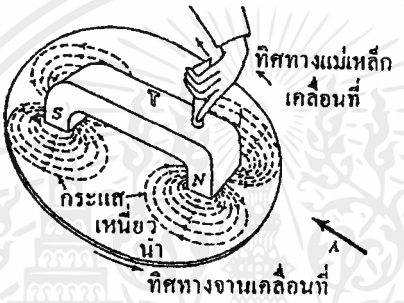
1.เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นจานตัวนำกลมบาง

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

ถ้าให้จานตัวนำอยู่กับที่แล้วให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ในกรณีนี้ก็เหมือนกับว่าให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่ แล้วให้จานตัวนำเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาจะเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

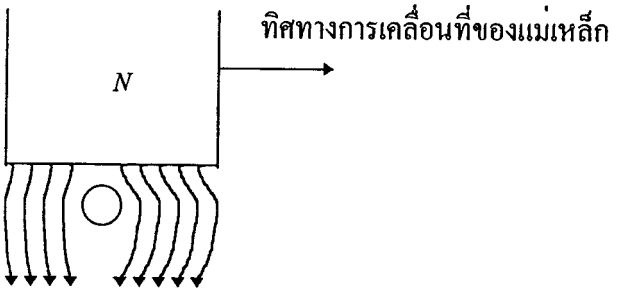
เหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่จานตัวนำจะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหาได้โดยใช้กฎมือขวา (Right Hand Rule) ของเฟลมมิ่ง จะได้ว่า ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลออกจากใต้ขั้วแม่เหล็ก N ไปสู่ขอบจานตัวนำเมื่อมองจากจุด A เข้าหาจานตัวนำ และก็จะพบว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลออกจากขอบจานตัวนำให้เข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S หาทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำได้จากกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง



รูปที่ 2.2 แท่งแม่เหล็กรูปตัวยูวางคว่ำเข้าหาจานตัวนำ

จากทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะพิจารณาต่อไปได้อีกว่า ที่ขั้วแม่เหล็ก N เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกมาจากขั้วแม่เหล็ก N และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสการเหนี่ยวนำด้านขวามือจะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากขั้วแม่เหล็ก N ที่ขั้วแม่เหล็ก S เส้นแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านขวามือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำนี้ หาได้จากกฎมือขวา (Right Hand Hule) ดังนั้นลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



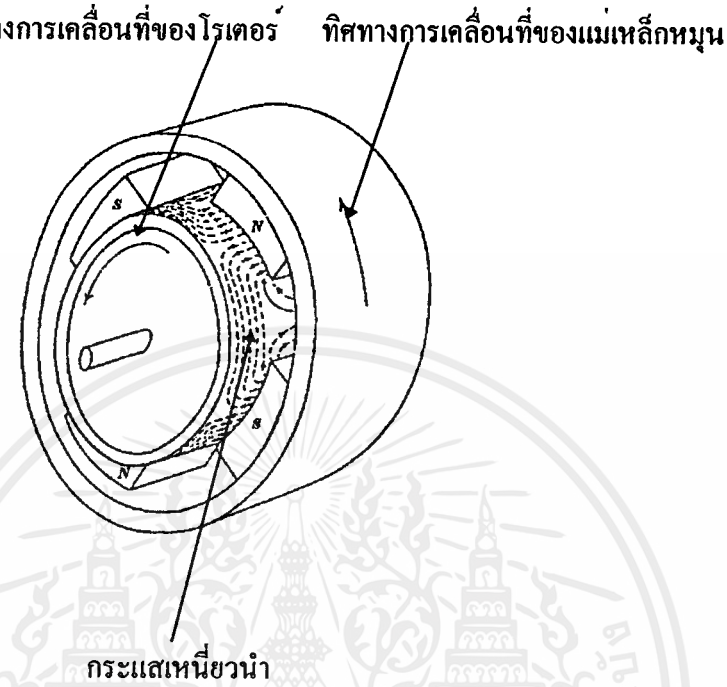
รูปที่ 2.3 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N

จากรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ ที่จานตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N นี้ เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำ และเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก N เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้เกิดแรงขึ้นที่ตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางขวามือ ดังรูปที่ 2.3 หรือจานตัวนำจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา นั่นก็คือส่วนจานตัวนำจะเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับ ทิศทางในการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กที่กำหนดไว้ในครั้งแรก 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 จะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ตัวนำทรงกระบอก โดยจะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่หรือการไหลของกระแสเหนี่ยวนำหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง จะได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลจากขอบแกนทรงกระบอกเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลออกจากแกนทรงกระบอกผ่านภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ไปยังขอบแกนซ้ายมือด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่ได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

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

เมื่อเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กแล้ว จะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่หมุนไป ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่หมุนไปของแกนตัวนำทรงกระบอกนี้ หาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของ คือกางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากแก่กันและกัน เมื่อให้นิ้วชี้แทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก N หรือ S นิ้วกลางแทนทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N หรือ S แล้วนิ้วหัวแม่มือจะแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนตัวนำทรงกระบอกที่เคลื่อนที่ไป ดังนั้นจะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอก ตามรูปที่ 2.4 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ตามทิศทางของขั้วแม่เหล็กที่กำหนดให้เคลื่อนที่ไว้ครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถที่จะทำให้ขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับโครงมอเตอร์เคลื่อนที่ได้ แต่เป็นข้อที่น่าสังเกตก็คือ ถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์เคลื่อนที่หมุนไปในทิศทางใด ขอให้เข้าใจว่าสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงจะต้องเคลื่อนที่ในทิศทางนั้นเสมอ

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

1. มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลรักษาน้อยและมีความเร็วเกือบคงที่ คือ ความเร็วจะลดลงจากสภาพไม่มีโหลดจนกระทั่งขับโหลดเต็มที่เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือ

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

โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ส่วนอยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่หมุน (Rotor) ส่วนอยู่กับที่จะมีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์เมเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล็อต ส่วนที่หมุนจะมีหน้าที่ในการหมุนแกน ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มี 2 แบบ ประกอบไปด้วย แบบสไควเรลเกจโรเตอร์ และแบบวาวด์โรเตอร์

2.3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสไควเรลเกจโรเตอร์

มอเตอร์แบบนี้มีใช้งานกันแพร่หลายที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานอุตสาหกรรม โดยปกติแล้วมอเตอร์สามเฟสแบบนี้จะทำงานด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา

ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้คือ สเตเตอร์ โรเตอร์ และฝาครอบหัวท้าย ซึ่งฝาครอบนี้อาจจัดเข้าเป็นสเตเตอร์ก็ได้ แกนโรเตอร์ (Rotorcore) จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางลามิเนทลักษณะกลม เจาะรูด้านนอกโดยรอบเป็นสล็อต นำมายึดติดกันให้เป็นแกนรูปทรงกระบอก รูสล็อตโดยรอบฝังด้วยตัวนำไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นทองแดงหรือโลหะผสม หรืออลูมิเนียม ในกรณีที่สล็อตฝังด้วยแท่งตัวนำ ปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำที่โผล่ออกไปที่ด้านทั้ง สองของแกนโรเตอร์ จะถูกต่อเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยแหวนตัวนำ โดยการเชื่อมให้หลอมละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดกัน แต่ก่อนใช้วิธีนี้ ซึ่งมีปัญหาอย่างมาก คือรอยต่ออาจหลอมละลาย หรือแยกจากกัน ด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน

ในปัจจุบันนี้ ตัวนำที่บรรจุอยู่ในสล็อตของโรเตอร์ จะใช้วิธีหล่อตัวนำไฟฟ้าซึ่งปกติจะเป็นโลหะผสมหรืออลูมิเนียมเข้าไปด้วย รวมทั้งหล่อแหวนตัวนำเชื่อมตัวนำในสล็อตแต่ละด้าน ของโรเตอร์ด้วย

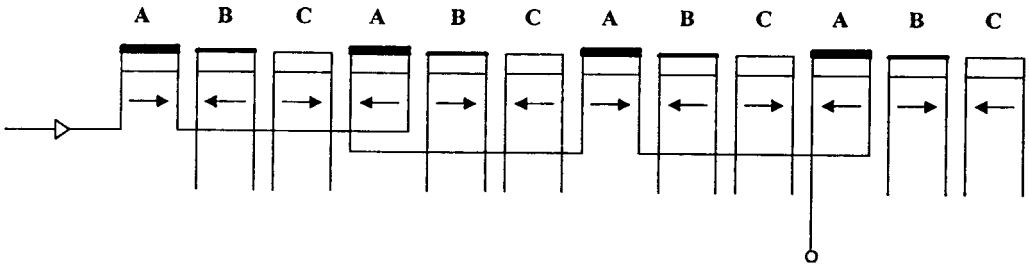
สำหรับสเตเตอร์จะประกอบด้วยโครงเหล็ก แกนขดลวด และขดลวด โครงเหล็กนี้จะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าแบบที่ผิวนอกเรียบอาจทำด้วยแผ่นเหล็กเหนียว ม้วนให้เป็นรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมให้ติดกันก็ได้ ส่วนด้านนอกจะมีกล่องต่อสายและขาตั้ง ซึ่งลักษณะของสเตเตอร์มอเตอร์สามเฟส, แกนเหล็กสเตเตอร์หรือแกนขดลวด จะทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทเช่นเดียวกับแกนโรเตอร์ โดยตัดตรงกลางแผ่นลามิเนทออกแล้วเซาะด้านในให้เป็นร่องเกิดโดยรอบที่เรียกว่าสล็อต แล้วนำเอาแผ่นลามิเนทเหล่านี้มาอัดยึดติดกัน แล้วทำการพันขดลวดสเตเตอร์

ฝาครอบหัวท้ายของมอเตอร์จะทำด้วยเหล็กหล่อมีรูตรงกลางสำหรับอัดแบริ่งรองรับเพลาให้ติดแน่นทั้งสองข้าง ที่ฝาครอบนี้จะเจาะให้มีช่องสำหรับการถ่ายเทอากาศด้วย คือเป็นช่องสำหรับให้ลมร้อนออกมาเป็นการช่วยระบายความร้อนของมอเตอร์ด้วย แบริ่งที่อัดติดกับรูตรงกลางของฝาครอบ อาจจะเป็นแบบปลอกหรือสลีฟ (Sleeve bearing) และแบบบอลล์ (Ball bearing) แต่ส่วนมากจะใช้แบริ่งแบบบอลล์ ลักษณะของฝาครอบดังรูป 2.1

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

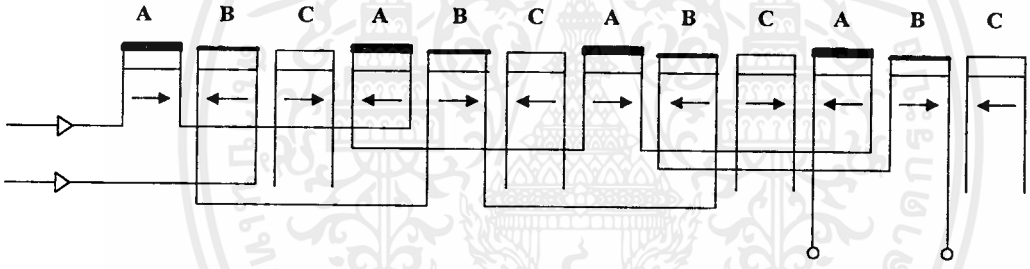
การต่อขดลวดแต่ละเฟสกระทำได้ดังนี้ คือ เริ่มต้นจากขดลวดเฟส A ต่อสายไฟเข้าที่ต้นของเฟส A ที่โพลที่ 1 แล้วต่อปลายของเฟส A ที่โพลที่ 1 เข้ากับปลายของเฟส A ที่โพลที่ 2 (ทิศทางของกระแสจะไหลสวนทางกัน) ต่อต้นของเฟส A ที่โพลที่ 2 เข้ากับต้นของเฟส A ที่โพลที่ 3 และต่อปลายของเฟส A ที่โพลที่ 3 เข้ากับปลายของเฟส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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



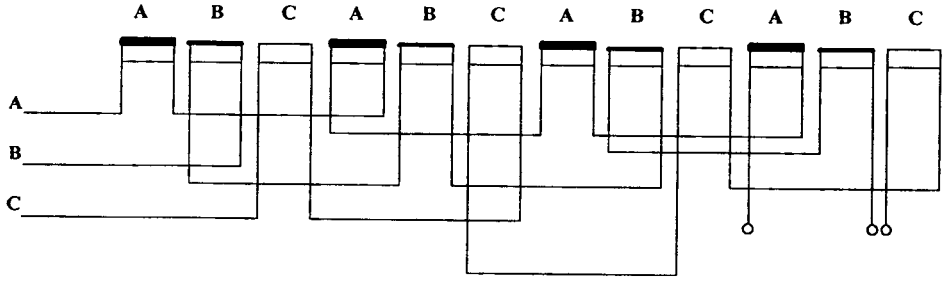
รูปที่ 2.5 การต่อขดลวดเฟส A

การต่อขดลวดเฟส B และเฟส C ก็กระทำในลักษณะเดียวกัน คือ เริ่มต้นที่เฟส B ของโพลที่ 1 ไปเรื่อยจนถึงโพลที่ 4 จะเหลือปลายสาย 2 เส้นเช่นเดียวกับเฟส A ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การต่อขดลวดเฟส A และเฟส B

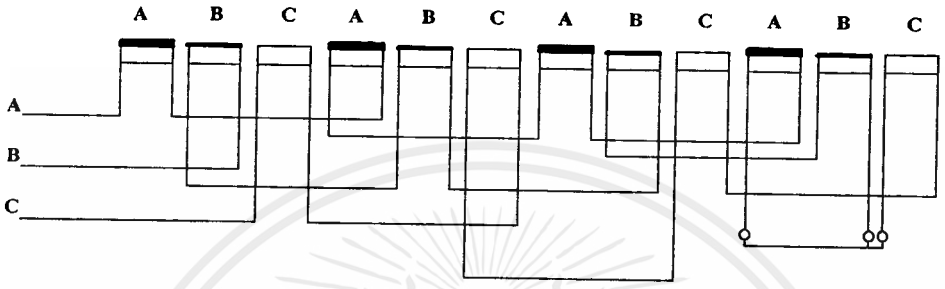
การต่อขดลวดเฟส C ก็เริ่มจากขดลวดเฟส C ที่โพลที่ 1 ไปเรื่อยจนถึงโพลที่ 4 จะเหลือปลายสายเพียง 2 เส้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การต่อขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C

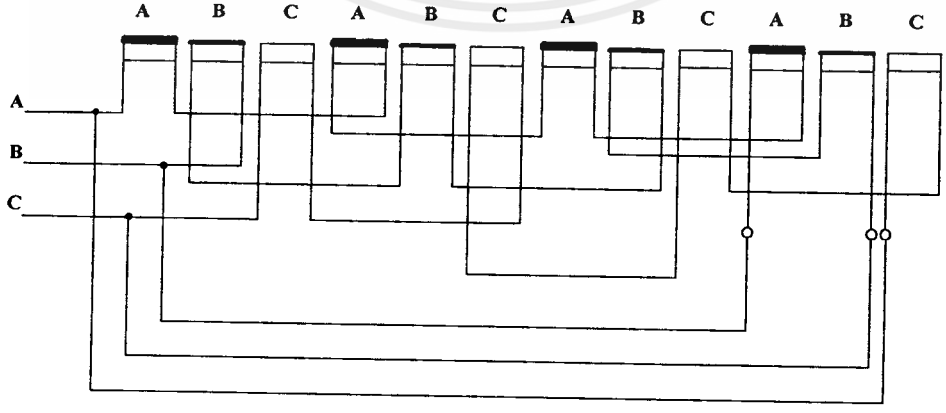
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.8 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบสตาร์

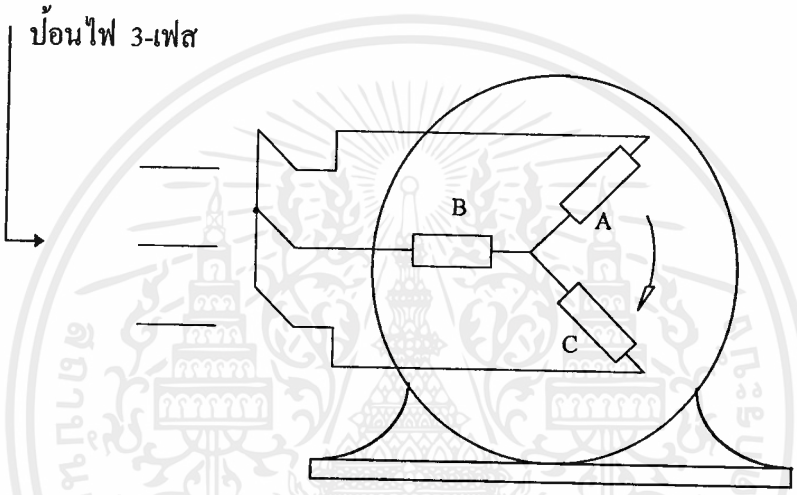
ส่วนการต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบเดลต้านั้น กระทำได้ดังนี้คือ จากการต่อ ขดลวด เฟส A เฟส B และเฟส C ในรูปที่ 2.8 ให้เอาปลายสายของเฟส A ที่โพลที่ 4 ต่อเข้ากับต้นของเฟส B ที่โพลที่ 1 และเอาปลายสายของเฟส B ที่โพลที่ 4 ต่อเข้ากับต้นของเฟส C ที่โพลที่ 1 จะได้ขดลวดแบบเดลต้าดังรูปที่ 2.9 การต่อขดลวดมอเตอร์แบบสตาร์ก็เพื่อใช้กับไฟฟ้าแรงดันสูง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



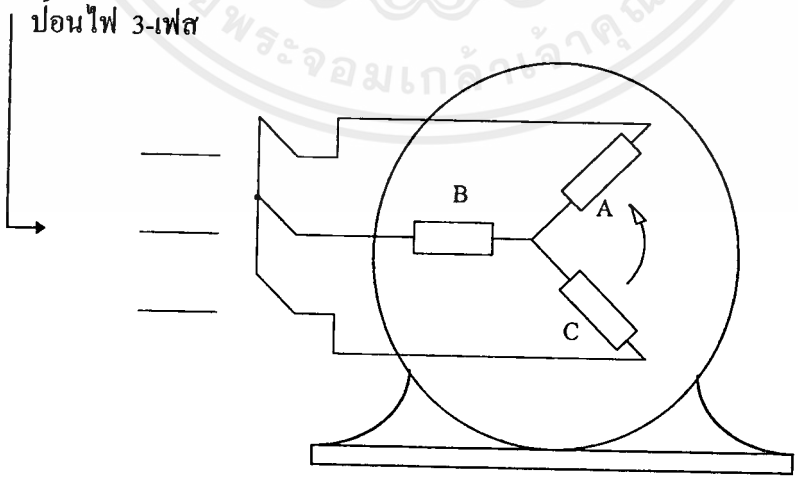
รูปที่ 2.9 การต่อขดลวดมอเตอร์สามเฟสแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต่อสายมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้มอเตอร์หมุนกลับทางนั้น กระทำได้ง่ายๆ ดังนี้ คือ ถ้าแต่เดิมต่อปลายสายของขดลวดเฟส A เฟส 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 ไม่ควรต่อสลับปลายสายพร้อมกันทั้งสามปลายใน



รูปที่ 2.10 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้หมุนในทิศทางหนึ่ง



รูปที่ 2.11 วิธีต่อปลายสายขดลวดมอเตอร์สามเฟส เพื่อให้หมุนในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงข้ามกับรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางเดิมอีก การต่อปลายสายมอเตอร์สามเฟสสมมุติว่าให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ต่อตามรูปที่ 2.10 และเมื่อต้องการต่อมอเตอร์สามเฟสให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา ก็ต่อตามรูปที่ 2.11

2.3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

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

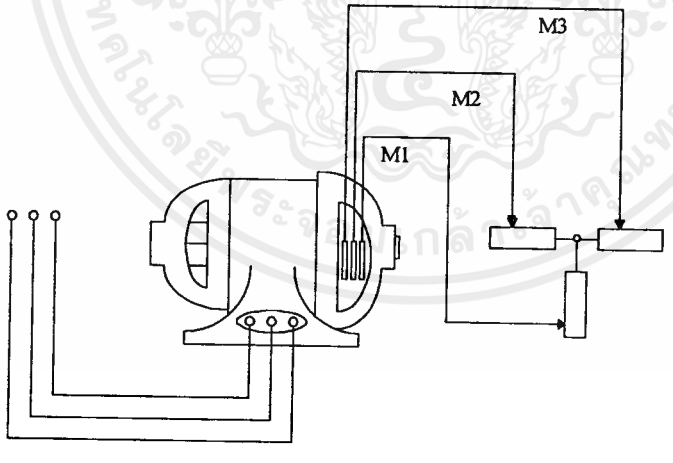
มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์มีหลักการทำงาน เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน และมีความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส ความเร็วซิงโครนัสนี้จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนโพลของมอเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจะยุบตัวและขยายตัว ตัดกับขดลวดที่ส่วนโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ และกระแสเหนี่ยวนำด้วย กระแสเหนี่ยวนำนี้จะไหลผ่านสลิปริงผ่านความต้านทานภายนอกที่ต่อร่วมกับขดลวดโรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มเดิน (สตาร์ท) และปรับความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเริ่มเดินความต้านทานภายนอกจะต่อแบบสตาร์ ความต้านทานที่ต่อเข้าไปร่วมกับขดลวดโรเตอร์จะมีผลทำให้แรงบิดเริ่มต้นดีขึ้น และเป็นผลทำให้อิมพีแดนซ์ของส่วนโรเตอร์เพิ่มขึ้น กระแสโรเตอร์ก็จะลดลง แต่กระแสเกือบจะมีเฟสเดียวกันกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์จึงเป็นผลทำให้แรงบิดตอนสตาร์ทสูงขึ้น

เมื่อความเร็วมอเตอร์สูงขึ้นแล้วจึงค่อยๆ ลดความต้านทานภายนอกออกจากวงจรของขดลวดโรเตอร์ เมื่อลดความต้านทานภายนอกออกหมด สลิปริงจะต่อลัดวงจรที่จุดต่อสตาร์ของความต้านทานภายนอก ขณะนี้มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัด (Rated Spud) ถ้าต้องการปรับความเร็วของมอเตอร์แบบนี้ก็ให้เพิ่มความต้านทาน หรือให้ลดความต้านทานภายนอกเข้ากับวงจรขดลวดโรเตอร์ ปกติแล้วจะปรับความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วเต็มพิกัด

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

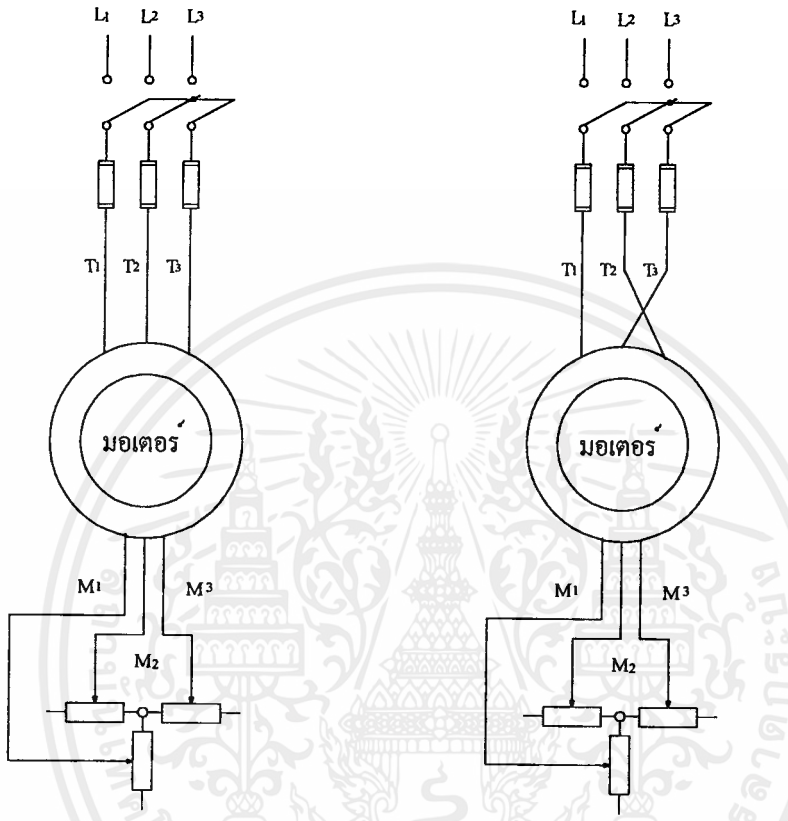


รูปที่ 2.12 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

สำหรับการต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทางก็กระทำได้เช่นเดียวกับมอเตอร์สามเฟสแบบสไควเรลเกจ กล่าวคือให้สลับปลายสายที่ต่อเข้ากับส่วนขดลวดสเตเตอร์ เพียงคู่หนึ่งคู่ใดเท่านั้น ดังรูปที่ 2.13 ในรูปที่ 2.13 ก. เป็นการต่อมอเตอร์ให้หมุนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางหนึ่ง และรูปที่ 2.13 ข. เป็นการต่อมอเตอร์ให้หมุนในอีกทิศทางหนึ่งซึ่งตรงกันข้าม แต่ถ้าต่อปลายสายที่โรเตอร์ให้สลับกัน มอเตอร์จะไม่หมุนกลับทางแต่อย่างใด



ก. มอเตอร์จะหมุนในทิศทางหนึ่ง ข.มอเตอร์จะหมุนในอีกทิศทางหนึ่ง

รูปที่ 2.13 การต่อมอเตอร์สามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์ให้หมุนกลับทิศทาง

2.4 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่เรียกว่าอินดั๊กชั่นมอเตอร์ก็เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้านั่นก็คือโรเตอร์ทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิ จะต่างกันเพียงนิดเดียวคือ โรเตอร์ของมอเตอร์จะเชื่อมครบวงจรแบบวงจรลัดตลอดเวลาดังนั้นเมื่อป้อนไฟสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์แล้ว กระแสอินพุตของขดลวดสเตเตอร์ (ขดลวดปฐมภูมิ) จะสูงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสตาร์ทเนื่องจากในช่วงสตาร์ทนี้จะยังไม่มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ เกิดต้านกับแรงดันป้อน กระแสในช่วงสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าประมาณ 5-7 เท่า ของกระแสเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

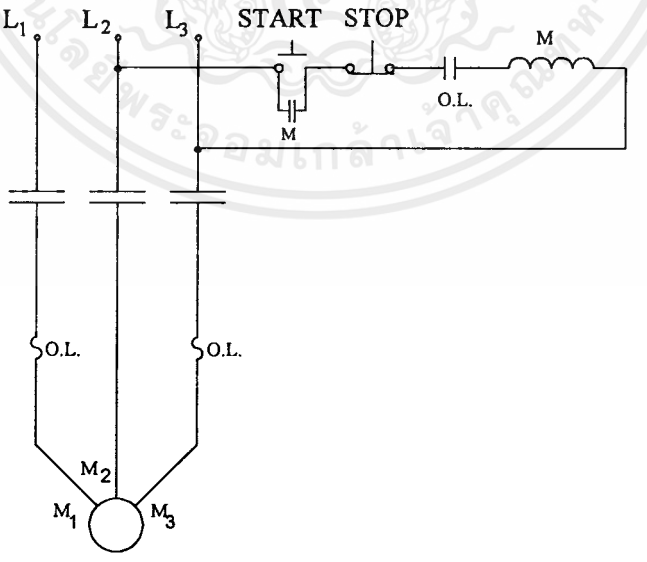
มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด แต่แรงบิดในช่วงนี้จะมีค่าประมาณ 1.5-2.5 เท่า ของแรงบิดที่โหลดเต็มพิกัดเท่านั้น กระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงในชั่วขณะนี้ จะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟลดลง (Drop) ในสายอันจะมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่ต่อร่วมในวงจรเดียวกัน นั้นมอเตอร์ที่มีขนาดตั้งแต่ 30 แรงม้าขึ้นไปจึงไม่ควรที่จะสตาร์ทโดยตรง (Direct Start)

แรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถที่จะแก้ไขให้ดีขึ้นได้ โดยการเพิ่มความต้านทานให้กับวงจรโรเตอร์ ซึ่งกรณีนี้สามารถใช้กับมอเตอร์สามเฟสแบบสลิปริงได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถไปใช้กับมอเตอร์แบบสไควเรลเกจได้ อย่างไรก็ตามวิธีการลดกระแสสตาร์ทก็สามารถทำได้ โดยการลดแรงดันป้อนของสเตเตอร์ในช่วงสตาร์ท เมื่อมอเตอร์ทำงานแล้วจึงเพิ่มแรงดันให้มีค่าตามพิกัดกำหนด

2.4.1 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสไควเรลเกจโรเตอร์

1.วิธีสตาร์ทโดยตรง (Direct Start หรือ On Line Start)

วิธีนี้มักจะใช้กับมอเตอร์ขนาดแรงม้าต่ำๆ 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

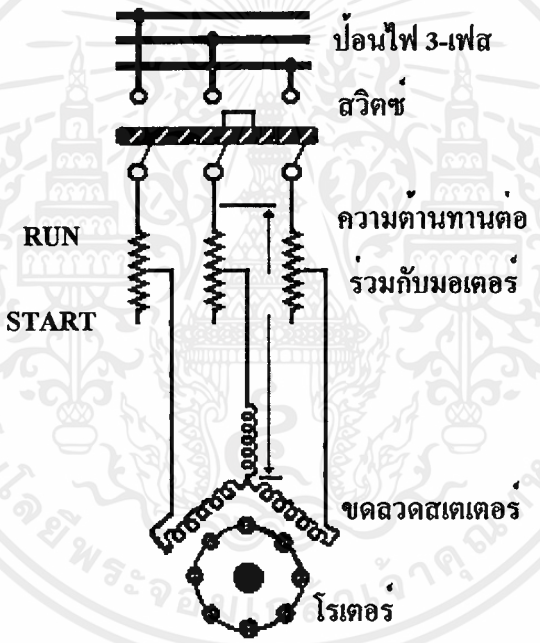
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.วิธีสตาร์ทโดยลดแรงดันป้อน (Reduce Voltage Start)

วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบลดแรงดันป้อนนี้มีหลายวิธีด้วยกันดังนี้

ก.ต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์ (Primary Resistor or Rheostat)

การต่อวิธีนี้เพื่อที่จะลดแรงดันป้อนในช่วงสตาร์ทให้ต่ำลง โดยที่กระแสไฟฟ้าในช่วงสตาร์ทก็จะลดลงด้วย เนื่องจากกระแสจะแปรผันโดยตรงกับแรงดัน และแรงบิดแปรผันกับแรงดันกำลังสอง สมมุติว่าถ้าแรงดันป้อนลดลง 50% แต่แรงบิดสตาร์ทจะลดลงเพียง 25% ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัดเท่านั้น เมื่อมอเตอร์ทำงาน แล้วมีความเร็วสูงขึ้นแล้วจึงค่อยๆลดความต้านทานออกจากวงจรขดลวดสเตเตอร์ วงจรสตาร์ทแบบนี้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่2.15 วงจรสตาร์ทลดแรงดันป้อนโดยต่อความต้านทานอันดับกับมอเตอร์

ข.วิธีต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์ (Auto-Transformer) อันดับกับมอเตอร์

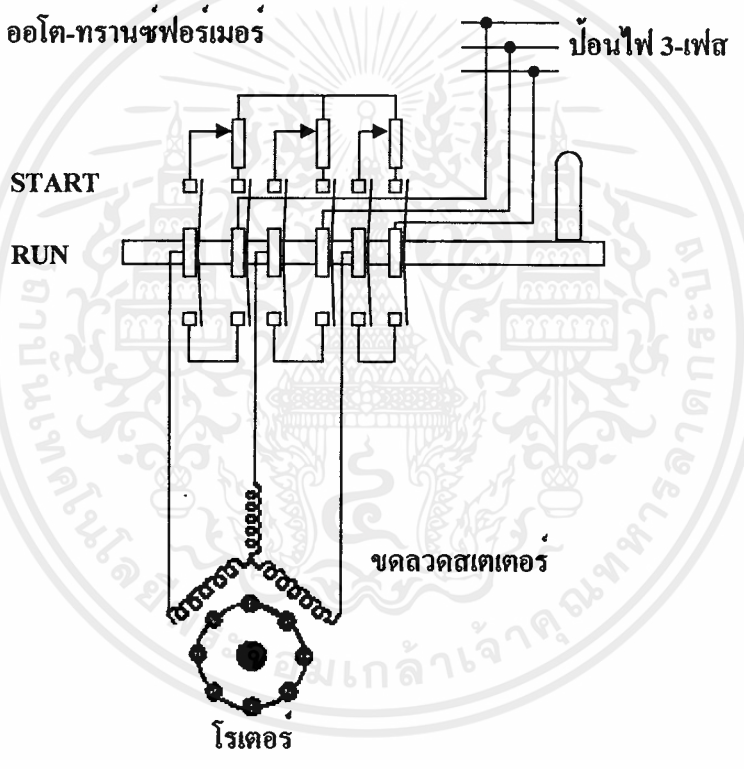
วิธีสตาร์ทมอเตอร์แบบนี้บางทีเรียกว่า ออโต-สตาร์ทเตอร์ (Auto-Starter) หรือเรียกว่าคอมเพนเซเตอร์ (Compensator) ซึ่งจะประกอบด้วย ออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์ และเป็นสวิตช์อัติโนมัติ ตามรูปใช้ออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์ หนึ่งเฟส 3 ตัว หรือออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์สามเฟส 1 ตัว เมื่อเริ่มสตาร์ท จะสับสวิตช์ไปยังตำแหน่งสตาร์ท จะสังเกตเห็นว่าแรงดันป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30149

มอเตอร์จะมีค่าลดลงเหลือเพียง 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 และ50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันป้อนเต็มพิกัด เพื่อให้สามารถเลือกแรงดันสตาร์ทได้อย่างเหมาะสม วงจรสตาร์ทแบบนี้ดังรูปที่ 2.16



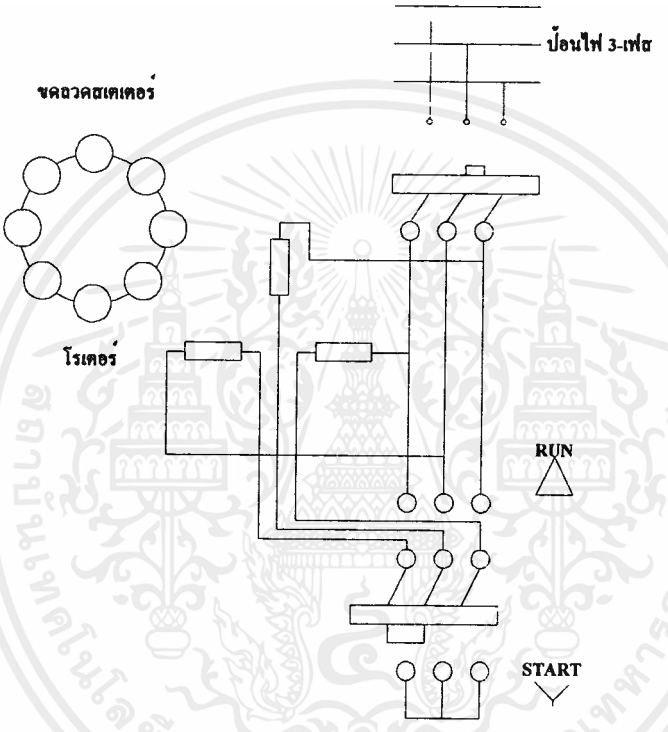
รูปที่ 2.16 วงจรสตาร์ทแบบต่อออโต-ทรานส์ฟอร์เมอร์อันดับกับมอเตอร์

ค.วิธีสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (Star-Delta Starter)

วิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์สามเฟส ที่มีลักษณะที่ขดลวดสเตเตอร์ทำงานแบบเดลต้าเท่านั้น วงจรสตาร์ทจะประกอบด้วยสวิตช์ชนิด 2 ทาง แบบ TPDT โดยที่สวิตช์นี้จะทำการต่อขดลวดสเตเตอร์ แบบสตาร์ในตอนสตาร์ท และต่อขดลวดแบบเดลต้าเมื่อมอเตอร์ทำงานปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะสตาร์ท ขดลวดต่อแบบสตาร์นั้น แรงดันป้อนขดลวดแต่ละชุดจะมีค่า 1/√3 ของแรงดันปกติ แต่แรงบิดสตาร์ทจะมีค่าเพียง1/3ของแรงบิดเมื่อโหลดเต็มพิกัด คือเมื่อมอเตอร์ต่อแบบเดลต้า และทำงานที่แรงดันเต็มพิกัด และกระแสสตาร์ทจะลดลงในสัดส่วนเดียวกันกับแรงดันป้อนขณะสตาร์ท คือลดลง1/√3ของกระแสโหลดเต็มพิกัด วิธีสตาร์ทมอเตอร์วิธีนี้มีราคาถูก และการควบคุมทำได้ง่ายและสะดวก วงจรสตาร์ทดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า

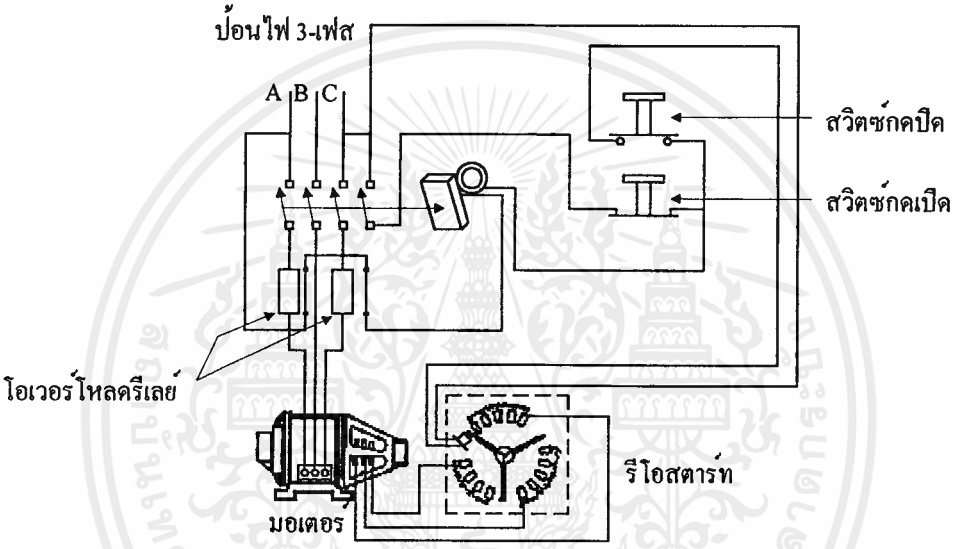
2.4.2 วิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์

มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์หรือสลิปริงมอเตอร์นี้ มักจะสตาร์ทด้วยแรงดันเต็มพิกัด คือป้อนแรงดันตามพิกัดให้กับขดลวดสเตเตอร์เลย กระแสไฟฟ้าตอนสตาร์ทจะถูกปรับให้ลดลงโดยการต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้เข้ากับวงจรโรเตอร์ ความต้านทานที่ปรับค่าได้ หรือที่เรียกว่า รีโอสตาร์ท จะต่อร่วมกับโรเตอร์ด้วยการต่อแบบสตาร์ ขณะสตาร์ทจะปรับค่าความต้านทานให้มีค่าสูงๆร่วมในวงจรโรเตอร์ แต่พอความเร็วสูงขึ้นแล้ว จึงค่อยๆลดความต้านทานลง จนกระทั่งตัดออกหมด และต่อลัดวงจรโรเตอร์ เหมือนกับรูปที่ 2.12 และ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มความต้านทานเข้าไปในโรเตอร์นั้น ไม่เพียงแต่ทำให้กระแสสตาร์ทลดลงเท่านั้น ยังทำให้แรงบิดสตาร์ทสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเพาเวอร์แฟคเตอร์ดีขึ้น

รีโอสตาร์ทที่ต่อร่วมกับโรเตอร์ อาจจะใช้แบบปรับความต้านทานได้เป็นขั้นๆ หรือเป็นแบบปรับค่าได้อย่างต่อเนื่องก็ได้ และอาจจะเป็นแบบบังคับด้วยมือ หรือแบบทำงานอัตโนมัติก็ได้ ซึ่งการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์เป็นวงจรดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรสตาร์ทสลิปริงมอเตอร์แบบต่อตรง

2.5 วิธีควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส จะมีความเร็วค่อนข้างคงที่ ความเร็วเปลี่ยนแปลงที่โหลดเต็มพิกัด (Speed Regulation) จะน้อยกว่า 5% การควบคุมความเร็วทำได้ยาก และมีความยุ่งยากกว่าการควบคุมความเร็วของ ดี.ซี.ชั้นมอเตอร์ วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามารถแบ่งได้เป็น การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์ และการควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์

2.5.1 การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์

การควบคุมความเร็วทางด้านสเตเตอร์ มีวิธีการทำดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงแรงดันที่ป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก แต่ไม่นิยมนำไปใช้เพราะความเร็วเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก และจะมีผลทำให้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วย

2. เปลี่ยนความถี่ที่ป้อน

วิธีนี้ก็มักไม่ค่อยนำไปใช้ ทั้งนี้จากกฎที่ว่า ความเร็วซิงโครนัสจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่เปลี่ยนไป วิธีนี้จะใช้กรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดของเครื่องกำเนิดเท่านั้น ความถี่จากเครื่องกำเนิด เปลี่ยนแปลงได้เมื่อปรับความเร็วของต้นกำลังที่ขับเครื่องกำเนิด อย่างไรก็ตาม การปรับความเร็วของต้นกำลังที่ขับเครื่องกำเนิดก็ยังมีขีดจำกัดอยู่

3. เปลี่ยนจำนวนโพลของสเตเตอร์

วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์สไควเรลเกจได้ เพราะสเตเตอร์จะมีจำนวนโพลมากเท่าไรก็ตาม โรเตอร์ก็จะมีจำนวนเท่านั้นด้วย ซึ่งเมื่อจำนวนโพลเปลี่ยนแปลงไป ความเร็วซิงโครนัสก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย วิธีเปลี่ยนจำนวนโพลของสแตอร์ กระทำได้โดยการพันขดลวดสามเฟสหลายชุดลงในสล็อต 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 ขดลวดชุดอื่นจะถูกจะถูกปล่อยไว้เฉยๆ เมื่อจะให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วอื่น ก็จะปลดขดลวดชุดเก่าออก และต่อขดลวดชุดใหม่แทน ซึ่งก็มีความยุ่งยากบ้าง แต่ถ้าใช้สวิทช์อัตโนมัติ ก็จะกระทำได้รวดเร็วขึ้น วิธีนี้มักจะมีกับมอเตอร์ลิฟต์ และมอเตอร์รถราง และรถไฟ และใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กที่ขับเครื่องมือกล

2.5.2 การควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์

การควบคุมความเร็วทางด้านโรเตอร์มีวิธีการดังนี้

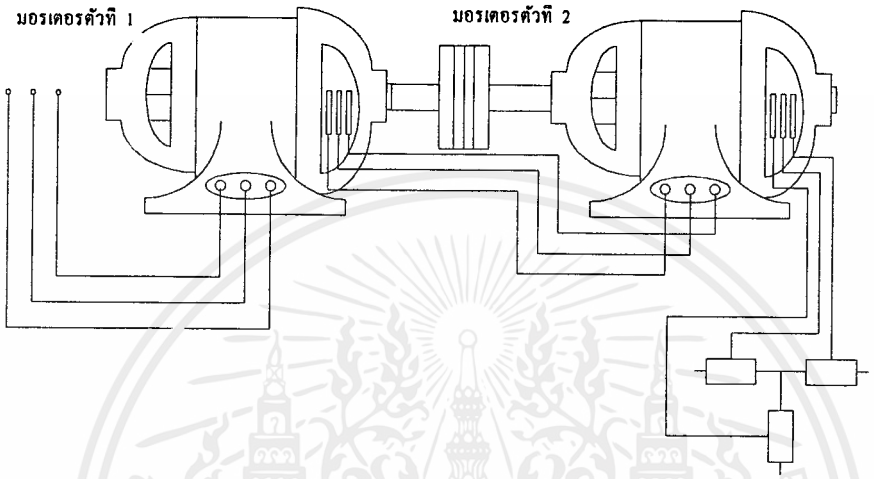
1. ต่อรีโอสตาร์ทเข้ากับมอเตอร์

วิธีนี้สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสลิปริงเท่านั้น โดยจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง สตาร์ทเตอร์ที่ใช้กับโรเตอร์จะต้องเป็นแบบที่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง ซึ่งอย่างไรก็ตามเมื่อต่อรีโอสตาร์ทเข้าไปในวงจรโรเตอร์ จะทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากมีกระแสเพิ่มขึ้น เป็นเหตุทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง นั่นก็คือความสูญเสียของกระแส จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วที่ลดลง วิธีนี้จึงมักใช้ในช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการให้มอเตอร์สองตัวทำงานร่วมกัน

วิธีนี้จะใช้มอเตอร์ 2 ตัวทำงานร่วมกัน โดยต่อร่วมเพลาเดียวกันดังรูปที่ 2.19 ดังนั้น มอเตอร์ทั้ง 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 fr เกิดที่โรเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1 และแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้ก็จะป้อนให้กับมอเตอร์ตัวที่ 2 มอเตอร์ทั้งสองก็จะเกิดแรงบิดขึ้นมา เมื่อความเร็วสูงขึ้น ความถี่ของโรเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1 ก็จะลดลง ทำให้ความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ตัวที่ 2 ลดลงด้วย เป็นเหตุให้ความเร็วของมอเตอร์ตัวที่ 1 ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ไม่ค่อยได้นำไปใช้งาน

3. วิธีการป้อนแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับโรเตอร์

วิธีการนี้มีหลักการง่ายๆคือ ป้อนแรงเคลื่อนหรือแรงดันไฟฟ้าให้กับโรเตอร์ ของมอเตอร์ตัวที่จะปรับความเร็ว โดยให้ความถี่ของแรงดันป้อนโรเตอร์เท่ากับความถี่เหนี่ยวนำของมอเตอร์ด้วย มอเตอร์ที่จะควบคุมความเร็วต้องเป็นมอเตอร์สลิปริง ถ้าแรงดันป้อนมีเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำของโรเตอร์ จะทำให้กระแสในโรเตอร์มากขึ้น ทำให้ดูเหมือนว่าความต้านทานลดลง และถ้าแรงดันป้อนมีเฟสต่างกัน 180 องศา กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำของโรเตอร์ จะทำให้กระแสโรเตอร์ลดลง ทำให้ดูเหมือนว่าความต้านทานโรเตอร์เพิ่มขึ้น ลักษณะแบบนี้จึงทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป

2.6 วิธีการระบุตำแหน่งการหมุนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การระบุตำแหน่งการหมุนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องศึกษาจากคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ที่ปรับความเร็วได้ จะใช้ความต้านทาน ที่ปรับค่าจากภายนอกได้ต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดโรเตอร์ เพื่อปรับความเร็วหรือเพิ่มแรงบิดเริ่มต้นหมุนมอเตอร์ แบบนี้นำไปใช้กับโหลดที่ต้องเริ่มต้นหมุนบ่อยๆ เช่น ปั้นจั่น เป็นต้น ส่วนงานที่ต้องการกำลังกลค่อนข้างคงที่และเริ่มต้นหมุนไม่บ่อยนัก เช่น มอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊ม เครื่องเป่าอากาศ พัดลม เป็นต้น จะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก

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 Torque) เป็น 2-3 เท่า ของแรงบิดที่พิกัดขนาดจ่ายโหลดเต็มที่

4. มีแรงบิดเริ่มต้นหมุน (Starting Torque) มากกว่าแรงบิดที่พิกัดเล็กน้อย ดังนั้นมอเตอร์จึงเริ่มต้นขับโหลดหรือต่อกับโหลดขณะเริ่มต้นหมุนได้ทันที โดยแรงบิดที่โหลดนั้นจะต้องไม่มากกว่าแรงบิดที่พิกัด

5. การสลับสายคู่ใดคู่หนึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทาง มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางได้ แต่ก่อนที่จะกลับทิศทางนั้น จะมีอยู่จุดหนึ่งที่มอเตอร์หยุดอยู่กับที่อย่างรวดเร็ว ซึ่งเราเรียกว่า Plugging ซึ่งนำไปสู่หลักการควบคุมมอเตอร์แบบหนึ่ง

6. ถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำถูกขับด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วซิงโครนัส จะมีผลทำให้ แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์กลับทิศทาง และ มอเตอร์ดังกล่าวจะทำงานเป็นเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำเนิดไฟฟ้า 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

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

ขณะเริ่มต้นหมุนฟลักแม่เหล็กที่สเตเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและสร้างแรงบิดที่เริ่มต้นหมุน (T_{st}) ที่โรเตอร์ ดังนั้นความเร็วเชิงมุมทางกลที่ทำให้เกิด T_{st} จะเป็นความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส (ω_S) เขียนสมการได้ดังนี้

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

โดย

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

2.การคำนวณแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque)

โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของโหลด จะมีขนาดต่ำกว่าค่าพิกัดของมอเตอร์เล็กน้อย แต่ถ้าโหลดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะมีอยู่จุดหนึ่งที่มอเตอร์ไม่อาจสร้างแรงบิดเพิ่มขึ้นได้อีก เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์มีแรงบิดสูงสุด ถ้าโหลดเพิ่มขึ้นเกินกว่านี้มอเตอร์จะหยุดหมุน

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

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

ตามปกติความต้านทานของสเตเตอร์ (R_S) จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์เทียบเคียง ($X_e = X_S + X_R$) จึงเขียนสมการ (2.5) ใหม่ ได้ดังนี้

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

เมื่อ X_e = รีแอกแตนซ์เทียบเคียง

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

$$I'_{R(mt)} = \frac{V_1}{\sqrt{2}X_e} \qquad (2.7)$$

และได้สมการ

$$P_{iR(mt)} = 3I'^{\,2}_{R(mt)} \frac{R'_R}{s_{mt}} = \frac{3V_1^2}{2X_e} \qquad (2.8)$$

สามารถหาค่าแรงบิดสูงสุดของโรเตอร์ได้จาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการ

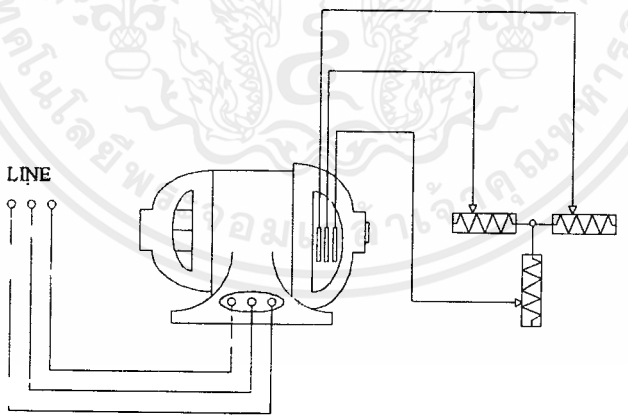
$$P_{O(mt)} = P_{dR(mt)} - P_{mech} \quad (2.10)$$

และสมการ

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

เทคนิคในการเริ่มต้นหมุน (Induction Motor Staring Technique) ในการอธิบายเกี่ยวกับเทคนิคการเริ่มต้นหมุน จะกล่าวถึงมอเตอร์ที่มีสลิบริง และไม่มีสลิบริงแยกกันเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

1.เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสลิบริงทำได้โดยต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้จากภายนอกอนุกรมกับขดลวดที่โรเตอร์ (โดยผ่านสลิบริง) ทั้ง 3 เฟส แล้วลัดวงจรที่จุดต่อร่วม ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เทคนิคในการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสลิบริง

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดให้ขดลวดที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนจะถูกจำกัดให้มีค่าต่ำลงเนื่องจากความต้านทานดังกล่าว.ถ้าปรับค่าความต้านทานลดลงเรื่อยๆ ความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อปรับความต้านทานให้มีค่าเท่ากับศูนย์ มอเตอร์ก็จะหมุน

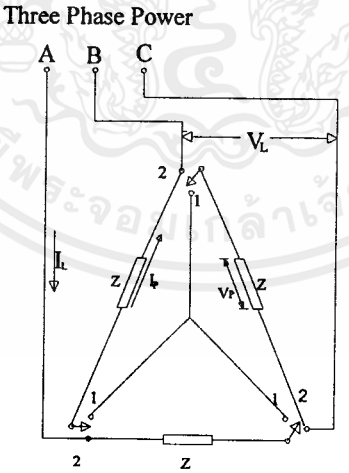
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยความเร็วเต็มพิกัด

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 ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การมืดสลัวชั่วขณะของแสงสว่าง และการตัดอัตโนมัติของอุปกรณ์ป้องกัน ด้วยเหตุนี้การเริ่มต้นหมุนแบบนี้จึงใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีพิกัดไม่เกิน 5 แรงม้า หรือ 3.5 กิโลวัตต์ เท่านั้น

วิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุน จะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้ในห้องทดลอง คือ การใช้ Variac 3 เฟส ปรับค่าแรงดันไฟฟ้า หรือการใช้ Autotransformer 3 เฟส ที่ปรับค่าได้ด้วยมือ



รูปที่ 2.21 การต่อขดลวดแบบ Y - Δ

วิธีการต่อขดลวดแบบ Y - Δ (Wye-Delta Starting) มีวิธีการคือขณะเริ่มต้นหมุน ขดลวดที่สเตเตอร์ จะต่อแบบ Y เมื่อความเร็วของมอเตอร์เป็น 75 %ของความเร็วซิงโครนัสจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนมาต่อแบบ Δ ด้วยสวิทช์อยู่ที่ รีเลย์ (ดังรูปที่ 2.21 เมื่อสวิทช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 ขดลวดที่สเตเตอร์จะต่อแบบ Y และเมื่อสวิตซ์อยู่ที่ตำแหน่ง 2 ขดลวดที่สเตเตอร์จะต่อแบบ Δ) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติจริง

ขณะเริ่มต้นหมุนเหตุผลที่ต่อขดลวดแบบ Y ก็เพราะทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนมีค่าต่ำกว่าการต่อขดลวดแบบ Δ

การพิสูจน์ว่าเมื่อต่อขดลวดที่สเตเตอร์แบบ Y กระแสไฟฟ้าขณะเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าการต่อแบบ Δ ทำได้โดยการพิจารณาเมื่อ

V_L = แรงดันไฟฟ้าที่สาย

V_P = แรงดันไฟฟ้าที่เฟส

Z = อิมพีแดนซ์ต่อเฟส

I_L = กระแสไฟฟ้าที่สาย

I_P = กระแสไฟฟ้าที่เฟส

การเริ่มต้นหมุนที่ต่อขดลวดแบบ Δ จะได้จากสมการ

$$I_P = \frac{V_L}{Z} \qquad (2.12)$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}I_P = \frac{\sqrt{3}V_L}{Z} \qquad (2.13)$$

การเริ่มต้นหมุนที่ต่อขดลวดแบบ Y จะได้สมการ

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \qquad (2.14)$$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \qquad (2.15)$$

$$I_{LY} = I_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \qquad (2.16)$$

หากกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนขณะที่ต่อขดลวดแบบ Y ด้วยกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนขณะที่ต่อขดลวดแบบ Δ จะได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$= \frac{1}{\sqrt{3}\ \sqrt{3}} = \frac{1}{3} \quad (2.18)$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3} I_{L\Delta} \quad (2.19)$$

จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนของการต่อขดลวดแบบ Y เป็น 1/3 ของการต่อขดลวดแบบ Δ

แต่อย่างไรก็ตามการต่อขดลวดแบบ Y จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าแรงบิดที่พิกัด 1/3 เท่า ทั้งนี้เพราะแรงบิดเริ่มต้นหมุนจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าที่สายยกกำลังสอง นอกจากนี้การต่อขดลวดแบบ Y นั้นมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดที่สเตเตอร์เท่ากับ $V_L / 3$

2.7 การมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์

2.7.1 หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์

เทคนิคในการสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตช์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดัน 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

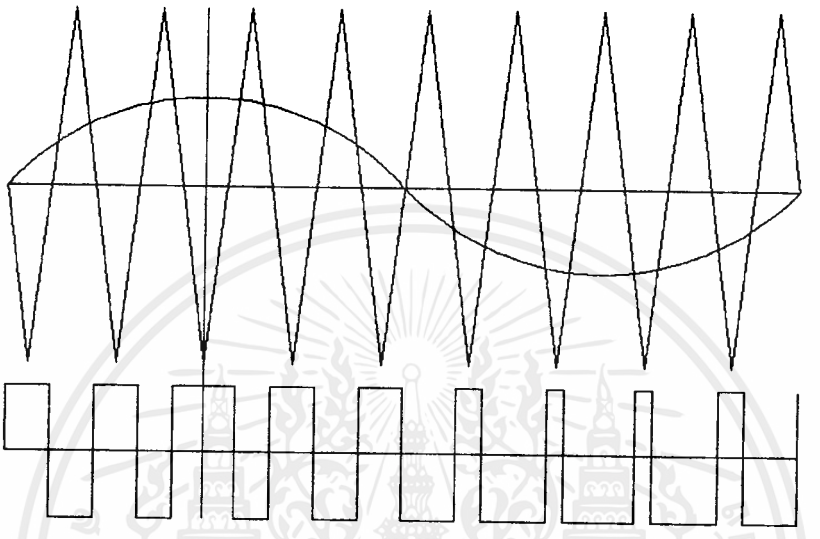
$$A\,\mathrm{Sin}(\alpha_1) = (-1)\left(2i - \frac{2P\alpha}{\pi}\right) \quad (2.20)$$

โดย A = ตัวประกอบความสูง ระหว่างค่าสูงสุดสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P = อัตราส่วนระหว่างความถี่สัญญาณพาห์กับความถี่สัญญาณอ้างอิง

α_1 = มุมสวิตช์ใดๆ ในช่วง 1/4 วัฏจักร โดย $1 < I < (p - I) / 2$



รูปที่ 2.22 หลักการสร้างสัญญาณ PWM ตามวิธีฮาร์โมนิกย่อย

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการออกแบบวงจรควบคุมแบบประยุกต์ใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ เราสามารถคำนวณค่ามุมสวิตช์สำหรับทุกความถี่เอาต์พุต เพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำของวงจรได้เช่นกัน

2.เทคนิค PWM แบบจำกัดฮาร์โมนิก (Harmonic Elimination Techique)

วิธีการนี้ใช้สำหรับวงจรควบคุมแบบดิจิตอล หรือ ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์เพียงเท่านั้น โดยนำค่ามุมที่คำนวณได้ตามหลักการนี้สำหรับทุกความถี่ขาออกเพื่อเก็บไว้ในหน่วยความจำของวงจร หลักการคำนวณมาจากทฤษฎีฟูริเออร์ตามรูปคลื่น PWM

2.7.2 เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างของพัลส์ แบบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์

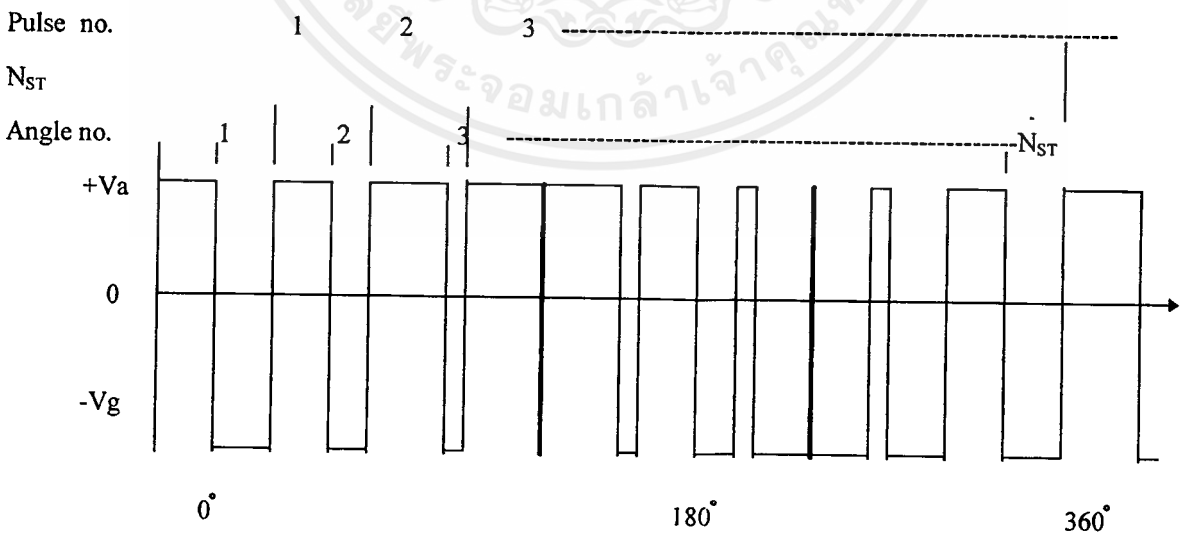
จากหลักการสร้างสัญญาณ PWM ทั้งสองหลักการที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่น แบบฮาร์โมนิกย่อยสามารถคำนวณหามุมได้ง่าย แต่วงจรควบคุมมักเป็นแบบแอนะลอกที่ยุ่งยากในการเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มฟังก์ชันในวงจรควบคุมนั้นๆ ส่วนวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังต่ำและใช้ความถี่การสวิตช์ค่อนข้างต่ำ สำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาดกำลังงานสูง ทั้งนี้เพราะความถี่การสวิตช์สูงสุดที่สามารถเลือกใช้ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา Turn on และ Turn off ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังในอินเวอร์เตอร์เช่นกัน

วงจร PWM ที่ได้ออกแบบสร้างขั้นนี้ ใช้หลักการเทียบเคียงพื้นที่ใต้เส้นโค้งไซน์ดังได้กล่าวถึงหลักการ และผลการจำลองสัญญาณกระแสแล้ว ทั้งนี้โดยการคำนวณหาค่ามุมสวิตช์และตัวนับค่ามุม เมื่อได้ค่าตัวนับของมุมสวิตช์ทุกมุมของทุกความถี่ขาออกแล้ว จึงนำมาสร้างเป็น "แพทเทอร์นการสวิตช์" เก็บไว้ในส่วนหน่วยความจำกึ่งถาวร (EPROM) ของวงจร เพื่อให้โปรแกรมหลักสามารถเรียกใช้ได้ขณะสร้างสัญญาณที่ความถี่หลักมูลใดๆ วงจรPWM นี้สามารถควบคุมความถี่หลักมูลได้ตั้งแต่ 0 จนถึง 60 เฮิรตซ์ โดยปรับได้ขั้นละ 1เฮิรตซ์ โดยใช้ความถี่การสวิตช์ค่อนข้างคงที่ ที่ 1,440 เฮิรตซ์โดยประมาณ ทำให้สามารถกำจัดความถี่ที่เป็นความถี่ฮาร์โมนิก ที่มีค่าต่ำกว่า 1.4 กิโลเฮิรตซ์ได้

สัญญาณ PWM โดยใช้หลักการเทียบเคียงพื้นที่ใต้โค้งไซน์นี้ จะมีการแบ่งฐานเวลาออกเป็นส่วนย่อย ช่วงละเท่าๆกันออกเป็น N_{st} ส่วน มุมสวิตช์ต่างๆ ที่จะต้องคำนวณหาเพื่อเก็บไว้เป็น "แพทเทอร์นการสวิตช์" ในหน่วยความจำ คือมุมที่ทำให้วงรอบภาระ (Duty cycle) ของแต่ละส่วนย่อยๆ นั้น มีค่าเทียบเท่าขนาด ของสัญญาณไซน์ ณ ค่ามุมนั้นๆ ซึ่งจะเห็นที่ได้ว่ามุมสวิตช์ที่จะคำนวณหา มีจำนวน N_{st} มุมเช่นกัน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 สัญญาณ PWM ตามหลักการเทียบพื้นที่ใต้โค้งไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว คือ ไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก บรรจุไว้ในแผงวงจรรวมเพียงชิพเดียว ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS-51 อันได้แก่ เบอร์ 8051 และ 8052 ผลิตโดยบริษัท Intel มีการทำงานเป็นแบบ 8 บิต

2.8.1 โครงสร้างของ 8051

ภายใน 8051 จะประกอบขึ้นด้วยเกตต่างๆ เช่น AND, OR และ NOT ซึ่งเกตเหล่านี้จะถูกออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่างๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่ง และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น โครงสร้างภายในของ 8051 จะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ ดังแผนผังในรูปที่ 2.24 แผนผังในรูปที่ 2.24 เป็นโครงสร้างใหญ่ๆ ของ 8051 เนื่องจากลักษณะของ 8051 เป็นคอมพิวเตอร์ จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

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

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

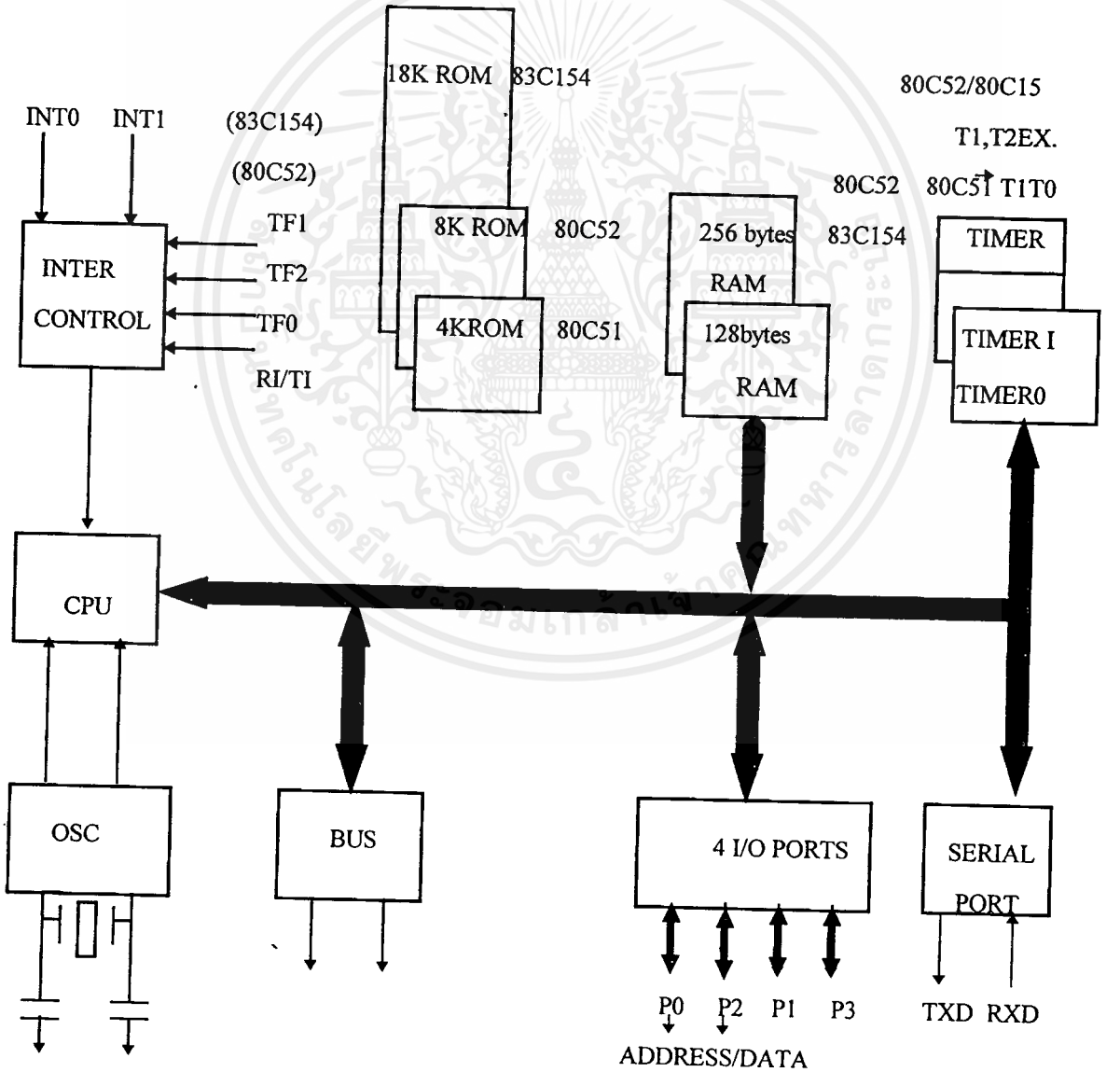
1.ค่าตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำใน 8051 จะติดต่อกับหน่วยความจำประเภท Progarm Memory หรือ Data Memory ได้สูงสุดชนิดละ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นการอ้างอิงแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐาน 2 ทั้งหมด 16 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ข้อมูลที่จะอ่าน หรือเขียนกับหน่วยความจำที่ตำแหน่งในข้อ 1

3.สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

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



รูปที่ 2.24 แผนผังโครงสร้างของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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 Machine Cycle จะเริ่มทำงาน State 1 Phase 1 (SIP1) ของไซเคิลต่อไป ใน 1 Machine Cycle วงจร Timing and Control จะสร้างสัญญาณ ALE ออกมา 2 ไซเคิล เพื่อ Fetch คำสั่งเข้าไป 2 ครั้งเสมอ

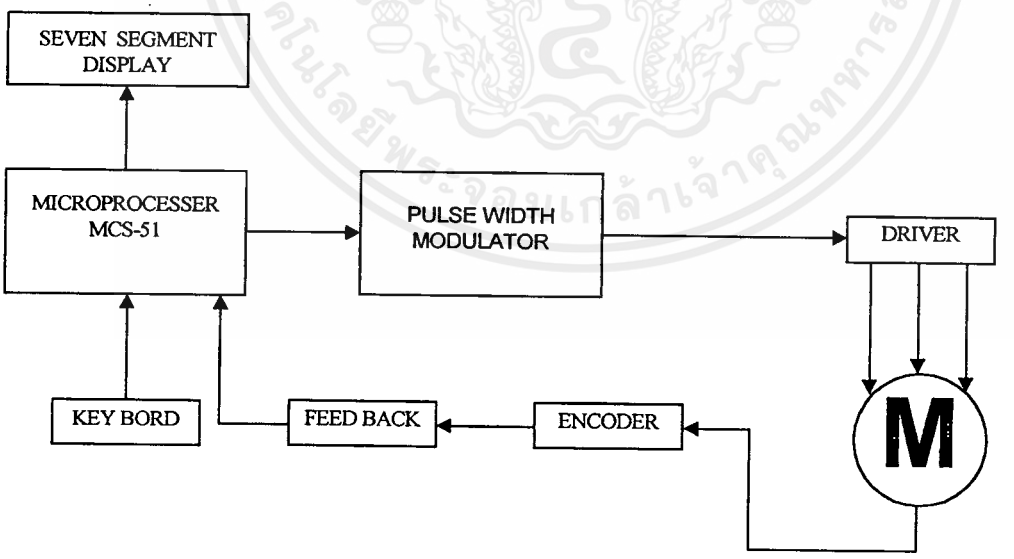
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

เนื้อหาในบทนี้ กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรส่วนต่างๆ ของโครงงานระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 โดยนำหลักการจากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มาประกอบการออกแบบและสร้างวงจรต่างๆ ที่จะนำไปใช้งานในโครงงาน

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน จะประกอบไปด้วยแผนผังการทำงานของโครงงาน , วงจรภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง , วงจรสร้างสัญญาณ PWM ,วงจรเข้ารหัส, วงจร VCO , วงจร DAC , วงจรแสดงผลและรับคีย์ , วงจรป้องกัน , วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น, วงจรแหล่งจ่ายไฟ , วิธีการเขียนโปรแกรม และโครงสร้างของโครงงานและการออกแบบ

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนผังการทำงานของโครงงานทั้งหมด โดยการทำงานจะเริ่มที่ไมโครโปรเซสเซอร์ 8051 จะรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ซึ่งเป็นรหัสที่ใช้ควบคุมความเร็ว, ตำแหน่ง , การหมุนเดินหน้า , การหมุนถอยหลัง ไมโครโปรเซสเซอร์จะรับข้อมูลที่เป็นรหัสแล้วเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บไว้แล้วทำตาม โดยในขณะเดียวกันก็จะส่งข้อมูลว่าขณะนั้นกำลังทำงานอะไร ออกไปที่ชุดแสดงผลที่เป็น 7-Segment ซึ่งในการทำงานไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งข้อมูลไปยังชุดสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งจะเป็นการสั่งให้ชุดสร้างสัญญาณ PWM ทำงานตามฟังก์ชั่น ตามที่ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งมา

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

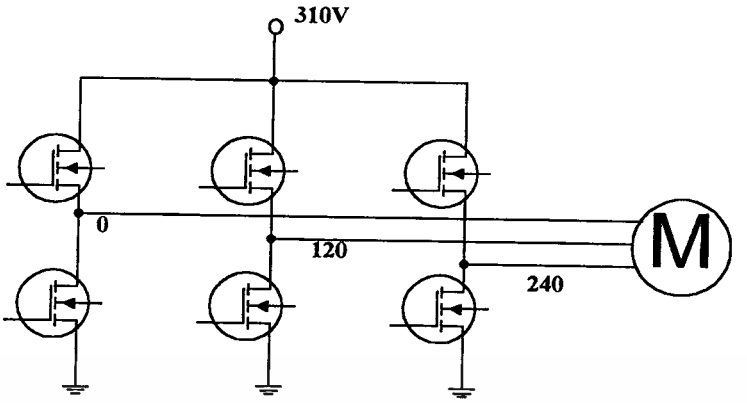
3.2 วงจรภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

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

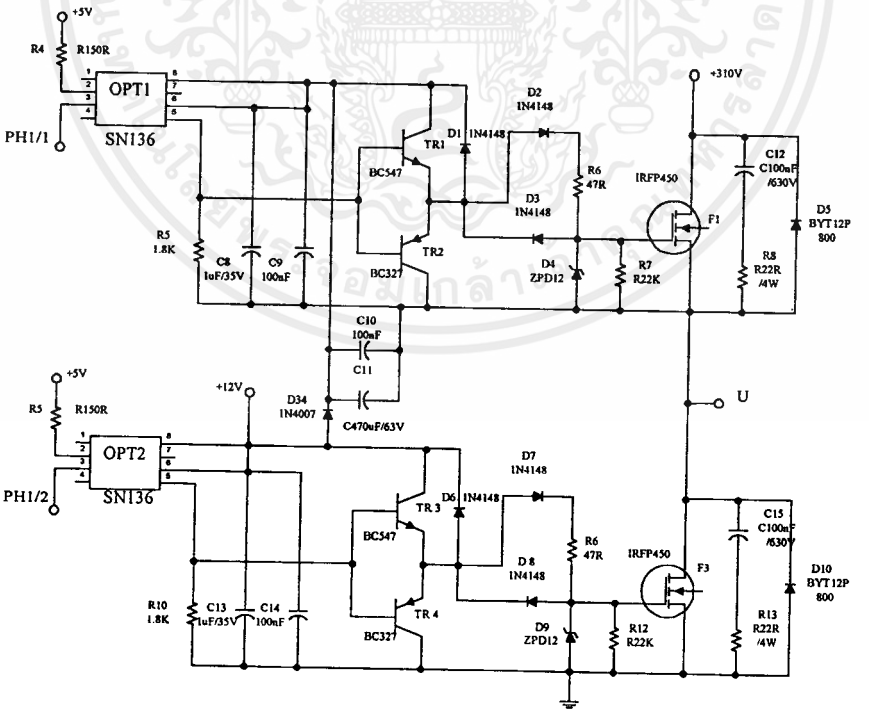
การสร้างชุดสวิตชิ่งกำลังนี้จะใช้มอสเฟตทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่ง เนื่องจากสามารถที่จะทำการไบอัสได้ง่าย ไม่ลำบากในการจัดวงจร มีความเร็วในการสวิตชิ่งสูง และมี Time Recovery ต่ำ เมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ โดยเฉพาะชุดที่ใช้ในการขับชุดสวิตชิ่ง ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องไปถึงการขับมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรสวิตชิ่งแบบฮาล์ฟบริดจ์

ในโครงงานจะใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP 450 เป็นตัวสวิตชิ่ง โดยสามารถแสดงรูปแบบวงจรสวิตชิ่งที่ใช้ขับมอเตอร์ได้จริง ทั้งภาคหน้าและภาคหลังได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งในที่นี้จะแสดงเพียงเฟสเดียว เพราะอีกสองเฟสจะมีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 3.3 วงจรชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

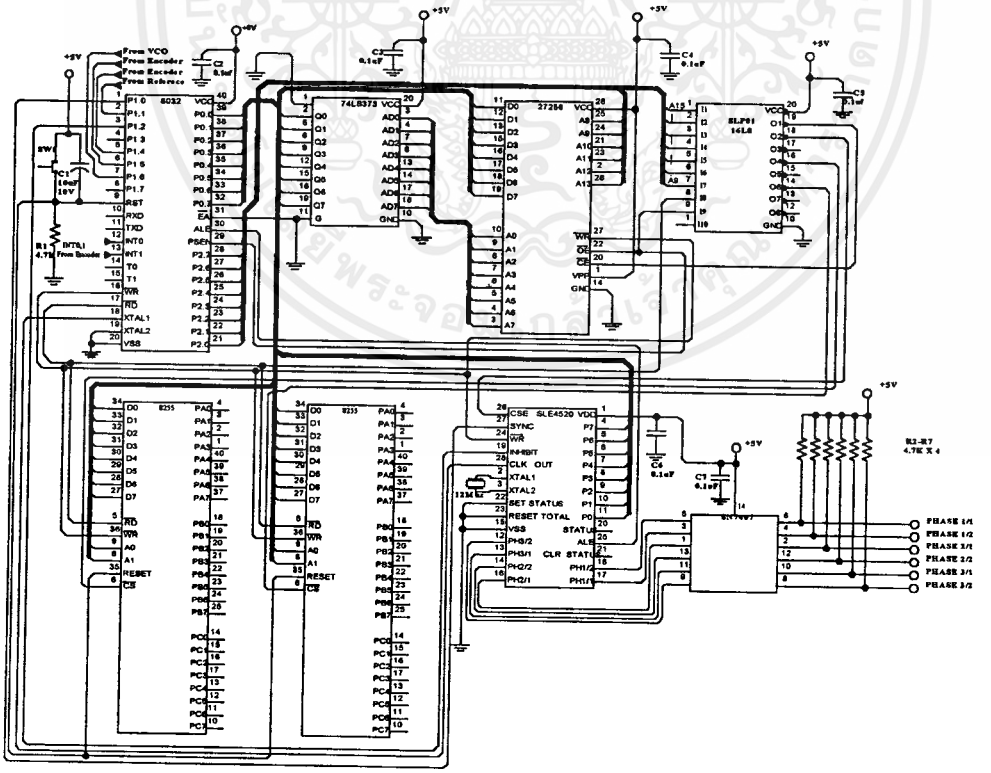
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จากวงจรรูปที่ 3.3 เนื่องจากความต้านทานระหว่างขาเกทและขาซอร์ส มีความต้านทานสูงมากจึงสามารถเทียบแรงดันไบอัสระหว่างมอสเฟตในกิ่งเดียวกันของวงจรฮาล์บริดจ์กับกราวด์ได้

การป้องกันมอสเฟตไม่ให้เกิดการเสียหาย เนื่องจากแรงดันป้อนกลับ จะใช้ไดโอดความเร็วสูงต่อคร่อมตัวมอสเฟต ซึ่งคุณสมบัติของไดโอดจะต้องทนกระแสได้สูง และ Time Recovery ต่ำ เช่นกัน

3.3 วงจรสร้างสัญญาณ PWM



รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

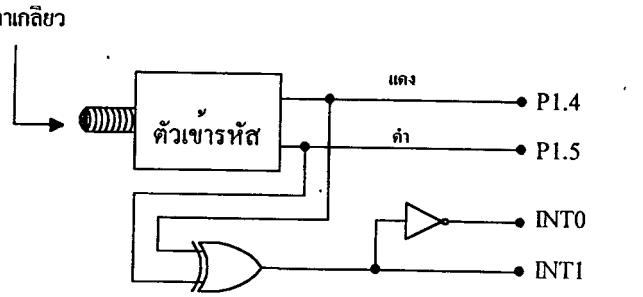
วงจรสร้างสัญญาณ PWM เป็นวงจรที่มีความสำคัญมากที่สุดวงจรหนึ่งในโครงงานนี้ เพราะเป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณ PWM เพื่อส่งออกไปควบคุมการสวิตช์ของวงจรสวิตชิ่งกำลัง โดยลักษณะการออกแบบวงจรวงจรจะใช้ไอซีสำเร็จรูปในการสร้างสัญญาณ PWM

การสร้างวงจรจะใช้ไอซี SLE 4520 ของบริษัทซีเมนต์ เป็นตัวหลักโดยมีลักษณะของวงจรต่อร่วมกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โดยวงจรที่สร้างเป็นไปตามรูปที่3.4

จากรูปที่3.4 เอาต์พุตของไอซี SLE 4520 กรณีไม่ทำงานจะให้เอาต์พุตออกมาเป็น "1" ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 7407 เป็นบัฟเฟอร์ เพื่อต่อเข้ากับพอร์ตของวงจรสวิตชิ่งกำลัง และสัญญาณเอาต์พุตของ SN 7407 เป็นแบบ Open Connector จึงต้องใช้ รีซิสเตอร์พูลอัพ เพื่อเป็น Vcc ให้ SN 7407

3.4 วงจรเข้ารหัส

วงจรเข้ารหัสเป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบทิศทาง และตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ โดยลักษณะของวงจร จะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป มีลักษณะคล้ายมอเตอร์ขนาดเล็ก โดยวงจรจะอยู่ภายใน ซึ่งติดตั้งอยู่กับเพลาที่ติดกับพูลเลย์ตัวใหญ่ ไฟเลี้ยงที่ใช้จะใช้ไฟ 5 โวลต์ เมื่อมอเตอร์หมุน จะทำให้พูลเลย์ที่ติดอยู่ที่มอเตอร์หมุน ถ่ายกำลังงานส่งไปที่พูลเลย์ตัวใหญ่หมุนตาม ทำให้ อุปกรณ์ที่เป็นตัวเข้ารหัส หมุน เมื่อตัวเข้ารหัส หมุน วงจรภายในตัวเข้ารหัส จะทำการเช็คการหมุนของเพลา และให้พัลส์ออกมาเป็นรหัสเกรย์ ซึ่งเมื่อตัวเข้ารหัสหมุนครบ 1 รอบ จะให้พัลส์ออกมา 100 พัลส์ ซึ่งเอาท์พุตของตัวเข้ารหัส จะมี 2 เอาต์พุต เป็นลักษณะของรหัสเกรย์ (Gray Code) โดยจะสามารถดูรูปสัญญาณได้ ในการทดลองบทที่ 4 ซึ่งจะมีความแตกต่างกัน 4 รหัส



รูปที่ 3.5 ตัวเข้ารหัสและวงจรประกอบ

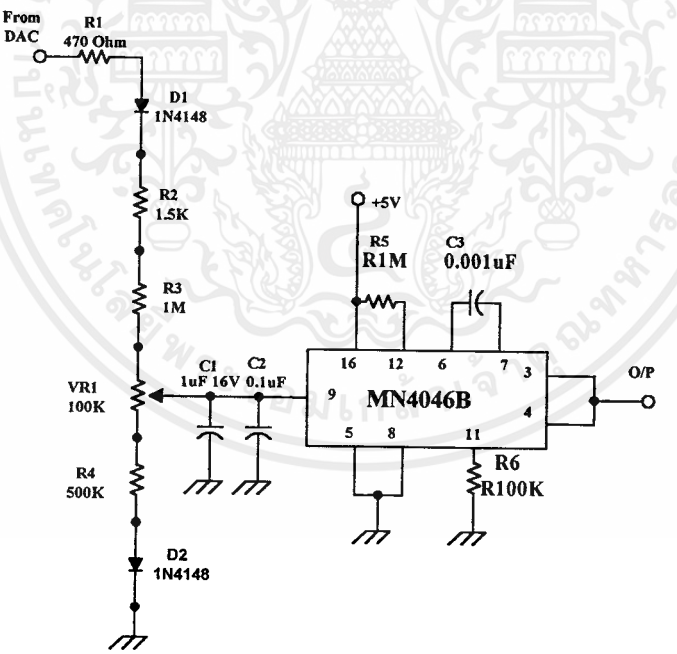
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเอาต์พุตของตัวเข้ารหัส จะนำมาทำการป้อนเข้าวงจรประกอบตัวเข้ารหัส เพื่อให้ได้สัญญาณตามที่ต้องการ เนื่องจากในการนับจะมีค่าเศษ จึงแก้ปัญหาด้วยการใช้วงจรประกอบ ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเป็นลักษณะของการติดตั้งเพื่อใช้งาน

3.5 วงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ (Voltage Control Oscillator :VCO)

วงจร VCO เป็นวงจรที่ใช้ในการกำเนิดความถี่ โดยใช้แรงดันจากวงจร Digital To Analog (DAC) เป็นตัวควบคุม ความถี่ที่ออกไปทางเอาต์พุต และความถี่ที่ได้ทางเอาต์พุตจะป้อนเข้าไปที่ขา P1.7 ของ 8051 เพื่อใช้ในการสวิตชิ่ง

การสร้างวงจรจะให้ความถี่ที่ได้จาก VCO เป็นตัวเปรียบเทียบการสวิตช์ภายใน 8051 หรือถ้าเป็น แอนะลอกก็คือรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ใช้เปรียบเทียบกับรูปคลื่นไซน์ของวงจร PWM นั่นเอง ซึ่งวงจร VCO ที่ได้ออกแบบเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจร VCO

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าการทำงานของวงจร VCO ไอซีที่ใช้คือเบอร์ MN 40463 โดยที่อินพุตของ VCO จะใส่ตัวเก็บประจุค่าๆ หนึ่งไว้เพื่อใช้หน่วงเวลา กรณีมีการเปลี่ยนสเต็ป

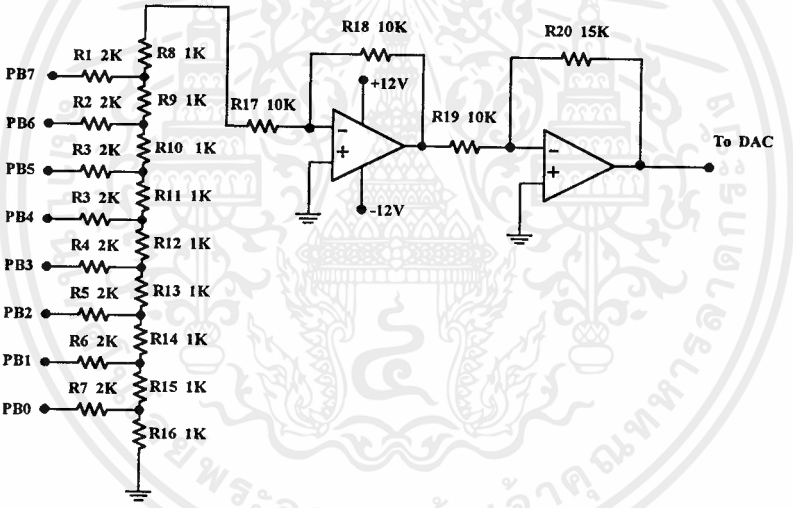
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของมอเตอร์ โดยในการกำเนิดความถี่ โครงงานนี้จะกำเนิดความถี่ 2 ระดับคือ ความเร็วต่ำ มีค่าประมาณ 288 เฮิรตซ์ และความเร็วสูง มีค่าประมาณ 2.5 กิโลเฮิรตซ์

3.6 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก (Digital To Analog:DAC)

วงจร DAC เป็นวงจรที่ใช้แปลงข้อมูลขนาด 8 บิต จากพอร์ตของ 8051 ไปเป็นแรงดันขนาด 256 ระดับ เพื่อใช้ป้อนให้วงจร VCO เพื่อสร้างความถี่ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์อีกทีหนึ่ง

การออกแบบวงจร DAC ในโครงงานนี้จะเป็นแบบวงจร R-2R Radder โดยจะมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจร DAC

จากรูปที่ 3.7 ในการทำงานเนื่องจากแรงดันที่ได้จาก R-2 R Radder จะมีแรงดันที่ออกเอาต์พุตได้สูงสุดเท่ากับแรงดันสูงสุดของ บิตใดๆ ที่ป้อนให้วงจร R-2R Radder ซึ่งการทำงานของ 8051 กรณีข้อมูลเป็น “1” แรงดันสูงสุดแต่ละบิตที่เป็น “1” จะสูงสุดไม่ถึงแรงดันไฟเลี้ยง ดังนั้นจึงต้องมีการขยายแรงดันของแรงดันของแรงดันที่ได้จาก DAC ขึ้น โดยใช้ออปแอมป์

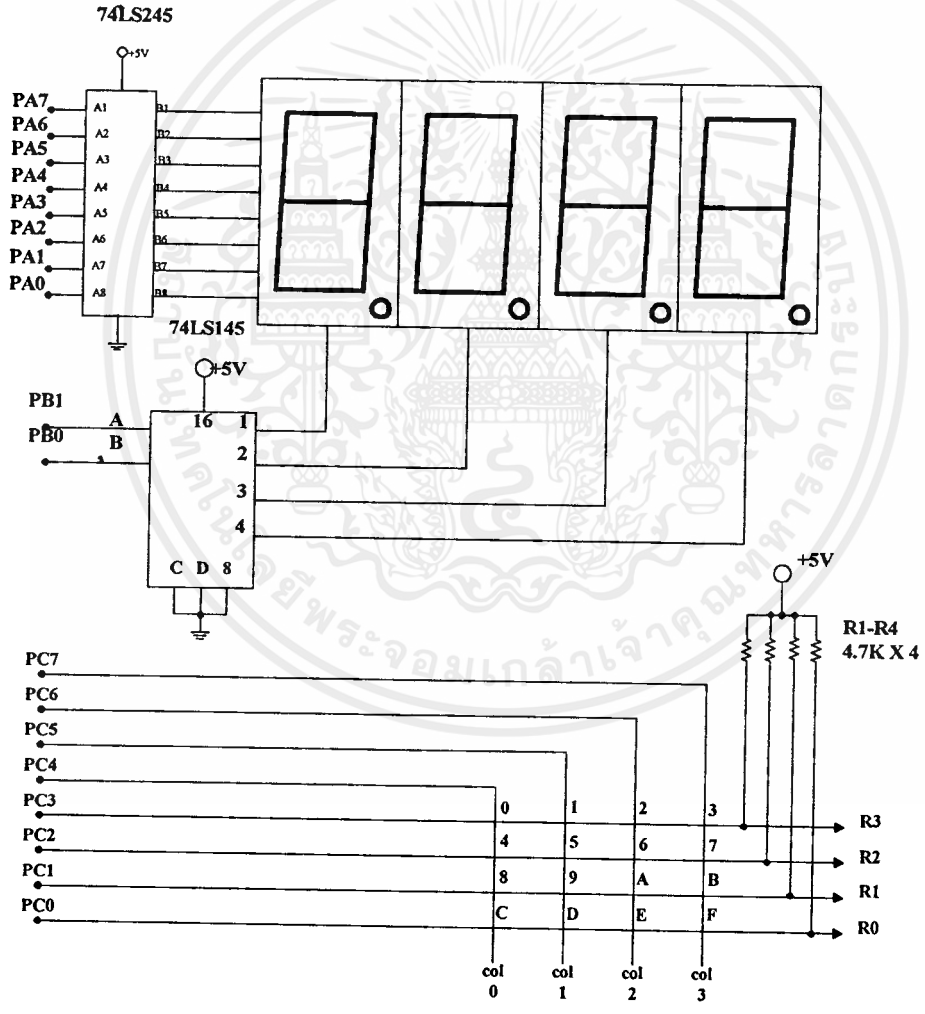
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรแสดงผลและรับคีย์

การใช้งานวงจรแสดงผลในโครงงานนี้ จะใช้ตัวแสดงผลเป็น 7-Segment ซึ่งลักษณะของวงจร พิจารณาได้จากรูปที่ 3.8

โดยการใช้งาน ไอซีที่ใช้ในที่นี้คือไอซีเบอร์ 74LS145 และ 74LS245 โดย 74LS145 เป็นตัวที่ใช้สแกนคอลัมน์ ส่วนไอซีเบอร์ 74LS245 เป็นบัฟเฟอร์ข้อมูลจากพอร์ต 8255

วงจรแสดงผลนี้จะทำงานคู่กับวงจร สแกนคีย์ ซึ่งเป็นแบบ 4×4 เป็น 16 คีย์ โดยจะมีเลขประจำคีย์คือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Point, Run, Clr, X, X และ Ref



รูปที่ 3.8 วงจรแสดงผลและรับคีย์แบบใช้ 7-Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรป้องกัน

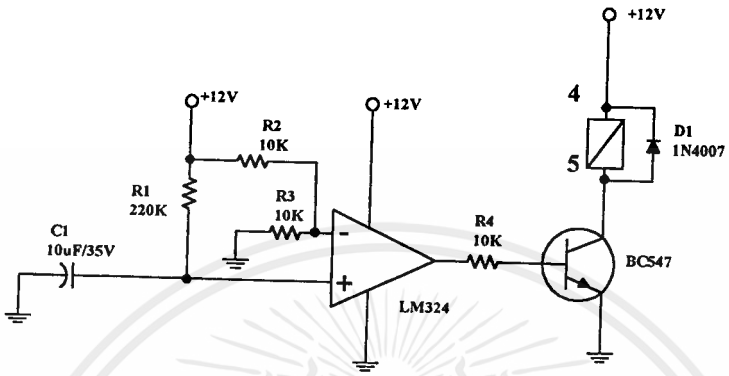
เนื่องจากโครงงานนี้เป็นโครงงานที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากถึง 1/4 แรงม้า หรือ 196.67 วัตต์ ซึ่งคิดเฉพาะชุดกำลัง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานภายในโครงงานนี้ไม่ให้อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการสวิตชิ่งกำลัง เพิ่มในส่วนของทางด้านวงจรควบคุมนั้น อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการกำลังในการทำงานมากนัก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความสำคัญในการป้องกันมาก แต่ในส่วนของวงจรที่ใช้กำลังในการทำงานมาก จะต้องได้รับการป้องกันเป็นพิเศษ ซึ่งในการป้องกันอุปกรณ์ในการสวิตชิ่งกำลังสามารถที่จะทำได้ทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟแวร์ ในกรณีซอฟแวร์ขณะที่วงจรกำลังทำงาน เราสามารถที่จะกำหนดการ Turn On ของมอสเฟตแต่ละตัวได้โดยการกำหนดเวลา Dead time ที่ไอซีผลิต PWM เบอร์ SLE 4520 รวมทั้งการป้องกันในส่วนของแมคคานิกส์ ซึ่งเมื่อเครื่องทำงาน จะเกินการวิ่งของยอย ซึ่งยอยจะมีแรงในการวิ่งมาก เพราะถูกทดสอบลงมา กรณีเกิดการผิดพลาดของโปรแกรม จะมีการป้องกันโดยการใช้สวิตช์ตัดไฟจากวงจรควบคุม ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รีเซ็ต และหยุดการทำงาน ตัวตัดไฟจะใช้ไมโครสวิตช์ในการตัด

ในส่วนทางด้านฮาร์ดแวร์ ทั้งชุดจ่ายไฟให้สวิตชิ่งกำลัง และชุดสวิตชิ่งกำลังจะได้รับการป้องกันเป็นพิเศษ โดยการป้องกันกรณีของชุดสวิตชิ่งกำลัง เกิดการลัดวงจรหรือดึงกระแสเกินจะมีฟิวส์ขนาด 10 แอมแปร์ เป็นตัวตัดไฟเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเพิ่มมากขึ้นในส่วนอื่นๆ ในส่วนของวงจรเร็กติไฟเออร์ จะป้องกันในกรณีของการจ่ายไฟให้แก่วงจรในตอนแรก กรณีตัวเก็บประจุค่า 470 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ ทำการชาร์จประจุจะดึงกระแสมาก เราจะทำการหน่วงเวลาไว้ก่อน โดยให้กระแสให้ผ่านรีซิสเตอร์ค่า 47 โอห์มก่อนแล้วค่อยให้รีเลย์ตัดไฟเข้าวงจร 100 % ซึ่งจะสามารถป้องกันทั้งแรงดันที่จะกระชากเข้าวงจรมอสเฟต เร็วเกินไปด้วย ซึ่งพิจารณาการออกแบบจะได้วงจรดังรูปที่ 3.9

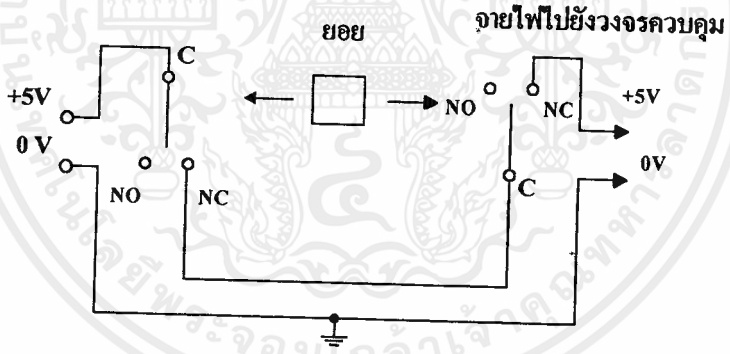
ส่วนวงจรป้องกันทางด้านกลไก หรือด้านแมคคานิกส์ จะเป็นวงจรที่ใช้ป้องกันตัวยอย ซึ่งติดตั้งตัวบอกตำแหน่งอยู่ด้านบนตัวยอย เพื่อเคลื่อนที่ไปชนกรอบของตัวเครื่อง ซึ่งในการเคลื่อนที่ของยอยนั้น จะมีกำลังในการเคลื่อนที่สูงมาก เพราะถูกทดรอบลงมามาก ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรป้องกัน โดยติดตั้งไมโครสวิตช์ที่กรอบหรือผนังของเครื่องแต่ละด้าน ซึ่งไมโครสวิตช์จะทำการตัดไฟเลี้ยงวงจรควบคุมออกทันที ในกรณีถ้ายอยเกิดการเคลื่อนที่เลยจุดอ้างอิงที่ 0000 มิลลิเมตร ก็จะไปชนกระเดื่องของไมโครสวิตช์และตัดไฟออกจากวงจรควบคุมทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน ตัวยอยก็จะเคลื่อนที่ ทำให้เครื่องปลอดภัย ซึ่งสามารถสร้างวงจรได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 วงจรป้องกัน

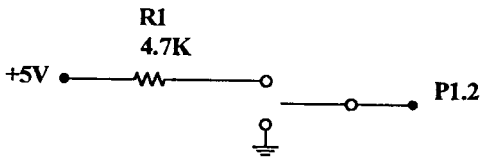


รูปที่ 3.10 วงจรป้องกันตัวเครื่อง

3.9 วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น

วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น (First Reference) เป็นวงจรที่ใช้ตรวจสอบตัวบอกตำแหน่งว่าชี้บอกตำแหน่งที่ศูนย์หรือยัง ใช้ในกรณีเมื่อเริ่มต้นการใช้งานของเครื่อง ซึ่งสามารถที่จะออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น

จากรูปที่ 3.11 ตัวสวิตช์ที่ใช้เป็นไมโครสวิตช์ ลักษณะของวงจรกรณีปกติขา P1.2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้รับแรงดันขนาด 5 โวลต์ จากรีซิสเตอร์พูลอัพ ค่า 4.7 กิโลโอห์ม เมื่อตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่มาชนไมโครสวิตช์ ไมโครสวิตช์จะตัดวงจรให้ขา P1.2 จะได้รับแรงดันไฟ 0 โวลต์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาและรับรู้แล้วทำการสั่งมอเตอร์ให้หยุดทำงานและปรับเปรียบเทียบตัวชี้ตำแหน่งให้เข้าสู่จุดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0000 มิลลิเมตร

3.10 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟจะแบ่งออกเป็น 4 ชุดหลักๆ ดังนี้

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดสร้างสัญญาณ PWM

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้กับชุดขับเพาเวอร์มอสเฟต

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้วงจรขยายแรงดัน DAC

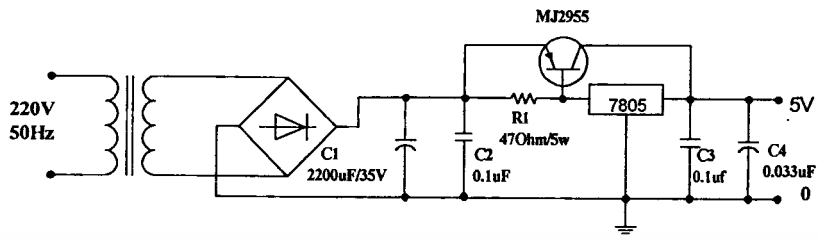
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์ ใช้จ่ายไฟให้เพาเวอร์มอสเฟต เพื่อส่งถ่ายกำลังงานไปยังมอเตอร์ โดยการสวิตชิ่งอินเวอร์เตอร์

3.10.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จะเป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายไฟให้ชุดสร้างสัญญาณ PWM และชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการสร้างแหล่งจ่ายไฟนี้ จะสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึงประมาณ 10 แอมแปร์ โดยจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MJ 2955 เป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

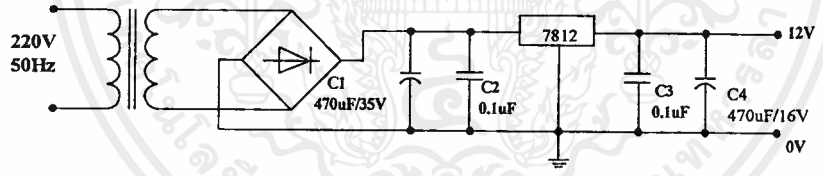
จ่ายกระแสให้กับวงจร และใช้ไอซีเบอร์ 7805 เป็นตัวจำกัดแรงดันให้คงที่ โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จะออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่3.12 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

3.10.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

การออกแบบวงจรจะใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับชุดขับเพาเวอร์มอสเฟตและชุดป้องกันวงจร ซึ่งชุดนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไม่มากจึงกินกระแสต่ำ ซึ่งใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ เบอร์ 74LS7812 เพียงตัวเดียวในการจำกัดแรงดัน ซึ่งจะได้วงจรดังรูปที่ 3.13

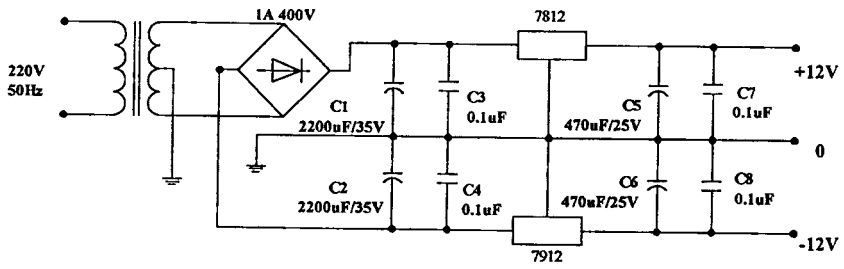


รูปที่ 3.13 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

3.10.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลต์

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์ จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายแรงดันขนาด 12 โวลต์ ให้แก่วงจร ออปแอมป์ ที่ใช้ขยายแรงดันไฟตรง ที่ได้จากวงจร DAC แบบ R-2R Radder โดยแรงดันที่ได้ทางเอาต์พุตของวงจรออปแอมป์ จะใช้ในการควบคุมความถี่สวิตชิ่ง สามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.14

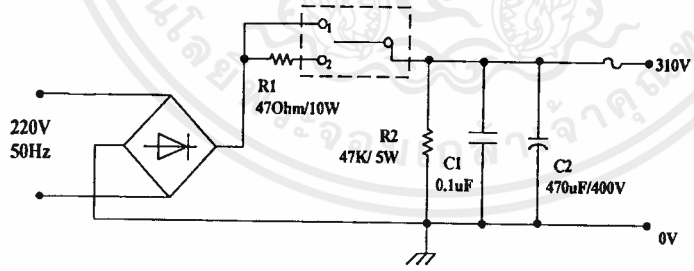
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์

3.10.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์

เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ต้องระมัดระวังในการต่อใช้งานเป็นพิเศษ เพราะมีแรงดันสูงถึง 310 โวลต์ ดีซี ซึ่งใช้จ่ายให้กับเพาเวอร์มอสเฟต โดยในวงจรจะใช้บริดจ์ซึ่งทนแรงดันสูงสุดถึง 400 โวลต์ และทนกระแสได้ถึง 20 แอมแปร์ และเนื่องจากเป็นไฟที่ไม่ต้องการความเรียบของแรงดันมากนัก ดังนั้น จึงใช้ C ฟิลเตอร์ที่มีค่าต่ำๆ เพียง 470 ไมโครฟารัด 400 โวลต์โดยก่อนต่อเข้าวงจรเพาเวอร์มอสเฟต จะต่อฟิวส์ 10 แอมแปร์ ไว้ก่อน เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายที่จะเกิดขึ้นกรณีมอสเฟตเกิดการลัดวงจร ซึ่งสามารถทำการออกแบบวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์

3.11 หลักการเขียนโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องนั้น จำเป็นจะต้องรู้เรื่องของฮาร์ดแวร์ และเข้าใจจุดประสงค์ที่จะให้เครื่องทำงาน รวมทั้งมีความรู้ในเรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการในการควบคุมเครื่อง คือ ต้องการที่จะให้ตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่ไปชี้ตำแหน่งที่อยู่บนไม้บรรทัดได้ตามต้องการ โดยสเกลที่อยู่บนไม้บรรทัดจะบอกสเกลสูงสุดได้ 410 มิลลิเมตร โดยการควบคุมตำแหน่งจะใช้อุปกรณ์เข้ารหัส คือ ตัวเข้ารหัส เป็นตัวอ่านพัลส์ออกมา โดยจะใช้วงจร Exclusive OR ช่วยในการแปลงสัญญาณ เนื่องจากปัญหาในด้านทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวบอกตำแหน่ง รวมทั้งข้อผิดพลาดในด้านตำแหน่ง เพื่อความละเอียดในการวัดจึงต้องใช้วงจร Exclusive OR ดังกล่าว โดยจะใช้ทั้งสัญญาณที่ได้จาก Exclusive OR นำไปผ่าน Not Gate และไม่ผ่าน Not Gate ป้อนเข้า INT 1 และ INT 0 เพื่อทำให้เกิดการนับพัลส์ทุกขอบขา และสัญญาณที่ได้จากตัวเข้ารหัสจะใช้เป็นตัวบอกทิศทาง โดยป้อนเข้าที่ขา P1.4 และ P1.5 ตามลำดับ

โปรแกรมควบคุม PWM จะใช้หลักการควบคุมทั้งความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ โดยตัวต้านทานที่ใช้ในการควบคุมทิศทางนั้น จะกำหนดขึ้นโดยใช้รีจิสเตอร์ X1 , X2 และ X3 ตามลำดับ ถ้าต้องการกลับทิศทางของมอเตอร์ ก็เพียงกำหนดค่าในตัวรีจิสเตอร์ กลับกันเพียงเท่านั้น โดย X1 X2 , X3 จะให้ค่าแอดเดรสไว้ตามลำดับปกติ

วิธีการเขียนโปรแกรมจะต้องให้สัญญาณนาฬิกาซิงโครนัสกันระหว่าง CPU กับไอซี SLE 4520 ดังนั้นจะใช้สัญญาณนาฬิกาจากคริสตอลตัวเดียวกัน และกำหนดตัวต้านทานที่ใช้ในการซิงโครนัสกันระหว่าง CPU กับไอซี SLE 4520 ที่P1.0 ส่วนขาเลือกชิปจากบอร์ดคอนโทรลของศิลา แอดเดรสที่ 8000H เพื่อป้องกันการรบกวนจากข้อมูลอย่างอื่นไปรบกวนข้อมูลภายในไอซี SLE 4520 กรณีเกิดการทำงานที่ผิดพลาดทางด้านโปรแกรมหรือต้องการให้หยุดการทำงานของไอซี SLE 4520 ก็สามารถที่จะส่งข้อมูลออกไปควบคุมขา INHIB ของ SLE 4520 โดยอยู่ตำแหน่ง P1.2

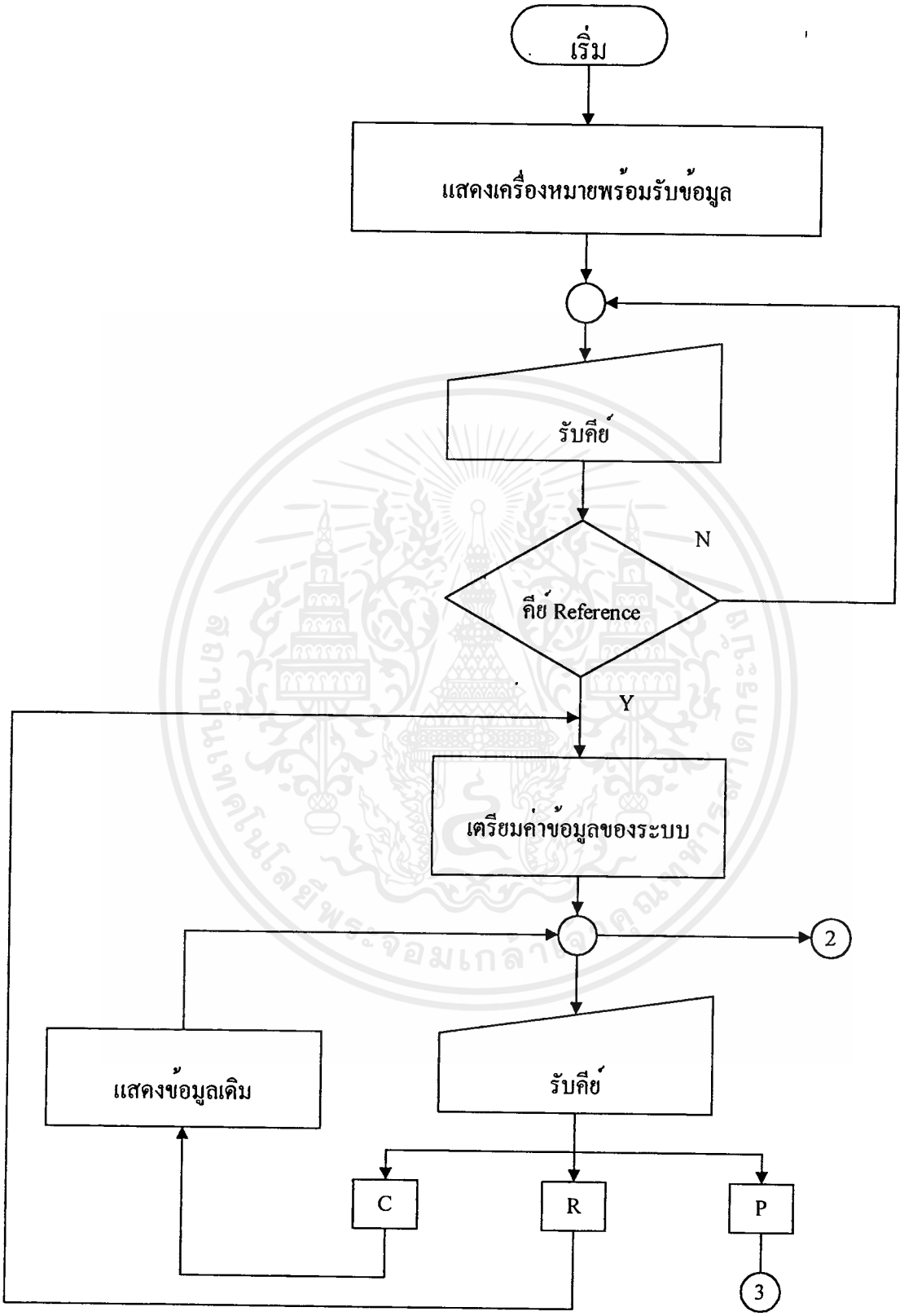
ในการทำงานของไอซี SLE 4520 ทางด้านการควบคุม จะอาศัยพัลส์จากภายนอกเป็นตัวควบคุม โดยพัลส์ที่ได้จากภายนอกเป็นตัวควบคุมโดยพัลส์ที่ได้จะได้มาจากวงจร VCO เป็นความถี่ในการสวิตชิ่ง โดยป้อนเข้าทางขา P1.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทางด้านของ VCO จะรับข้อมูลจาก 8255 หมายเลขแอดเดรส 0FC00H ที่พอร์ต B โดยสามารถเปลี่ยนระดับความเร็วได้ถึง 256 ระดับ แต่ในโปรแกรมจะให้รหัสควบคุมความเร็วได้แค่ 2 ระดับ คือ 160 เป็นความเร็วต่ำ และ 232 เป็นความเร็วสูง กรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงของพัลส์ที่วงจร VCO แล้วป้อนเข้าไปยัง P1.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวไอซี SLE 4520 จะทำการปรับให้ความถี่หลักมูลมีพัลส์ย่อยภายใน เท่ากับ 48 พัลส์เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนโปรแกรมสามารถกำหนดช่องการเปลี่ยนแปลงของความกว้างของสัญญาณพัลส์สวิตชิ่ง ที่อยู่ในความถี่หลักมูลที่มีความกว้างสูงสุด ให้มีความกว้างของพัลส์ให้สูงใกล้เคียง ช่วง ON ของความถี่สวิตชิ่ง โดยกำหนดรีจิสเตอร์ที่อยู่ภายในไอซี SLE 4520 โดยจะส่งผ่านไปยังวงจร Presettable Doen Counter ที่ประจำแต่ละเฟสของไอซี SLE 4520 โดยจะตั้งค่าไว้ที่ค่าๆหนึ่ง จากนั้นจะมีการนับค่าถอยหลังลงจนเป็นศูนย์ เสร็จแล้วจะมีการส่งพัลส์ลูกต่อไปเข้ามา แล้วทำการนับลงจนถึงศูนย์ต่อๆกันไป โดยในการกำหนดช่วงพัลส์จะมีอัตราส่วนของความถี่ซึ่งในไอซีเบอร์ SLE 4520 จะกำหนดค่าที่เหมาะสมไว้ให้แล้ว โดยสามารถเขียนผังการทำงาน (Flow Chart) ได้ดังรูปที่ 3.16

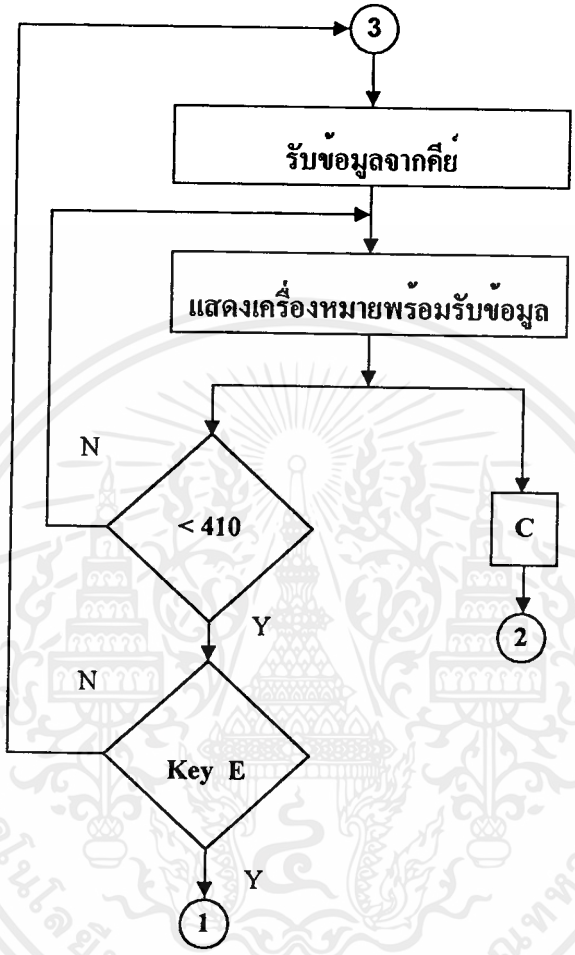
ในส่วนของการจัดตั้งค่าเวลา Deadtime จะสามารถตั้งค่าได้โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของค่าเวลาต่างๆ ได้ดังในข้อมูลของไอซี SLE 4520 โดยกำหนดได้จากค่า 0 ถึง 15 ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ค่า 15 ซึ่งจะทำให้ค่าเฟส1/1 และเฟส1/2 มีช่วงห่างกัน 5 ไมโครเซค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



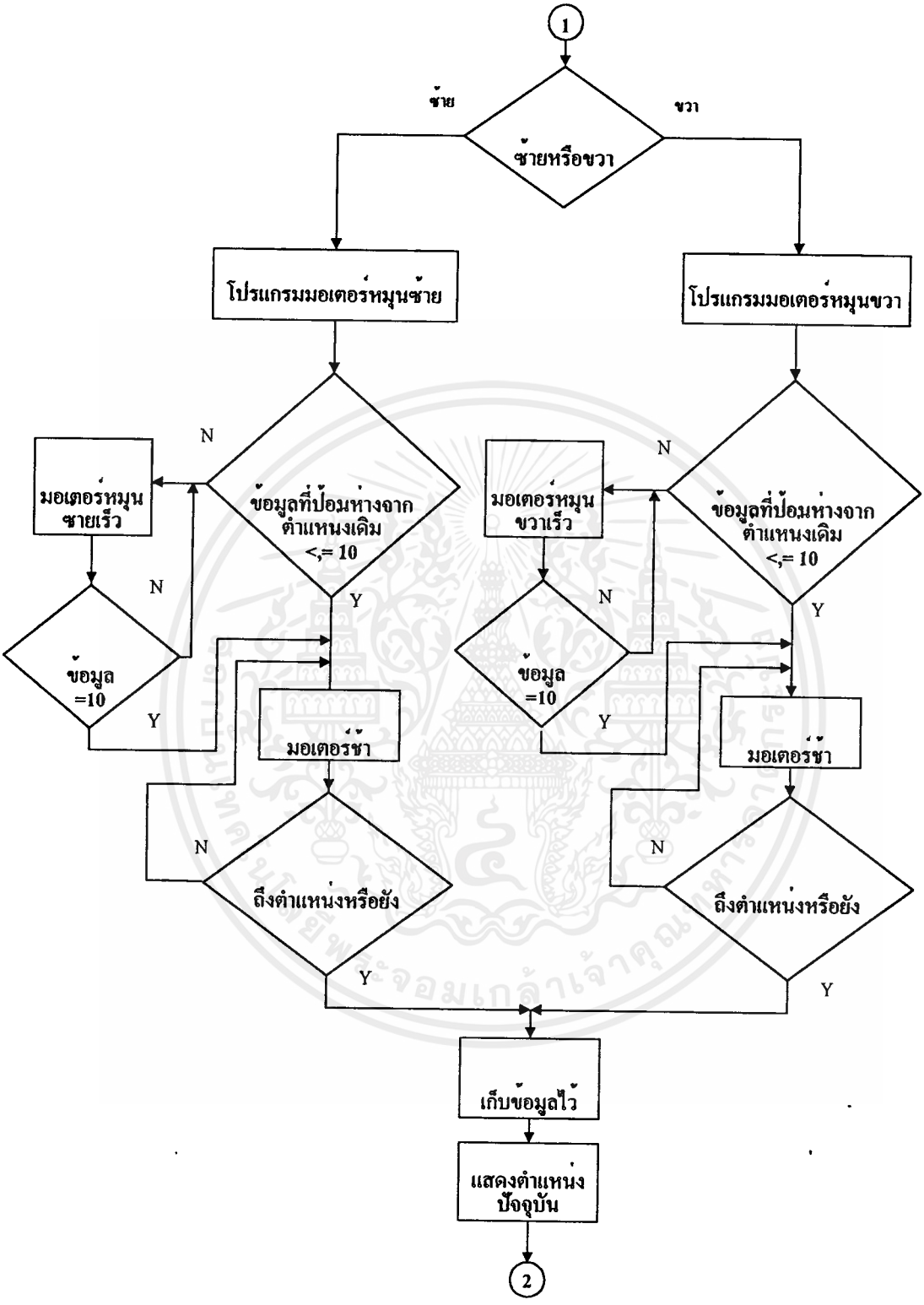
รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรม

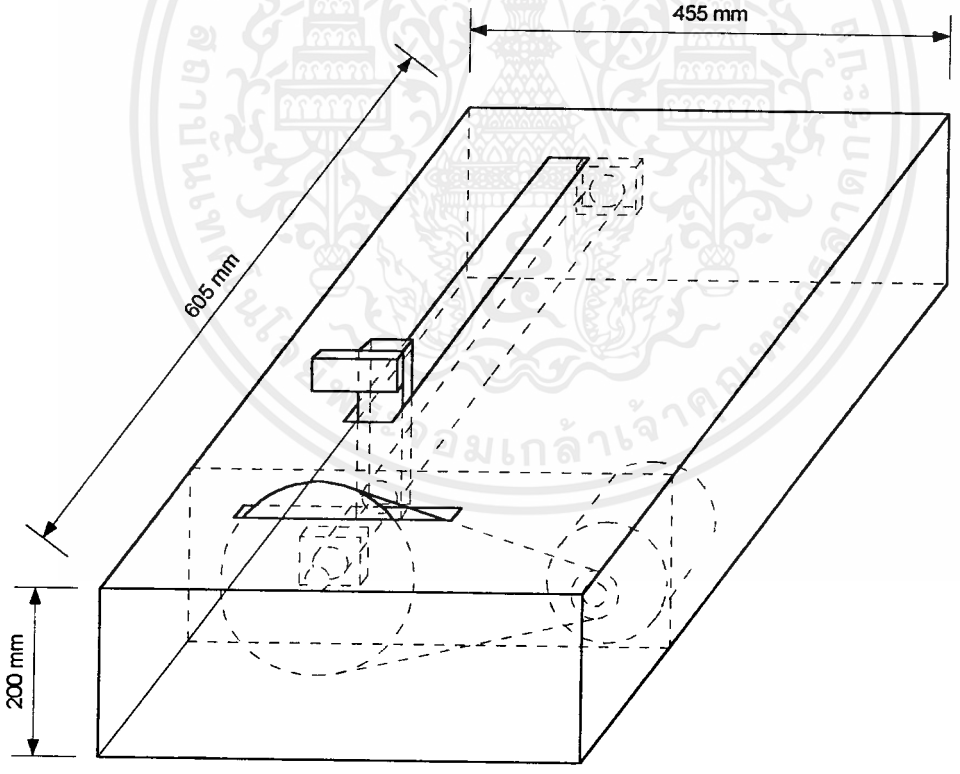
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน

การประกอบเครื่องที่สมบูรณ์จะมีส่วนประกอบที่ต้องทำการออกแบบเพื่อที่จะทำให้เครื่องสามารถทำงานได้สมบูรณ์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

3.12.1 โครงตัวเครื่อง (Frame)

ลักษณะของโครงตัวเครื่อง จะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม โดยมีขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 455 × 605 × 200 มิลลิเมตร โดยภายในประกอบด้วยแกนเพลาที่มีลักษณะเป็นเกลียว ที่รับกำลังจากมอเตอร์ โดยการส่งผ่านสายพาน มีอัตราทดที่แน่นอน โดยที่แกนเพลาเกลียวจะมีการติดตั้งยอย ที่ใช้บอกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ โดยโครงตัวเครื่องมีการแบ่งพื้นที่ภายในดังรูปที่ 3.17

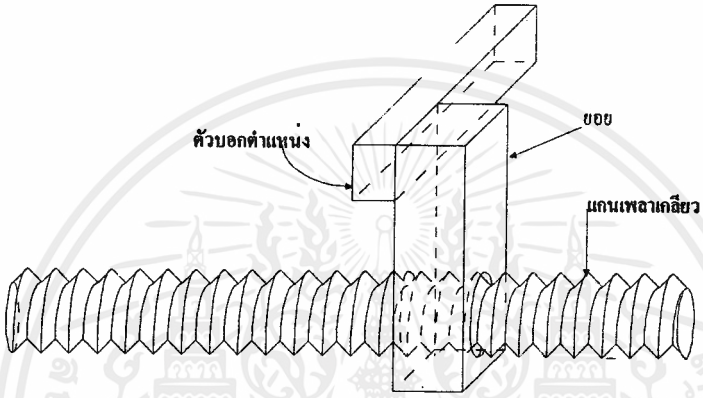


รูปที่ 3.17 โครงตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12.2 แกนเพลาเกลียวและยอย

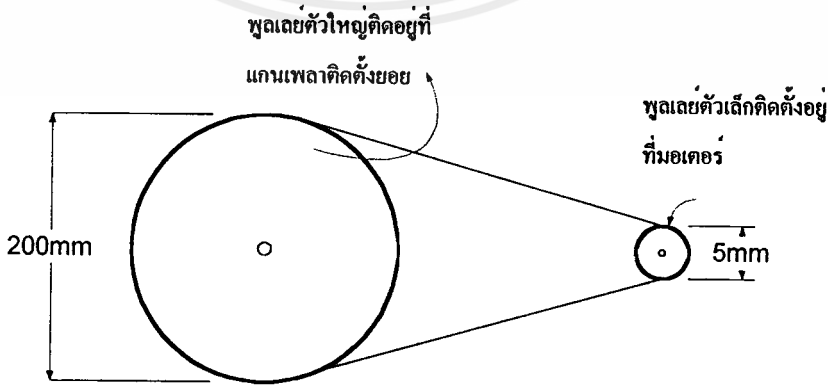
แกนเพลาเกลียวและยอยเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดอีกส่วนหนึ่งของตัวเครื่อง เพราะเป็นส่วนที่ใช้บอกตำแหน่ง โดยเมื่อเพลาหมุนจะทำให้ยอยเคลื่อนที่ โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของยอย ที่ติดตั้งตัวบอกตำแหน่งอยู่ด้านบน จะคิดที่อัตราการเคลื่อนที่สูงสุดของมันที่มอเตอร์หมุน ด้วยความเร็วสูงสุด 1,430 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.18 แกนเพลาเกลียวและยอย

3.12.3 วิธีการคำนวณการออกแบบโครงสร้างของเครื่อง

พิจารณาจากรูปที่ 3.19



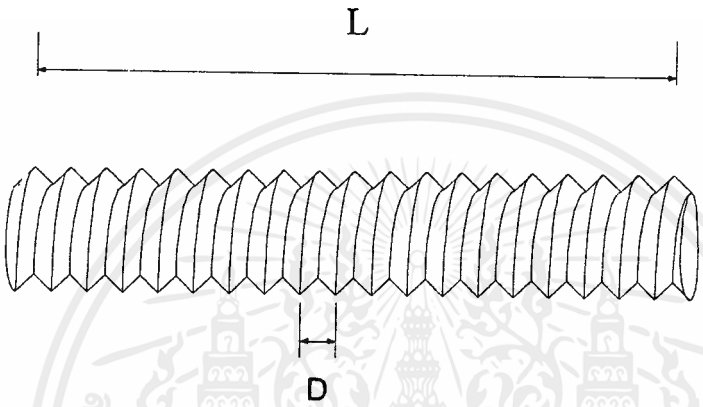
รูปที่ 3.19 การทดรอบจากพูลเลย์ตัวเล็กไปยังตัวใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความเร็วของพูลเลย์สูงสุดคือ 1,430 รอบต่อนาที ดังนั้นใน 1 วินาที มอเตอร์จะมีความเร็วคือ 1,430 / 60 เท่ากับ 23.833 รอบต่อวินาที

เมื่อความเร็วของเส้นรอบวงพูลเลย์ตัวเล็กมีค่าเท่ากับ $2\pi r$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 157.0796 มิลลิเมตร ถ้าคิดเป็นความยาวของเส้นรอบวงของพูลเลย์ตัวเล็กใน 1 วินาที จะมีค่าเท่ากับ

$2 \times 3.414 \times 157.0796$ เท่ากับ 3743.7312 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.20 เกลียวเพลาที่ใช้ติดตั้งยอย

ในการหาระยะการเคลื่อนที่ของยอยใน 1 วินาที ต้องทราบระยะ d เนื่องจากเพลาเป็นเพลาที่มีขนาดมาตรฐาน ซึ่งซื้อได้ตามร้านเครื่องกลทั่วไป มีขนาด d คงที่ และสามารถหาค่า d ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อความยาวของเพลาใน 200 มิลลิเมตร มีร่อง = 71 ร่อง

จะได้ d = 200 มิลลิเมตร / 71 = 2.8169 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.19 ความยาวของเส้นรอบวงพูลเลย์ตัวใหญ่ = $2 \times \pi \times 200$ มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 628.3185 มิลลิเมตร

และเมื่อคิดเป็นรอบต่อวินาที ของพูลเลย์ตัวใหญ่ จะหาได้ดังนี้

จำนวนรอบของพูลเลย์ตัวใหญ่ต่อวินาที = ระยะความยาวของการหมุนของพูลเลย์ตัวเล็ก ต่อวินาที / ระยะความยาวของการหมุนของพูลเลย์ตัวใหญ่

จะได้เท่ากับ 374.7312 มิลลิเมตรต่อวินาที / 628.3185 มิลลิเมตร

จะได้เท่ากับ 5.9583 รอบต่อวินาที เท่ากับ 5.9583 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระยะห่างของเกลียวคือ d = 2.8169 มิลลิเมตร นั่นก็คือเมื่อเกลียวหมุนได้ 1 รอบ ยอยจะเคลื่อนที่ไปได้เท่ากับ 2.8169 มิลลิเมตร

ดังนั้นใน 1 วินาที ยอยจะเคลื่อนที่ได้ดังนี้

ระยะความยาวของยอยเคลื่อนที่ได้ใน 1 วินาที มีค่าเท่ากับ 2.8169 มิลลิเมตรต่อรอบ × 5.983 รอบต่อวินาที

การบอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ จะใช้ตัวบอกตำแหน่งติดตั้งไว้บนยอย ให้โผล่พ้นกล่องเครื่องขึ้นมา โดยจะเจาะรูไว้เรียบร้อยแล้ว โดยด้านบนจะติดตั้งสเกลที่ใช้วัดและบอกตำแหน่ง ซึ่งตัวสเกลสูงสุดคือ 450 มิลลิเมตร

การประกอบเครื่องจะติดตั้งมอเตอร์เข้ากับชุดสวิตชิ่งกำลัง ด้วยวิธีการต่อแบบเดลต้า ซึ่งลักษณะการต่อจะไม่ใช้กราวด์ในการต่อ เราสามารถดูรูปแบบการต่อได้จากตัวของมอเตอร์ที่ได้ติดไว้ให้ดู สามารถที่จะต่อตามรูปนั้นได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของส่วนประกอบในวงจรของโครงงานที่สำคัญ และการทดลองทดสอบเครื่อง ซึ่งการทดลองในส่วนของวงจร Power จะต้องอาศัยความระมัดระวังและรอบคอบในการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรในส่วนของวงจรสวิตชิ่งกำลัง เพราะว่าแรงดันที่ใช้มีค่าสูงมาก โดยการทดลองจะมีรูปคลื่นสัญญาณตามจุดต่างๆ 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 เครื่อง และวงจรที่ได้ออกแบบไว้

4.1 การทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

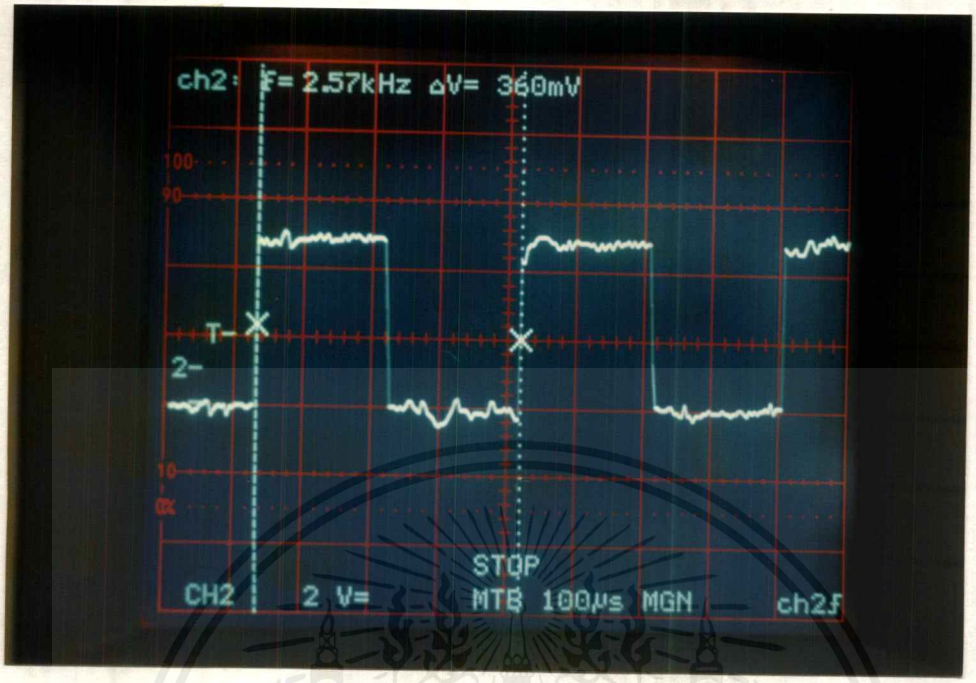
ผลการทดลองแหล่งจ่ายทั้ง 3 แหล่งจ่าย สามารถที่จะให้เอาต์พุต ได้ตรงตามที่ทำการออกแบบ คือ 5 โวลต์, ±12 โวลต์ และ 310 โวลต์

4.2 การทดลองวงจร VCO

เป็นวงจรกำเนิดรูปคลื่นเปรียบเทียบ หรือรูปคลื่นที่ใช้ในการกำหนดความถี่สวิตชิ่ง การทดลองจะทำการวัดจาก ขา 3 และ ขา 4 ของไอซีเบอร์ MN 40463 ซึ่งจะมีลักษณะเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยม เนื่องจากการทดลองจะให้ความเร็วออกมา 2 ระดับ ดังนั้นจึงกำเนิดพัลส์สี่เหลี่ยมออกมา 2 ความถี่

โดยการทดลองจะแสดงเพียงรูปคลื่นความถี่สูงคือ 2.5 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนความถี่ต่ำ 288 เฮิรตซ์ จะไม่แสดง เนื่องจากมีรูปคลื่นเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

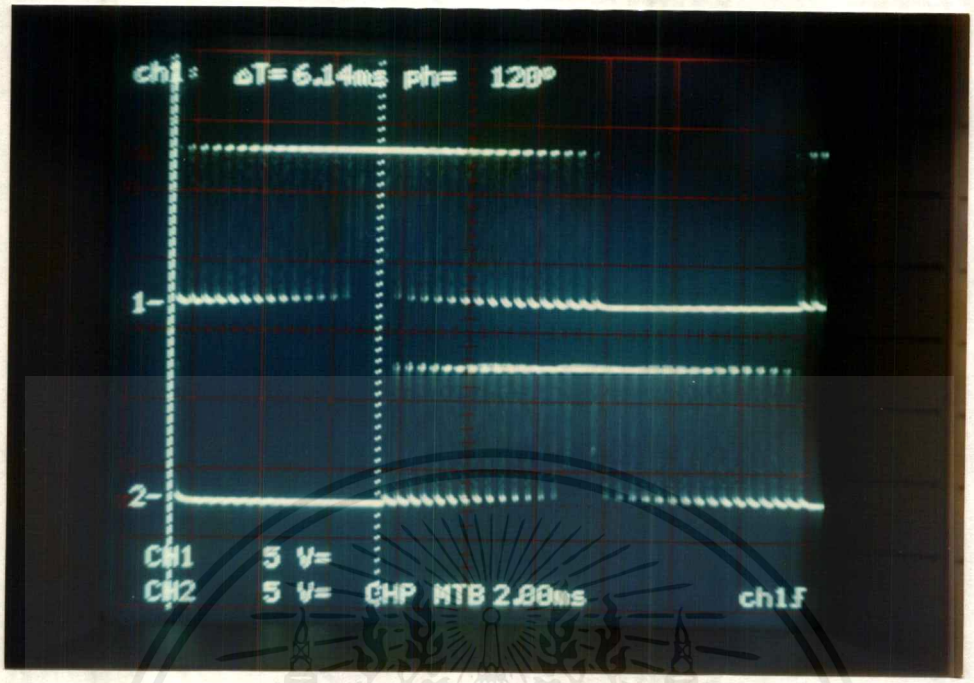


รูปที่ 4.1 รูปคลื่นที่ได้จากวงจร VCO

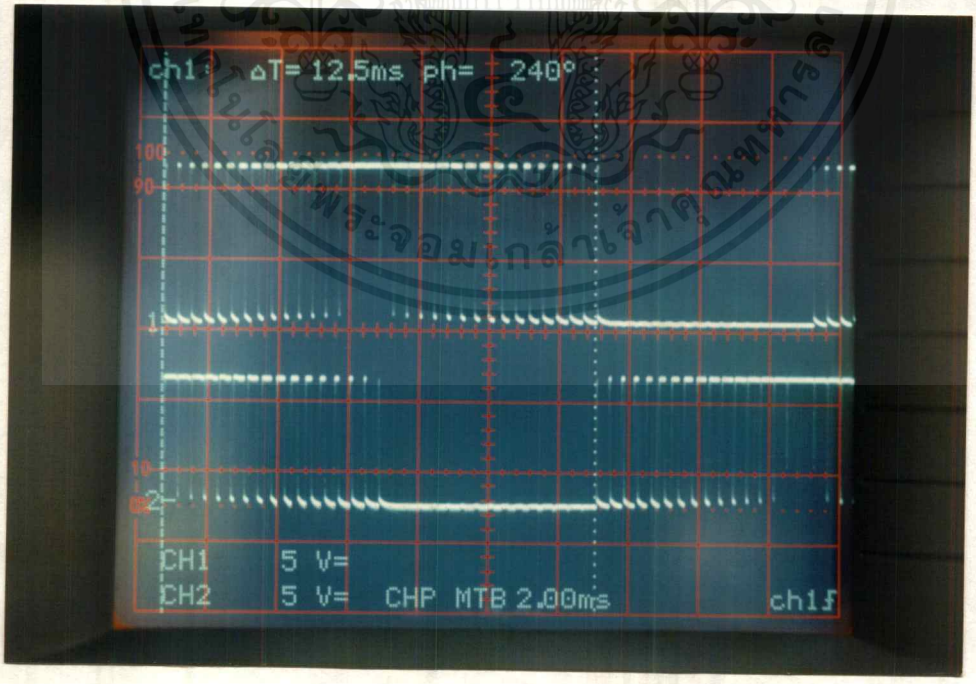
4.3 การทดลองวงจร PWM

การกำเนิดสัญญาณ PWM สามารถทำได้โดยใช้ไอซี SLE 4520 ในการผลิตสัญญาณ PWM ซึ่งจะผลิตสัญญาณ PWM โดยให้เอาต์พุทออกมาเป็น 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

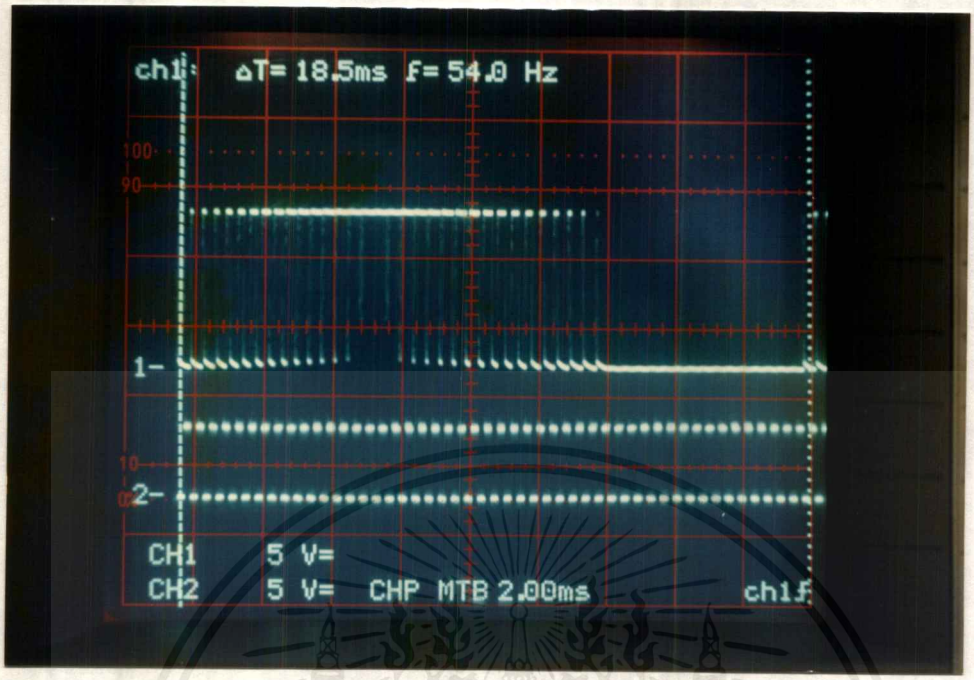


รูปที่ 4.2 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต อยู่ 120 องศา ระหว่าง เฟส 1/1 และ เฟส 2/1



รูปที่ 4.3 การต่างเฟสของแรงดัน PWM ที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต อยู่ 240 องศา ระหว่าง เฟส 1/1 และ 3/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



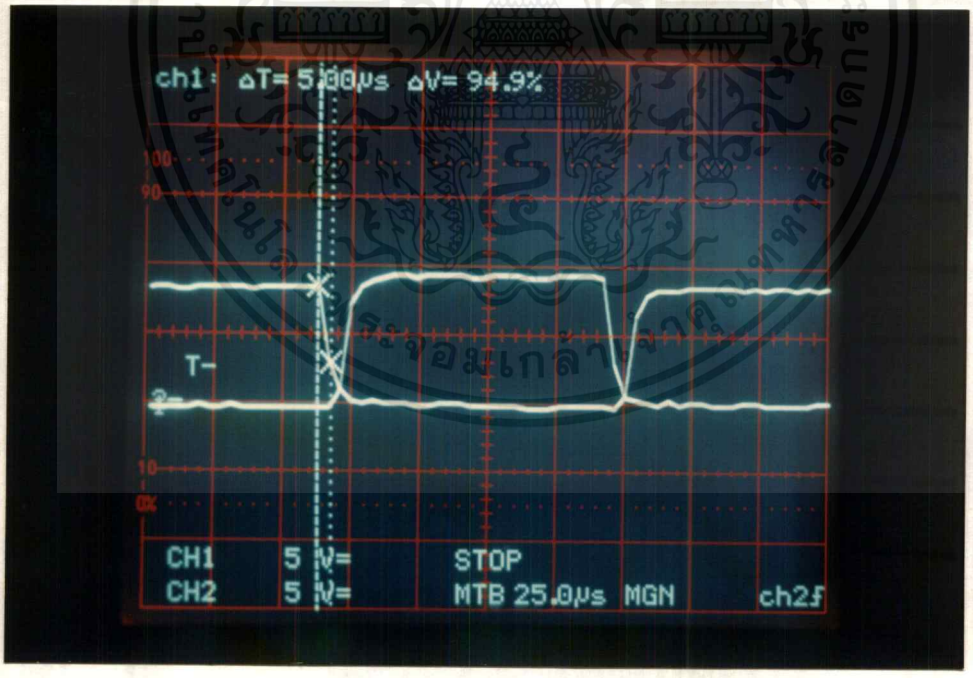
รูปที่ 4.4 ความถี่สวิตชิ่งที่มีประมาณ 48 พัลส์ ใน 1 ความถี่หลักมูล

รูปที่ 4.5 ลักษณะการตรงกันข้ามของแรงดันที่ใช้ไบอัสขาเกตของมอสเฟต ในเฟส 1/1 และ 1/2 ในกิ่งเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลอง Deadtime

เนื่องจากสวิตชิ่งที่ใช้เป็นแบบ ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ จะใช้ มอสเฟต จำนวน 2 ตัว ต่ออนุกรมกันในกิ่งเดียวกัน โดยเอาต์พุตจะต่อออกที่จุดกึ่งกลางระหว่างมอสเฟตทั้ง 2 ตัว และต่อแรงดันขนาด 310 โวลต์ ที่ด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับกราวด์ ดังนั้นจะต้องไม่ให้มอสเฟตแต่ละตัว Turn On พร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดการช๊อตทอล์กทำให้เพาเวอร์มอสเฟต พังได้ ดังนั้นจะต้องมีการกำหนด DeadTime ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดช่วงห่างของการ Turn On ของมอสเฟต แต่ละตัว ซึ่งใช้แรงดันบวกทั้งคู่ การกำหนดการ Turn On นั้น สามารถกำหนดค่าได้จาก 0 ถึง 15 ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยค่า “0” หมายถึงไม่มีค่าเวลา DeadTime และ “15” จะมีค่า DeadTime สูงสุด 5 ไมโครวินาที ในการทดลองจะทำการวัดที่เฟสใดเฟสหนึ่ง ใน 3 เฟส ของรูปคลื่นที่ไบอัสให้เพาเวอร์มอสเฟต โดยจะวัดรูปคลื่นที่เฟส 1 โดยวัดที่ ph1/1 และ ph1/2 โดยใช้ค่า Deadtime คือค่า 15 โดยจะวัดที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต



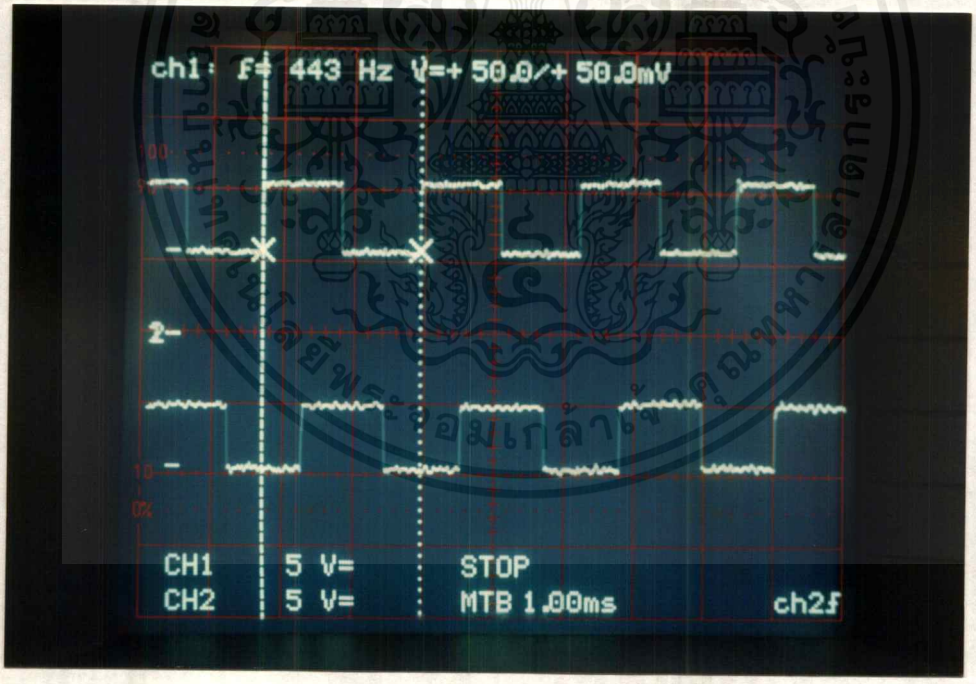
รูปที่ 4.6 ค่าDeadTime สูงสุด 5 ไมโครวินาทีที่กำหนดจากไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าช่วงเวลาขอบขาลงและขอบขาขึ้นของ ph1/1 และ ph1/2 ที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัว จะมีความชันที่มีลักษณะลาดขึ้นและลาดลง จะไม่มีความชันที่ได้ฉากตามทฤษฎี เป็นเพราะที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต จะมีค่าประจุสะสม ทำให้เกิดลักษณะของ Time Recovery

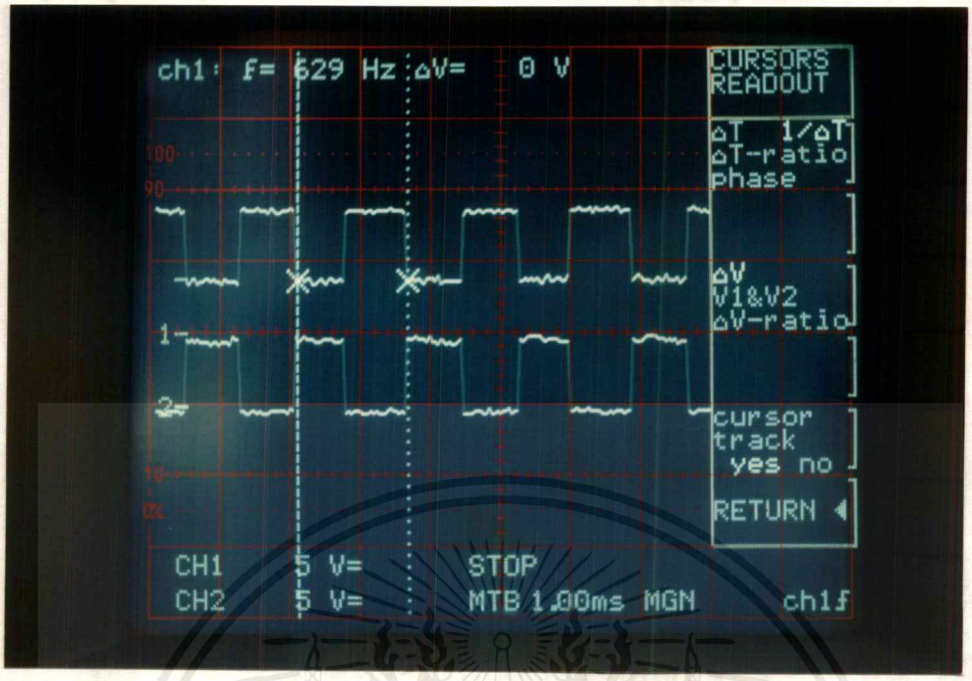
4.5 การทดลองการเข้ารหัส (Encoder)

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

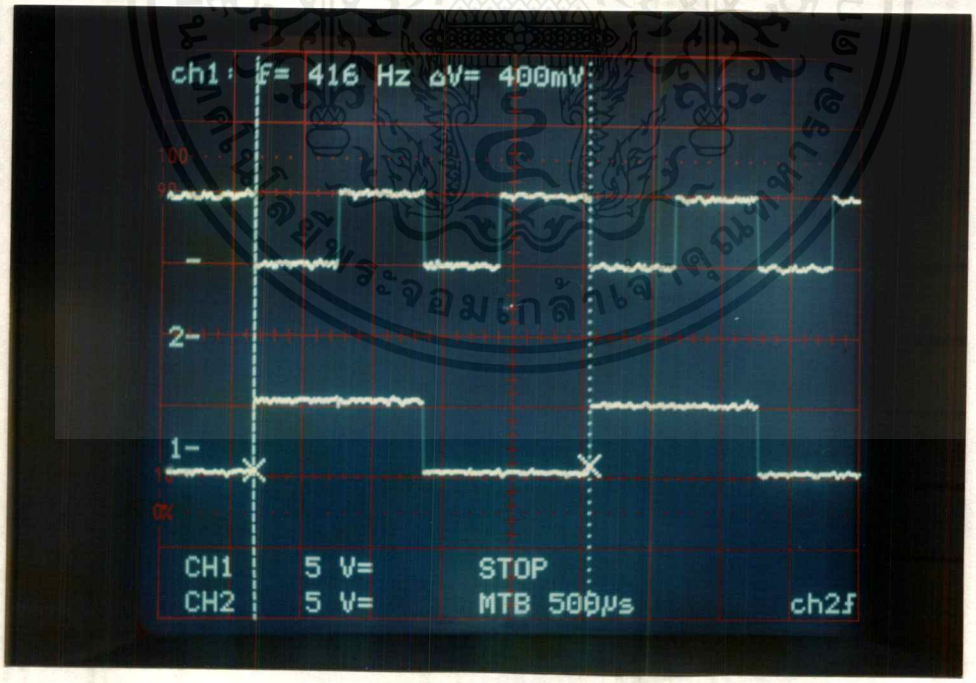


รูปที่ 4.7 พัลส์ที่ได้จากตัวเข้ารหัสจะมีความแตกต่างกันอยู่ 4 รหัส ใน 1 รูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สัญญาณจากตัวเข้ารหัส นำมา Exclusive OR กัน ที่ผ่านและไม่ผ่าน Exclusive OR



รูปที่ 4.9 สัญญาณจากตัวเข้ารหัส 1 สัญญาณ และสัญญาณจากตัวเข้ารหัส ที่ผ่านวงจร Exclusive OR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองตำแหน่งและความเร็ว

ในการทดลองตำแหน่งและความเร็วจะเป็นลักษณะของการทำการทดสอบเครื่อง โดยสามารถทดสอบได้เมื่อประกอบเครื่องเสร็จเรียบร้อย

การทดลองตำแหน่ง จะทำได้ในกรณีเดียวกันกับการทดสอบความเร็ว คือทำการทดลองได้เมื่อประกอบเครื่องเสร็จแล้ว ลักษณะของตัวบอกตำแหน่งจะเป็นยอยติดตั้งตัวบอกตำแหน่งไว้ข้างบน ซึ่งตำแหน่งที่กำหนดจะกำหนดไว้โดยใช้ไม้บรรทัด เป็นสเกลตำแหน่ง ซึ่งไม้บรรทัดนี้ได้มาตราฐานตามมาตราฐานเครื่องมือวัดทุกประการ โดยตำแหน่งที่กำหนดไว้ให้สูงสุดของเครื่องคือ 410 มิลลิเมตร จากจุด 0000 ในการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดลองตำแหน่งและความเร็ว

ลำดับการทดลอง	ตำแหน่งเริ่มต้นที่ปรากฏที่จอแสดงผล	ตำแหน่งปลายทางที่กำหนดจากคีย์	ผลหลังจากการทำงานของเครื่อง ที่จอแสดงผล	ผลที่อ่านได้จากสเกลของไม้บรรทัด	ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวบอกตำแหน่ง	ค่าผิดพลาด (%)
1	0000	0200	0200	0200	→	0
2	0200	0300	0300	0300	→	0
3	0300	0100	0100	0100	←	0
4	0100	0000	0000	0000	←	0

การทดลองความเร็ว จะกำหนดให้เครื่องมีความเร็ว 2 ระดับ คือ ความเร็วสูงและความเร็วต่ำ โดยในการทดลองถ้าตัวบอกตำแหน่งอยู่ใกล้จุดที่ต้องการต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิเมตร จะให้ตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ต้องการ ในระดับความเร็วต่ำ

ถ้าตัวบอกตำแหน่งอยู่ไกลจากตำแหน่งที่ต้องการมากกว่า 10 มิลลิเมตรขึ้นไป เมื่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอกตำแหน่งทำงานจะเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ต้องการด้วยความเร็วสูง จนกระทั่งเมื่อตัวบอกตำแหน่งใกล้ตำแหน่งที่ต้องการเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เรียกว่าเป็นจุด Fast Slow ตัวบอกตำแหน่ง จะทำการลดระดับความเร็วลงมาเป็นความเร็วต่ำ จนถึงตำแหน่งที่ต้องการในที่สุด

หมายเหตุ ลักษณะของความเร็วที่ตัวบอกตำแหน่งหมุน ระยะทางที่ตัวบอกตำแหน่งอยู่ใกล้ตำแหน่งที่ต้องการ 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

ในการศึกษาและทดลองสร้างระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS-51 เป็นแนวคิดที่จะศึกษาระบบที่มีส่วนในการใช้งานอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาระบบควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดสร้างโครงงานนี้ต้องมีการศึกษารายละเอียดต่างๆเป็นอย่างมาก ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงงาน และศึกษาจากการสอบถามผู้มีความชำนาญในเรื่องที่เกี่ยวกับโครงงานที่ทางกลุ่มจัดทำ รวมถึงการศึกษาดูงานในโรงงานอุตสาหกรรมจริง เพื่อศึกษาการทำงานของระบบต่างๆ ที่ต้องการจะนำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน

การสร้างโครงงานนี้ใช้แนวคิดในการออกแบบวงจรและส่วนประกอบของการทำงานจากการศึกษาการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้งานจริงในโรงงาน เป็นการดัดแปลง ออกแบบและพัฒนาวงจร เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้จริง และมีราคาถูกกว่าเครื่องต้นแบบ สามารถนำโครงงานที่ทำสำเร็จไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

ส่วนการศึกษาการเขียนโปรแกรม จะศึกษาในเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยละเอียด เพื่อสามารถนำมาควบคุมการทำงานของวงจรด้านฮาร์ดแวร์ได้ และส่วนสำคัญของการควบคุมมอเตอร์ คือการสร้างกราฟมอดูเลตความกว้างของพัลส์ โดยจะใช้ไอซีเบอร์ SLE 4520 ซึ่งต้องทำการศึกษาการทำงานของไอซีนี้ด้วย เพราะมีส่วนในการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51

จากการศึกษาและจัดสร้างโครงงานนี้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส และเข้าใจการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานตามต้องการ การจัดสร้างโครงงานได้เครื่องต้นแบบที่สมบูรณ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ความสามารถของโครงงาน คือ สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 3 เฟส ให้หมุนช้าหรือเร็วได้ตามกำหนด, สามารถควบคุมตำแหน่งการหยุดหมุน และสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยสามารถนำโครงงานที่ศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้ต่อไป เช่นใช้เป็นส่วน Backgage ในเครื่องตัดเหล็กหรือเครื่องพับเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1.ปัญหาที่พบทางด้าน Hardware

1.1 มีความยากลำบากในการออกแบบตัวโครงสร้างของเครื่อง เกิดจากความไม่แน่นอนว่าจะนำไปใช้งานจริงกับเครื่องจักรชนิดใด เพราะสามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องจักรหลายชนิด จึงไม่สามารถที่จะสร้างโครงสร้างของเครื่องให้สามารถรองรับเครื่องจักรหลายๆ ประเภทได้

แนวทางการแก้ไข

ได้ปรึกษากับผู้มีความเชี่ยวชาญ ในด้านเครื่องจักรอุตสาหกรรม ได้แนะนำว่าในการสร้าง จะต้องเน้นเฉพาะเจาะจงที่เครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งเท่านั้น จึงจะทำให้การออกแบบทำได้ง่ายขึ้น และสามารถรองรับการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 อุปกรณ์บางตัวไม่มีคู่มือการใช้งาน ทำให้ยากลำบากต่อการนำมาใช้งาน เช่น อุปกรณ์ตัวเข้ารหัส ซึ่งได้นำอุปกรณ์เก่ามาใช้ โดยทำการศึกษาดัดแปลงการใช้งานเอง

แนวทางแก้ไข

สอบถามผู้ที่ชำนาญและมีประสบการณ์จากการใช้งานอุปกรณ์ตัวนั้น และสอบถามจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

1.3 อุปกรณ์บางตัวหาซื้อได้ยากเพราะงานที่ทำเป็นงานเฉพาะด้าน

แนวทางแก้ไข

ใช้อุปกรณ์ตัวเก่าที่มีมาใช้แทนกันได้ถ้าคุณสมบัติในการทำงานมีความคล้ายคลึงกันและสภาพการทำงานอยู่ในสภาพสมบูรณ์ หรือใช้อุปกรณ์ตัวใหม่ที่สามารถดัดแปลงให้ใช้งานได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการ

1.4 การสร้างเครื่องที่สมบูรณ์ต้องประกอบด้วยชุดกลไก ซึ่งทางกลุ่มมีความรู้ในเรื่องกลไกน้อย

แนวทางแก้ไข

ต้องทำการศึกษาในเรื่องกลไกของการสร้างส่วนประกอบของเครื่องโดยละเอียด โดยปรึกษาผู้รู้, การดูงานจากของจริงและ ศึกษาตำราที่เกี่ยวข้อง

1.5 ความผิดพลาดของตัวยอยที่ใช้ในการเป็นตัวบอกตำแหน่ง ซึ่งจะมีลักษณะหลวม เมื่อเครื่องทำงานจะเกิดเสียงดัง และเมื่อขยับจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางแก้ไข

ควรเปลี่ยนใช้ยอยแบบที่มีลูกปืนด้วย เรียกว่ายอยแบบบอลสกรู ซึ่งจะมีความฝืดน้อยมาก และมีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้มาก แต่มีข้อเสียคือยอยแบบนี้มีราคาแพงมาก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง

1.6 การศึกษาแนวทางในการทำโครงงานนี้มีความยากลำบาก ในการเข้าไปศึกษาในโรงงานอุตสาหกรรมจริง เพราะโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากจะไม่เปิดเผยในเรื่องเทคโนโลยี การจะเข้าไปศึกษาการควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องใช้ความพยายามในการติดต่อสูงมาก

แนวทางแก้ไข

พยายามไปติดต่อเข้าไปดูงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ทางกลุ่มรู้จักบุคคลในบริษัท โดยอธิบายเหตุผลในการที่ต้องทำการศึกษาในเรื่องการควบคุมมอเตอร์ให้ทางบริษัทเข้าใจ ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ ขอความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ให้อาจารย์นำไปขอความร่วมมือบริษัทที่รู้จัก ให้ทางกลุ่มได้เข้าไปศึกษาดูงาน

2.ปัญหาที่พบด้าน Software

2.1 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดสำเร็จ ที่ซื้อมาจะทำด้วยความยากลำบาก บางทีก็เกิดการทำงานที่ไม่แน่นอนของบอร์ด

แนวทางแก้ไข

ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของบอร์ดก่อนการเขียนโปรแกรมให้ดี , ทำการสร้างส่วนของฮาร์ดแวร์ให้สามารถรองรับการต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และสามารถนำบอร์ดนี้ไปขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญและรับคำปรึกษามาเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรม

2.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณ PWM ที่ใช้ไอซีเบอร์ SLE 4520 มีความยากในการเขียนโปรแกรมที่สามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติของไอซี

แนวทางแก้ไข

ทำการศึกษาคุณสมบัติของไอซีจากคู่มือไอซีให้ละเอียด พยายามเขียนโปรแกรมทีละส่วน เพื่อทดสอบการทำงานของไอซีแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ในการทำงานของโปรแกรมจะไม่สามารถให้จอแสดงผล แสดงพร้อมการทำงานของเครื่องได้ เพราะเกิดการสะดุดและเคลื่อนที่ช้า เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานหลายหน้าที่ ในเวลาเดียวกันมากเกินไป

แนวทางแก้ไข

การสแกนคีย์บอร์ด ควรหาไอซี ที่ทำหน้าที่ในการสแกนคีย์บอร์ดโดยเฉพาะ ในส่วนของตัวเข้ารหัส ก็ควรหาอุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่าจากตัวเข้ารหัส โดยเฉพาะจะช่วยในการลดภาระการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

5.3 แนวทางการพัฒนา

1.พัฒนาให้สามารถใช้งานกับเครื่องจักรได้หลายชนิดขึ้น

2.พัฒนาจัดสร้างชุดกลไกให้เหมาะสมกับตัวเครื่องจักร

3.พัฒนาการสร้างสัญญาณ PWM ขึ้นมาใช้เอง โดยไม่ต้องใช้ไอซีเบอร์ SLE 4520

4.พัฒนาการสร้างการเข้ารหัสเอง แทนที่อุปกรณ์เข้ารหัส

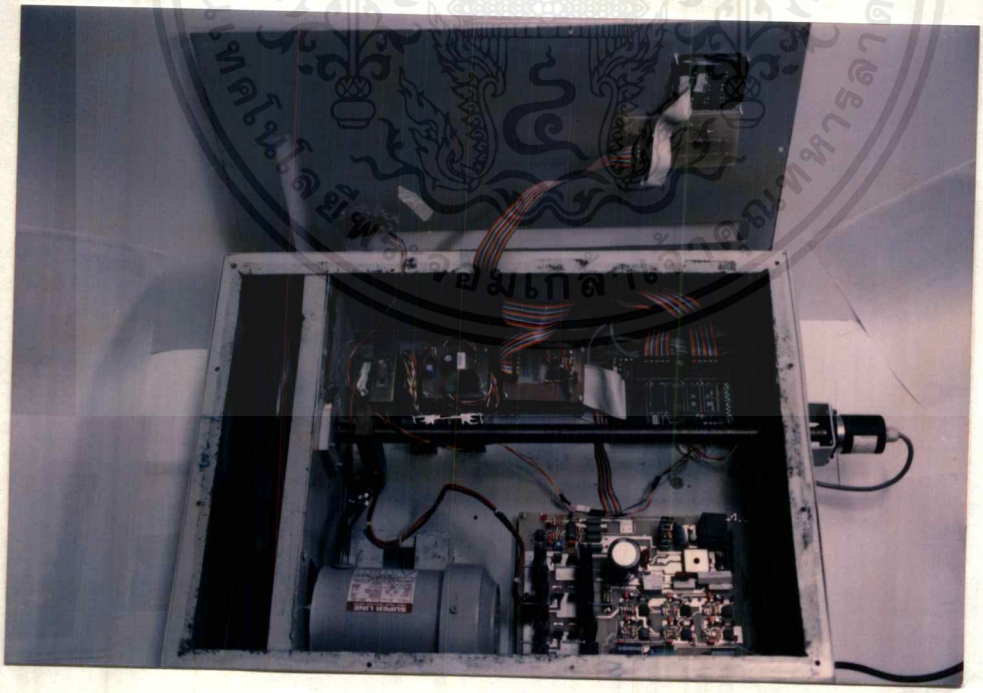
5.พัฒนาให้จอแสดงผลแสดงได้พร้อมกับการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ภาพเครื่องต้นแบบในปริญญานิพนธ์

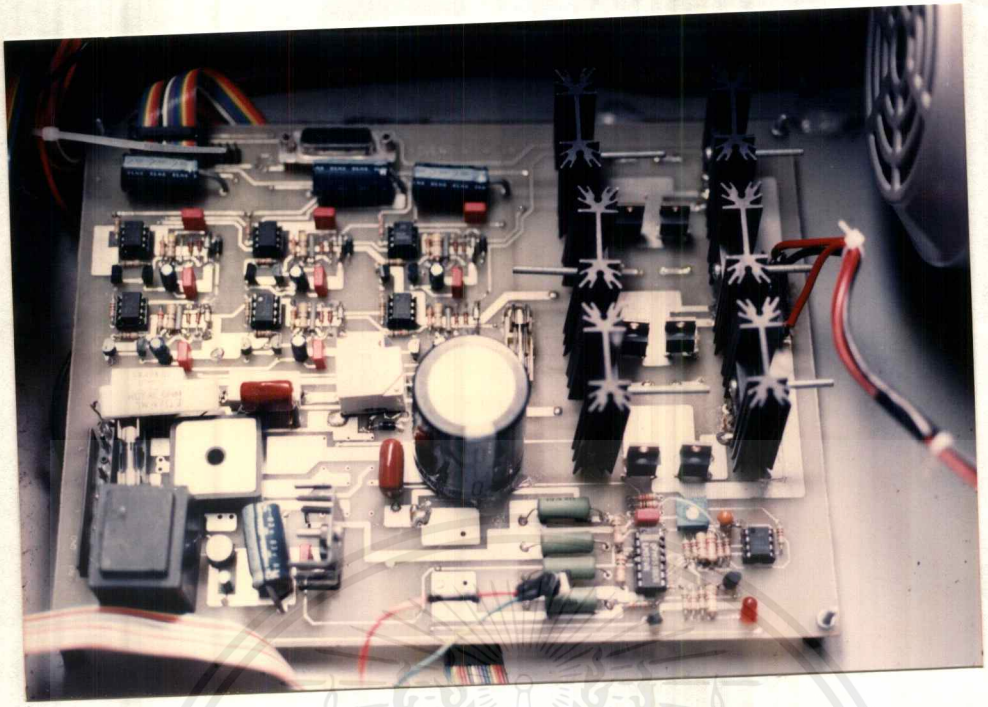
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.1 เครื่องประกอบสำเร็จ



รูปที่ ก.2 การวางอุปกรณ์ภายในกล่อง

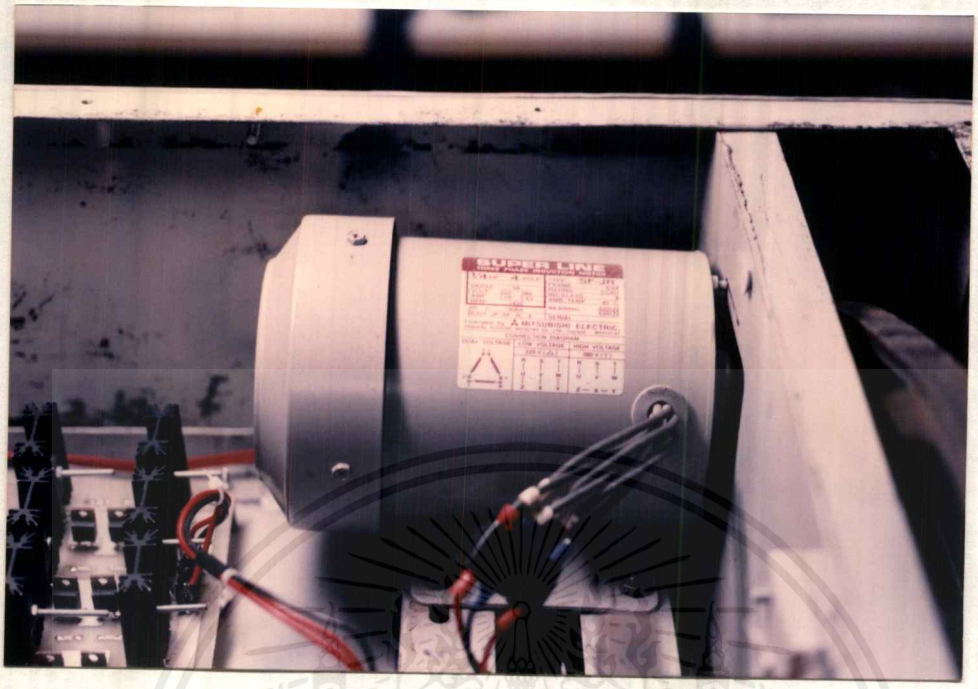
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



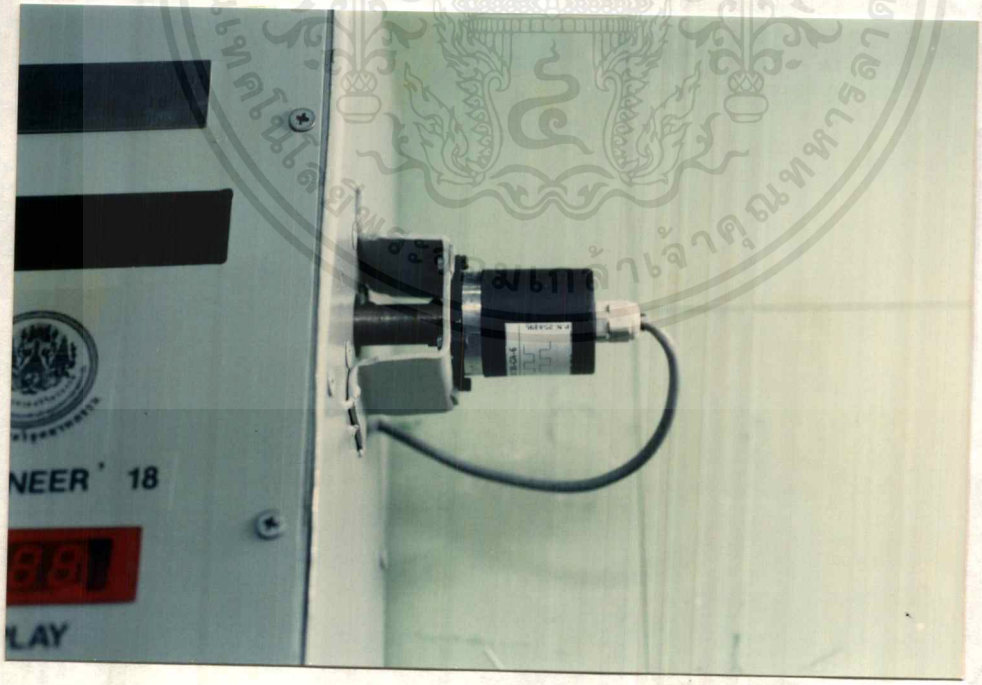
รูปที่ ก.3 ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง

รูปที่ ก.4 ชุดแมคคานิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 การติดตั้งมอเตอร์สามเฟสกับชุดแมคคานิกส์



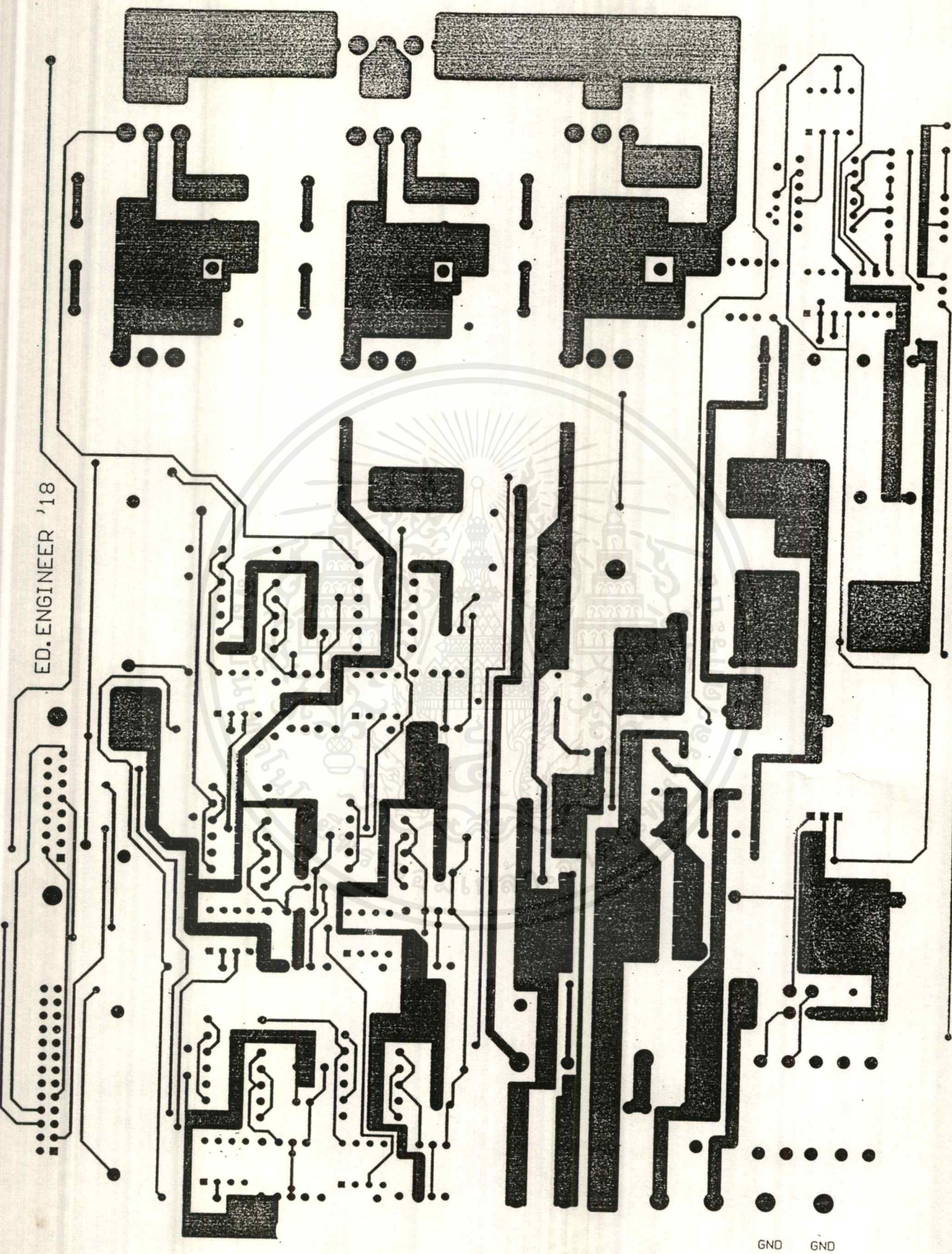
รูปที่ ก.6 อุปกรณ์เข้ารหัส (Encoder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

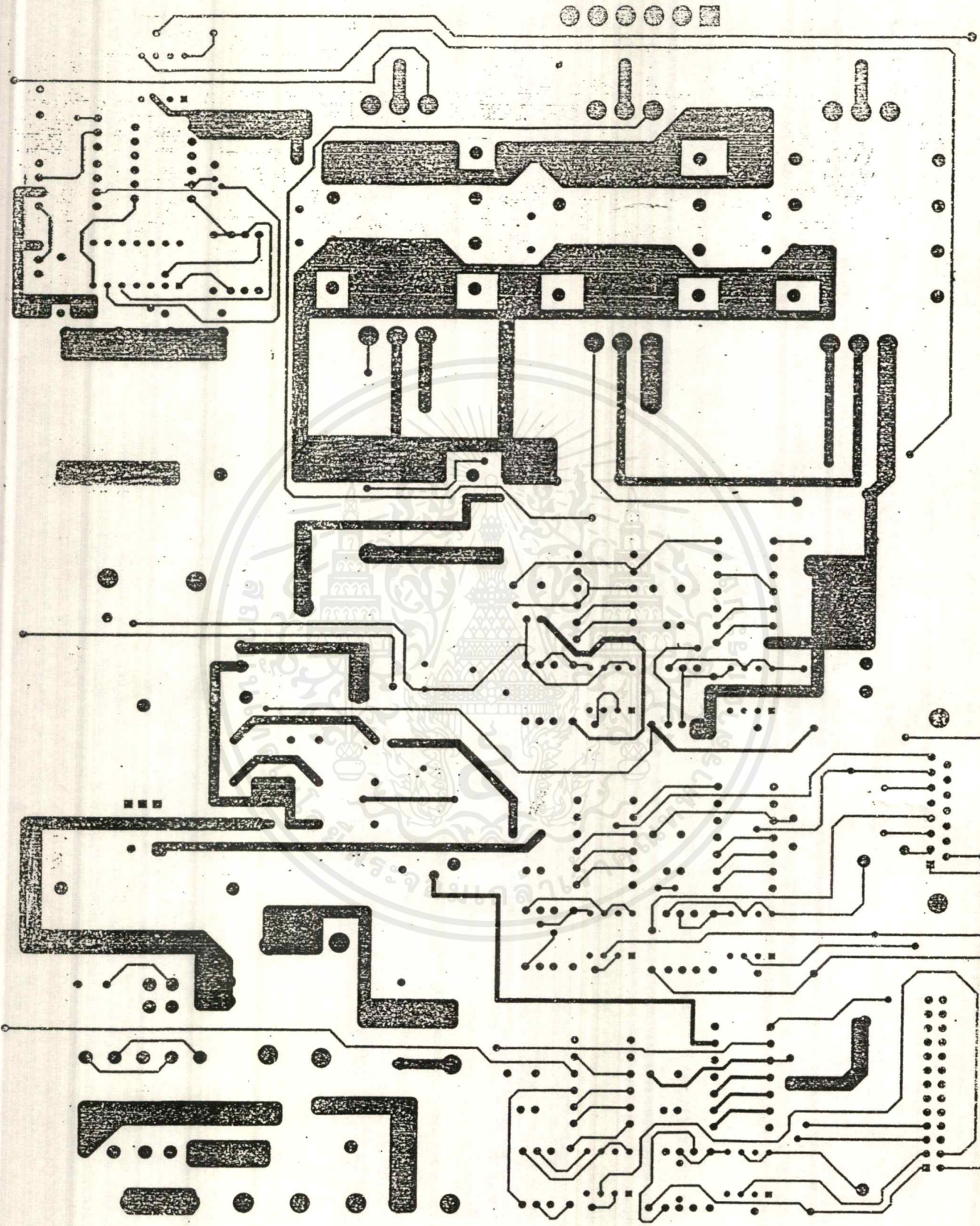
ลายวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



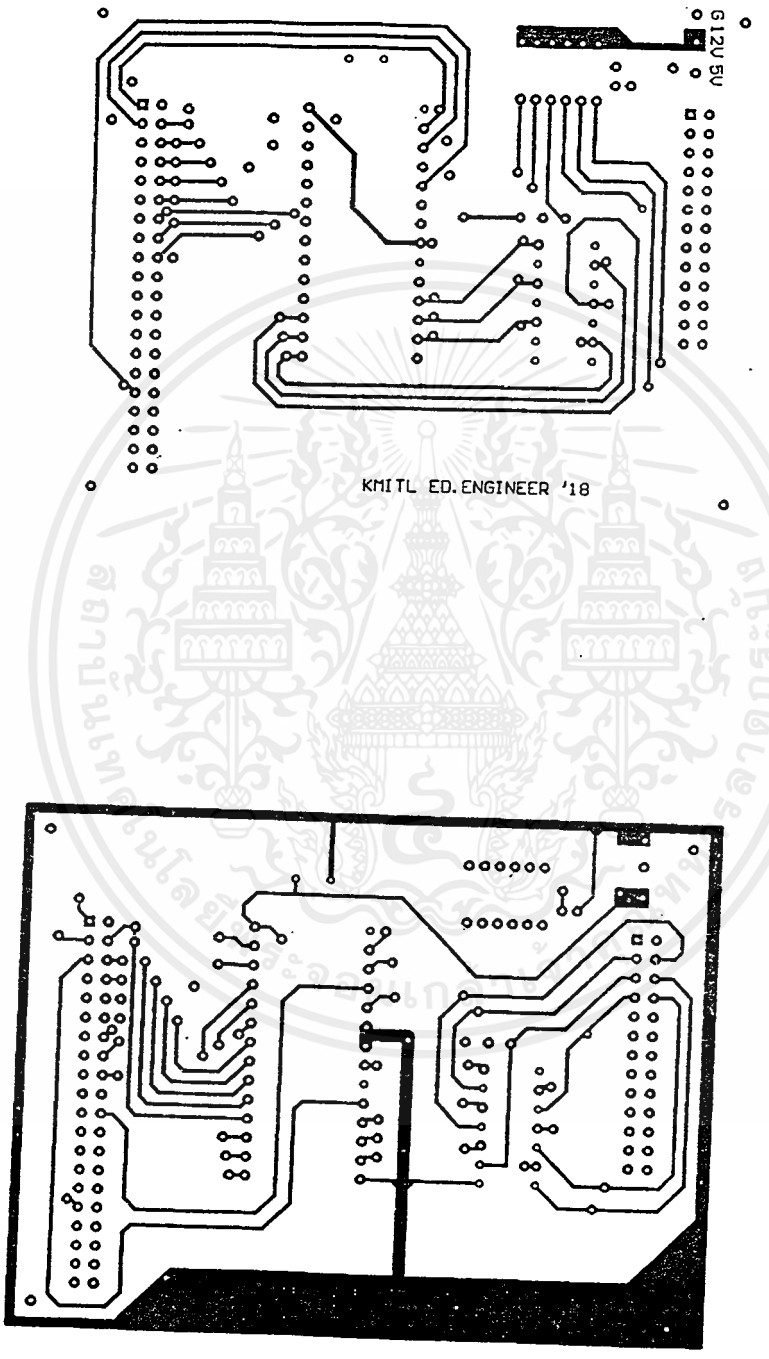
รูปที่ ข.1 ลายวงจรพิมพ์ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง (ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



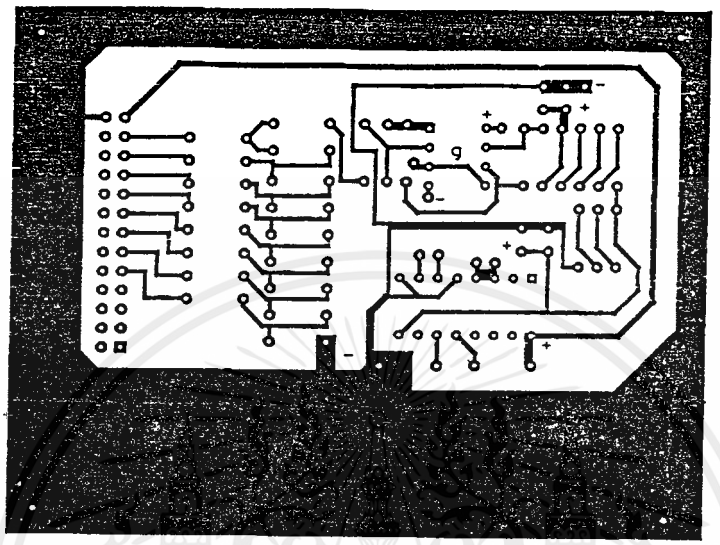
รูปที่ ข.2 ลายวงจรพิมพ์ชุดขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง (ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



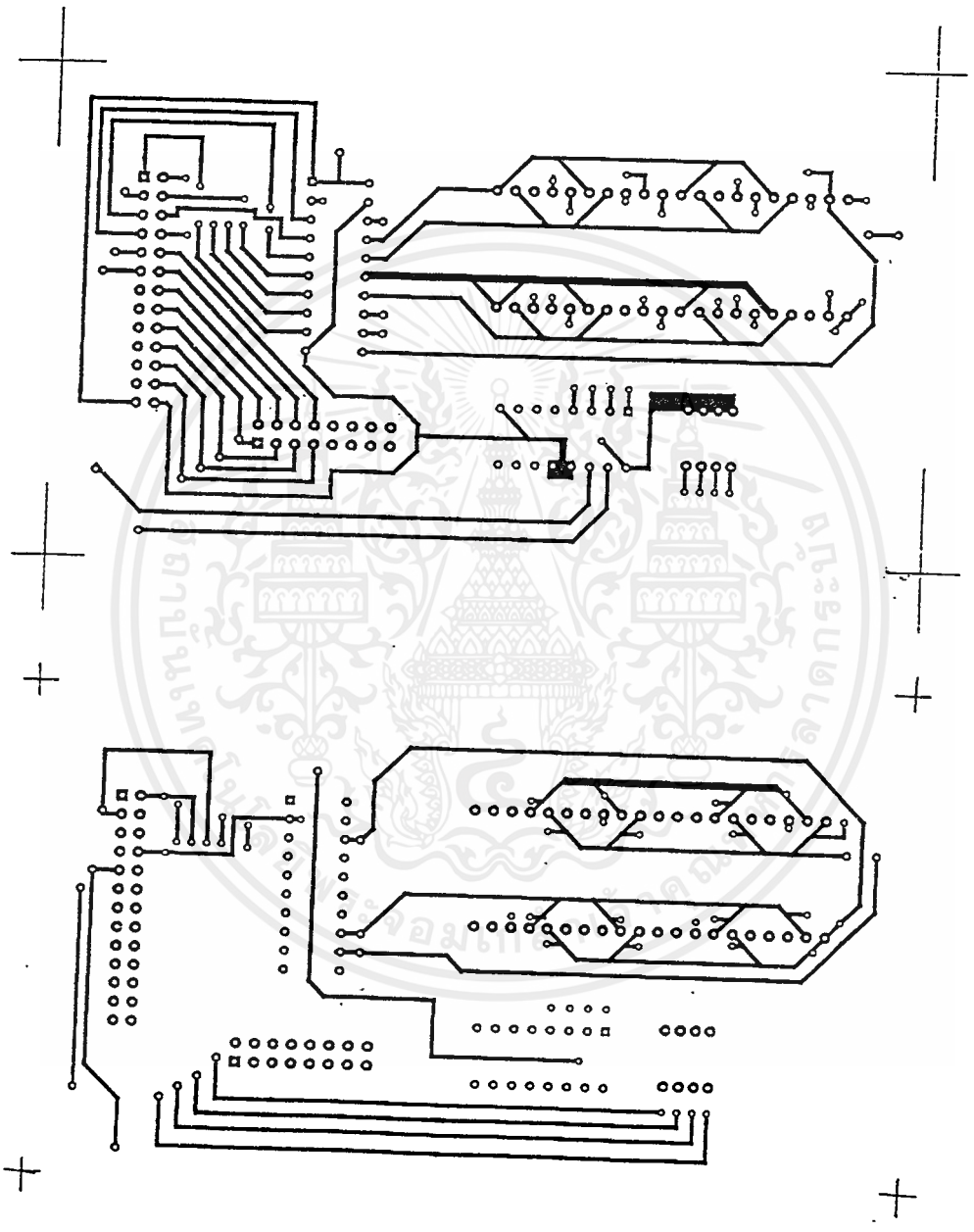
รูปที่ ข.3 ลายวงจรพิมพ์ชุดสร้างสัญญาน PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 ลายวงจรพิมพ์ DACและVCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ลายวงจรพิมพ์ภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
โปรแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
X0              EQU     50H
X1              EQU     51H
X2              EQU     52H
X3              EQU     53H
X4              EQU     54H
X7              EQU     55H
MOTORF          EQU     56H
POSTH           EQU     57H
POSTL           EQU     58H
DESTH           EQU     59H
DESTL           EQU     5AH
RESTH           EQU     5BH
RESTL           EQU     5CH
DIRF            EQU     5DH
DEADTM          EQU     15
DIVIDE          EQU     15
SYNC            EQU     P1.0
CSE             EQU     P1.1
INHIB           EQU     P1.2

; 75H           DIVIDER
; 76H-79H       ENCODER DATA
; 7AH-7DH       DISPLAY DATA
; 6AH-6DH       NEW POSITION

        ORG     0000H
        LJMP    START
        LJMP    ENCODER
        ORG     0013H
        LJMP    ENCODER

;****************
;* START INITIAL
;****************

START:          MOV     R0,#50
START1:         LCALL   DELAY
                DJNZ    R0,START
                MOV     DPTR,#0F803H
                MOV     A,#81H
                MOVX    @DPTR,A         ;CONTROL 8255
                MOV     76H,#0H
                MOV     77H,#1H
                MOV     78H,#3H
                MOV     79H,#2H
                MOV     75H,#0H
                MOV     POSTH,#0
                MOV     POSTL,#0
                MOV     DPTR,#0
                LCALL   HTOD

;* SET START ENCODER

START2:         MOV     R0,#76H
                MOV     A,PI
                RR      A
                RR      A
                RR      A
                RR      A
                ANL     A,#3
                MOV     7EH,A
                MOV     A,@R0
                INC     R0
                CJNE    A,7EH,START2
                DEC     R0
                MOV     7FH,R0

;* PROGRAM SPEED FIRST TO SLOW SLE4520

                MOV     DPTR,#0FC03H
                MOV     A,#80H
                MOVX    @DPTR,A
                MOV     DPTR,#0FC01H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,#160
                MOVX    @DPTR,A

;* INITIAL ENCODER INTERRUPT

                SETB    IT0
                SETB    IT1
                MOV     IE,#85H

        ;**************
        ;* MAIN PROGRAM
        ;**************
        S1:     LCALL   KEY
                PUSH    ACC
                MOV     DPH,POSTH
                MOV     DPL,POSTL
                LCALL   HTOD
                POP     ACC
                CJNE    A,#10,S2
                LCALL   ENTER
                SJMP    S1
        S2:     CJNE    A,#11,S3
                LCALL   LEFT
                SJMP    S1
        S3:     CJNE    A,#15,S1
                LCALL   REF
                SJMP    S1


        ;*********
        ;* MOTOR >
        ;*********
        RIGHT:  CLR     C
                MOV     A,DESTL
                SUBB    A,POSTL
                MOV     RESTL,A
                MOV     A,DESTH
                SUBB    A,POSTH
                MOV     RESTH,A
                MOV     A,RESTL
                SUBB    A,#10
                MOV     A,RESTH
                SUBB    A,#0
                NC      RIGHT2
                MOV     A,#160
                SJMP    RIGHT1
RIGHT2:         MOV     A,#232
RIGHT1:         MOV     DPTR,#0FC01H
                MOVX    @DPTR,A
                MOV     DIRF,#0
                MOV     MOTORF,#1
                MOV     X1,#32
                MOV     X2,#16
                MOV     X3,#0
                LCALL   MOTOR
                MOV     DPH,POSTH
                MOV     DPL,POSTL
                LCALL   HTOD
                RET

;***********
;* MOTOR <
;***********
LEFT:           CLR     C
                MOV     A,DESTL
                SUBB    A,POSTL
                MOV     A,DESTH
                SUBB    A,POSTH
                JNC     RIGHT
                CLR     C
                MOV     A,POSTL
                SUBB    A,DESTL
                MOV     RESTL,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,POSTH
                SUBB    A,DESTH
                MOV     RESTH,A
                MOV     A,RESTL
                SUBB    A,#10
                MOV     A,RESTH
                SUBB    A,#0
                JNC     LEFT2
                MOV     A,#160
                SJMP    LEFT1
LEFT2:          MOV     A,#232
LEFT1:          MOV     DPTR,#0FC01H
                MOVX    @DPTR,A
                MOV     DIRF,#1
                MOV     MOTORF,#1
                MOV     X1,#0
                MOV     X2,#16
                MOV     X3,#32
                LCALL   MOTOR           ;ENTER
                MOV     DPH,POSTH
                MOV     DPL,POSTL
                LCALL   HTOD
                RET

;*********************
;* POSITION REFERENCE
;*********************

REF:            MOV     MOTORF,#1
                MOV     POSTH,#0
                MOV     DESTH,#5
                MOV     X1,#0
                MOV     X2,#16
                MOV     X3,#32
                MOV     DPTR,#0FC01H
                MOV     A,#232
                MOVX    @DPTR,A
                LCALL   MOTOR           ;ENTER
                MOV     DPTR,#0FC01H
                MOV     A,#160
                MOVX    @DPTR,A
                MOV     R0,#220
REF1:           LCALL   DELAY
                DJNZ    R0,REF1
                MOV     DESTH,#0
                MOV     DESTL,#50
                MOV     POSTH,#0
                MOV     POSTL,#0
                MOV     MOTORF,#2
                MOV     X1,#32
                MOV     X2,#16
                MOV     X3,#0
                LCALL   MOTOR           ;ENTER
                MOV     DPTR,#0
                MOV     POSTL,DPL
                MOV     POSTH,DPH
                MOV     DESTH,DPH
                MOV     DESTL,DPL
                MOV     RESTH,DPH
                MOV     RESTL,DPL
                LCALL   HTOD
                RET

;************
; ENTER DATA
;************

ENTER:          MOV     7AH,#10H
                MOV     7BH,#10H
                MOV     7CH,#10H
                MOV     7DH,#10H
                MOV     R0,#7AH
                MOV     R1,#4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ENTER1:     LCALL   KEY
            CJNE    A,#12,ENTER2
            MOV     DPL,POSTL
            MOV     DPH,POSTH
            LCALL   HTOD
            RET
ENTER2:     CLR     C
            MOV     R7,A
            SUBB    A,#10
            JNC     ENTER1
            MOV     A,R7
            MOV     @R0,A
            INC     R0
            DJNZ    R1,ENTER1
            LCALL   DTOH
            CLR     C
            MOV     A,DPL
            SUBB    A,#9BH
            MOV     A,DPH
            SUBB    A,#1
            JNC     ENTER
            MOV     DESTH,DPH
            MOV     DESTL,DPL
            RET

;**************
; READ ENCODER
;**************

ENCODER:    PUSH    ACC
            PUSH    0
            PUSH    1
            PUSH    PSW
            MOV     R0,7FH
            MOV     A,P1
            RR      A
            RR      A
            RR      A
            RR      A
            ANL     A,#3
            CJNE    A,7EH,ENCODER3
            SJMP    ENCODERO
ENCODER3:   MOV     7EH,A
            MOV     A,R0
            MOV     R1,A
            CJNE    A,#76H,ENCODER5
            MOV     R0,#79H
            SJMP    ENCODER6
ENCODER5:   DEC     R0
ENCODER6:   MOV     A,@R0
            CJNE    A,7EH,ENCODER4
            MOV     7FH,R0
            MOV     A,75H
            CJNE    A,#0,ENCODER10
            MOV     75H,#159
            CLR     C
            MOV     A,POSTL
            SUBB    A,#1
            MOV     POSTL,A
            MOV     A,POSTH
            SUBB    A,#0
            MOV     POSTH,A
            SJMP    ENCODERO
ENCODER10:  DEC     75H
            SJMP    ENCODERO
ENCODER4:   PUSH    1
            POP     0
            MOV     A,R0
            CJNE    A,#79H,ENCODER7
            MOV     R0,#76H
            SJMP    ENCODER8
ENCODER7:   INC     R0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ENCODER8:   MOV     A,@R0
            CJNE    A,7EH,ENCODERO
            MOV     7FH,R0
            MOV     A,75H
            CJNE    A,#159,ENCODER9
            MOV     75H,#0
            CLR     C
            MOV     A,POSTL
            ADD     A,#1
            MOV     POSTL,A
            MOV     A,POSTH
            ADDC    A,#0
            MOV     POSTH,A
            SJMP    ENCODERO
_ENCODER9:  INC     75H
ENCODERO:   POP     PSW
            POP     1
            POP     0
            POP     ACC
            RETI

;*************
;* SCAN SEGMENT
;*************

SCAN_SEG:   PUSH    DPH
            PUSH    DPL
            PUSH    0
            PUSH    1
            PUSH    2
            PUSH    3
            MOV     R0,#7AH
            MOV     R3,#4
            MOV     R2,#0
SCAN_SEG1:  MOV     A,@R0
            INC     R0
            MOV     DPTR,#DATA_SEG
            MOVC    A,@A+DPTR
            MOV     DPTR,#0F800H
            MOVX    @DPTR,A
            INC     DPTR
            MOV     A,R2
            MOVX    @DPTR,A
            INC     R2
            LCALL   DELAY
            DJNZ    R3,SCAN_SEG1
SCAN_SEGO:  POP     3
            POP     2
            POP     1
            POP     0
            POP     DPL
            POP     DPH
            RET

;************
;* READ KEY
;************
KEY:        PUSH    DPH
            PUSH    DPL
            PUSH    0
            PUSH    1
            PUSH    2
KEYS:       MOV     DPTR,#0F802H
            MOV     R0,#0EFH
            MOV     R1,#4
            MOV     R2,#0
KEY1:       MOV     A,R0
            MOVX    @DPTR,A
            RL      A
            MOV     R0,A
            MOVX    A,@DPTR
            ANL     A,#0FH
            CJNE    A,#0FH,KEY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                INC     R2
                DJNZ    R1,KEY1
                LCALL   SCAN_SEG
                SJMP    KEYS
KEY2:           MOV     R0,#0
                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
                PUSH    ACC
                MOV     DPTR,#0F800H
                MOV     A,#0
                MOVX    @DPTR,A
                MOV     DPTR,#0F802H
                MOV     R0,#60
KEY5:           LCALL   DELAY
                DJNZ    R0,KEY5
KEY4:           MOVX    A,@DPTR
                ANL     A,#0FH
                CJNE    A,#0FH,KEY4
                POP     ACC
KEYO:           POP     2
                POP     1
                POP     0
                POP     DPL
                POP     DPH
                RET
DELAY:          PUSH    7
                PUSH    6
                MOV     R7,#10
DE2:            MOV     R6,#0
DE1:            DJNZ    R6,DE1
                DJNZ    R7,DE2
                POP     6
                POP     7
                RET

;***************
;* MOTOR RUN
;***************

MOTOR:          CLR     SYNC
                MOV     DPTR,#8000H
                MOV     A,#63
                MOVX    @DPTR,A
                INC     DPTR
                MOVX    @DPTR,A
                INC     DPTR
                MOVX    @DPTR,A
                INC     DPTR
                MOV     A,#DEADTM
                MOVX    @DPTR,A
                INC     DPTR
                MOV     A,#DIVIDE
                MOVX    @DPTR,A
                SETB    INHIB
                MOV     DPTR,#TABLE1
                MOV     X0,#48
MOTOR1:         MOV     C,P1.7
                JC      MOTOR1
                LCALL   SUB
                SETB    C
                MOV     A,#4BH
MA3:            MOV     X7,#1H
MA2:            MOV     X4,#6H
MA1:            DJNZ    X4,MA1
                DJNZ    X7,MA2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CLR     C
                SUBB    A,#01
                MOV     B,A
                MOV     C,P1.7
                JC      SU
                SJMP    MA3
SU:             NOP
                CLR     C
                MOV     DPTR,#TABLE1
                MOV     X0,#48
                CLR     A
                MOV     098H,A
                MOV     A,B
                MOV     B,#100
                DIV     AB
                MOV     A,#10
                XCH     A,B
                DIV     AB
                SWAP    A
                ADD     A,B
                MOV     99H,A
                LCALL   CHECK
                MOV     A,MOTORF
                CJNE    A,#0,MOTOR1
                SETB    INHIB
                RET

;******************
;* PROGRAM SLE4520
;******************

SUB:            CLR     INHIB
                SETB    SYNC
                NOP
                CLR     SYNC
                MOV     A,X1
                CJNE    A,X0,OVER1
                MOV     X1,#00
OVER1:          CLR     A
                MOV     A,X1
                MOV     DPTR,#TABLE1
                MOVC    A,@A+DPTR
                MOV     DPTR,#8000H
                MOVX    @DPTR,A
                INC     X1
                MOV     A,X2
                CJNE    A,X0,OVER2
                MOV     X2,#00
OVER2:          MOV     A,X2
                MOV     DPTR,#TABLE1
                MOVC    A,@A+DPTR
                MOV     DPTR,#8001H
                MOVX    @DPTR,A
                INC     X2
                MOV     A,X3
                CJNE    A,X0,OVER3
                MOV     X3,#00
OVER3:          MOV     A,X3
                MOV     DPTR,#TABLE1
                MOVC    A,@A+DPTR
                MOV     DPTR,#8002H
                MOVX    @DPTR,A
                INC     X3
                RET

;**********
;* CHECK DATA
;**********

CHECK:          MOV     RESTH,POSTH
                MOV     RESTL,POSTL
                MOV     A,MOTORF
                CJNE    A,#2,CHECK4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,P1
                ANL     A,#2
                CJNE    A,#2,CHECK3
                MOV     MOTORF,#0
                RET
CHECK4:         MOV     A,P1
                ANL     A,#2
                CJNE    A,#0,CHECK3
                MOV     MOTORF,#0
                RET
CHECK3:         MOV     A,DIRF
                CJNE    A,#0,CHECKL
                MOV     A,DESTL
                CLR     C
                SUBB    A,RESTL
                MOV     RESTL,A
                MOV     A,DESTH
                SUBB    A,RESTH
                MOV     RESTH,A
                CJNE    A,#0,CHECKO
                MOV     A,RESTL
                CJNE    A,#10,CHECK1
                MOV     DPTR,#0FC01H
                MOV     A,#160
                MOVX    @DPTR,A
                SJMP    CHECKO
CHECK1:         CJNE    A,#0,CHECKO
                MOV     MOTORF,#0
CHECKO:         RET
CHECKL:         CLR     C
                MOV     A,RESTL
                SUBB    A,DESTL
                MOV     RESTL,A
                MOV     A,RESTH
                SUBB    A,DESTH
                MOV     RESTH,A
                CJNE    A,#0,CHECKO
                MOV     A,RESTL
                CJNE    A,#10,CHECK2
                MOV     DPTR,#0FC01H
                MOV     A,#160
                MOVX    @DPTR,A
                SJMP    CHECKO
CHECK2:         CJNE    A,#0H,CHECKO
                CLR     C
                MOV     A,75H
                SUBB    A,#5
                JNC     CHECKO
                MOV     MOTORF,#0
                SJMP    CHECKO

;*****************
;* HEX TO DECIMAL
;*****************

HTOD:           CLR     A
                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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                DJNZ    R5,HTOD2
                DJNZ    R4,HTOD1
                MOV     A,R3
                ANL     A,#0FH
                MOV     7DH,A
                MOV     A,R3
                ANL     A,#0F0H
                RR      A
                RR      A
                RR      A
                RR      A
                MOV     7CH,A
                MOV     A,R2
                ANL     A,#0FH
                MOV     7BH,A
                MOV     A,R2
                ANL     A,#0F0H
                RR      A
                RR      A
                RR      A
                RR      A
                MOV     7AH,A
                RET

;*************
;* DECIMAL TO HEX
;*************

DTOH:           MOV     A,7CH
                RL      A
                RL      A
                RL      A
                RL      A
                ANL     A,#0F0H
                MOV     R3,A
                MOV     A,7DH
                ANL     A,#0FH
                ORL     A,R3
                MOV     R3,A
                MOV     A,7AH
                RL      A
                RL      A
                RL      A
                RL      A
                ANL     A,#0F0H
                MOV     R2,A
                MOV     A,7BH
                ANL     A,#0FH
                ORL     A,R2
                MOV     R2,A
                MOV     R1,#0
                MOV     R4,#16
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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     DPL,A
                DJNZ    R4,DTOH1
                RET

;*************************************************************************
TABLE1:         DB      63,71,79,87,94,101,108,113,118,121,124,125
                DB      126,125,124,121,118,113,108,101,94,87,79,71
                DB      63,55,47,39,32,25,18,13,08,05,02,01
                DB      00,01,02,05,08,13,18,25,32,39,47,55

DATA_SEG:       DB      3FH, 06H, 5BH, 4FH, 66H, 6DH, 7DH, 07H, 7FH, 6FH
                DB      77H, 7CH, 39H, 5EH, 79H, 71H, 40H, 50H, 00

                END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

<u>รายการอุปกรณ์ภาคขับมอเตอร์และสวิตชิ่งกำลัง</u>

ตัวต้านทาน	47 โอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน	150 โอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน	22 กิโลโอห์ม	6 ตัว
ตัวต้านทาน	22 โอห์ม / 4วัตต์	6 ตัว
ตัวเก็บประจุ	100 นาโนฟารัด	9 ตัว
ตัวเก็บประจุ	100 นาโนฟารัด / 630 โวลต์	6 ตัว
ตัวเก็บประจุ	1 ไมโครฟารัด / 35 โวลต์	6 ตัว
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
มอสเฟต	IRFP 450	6 ตัว
ออปโตคับเปิล	SN 136	6 ตัว

<u>รายการอุปกรณ์วงจรสร้างสัญญาณ PWM</u>

ตัวต้านทาน	4.7 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	2.2 กิโลโอห์ม	6 ตัว
ตัวเก็บประจุ	100 นาโนฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	10 ไมโครฟารัด / 10 โวลต์	1 ตัว
คริสตอล	12 เมกะเฮิรตซ์	1 ตัว
สวิตช์		1 ตัว
ไอซี	SLE 4520	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซี	8032	1 ตัว
ไอซี	27256	1 ตัว
ไอซี	74 LS 373	1 ตัว
ไอซี	SN 7407	1 ตัว

<u>รายการอุปกรณ์วงจร VCO</u>

ตัวต้านทาน	470 โอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	1.5 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	100 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	500 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	1 เมกะโอห์ม	2 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่าได้	100 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.001 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	1 ไมโครฟารัด / 16 โวลต์	1 ตัว
ไดโอด	1N4148	2 ตัว
ไอซี	MN 4046 B	1 ตัว

<u>รายการอุปกรณ์วงจร DAC</u>

ตัวต้านทาน	1 กิโลโอห์ม	8 ตัว
ตัวต้านทาน	2 กิโลโอห์ม	9 ตัว
ตัวต้านทาน	10 กิโลโอห์ม	3 ตัว
ตัวต้านทาน	15 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ไอซีออปแอมป์	LM 353	1 ตัว

<u>รายการอุปกรณ์วงจรแสดงผลและรับคีย์</u>

ไอซี	74 LS145	1 ตัว
ไอซี	74 LS 245	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทาน	4.7 โอห์ม	4 ตัว
เซเว่นเซ็กเม้นต์	คอมม่อนคาโถด	4 ตัว
คีย์บอร์ด	ขนาด 4×4	1 ตัว

<u>รายการอุปกรณ์วงจรป้องกัน , วงจรป้องกันตัวเครื่อง , วงจรอ้างอิงจุดเริ่มต้น</u>

ตัวต้านทาน	10 กิโลโอห์ม	3 ตัว
ตัวต้านทาน	4.7 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวต้านทาน	220 กิโลโอห์ม	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	10 ไมโครฟารัด / 35 โวลต์	1 ตัว
ไดโอด	1N4007	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์	BC 547	1 ตัว
รีเลย์	12 โวลต์	1 ตัว
ไอซี	LM 324	1 ตัว
ไมโครสวิตช์		2 ตัว

<u>รายการอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์</u>

ตัวต้านทาน	1 กิโลโอห์ม / 5 วัตต์	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

<u>รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์</u>

ตัวเก็บประจุ	0.1 ไมโครฟารัด	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	0.33 ไมโครฟารัด	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

<u>รายการอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์</u>

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

<u>รายการอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์</u>

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

<u>รายการอุปกรณ์ชุดแมคคานิกส์</u>

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

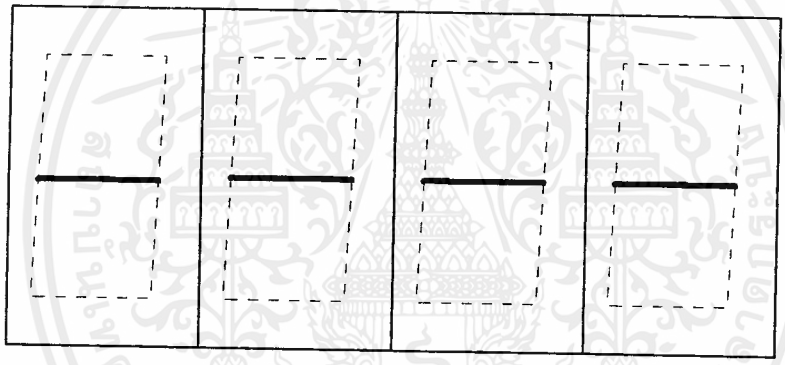
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน
ระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ MCS - 51

1. เสียบปลั๊กไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์
2. เปิดสวิตช์ POWER ที่อยู่ด้านหน้าของเครื่อง
3. กดปุ่มรีเซ็ต (RESET) ที่อยู่ด้านบนสวิตช์ POWER ที่จอแสดงผล (DISPLAY) จะปรากฏเครื่องหมาย ดังนี้

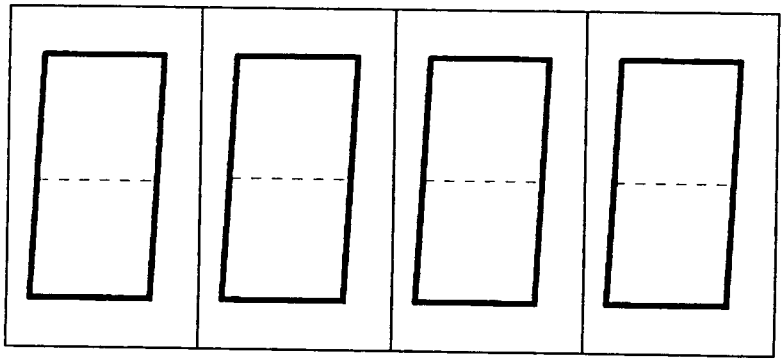


รูปที่ จ.1 จอแสดงผลเมื่อกดปุ่มรีเซ็ต

4. การเข้าสู่การใช้เครื่อง เมื่อทำการกดปุ่มรีเซ็ท หน้าจอแสดงผลจะปรากฏดังข้อ 3 แล้วทำการกดปุ่ม R (REFERENCE) เพื่อทำการตั้งค่าตัวบอกตำแหน่งที่ยื่นออกไปเหนือไม้บรรทัดที่เป็นตัวที่จะใช้อ่านค่าตำแหน่ง โดยเครื่องจะตั้งค่าไว้ที่ 0 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ด้านซ้ายสุดของไม้บรรทัด

4.1 การทำงานในการบอกค่าตำแหน่งเริ่มต้น หลังจากกดปุ่ม R เครื่องจะทำให้เองโดยอัตโนมัติ โดยตัวบอกตำแหน่งจะเคลื่อนไปทางด้านซ้าย และทำการปรับให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่ง 0000 โดยอัตโนมัติ และที่ DISPLAY จะปรากฏตำแหน่งเริ่มต้น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.2 จอแสดงผลกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น

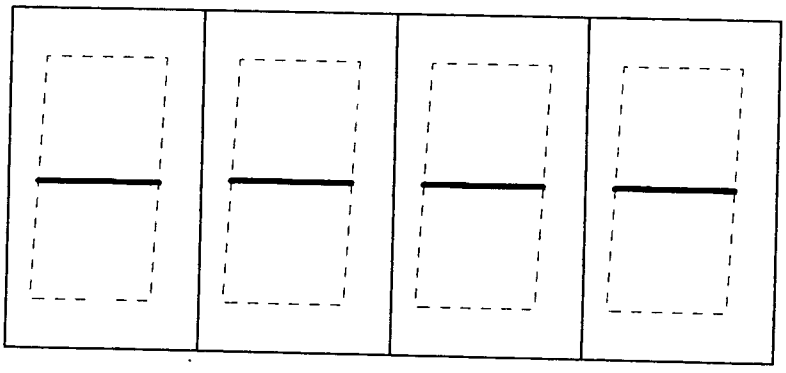
4.2 ในการกดปุ่มอื่นๆ นอกเหนือจากปุ่ม R เครื่องจะไม่รับรู้ คือจะไม่ทำงาน โดยทุกครั้งในการใช้เครื่องต้องกดปุ่ม R ก่อนเสมอ จึงจะไปกดปุ่มอื่นต่อได้

5.การควบคุมตัวบอกตำแหน่งและความเร็ว ของเครื่องควบคุมความเร็วและบอกตำแหน่ง จะเป็นแบบกายภาพ (Physical) คือในการบอกตำแหน่งถ้าต้องการให้ตัวบอกตำแหน่งชี้ที่ระยะใดบนสเกลที่ปรากฏบนไม้บรรทัด ก็สามารถกดปุ่มที่คีย์บอร์ดได้ทันที โดยสเกลที่ใช้บอกตำแหน่งจะบอกได้สูงสุด 410 มิลลิเมตร ในส่วนของการควบคุมความเร็วเครื่องจะทำให้โดยอัตโนมัติ โดยความเร็วของเครื่องจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ระดับ คือ เร็วและช้า โดยถ้าต้องการให้ตัวบอกตำแหน่งชี้ที่ระยะอ้างอิงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตัวบอกตำแหน่งจะวิ่งเข้าหาตำแหน่งนั้นด้วยความเร็วต่ำ และถ้าจุดที่ต้องการให้ตัวบอกตำแหน่งอยู่ห่างจากจุดอ้างอิง มากกว่า 10 มิลลิเมตร ขึ้นไป ตัวบอกตำแหน่งจะเคลื่อนที่ ด้วยระดับความเร็วสูงก่อน พอตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่ไปจนตัวบอกตำแหน่งอยู่ห่างจากจุดที่ต้องการเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตัวบอกตำแหน่งจะลดระดับความเร็วเป็นระดับต่ำ จนถึงจุดที่ต้องการ ซึ่งการควบคุมเครื่องหลังจากทำการกดปุ่ม R สามารถทำได้โดยใช้ คีย์บอร์ดที่อยู่ด้านบนเครื่อง

5.1กดปุ่ม P (Position) ที่DISPLAY จะปรากฏเครื่องหมายดังรูป

เครื่องหมายนี้เป็นการแสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะรับข้อมูลเข้าทางคีย์บอร์ด เพื่อที่จะใช้ควบคุมตัวบอกตำแหน่งให้เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการ

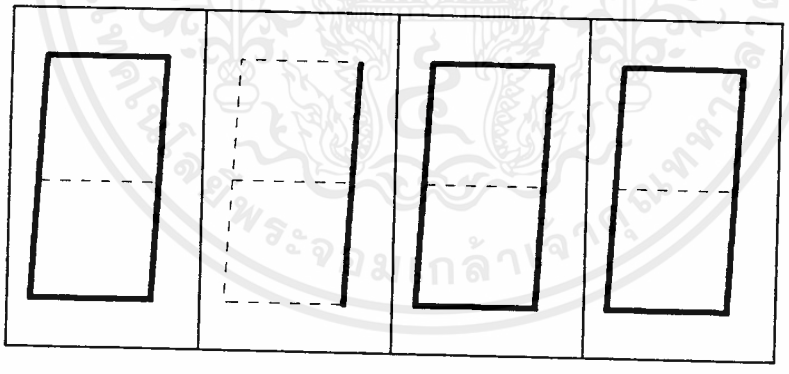
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DISPLAY

รูปที่ จ.3 จอแสดงผลแสดงว่าเครื่องพร้อมรับการป้อนข้อมูล

5.2 ทำการป้อนข้อมูลที่ต้องการโดยการกดคีย์บอร์ด ซึ่งการป้อนข้อมูลต้องกดปุ่ม 0 ก่อนเสมอ และข้อมูลที่ป้อนจะต้องไม่เกิน 410 มิลลิเมตร เช่นถ้าต้องการให้เครื่องบอกตำแหน่งห่างจากจุด 0000 ไป 100 มิลลิเมตร ก็ทำการกด 0100 DISPLAY จะปรากฏดังนี้



DISPLAY

รูปที่ จ.4 จอแสดงผลแสดงตำแหน่งที่ต้องการ

เมื่อกดปุ่มเรียบร้อยแล้วถ้าต้องการให้ตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่ไปยังสเกลบนไม้บรรทัด ที่ตำแหน่ง 0100 ก็ทำได้ด้วยการกดปุ่ม E (ENTER) ตัวบอกตำแหน่งก็จะเคลื่อนที่ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยเราสามารถอ่านสเกลจากไม้บรรทัดที่ตัวบอกตำแหน่งเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งบนไม้บรรทัด

5.3 ในการป้อนข้อมูล กรณีกดปุ่ม P เรียบร้อยแล้ว และทำการป้อนข้อมูลตำแหน่งที่ต้องการแล้วผิดพลาด ต้องการข้อมูลใหม่ก็ทำการกดปุ่ม C ซึ่ง DISPLAY จะแสดงข้อมูลเดิมก่อนหน้านั้น หรือทำการกดปุ่มใดๆให้เกิน 4 หลักขึ้นไป หรือป้อนข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลตั้งแต่ 0-410 มิลลิเมตร เครื่องจะแสดงเครื่องหมายพร้อมรับข้อมูลตำแหน่งใหม่อีกครั้ง

5.4 กรณีที่ DISPLAY แสดงข้อมูลของตำแหน่งที่ตัวบอกตำแหน่งชี้อยู่ ถ้าเพลาเกิดการหมุน เราสามารถที่จะทราบตำแหน่งใหม่ โดยการกดปุ่มใดๆ ยกเว้นปุ่ม P และปุ่ม E ก็สามารถที่จะรู้ตำแหน่งใหม่นั้นได้

5.5 กรณีที่ต้องการทำการ Referrence ทำได้ในกรณีหลังจากกดรีเซ็ต และกรณีสิ้นสุดการทำการชี้ตำแหน่งของตัวบอกตำแหน่ง

6. เมื่อต้องการที่จะเลิกใช้เครื่องทุกครั้งให้กดปุ่ม R แล้วทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงาน

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

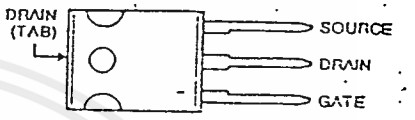
Description

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 (3)	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 (See Figure 14, L = 100μH)	I_{LM}	52	52	48	48	A
Single Pulse Avalanche Energy Rating (4)	E_{AS}*	860	860	860	860	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 = 7.9mH, 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.

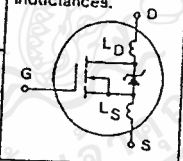
Copyright © Harris Corporation 1991

File Number 2331.1

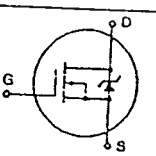
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Electrical Characteristics $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITIONS	LIMITS MIN	LIMITS TYP	LIMITS MAX	UNITS
Drain-Source Breakdown Voltage IRFP450/452, IRFP450R/452R	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V$, $I_D = 250\mu A$	500	-	-	V
IRFP451/453, IRFP451R/453R			450	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\mu A$	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, $V_{GS} = 0V$, $T_J = +125^oC$	-	-	1000	µA
On-State Drain Current (Note 2) IRFP450/451, IRFP450R/451R	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)}$ Max, $V_{GS} = 10V$	14	-	-	A
IRFP452/453, IRFP452R/453R			12	-	-	A
Static Drain-Source On-State Resistance (Note 2) IRFP450/451, IRFP450R/451R	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V$, $I_D = 7.9A$	-	0.3	0.4	Ω
IRFP452/453, IRFP452R/453R			-	0.4	0.5	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50V$, $I_D = 7.9A$	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	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 250V$, $I_D = 14A$, $R_G = 6.1\Omega$ See Figure 16. (MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature)	-	16	27	ns
Rise Time	t_r		-	45	68	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}	$T_J = +25^oC$, $I_S = 14A$, $V_{GS} = 0V$	-	-	1.4	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = +150^oC$, $I_F = 13A$, $dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	1300	-	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = +150^oC$, $I_F = 13A$, $dI_F/dt = 100A/\mu s$	-	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. $T_J = +25^oC$ to $+150^oC$
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 $T_J = +25^oC$, $L = 7.9mH$, $R_{GS} = 25\Omega$, $I_{PEAK} = 14A$ (See Figure 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves

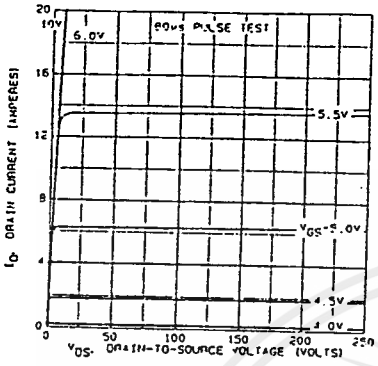


FIGURE 1. TYPICAL OUTPUT CHARACTERISTICS

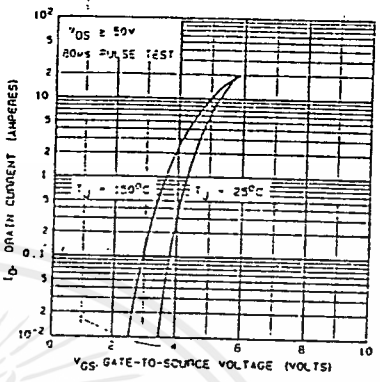


FIGURE 2. TYPICAL TRANSFER CHARACTERISTICS

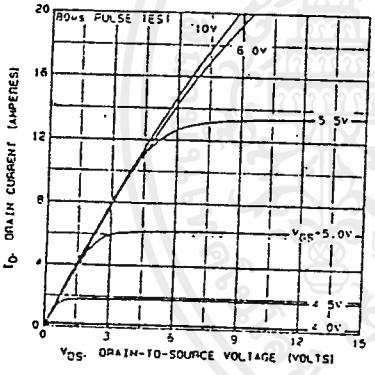


FIGURE 3. TYPICAL SATURATION CHARACTERISTICS

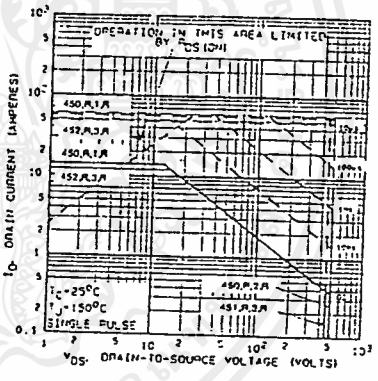


FIGURE 4. MAXIMUM SAFE OPERATING AREA

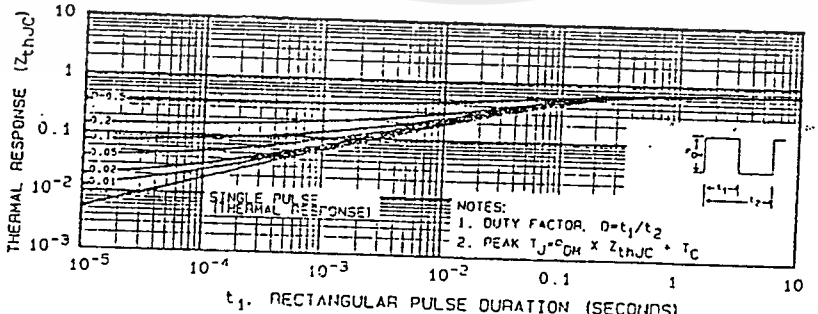


FIGURE 5. MAXIMUM EFFECTIVE TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE, JUNCTION-TO-CASE vs PULSE DURATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves (Continued)

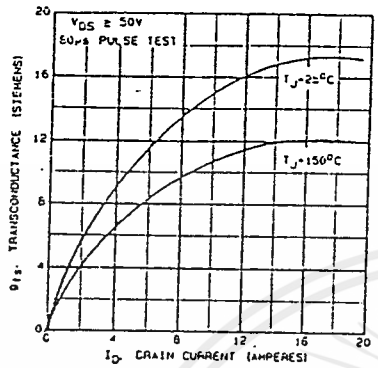


FIGURE 6. TYPICAL TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

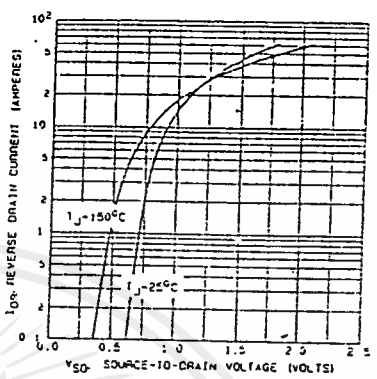


FIGURE 7. TYPICAL SOURCE-DRAIN DIODE FORWARD VOLTAGE

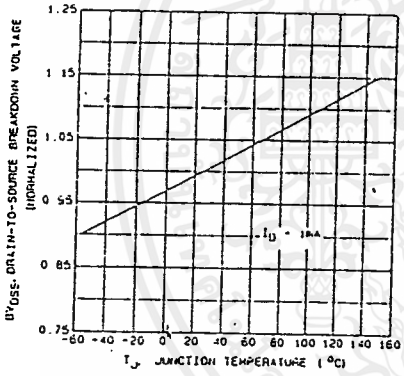


FIGURE 8. BREAKDOWN VOLTAGE vs TEMPERATURE

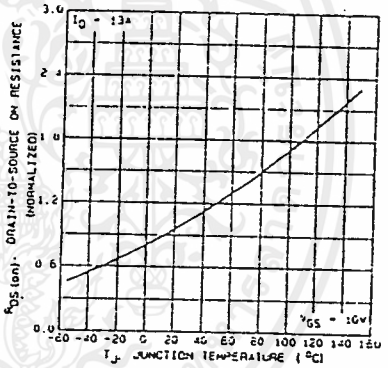


FIGURE 9. NORMALIZED ON-RESISTANCE vs TEMPERATURE

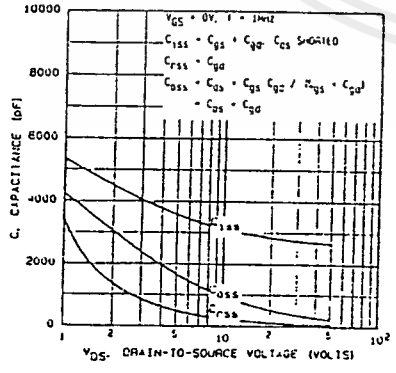


FIGURE 10. TYPICAL CAPACITANCE vs DRAIN-TO-SOURCE VOLTAGE

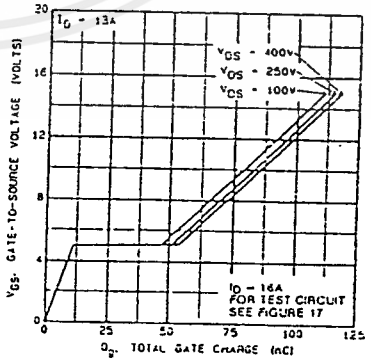


FIGURE 11. TYPICAL GATE CHARGE vs GATE-TO-SOURCE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves (Continued)

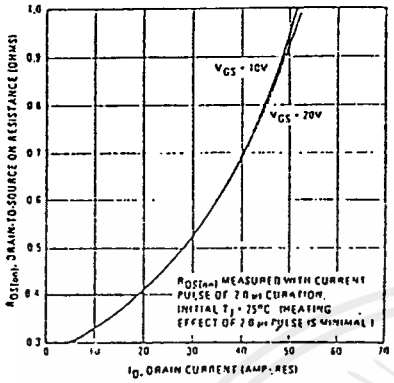


FIGURE 12. TYPICAL ON-RESISTANCE VS. DRAIN CURRENT

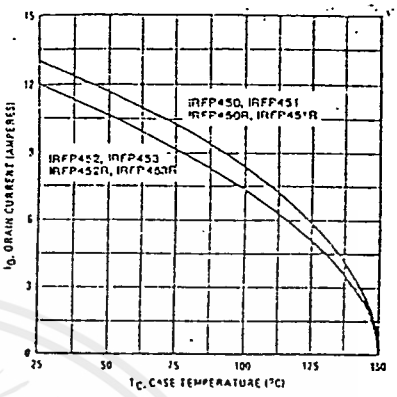


FIGURE 13. MAXIMUM DRAIN CURRENT VS. CASE TEMPERATURE

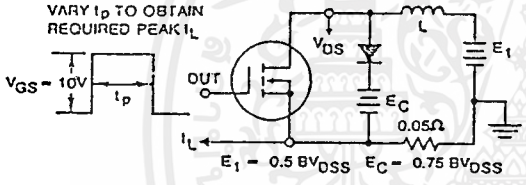


FIGURE 14a. CLAMPED INDUCTIVE TEST CIRCUIT

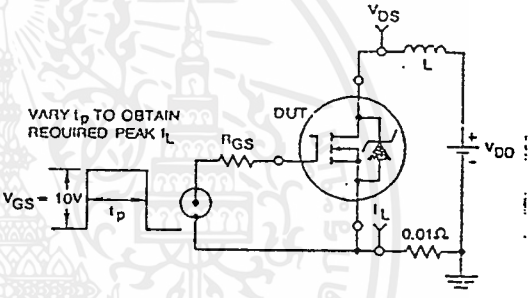


FIGURE 15a. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

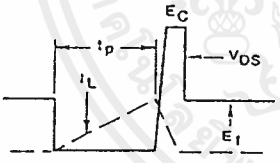


FIGURE 14b. CLAMPED INDUCTIVE WAVEFORMS

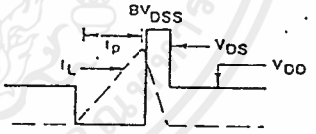


FIGURE 15b. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

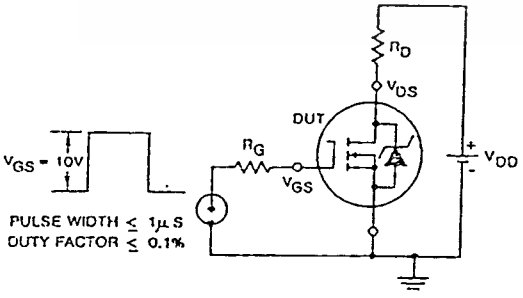


FIGURE 16. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

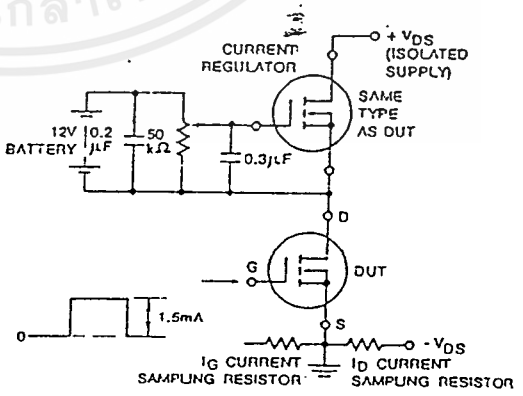
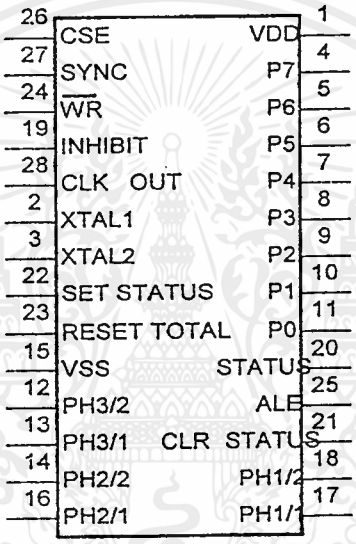


FIGURE 17. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SLE 4520



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ณรงค์ ชอนตะวัน , มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ , เอราวัณการพิมพ์ , กรุงเทพฯ

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

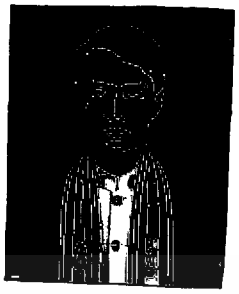
ประเสริฐ ฟูรัตนพาณิชย์ , วันชัย เด่นพายัพ , ปริญญานิพนธ์เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ 3 เฟส , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ , 2537

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

สุเจตน์ จันทรังษี , ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051 , โครงการตำรามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , กรุงเทพฯ , 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายครรชิต ก้อนมณี
วันเดือนปีเกิด	8 ธันวาคม พ.ศ.2518
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	592 ถนนกลางเมือง ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
โทรศัพท์	043-321-457
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลขอนแก่น
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	จงทำวันนี้ให้ดีกว่าเมื่อวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายไชยพล ศุภผลา
วันเดือนปีเกิด	7 กันยายน พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดยโสธร
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดยโสธร
ที่อยู่ปัจจุบัน	15-19 ถนนประชาสัมพันธ์
	อำเภอเมือง จังหวัดยโสธร 35000
โทรศัพท์	045-711283
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาล 1 สุขวิทยากรตั้งตรงจิตร 15
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนยโสธรพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคยโสธร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคยโสธร
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	การลงทุนที่คุ้มค่าที่สุดคือการลงทุนในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนิรันดร์ ประทุมภักดิ์
วันเดือนปีเกิด	6 กันยายน พ.ศ.2514
สถานที่เกิด	จังหวัดร้อยเอ็ด
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดร้อยเอ็ด
ที่อยู่ปัจจุบัน	68/2 ตำบลน้ำอ้อม อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด 45150
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านน้ำอ้อม
มัธยมศึกษาตอนต้น	ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน สาขาอำเภอ เกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออก เฉียงเหนือ นครราชสีมา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	ทุนยกเว้นหน่วยกิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ฝันให้ไกล ไปให้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสุชาติ สุทธิเภท
วันเดือนปีเกิด	1 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2518
สถานที่เกิด	จังหวัดมหาสารคาม
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดมหาสารคาม
ที่อยู่ปัจจุบัน	107/15 ถนนศรีสวัสดิ์รัตนโกสินทร์
	อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000
โทรศัพท์	01-6393792
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านโคกเต่า
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสารคามพิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
	ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	1. ทุนยกเว้นหน่วยกิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
	2. กองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษาของรัฐบาล
คติพจน์	ชนะใจตัวเอง / ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้