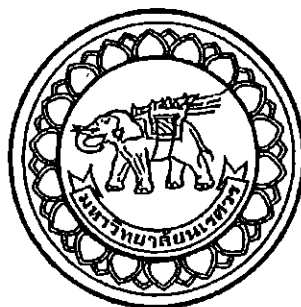




อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วแบบคงที่ของ
มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแปรตามอุณหภูมิ
INVERTER FOR CONSTANT-SPEED CONTROL OF
AC INDUCTION MOTORS VARYING WITH TEMPERATURE

นายโสภณ แห้วเพชร รหัส 49362352
นายอมร ปิตตะฝ่าย รหัส 49362420

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... ๙ มี.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15740344
เลขเรียกหนังสือ..... 2/6
มหาวิทยาลัยธนบุรี ๙๙๙ ๘
2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี
ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วแบบคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ
แปรตามอุณหภูมิ
ผู้ดำเนินโครงการ นายโสภณ แห้วเพชร รหัส 49362352
นายอมร ปิตตะฝ้าย รหัส 49362420
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงบุทท ชนบดีเฉลิมรุ่ง
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2552

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงบุทท ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ
(ดร. อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ
(ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วแบบคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ แปรตามอุณหภูมิ
ผู้ดำเนินโครงการ	นายโสภณ แห้วเพชร รหัส 49362352 นายอมร ปิตตะฝ้าย รหัส 49362420
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วแบบคงที่ของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วตามอุณหภูมิ สามารถขับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีขนาดไม่เกิน 3 กิโลวัตต์โดยใช้อุปกรณ์ไอจีบีทีเป็นตัวสวิตช์ในภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์ หลักการควบคุมสวิตช์เป็นแบบ PWM แบบไซน์ ซึ่งใช้ไอซี MC3PHAC เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM และใช้ TLP250 เป็นตัวขับนำเกต ของไอจีบีที ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ สามารถปรับความเร็วรอบ 589 rpm - 1500 rpm ที่อุณหภูมิ 20-50 °C

Project title Inverter for Constant-speed Control of AC Induction Motors Varying with Temperature

Name Mr. Sopon Haewpech ID. 49362352
Mr. Amon Pittafai ID. 49362420

Project advisor Asst. Prof. Dr. Yongyut Chonbodeechalermroong

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2009

.....

Abstract

This dissertation is to create an inverter for constant-speed control of 3-phase AC induction motors varying with temperature. It can drive a 3-phase AC induction motor with the size of less than 3 kW by means of IGBT devices as power switching. The principle of switching control is sinusoidal pulse width modulation (PWM) by the use of MC3PHAC together with TLP250 for driving IGBT gates. The result of the experiment shows that the inverter can vary speed of 589 – 1500 rpm when the temperature varies between 20 and 50 °C.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสร้างอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห ดร. พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์ ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอนโครงการ ครูช่างมนทนต์ ฝึกแอม ครูช่างกฤษฎา สมจิตชอบ ครูช่างฉัฐภัทร มัทย์พงษ์ถาวร ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนดีของสังคม

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

นายโสภณ

แก้วเพชร

นายอมร

ปิตตะฝ้าย

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor).....	5
2.2 การควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulate).....	7
2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	10
2.4 อินเวอร์เตอร์และการควบคุม.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการโครงการ.....	16
3.1 การออกแบบวงจรภาคขับเคลื่อน IGBT.....	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 วงจรกำลัง.....	19
3.3 การออกแบบสร้างสัญญาณควบคุม SVM PWM.....	19
3.4 การออกแบบ MC3PHAC.....	19
3.5 วงจรการทำงาน.....	21
3.6 คำนวณค่าอุปกรณ์.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	26
4.1 จุดประสงค์การทดลอง.....	26
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	26
4.3 ผลการทดลอง.....	50
บทที่ 5 บทสรุป.....	63
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	63
5.2 ประเมินผล.....	64
5.2 แนวทางสำหรับการพัฒนา.....	64
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	66
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณลักษณะของกระแส.....	21
3.2 กำหนดความถี่ PWM.....	22
3.3 การเลือกค่าความต้านทาน VBOOT.....	23
3.4 ค่าความต้านทานเพื่อเลือกช่วง DATE TIME.....	24
3.5 การเลือกความต้านทาน Fault retry time.....	24
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร Power.....	28
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple.....	30
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor และวงจร Control.....	33
4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร Opto-Couple.....	37
4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร IGBT.....	38
4.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor.....	43
4.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Control.....	49
4.8 แสดงค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะต่ออินเวอร์เตอร์ ที่ No Load.....	59
4.9 แสดงค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะต่ออินเวอร์เตอร์ ที่ Load 20%, Tq 0.5 NM.....	59
4.10 แสดงค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะต่ออินเวอร์เตอร์ที่ Load 40%, Tq 1 NM.....	60
4.11 ไม่ต่ออินเวอร์เตอร์ Tq 0.5 NM, Tq 1 NM.....	60

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	4
2.2 โรเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	5
2.3 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	6
2.4 แสดงรูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส.....	6
2.5 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว.....	7
2.6 วงจรอินเวอร์เตอร์.....	7
2.7 รูปคลื่น $V = V_0$ (ถ้า $T \ll L/R \ll 2\pi/\omega_s$).....	8
2.8 การต่อวงจรทอนระดับ 2 วงจร เพื่อกำหนดดองค์ประกอบไฟตรง.....	8
2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	8
2.10 ไซน์ตัดสามเหลี่ยม.....	9
2.11 รูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ PWM.....	9
2.12 สเปกตรัม.....	9
2.13 หลักการเบื้องต้นของอินเวอร์เตอร์.....	10
2.14 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave inverter).....	10
2.15 สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave inverter).....	11
2.16 วงจรแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-width modulation inverter).....	11
2.17 หลักการPWMเบื้องต้น.....	12
2.18 สัญญาณที่เปรียบเทียบได้.....	13
2.19 แสดงลักษณะอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	14
2.20 แสดงลักษณะของสัญญาณ PWM.....	15
3.1 บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ SVPWM.....	16
3.2 โครงสร้างของชุดขับสวิตช์ IGBT สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	17
3.3 วงจรภาคขับสวิตช์ IGBT.....	18
3.4 บล็อกไดอะแกรมส่วนรับ-ส่งพารามิเตอร์เพื่อส่งให้ ICMC3PHAC.....	19
3.5 แสดงขาของ MC3PHAC.....	20
3.6 วงจรใช้งานปกติ.....	22
4.1 วงจร Power.....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ลายวงจรPCB วงจร Power	27
4.3 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจร Power.....	27
4.4 วงจรPowerที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	28
4.5 ผลการทดลองวัดแรงดันวงจรPower output ได้317.6Vdc.....	28
4.6 วงจรไฟเลี้ยงวงจร Opto-Couple, (15 Vdc).....	29
4.7 ลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple.....	29
4.8 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple.....	30
4.9 วงจรไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple, (15 Vdc) ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	30
4.10 ผลการทดลอง วงจรไฟเลี้ยง Opto-Couple.....	31
4.11วงจรไฟเลี้ยง Sensor และวงจร Control.....	32
4.12 ลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง Sensor และวงจร Control.....	32
4.13 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor และวงจร Control.....	33
4.14 ลายวงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor และวงจร Control ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	34
4.15 ผลการทดลอง วงจรไฟเลี้ยงวงจร Sensor และวงจร Control 11.77 V, 4.995 V ตามลำดับ.....	33
4.16 วงจร Opto-Couple เฟส U.....	35
4.17 ลายวงจร PCB วงจร Opto-Couple ทั้ง 3 เฟส.....	35
4.18 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจร Opto-Couple ทั้ง 3 เฟส.....	36
4.19 วงจร Opto-Couple ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	37
4.20 ลายวงจร PCB วงจร IGBT.....	38
4.21 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB ของวงจร IGBT.....	39
4.22 วงจรสวิตซ์IGBTที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	40
4.23 วงจร Sensor.....	41
4.24 ลายวงจร PCB วงจร Sensor.....	42
4.25 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB ของวงจร Sensor.....	42
4.26 วงจร Sensor ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	44
4.27 วงจร Control	45
4.28 ลายวงจร PCB วงจร Control	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 วงจร Control ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	50
4.30 รูปสัญญาณPWM ที่ U_TOP และ U_BOT.....	50
4.31 แสดงความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM ที่ U_TOP และ U_BOT.....	51
4.32 รูปสัญญาณ PWM ที่ U_TOP และ U_BOT ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2μs.....	51
4.33 รูปสัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ V_BOT.....	52
4.34 แสดงความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ V_BOT.....	52
4.35 รูปสัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ V_BOT ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2μs.....	53
4.36 รูปสัญญาณ PWM ที่ W_TOP และ W_BOT.....	53
4.37 แสดงความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM ที่ W_TOP และ W_BOT.....	54
4.38 รูปสัญญาณ PWM ที่ W_TOP และ W_BOT ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2μs.....	54
4.39 เปรียบเทียบรูปสัญญาณ PWM ที่ U_TOP และ V_BOT.....	55
4.40 เปรียบเทียบรูปสัญญาณ PWM ที่ U_TOP และ W_BOT.....	55
4.41 เปรียบเทียบรูปสัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ W_BOT.....	56
4.42 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 20°C.....	56
4.43 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 30°C.....	57
4.44 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 40°C.....	57
4.45 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 50°C.....	58
4.46 รูปต่อวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อทำการทดลอง Drive motors และเก็บผลการทดลอง.....	58
4.47 ความสัมพันธ์ของความเร็วโรเตอร์กับอุณหภูมิ ที่เฟส U และเฟส V.....	61
4.48 ความสัมพันธ์ของแรงดันกับอุณหภูมิที่เฟส U และเฟส V.....	61
4.49 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์กับอุณหภูมิที่เฟส U และเฟส V.....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการ ลายการผลิตหรือระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นส่วนขับเคลื่อนการทำงานของระบบต่างๆซึ่งทำให้สนใจที่จะศึกษาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อหาแนวทางการพัฒนาการนำมอเตอร์เหนี่ยวนำมาใช้ให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด

จากที่ได้กล่าวมาทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษา ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชุดขับมอเตอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส ให้มีการปรับความเร็วรอบตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส โดยการอินเวอร์เตอร์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การปรับความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส ให้เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยใช้ Sensor เพื่อควบคุมค่าความถี่แรงดันไฟสลับจ่ายให้กับมอเตอร์

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 ศึกษามอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ทฤษฎีสถิตแม่เหล็ก

1.4.2 ศึกษาการใช้อินเวอร์เตอร์โดยการใช้อุณหภูมิเป็นตัวตรวจจับ

1.4.3 ศึกษาการออกแบบสัญญาณควบคุมการสวิตชิง การออกแบบส่วนวงจรกำลัง การเชื่อมต่อระหว่างชุดรับค่าจากวงจรสร้างสัญญาณควบคุม การสวิตชิง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2552					ปี 2553		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	↔							
2. ออกแบบวงจรการทำงานและระบบควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ชุดหภูมิ		↔	↔					
3. สร้างวงจรการทำงาน			↔	↔	↔			
4. ทดลองการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยชุดหภูมิ				↔	↔	↔		
5. นำผลที่ได้จากการทดลองมาพัฒนางจรและระบบควบคุมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด					↔	↔	↔	
6. สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน								↔

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1. ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	7000 บาท
2. ค่ารูปเล่มรายงาน	500 บาท
3. อื่นๆ	500 บาท
รวมเป็นเงิน	8000 บาท (แปดพันบาทถ้วน)



บทที่ 2

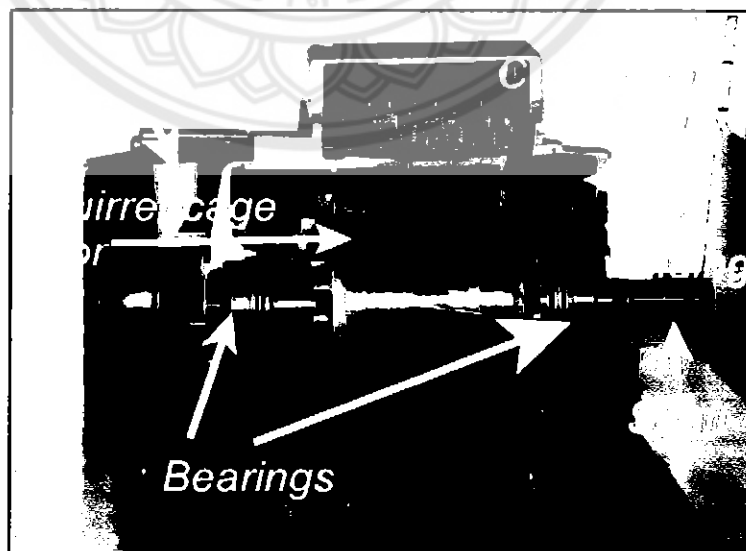
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ความเร็วรอบขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จึงมีความเร็วคงที่ แต่จะเปลี่ยนตามโหลด แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์ ราคาถูก ขนาดตั้งแต่ 1/2 แรงม้า ถึง 400 แรงม้า ใช้กับงานโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟต์ สายพานลำเลียง เครื่องใส่เครื่องกลึง หัดลม เป็นต้น

2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor)

2.1.1 สเตเตอร์ (Stator)

Stator จะมีขดลวดอาร์เมเจอร์พันที่ขั้วแม่เหล็ก 3 ชุด อาจต่อเซลล์ หรือแบบวายก็ได้ มีหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กหมุน ไปเหนี่ยวนำให้กระแสไหลและเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์โดยทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนเข้าด้วยกัน และทำเป็นช่องสล็อตไว้บรรจุขดลวด และจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเราจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดที่สเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่คงที่ค่าหนึ่ง และสนามแม่เหล็กนี้จะหมุน (Revolves or Rotate) ด้วยความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส (หาได้โดย $N_s = 120/P$)



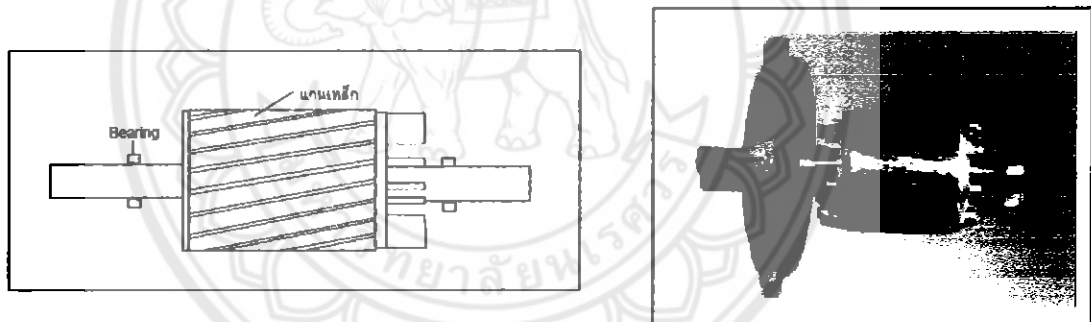
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.1.2 โรเตอร์ (Rotor)

Rotor ประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก และถูกทำให้เป็นช่องสล็อตให้ขนานกันเพื่อสำหรับฝังหรือ บรรจุตัวนำโรเตอร์ (Rotor Conductor) ลงในช่องสล็อตนั้น ตัวนำที่ฝังนี้จะมีลักษณะเป็นแท่งทองแดง หรืออลูมิเนียม หรืออัลลอย (Copper Bar or Aluminum Bar or Alloy) โดยในหนึ่งสล็อตจะบรรจุแท่งทองแดง หรือ อลูมิเนียมเพียง 1 แท่งเท่านั้น และที่ปลายสุดของแท่งตัวนำทั้งสองด้านนั้นในแต่ละด้านจะถูกต่อปลายลัดวงจรเข้าด้วยกันโดยการบัดกรี (Brazed) หรือเชื่อมด้วยไฟฟ้าซึ่งโรเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

2.1.2.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor) จะมีแท่งเหนี่ยวนำที่หนาและฝังอยู่ในช่องที่ขนานกัน แท่งเหล่านี้จะถูกทำให้ลัดวงจรที่ปลายทั้งสองด้านโดยการใช่วงแหวนลัดวงจร มีแรงบิดเริ่มสตาร์ทต่ำ ความเร็วค่อนข้างคงที่

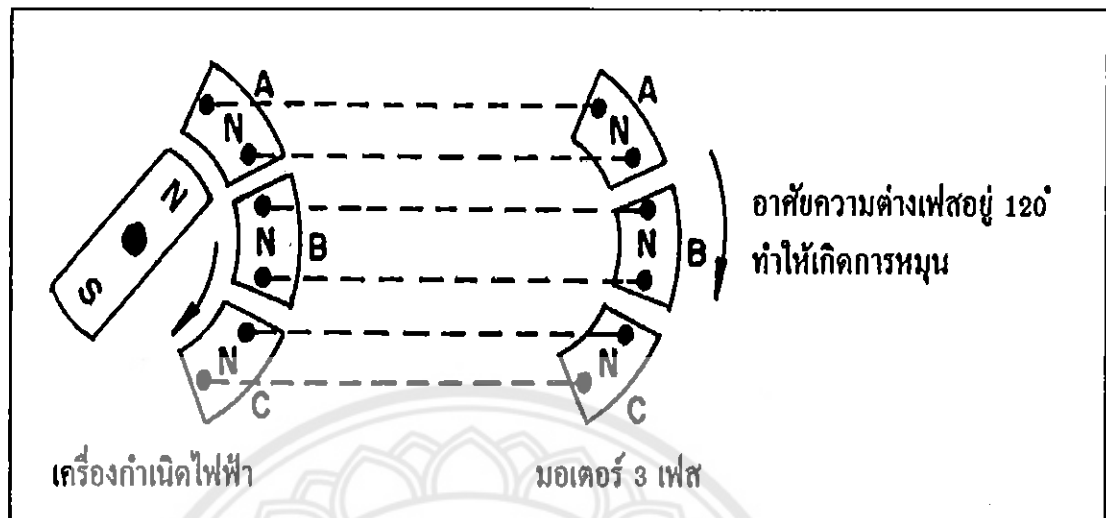
2.1.2.2 โรเตอร์แบบพันขลวด (Wound Rotor Induction Motors) จะพันขลวดเท่ากับขลวดที่สเตเตอร์ ปลายขลวดทั้ง 3 เฟสจะเชื่อมต่อผ่านวงแหวนลื่น (Slip ring) ผ่านแปรงถ่านไปยังอุปกรณ์ควบคุมภายนอก เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติมอเตอร์ตามการใช้งานให้เหมาะสม



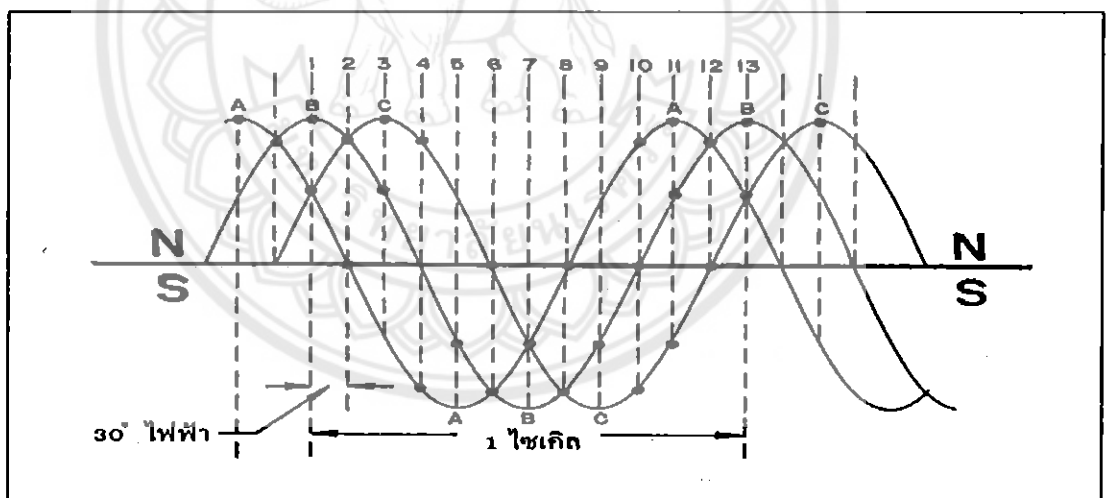
รูปที่ 2.2 โรเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำ

ถ้าจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ที่สเตเตอร์ จะเกิดสนาม แม่เหล็กหมุน เมื่อฟลักแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนตัวตัดตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ จะเกิดการเหนี่ยวนำ และเนื่องจากโรเตอร์ถูกลัดวงจรจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงบิด เป็นผลให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน ซึ่งสนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส $N_s = 120/f$ โดย f คือความถี่ของไฟฟ้า P คือจำนวนขั้วของมอเตอร์โรเตอร์หมุนไปได้ด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส ถ้าความเร็วของโรเตอร์เท่ากับความเร็วซิงโครนัส ค่าแรงบิดจะเป็นศูนย์ โรเตอร์จึงหยุดหมุน การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำได้ง่าย

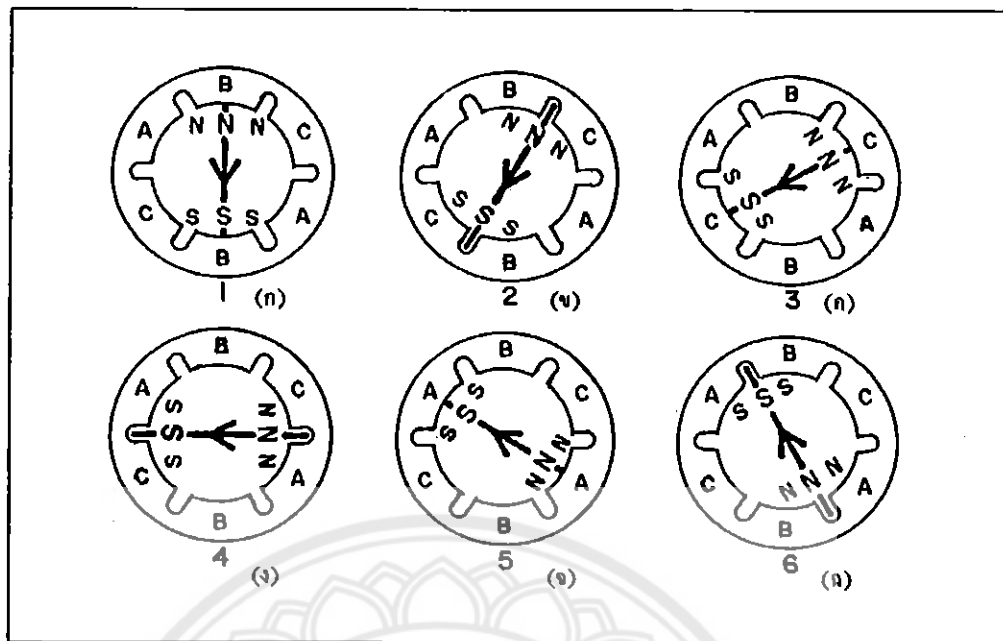
เพียงแต่สลับสายไฟคู่ใดคู่หนึ่งที่จ่ายให้ขดลวดที่สเตเตอร์เท่านั้นก็จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนและ
โรเตอร์ หมุนกลับทิศทางได้



รูปที่ 2.3 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 2.4 แสดงรูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส

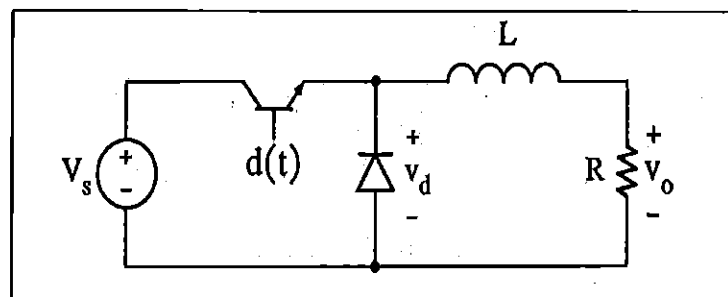


รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว

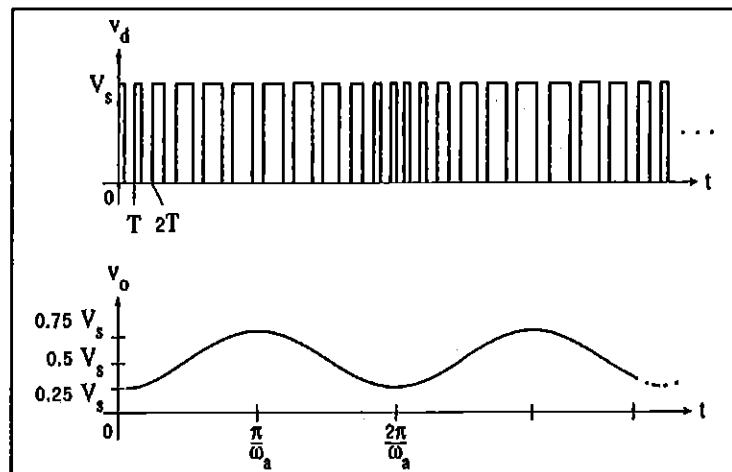
2.1.3 สลิป (Slip)

ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่ที่สเตเตอร์ หรือความเร็วซิงโครนัส (N_s) และความเร็วรอบของโรเตอร์ขณะใช้งาน (Actual Speed, N) ของโรเตอร์เรียกว่า สลิป $S = ((N_s - N)/N_s)$, %Slip = $((N_s - N)/N_s) \times 100$ แต่ในบางครั้ง $N_s - N$ ก็เรียกว่าความเร็วสลิป (Slip Speed) ความเร็วของโรเตอร์ (มอเตอร์) คือ $N = N_s (1 - S)$

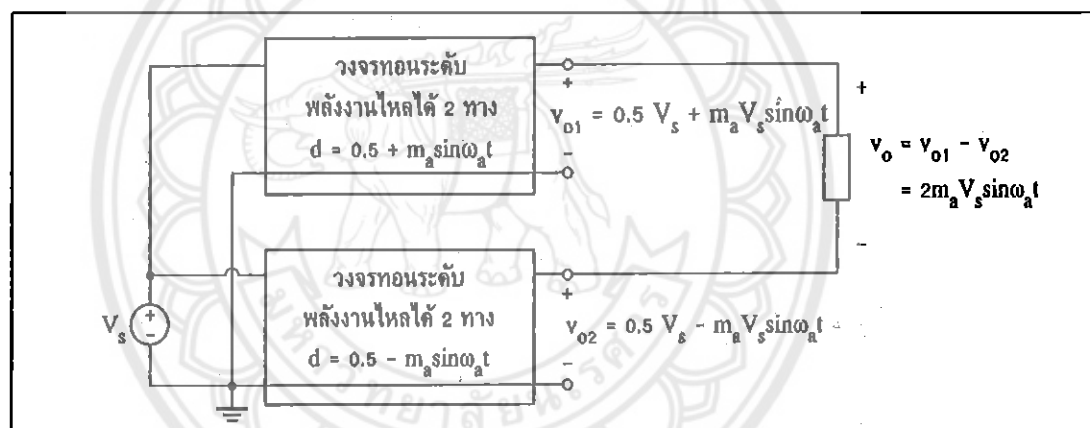
2.2 การควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulate)



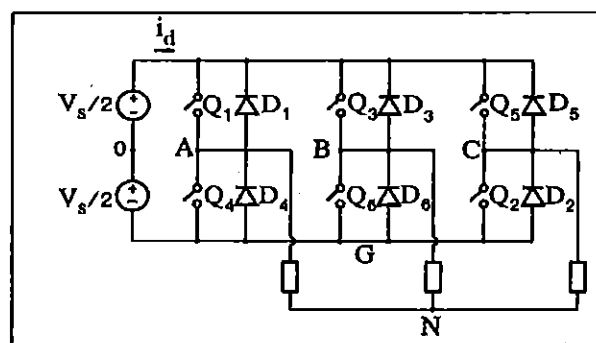
รูปที่ 2.6 วงจรอินเวอร์เตอร์



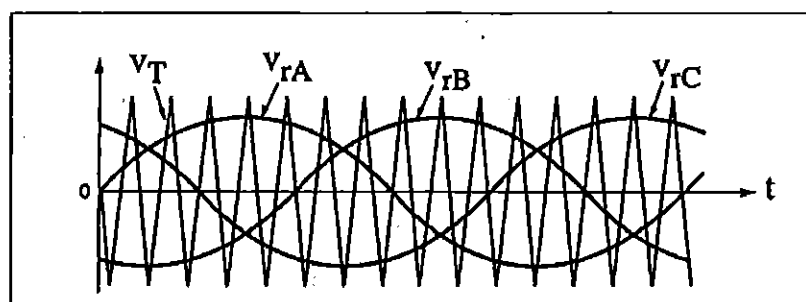
รูปที่ 2.7 รูปคลื่น: $\bar{V} = V_0$ (ถ้า $T \ll L/R \ll 2\pi/\omega_a$)



รูปที่ 2.8 การต่อวงจรทอนระดับ 2 วงจร เพื่อกำจัดองค์ประกอบไฟตรง



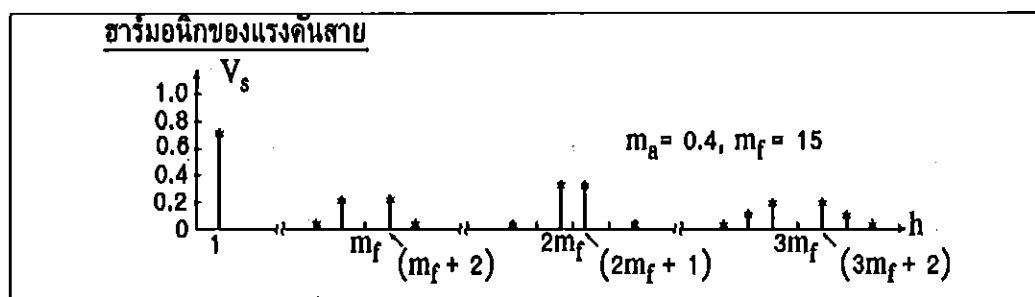
รูปที่ 2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



รูปที่ 2.10 ไชน์ตัดสามเหลี่ยม



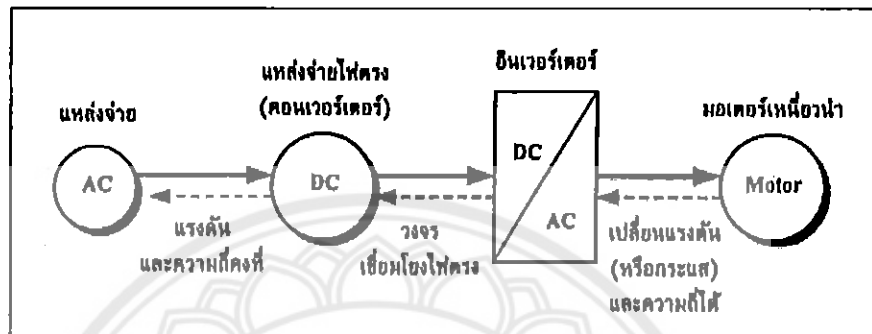
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ PWM



รูปที่ 2.12 สเปกตรัม

2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

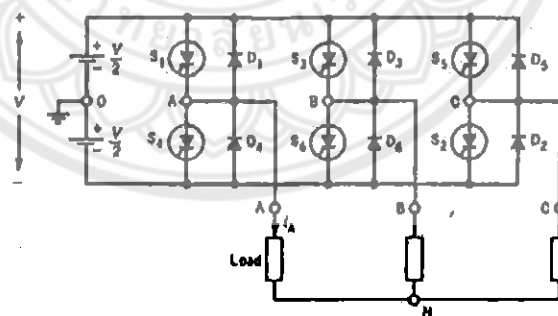
วงจรอินเวอร์เตอร์ ทำงานโดยอาศัยหลักการเบื้องต้นในการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง แล้วเปลี่ยนไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับ โดยปัจจุบันได้แบ่งอินเวอร์เตอร์เป็น 2 ประเภทคือ อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source inverter) และ อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current source inverter)



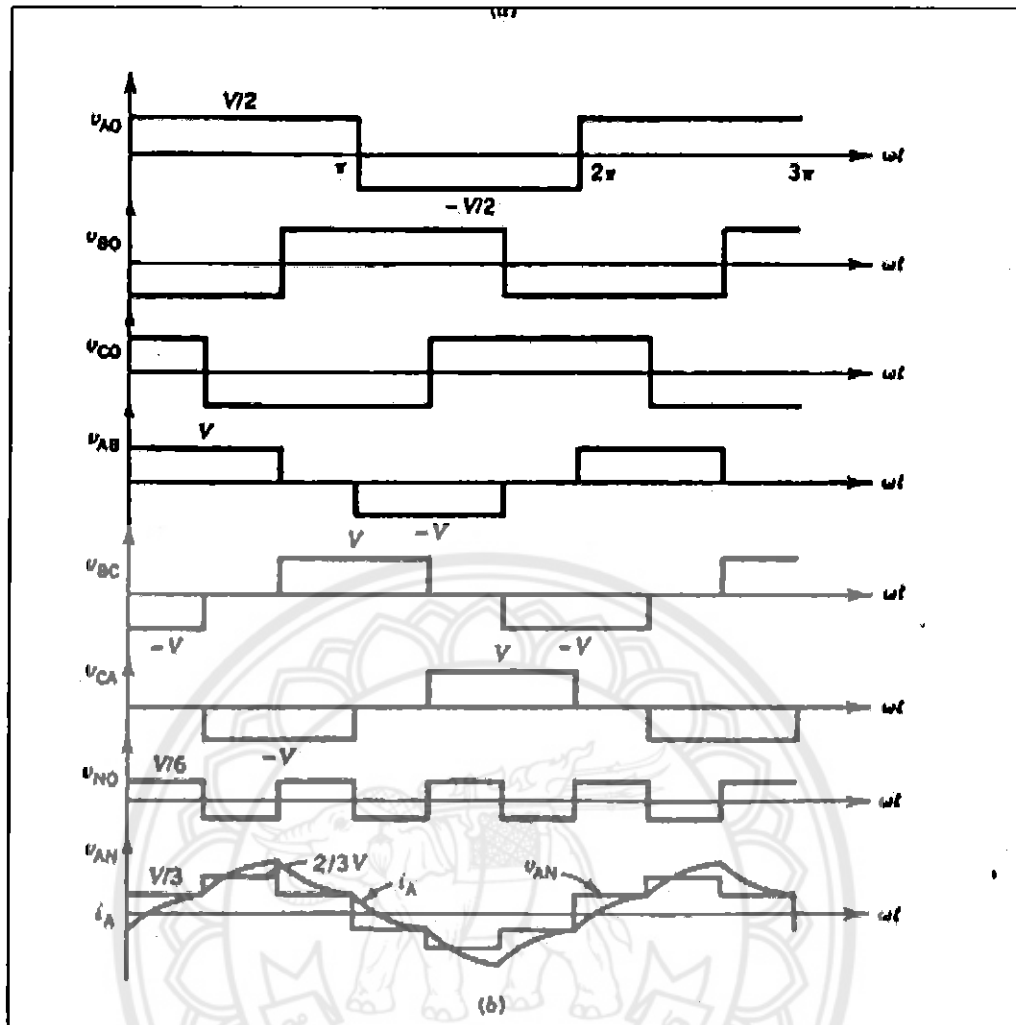
รูปที่ 2.13 หลักการเบื้องต้นของอินเวอร์เตอร์

2.3.1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source inverter) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

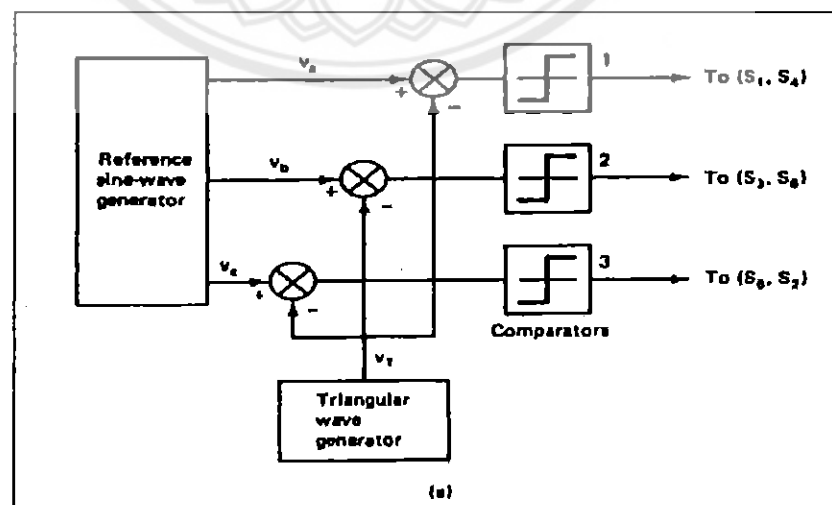
1. แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave inverter)
2. แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-width modulation inverter)



รูปที่ 2.14 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave inverter)

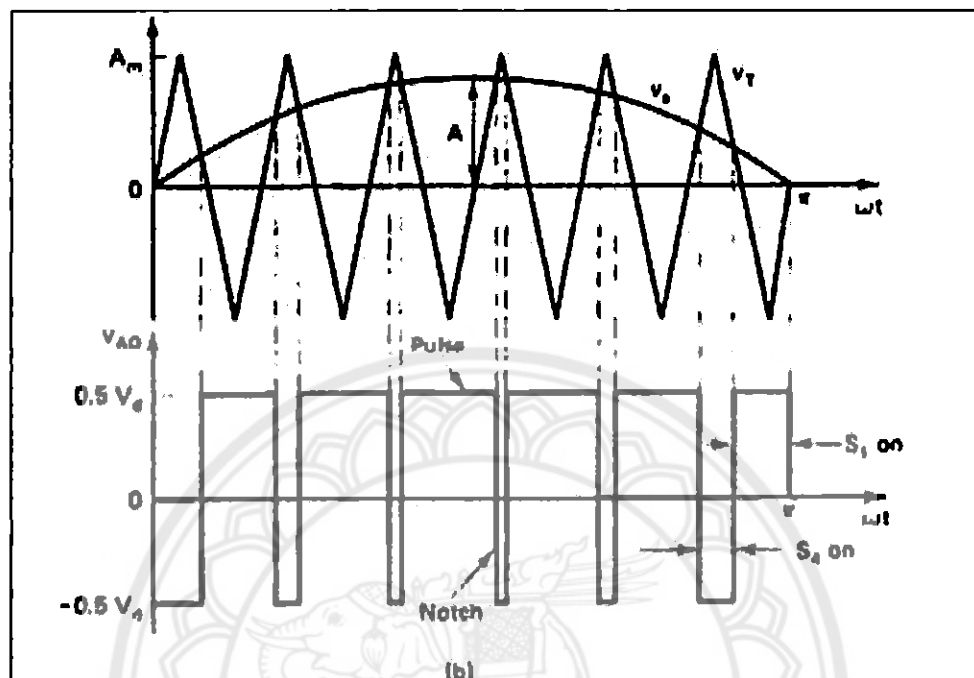


รูปที่ 2.15 สัญญาณแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave inverter)



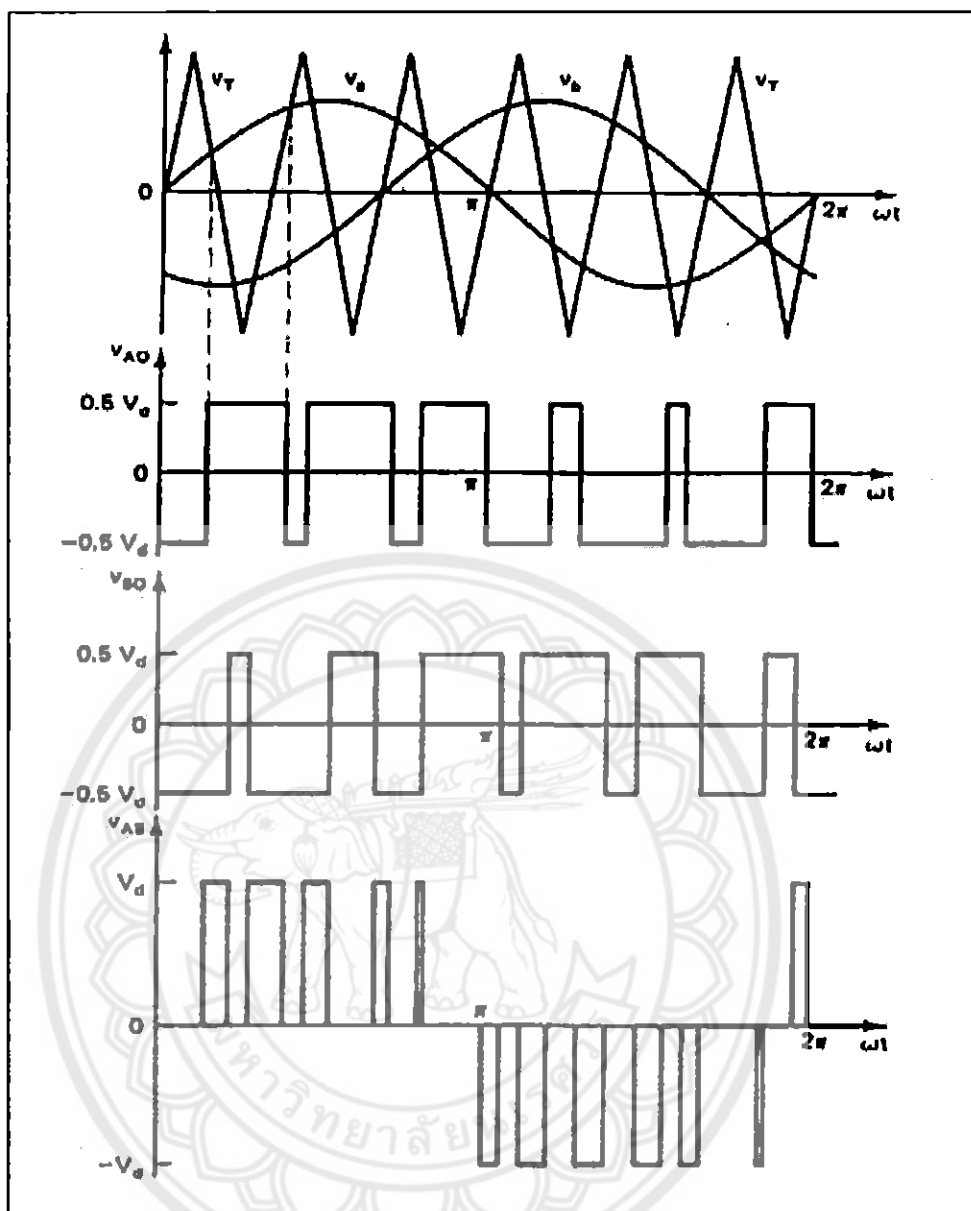
รูปที่ 2.16 วงจรแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-width modulation inverter)

จากรูปที่ 2.15 เป็นอินเวอร์เตอร์แบบ PWM โดยการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง โดยเป็นคลื่นไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยม และผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 หลักการ PWM เบื้องต้น

สัญญาณที่เปรียบเทียบจะนำไปควบคุมสวิตช์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่นทรานซิสเตอร์, เอสซีอาร์, มอสเฟต, ไอจีบีที เป็นต้น เป็นส่วนของวงจรขับโหลด (Drive) เมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณเปรียบเทียบ สัญญาณที่ได้จะมีความถี่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สัญญาณที่เปรียบเทียบได้

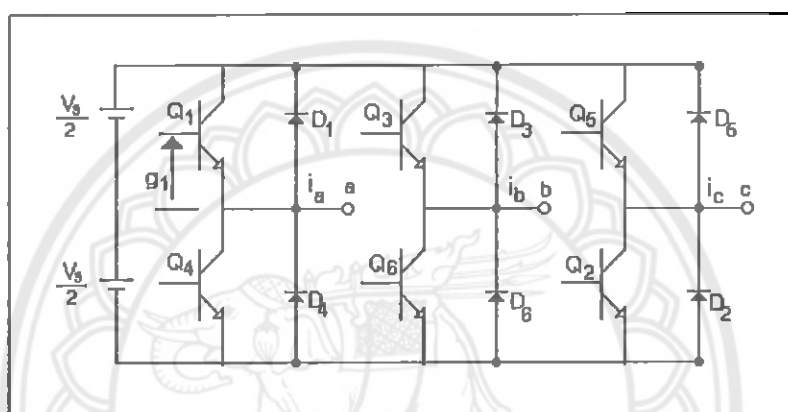
2.4 อินเวอร์เตอร์และการควบคุม

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง DC เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ AC ที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดแรงดัน และความถี่ทางไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ รูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ส่วนมากจะประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์ จึงไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์ สำหรับการลดฮาร์โมนิกส์หรือทำให้มีค่าต่ำที่สุดสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการสวิตช์และวงจรฟิลเตอร์ที่เหมาะสม

การใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์จะควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ได้ง่ายเพราะสามารถ เปิด – ปิด ทรานซิสเตอร์โดยการหยุดจ่ายกระแสที่ขั้วเบสเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องมีวงจรในการหยุดกระแสเหมือนกับเอสซีอาร์

2.4.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับทำได้โดยควบคุมความถี่ แรงดัน และกระแสไฟฟ้า ในการควบคุมส่วนต่างๆนี้จะใช้หลักการของอินเวอร์เตอร์ DC – AC และเราจะต้องมีส่วนควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ซึ่งก็คือการควบคุมการเปิด – ปิด ของ ทรานซิสเตอร์

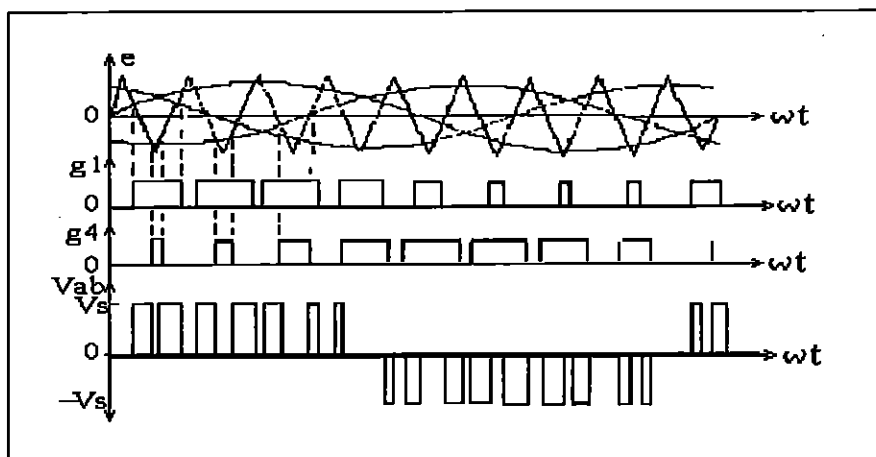


รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

การทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้จะใช้สัญญาณมาควบคุมการเปิด-ปิด ของทรานซิสเตอร์ โดยสัญญาณที่จะนำมาควบคุมคือสัญญาณ PWM ซึ่งได้จากการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ซึ่งการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์เป็นเทคนิคที่ทำให้ควบคุมความกว้างของพัลส์เอาต์พุตและลดฮาร์โมนิกส์ในรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตได้

2.4.2 การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation; SPWM)

สัญญาณทริกเกอร์ที่เกทซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิง (รูปคลื่นไซน์) กับสัญญาณพาหะ (สามเหลี่ยม) ดังรูปที่ 2.20



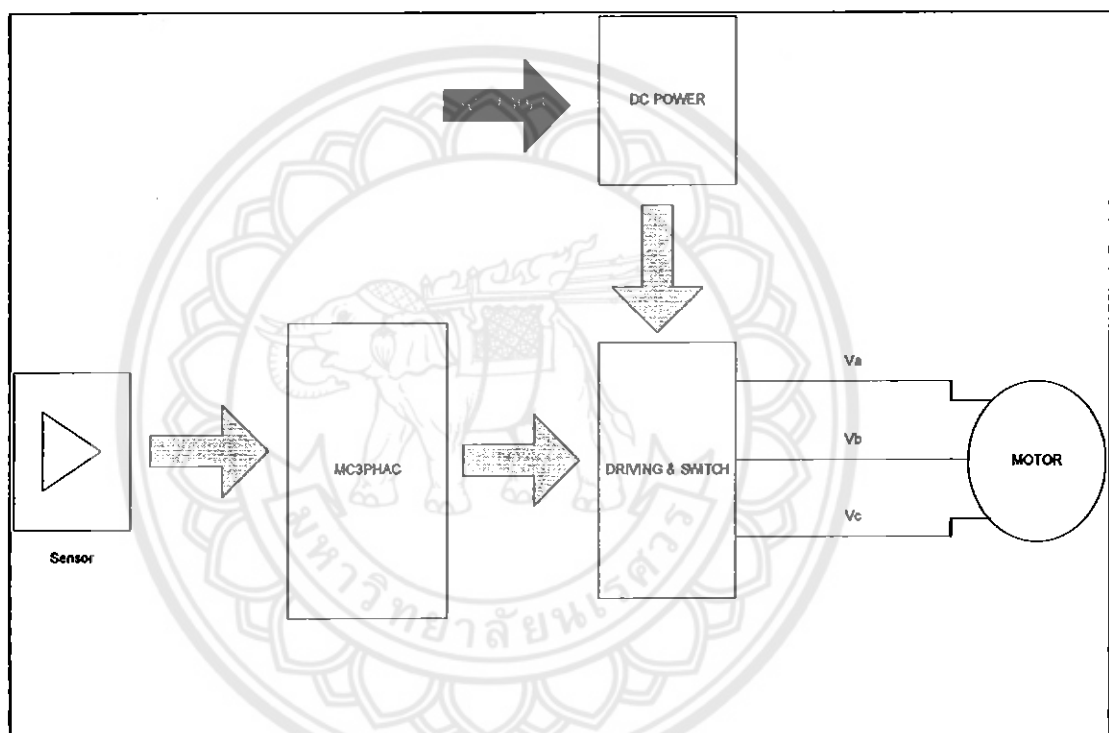
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของสัญญาณ PWM

ดังนั้นจากความรู้เกี่ยวกับเครื่องอินเวอร์เตอร์นี้สามารถนำมาสร้างเครื่องอินเวอร์เตอร์ได้
 นั้น จำต้องมีส่วนประกอบหลักๆ คือ ส่วนควบคุมการทำงานของ Trigger หรือเรียกว่าส่วนควบคุม
 การทำงานของขาเกทและส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่เครื่องอินเวอร์เตอร์

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

ข้อมูลส่วนรายละเอียดทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ ผู้จัดทำได้ชี้แจงในบทที่ผ่านมาแล้ว ดังนั้นในบทนี้ผู้จัดทำโครงการจึงได้เริ่มการออกแบบสร้างวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตามทฤษฎี ซึ่งโครงสร้างของส่วนฮาร์ดแวร์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1. ส่วนวงจรขับมอเตอร์ และ 2. ส่วนวงจรควบคุมและสร้างสัญญาณ PWM



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ SVPWM

การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ส่วนออกแบบ และพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุม

จากรูปที่ 3.1 ระบบของอินเวอร์เตอร์ SVPWM แบ่งออกเป็นสองส่วนหลักคือส่วนวงจรขับมอเตอร์ ประกอบไปด้วย วงจรภาคขับสวิตช์ IGBT และวงจรกำลังส่วนออกแบบ ส่วนควบคุมซึ่งจะประกอบไปด้วย ส่วนของ IC MC3PHAC ทำหน้าที่รับค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์จากนั้นทำการคำนวณ และสร้างสัญญาณ PWM ส่งไปควบคุมวงจรสวิตช์ IGBT

3.1 การออกแบบวงจรภาคขับสวิตช์ IGBT

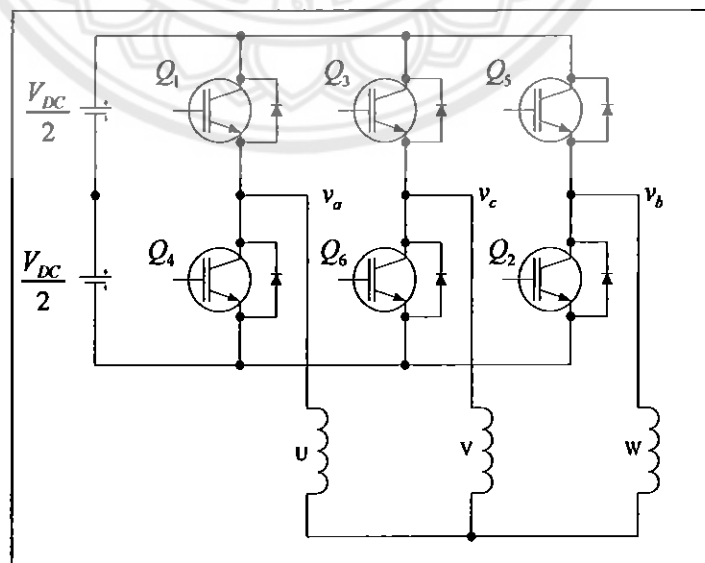
การออกแบบ วงจรขับสวิตช์ IGBT จะใช้ Opto Isolate เบอร์ TLP250 เพื่อแยกแรงดันไฟต่ำกับแรงดันไฟสูงออกจากกัน โดย R3U ในรูปที่ 3.3 จะใช้ค่าอยู่ระหว่าง $10\ \Omega$ ถึง $100\ \Omega$ เพื่อป้องกันการเกิดการแกว่งของสัญญาณที่ขาเกทของ IGBT ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า $R3U = 10\ \Omega$ ซึ่งการแกว่งของสัญญาณเกิดจากตัวเก็บประจุที่ขาเกทของ IGBT มีค่า 2800pF หากเรามองจากเอาต์พุตของ Opto Isolate จะประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำที่เกิดจากสายวงจร และตัวเก็บประจุที่ขาเกทของ IGBT เป็นวงจร LC ซึ่งจะทำให้เกิดความถี่แกว่ง (Damping frequency) เนื่องจากสัญญาณที่เอาต์พุตของ Opto Isolate เป็นสัญญาณพัลส์ PWM ที่ประกอบด้วยฮาร์มอนิก ของสัญญาณไซน์หลายความถี่ ซึ่งอาจทำให้เกิดการออสซิลเลต ได้จึงจำเป็นต้องใส่ตัวต้านทาน R3U เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการแกว่งของสัญญาณโดยจะทำให้ผลของ L ในสายวงจรลดลงจะมีผลของ R และ C เท่านั้นโดยการเพิ่มขึ้นของแรงดัน และลดลงของระดับแรงดันพัลส์ของสัญญาณ PWM จะขึ้นกับค่าเวลาคงตัวของ R3U และ C ที่ขาเกทของ IGBT โดยมีค่าที่ $\tau = 28\ \text{nS}$

$$\tau = R_{3U} \cdot C_{\text{GATE}}$$

τ = ค่าเวลาคงตัว

R_{3U} = ค่าตัวต้านทาน

C_{GATE} = ค่าตัวเก็บประจุที่ขาเกทของ IGBT



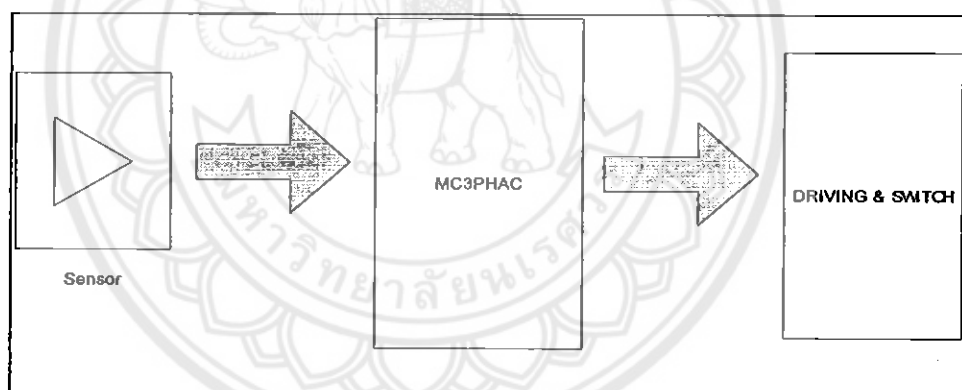
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดขับสวิตช์ IGBT สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

3.2 วงจรกำลัง

ในการทำงานเราจะมีวงจรเรกติไฟเออร์ด้วย ไดโอดบริดจ์ จะใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $470\mu\text{F}$ 450V ขนานกัน 4 ตัว แรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์จะเป็นแรงดันอินพุตให้กับ ชุดวงจรสวิตช์ IGBT โดยขั้วบวกจะต่อกับขั้ว P และขั้วลบจะต่อกับขั้ว N

3.3 การออกแบบสร้างสัญญาณควบคุม SVM PWM

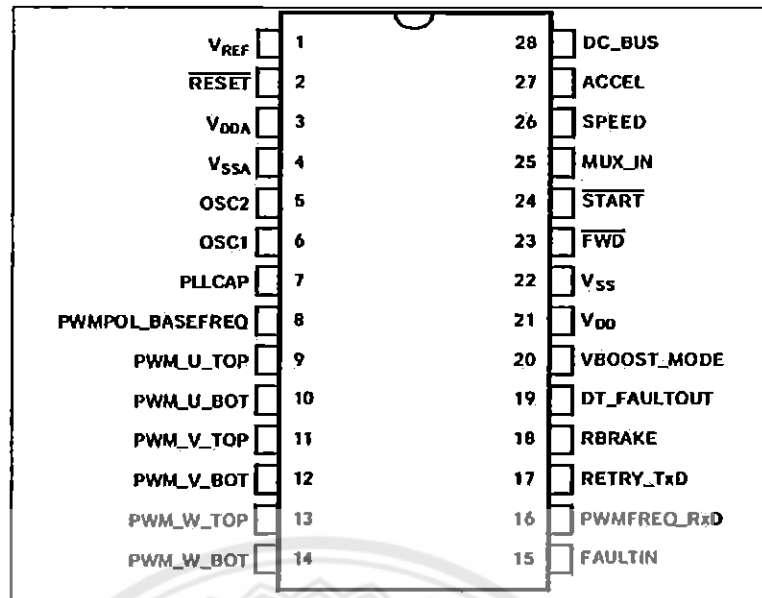
การออกแบบส่วนรับค่าจากเซ็นเซอร์เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณและสร้างสัญญาณ SVM PWM เพื่อควบคุมการสวิตช์และจะแสดงสถานะ การทำงานผ่านหลอด LED ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบ เพื่อสร้างสัญญาณ SVM PWM เพื่อใช้ควบคุมชุดขับ IGBT จะใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 6 เส้นโดยสร้างสัญญาณ SVM PWM สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบ 3 เฟสคือ $V_a, V_b, V_c, \bar{V}_a, \bar{V}_b, \bar{V}_c$ โดยมีมุม $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ ตามลำดับโดย $\bar{V}_a, \bar{V}_b, \bar{V}_c$ เป็นสัญญาณกลับสถานะจาก V_a, V_b, V_c โดย V_a, V_b, V_c ใช้ขับ IGBT ชุดบน Q_1, Q_3, Q_5 ทั้งหมดและ $\bar{V}_a, \bar{V}_b, \bar{V}_c$ ใช้ขับ IGBT ชุดล่าง Q_4, Q_6, Q_2 ทั้งหมด



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมส่วนรับ-ส่งค่าพารามิเตอร์เพื่อส่งให้ IC MC3PHAC

3.4 การออกแบบ MC3PHAC

พิจารณาตัว MC3PHAC มีคุณลักษณะในการใช้งานคือเป็น ICMC3PHACที่มีการโปรแกรมไว้แล้ว แต่จะต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ VBOOT_MODE, DT_FAULTOUT, RETRY/TXD ให้เหมาะสมกับค่าการใช้งานและ ยังได้รวมความสามารถในการชดเชยการกระเพื่อมของแรงดันไฟ ตรงที่ไม่เรียบจากวงจรเรียงกระแสไฟตรง (DC Bus) และวงจรป้องกันสถานะไม่ปกติของอินเวอร์เตอร์ไว้ในตัวอีกด้วย



รูปที่ 3.5 แสดงขาของ MC3PHAC

คุณลักษณะพิเศษของ MC3PHAC

1. ใช้การควบคุมความเร็วแบบ อัตราส่วนแรงดันต่อความถี่
2. มีตัวกรองสัญญาณควบคุมความเร็วรอบแบบดิจิทัล โปรเซสเซอร์
3. ใช้การคำนวณในการสร้างสัญญาณควบคุมแบบ 32 บิต
4. ไม่ต้องยุ่งยากกับซอฟต์แวร์
5. มีสัญญาณ PWM ขาออกให้ 6 บิต
6. สร้างสัญญาณ 3 เฟส
7. ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล 4 ช่อง
8. สามารถทำงานใน Standalone mode หรือแบบ Hosted mode
9. สามารถทำการชดเชยแรงดันกระเพื่อมของ DC Bus
10. เลือกข้อและความถี่การสวิตช์ของสัญญาณ PWM ได้
11. เลือกความถี่พื้นฐาน 50 Hz หรือ 60 Hz ได้
12. ผลิตความถี่พื้นฐานแบบ PLL(Phase Lock Loop)
13. เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบอนุกรม
14. มีวงจรตรวจจับแรงดันแหล่งจ่าย

MC3PHAC จะสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 6 สัญญาณที่จะปรับขนาดของแรงดันตามการปรับความถี่ เพื่อสร้างสัญญาณ 3 เฟสสำหรับมอเตอร์ โดยการบวกเฟสโมโนที่ 3 เข้าไปด้วยทำให้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟสมีขนาดได้เท่ากับแรงดันสูงสุดของแรงดันขาเข้าสูงสุด ซึ่งทำ

ให้ได้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 15% เมื่อเทียบกับการสร้างสัญญาณ PWM แบบ มอดูเลตไซน์เวฟ (Sine Wave Modulation) สัญญาณ PWM จะอัปเดตด้วยความถี่ 5.3 KHz โดยความถี่ในการสวิตช์จะสามารถเลือกได้ 4 ความถี่คือ 5.291 KHz, 10.582 KHz, 15.873 KHz และ 21.164 KHz เมื่อใช้ความถี่ของคริสตัลที่ 4 MHz

ตัวกรองสัญญาณควบคุมความเร็วรอบแบบดิจิทัลโปรเซสเซอร์ ขนาด 24 บิต ทำให้สัญญาณอินพุตปลอดจากสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดีในงานที่มีสัญญาณรบกวนสูงโดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะมีคาบเวลาการสุ่มในการกรองสัญญาณที่ 3 ms

ด้วยความละเอียดในการคำนวณในการสร้างสัญญาณ PWM ขนาด 32 บิต ทำให้สามารถปรับความละเอียดของการควบคุมมอเตอร์ได้ละเอียดถึง 4 mHz และทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นไปได้อย่างนุ่มนวล ไม่มีการกระตุกของเฟลมอเตอร์

สัญญาณ PWM ทั้ง 6 สัญญาณจะถูกนำไปขับ IGBT จำนวน 6 ตัว และเพื่อป้องกันการทำงานพร้อมกันในเฟสเดียวกัน (Shoot Through) เราเรียกช่วงเวลาที่ IGBT ในเฟสเดียวกันหยุดทำงานทั้งสองตัวว่า Dead Time ที่สามารถโปรแกรมให้เหมาะสมกับ IGBT แต่ละขนาดได้โดยการปรับตั้งที่ค่าตัวความต้านทานที่สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 32 μ s

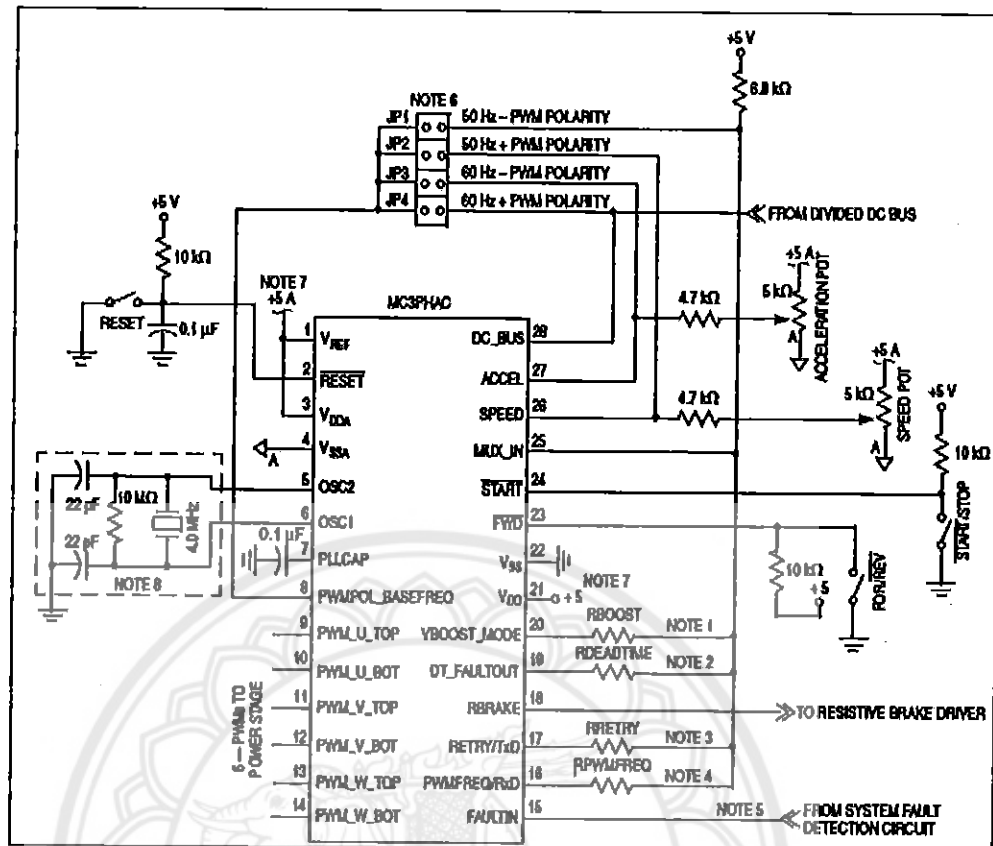
ความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์สามารถปรับได้ตั้งแต่ 1 Hz ถึง 128 Hz โดยการปรับแรงดันที่ป้อนให้กับ MC3PHAC โดยมีอัตราส่วน 25.6 Hz ต่อ 1 โวลต์

3.5 วงจรการทำงาน

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของกระแส

Characteristic ⁽¹⁾	Symbol	Value	Unit
Supply voltage	V_{DD}	-0.3 to +6.0	V
Input voltage	V_{in}	-0.3 to $V_{DD} + 0.3$	V
Input high voltage	V_{HI}	$V_{DD} + 0.3$	V
Maximum current per pin excluding V_{DD} and V_{SS}	I	± 25	mA
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +150	°C
Maximum current out of V_{SS}	IMV _{SS}	100	mA
Maximum current into V_{DD}	IMV _{DD}	100	mA

1. Voltages referenced to V_{SS}



รูปที่ 3.6 วงจรการใช้งานปกติ

3.6 คำนวณค่าอุปกรณ์

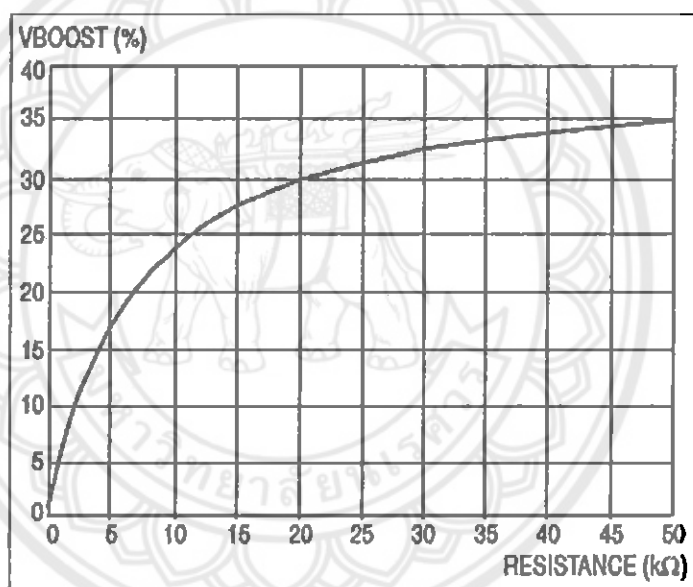
ค่าของ DC_BUS ต้องใช้แรงดันที่ 3.85 V เนื่องจากการกำหนดจาก DATA SHEET การลดเพิ่มความเร็วและความเร่ง ใช้การปรับแรงดันที่ขา ACCEL เพื่อปรับความเร่ง และขา SPEED เพื่อการปรับความเร็ว โดยจะต้องต่อความต้านทาน อนุกรมไว้ก่อนเข้าไอซีด้วยเพื่อจำกัดกระแสที่จะเข้าไอซี ค่าของ MUX_IN ใช้เลือกค่าความถี่ของ PWM ให้กำหนดแรงดันเข้าที่ขา MUX_IN

ตารางที่ 3.2 กำหนดความถี่ PWM

Voltage Input	PWM Frequency
0 to 1 V	5.291 kHz
1.5 to 2.25 V	10.582 kHz
2.75 to 3.5 V	15.873 kHz
4 to 5 V	21.164 kHz

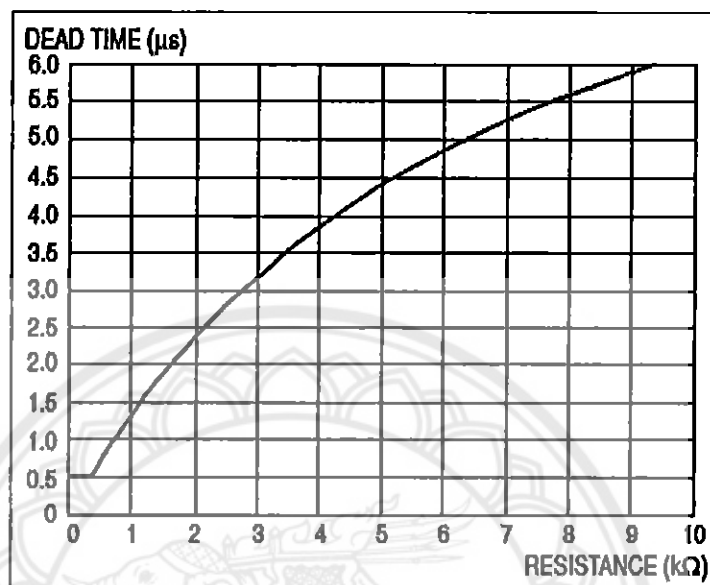
ขา START และ FWD เป็นขาที่ใช้ในการเปิด/ปิด และควบคุมทิศทางการเดินตามลำดับ โดยการทำงานจะทำงานเมื่อเป็น 0 V และในตอนเริ่มการใช้งานวงจรจะต้อง Off switch ก่อนทุกครั้งที่จะป้อนไฟเข้าวงจร เมื่อป้อนไฟเข้าวงจรแล้วจึงค่อยทำการ On switch ส่วนขา FWD ก็จะใช้ในการเลือกทิศทางการของมอเตอร์ในกรณีที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส ว่าต้องการที่จะให้หมุนไปหน้าหรือหมุนกลับหลัง การต่อวงจรก็จะให้ความต้านทานปรับค่าได้ เพื่อทำการปรับความเร็วและความแรงจากนั้นก็ใช้ความต้านทานเพื่อจำกัดกระแสก่อนที่จะเข้าไอซี MC3PHAC ขา VBOOT_MODE เป็นขาที่ใช้เลือกความถี่ในการเริ่มต้นขับมอเตอร์ในกรณีที่ไม่มีแรงดันตกค้างอยู่ภายในมอเตอร์ หรือในตอน START มอเตอร์ สามารถเลือกได้ 0 – 40 % โดยใช้ค่าความต้านทานดังตาราง

ตารางที่ 3.3 การเลือกค่าความต้านทาน VBOOT



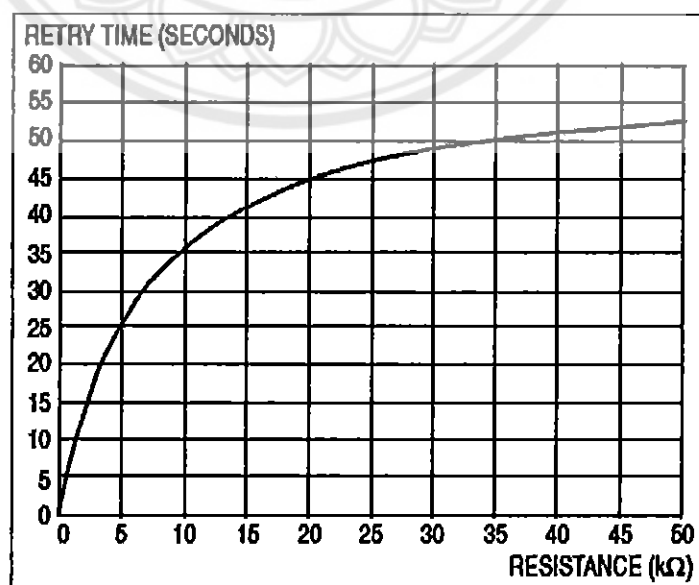
ขา DT_FAULTOUT เป็นขาที่ใช้ในการเลือกค่า DATE TIME

ตารางที่ 3.4 ค่าความต้านทานเพื่อเลือกช่วง DEAD TIME



ขา RETRY/TXD ใช้ในการกำหนดเวลาในการเริ่มต้นใหม่เมื่อเกิดข้อผิดพลาด หรือวงจรมีความขัดข้อง

ตารางที่ 3.5 การเลือกความต้านทาน Fault retry time



ในงานวิจัยได้กำหนดค่าดังกล่าวก้าวให้ได้ตาม พิกัดของ วงจรสวิตช์ IGBT ดังนี้ ค่า PWM Polarity เป็นลบ และ Base Frequency เท่ากับ 50 Hz ค่า Voltage Boost กำหนดที่ 20% ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2 μ s ค่า Retry Time กำหนดที่ 52 Sec และค่า PWM Frequency กำหนดที่ 5.291 KHz โดยใช้ความถี่ของคริสตอลที่ 4 MHz ส่วนสวิตช์ SW1 ทำหน้าที่เป็นคำสั่ง Start/Stop และ SW2 ทำหน้าที่กำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ สำหรับ VR1 กำหนดอัตราเร่งและลดความเร็วรอบของมอเตอร์ และ Sensor เป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ ที่ปรับได้ตั้งแต่ 15 รอบต่อนาทีถึง 1500 รอบต่อนาทีสำหรับมอเตอร์ 4 ขั้วและ ที่ให้แรงบิดคงที่ตลอดย่านความเร็วรอบ ความต้านทาน ค่า 560 Ω ทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดกระแสของ Opto-Couple ให้ได้ตามพิกัด วงจรสวิตช์ IGBT



15740344

ร.ร.

๙๙๗๙๐

2552

บทที่ 4

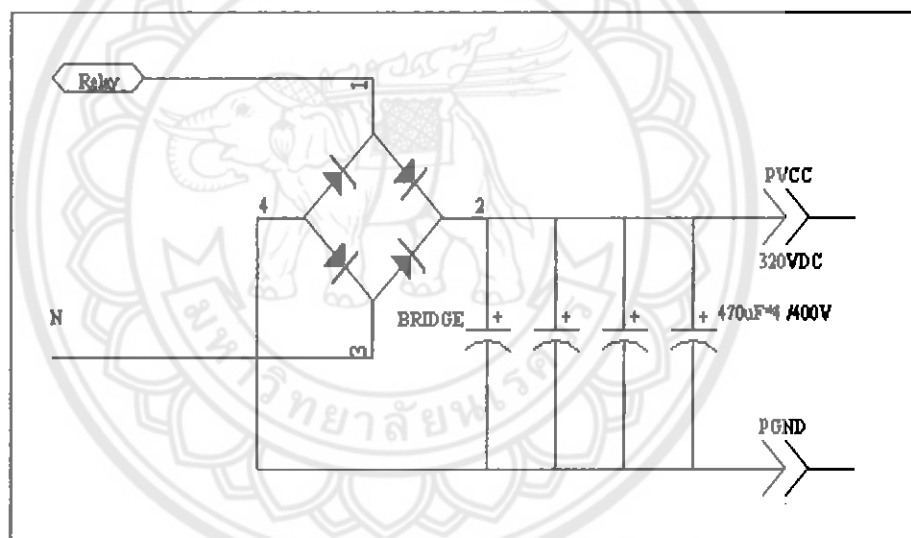
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 จุดประสงค์การทดลอง

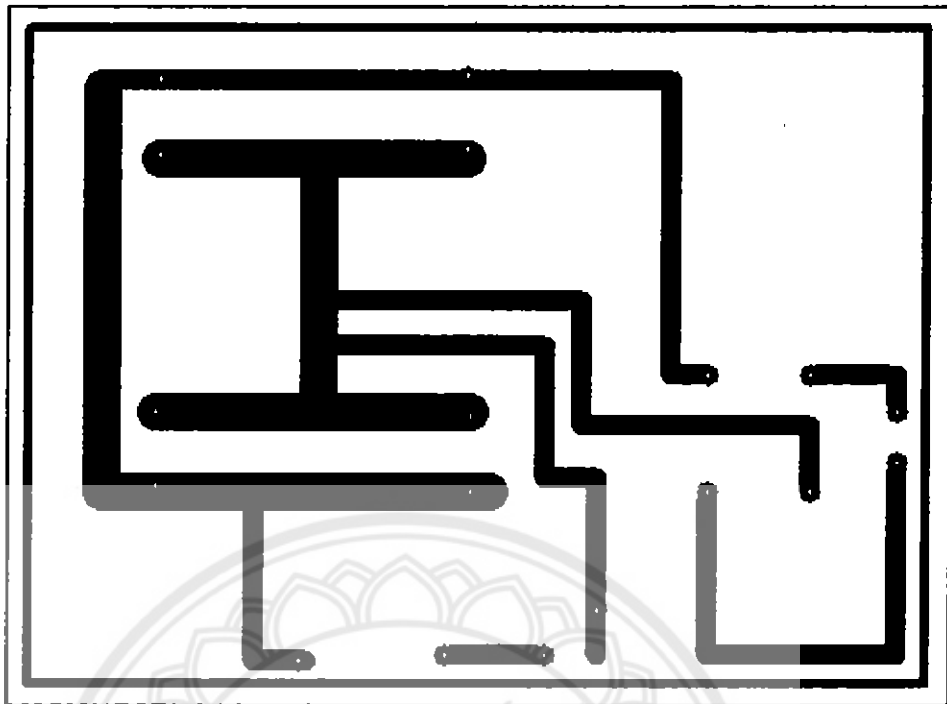
การวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส โดยการอินเวอร์เตอร์ ด้วยวิธี การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ โดย ความเร็วมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

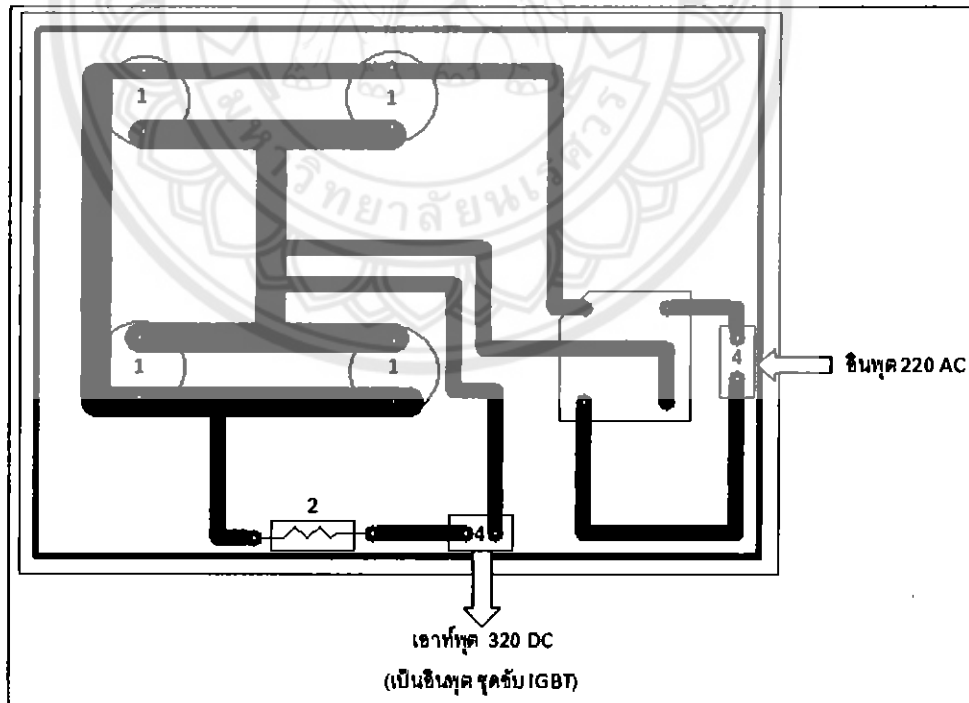
4.2.1 สร้างวงจร Power 320 Volte DC



รูปที่ 4.1 วงจร Power



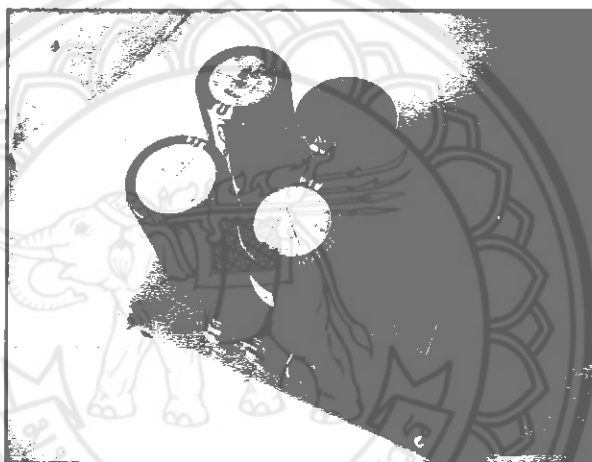
รูปที่ 4.2 ลายวงจร PCB วงจร Power



รูปที่ 4.3 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจร Power

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร Power

เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	C5 – 470uF 400V Electrolyte	4 ตัว
2	ฟิวส์ 3A	1 ตัว
3	DIODE BRIDGE RECTIFIER 800V/35A	1 ตัว
4	เทอร์มินัลขัน 2 ขา	2 ตัว
	Print circuit board	1 แผ่น

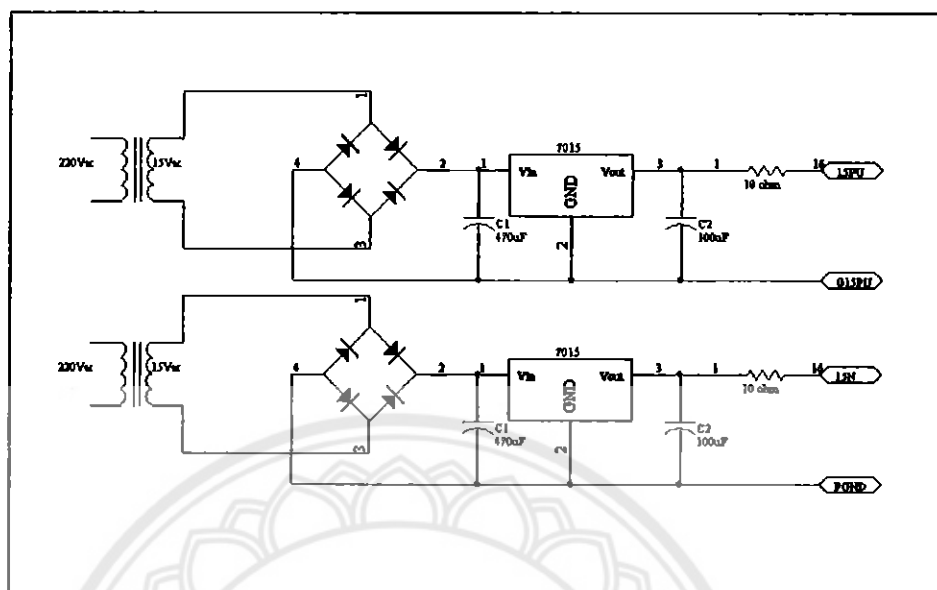


รูปที่ 4.4 วงจร Power ที่ส่งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

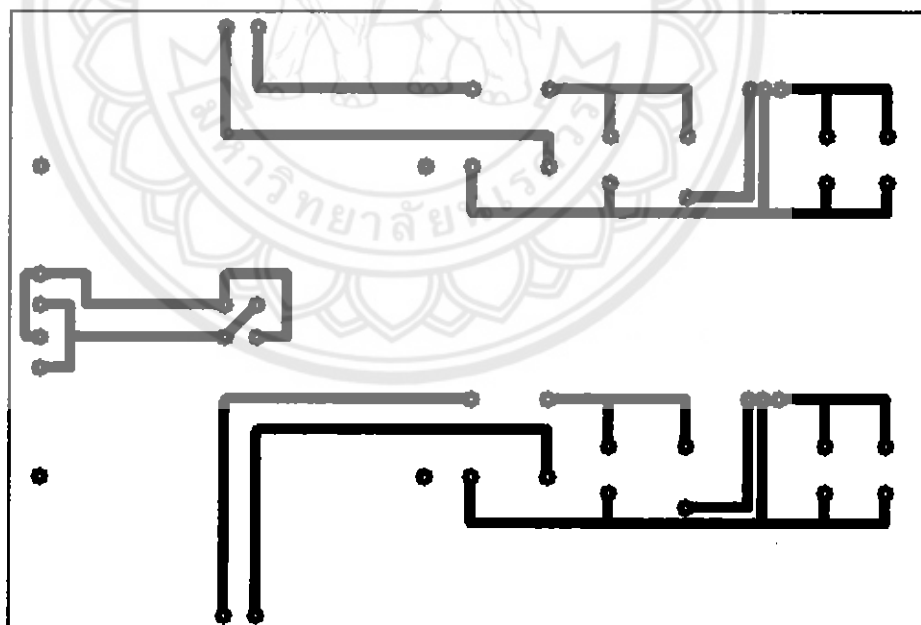


รูปที่ 4.5 ผลการทดลองวัดแรงดันวงจร Power output ได้ 317.6 Vdc

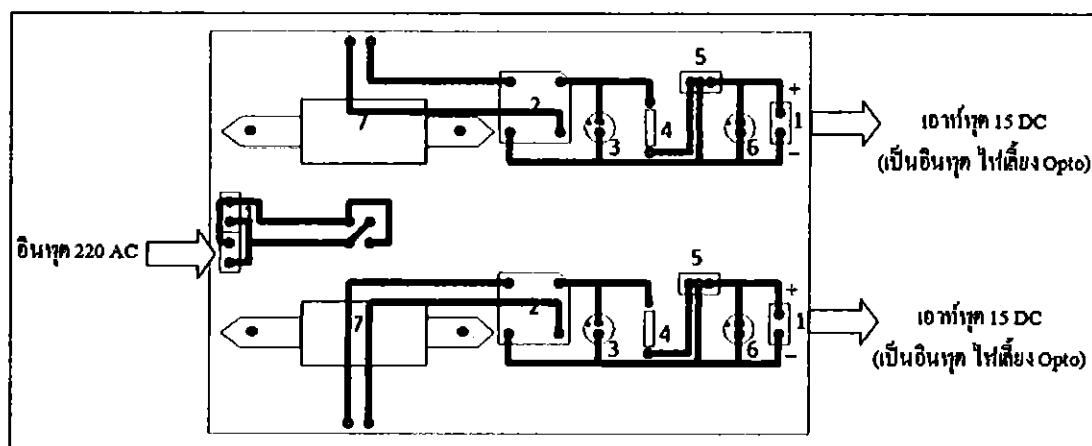
4.2.2 วงจรไฟเลี้ยงวงจร Opto-Couple, (15 Vdc) ทำ 2 ชุด



รูปที่ 4.6 วงจรไฟเลี้ยงวงจร Opto-Couple, (15 Vdc)



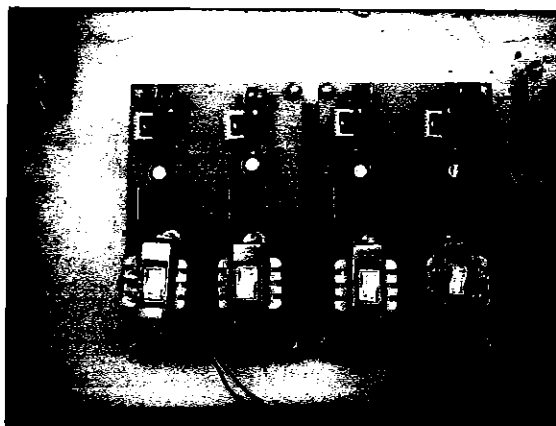
รูปที่ 4.7 ลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple



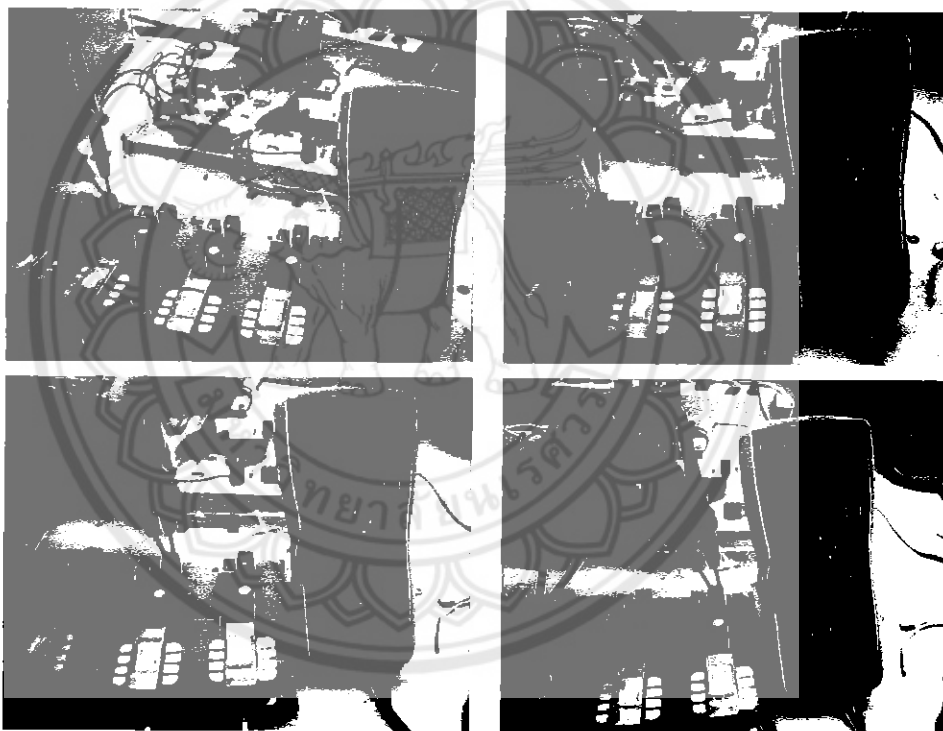
รูปที่ 4.8 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจร ไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร ไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple

เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	เทอร์มินัลขั้ว 2 ขา	7 ตัว
2	BRIDGE RECTIFIER 600V, 8A	4 ตัว
3	C 34 Volt 470 μ F	4 ตัว
4	R 10 Ω	4 ตัว
5	IC regulator เบอร์ 7815CV รักษาระดับแรงดันที่ 15 Volt	4 ตัว
6	C 16 Volt 100 μ F	4 ตัว
7	หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 15 Volt	4 ตัว
	ชิงค์ระบายความร้อน	4 ตัว
	Print circuit board	2 แผ่น

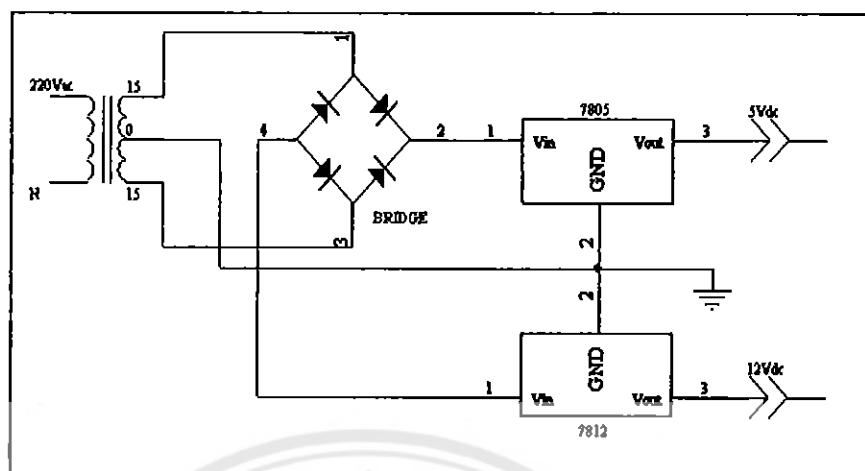


รูปที่ 4.9 วงจรไฟเลี้ยง วงจร Opto-Couple, (15 Vdc) ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

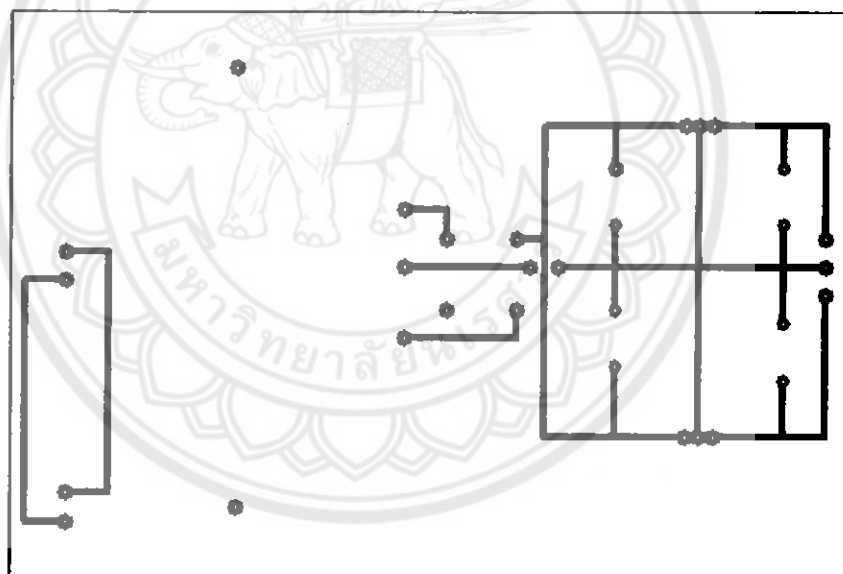


รูปที่ 4.10 ผลการทดลอง วงจรไฟเลี้ยง Opto-Couple

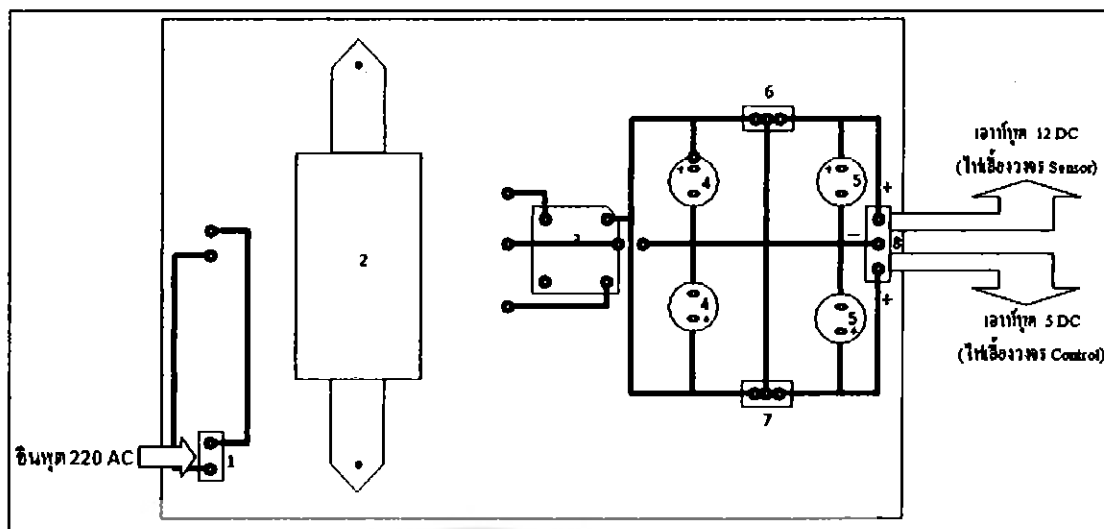
4.2.3 วงจรไฟเลี้ยงวงจร Sensor และวงจร Control



รูปที่ 4.11 วงจรไฟเลี้ยง Sensor และวงจร Control



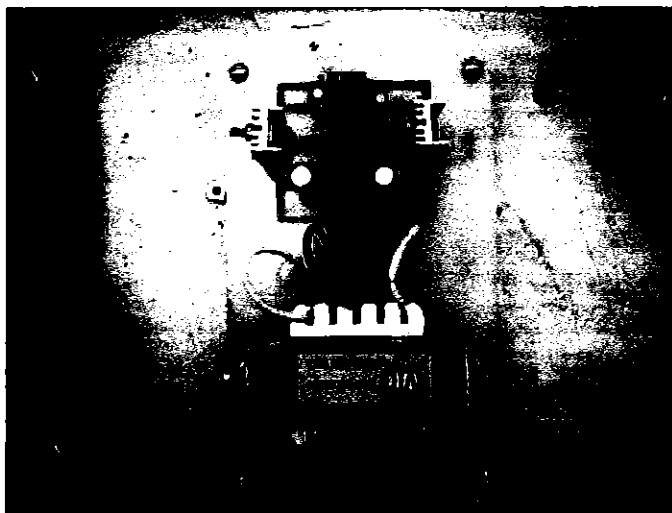
รูปที่ 4.12 ลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง Sensor และวงจร Control



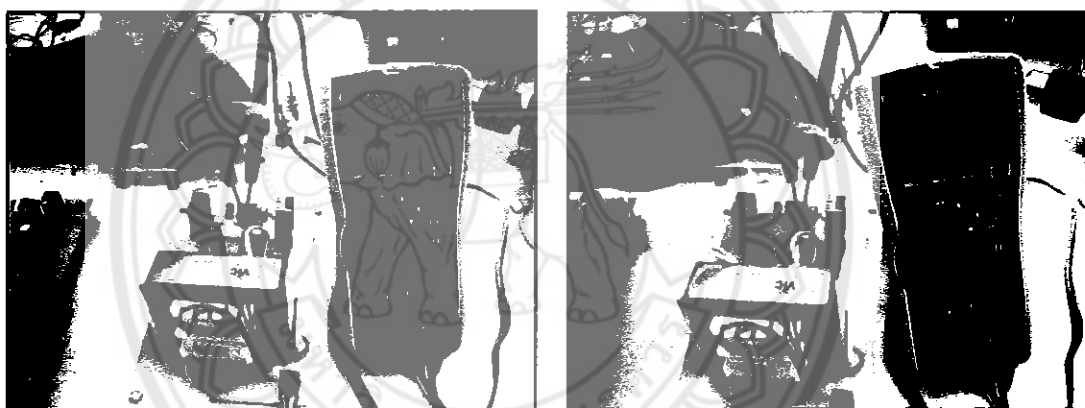
รูปที่ 4.13 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor และวงจร Control

ตารางที่ 4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor และวงจร Control

เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	เทอร์มินัลขั้ว 2 ขา	1 ตัว
2	หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 15 Volt	1 ตัว
3	BRIDGE RECTIFIER 600V, 8A	1 ตัว
4	C 50 volt 470 μ F	2 ตัว
5	16 Volt 100 μ F	2 ตัว
6	IC regulator เบอร์ 7812A รักษาระดับแรงดันที่ 12 Volt	1 ตัว
7	IC regulator เบอร์ 7805CV รักษาระดับแรงดันที่ 5 Volt	1 ตัว
8	เทอร์มินัลขั้ว 3 ขา	4 ตัว
	ซิงค์ระบายความร้อน	2 ตัว
	Print circuit board	1 แผ่น

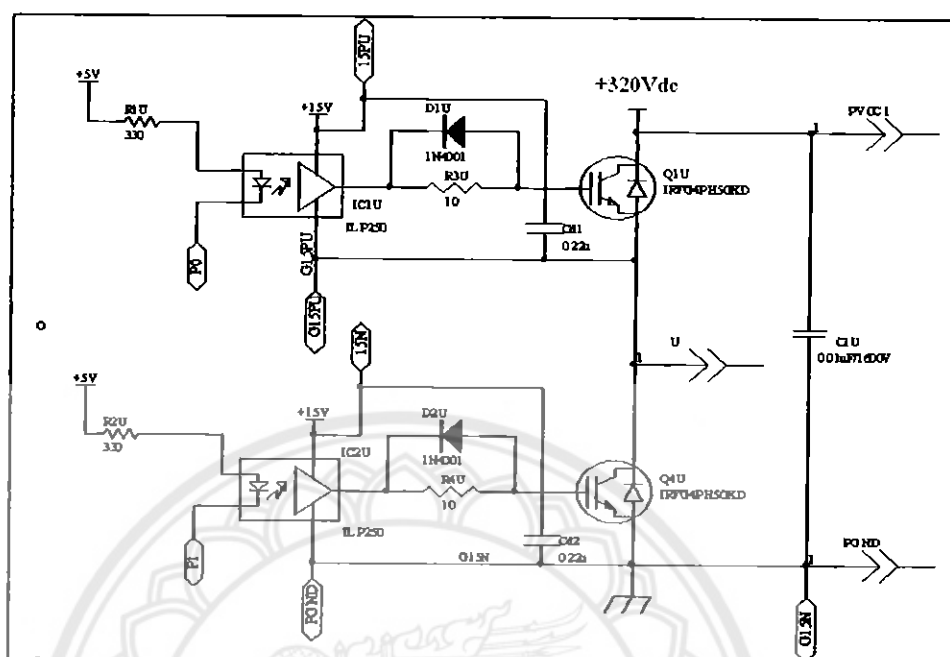


รูปที่ 4.14 ลายวงจร ไฟเลี้ยง วงจร Sensor และวงจร Control ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

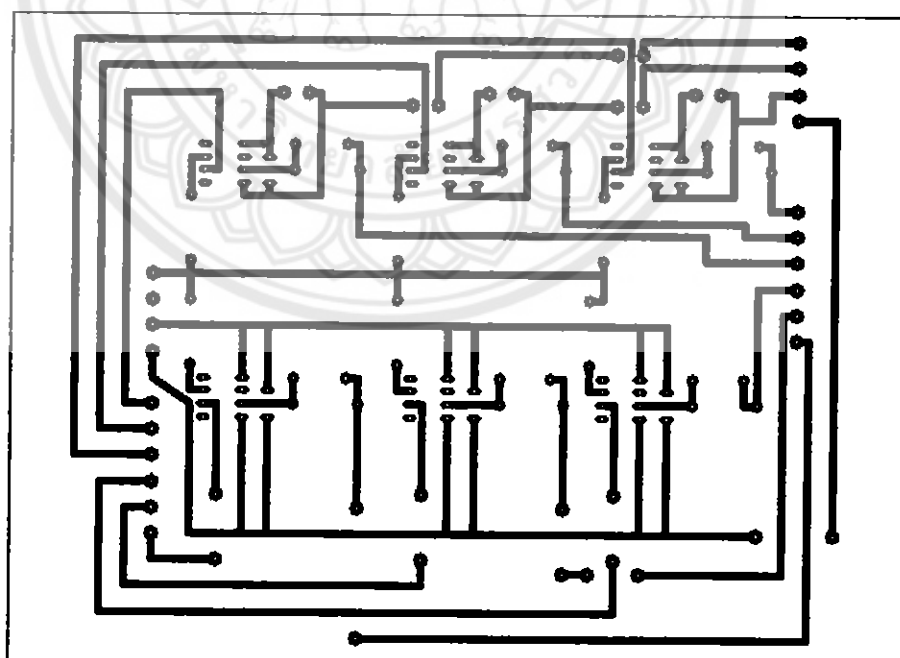


รูปที่ 4.15 ผลการทดลอง วงจรไฟเลี้ยงวงจร Sensor และวงจร Control 11.77 V, 4.995 V ตามลำดับ

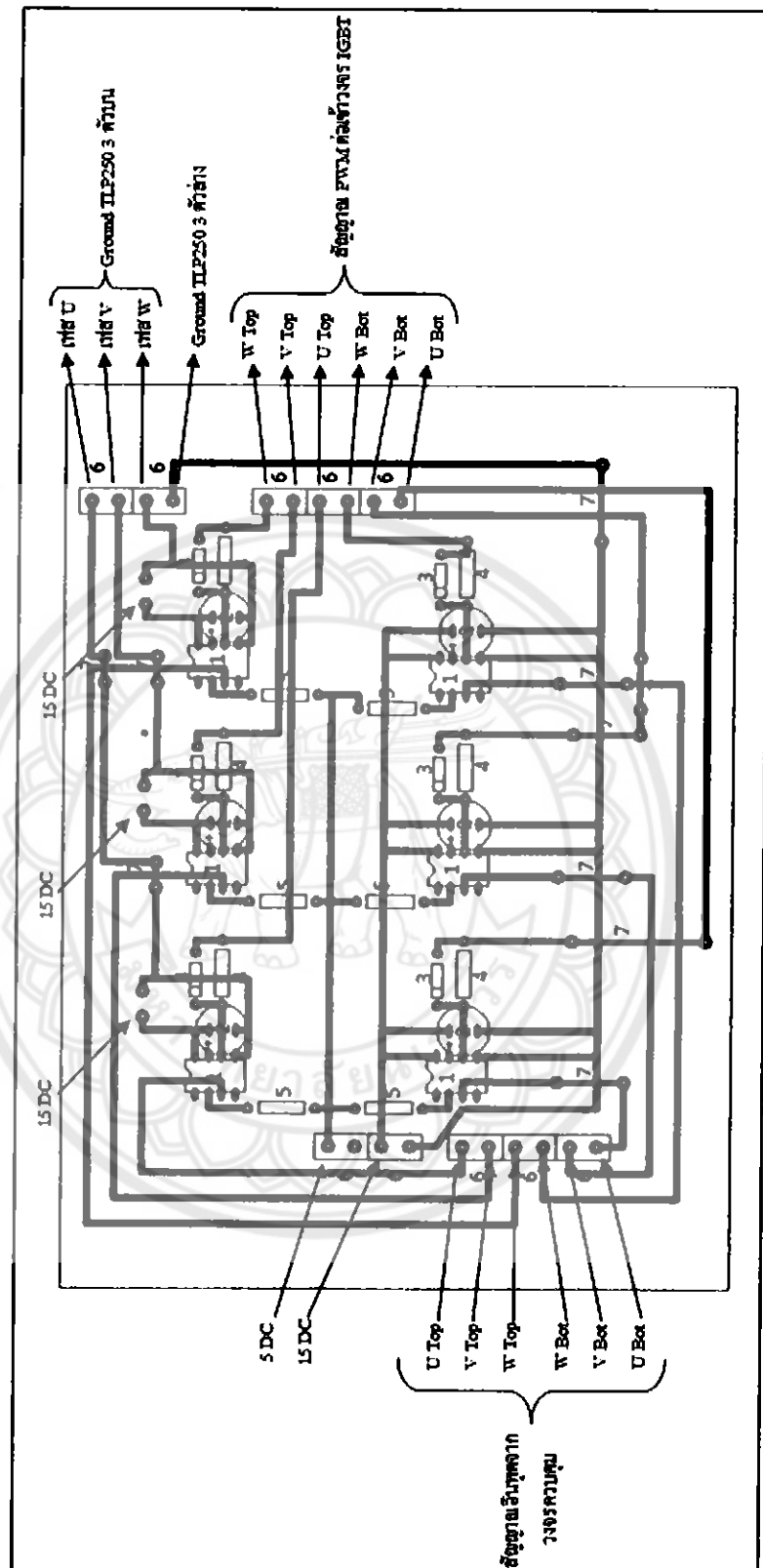
4.2.4 วงจร Opto-Couple



รูปที่ 4.16 วงจร Opto-Couple เฟส U



รูปที่ 4.17 ลายวงจร PCB วงจร Opto-Couple ทั้ง 3 เฟส



รูปที่ 4.18 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB วงจร Opto-Couple ทั้ง 3 เฟส

ตารางที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร Opto-Couple

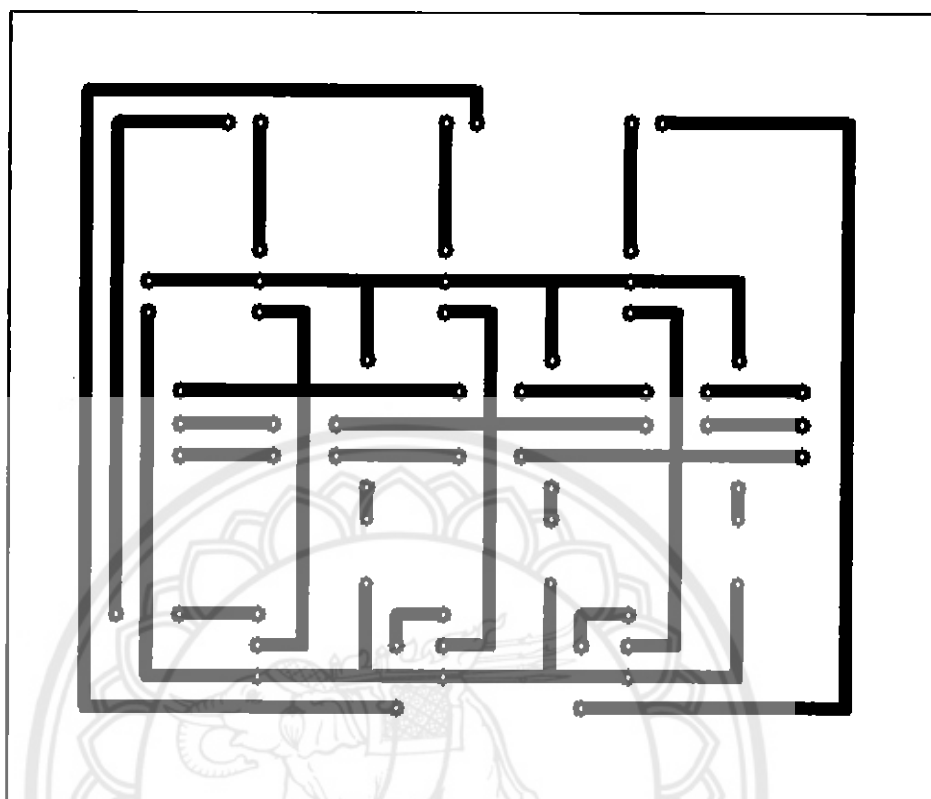
เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	TLP250 (F)	6 ตัว
2	C 50 Volt 0.22 μ F	6 ตัว
3	ไดโอด in4001	6 ตัว
4	R 10 Ω	6 ตัว
5	R 330 Ω	2 ตัว
6	เทอร์มินัลจัน 2 ขา	13 ตัว
7	สายไฟ	9 เส้น
	SOCKET DIP SOLDER 08 PINS	8 ตัว
	Print circuit board	1 แผ่น



รูปที่ 4.19 วงจร Opto-Couple ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

การทำงานของส่วนใน สวิตช์IGBTของอินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการแยกกราวด์ที่ใช้ในการทำงานนี้จะใช้ Opto-Couple TPL250 จำนวน6 ตัวทำหน้าที่แยกกราวด์สัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างสัญญาณส่วนขยายกับส่วนควบคุม

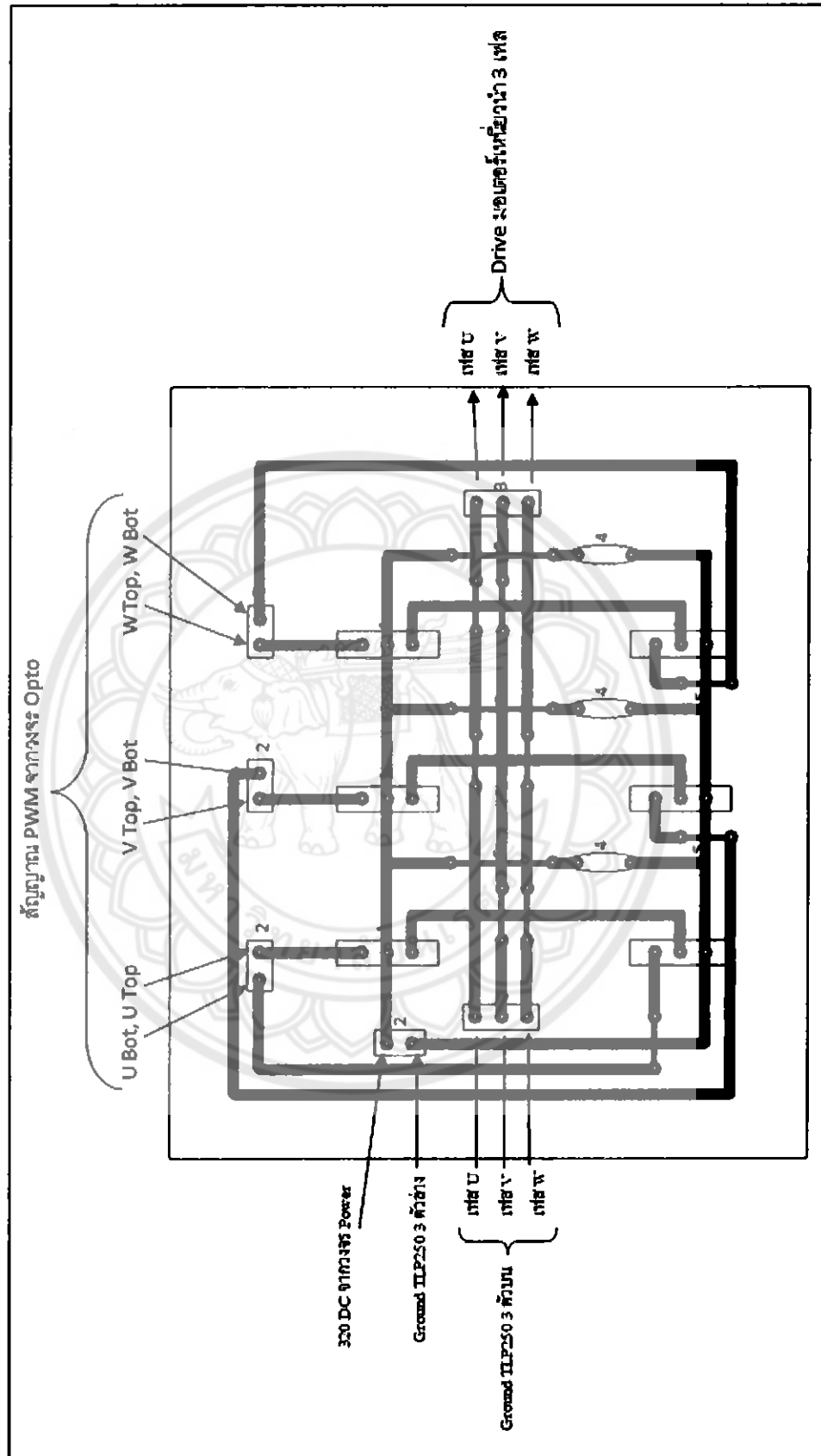
4.2.5 วงจร สวิตช์ IGBT



รูปที่ 4.20 ลายวงจร PCB วงจร IGBT

ตารางที่ 4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร IGBT

เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	IGBT เบอร์ GT60M303Q	6 ตัว
2	เทอร์มินัลชั้น 2 ขา	2 ตัว
3	เทอร์มินัลชั้น 3 ขา	1 ตัว
4	C เซรามิก 2KV	3 ตัว
	ซิงค์ระบายความร้อน	6 ตัว
	Print circuit board	1 แผ่น

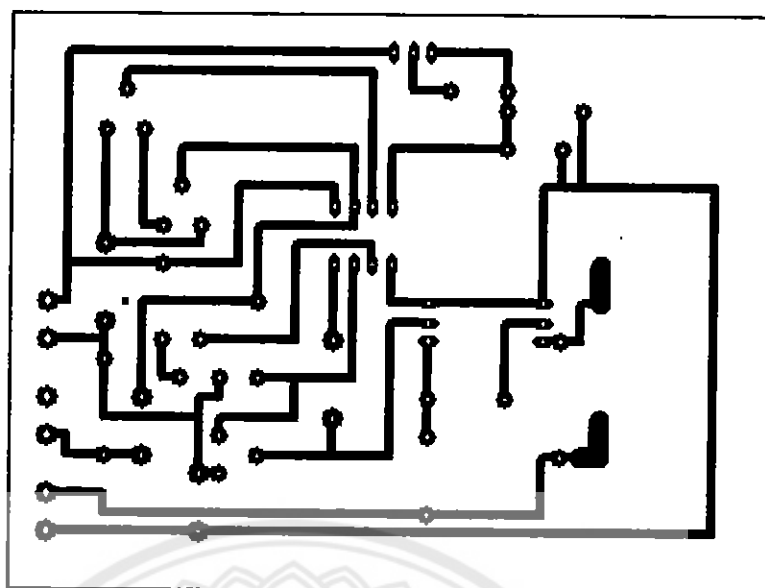


รูปที่ 4.21 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB ของวงจร IGBT

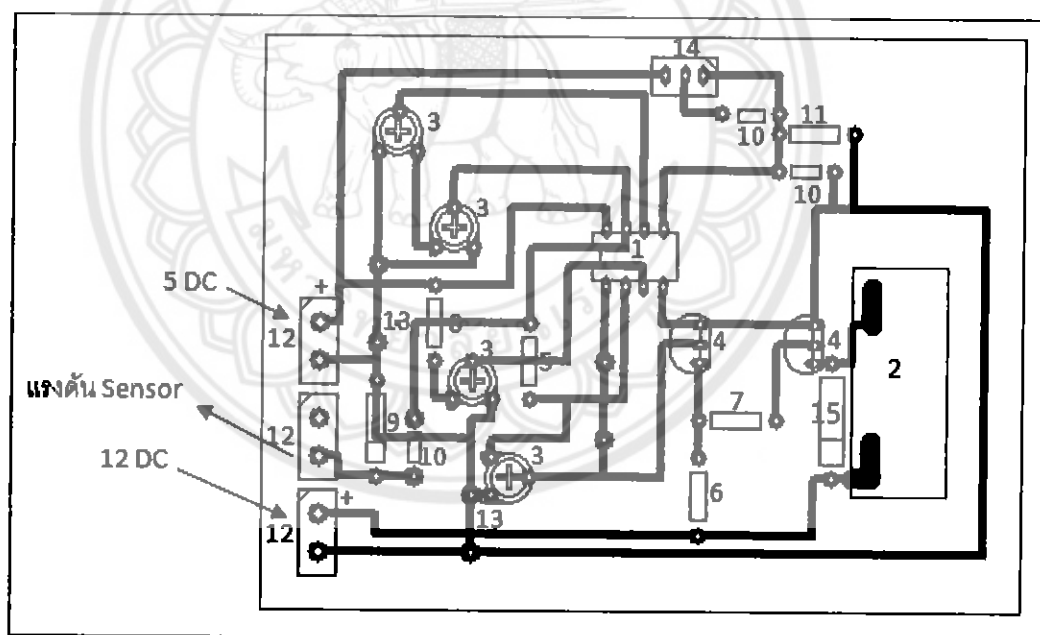


รูปที่ 4.22 วงจรสวิตช์ IGBT ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

ชุดวงจรสวิตช์ IGBT ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในการทำงานจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วนำมาทำการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสได้โดยใช้ อุปกรณ์ IGBT เบอร์ GT60M303Q จำนวน 6 ตัว เป็นชุดสวิตชิง



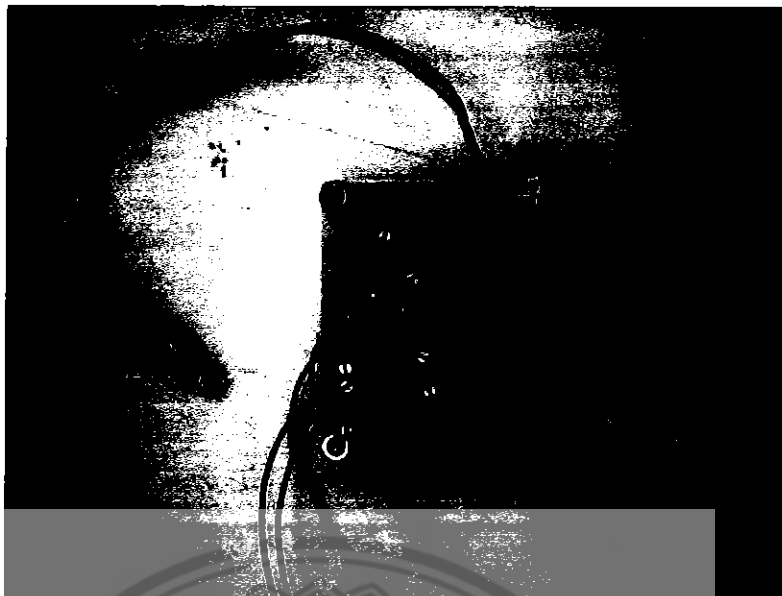
รูปที่ 4.24 ลายวงจร PCB วงจร Sensor



รูปที่ 4.25 การลงอุปกรณ์บนลายวงจร PCB ของวงจร Sensor

ตารางที่ 4.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Sensor

เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	Op-AmpLM358	1 ตัว
2	RELAY 12V 20A	1 ตัว
3	R Trim Pot 5K Ω	1 ตัว
4	ทรานซิสเตอร์	1 ตัว
5	R 10 Ω	4 ตัว
6	R 10K Ω	1 ตัว
7	R 6.8K Ω	1 ตัว
8	R 200 Ω	1 ตัว
9	ซีเนอร์ไดโอด 2 V	1 ตัว
10	R error1%	3 ตัว
11	R 150 Ω	1 ตัว
12	เทอร์มินัลจัน 2 ขา	3 ตัว
13	สายไฟ	3 เส้น
14	เซ็นเซอร์LM35DZ	1 ตัว
15	ไดโอด in4001	1 ตัว
	Print circuit board	1 แผ่น



รูปที่ 4.26 วงจร Sensor ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

การปรับอัตราขยายของวงจร Op-amp ตัวที่ 1 จะขยายแรงดันที่รับจาก Sensor ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แรงดันจาก Sensor มีค่า 500mV จะต้องใช้ Op-amp ตัวที่ 1 ขยายสัญญาณให้ได้ค่า 1.95V เพื่อแรงดันไฟสามเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีค่าความถี่เท่ากับ 50Hz และการตั้งค่าแรงดันเปรียบเทียบกับขาบวกของ Op-amp ตัวที่ 2 จะตั้งค่าไว้ที่ 0.78V เพื่อให้รีเลย์ตัดวงจรกำลังที่ 20 องศาเซลเซียส

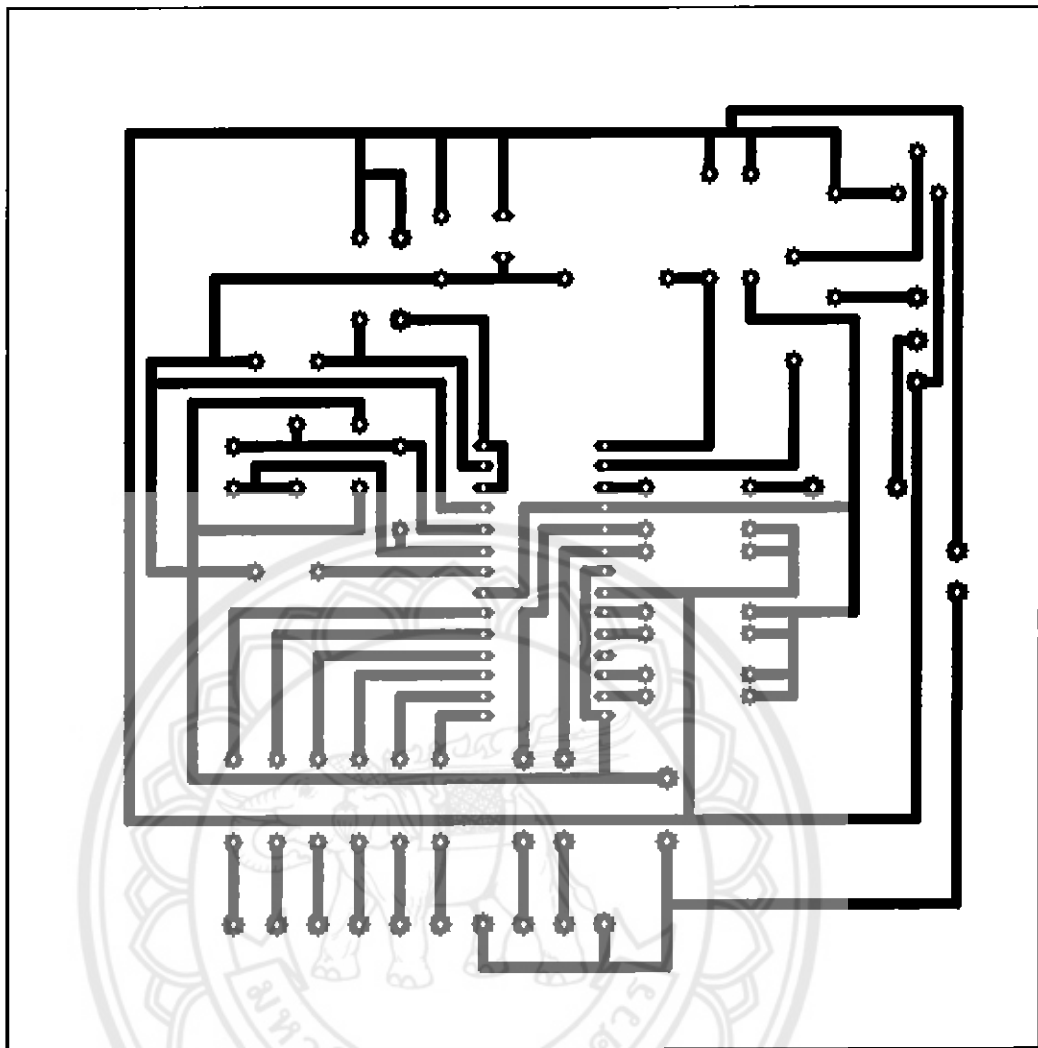
อธิบายวงจร Control

ค่าของ DC_BUS (ขา 28) ต้องใช้แรงดันที่ 3.85 V เนื่องจากการกำหนดจาก DATA SHEET การลดหรือเพิ่มความเร็วและความเร่ง ใช้การปรับแรงดันที่ขา ACCEL (ขา 27) เพื่อปรับความเร่ง และขา SPEED (ขา 26) เพื่อการปรับความเร็ว โดยจะต้องต่อความต้านทาน อนุกรมไว้ก่อนเข้าไอซี ด้วยเพื่อจำกัดกระแสที่จะเข้าไอซี ค่าของ MUX_IN ใช้เลือกค่าความถี่ของ PWM ว่าต้องการความถี่เท่าใด ก็ให้กำหนดแรงดันเข้าที่ขา MUX_IN (ขา 25)

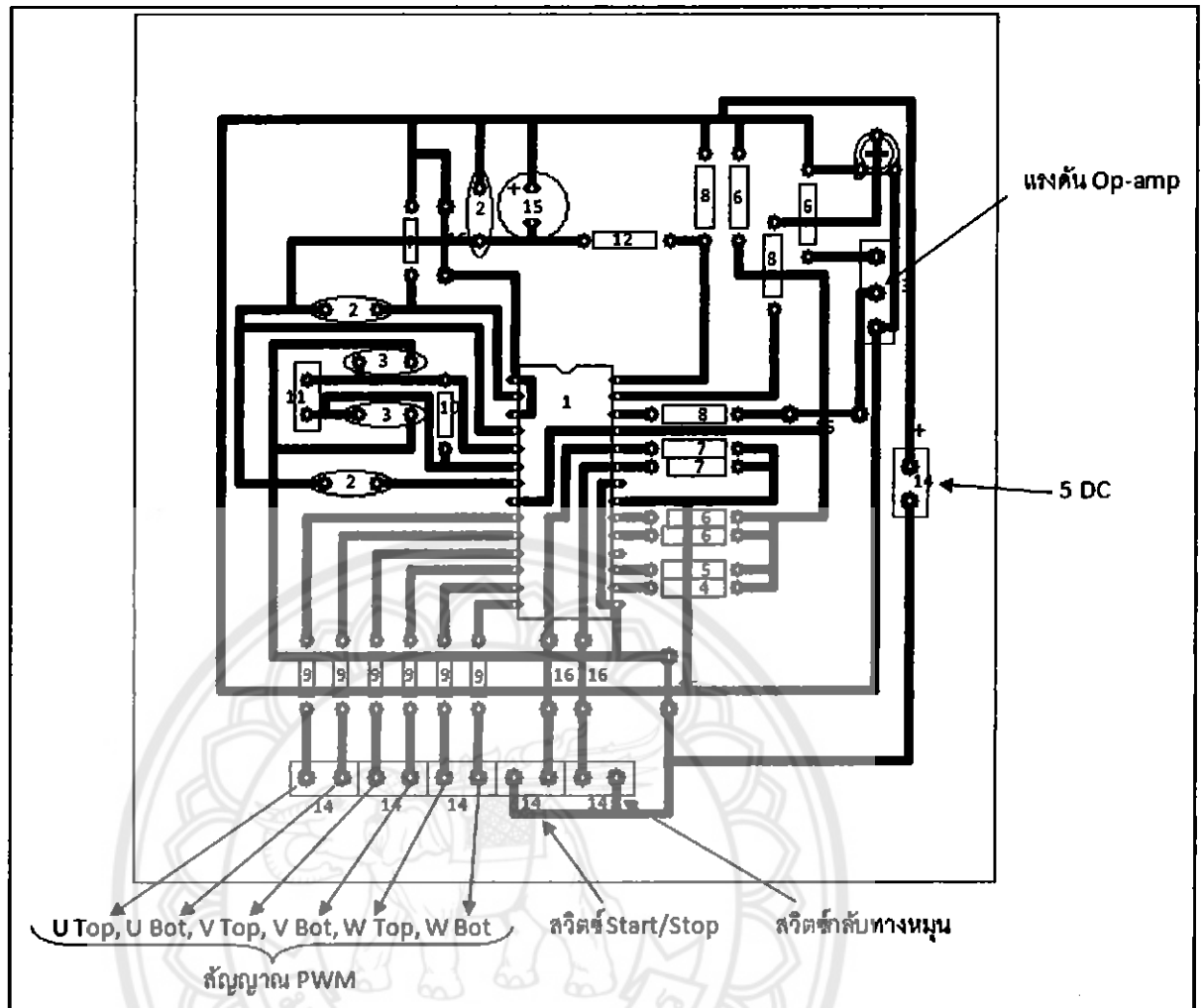
ขา START (ขา 24) และ FWD (ขา 23) เป็นขาที่ใช้ในการเปิดหรือปิด และควบคุมทิศทางตามลำดับ โดยการทำงานจะทำงานเมื่อเป็น 0 V และในตอนเริ่มการใช้งานวงจรจะต้อง Off switch ก่อนทุกครั้งที่จะป้อนไฟเข้าวงจร เมื่อป้อนไฟเข้าวงจรแล้วจึงค่อยทำการ On switch ส่วนขา FWD ก็จะใช้ในการเลือกทิศทางของมอเตอร์ในกรณีที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส ว่าต้องการที่จะให้หมุนไปหน้าหรือหมุนกลับหลัง การต่อวงจรก็จะใช้ความต้านทานปรับค่าได้ เพื่อทำการปรับความเร็วและความเร่ง จากนั้นก็ใช้ความต้านทาน เพื่อจำกัดกระแสก่อนที่จะเข้าไอซี MC3PHAC

ขา VBOOT_MODE (ขา 20) เป็นขาที่ใช้เลือกความถี่ในการเริ่มต้นขั้วมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีแรงดันตกค้างอยู่ภายในมอเตอร์ หรือในตอนที่ไม่ START มอเตอร์ สามารถเลือกได้ 0 – 40 % โดยใช้ค่าความต้านทานดังตารางที่ 3.3 ขา DT_FAULTOUT (ขา 19) เป็นขาที่ใช้ในการเลือกค่า DATE TIME โดยใช้ค่าความต้านทานดังตารางที่ 3.4 ขา RETRY/TXD (ขา 18) ใช้ในการกำหนดเวลาในการเริ่มต้นใหม่เมื่อเกิดข้อผิดพลาด หรือวงจรมีความขัดข้อง โดยใช้ค่าความต้านทานตามตารางที่ 3.5

ขา FAULTIN (ขา 15) เป็นขาที่ใช้รับสัญญาณการเตือนหรือข้อผิดพลาดจากวงจรอื่นเข้าแล้วจะไปทำการสั่งให้ขา BREAK ทำงาน แต่เนื่องจากวงจรที่ออกแบบนั้นไม่ได้ใช้ในส่วนนี้จึงต่อลงกราวด์ไว้ ขา PWMPOL_BASEFREQ เป็นขาที่ใช้กำหนดความถี่พื้นฐาน สามารถเลือกได้ 4 แบบ ดังตารางที่ 3.2 การใช้งานคือหากต้องการใช้ความถี่เท่าใดก็ให้ต่อขา PWMPOL_BASEFREQ กับขาที่แสดงดังตาราง เช่นต้องการความถี่ 50 Hz ก็ให้ต่อขา PWMPOL_BASEFREQ กับ MUX_IN



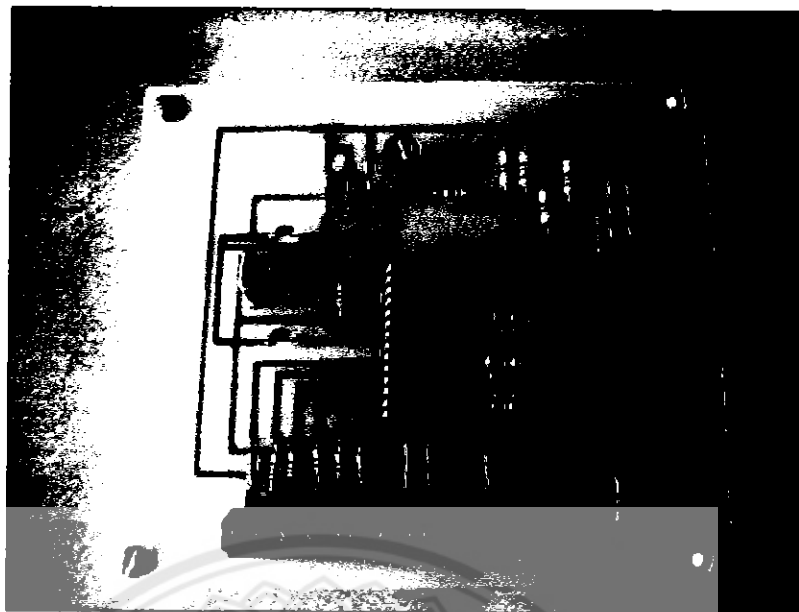
รูปที่ 4.28 ดาขวงจร PCB วงจร Control



รูปที่ 4.29 การลงอุปกรณ์บนสายวงจร PCB วงจร Control

ตารางที่ 4.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟเลี้ยง วงจร Control

เบอร์อุปกรณ์บนวงจร PCB	รายการ	จำนวน
1	IC-MC3PHAC	1 ตัว
2	C 0.1 μ F	3 ตัว
3	C 0.22 μ F	2 ตัว
4	R 470 Ω	1 ตัว
5	R 50K Ω	1 ตัว
6	R 6.8K Ω	4 ตัว
7	R 10K Ω	3 ตัว
8	R 4.7K Ω	3 ตัว
9	R 560 Ω	6 ตัว
10	R 10M Ω	1 ตัว
11	คริสตอล 4 MHz	1 ตัว
12	R 150 Ω	1 ตัว
13	เทอร์มินัล 3 ขา	1 ตัว
14	เทอร์มินัล 2 ขา	6 ตัว
15	C 100 μ F 16V Electrolyte	1 ตัว
16	สายไฟ	5 เส้น
17	R Trim pot 5K Ω	1 ตัว
	Print circuit board	1 แผ่น

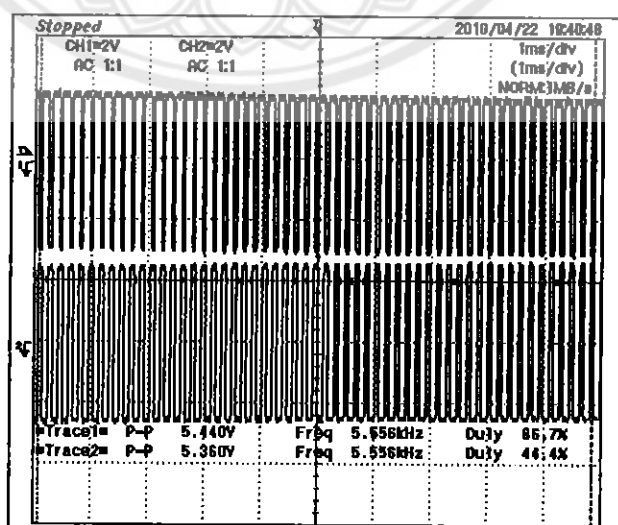


รูปที่ 4.29 วงจร Control ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

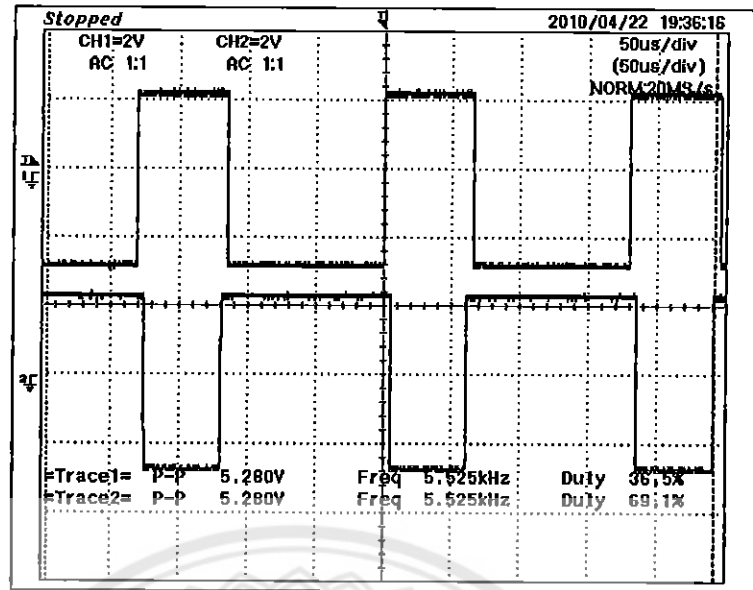
4.3 ผลการทดลอง

ตั้งสัญญาณ PWM Polarity เป็นลบ และ Base Frequency เท่ากับ 50 Hz ค่า Voltage Boost กำหนดที่ 20% ค่า Dead Time กำหนดที่ $5.2\mu\text{s}$ ค่า Retry Time กำหนดที่ 52 Sec และค่า PWM Frequency กำหนดที่ 5.556 KHz โดยใช้ความถี่ของคริสตัลที่ 4 MHz

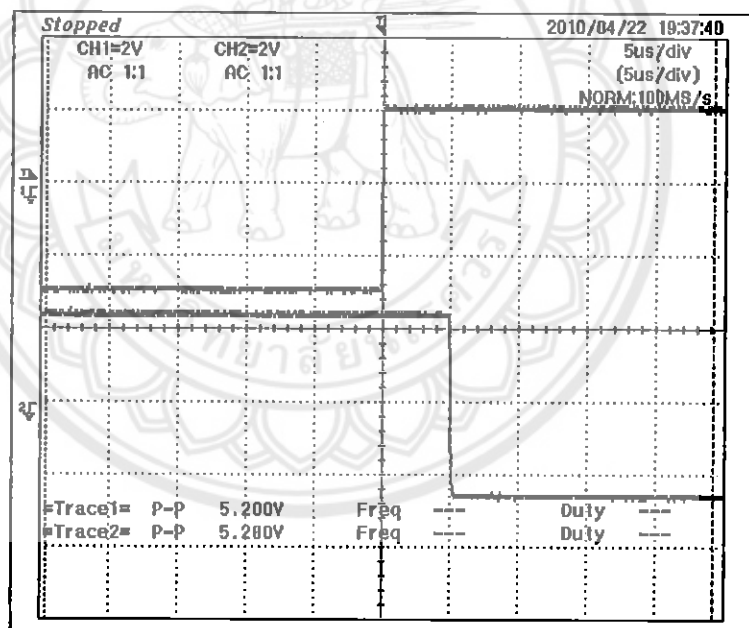
รูปสัญญาณเฟส U



รูปที่ 4.30 รูปสัญญาณPWM ที่U_TOP และ U_BOT

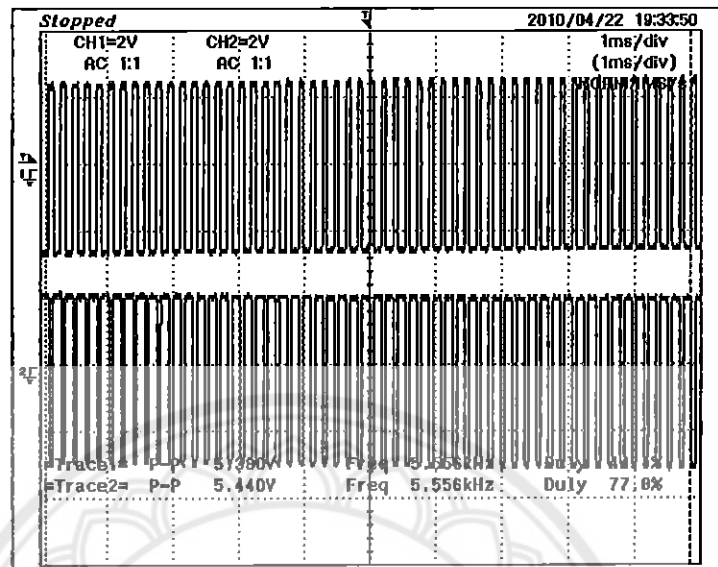


รูปที่ 4.31 แสดงความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM ที่ U_{TOP} และ U_{BOT}

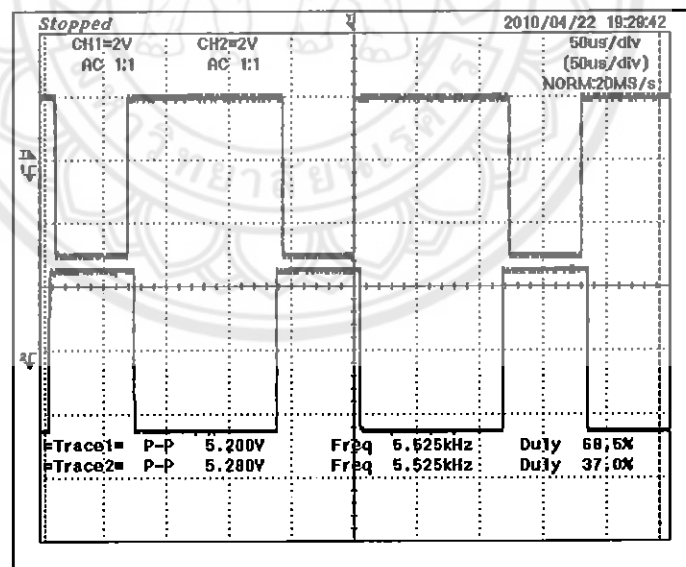


รูปที่ 4.32 รูปสัญญาณ PWM ที่ U_{TOP} และ U_{BOT} ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2μs

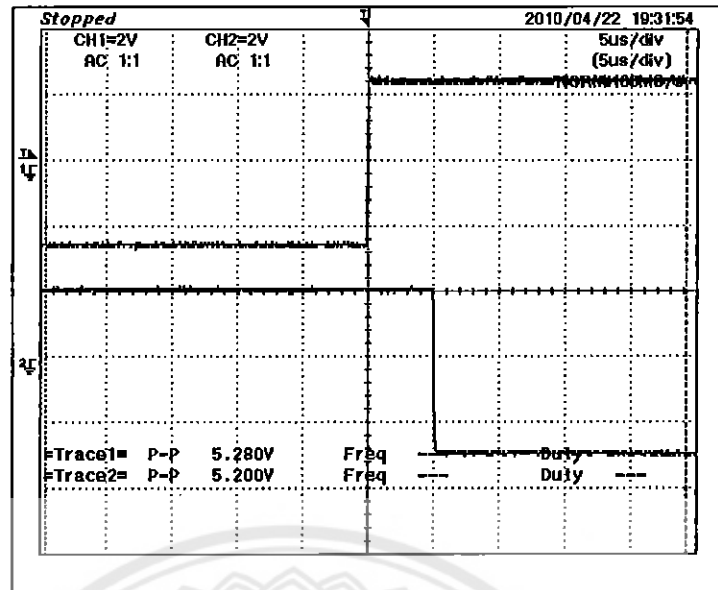
รูปสัญญาณเฟส V



รูปที่ 4.33 รูปสัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ V_BOT

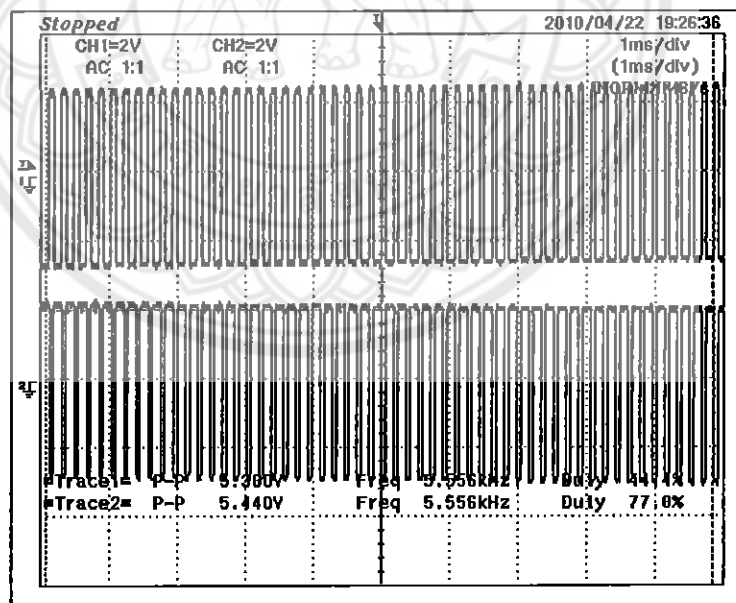


รูปที่ 4.34 แสดงความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ V_BOT

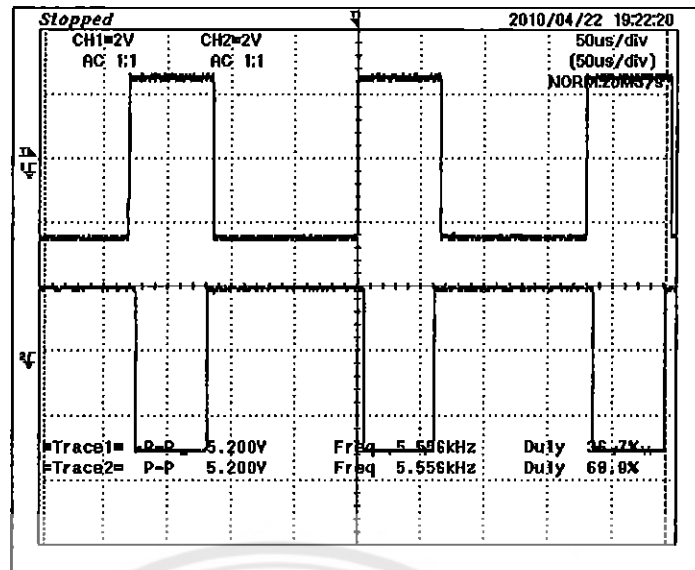


รูปที่ 4.35 รูปสัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ V_BOT ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2μs

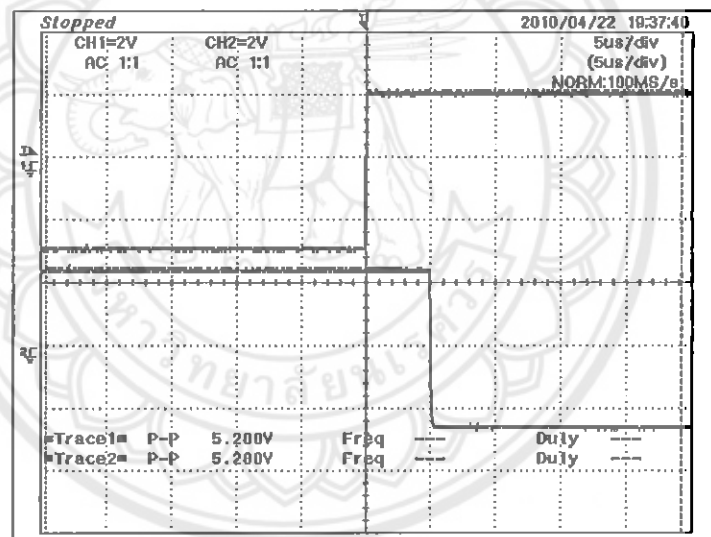
รูปสัญญาณเฟส W



รูปที่ 4.36 รูปสัญญาณ PWM ที่ W_TOP และ W_BOT

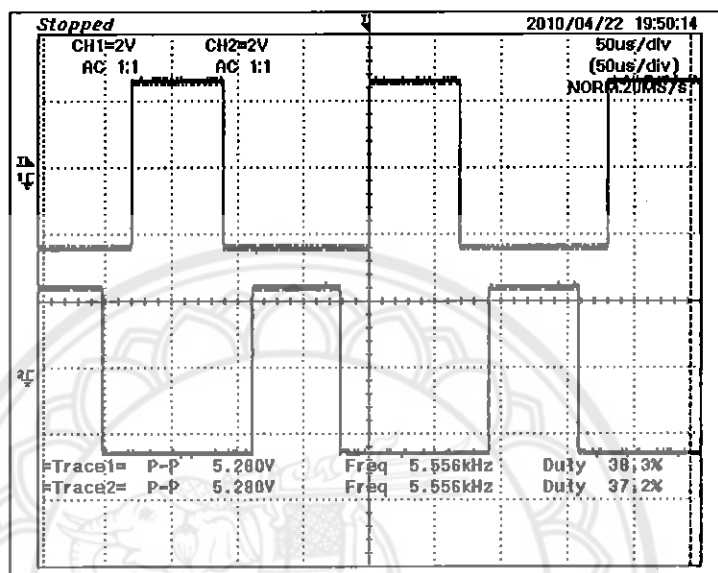


รูปที่ 4.37 แสดงความถี่การสวิตช์สัญญาณ PWM ที่ W_TOP และ W_BOT

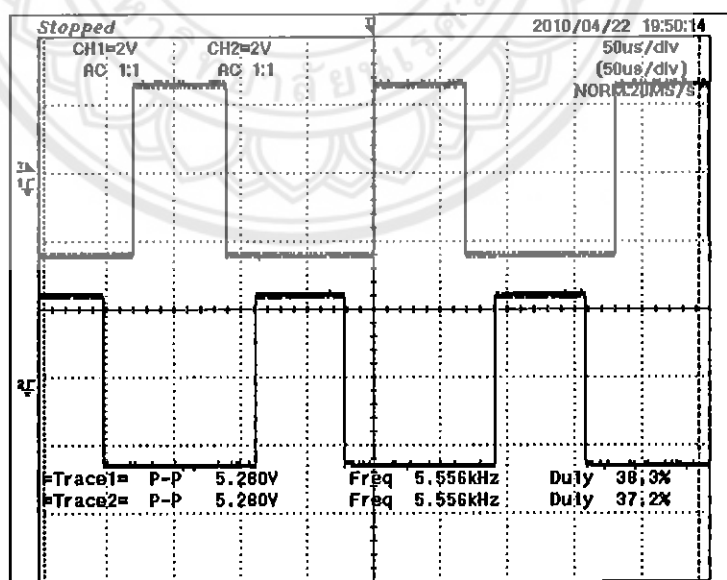


รูปที่ 4.38 รูปสัญญาณ PWM ที่ W_TOP และ W_BOT ค่า Dead Time กำหนดที่ 5.2μs

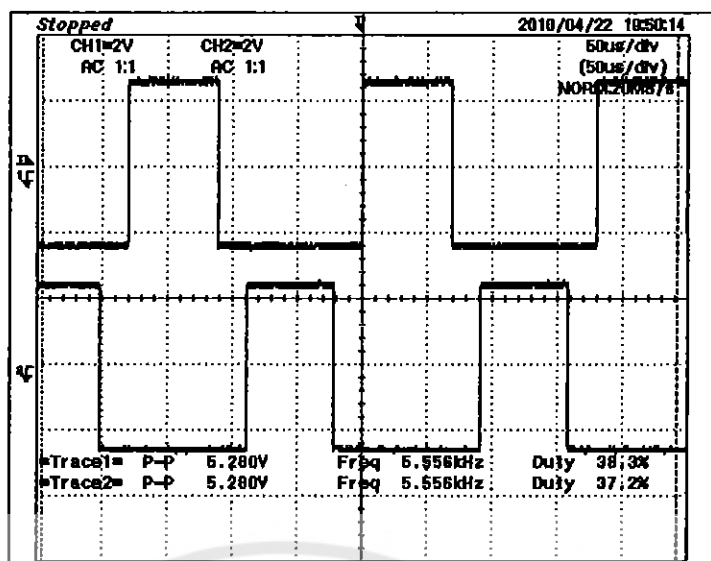
เปรียบเทียบสัญญาณแต่ละเฟสสัญญาณ PWM Polarity เป็นลบ และ Base Frequency เท่ากับ 50 Hz ค่า Voltage Boost กำหนดที่ 20% ค่า Dead Time กำหนดที่ $5.2\mu\text{s}$ ค่า Retry Time กำหนดที่ 52 Sec และค่า PWM Frequency กำหนดที่ 5.556 KHz โดยใช้ความถี่ของคริสตอลที่ 4 MHz



รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบรูปสัญญาณ PWM ที่ U_TOP และ V_BOT



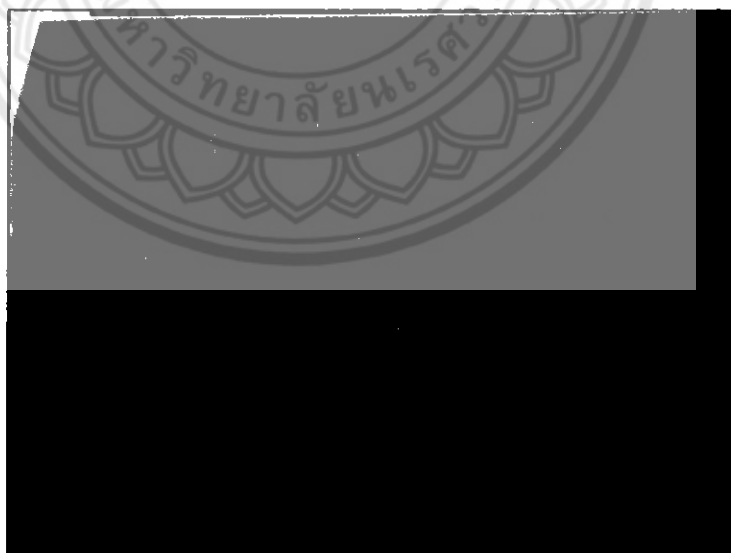
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบรูปสัญญาณ PWM ที่ U_TOP และ W_BOT



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบรูปสัญญาณ PWM ที่ V_TOP และ W_BOT

สัญญาณ Out put แรงดันสายที่ U และ V เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณ Out put จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงของความถี่จะเป็นอัตราส่วนกันระหว่างแรงดันกับความถี่เพื่อให้ค่า Torque มีค่าคงที่ ขณะที่ต่อโหลด ที่อุณหภูมิต่างๆ ความถี่มีค่าดังนี้ C

20 °C = 20Hz, 30 °C = 30Hz, 40 °C = 40Hz, 50 °C = 50Hz



รูปที่ 4.42 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 20 °C



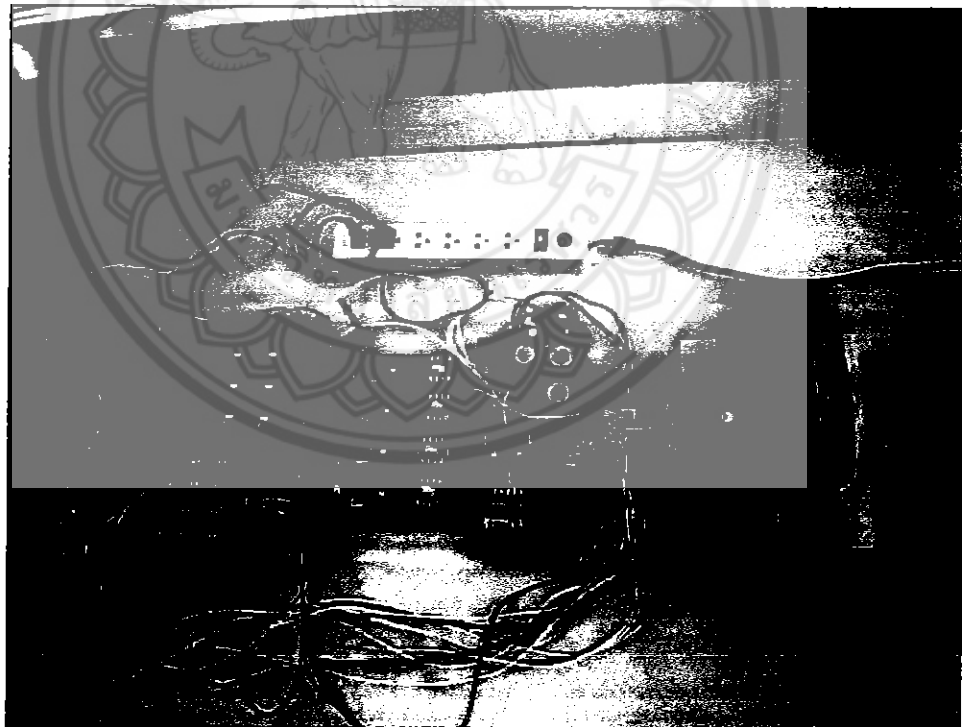
รูปที่ 4.43 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 30 °C



รูปที่ 4.44 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 40 °C



รูปที่ 4.45 สัญญาณ Out put แรงดันสายที่เฟส U กับเฟส V ที่อุณหภูมิ 50 °C



รูปที่ 4.46 รูปต่อวงจรทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อทำการทดลอง Drive motors และเก็บผลการทดลอง

หมายเหตุ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดลองมีค่าดังนี้ 220/380 V, I 1.1 A, PF 0.76 Hp 0.37 KW ผลการทดลองได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะต่ออินเวอร์เตอร์ ที่ No Load

T (°C)	Speed (rpm)	Vrms (V)	Irms (A)	P (Kw)
20	683	132.4	0.382	0.066
25	737	138.7	0.387	0.072
30	881	152.8	0.391	0.078
35	1064	169.3	0.396	0.088
40	1185	186.7	0.402	0.098
45	1300	208.4	0.41	0.112
50	1490	221.1	0.423	0.121

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะต่ออินเวอร์เตอร์ ที่ Load 20%,
Tq 0.5 NM

T (°C)	Speed (rpm)	Vrms (V)	Irms (A)	P (KW)
20	667	130.5	0.452	0.077
25	732	137.2	0.51	0.092
30	844	146.5	0.522	0.101
35	1042	166.3	0.538	0.117
40	1174	177.3	0.543	0.126
45	1226	196.4	0.548	0.141
50	1340	219.1	0.56	0.158

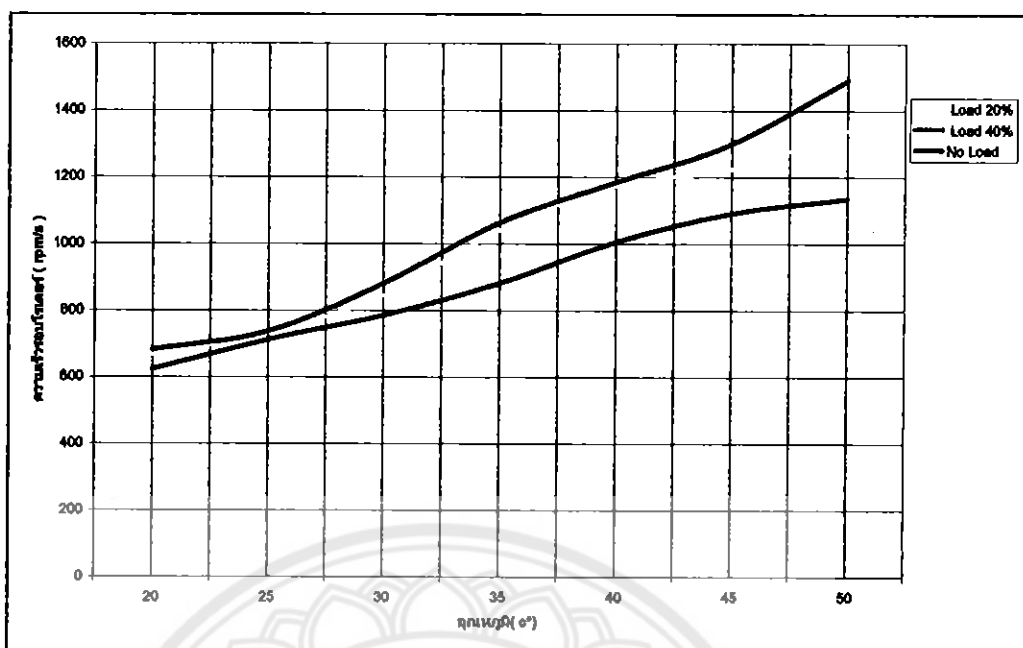
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าที่วัดได้จากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะต่ออินเวอร์เตอร์ที่ Load 40%,
Tq 1 NM

T (°C)	Speed (rpm)	Vrms (V)	Irms (A)	P (KW)
20	624	129.6	0.584	0.1
25	712	134.3	0.593	0.104
30	785	141.6	0.598	0.111
35	882	155.1	0.609	0.124
40	1006	168	0.616	0.136
45	1091	190	0.621	0.155
50	1135	217.5	0.63	0.174

ตารางที่ 4.11 ไม้อินเวอร์เตอร์ Tq 0.5 NM, Tq 1 NM

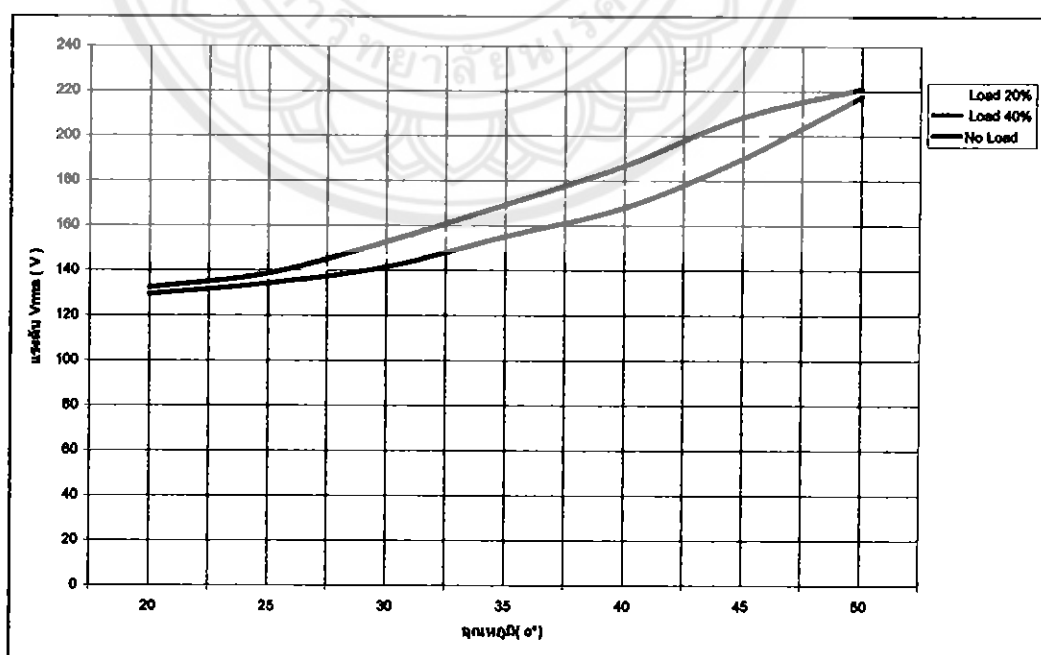
Load	Speed	Vrms	Irms	P(KW)
20%	1410	219	0.527	0.152
40%	1380	219	0.582	0.168

จากตารางผลการทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถพล็อตกราฟ
ความสัมพันธ์ได้ดังนี้



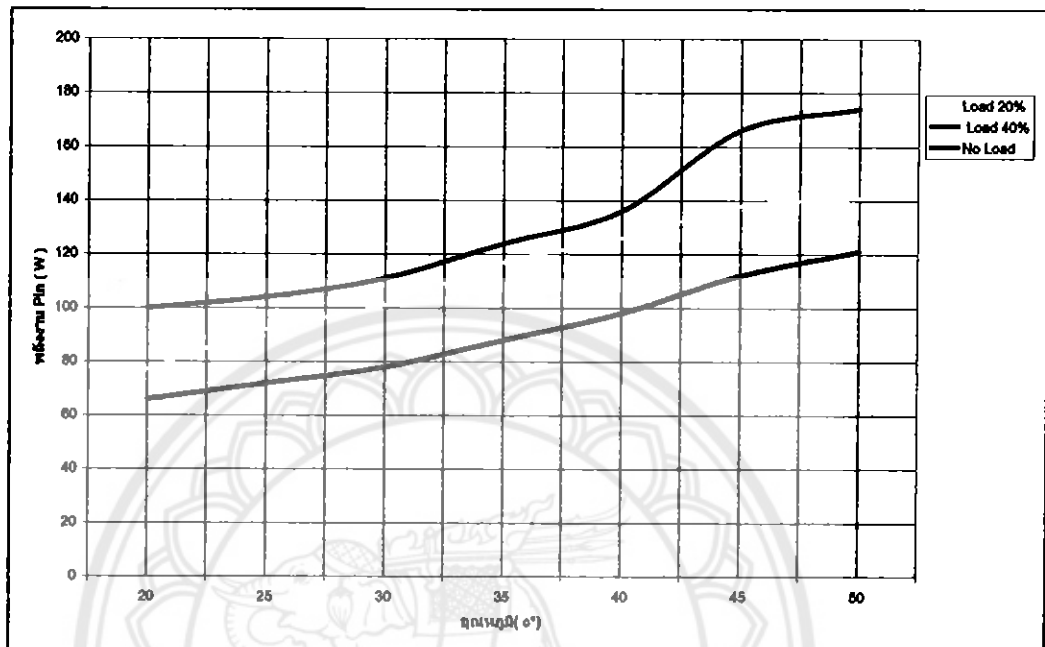
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ของความเร็วโรเตอร์กับอุณหภูมิ ที่เฟส U และเฟส V

จากรูป 4.39 จะเห็นได้ว่าความเร็วของโรเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิเท่ากันของค่าโหลดที่ต่างกันความเร็วของโรเตอร์ก็จะต่างกัน โดยที่ถ้าค่าโหลดเพิ่มขึ้นความเร็วรอบโรเตอร์ก็จะลดลง



รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ของแรงดันกับอุณหภูมิที่เฟส U และเฟส V

จากรูป 4.40 จะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิเท่ากันของค่าโหลดที่ต่างกันค่าของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสก็จะต่างกันโดยที่ถ้าค่าโหลดเพิ่มขึ้นค่าของแรงดันจะลดลง



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์กับอุณหภูมิที่เฟส U และเฟส V

จากรูป 4.41 จะเห็นได้ว่าพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิเท่ากันพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสก็จะต่างกันโดยที่ถ้าค่าโหลดเพิ่มขึ้นพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสก็จะเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงงานนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงงานนี้ได้ออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 370W โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ 1 เฟส สามารถปรับความเร็วรอบได้ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 624 - 1490 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส ใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิส่งให้ IC MC3PHAC จะสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 6 สัญญาณควบคุมการเปิดปิดของ IGBT เพื่อสร้างสัญญาณ 3 เฟสสำหรับจ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการปรับความเร็วรอบจะใช้ทฤษฎีการปรับอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่สัญญาณ PWM มีความถี่ 5.556 KHz ที่ความถี่ของคริสตัลที่ 4 MHz สัญญาณ PWM ทั้ง 6 สัญญาณจะถูกนำไปขับ IGBT จำนวน 6 ตัวเพื่อป้องกันการทำงานพร้อมกันในเฟสเดียวกัน (Shoot Through) Dead Time 5.2 μ s

ปัญหาในการทำงานและแนวทางการแก้ไข

1. สัญญาณที่ออกจาก IC TLP250 ผิดเพี้ยน

สาเหตุ

แยกสัญญาณที่ขับ IGBT ในแต่ละเฟส

ผล

ทำให้เกิดการลัดวงจรที่วงจร IGBT

วิธีแก้ไข

ต้องแยกแหล่งจ่ายไฟที่ต้องที่จ่ายให้กับวงจร TPL250

2. IGBT เกิดการเสียหายบ่อย

สาเหตุ

สัญญาณที่ใช้ขับ IGBT มีการผิดเพี้ยน

ผล

ทำให้ IGBT บางตัวลัดวงจรและไม่สามารถใช้งานได้อีก

วิธีแก้ไข

ทำการตรวจสอบสัญญาณก่อนต่อกับมอเตอร์

3. เกิดการเสียหายของ IC TLP250

สาเหตุ

เกิดการลัดวงจรที่ชุดสวิตช์ IGBT

ผล

IC TLP250 เกิดการเสียหายเนื่องจากกระแสไหลเข้าที่ขา GND

วิธีแก้ไข

ใช้ฟิวส์ที่มีขนาดทนกระแสเล็กน้อยๆ เพื่อให้ฟิวส์ลัดวงจรได้เร็ว

5.2 ประเมินผล

จากการดำเนินโครงการเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ในการทำโครงการ ได้ผลดังนี้

5.3.1 สามารถทราบถึงหลักการทำงานและโครงสร้างของมอเตอร์ 3 เฟส

5.3.2 สามารถสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ 3 เฟสให้ปรับความเร็วรอบตาม

อุณหภูมิ

5.3.3 สามารถออกแบบวงจรกำลังและวงจรตัดต่อวงจรกำลังได้

5.3.4 การใช้พลังงานของมอเตอร์ 3 เฟสจะลดลง เมื่อความเร็วรอบลดลง เมื่อใช้การควบคุมอัตราส่วนแรงดันให้คงที่เพื่อให้ได้ Torque คงที่

5.3 แนวทางสำหรับการพัฒนา

การพัฒนา ในการนำไปใช้งานในงานที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบหลายๆค่าเช่นในระบบเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมอเตอร์ก็คือคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งสามารถทำงานได้โดยไม่จำเป็นต้องมีผู้ควบคุมระบบ หรือหากต้องการปรับความถี่ใช้งานให้สูงกว่าความถี่ไฟสลับที่ทำงานปกติก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มชุดตรวจวัดความเร็วรอบเพื่อวัดความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้มีความเร็วรอบสูงสุดที่ 1500 รอบต่อนาทีที่ 50Hz แต่เราสามารถเพิ่มให้สูงกว่าได้โดยการปรับความถี่ไฟสลับจากชุดอินเวอร์เตอร์ และยังสามารถนำไปใช้กับงานระบบ Cooling Tower ระบบแอร์น้ำเย็น (Chiller) เพื่อทำให้ระบบปรับอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, วารสารเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน. Dynamic MotorLoad Control. (March,21, 2010), from http://www2.dede.go.th/bhrd/web_display/factory/factory_variable.html
- ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ.(พฤศจิกายน, 2536).เทคโนโลยี IGBT : ลักษณะการสวิตช์. (March, 21, 2010), from http://electronics.se-ed.com/contents/134s129/134s129_p09.asp
- ปัญญา ขอดโหวท,ดร. (2547). เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ
- วีระเชษฐ์ ขันเงิน,รศ.ดร. และ วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์.(2550). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิเจ พรินติ้ง
- สุวัตรชัย กล้าเกิดผล. (Febuary, 4, 2009). หลักการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ. (March, 10, 2010) from <http://jskmotor.igetweb.com/index.php?mo=14&newsid=72161>
- Nattakit (Luechai) Powichai. (Febuary, 02, 2008).ประเภทของการสตาร์ทมอเตอร์.(March, 21, 2010) from <http://www.lpc.rmutl.ac.th/elcen/elearning/motorcontrol/module9/starting.html>
- PK kit Circuit. Regulator 5V,6V,9V,12V 1A By IC 7805,7806,7809,7812. (March, 5, 2010), from <http://www.eleccircuit.com/regulator-5v6v9v12v-1a-by-ic-7805780678097812/>



MC3PHAC Monolithic Intelligent Motor Controller

Overview

The MC3PHAC is a high-performance monolithic intelligent motor controller designed specifically to meet the requirements for low-cost, variable-speed, 3-phase ac motor control systems. The device is adaptable and configurable, based on its environment. It contains all of the active functions required to implement the control portion of an open loop, 3-phase ac motor drive.

One of the unique aspects of this device is that although it is adaptable and configurable based on its environment, it does not require any software development. This makes the MC3PHAC a perfect fit for customer applications requiring ac motor control but with limited or no software resources available.

The device features are:

- Volts-per-Hertz speed control
- Digital signal processing (DSP) filtering to enhance speed stability
- 32-bit calculations for high-precision operation
- Interrupt enabled
- No user software development required for operation
- 6-output pulse-width modulator (PWM)
- 3-phase waveform generation
- 4-channel analog-to-digital converter (ADC)
- User configurable for standalone or hosted operation
- Dynamic bus ripple cancellation
- Selectable PWM polarity and frequency
- Selectable 50/60 Hz base frequency
- Phase-lock loop (PLL) based system oscillator
- Serial communications interface (SCI)
- Low-power supply voltage detection circuit

Included in the MC3PHAC are protective features consisting of dc bus voltage monitoring and a system fault input that will immediately disable the PWM module upon detection of a system fault.

Overview

Some target applications for the MC3PHAC include:

- Low horsepower HVAC motors
- Home appliances
- Commercial laundry and dishwashers
- Process control
- Pumps and fans

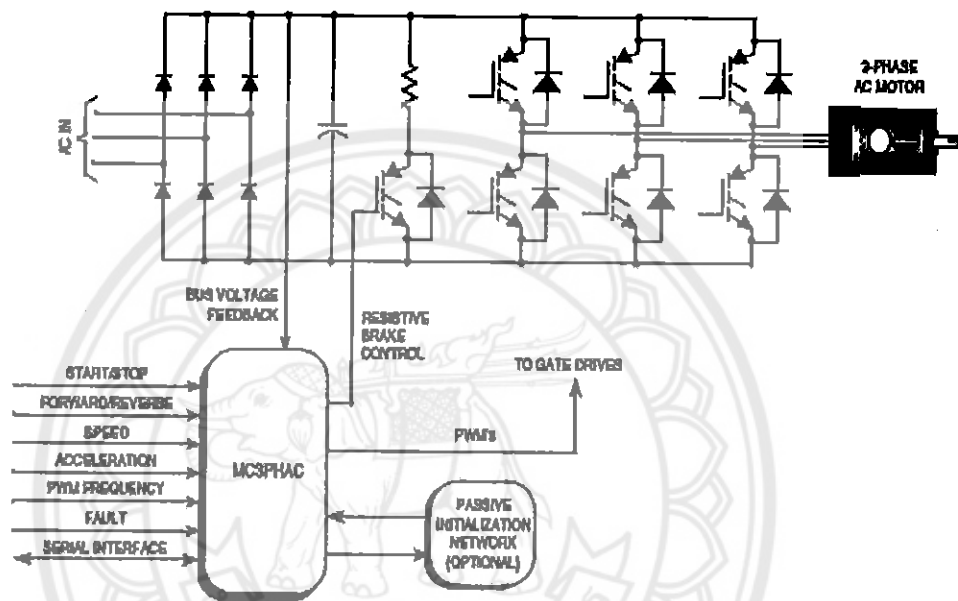


Figure 1. MC3PHAC-Based Motor Control System

As shown in Table 1, the MC3PHAC is offered in these packages:

- Plastic 28-pin dual in-line package (DIP)
- Plastic 28-pin small outline integrated circuit (SOIC)
- Plastic 32-pin quad flat pack (QFP)

Table 1. Ordering Information

Device	Operating Temperature Range	Package
MC3PHACVP	-40°C to +105°C	Plastic 28-pin DIP
MC3PHACVDW	-40°C to +105°C	Plastic 28-pin SOIC
MC3PHACVFA	-40°C to +105°C	Plastic 32-pin QFP

See Figure 2 and Figure 3 for the pin connections.

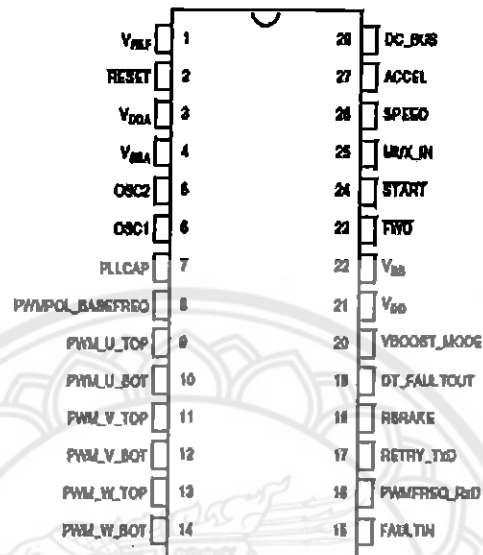


Figure 2. Pin Connections for PDIP and SOIC

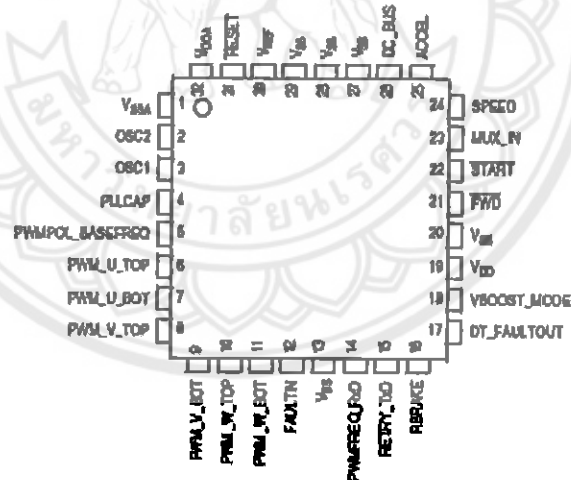


Figure 3. Pin Connections for QFP

Electrical Characteristics

Electrical Characteristics

Maximum Ratings

Characteristic ⁽¹⁾	Symbol	Value	Unit
Supply voltage	V_{DD}	-0.3 to +6.0	V
Input voltage	V_{IN}	-0.3 to $V_{DD} + 0.3$	V
Input high voltage	V_{IH}	$V_{DD} + 0.3$	V
Maximum current per pin excluding V_{DD} and V_{SS}	I	± 25	mA
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +150	°C
Maximum current out of V_{SS}	IMV_{SS}	100	mA
Maximum current into V_{DD}	IMV_{DD}	100	mA

1. Voltages referenced to V_{SS}

This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields; however, it is advised that normal precautions be taken to avoid application of any voltage higher than maximum-rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, it is recommended that V_{IN} and V_{OUT} be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{IN} \text{ or } V_{OUT}) \leq V_{DD}$. Reliability of operation is enhanced if unused inputs are connected to an appropriate logic voltage level (for example, either V_{SS} or V_{DD}).

Functional Operating Range

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Operating temperature range (see Table 1)	T_A	-40°C to +105°C	°C
Operating voltage range	V_{DD}	$5.0 \pm 10\%$	V

Control Timing

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Oscillator frequency ⁽¹⁾	F_{OSC}	$4.00 \pm 1\%$	MHz

1. Follow the crystal/resonator manufacturer's recommendations, as the crystal/resonator parameters determine the external component values required for maximum stability and reliable starting. The load capacitance values used in the oscillator circuit design should include all stray capacitances.

Electrical Characteristics

DC Electrical Characteristics

Characteristic ⁽¹⁾	Symbol	Min	Max	Unit
Output high voltage ($I_{Load} = -2.0$ mA) All I/O pins except RBRAKE	V_{OH}	$V_{DD} - 0.8$	—	V
Output high voltage RBRAKE ($I_{RBRAKE} = -15.0$ mA)	V_{OHRS}	$V_{DD} - 1.0$	—	V
Output low voltage ($I_{Load} = 1.6$ mA) All I/O pins except FAULTOUT and RETRY/TxD	V_{OL}	—	0.4	V
Output low voltage ($I_{Load} = 15$ mA) FAULTOUT and RETRY/TxD	V_{OL1}	—	1.0	V
Input high voltage All ports	V_{HI}	$0.7 \times V_{DD}$	V_{DD}	V
Input low voltage All ports	V_{IL}	V_{SS}	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{DD} supply current	I_{DD}	—	60	mA
I/O ports high-impedance leakage current	I_{IL}	—	± 5	μ A
Input current	I_{in}	—	± 1	μ A
Capacitance Ports (as input or output)	C_{OUT} C_{IN}	— —	12 8	pF
V_{DD} low-voltage inhibit reset	V_{LVR1}	3.80	4.3	V
V_{DD} low-voltage reset/recovery hysteresis	V_{LVH1}	50	150	mV
V_{DD} power-on reset re-arm voltage	V_{POR}	3.85	4.45	V
V_{DD} power-on reset rise time ramp rate	R_{POR}	0.035	—	V/ms
Serial communications interface baud rate	SCI_{BD}	9504	9995	Bits/sec
Voltage Boost ⁽²⁾	V_{Boost}	0	100	%
Dead time range ⁽³⁾	DT_{Range}	0	31.875	μ s
Retry time ⁽⁴⁾	RT_{Time}	0	4.55	Hours
Acceleration rate	AC_{Rate}	0.5	128	Hz/sec
Speed control	$SPEED$	1	128	Hz
PWM Frequency	PWM_{FREQ}	5.291	21.164	kHz
High side power transistor drive pump-up time	T_{Pump}	99	101	ms

1. $V_{DD} = 5.0$ Vdc $\pm 10\%$

2. Limited in standalone mode to 0 to 35%

3. Limited in standalone mode to 0.5 to 8.0 μ s

4. Limited in standalone mode to 0 to ~53 seconds

Pin Descriptions

Pin Descriptions

Table 2 is a pin-by-pin functional description of the MC3PHAC. The pin numbers in the table refer to the 28-pin packages (see Figure 2).

Table 2. MC3PHAC Pin Descriptions (Sheet 1 of 2)

Pin Number	Pin Name	Pin Function
1	V _{REF}	Reference voltage input for the on-chip ADC. For best signal-to-noise performance, this pin should be tied to V _{DDA} (analog).
2	RESET	A logic 0 on this pin forces the MC3PHAC to its initial startup state. All PWM outputs are placed in a high-impedance mode. Reset is a bidirectional pin, allowing a reset of the entire system. It is driven low when an internal reset source is asserted (for example, loss of clock or low V _{DD}).
3	V _{DDA}	Provides power for the analog portions of the MC3PHAC, which include the internal clock generation circuit (PLL) and the ADC.
4	V _{SSA}	Returns power for the analog portions of the MC3PHAC, which include the internal clock generation circuit (PLL) and the ADC.
5	OSC2	Oscillator output used as part of a crystal or ceramic resonator clock circuit. ⁽¹⁾
6	OSC1	Oscillator input used as part of a crystal or ceramic resonator clock circuit. Can also accept a signal from an external canned oscillator. ⁽¹⁾
7	PLLCAP	A capacitor from this pin to ground affects the stability and reaction time of the PLL clock circuit. Smaller values result in faster tracking of the reference frequency. Larger values result in better stability. A value of 0.1 μ F is typical.
8	PWMPOL_BASEFREQ	Input which is sampled at specific moments during initialization to determine the PWM polarity and the base frequency (50 or 60 Hz).
9	PWM_U_TOP	PWM output signal for the top transistor driving motor phase U.
10	PWM_U_BOT	PWM output signal for the bottom transistor driving motor phase U.
11	PWM_V_TOP	PWM output signal for the top transistor driving motor phase V.
12	PWM_V_BOT	PWM output signal for the bottom transistor driving motor phase V.
13	PWM_W_TOP	PWM output signal for the top transistor driving motor phase W.
14	PWM_W_BOT	PWM output signal for the bottom transistor driving motor phase W.
15	FAULTIN	A logic high on this input will immediately disable the PWM outputs. A retry timeout interval will be initiated once this pin returns to a logic low state.
16	PWMFREQ_RxD	In standalone mode, this pin is an output that drives low to indicate the parameter mux input pin is reading an analog voltage to specify the desired PWM frequency. In PC master software mode, this pin is an input which receives UART serial data.

Table 2. MC3PHAC Pin Descriptions (Sheet 2 of 2)

Pin Number	Pin Name	Pin Function
17	RETRY_TxD	In standalone mode, this pin is an output that drives low to indicate the parameter mux input pin is reading an analog voltage to specify the time to wait after a fault before re-enabling the PWM outputs. In PC master software mode, this pin is an output that transmits UART serial data.
18	RBRAKE	Output which is driven to a logic high whenever the voltage on the dc bus input pin exceeds a preset level, indicating a high bus voltage. This signal is intended to connect a resistor across the dc bus capacitor to prevent excess capacitor voltage.
19	DT_FAULTOUT	In standalone mode, this pin is an output which drives low to indicate the parameter mux input pin is reading an analog voltage to specify the dead-time between the on states of the top and bottom PWM signals for a given motor phase. In PC master software mode, this pin is an output which goes low whenever a fault condition occurs.
20	VBOOST_MODE	At startup, this input is sampled to determine whether to enter standalone mode (logic high) or PC master software mode (logic low). In standalone mode, this pin is also used as an output that drives low to indicate the parameter mux input pin is reading an analog voltage to specify the amount of voltage boost to apply to the motor.
21	V _{DD}	+5-volt digital power supply to the MC3PHAC
22	V _{SS}	Digital power supply ground return for the MC3PHAC
23	FWD	Input which is sampled to determine whether the motor should rotate in the forward or reverse direction
24	START	Input which is sampled to determine whether the motor should be running.
25	MUX_IN	In standalone mode, during initialization this pin is an output that is used to determine PWM polarity and base frequency. Otherwise, it is an analog input used to read several voltage levels that specify MC3PHAC operating parameters.
26	SPEED	In standalone mode, during initialization this pin is an output that is used to determine PWM polarity and base frequency. Otherwise, it is an analog input used to read a voltage level corresponding to the desired steady-state speed of the motor.
27	ACCEL	In standalone mode, during initialization this pin is an output that is used to determine PWM polarity and base frequency. Otherwise, it is an analog input used to read a voltage level corresponding to the desired acceleration of the motor.
28	OC_BUS	In standalone mode, during initialization this pin is an output that is used to determine PWM polarity and base frequency. Otherwise, it is an analog input used to read a voltage level proportional to the dc bus voltage.

1. Correct timing of the MC3PHAC is based on a 4.00 MHz crystal or ceramic resonator. Follow the crystal/resonator manufacturer's recommendations, as the crystal/resonator parameters determine the external component values required for maximum stability and reliable starting. The load capacitance values used in the oscillator circuit design should include all stray capacitances.

Introduction

Introduction

The MC3PHAC is a high-performance intelligent controller designed specifically to meet the requirements for low-cost, variable-speed, 3-phase ac motor control systems. The device is adaptable and configurable, based on its environment. Constructed with high-speed CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) technology, the MC3PHAC offers a high degree of performance and ruggedness in the hostile environments often found in motor control systems.

The device consists of:

- 6-output pulse-width modulator (PWM)
- 4-channel analog-to-digital converter (ADC)
- Phase-lock loop (PLL) based system oscillator
- Low-power supply voltage detection circuit
- Serial communications interface (SCI)

The serial communications interface is used in a mode, called PC master software mode, whereby control of the MC3PHAC is from a host or master personal computer executing PC master software or a microcontroller emulating PC master software commands. In either case, control via the internet is feasible.

Included in the MC3PHAC are protective features consisting of dc bus monitoring and a system fault input that will immediately disable the PWM module upon detection of a system fault.

Included motor control features include:

- Open loop volts/Hertz speed control
- Forward or reverse rotation
- Start/stop motion
- System fault input
- Low-speed voltage boost
- Internal power-on reset (POR)

Features

3-Phase Waveform Generation — The MC3PHAC generates six PWM signals which have been modulated with variable voltage and variable frequency information in order to control a 3-phase ac motor. A third harmonic signal has been superimposed on top of the fundamental motor frequency to achieve full bus voltage utilization. This results in a 15 percent increase in maximum output amplitude compared to pure sine wave modulation.

The waveform is updated at a 5.3 kHz rate (except when the PWM frequency is 15.9 kHz), resulting in near continuous waveform quality. At 15.9 kHz, the waveform is updated at 4.0 kHz.

DSP Filtering — A 24-bit IIR digital filter is used on the SPEED input signal in standalone mode, resulting in enhanced speed stability in noisy environments. The sampling period of the filter is 3 ms (except when the PWM frequency is 15.9 kHz) and it mimics the response of a single pole analog filter having a pole at 0.4 Hz. At a PWM frequency of 15.9 kHz, the sampling period is 4 ms and the pole is located at 0.3 Hz.

Features

High Precision Calculations — Up to 32-bit variable resolution is employed for precision control and smooth performance. For example, the motor speed can be controlled with a resolution of 4 mHz.

Smooth Voltage Transitions — When the commanded speed of the motor passes through ± 1 Hz, the voltage is gently applied or removed depending on the direction of the speed change. This eliminates any pops or surges that may occur, especially under conditions of high-voltage boost at low frequencies.

High-Side Bootstrapping — Many motor drive topologies (especially high-voltage drives) use optocouplers to supply the PWM signal to the high-side transistors. Often, the high-side transistor drive circuitry contains a charge pump circuit to create a floating power supply for each high-side transistor that is dependent on low-side PWMs to develop power. When the motor has been off for a period of time, the charge on the high-side power supply capacitor is depleted and must be replenished before proper PWM operation can resume.

To accommodate such topologies, the MC3PHAC will always provide 100 ms of 50 percent PWM drive to only the low-side transistors each time the motor is turned on. Since the top transistors remain off during this time, it has the effect of applying zero volts to the motor, and no motion occurs. After this period, motor waveform modulation begins, with PWM drive also being applied to the high-side transistors.

Fast Velocity Updating — During periods when the motor speed is changing, the rate at which the velocity is updated is critical to smooth operation. If these updates occur too infrequently, a ratcheting effect will be exhibited on the motor, which inhibits smooth torque performance. However, velocity profiling is a very calculation intensive operation to perform, which runs contrary to the previous requirement.

In the MC3PHAC, a velocity pipelining technique is employed which allows linear interpolation of the velocity values, resulting in a new velocity value every 189 μ s (252 μ s for 15.9 kHz PWMs). The net result is ultra smooth velocity transitions, where each velocity step is not perceivable by the motor.

Dynamic Bus Ripple Cancellation — The dc bus voltage is sensed by the MC3PHAC, and any deviations from a predetermined norm (3.5 V on the dc bus input pin) result in corrections to the PWM values to counteract the effect of the bus voltage changes on the motor current. The frequency of this calculation is sufficiently high to permit compensation for line frequency ripple, as well as slower bus voltage changes resulting from regeneration or brown out conditions. See Figure 4.

Selectable Base Frequency — Alternating current (ac) motors are designed to accept rated voltage at either 50 or 60 Hz, depending on what region of the world they were designed to be used. The MC3PHAC can accommodate both types of motors by allowing the voltage profile to reach maximum value at either 50 or 60 Hz. This parameter can be specified at initialization in standalone mode, or it can be changed at any time in PC master software mode.

Selectable PWM Polarity — The polarity of the PWM outputs may be specified such that a logic high on a PWM output can either be the asserted or negated state of the signal. In standalone mode, this parameter is specified at initialization and applies to all six PWM outputs. In PC master software mode, the polarity of the top PWM signals can be specified separately from the polarity of the bottom PWM signals.

This specification can be done at any time, but once it is done, the polarities are locked and cannot be changed until a reset occurs. Also, any commands from PC master software that would have the effect of enabling PWMs are prevented by the MC3PHAC until the polarity has been specified.

Features

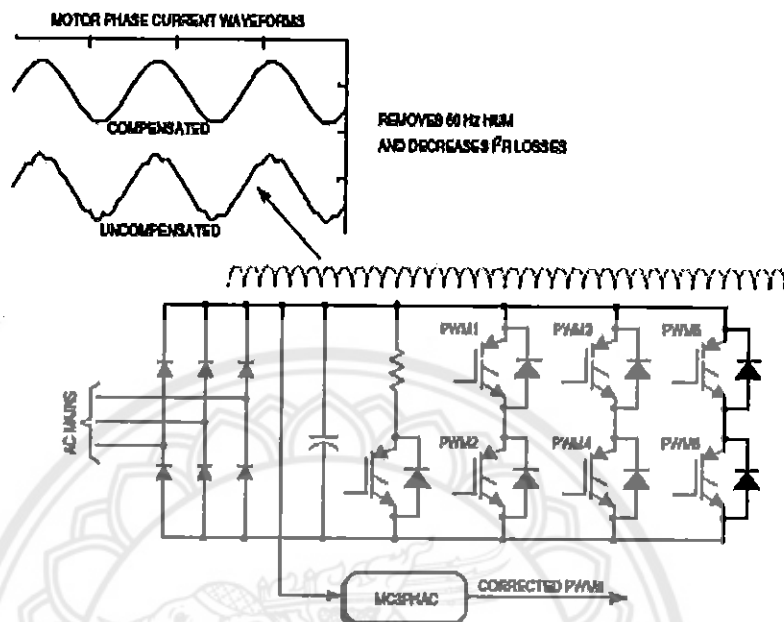


Figure 4. Dynamic Bus Ripple Cancellation

In standalone mode, the base frequency and PWM polarity are specified at the same time during initialization by connecting either pin 25, 26, 27, or 28 exclusively to the PWMPOL_BASEFREQ input. During initialization, pins 25, 26, 27, and 28 are cycled one at a time to determine which one has been connected to the PWMPOL_BASEFREQ input.

Table 3 shows the selected PWM polarity and base frequency as a function of which pin connection is made. Refer to the standalone mode schematic, Figure 8. Only one of these jumpers (JP1–JP4) can be connected at any one time.

NOTE

It is not necessary to break this connection once the initialization phase has been completed. The MC3PHAC will function properly while this connection is in place.

Table 3. PWM Polarity and Base Frequency Specification in Standalone Mode

Pin Connected to PWMPOL_BASEFREQ Pin	PWM Polarity	Base Frequency
MUX_IN (JP1)	Logic low = on	60 Hz
SPEED (JP2)	Logic high = on	60 Hz
ACCEL (JP3)	Logic low = on	60 Hz
DC_BUS (JP4)	Logic high = on	60 Hz

Features

Selectable PWM Frequency — The MC3PHAC accommodates four discrete PWM frequencies and can be changed dynamically while the motor is running. This resistor can be a potentiometer or a fixed resistor in the range shown in Table 4. In standalone mode, the PWM frequency is specified by applying a voltage to the MUX_IN pin while the PWMFREQ_RxD pin is being driven low. Table 4 shows the required voltage levels on the MUX_IN pin and the associated PWM frequency for each voltage range.

NOTE

The PWM frequencies are based on a 4.00 MHz frequency applied to the oscillator input.

Table 4. MUX_IN Resistance Ranges and Corresponding PWM Frequencies

Voltage Input	PWM Frequency
0 to 1 V	6.201 kHz
1.6 to 2.25 V	10.682 kHz
2.75 to 3.5 V	15.873 kHz
4 to 5 V	21.164 kHz

Selectable PWM Dead Time — Besides being able to specify the PWM frequency, the blanking time interval between the on states of the complementary PWM pairs can also be specified. Refer to the graph in Figure 9 for the resistance value versus dead time. Figure 9 assumes a $6.8\text{ k}\Omega \pm 5\%$ pullup resistor. In standalone mode, this is done by

supplying a voltage to the MUX_IN pin while the DT_FAULTOUT pin is being driven low. In this way, dead time can be specified with a scaling factor of $2.075\text{ }\mu\text{s}$ per volt, with a minimum value of $0.5\text{ }\mu\text{s}$. In PC master software mode, this value can be selected to be anywhere between 0 and 32 μs .

In both standalone and PC master software modes, the dead time value can be written only once. Further updates of this parameter are locked out until a reset condition occurs.

Speed Control — The synchronous motor frequency can be specified in real time to be any value from 1 Hz to 128 Hz by the voltage applied to the SPEED pin. The scaling factor is 25.6 Hz per volt. This parameter can also be controlled directly from PC master software in real time.

The SPEED pin is processed by a 24-bit digital filter to enhance the speed stability in noisy environments. This filter is only activated in standalone mode.

Acceleration Control — Motor acceleration can be specified in real time to be in the range from 0.5 Hz/second, ranging to 128 Hz/second, by the voltage applied to the ACCEL pin. The scaling factor is 25.6 Hz/second per volt. This parameter can also be controlled directly from PC master software in real time.

Voltage Profile Generation — The MC3PHAC controls the motor voltage in proportion to the specified frequency, as indicated in Figure 5.

An ac motor is designed to draw a specified amount of magnetizing current when supplied with rated voltage at the base frequency. As the frequency decreases, assuming no stator losses, the voltage must decrease in exact proportion to maintain the required magnetizing current. In reality, as the frequency decreases, the voltage drop in the series stator resistance increases in proportion to the voltage across the magnetizing inductance. This has the effect of further reducing the voltage across the magnetizing inductor, and consequently, the magnetizing current. A schematic representation of this effect is

Features

illustrated in Figure 6. To compensate for this voltage loss, the voltage profile is boosted over the normal voltage curve in Figure 5, so that the magnetizing current remains constant over the speed range.

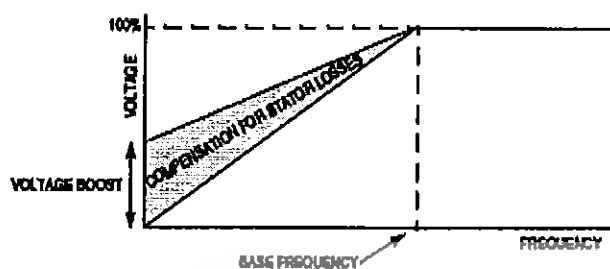


Figure 5. Voltage Profiling, Including Voltage Boost

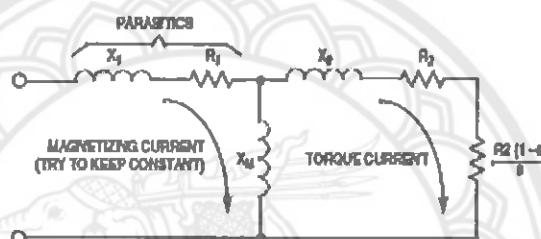


Figure 6. AC Motor Single Phase Model Showing Parasitic Stator Impedances

The MC3PHAC allows the voltage boost to be specified as a percentage of full voltage at 0 Hz, as shown in Figure 5. In standalone mode, voltage boost is specified during the initialization phase by supplying a voltage to the MUX_IN pin while the VBOOST_MODE pin is being driven low. Refer to the graph in Figure 11 for the resistance value versus voltage boost. Figure 11 assumes a 6.8 k Ω pullup resistor. In this way, voltage boost can be specified from 0 to 40 percent, with a scaling factor of 8 percent per volt. In PC master software mode, the voltage boost can be specified from 0 to 100 percent and can be changed at anytime.

By using the voltage boost value, and the specified base frequency, the MC3PHAC has all the information required to generate a voltage profile automatically based on the generated waveform frequency. An additional feature exists in PC master software mode whereby this voltage value can be overridden and controlled in real time. Specifying a voltage lower than the normal volts-per-hertz profile permits a softer torque response in certain ergonomic situations. It also allows for load power factor control and higher operating efficiencies with high inertia loads or other loads where instantaneous changes in torque demand are not permitted. Details of this feature are discussed in the PC Master Software Operation with the MC3PHAC.

PLL Clock Generation — The OSC1 pin signal is used as a reference clock for an internal PLL clocking circuit, which is used to drive the internal clocks of the MC3PHAC. This provides excellent protection against noise spikes that may occur on the OSC1 pin. In a clocking circuit that does not incorporate a PLL, a noise spike on the clock input can create a clock edge, which violates the setup times of the clocking

Features

logic, and can cause the device to malfunction. The same noise spike applied to the input of a PLL clock circuit is perceived by the PLL as a change in its reference frequency, and the PLL output frequency begins to change in an attempt to lock on to the new frequency. However, before any appreciable change can occur, the spike is gone, and the PLL settles back into the true reference frequency.

Fault Protection — The MC3PHAC supports an elaborate range of fault protection and prevention features. If a fault does occur, the MC3PHAC immediately disables the PWMs and waits until the fault condition is cleared before starting a timer to re-enable the PWMs. Refer to the graph in Figure 10 for the resistance value versus retry time. Figure 10 assumes a 6.8 k Ω pullup resistor. In standalone mode, this timeout interval is specified during the initialization phase by supplying a voltage to the MUX_IN pin while the RETRY_TxD pin is being driven low. In this way, the retry time can be specified from 1 to 60 seconds, with a scaling factor of 12 seconds per volt. In PC master software mode, the retry time can be specified from 0.25 second to over 4.5 hours and can be changed at any time.

The fault protection and prevention features are:

- **External Fault Monitoring** — The FAULTIN pin accepts a digital signal that indicates a fault has been detected via external monitoring circuitry. A high level on this input results in the PWMs being immediately disabled. Typical fault conditions might be a dc bus over voltage, bus over current, or over temperature. Once this input returns to a logic low level, the fault retry timer begins running, and PWMs are re-enabled after the programmed timeout value is reached.
- **Lost Clock Protection** — If the signal on the OSC1 pin is lost altogether, the MC3PHAC will immediately disable the PWM outputs to protect the motor and power electronics. This is a special fault condition in that it will also cause the MC3PHAC to be reset. Lost clock detection is an important safety consideration, as many safety regulatory agencies are now requiring a dead crystal test be performed as part of the certification process.
- **Low V_{DD} Protection** — Whenever V_{DD} falls below V_{LVR1}, an on-board power supply monitor will reset the MC3PHAC. This allows the MC3PHAC to operate properly with 5 volt power supplies of either 5 or 10 percent tolerance.
- **Bus Voltage Integrity Monitoring** — The DC_BUS pin is monitored at a 5.3 kHz frequency (4.0 kHz when the PWM frequency is set to 15.9 kHz), and any voltage reading outside of an acceptable window constitutes a fault condition. In standalone mode, the window thresholds are fixed at 4.47 volts (128 percent of nominal), and 1.75 volts (50 percent of nominal), where nominal is defined to be 3.5 volts. In PC master software mode, both top and bottom window thresholds can be set independently to any value between 0 volts (0 percent of nominal), and greater than 5 volts (143 percent of nominal), and can be changed at any time. Once the DC_BUS signal level returns to a value within the acceptable window, the fault retry timer begins running, and PWMs are re-enabled after the programmed timeout value is reached.

During power-up, it is possible that V_{DD} could reach operating voltage before the dc bus capacitor charges up to its nominal value. When the dc bus integrity is checked, an under voltage would be detected and treated as a fault, with its associated timeout period. To prevent this, the MC3PHAC monitors the dc bus voltage during power-up in standalone mode, and waits until it is higher than the under voltage threshold before continuing. During this time, all MC3PHAC functions are suspended. Once this threshold is reached, the MC3PHAC will continue normally, with any further under voltage conditions treated as a fault.

If dc bus voltage monitoring is not desired, a voltage of 3.5 volts $\pm$ 5 percent should be supplied to the DC_BUS pin through an impedance of between 4.7 k Ω and 15 k Ω .

Features

- **Regeneration Control** — Regeneration is a process by which stored mechanical energy in the motor and load is transferred back into the drive electronics, usually as a result of an aggressive deceleration operation. In special cases where this process occurs frequently (for example, elevator motor control systems), it is economical to incorporate special features in the motor drive to allow this energy to be supplied back to the ac mains. However, for most low cost ac drives, this energy is stored in the dc bus capacitor by increasing its voltage. If this process is left unchecked, the dc bus voltage can rise to dangerous levels, which can destroy the bus capacitor or the transistors in the power inverter.

The MC3PHAC incorporates two techniques to deal with regeneration before it becomes a problem:

- **Resistive Braking** — The DC_BUS pin is monitored at a 5.3 kHz frequency (4.0 kHz when the PWM frequency is set to 15.9 kHz), and when the voltage reaches a certain threshold, the RBRAKE pin is driven high. This signal can be used to control a resistive brake placed across the dc bus capacitor, such that mechanical energy from the motor will be dissipated as heat in the resistor versus being stored as voltage on the capacitor. In standalone mode, the DC_BUS threshold required to assert the RBRAKE signal is fixed at 3.85 volts (110 percent of nominal) where nominal is defined to be 3.5 volts. In PC master software mode, this threshold can be set to any value between 0 volts (0 percent of nominal) and greater than 5 volts (143 percent of nominal) and can be changed at any time.
- **Automatic Deceleration Control** — When decelerating the motor, the MC3PHAC attempts to use the specified acceleration value for deceleration as well. If the voltage on the DC_BUS pin reaches a certain threshold, the MC3PHAC begins to moderate the deceleration as a function of this voltage, as shown in Figure 7. The voltage range on the DC_BUS pin from when the deceleration begins to decrease, to when it reaches 0, is 0.62 volts. In standalone mode, the DC_BUS voltage where deceleration begins to decrease is fixed at 3.85 volts (110 percent of nominal) where nominal is defined to be 3.5 volts. In PC master software mode, this threshold can be set to any value between 0 volts (0 percent of nominal) and greater than 5 volts (143 percent of nominal) and can be changed at any time.

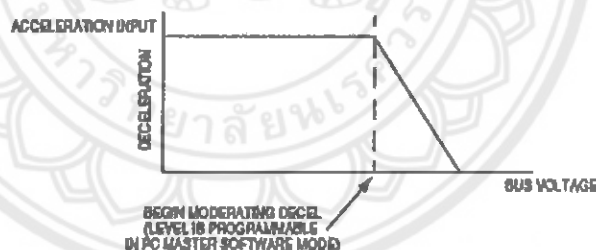


Figure 7. Deceleration as a Function of Bus Voltage

Digital Power Supply Bypassing

V_{DD} and V_{SS} are the digital power supply and ground pins for the MC3PHAC.

Fast signal transitions connected internally on these pins place high, short-duration current demands on the power supply. To prevent noise problems, take special care to provide power supply bypassing at the V_{DD} and V_{SS} pins. Place the bypass capacitors as close as possible to the MC3PHAC. Use a high-frequency-response ceramic capacitor, such as a 0.1 μF , paralleled with a bulk capacitor in the range of 1 μF to 10 μF for bypassing the digital power supply.

Analog Power Supply Bypassing

V_{DDA} and V_{SSA} are the power supply pins for the analog portion of the clock generator and analog-to-digital converter (ADC). On the schematics in this document, analog ground is labeled with an A and other grounds are digital grounds. Analog power is labeled as +5 A. It is good practice to isolate the analog and digital +5 volt power supplies by using a small inductor or a low value resistor less than 5 ohms in series with the digital power supply, to create the +5 A supply. ADC V_{REF} is the power supply pin used for setting the ADC's voltage reference.

Decoupling of these pins should be per the digital power supply bypassing, described previously. ADC V_{REF} (pin 1) and V_{DDA} (pin 3) shall be connected together and connected to the same potential as V_{DD} .

Grounding Considerations

Printed circuit board layout is an important design consideration. In particular, ground planes and how grounds are tied together influence noise immunity. To maximize noise immunity, it is important to get a good ground plane under the MC3PHAC. It is also important to separate analog and digital grounds. That is why, shown on the schematics, there are two ground designations, analog ground is marked with an A and other grounds are digital grounds. GND is the digital ground plane and power supply return. GNDA is the analog circuit ground. They are both the same reference voltage, but are routed separately, and tie together at only one point.

Power-Up/Power-Down

When power is applied or removed, it is important that the inverter's top and bottom output transistors in the same phase are not turned on simultaneously. Since logic states are not always defined during power-up, it is important to ensure that all power transistors remain off when the controller's supply voltage is below its normal operating level. The MC3PHAC's PWM module outputs make this easy by switching to a high impedance configuration whenever the 5-volt supply is below its specified minimum.

The user should use pullup or pulldown resistors on the output of the MC3PHAC's PWM outputs to ensure during power-up and power-down, that the inverter's drive inputs are at a known, turned off, state.

Operation

Operation

The MC3PHAC motor controller will operate in two modes. The first is standalone operation, whereby the MC3PHAC can be used without any intervention from an external personal computer. In standalone mode, the MC3PHAC is initialized by passive devices connected to the MC3PHAC and input to the system at power-up/reset time. In standalone mode, some parameters continue to be input to the system as it operates. Speed, PWM frequency, bus voltage, and acceleration parameters are input to the system on a real-time basis.

The second mode of operation is called PC master software mode. That operational mode requires the use of a personal computer and PC master software executing on the personal computer, communicating with the MC3PHAC, or a microcontroller emulating PC master software commands. All command and setup information is input to the MC3PHAC via the PC host.

Standalone Operation

If the VBOOST_MODE pin is high when the MC3PHAC is powered up, or after a reset, the MC3PHAC enters standalone mode. In this mode of operation, the functionality of many of the MC3PHAC pins change so that the device can control a motor without requiring setup information from an external master. When operated in standalone mode, the MC3PHAC will drive certain pins corresponding to parameters which must be specified, while simultaneously monitoring the response on other pins.

In many cases, the parameter to be specified is represented as an analog voltage presented to the MUX_IN pin, while certain other pins are driven low. In so doing, the MC3PHAC can accommodate an external analog mux which will switch various signals on the MUX_IN pin when the signal select line goes low. All signals must be in a range between 0 V and VREF. As an economical alternative, an external passive network can be connected to each of the parameter select output pins and the MUX_IN pin, as shown in Figure 8.

The Thevenin equivalent impedance of this passive network as seen by the MUX_IN pin is very important and should be in the range of 6 k Ω to 10 k Ω . If the resistance is too high, leakage current from the input/output (I/O) pins will cause an offset voltage that will affect the accuracy of the reading. If the resistance is too low, the parameter select pins will not be able to sink the required current for an accurate reading. Using a pullup resistor value of 6.8 k Ω (as indicated in Figure 8), the resulting value for each parameter as a function of the corresponding pulldown resistor value is shown in Figure 9, Figure 10, Figure 11, and Table 4.

The START input pin is debounced internally and a switch can be directly accommodated on this pin. The input is level sensitive, but a logic 1 level must exist on the pin before a logic 0 level will be processed as a start signal. This will prevent an accidental motor startup in the event of the MC3PHAC being powered up, where the switch was left in the start position.

The $\overline{\text{FWD}}$ input pin is debounced internally and can directly accommodate a switch connection. The input is also level sensitive.

Figure 8 shows the jumper arrangement connected to the PWMPOL_BASEFREQ input pin. For proper operation, one and only one jumper connection can be made at any given time. Table 3 shows the polarity and base frequency selections as a function of the jumper connection.

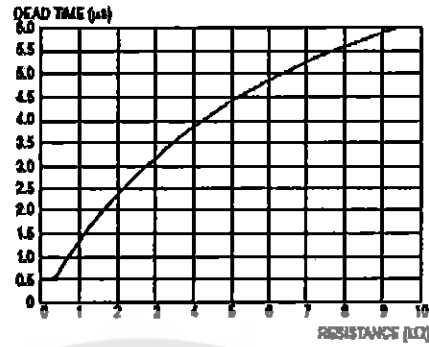
Operation


Figure 9. Dead Time as a Function of the RDEADTIME Resistor

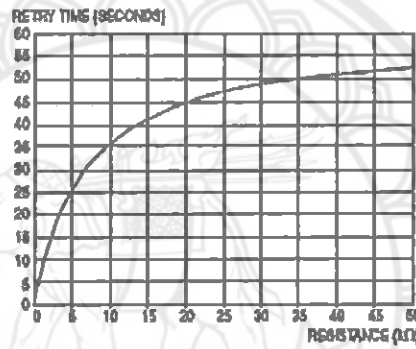


Figure 10. Fault Retry Time as a Function of the RRETRY Resistor



Figure 11. Voltage Boost as a Function of the RBOOST Resistor

Standalone Application Example

Figure 12 shows an application example of the MC3PHAC, configured in standalone mode. Resistor values and jumpers have been selected to provide the following performance:

1. Base frequency of 60 Hz and positive PWM polarity (from Table 3)
2. PWM frequency resistor 3.9 k Ω , which implies 10.582 kHz from Table 4). $(5V/(3.9k + 6.8k)) \cdot 3.9k = 1.82$ volts
3. Dead-time resistor = 5.1 k Ω , which implies 4.5 μ s (from Figure 9)
4. Fault retry time resistor = 8.2 k Ω , which implies 32.8 seconds (from Figure 10).
5. Voltage boost resistor = 12 k Ω , which implies 25.6 percent (from Figure 11).
6. The wiper of the acceleration potentiometer is set at 2.5 V = 64 Hz/second acceleration rate (from the Acceleration Control description on page 11.) The potentiometer, in this case, could have been a resistor divider. If a resistor divider is used in place of the acceleration potentiometer, keep the total resistance of the two resistors less than 10 k Ω . Always use 4.7k Ω in series with the center of the acceleration voltage divider resistors, connected to the ACCEL (pin 27) as shown in the application example, Figure 12.
7. Crystal/resonator capacitor values are typical values from the manufacturer. Refer to the manufacturers data for actual values.

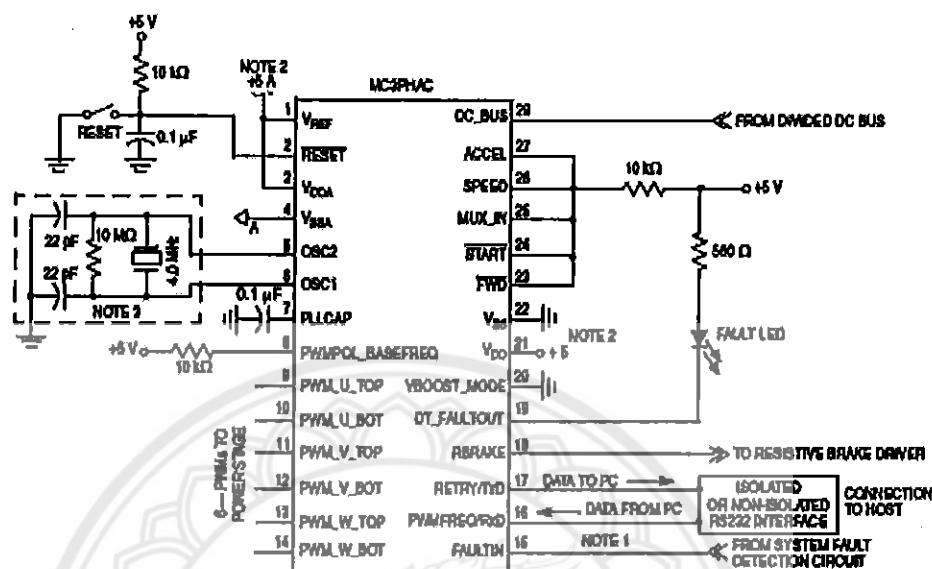
PC Master Software Operation

Introduction to PC Master Host Software

The MC3PHAC is compatible with Motorola's PC master host software serial interface protocol. Communication occurs over an on-chip UART, on the MC3PHAC at 9600 baud to an external master device, which may be a microcontroller that also has an integrated UART or a personal computer via a COM port. With PC master software, an external controller can monitor and control all aspects of the MC3PHAC operation.

When the MC3PHAC is placed in PC master software mode, all control of the system is provided through the integrated UART, resident on the MC3PHAC. Inputs such as START, FWD, SPEED, ACCEL, MUX_IN, and PWMPOL_BASEFREQ have no controlling influence over operation of the system. Even though the SPEED, START, and FWD inputs are disabled while the system is in PC master software mode, through PC master software, it is possible to monitor the state of those inputs.

The most popular master implementation is a PC, where a graphical user interface (GUI) has been layered on top of the PC master software command protocol, complete with a graphical data display, and an ActiveX interface. Figure 13 shows the MC3PHAC configured in PC master software mode. It is beyond the scope of this document to describe the PC master software protocol or its implementation on a personal computer. For further information on these topics, refer to other Motorola documents relating to the PC master software protocol and availability of PC master host software.



Notes:

1. If no external fault circuit is provided, connect to V_{SS} .
2. Use bypass capacitors placed close to the MC3PHAC.
3. Consult crystal/resonator manufacturer for component values.

Figure 13. MC3PHAC Configuration for Using a PC as a Master

PC Master Software Operation with the MC3PHAC

When power is first applied to the MC3PHAC, or if a logic low level is applied to the **RESET** pin, the MC3PHAC enters PC master software mode if the **VBOOST_MODE** pin is low during the initialization phase. The MC3PHAC recognizes a subset of the PC master software command set, which is listed in Table 5.

Table 5. Recognized PC Host Software Commands

Command	Description
GETINFOBRIEF	MC3PHAC responds with brief summary of hardware setup and link configuration information
READVAR8	MC3PHAC reads an 8-bit variable at a specified address and responds with its value
READVAR16	MC3PHAC reads a 16-bit variable at a specified address and responds with its value
READVAR32	MC3PHAC reads a 32-bit variable at a specified address and responds with its value
WRITEVAR8	MC3PHAC writes an 8-bit variable at a specified address
WRITEVAR16	MC3PHAC writes a 16-bit variable at a specified address

With the **READVARx** commands, the addresses are checked for validity, and the command is executed only if the address is within proper limits. In general, a read command with an address value below \$0060 or above \$EE03 will not execute properly, but instead will return an invalid operation response. An

Operation

exception to this rule is that PC master software allows reading locations \$0001, \$0036 and \$FE01, which are PORTB data register, Dead Time register and SIM Reset Status registers respectively. The addresses for the WRITEVARx commands are checked for validity, and the data field is also limited to a valid range for each variable. See Table 6 for a list of valid data values and valid write addresses.

User interface variables and their associated PC master software addresses within the MC3PHAC are listed in Table 6.

Table 6. User Interface Variables for Use with PC Master Software

Name	Address	Read/Write	Size (Bytes)	Description	Valid Data
Commanded direction	\$1000	W	1	Determines whether the motor should go forward, reverse, or stop	Forward — \$10 Reverse — \$11 Stop — \$20
Command reset	\$1000	W	1	Forces the MC3PHAC to perform an immediate reset	\$30
Commanded PWM frequency ⁽¹⁾	\$1000	W	1	Specifies the frequency of the MC3PHAC PWM frequency	5.3 kHz — \$41 10.6 kHz — \$42 15.9 kHz — \$44 21.1 kHz — \$48
Measured PWM period	\$00A8	R	2	The modulus value supplied to the PWM generator used by the MC3PHAC — value is multiplied by 250 ns to obtain PWM period	\$00BD–\$05E8
Commanded PWM polarity ^{(2), (3), (4)}	\$1000	W	1	Specifies the polarity of the MC3PHAC PWM outputs. This is a write once parameter after reset. Example: \$50 = Bottom and top PWM outputs are positive polarity.	B + T + \$50 B + T – \$54 B – T + \$58 B – T – \$5C
Dead time ^{(2), (3), (4)}	\$0036	R/W	1	Specifies the dead time used by the PWM generator. Dead time = Value * 125 ns. This is a write-once parameter.	\$00–\$FF
Base frequency ⁽³⁾	\$1000	W	1	Specifies the motor frequency at which full voltage is applied	60 Hz — \$60 50 Hz — \$61
Acceleration ⁽³⁾	\$0060	R/W	2	Acceleration in Hz/sec (7.9 format) ⁽⁸⁾	\$0000–\$7FFF
Commanded motor frequency ⁽³⁾	\$0082	R/W	2	Commanded frequency in Hz. (8.8 format) ⁽⁹⁾	\$0000–\$7FFF
Actual frequency	\$0085	R	2	Actual frequency in Hz. (8.8 format) ⁽⁹⁾	\$0000–\$7FFF
Status ⁽⁷⁾	\$00C8	R	1	Status byte	\$00–\$FF
Voltage boost	\$008C	R/W	1	0 Hz voltage. %Voltage boost = Value/\$FF	\$00–\$FF
Modulation Index	\$0091	R	1	Voltage level (motor waveform amplitude percent assuming no bus ripple compensation) Modulation Index = value/\$FF	\$00–\$FF

Table 6. User Interface Variables for Use with PC Master Software (Continued)

Name	Address	Read/Write	Size (Bytes)	Description	Valid Data
Maximum voltage	\$0075	R/W	1	Maximum allowable modulation index value %Maximum voltage = value/\$FF	\$00-\$FF
V _{BUS} voltage ⁽⁵⁾ , ⁽¹⁰⁾	\$0079	R	2	DC bus voltage reading	\$000-\$3FF
Fault timeout	\$006A	R/W	2	Specifies the delay time after a fault condition before re-enabling the motor. Fault timeout = value * 0.262 sec	\$0000-\$FFFF
Fault timer	\$006D	R	2	Real-time display of the fault timer Elapsed fault time = value * 0.262 sec	\$0000-\$FFFF
V _{BUS} decel value ⁽¹⁰⁾	\$00C9	R/W	2	V _{BUS} readings above this value result in reduced deceleration.	\$0000-\$03FF
V _{BUS} RBRAKE value ⁽¹⁰⁾	\$0064	R/W	2	V _{BUS} readings above this value result in the RBRAKE pin being asserted.	\$0000-\$03FF
V _{BUS} brownout value ⁽¹⁰⁾	\$0066	R/W	2	V _{BUS} readings below this value result in an under voltage fault.	\$0000-\$03FF
V _{BUS} over voltage value ⁽¹⁰⁾	\$0068	R/W	2	V _{BUS} readings above this value result in an over voltage fault.	\$0000-\$03FF
Speed in ADC value ⁽⁶⁾	\$0095	R	2	Left justified 10-bit ADC reading of the SPEED input pin.	\$0000-\$FFC0
Setup ⁽⁷⁾	\$00AE	R	1	Bit field indicating which setup parameters have been initialized before motion is permitted	\$E0-\$FF
Switch in ⁽⁷⁾	\$0001	R	1	Bit field indicating the current state of the start/stop and forward/reverse switches	\$00-\$FF
Reset status ⁽⁶⁾ , ⁽⁷⁾	\$FE01	R	1	Indicates cause of the last reset	\$00-\$FF
Version	\$EE00	R	4	MC3PHAC version	ASCII field

1. The commanded PWM frequency cannot be written until the PWM outputs exit the high-impedance state. The default PWM frequency is 15.873 kHz.
2. The PWM output pins remain in a high-impedance state until this parameter is specified.
3. This parameter must be specified before motor motion can be initiated by the MC3PHAC.
4. This is a write-once parameter. The first write to this address will execute normally. Further attempts at writing this parameter will result in an illegal operation response from the MC3PHAC.
5. The value of this parameter is not valid until the PWM outputs exit the high-impedance state.
6. The data in this field is only valid for one read. Further reads will return a value of \$00.
7. See register bit descriptions following this table.
8. Acceleration is an unsigned value with the upper seven bits range of \$00 to \$7F = acceleration value of 0 to 127 Hertz/second. The lower nine bits constitute the fractional portion of the acceleration parameter. Its range is \$000 to \$1FF which equals 0 to -1. Therefore, the range of acceleration is 0 to 127.99 Hertz/second.
9. Commanded motor frequency and actual frequency are signed values with the upper byte range of \$00 to \$7F = frequency of 0 to 127 Hz. The lower byte is the fractional portion of the frequency. Its range is \$00 to \$FF which equals 0 to -1.
10. V_{BUS} is the voltage value applied to the DC_BUS analog input pin. The analog-to-digital converter is a 10-bit converter with a 5 volt full scale input. The value is equal to the voltage applied to the DC_BUS input pin/V_{REF} * \$03FF.

Operation

Each bit variable listed in Table 6 is defined in Figure 14, Figure 15, Figure 16, and Figure 17.

Address: \$00C8

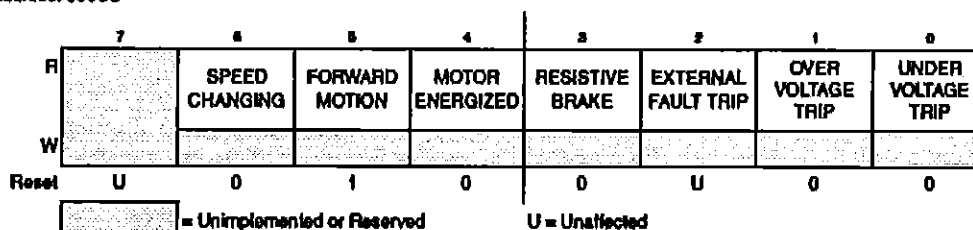


Figure 14. Status Register

Table 7. Status Register Field Descriptions

Field	Description
6 SPEED CHANGING	SPEED CHANGING Bit — This read-only bit indicates if the motor is at a steady speed or if it is accelerating or decelerating. 0 Motor is at a steady speed. 1 Motor is accelerating or decelerating.
5 FORWARD MOTION	FORWARD MOTION Bit — This read-only bit indicates the direction of the motor. It also indicates if the motor is stopped. 0 Motor is rotating in the reverse direction. 1 Motor is rotating in the forward direction. If this bit is a logic 1 and the actual frequency (location \$0085 and \$0086) is 0, the motor is stopped.
4 MOTOR ENERGIZED	MOTOR ENERGIZED Bit — This read-only bit indicates PWM output activity. 0 The PWM outputs are inactive or the bottom PWM outputs are in the pre-charge cycle. 1 All PWM outputs are active.
3 RESISTIVE BRAKE	RESISTIVE BREAK Bit — This read-only bit indicates the state of the RBRAKE output pin. 0 The RBRAKE output pin is inactive and no braking is in progress. 1 The RBRAKE output pin is active. Braking is in progress.
2 EXTERNAL FAULT TRIP	EXTERNAL FAULT TRIP Bit — This read-only bit indicates a FAULT has occurred resulting from a logic 1 applied to the FAULTIN pin. 0 A logic 0 is applied to the FAULTIN pin and no FAULT timeout is in progress. 1 A logic 1 was applied to the FAULTIN pin and a FAULT timeout is still in progress.
1 OVER VOLTAGE TRIP	OVER-VOLTAGE TRIP Bit — This read-only bit indicates if the voltage at the DC_BUS pin exceeds the preset value of V_{BUS} over voltage located at address \$0068 and \$0069. 0 The voltage applied to the DC_BUS pin is less than the preset value of V_{BUS} over voltage and a FAULT timeout is not in progress. 1 The voltage applied to the DC_BUS pin has exceeded the preset value of V_{BUS} over voltage and a FAULT timeout is still in progress.
0 UNDER VOLTAGE TRIP	UNDER-VOLTAGE Bit — This read-only bit indicates if the voltage at the DC_BUS pin is less than the present value of V_{BUS} brownout located at address \$0066 and \$0067. 0 The voltage applied to the DC-BUS pin is greater than the preset value of V_{BUS} under voltage and a FAULT timeout is not in progress. 1 The voltage applied to the DC_BUS pin is less than the present value of V_{BUS} under voltage and a FAULT timeout is still in progress.

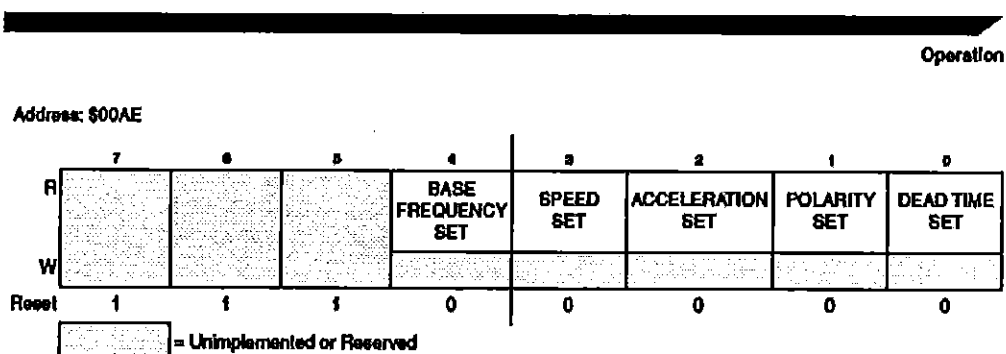


Figure 15. Setup Register

Table 8. Setup Register Field Descriptions

Field	Description
4 BASE FREQUENCY SET	BASE FREQUENCY SET Bit — This read-only bit indicates if the base frequency parameter has been set. 0 Base frequency parameter has not been set. 1 Base frequency parameter has been set.
3 SPEED SET	SPEED SET Bit — This read-only bit indicates if the speed parameter has been set. 0 Speed parameter has not been set. 1 Speed parameter has been set.
2 ACCELE- RATION SET	ACCELERATION SET Bit — This read-only bit indicates if the acceleration rate parameter has been set. 0 Acceleration rate parameter has not been set. 1 Acceleration rate parameter has been set.
1 POLARITY SET	POLARITY SET Bit — This read-only bit indicates if the PWM polarity parameters has been set. 0 PWM polarity parameters has not been set. 1 PWM polarity parameters has been set.
0 DEAD TIME SET	DEAD TIME SET Bit — This read-only bit indicates if the dead time parameter has been set. 0 Dead time parameter has not been set. 1 Dead time parameter has been set.

Operation

Address: \$0001

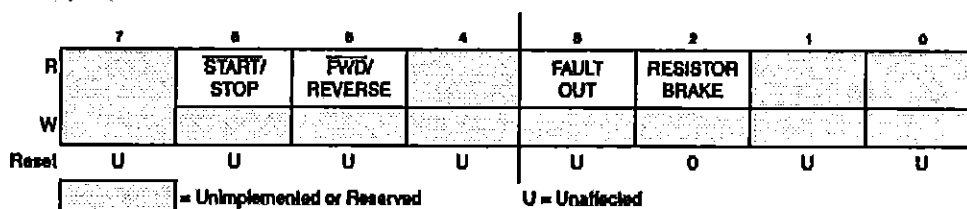


Figure 16. Switch In Register

Table 9. Switch In Register Field Descriptions

Field	Description
6 START/ STOP	START/STOP BIT — This read-only bit indicates the state of the START input pin. 0 The START input pin is at a logic 0. 1 The START input pin is at a logic 1.
5 FWD/ REVERSE	FWD/REVERSE BIT — This read-only bit indicates the state of the FWD input pin. 0 The FWD input pin is at a logic 0. 1 The FWD input pin is at a logic 1.
3 FAULT OUT	FAULT OUT BIT — This read-only bit indicates the state of the DT_FAULTOUT output pin. 0 The DT_FAULTOUT output pin is indicating a fault condition. 1 The DT_FAULTOUT output pin is indicating no fault condition.
2 RESISTOR BRAKE	RESISTIVE BRAKE Bit — This read-only bit indicates the state of resistive brake pin (RBRAKE). 0 The RBRAKE output pin is inactive and no braking is in progress. 1 The RBRAKE output pin is active. Braking is in progress.

Operation

Address: \$FE01

	7	6	5	4	3	2	1	0
R	POWER UP	RESET PIN	MC3PHAC FUNCTIONAL FAULT	MC3PHAC FUNCTIONAL FAULT	PC MASTER SOFTWARE RESET COMMAND		LOW V _{DD} VOLTAGE	
W								
Reset	1	0	0	0	0	0	0	0

 = Unimplemented or Reserved

Figure 17. Reset Status Register

Table 10. Reset Status Register Field Descriptions

Field	Description
7 POWER UP	POWER UP Bit — This read-only bit indicates the last system reset was caused by the power-up reset detection circuit. 0 Power-up reset was not the source of the reset or a read of the reset status register after the first read. 1 The last reset was caused by an initial power-up of the MC3PHAC.
6 RESET PIN	RESET PIN Bit — This read-only bit indicates the last system reset was caused from the RESET input pin. 0 The RESET pin was not the source of the reset or a read of the reset status register after the first read. 1 Last reset was caused by an external reset applied to the RESET input pin.
5-4 MC3PHAC FUNCTIONAL FAULT BITS	MC3PHAC FUNCTIONAL FAULT Bits — This read-only bit indicates if the last system reset was the result of an internal system error. 0 The FUNCTIONAL FAULT was not the source of the reset or a read of the reset status register after the first read. 1 MC3PHAC internal system error
PC MASTER SOFTWARE RESET COMMAND	PC MASTER SOFTWARE RESET COMMAND Bit — This read-only bit indicates the last system reset was the result of a PC master software reset command. 0 The PC master software RESET COMMAND was not the source of the reset or a read of the reset status register after the first read. 1 The MC3PHAC was reset by the PC master software command reset as the result of a write of \$30 to location \$1000
1 LOW V _{DD} VOLTAGE	LOW V_{DD} VOLTAGE Bit — This read-only bit indicates if the last reset was the result of low V _{DD} applied to the MC3PHAC. 0 The LOW V _{DD} was not the source of the reset or a read of the reset status register after the first read. 1 The last reset was caused by the low power supply detection circuit.

Operation

Command State Machine

When using the PC master software mode of operation, the command state machine governs behavior of the device depending upon its current state, system parameters, any new commands received via the communications link, and the prevailing conditions of the system. The command state diagram is in Figure 18. It illustrates the sequence of commands which are necessary to bring the device from the reset condition to running the motor in a steady state and depicts the permissible state transitions. The device will remain within a given state unless the conditions shown for a transition are met.

Some commands only cause a temporary state change to occur. While they are being executed, the state machine will automatically return to the state which existed prior to the command being received. For example, the motor speed may be changed from within any state by using the WRITEVAR16 command to write to the "Speed In" variable. This will cause the "Set Speed" state to be momentarily entered, the "Speed In" variable will be updated and then the original state will be re-entered. This allows the motor speed, acceleration or base frequency to be modified whether the motor is already accelerating, decelerating, or in a steady state.

Each state is described here in more detail.

- **Reset** — This state is entered when a device power-on reset (POR), pin reset, loss of crystal, internally detected error, or reset command occurs from within any state. In this state, the device is initialized and the PWM outputs are configured to high impedance. This state is then automatically exited.
- **PWMHighZ** — This state is entered from the reset state. This state is also re-entered after one and only one of the PWM dead-time or polarity parameters have been initialized. In this state the PWM outputs are configured to a high-impedance state as the device waits for both the PWM dead time and polarity to be initialized.
- **SetDeadTime (write once)** — This state is entered from the PWMHighZ state the first time that a write to the PWM dead-time variable occurs. In this state, the PWM dead time is initialized and the state is then automatically exited. This state cannot be re-entered, and hence the dead time cannot be modified, unless the reset state is first re-entered.
- **SetPolarity (write once)** — This state is entered from the PWMHighZ state the first time that the PWM polarity command is received. In this state, the PWM polarity is initialized and the state is then automatically exited. This state cannot be re-entered, and hence the polarity cannot be modified, unless the reset state is first re-entered.
- **PWMOFF** — This state is entered from the PWMHighZ state if both the PWM dead time and polarity have been configured. In this state, the PWM is activated and all the PWM outputs are driven off for the chosen polarity. The device then waits for the PWM base frequency, motor speed, and acceleration to be initialized.
- **PWM0RPM** — This state is entered from the PWMOFF state when the PWM base frequency, motor speed, and acceleration have been initialized. This state can also be entered from the FwdDecel or RevDecel states if a CmdStop command has been received, and the actual motor speed has decelerated to 0 r.p.m. In this state, the PWM pins are driven to the off state for the chosen polarity. The only exit of this state is to the PWMRun state, which occurs when a CmdFwd or CmdRev command is received.

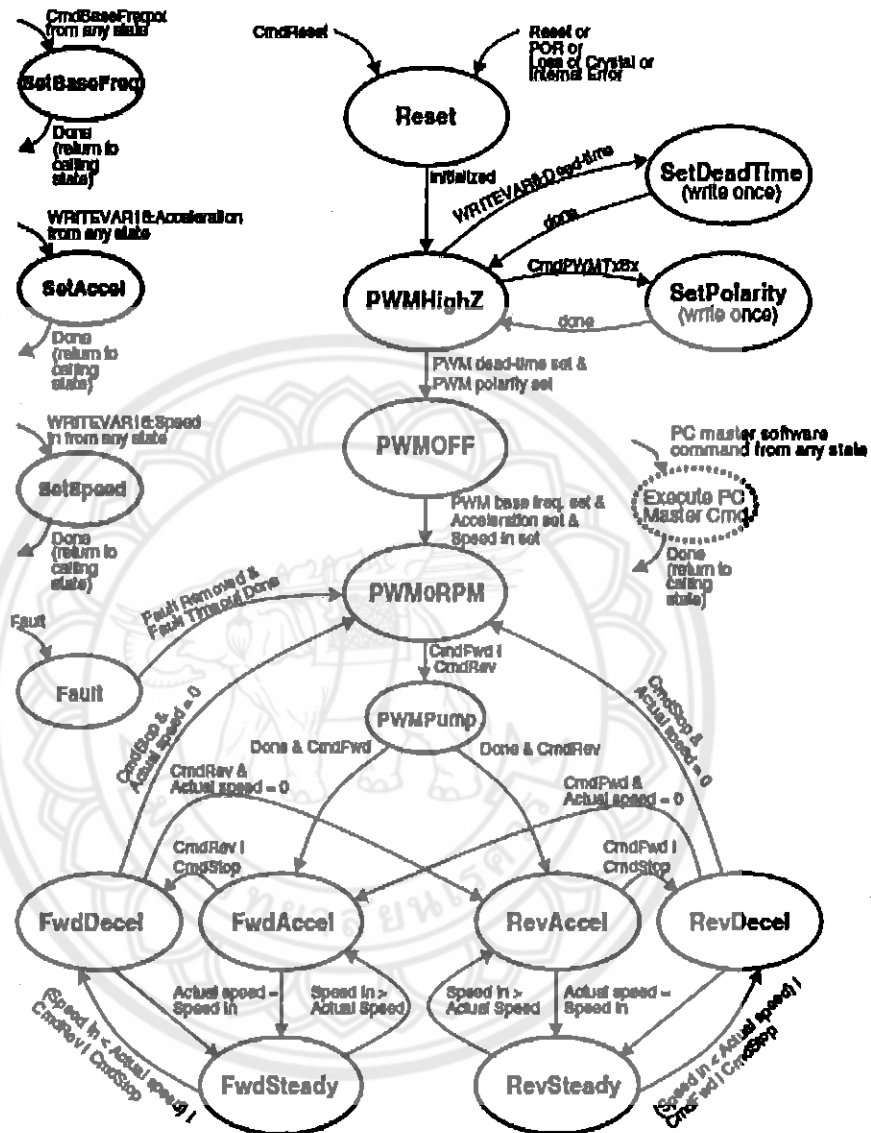


Figure 18. PC Host Software Command State Diagram

Operation

- **PWMPump** — This state is entered from the PWMORPM state when a CmdFwd or CmdRev command is received. In this state the top PWM outputs are driven off while the bottom PWM outputs are driven with a 50 percent duty cycle. This allows high side transistor gate drive circuits which require charge pumping from the lower transistors to be charged up prior to applying full PWMs to energize the motor. This state is automatically exited after the defined amount of time t_{Pump} (see Electrical Characteristics).
- **FwdAccel** — This state is entered from the PWMPump state after a CmdFwd command is received and the timeout interval from the PWMPump state is completed. This state can also be entered from the FwdSteady state if the Speed In variable is increased above the actual current speed and the RevDecel state if the actual motor speed equals 0 r.p.m. when a CmdFwd command has been received. In this state the motor is accelerated forward according to the chosen parameters.
- **FwdSteady** — This state is entered from the FwdAccel state after the actual motor speed has reached the requested speed defined by the Speed In variable. In this state, the motor is held at a constant forward speed.
- **FwdDecel** — This state is entered from the FwdAccel or FwdSteady states whenever a CmdStop or CmdRev command is received. This state can also be entered from the FwdSteady state if the Speed In variable is decreased below the actual current speed. In this state, the motor is decelerated forward according to the chosen parameters.
- **RevAccel** — This state is entered from the PWMPump state. After a CmdRev command is received and the timeout interval from the PWMPump state is completed. This state can also be entered from the RevSteady state if the Speed In variable is increased above the actual current speed and the FwdDecel state if the actual motor speed equals 0 r.p.m. when a CmdRev command has been received. In this state, the motor is accelerated in reverse according to the chosen parameters.
- **RevSteady** — This state is entered from the RevAccel state after the actual motor speed has reached the requested speed defined by the Speed In variable. In this state, the motor is held at a constant reverse speed.
- **RevDecel** — This state is entered from the RevAccel or RevSteady states whenever a CmdStop or CmdFwd command is received. This state can also be entered from the RevSteady state if the Speed In variable is decreased below the actual current speed. In this state, the motor is decelerated in reverse according to the chosen parameters.
- **SetBaseFreq** — This state is entered from any state whenever a CmdBaseFreqxx command is received. In this state, the motor frequency at which full voltage is applied is configured and the state is then automatically exited and the original state is re-entered.
- **SetAccel** — This state is entered from any state whenever a write to the Acceleration variable occurs. In this state, the motor acceleration is configured and the state is then automatically exited and the original state is re-entered.
- **SetSpeed** — This state is entered from any state whenever a write to the Speed In variable occurs. In this state, the requested motor speed is configured and the state is then automatically exited and the original state is re-entered.
- **Fault** — This state is entered from any state whenever a fault condition occurs (see Fault Protection on page 13). In this state, the PWM outputs are driven off (unless the fault state was entered from the PWMHighZ state, in which case, the PWM outputs remain in the High Z state). When the problem causing the fault condition is removed, a timer is started which will wait a specified amount of time (which is user programmable) before exiting this state. Under normal

Optoisolated RS232 Interface Application Example

operating conditions, this timeout will cause the Fault state to be automatically exited to the PWM0RPM state, where motion will once again be initiated if a CmdFwd or CmdRev has been received. The exceptions to this rule are the cases when the Fault state was entered from the PWMHighZ or PWMOFF states, in which case, exiting from the Fault state will return back to these states.

Optoisolated RS232 Interface Application Example

Some motor control systems have the control electronics operating at the same potential as the high voltage bus. Connecting a PC to that system could present safety issues, due to the high voltage potential between the motor control system and the PC. Figure 19 is an example of a simple circuit that can be used with the MC3PHAC to isolate the serial port of the PC from the motor control system.

The circuit in Figure 19 is the schematic of a half-duplex optoisolated RS232 interface. This isolated terminal interface provides a margin of safety between the motor control system and a personal computer. The EIA RS232 specification states the signal levels can range from ± 3 to ± 25 volts. A Mark is defined by the EIA RS232 specification as a signal that ranges from -3 to -25 volts. A Space is defined as a signal that ranges from $+3$ to $+25$ volts. Therefore, to meet the RS232 specification, signals to and from a terminal must transition through 0 volts as it changes from a Mark to a Space. Breaking the circuit down into an input and output section simplifies the explanation of the circuit.

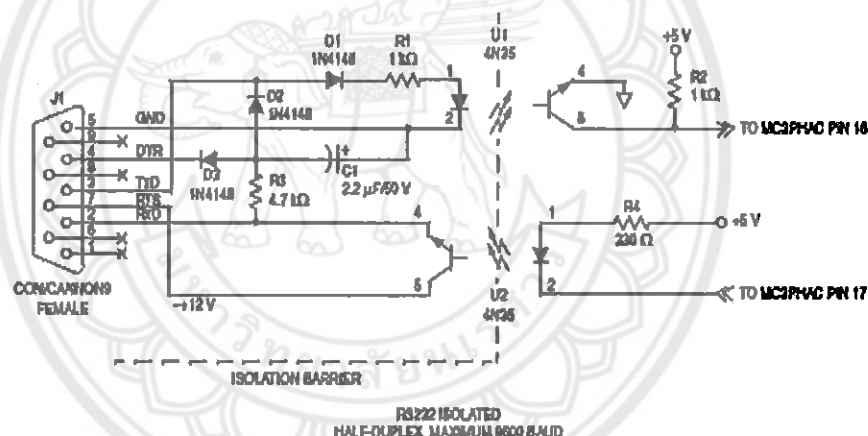


Figure 19. Optoisolated RS232 Circuit

To send data from a PC to the MC3PHAC, it is necessary to satisfy the serial input of the MC3PHAC. In the idle condition, the serial input of the MC3PHAC must be at a logic 1. To accomplish that, the transistor in U1 must be turned off. The idle state of the transmit data line (Tx) from the PC serial port is a Mark (-3 to -25 volts). Therefore, the diode in U1 is off and the transistor in U1 is off, yielding a logic 1 to the MC3PHAC's serial input. When the start bit is sent to the MC3PHAC from the PC's serial port, the PC's Tx transitions from a Mark to a Space ($+3$ to $+25$ volts), thus forward biasing the diode in U1. Forward biasing the diode in D1 turns on the transistor in U1, providing a logic 0 to the serial input of the MC3PHAC. Simply stated, the input half of the circuit provides input isolation, signal inversion, and level

Optoisolated RS232 Interface Application Example

shifting from the PC to the MC3PHAC's serial port. An RS-232 line receiver, such as an MC1489, serves the same purpose without the optoisolation function.

To send data from the MC3PHAC to the PC's serial port input, it is necessary to satisfy the PC's receive data (RxD) input requirements. In an idle condition, the RxD input to the PC must be at Mark (-3 to -25 volts). The data terminal ready output (DTR) on the PC outputs a Mark when the port is initialized. The request to send (RTS) output is set to a Space (+3 to +25 volts) when the PC's serial port is initialized. Because the interface is half-duplex, the PC's TxD output is also at a Mark, as it is idle. The idle state of the MC3PHAC's serial port output is a logic 1. The logic 1 out of the MC3PHAC's serial port output port forces the diode in U2 to be turned off. With the diode in U2 turned off, the transistor in U2 is also turned off. The junction of D2 and D3 are at a Mark (-3 to -25 volts). With the transistor in U2 turned off, the input is pulled to a Mark through current limiting resistor R3, satisfying the PC's serial input in an idle condition. When a start bit is sent from the MC3PHAC's serial port, it transitions to a logic 0. That logic 0 turns on the diode in U2, thus turning on the transistor in U2. The conducting transistor in U2 passes the voltage output from the PC's RTS output, that is now at a Space (+3 to +25 volts), to the PC's receive data (RxD) input. Capacitor C1 is a bypass capacitor used to stiffen the Mark signal. The output half of the circuit provides output isolation, signal inversion, and level shifting from the MC3PHAC's serial output port to the PC's serial port. An RS-232 line driver, such as a MC1488, serves the same purpose without the optoisolation function.

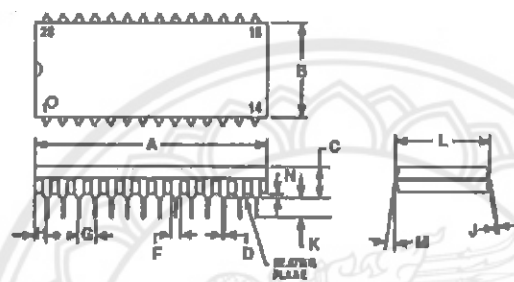


Mechanical Data

Mechanical Data

This subsection provides case outline drawings for:

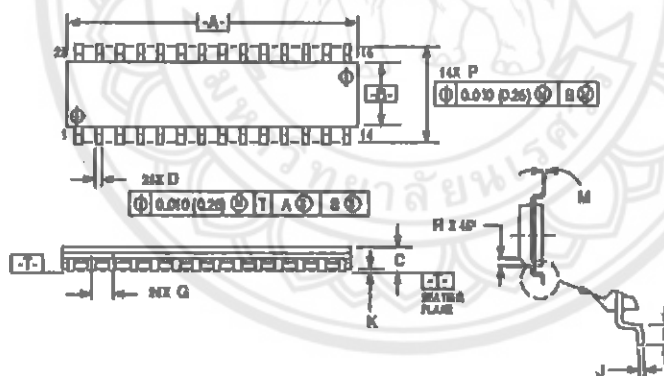
- Plastic 28-pin DIP, Figure 20
- Plastic 28-pin SOIC, Figure 21
- Plastic 32-pin QFP, Figure 22



NOTES:
1. POSITIONAL TOLERANCE OF LEADS (G), SHALL BE WITHIN 0.25mm (0.010") AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION IN RELATION TO SEATING PLANE AND EACH OTHER.
2. DIMENSION C, TO CENTER OF LEADS WHICH FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

QTY	MILLIMETERS	INCHES
A	25.40	1.000
B	14.22	0.560
C	2.54	0.100
D	1.27	0.050
E	1.27	0.050
F	1.27	0.050
G	1.27	0.050
H	1.27	0.050
I	1.27	0.050
J	1.27	0.050
K	1.27	0.050
L	1.27	0.050
M	1.27	0.050
N	1.27	0.050
O	1.27	0.050
P	1.27	0.050

Figure 20. Plastic 28-Pin DIP (Case 710)



NOTES:
1. DIMENSIONS ON AND TOLERANCES PER ANSI Y14.1M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION ON MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION IS 0.15mm (0.006") PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DIMENSIONAL PROTRUSION. ALLOWABLE DIMENSIONAL PROTRUSION SHALL BE 0.15mm (0.006") TOTAL IN EXCESS OF DIMENSION D AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

QTY	MILLIMETERS	INCHES
A	11.43	0.450
B	7.62	0.300
C	2.54	0.100
D	1.27	0.050
E	1.27	0.050
F	1.27	0.050
G	1.27	0.050
H	1.27	0.050
I	1.27	0.050
J	1.27	0.050
K	1.27	0.050
L	1.27	0.050
M	1.27	0.050
N	1.27	0.050
O	1.27	0.050
P	1.27	0.050

Figure 21. Plastic 28-Pin SOIC (Case 751F)

Mechanical Data

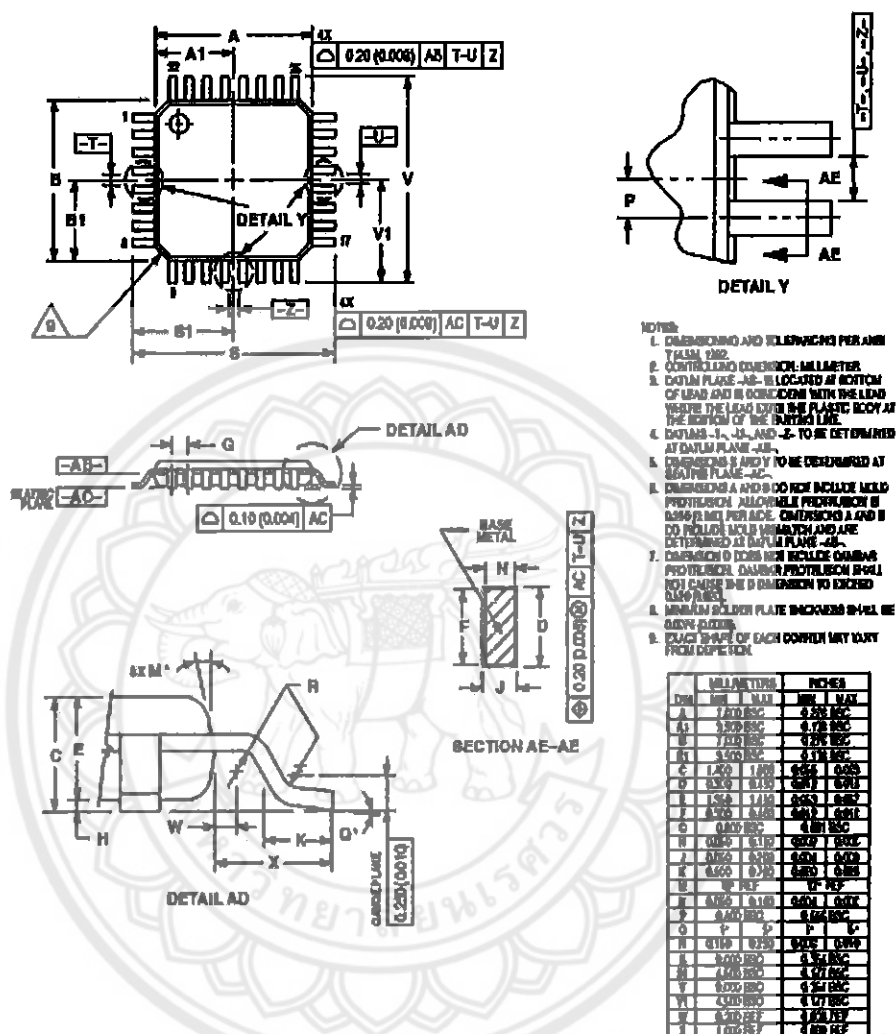


Figure 22. Plastic 32-Pin QFP (Case 873A)

How to Reach Us:

USA/Europe/Locations not listed:
Freescall Semiconductor Literature Distribution
 P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217
 1-800-521-6274 or 480-788-2130

Japan:
Freescall Semiconductor Japan Ltd.
 SPB, Technical Information Center
 3-20-1, Minami-Azabu
 Minato-ku
 Tokyo 106-8573, Japan
 81-3-3440-3559

Asia/Pacific:
Freescall Semiconductor H.K. Ltd.
 2 Dal King Street
 Tai Po Industrial Estate
 Tai Po, N.T., Hong Kong
 852-2668324

Learn More:
 For more information about Freescall
 Semiconductor products, please visit
<http://www.freescall.com>

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescall Semiconductor products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits or integrated circuits based on the information in this document.

Freescall Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescall Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescall Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Freescall Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Freescall Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescall Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Freescall Semiconductor product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Freescall Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Freescall Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Freescall Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part.

Freescall™ and the Freescall logo are trademarks of Freescall Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.
 © Freescall Semiconductor, Inc. 2004.

MC9PAC
 Rev. 2, 7/2005

RoHS-compliant and/or Pb-free versions of Freescall products have the functionality and electrical characteristics of their non-RoHS-compliant and/or non-Pb-free counterparts. For further information, see <http://www.freescall.com> or contact your Freescall sales representative.

For information on Freescall's Environmental Products program, go to <http://www.freescall.com/epg>.

