



การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
AC Adjustable Speed Drive Based on Microcontroller



โดย
นายบัญชา เจียรสุขสกุล
นายสุวิชัย เจริญพรเลิศ
นายจักรชัย ตะโกจิ้น
นายสุวิทย์ เสมอศรี

วัน เดือน ปี.....5.ค.ค.2541
เลขทะเบียน.....038599
เลขเรียกหนังสือ.....T.400529/2539

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038599

ปีการศึกษา 2540

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

AC Adjustable Speed Drive Based on Microcontroller



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิริยะ พิเศษฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

1. นายบัญชา เจียรสุขสกุล
2. นายสุวิชัย เจริญพรเลิศ
3. นายจักรชัย ตะโกจีน
4. นายสุวิทย์ เสมอศรี



(รศ.ดร. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำและอินเวอร์เตอร์	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.2.1 วงจรสมมูลย์	5
2.2.2 การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลย์	6
2.3 วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	8
2.3.1 การควบคุมแรงดันของสเตเตอร์ (Stator Voltage Control)	8
2.3.2 การควบคุมสลลิปเพาเวอร์ (Slip Power)	10
2.3.3 การควบคุมด้วยการเปลี่ยนแรงดันและความถี่ (Variable Voltage, Variable Frequency) หรือ VVVF	11
2.4 อินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	14
2.4.1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter)	15
2.4.2 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter)	16
บทที่ 3 ทฤษฎีและเทคนิคในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม	19
3.1 บทนำ	19
3.2 เทคนิคในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม	19
3.2.1 Voltage Vector Rotation ในรูปทรงสามมิติ	27
3.3 การสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม	32
3.3.1.1 ชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.3.1.2 คีย์บอร์ด	33
3.3.1.3 จอแสดงผล LCD	34
3.3.1.4 อีพรอม (EPROM)	34

สารบัญ

	หน้า
3.3.2 หลักการทำงานของชุดควบคุมความถี่	34
3.3.3 โปรแกรมการควบคุมและโหมดการทำงาน	34
บทที่ 4 วงจรควบคุมและวงจรกำลัง	38
4.1 บทนำ	38
4.2 ส่วนของวงจรกำลัง	39
4.2.1 วงจรบริดจ์เร็คติไฟเยอร์	39
4.2.2 วงจรขั้วเกท	40
4.2.3 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	42
4.2.4 วงจรกรองกระแส	45
4.2.5 วงจรป้องกัน	46
4.2.5.1 วงจรป้องกันกระแสเกิน	46
4.2.5.2 วงจรป้องกันกระแสอินรัช	48
4.3 ส่วนของวงจรควบคุม	49
4.3.1 ส่วนของหน่วยประมวลผล CPU 8031	49
4.3.2 วงจรหน่วงเวลา	52
4.4 การออกแบบวงจร	54
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	55
5.1 การทดลอง	55
5.2 ผลการทดลอง	56
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์	73
6.1 บทวิจารณ์	73
6.2 บทสรุป	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. โปรแกรมหลักในการใช้งานและโปรแกรมแสดงผล	
ภาคผนวก ข. ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	
ภาคผนวก ค. ส่วนประกอบต่างๆ ของโครงการ	
ภาคผนวก ง. ข้อมูลของอุปกรณ์	

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

นายบัญชา	เจียรสุขสกุล	
นายสุวิชัย	เจริญพรเลิศ	
นายจักรชัย	ตะโกจีน	
นายสุวิทย์	เสมอศรี	
รศ.ดร.วิริยะ	พิเชษฐจำเริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็น การนำเสนอลักษณะการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้ การเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ (Variable Voltage and Variable Frequency, VVVF) ใน ลักษณะแรงดันต่อความถี่คงที่ (Constant Voltage/Frequency) ซึ่งจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เบอร์ 8031 ตระกูล 51 สร้างสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation; PWM) จากการกำหนดรูปแบบของสัญญาณ (Pattern) ลงไป และผลิตสัญญาณ ออกมาตามรูปแบบ ซึ่งสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่นมีข้อดี คือช่วยในการกำจัดฮาร์มอนิกส์ลำดับต่ำ ของแรงดันที่ออกจากชุดอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นสัญญาณพัลส์วidthมอดูเลชั่นที่ได้จะถูกส่งผ่านไป ยังวงจรขับเกท (Gate Drive) เพื่อขยายสัญญาณให้สูงขึ้นเพียงพอต่อการทำให้เพาเวอร์มอสเฟต ที่ อยู่ในวงจรของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำงานได้ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ก็จะนำไป ใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์

ในตอนท้ายของปริยญาณิพนธ์ จะเป็นการทดลองคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์นี้ โดยการขับ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ใช้เป็นอย่างดี

AC Adjustable Speed Drive Based on Microcontroller

Bancha

Jiarasuksakun

Suwichai

Chalernpornlert

Jakchai

Tagoogen

Suwit

Samersri

Advisor

ASSOC. PROF. DR. Wiriya Pichetejumrun

1997

Abstract

This project presents on principle of controlled speed 3- ϕ induction motor by variable voltage and variable frequency at constant ratio of voltage to frequency. The pulse width modulation (PWM) signals are created by microprocessor No. 8031 in MCS-51 family from regulating patterns and then producing those this pattern can reject the low-harmonic in the output voltage of PWM inverter. After that, the PWM signals are transferred to gate drive power mosfets in inverter circuit. Finally, the signals from inverter circuit are used for adjusting the speed of induction motor.

In the last of thesis is test of property and drive of inverter which the result is compatible to it's thesis.

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	วงจรมุมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	5
รูปที่ 2.2	แสดงวงจรอย่างง่ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	7
รูปที่ 2.3	แสดงกราฟความเร็ว-ทอร์คของมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลด	9
รูปที่ 2.4	แสดงวงจรกำลัง 3 เฟส	9
รูปที่ 2.5	แสดงวงจรการควบคุมความเร็วแบบป้อนกลับพลังงาน	11
รูปที่ 2.6	แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน, ทอร์ค, กระแสสเตเตอร์กับความถี่	12
รูปที่ 2.7	แสดงกราฟทอร์ค-ความเร็วของมอเตอร์เมื่อใช้วิธีควบคุมด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่	13
รูปที่ 2.8	แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบอินเวอร์เตอร์	14
รูปที่ 2.9	แสดงวงจรกำลังของพีคดับลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์	16
รูปที่ 2.10	แสดงวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส	17
รูปที่ 2.11	แสดงแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส	17
รูปที่ 3.1	แสดงรูปคลื่นสัญญาณพีคดับลิวิตีเอ็ม	20
รูปที่ 3.2	แสดงรูปคลื่นการหน่วงเวลา	21
รูปที่ 3.3	แสดงช่วงของพัลส์	21
รูปที่ 3.4	แสดงรูปคลื่นสัญญาณของ U, V และ W	22
รูปที่ 3.5	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ 3 เฟสบริดจ์อินเวอร์เตอร์	27
รูปที่ 3.6	แสดงสภาวะการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์	29
รูปที่ 3.7	(a) Binary States ของอุปกรณ์สวิตช์ที่แสดงในแกน 3 มิติ (b) แสดงการมองจากเส้นประในรูป (a) เป็นรูป 6 เหลี่ยมโดยการต่อ (000) และ (111)	30
รูปที่ 3.8	แสดงลักษณะการสวิตช์กับ Voltage Vector Code ของอินเวอร์เตอร์	31
รูปที่ 3.9	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม	32
รูปที่ 3.10	แสดงการต่อคิบอร์ดแบบเมตริกส์ 4*4	33
รูปที่ 3.11	แสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์	36

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.12 แสดงโพล์ซาร์ตของโปรแกรมควบคุมย่อยของไมโครคอนโทรลเลอร์	37
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรทั้งหมดของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	38
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรบริดจ์เรกติไฟด์ 1 เฟส	40
รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างของกระแสเบสในอุดมคติ	41
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรขับเคลื่อน	41
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรขับเคลื่อนทั้ง 6 ชุด	42
รูปที่ 4.6 (a) แสดงวงจรการต่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรสวิทช์ซึ่ง (b) แสดงรูปโพล์เปิด และวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) (c) แสดงการแยกระบบกำลัง	43
รูปที่ 4.7 (a) แสดงวงจรการต่อเพาเวอร์มอสเฟตเป็นวงจรสวิทช์ซึ่ง (b) แสดงรูปโพล์เปิด และวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) (c) แสดงการแยกระบบกำลัง	45
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรฟีดแบ็ค	46
รูปที่ 4.9 แสดงส่วนของวงจรควบคุมในวงจรป้องกันกระแสเกิน	47
รูปที่ 4.10 แสดงส่วนของวงจรกำลัง	48
รูปที่ 4.11 แสดงวงจรกำจัดกระแสอินรัช	49
รูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นกระแสอินรัช (a) กรณีไม่มีตัวต้านทานจำกัดกระแส (b) กรณีมีตัวต้านทานจำกัดกระแส	49
รูปที่ 4.13 แสดงวงจร CPU # 8031 ต่อกับ 8255	50
รูปที่ 4.14 แสดงวงจรการต่อจากพอร์ต I/O	51
รูปที่ 4.15 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิทช์	51
รูปที่ 4.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการต่อ 8255 กับ 8031	52
รูปที่ 4.17 แสดงวงจรสร้างสัญญาณกลับเฟส	52

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.18 แสดงหลักการสร้างวงจรเคดไทม์และวงจรควบคุมกระแสอินรัช	54
(a) แสดงวงจรควบคุมกระแสอินรัช	
(b) แสดงสัญญาณเมื่อมีการสร้างเคดไทม์	
(c) แสดงการนำวงจรเคดไทม์ต่อเข้ากับวงจรขับเกท	
รูปที่ 5.1 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิเวียมที่ความถี่ 15 Hz.	56
รูปที่ 5.2 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิเวียมที่ความถี่ 30 Hz.	56
รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิเวียมที่ความถี่ 50 Hz.	57
รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิเวียมที่ความถี่ 70 Hz.	57
รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิเวียมที่ความถี่ 99 Hz.	58
รูปที่ 5.6 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 15 Hz (No-Load)	60
รูปที่ 5.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 Hz (No-Load)	60
รูปที่ 5.8 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 Hz (No-Load)	61
รูปที่ 5.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 70 Hz (No-Load)	61
รูปที่ 5.10 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 99 Hz (No-Load)	62
รูปที่ 5.11 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 15 Hz (Load 0.5 Kg)	62
รูปที่ 5.12 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 Hz (Load 0.5 Kg)	63
รูปที่ 5.13 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 Hz (Load 0.5 Kg)	63
รูปที่ 5.14 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 70 Hz (Load 0.5 Kg)	64
รูปที่ 5.15 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 99 Hz (Load 0.5 Kg)	64
รูปที่ 5.16 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 15 Hz (Load 1.0 Kg)	65
รูปที่ 5.17 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 Hz (Load 1.0 Kg)	65
รูปที่ 5.18 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 Hz (Load 1.0 Kg)	66
รูปที่ 5.19 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 70 Hz (Load 1.0 Kg)	66
รูปที่ 5.20 แสดงรูปคลื่นแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 99 Hz (Load 1.0 Kg)	67
รูปที่ 5.21 แสดงสเปคตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 15 Hz	67
รูปที่ 5.22 แสดงสเปคตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 30 Hz	68

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.23 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 50 Hz	68
รูปที่ 5.24 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 70 Hz	69
รูปที่ 5.25 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ 99 Hz	69
รูปที่ 5.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ จากการทดลอง	71
รูปที่ 5.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ จากการทดลอง	71



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างความถี่	23
ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่าง Pattern ของเวลาที่ใช้ในการ ON-OFF ของเพาเวอร์มอสเฟต	26
ตารางที่ 5.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์	70
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าแรงดันต่อความถี่	71
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณ	72



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความจำเป็นและเป็นที่ยอมรับใช้งานกันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีคุณสมบัติที่ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กล่าวคือมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทาน ขนาดเล็ก และราคาถูกกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนาดพิกัดกำลังเท่าๆกัน และที่สำคัญคือไม่มีปัญหาที่ยุ่ยยากเกี่ยวกับการบำรุงรักษาแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพสูง ตลอดจนราคาให้ต่ำที่สุด นั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรทำเพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมหันมานิยมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่สามารถปรับความเร็วได้กันมากขึ้น โดยในโครงการชิ้นนี้จะกล่าวถึงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการเปลี่ยนความถี่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จะเป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างสัญญาณความถี่ที่ต้องการขึ้นมา (ในที่นี้จะควบคุมสัญญาณความถี่โดยใช้หลักของการมอดูเลตแบบพีคดับลิวเอ็มคอนโทรลเลอร์เพราะการมอดูเลตแบบพีคดับลิวเอ็มนี้มีข้อดี คือจะมีเสถียรภาพที่สูงและสามารถสร้างสัญญาณความถี่ต่างๆได้ตามต้องการ) โดยความถี่ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะป้อนสัญญาณสแควร์เวฟแต่มีขนาดเล็กจึงต้องนำวงจรขับเกทมาขยายสัญญาณเพื่อทำให้อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสวิทช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้โดยสัญญาณได้นี้จะนำไปขับชุดอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยเพาเวอร์มอสเฟต 6 ตัวทำหน้าที่เป็นสวิทช์ ซึ่งชุดอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ตามค่าที่ต้องการ เพื่อนำมาใช้ในการขับมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ได้ความเร็วที่ต้องการต่อไป และเพื่อป้องกันการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่อาจมีการทำงานพร้อมกันของอุปกรณ์ สวิทช์ในเฟสเดียวกันซึ่งอาจทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์เกิดการลัดวงจรแล้วเกิดการเสียหายได้จึงนำวงจร สร้างเดคไทม์เข้ามาใช้ในโครงการ สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำในโครงการชิ้นนี้นั้นจะมีการควบคุมการทำงาน 2 ยาน คือ ที่ย่านความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่ำกว่าความถี่ที่กำหนดจะควบคุมให้ แรงดันต่อความถี่ (v/f) มีค่าคงที่ ทำให้ฟลักซ์มีค่าคงที่และเกิดค่าแรงบิดที่มีค่าสูงสุด ส่วนอีกย่านคือที่ย่านความถี่ของอินเวอร์เตอร์สูงกว่าที่กำหนดก็จะควบคุมให้แรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าเท่ากับพิกัดแรงดันที่มอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้มอเตอร์มีค่ากำลังคงที่ และไม่เกิดการเสียหายอันเนื่องมาจากแรงดันเกินได้

ในปฏิญญาฉบับนี้ได้ศึกษาถึงการออกแบบระบบควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีความทำงานในลักษณะพีคดับลิวิเอ็ม ตลอดจนการสร้างสัญญาณพีคดับลิวิเอ็มโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยระบบควบคุมที่ใช้เป็นแบบดิจิตอล ประกอบด้วย วงจรเอชทูคิซีคอนเวอร์เตอร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยรายละเอียดของส่วนต่างที่ได้กล่าวมานี้บอกกล่าวถึงในบทต่อไป ซึ่งสามารถกล่าวถึงเนื้อหาเป็นบทๆ ได้ดังนี้ คือ

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงเนื้อหาโดยรวมในแต่บท วัตถุประสงค์ ขอบเขต และวิธีการของการศึกษาตลอดจนประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ และคุณสมบัติในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีและเทคนิคการสร้างสัญญาณพีคดับลิวิเอ็ม สำหรับอินเวอร์เตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึง วงจรควบคุมและวงจรกำลังของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์

บทที่ 5 กล่าวถึง การทดลอง และผลการทดลองต่างๆของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์

บทที่ 6 กล่าวถึง สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยจะศึกษาลักษณะการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้เทคนิคใหม่ๆ
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการสร้างสัญญาณพีคดับลิวิเอ็มแบบ Look Up Table
3. ทำการสร้างและประกอบชุดทดสอบที่สามารถทดลองของทฤษฎีดังกล่าว

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาถึงเทคนิคการสร้างสัญญาณควบคุมแบบพีคดับลิวิเอ็มไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ศึกษาเทคนิคการสร้างสัญญาณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051
3. ศึกษาถึงการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้เฟาเวอร์มอสเฟต
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบถึงข้อดีและข้อเสียของระบบควบคุมมอเตอร์แบบพีคดับลิวิเอ็มไมโครคอนโทรลเลอร์ กับแบบอื่นๆ

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา

1. รู้จักและเข้าใจหลักการการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เป็นพื้นฐานในการศึกษาการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม
3. สามารถนำเทคนิคการมอดูเลตมาประยุกต์ใช้ในงานด้านเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ได้



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำและอินเวอร์เตอร์

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและ การควบคุมความเร็ว มอเตอร์เหนี่ยวนำวิธีต่างๆ โดยจะเน้นถึงการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์และจะ ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนในรูปแบบต่างๆ และได้กล่าวถึง คุณสมบัติของมอเตอร์เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อน

โดยปกติโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งสิ้น เพราะมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทานสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงราคาถูก และมีขนาดเล็กกว่า ดีซีมอเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเร็ว และกำลังเท่ากัน นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อมาทำการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมี ประสิทธิภาพสูง และยังสามารถพัฒนาวิธีการควบคุมใหม่ๆ ได้เสมอ ถึงแม้ว่าเอชเอ็มมอเตอร์จะมี คุณสมบัติที่ดีหลายประการ แต่ราคาของอินเวอร์เตอร์และความยุ่งยากในการควบคุมเอชเอ็มมอเตอร์ ทำให้การแพร่กระจายของระบบขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ ไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าที่ควร แต่ อย่างไรก็ตามการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ทำให้ระบบขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ โดยที่ใช้อินเวอร์เตอร์ จะมีราคาถูกลงและเชื่อถือได้สูงขึ้นนั้นจะทำให้ระบบขับเคลื่อนชนิดนี้เป็นที่ นิยมต่อไปในอนาคต

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำจะประกอบด้วยส่วนสเตเตอร์และส่วนโรเตอร์ โดยส่วนโรเตอร์จะทำหน้าที่รับพลังงานจากแหล่งจากไฟโดยผ่านส่วนสเตเตอร์ โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำจะทำให้ เกิดสนามแม่เหล็กอยู่ในแอร์แกป (AIR GAP) ซึ่งอยู่ระหว่างส่วนสเตเตอร์และโรเตอร์สนามแม่เหล็กนี้จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed) ตามสมการ

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad \dots(2.1)$$

โดยที่ N_s = ความเร็วซิงโครนัสของสนามแม่เหล็ก (rpm)

f = ความถี่ไฟที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์ (Hz)

p = จำนวนขั้วแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขณะที่โรเตอร์อยู่กับที่จะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ ซึ่งมีความถี่เดียวกันกับแหล่งจ่ายไฟ แต่ในขณะที่โรเตอร์มีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสของสนามแม่เหล็กจะไม่มีการเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ ดังนั้นจะไม่มีทอร์คเกิดขึ้นและขณะที่โรเตอร์มีความเร็ว N_r ใดๆ ที่มีความแตกต่างจากความเร็ว N_s จะทำให้เกิดความเหนี่ยวนำขึ้นบนโรเตอร์และทำให้เกิดทอร์คความแตกต่างสัมพัทธ์ของความเร็วทั้งสองนี้เรียกว่า สลิป (slip)

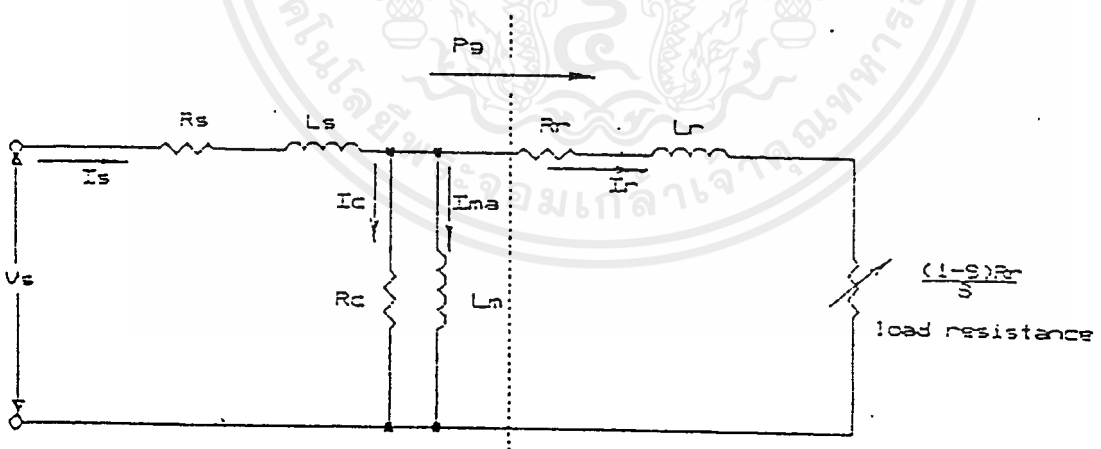
$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad \dots(2.2)$$

โดยที่ ω_s คือ ความถี่เชิงมุมของสเตเตอร์ (stator angular frequency)

ω_r คือ ความถี่เชิงมุมทางไฟฟ้าของ โรเตอร์ (rotor angular frequency)

2.2.1 วงจรสมมูล

จากรูปที่ 2.1 เป็นวงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำร่วม

R_m, R_r คือ ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์และ โรเตอร์ตามลำดับ

R/S คือ ความต้านทานโหลด

2.2.2 การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลย์

กำลังขาเข้าของมอเตอร์ $P_{in} = 3V_s I_s \cos \theta$... (2.3)

กำลังสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์ $P_{ls} = 3I_s^2 R_s$... (2.4)

กำลังที่ผ่านแอร์แกป (air gap) $P_g = \frac{3I_r^2 R_r}{S}$... (2.5)

กำลังสูญเสียที่ขดลวดโรเตอร์ $P_{lr} = 3I_r^2 R_r$... (2.6)

กำลังขาออก
$$P_o = P_g - P_{lr} = \frac{3I_r^2 R_r (1-S)}{S}$$
 ... (2.7)

กำลังที่เพลลา $SP_g = P_o - P_{fw}$... (2.8)

P_{fw} คือ กำลังที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงลม

แรงบิดของมอเตอร์
$$T_o = P_o = \frac{3I_r^2 R_r (1-S)}{\omega_m S} = \frac{3PI_r^2 R_r}{\omega_s S}$$
 ... (2.9)

ซึ่ง $\omega_m = \left(\frac{2}{p}\right)\omega_r$ คือ ความเร็วเชิงกลของโรเตอร์ (rad/sec)

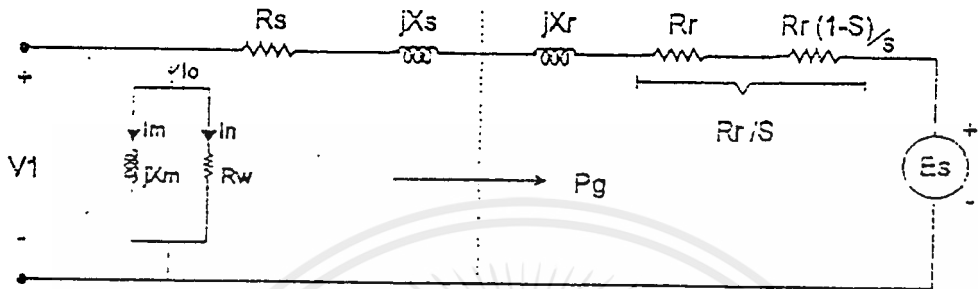
p คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์

วงจรสมมูลย์ที่อยู่ในรูปที่ 2.1 สามารถทำให้ง่ายขึ้นดังในรูปที่ 2.2 ซึ่งกระแส I_r สามารถหาได้ดังนี้

$$I = \frac{E_1^2 S^2}{R_r^2 + S^2 X_r^2} \quad \dots (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{3pE_1^2 R_r S}{\omega_s R_r^2 + S^2 X_r^2} \quad \dots(2.11)$$



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรอย่างง่ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สามารถหาค่าสลิปที่ทอร์คสูงสุดได้จากสมการคิฟเฟอเรนเชียลได้

$$S_m = \frac{R_r}{X_r} = \frac{R_r}{2\pi f_1 L_2} \quad \dots(2.12)$$

นำสมการที่ (2.12) แทนในสมการที่ (2.11) จะได้ทอร์คสูงสุดดั่งนั้นสมการ

$$T_m = \frac{3pE_1^2}{\omega_s 2X_r} \quad \dots(2.13)$$

โดยที่ $\omega_s = 2\pi f_1$

$X_r = 2\pi f_1 L_r$

$$= \frac{3p(E_1 / f_1)^2}{8\pi^2 L_r}$$

จะเห็นได้ว่าทอร์คสูงสุดมีค่าคงที่ก็ต่อเมื่อ E_1/f_1 หรือ ϕ มีค่าคงที่ ซึ่งในการควบคุมความเร็ว โดยให้ทอร์คคงที่สามารถทำได้โดยรักษาให้ E_1/f_1 มีค่าคงที่นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

วิธีการควบคุมความเร็วรอบของอินดักชั่นมอเตอร์นี้ เมื่อพิจารณาสมการความเร็วของมอเตอร์สมการที่ (2.14) ซึ่งมาจากสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$N_r = (1-S) \frac{(120f)}{p} \quad \dots(2.14)$$

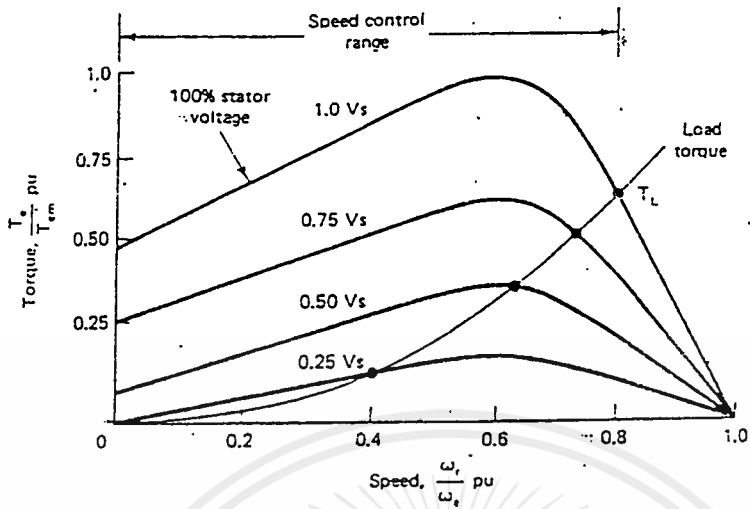
ดังนั้นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทำได้โดยการควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (f) สลิปของโรเตอร์ (S) และจำนวนขั้วของสเตเตอร์ (p) และวิธีการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด คือ การควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟโดยใช้อินเวอร์เตอร์ เพราะจะทำให้การควบคุมมีการต่อเนื่อง ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูง ในขณะที่การควบคุมความเร็วของอินดักชั่นมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนจำนวนขั้วจะทำได้จำกัด ช่วงการเปลี่ยนความเร็วแคบและไม่ต่อเนื่องและใช้ได้กับอินดักชั่นมอเตอร์ที่ออกแบบไว้พิเศษเท่านั้น ส่วนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมสลิปได้โดยการเปลี่ยนค่าสลิปทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำลง เพราะประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าสลิป

2.3.1 การควบคุมแรงดันของสเตเตอร์ (Stator Voltage Control)

การควบคุมแรงดันของสเตเตอร์นี้ ช่วงของความเร็วของมอเตอร์จะแคบและไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการทอร์คเริ่มต้นสูง สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ทอร์ค-ความเร็ว ของอินดักชั่นมอเตอร์ที่ได้จากวิธีการควบคุมแรงดันขดสเตเตอร์นี้แสดงได้ตามรูปที่ 2.3

ซึ่งทอร์คจะเปลี่ยนตามแรงดันที่จ่ายให้กับขดสเตเตอร์ของมอเตอร์ และกราฟของทอร์ค-ความเร็วของโหลดนั้น แสดงในรูปที่ 2.3 เช่นกันลักษณะของทอร์คโหลดนี้จะแปรโดยตรงกับความเร็วกำลัง

ดังนั้นเราสามารถปรับความเร็วของระบบได้ โดยการปรับแรงดันมอเตอร์เพื่อให้จุดตัดระหว่างกราฟของทอร์ค-ความเร็วของมอเตอร์กับกราฟของทอร์ค-ความเร็วของโหลดที่ความเร็วหรือสลิปที่ต้องการ



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความเร็ว-แรงบิด ของมอเตอร์เหนี่ยวนำและโหลด



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรกำลัง 3- ϕ โดยควบคุมแรงดัน (AC Power Controller)

การควบคุมความเร็วของอินดักชันมอเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันของสเตเตอร์จะใช้วิธีการควบคุมแบบการควบคุมเฟสของไลน์ (Phase Control) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและมีราคาถูก แต่ระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของกำลังการสูญเสียในโรเตอร์ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามสลลิป (S) นอกจากนี้แล้วกำลังสูญเสียในสเตเตอร์จะเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแสในสเตเตอร์ เมื่อสลลิปเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของมอเตอร์รวมทั้งทอร์คจะลดลงมากโดยเฉพาะที่ความเร็วต่ำๆ เนื่องจากมอเตอร์ต้องทำงานที่สลลิปค่าสูง นอกจากนี้วิธี

ควมเฟสของไลน์นี้ จะทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นทั้งในเอซีไลน์และตัวมอเตอร์เอง ทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้นอีก ทั้งเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบก็จะลดลงตามความเร็วของมอเตอร์ด้วย

จากข้อเสียที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้การใช้งานของระบบควบคุมความเร็วโดยใช้การควบคุมแรงดันของขดสเตเตอร์ถูกจำกัดอยู่เฉพาะในระบบที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งต้องการราคาถูกมากกว่าจะสนใจเรื่องประสิทธิภาพและเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยทั่วไปจะใช้กับโหลดที่ต้องการทอร์กสตาร์ทต่ำ เช่น ปัม หรือพัดลม ซึ่งมีทอร์กเพิ่มตามความเร็วกำลังสอง และลักษณะของทอร์ก-ความเร็ว ดังกล่าวนี้จะทำให้ระบบควบคุมแรงดันของสเตเตอร์มีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย

2.3.2 การควบคุมสลลิปเพาเวอร์ (Slip Power)

การควบคุมความเร็วของอินดักชันมอเตอร์โดยการควบคุมสลลิปของโรเตอร์นั้นนอกจากจะทำโดยการควบคุมกำลังใน โรเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ ซึ่งจะได้จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังออก (P_{mech}) และกำลังสูญเสียใน โรเตอร์ (P_1) กับกำลังที่ส่งผ่านจากสเตเตอร์ไปยัง โรเตอร์ (air-gap power, P_g) ดังนี้คือ

$$P_{mech} = (1-S)P_g \quad \dots(2.15)$$

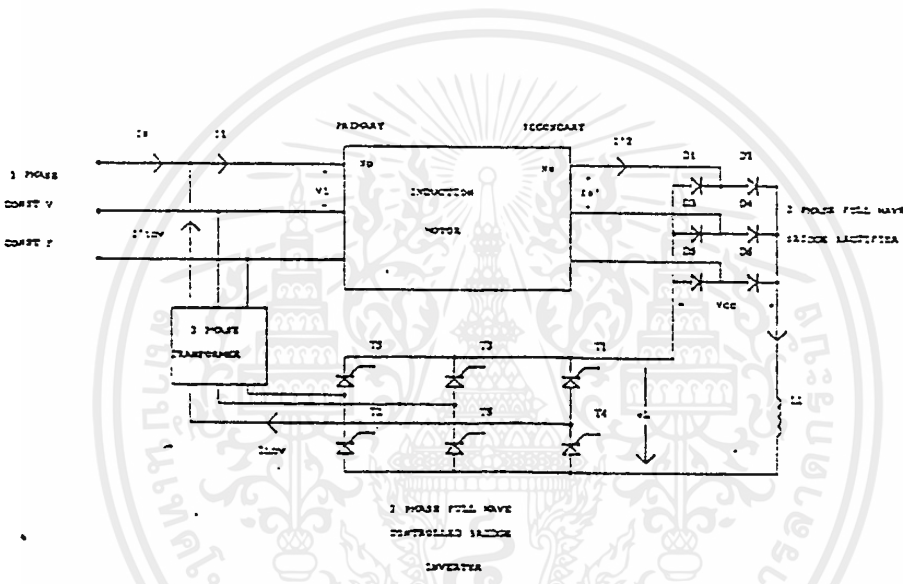
$$P_1 = SP_g \quad \dots(2.16)$$

$$\frac{P_1}{P_{mech}} = \frac{S}{1-S} \quad \dots(2.17)$$

จากสมการเหล่านี้จะเห็นว่าถ้าสามารถควบคุมอัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียในโรเตอร์กับกำลังออกของมอเตอร์ก็สามารถควบคุมสลลิปของโรเตอร์ได้ เช่น ในกรณีของอินดักชันมอเตอร์แบบขดลวดพัน (Wound Rotor Induction Motor) จะควบคุมสลลิปของโรเตอร์โดยการปรับค่าของความต้านทานที่ต่อเข้ากับวงจรมอเตอร์ การควบคุมความเร็วโดยวิธีนี้ถึงแม้จะสามารถทำได้ง่าย แต่จะมีข้อเสียในแง่ประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะที่ความเร็วต่ำๆหรือที่สลลิปสูงๆ ดังจะเห็นได้จากค่าของอัตราส่วนของโรเตอร์เพาเวอร์ (Rotor Power Ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของกำลังออก (P_{mech}) กับกำลังเข้าของโรเตอร์ (P_g) ตามสมการที่ (2.18)

$$\text{Rotor power ratio} = \frac{P_{mech}}{P_g} = 1 - S \quad \dots(2.18)$$

การที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าต่ำในย่านความเร็วต่ำเนื่องจาก P_1 เพิ่มขึ้นตามสลลิป อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของอินดัคชั่นมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วด้วยการควบคุมสลลิปเฟาเวอร์นั้นสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยจะเห็นว่าจากหลักการเดิมคือ การปรับสลลิปจะทำโดยการปรับความต้านทานของโรเตอร์ แต่จะทำให้เกิดความสูญเสียในรูปความร้อนสูง จึงเปลี่ยนมาเป็นการควบคุมสลลิปแบบป้อนกลับพลังงานแทน (slip energy-recovery) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรการควบคุมความเร็วแบบป้อนกลับพลังงาน

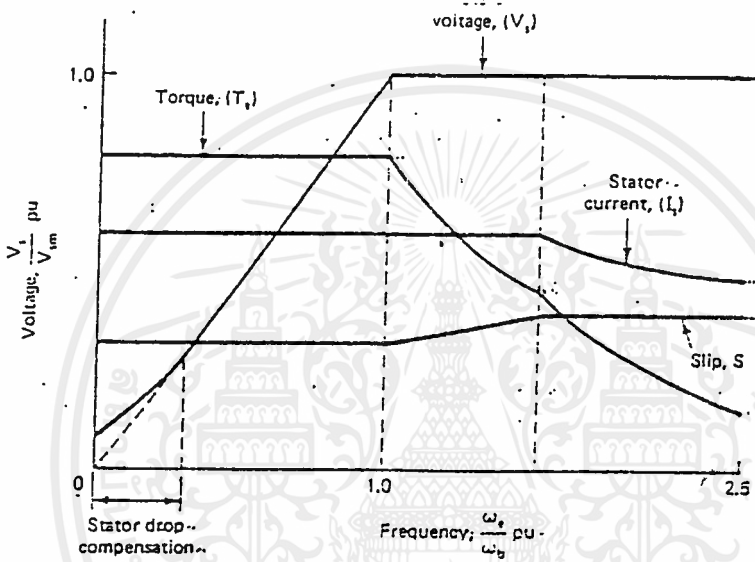
โดยสามารถส่งกำลังจากโรเตอร์กลับเข้าสายส่ง โดยการควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ โดยการปรับมุมทริกให้กับไทรสเตอร์

2.3.3 การควบคุมด้วยการเปลี่ยนแรงดันและความถี่ (Variable Voltage, Variable Frequency) หรือ VVVF

เทคนิคที่เป็นที่รู้จักกันดี และเป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งจะใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนเพื่อที่จะให้ได้แรงดันและความถี่ทางด้านเอาต์พุตเป็นไปตามที่ต้องการของหลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ แสดงในรูปที่ 2.6

ชนิดมอเตอร์ที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่มีค่าสลลิปต่ำซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ และความเร็วมอเตอร์จะเปลี่ยนตามการเปลี่ยนความเร็วเชิง โครนัสของสนามแม่เหล็กในแอร์แกปที่อยู่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างส่วนสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งการที่จะเปลี่ยนความเร็วเชิงโรตอร์สามารถทำได้โดยการแปรเปลี่ยนความถี่ของชุดอินเวอร์เตอร์ แต่การเพิ่มความเร็วของอินดิคชั่นมอเตอร์ทำได้โดยการเพิ่มความถี่ของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์อย่างเดียวกัน จะทำให้สนามแม่เหล็กในแอร์แกปของมอเตอร์ลดลงสามารถสังเกตได้จากสมการ (2.19)



รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน, แรงบิด และกระแสสเตเตอร์กับความถี่

$$E = 4.44Nf\phi$$

$$\phi \propto E / f \quad \dots(2.19)$$

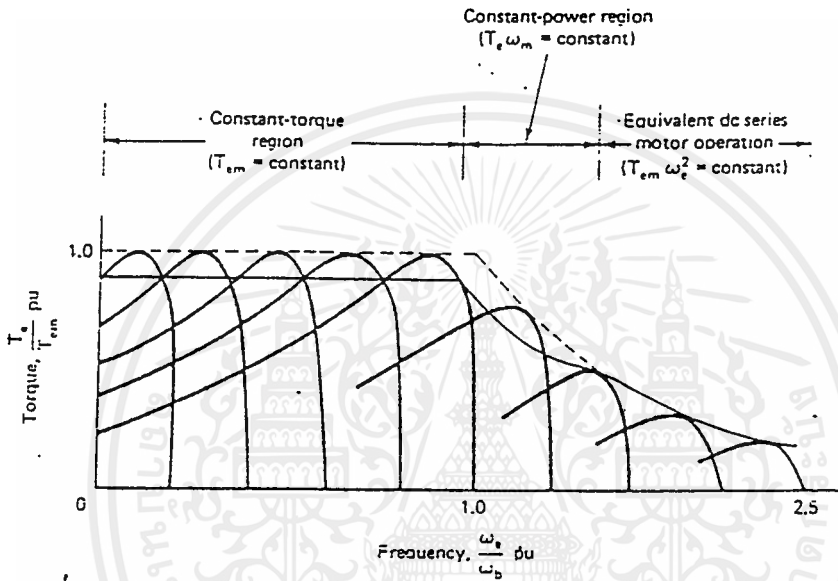
จากสมการ 2.13

$$T_m \propto (E / f)^2 \propto \phi^2 \quad \dots(2.20)$$

ซึ่งเมื่อแอร์แกปฟลักซ์ลดลงจะทำให้ทอร์กสูงสุดของมอเตอร์ลดลง แต่ในการที่จะรักษาสนามแม่เหล็กในแอร์แกปและทอร์กสูงสุดให้คงที่ จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ตามความถี่ด้วย นั่นคือรักษาอัตราส่วนของแรงดันขาออก(V) ต่อความถี่(f) หรือ V/f ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ทอร์กสูงสุดคงที่นั่นเอง แต่การควบคุมให้อินดักชันมอเตอร์มีทอร์กสูงสุดคงที่ จะทำได้ในย่านความเร็วต่ำกว่าความเร็วกำหนด (Base Speed) เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกราฟทอร์ก-ความเร็วของมอเตอร์เมื่อใช้วิธีควบคุมด้วยการเปลี่ยนแรงดันและความถี่

ในย่านความถี่ต่ำๆ การรักษาในให้ V/f คงที่จะไม่เพียงพอที่จะทำให้ทอร์กสูงสุดมีค่าคงที่ ทั้งนี้เพราะที่ความถี่ต่ำๆ ค่าความต้านทานของสเตเตอร์จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้มีแรงดันตกคร่อมสูงเป็นผลให้มีการสูญเสีย ดังนั้นจะต้องเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์เพื่อชดเชยแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานของสเตเตอร์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันกับความถี่เป็นไปตามเส้นทึบของกราฟรูปที่ 2.6 แทนการเปลี่ยนแปลงตามเส้นประ ซึ่งเป็นกราฟแรงดันต่อความถี่ (V/f) ที่มีค่าคงที่

ส่วนในย่านความถี่ที่สูงกว่าความถี่กำหนด (Base Speed) ไม่สามารถรักษาทอร์กให้คงที่ได้ เนื่องจากจะทำให้มอเตอร์เกิดโอเวอร์โหลด (overload) ซึ่งจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงรักษาแรงดันให้คงที่ตามที่กำหนด ซึ่งจะทำให้ทอร์กสูงสุดลดลงเนื่องจากการลดลงของสนาม

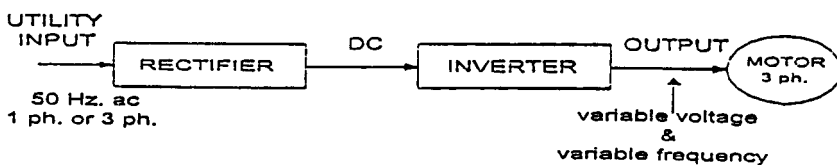
แม่เหล็กในแอร์แกปของอินดัคชั่นมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การควบคุมความเร็วในย่านนี้กำลังเอาที่พหุที่สุดของอินดัคชั่นมอเตอร์จะมีค่าคงที่ ด้วยการลดความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือเรียกว่าเป็นการทำงานในย่านกำลังคงที่ (Constant Power region) หรือ (field weakening region) ดังในรูปที่ 2.6 เนื่องจากการควบคุมความเร็วของอินดัคชั่นมอเตอร์ โดยวิธีนี้จะเป็นการแปรทั้งความถี่และแรงดัน (Variable Voltage, Variable Frequency Drive (VVVF)) การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยวิธีนี้จะทำให้สามารถเร่งความเร็วจากศูนย์ไปสู่ความเร็วที่ต้องการโดยมีทอร์กสูงสุดคงที่ได้

เนื่องจากแรงดันที่เอาที่พหุของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไม่ได้เป็นรูปไซน์ ดังนั้นมอเตอร์จะได้รับแรงดันฮาร์โมนิกส์ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในแอร์แกปด้วยความเร็วที่สูงกว่าสนามแม่เหล็กเนื่องจากความถี่ฟันดาเมนทอลมาก แต่แรงดันฮาร์โมนิกส์ของอินเวอร์เตอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียในมอเตอร์มากขึ้น

2.4 อินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อม โยระหว่างระบบจ่ายไฟและมอเตอร์ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ที่ดีต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ดังต่อไปนี้

1. สามารถที่จะปรับความถี่ได้เป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบที่ต้องการ
2. สามารถปรับแรงดันเอาที่พหุเพื่อรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ (V/f) ให้คงที่ตลอดช่วงแรงบิดคงที่ตามต้องการ
3. สามารถจ่ายกระแสได้เต็มพิกัดที่ความถี่ใดๆ ซึ่งอยู่ในช่วงทอร์กคงที่ที่ต้องการ



รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.8 แสดงหลักการพื้นฐานซึ่งแหล่งจ่ายไฟเข้าเอชไอจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันดิซี โดยการใส่รีคตีไฟเออร์ที่สามารถควบคุมแรงดันได้ หรือควบคุมไม่ได้ก็ได้ (Controlled or Uncontrolled-Rectifier) และอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟดิซีให้เป็นไฟเอชไอ ที่สามารถเปลี่ยนแรงดันและความถี่ได้ โดยทั่วไประบบอินเวอร์เตอร์สามารถจำแนกออกตามชนิดของอินเวอร์เตอร์ได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน (Voltage-Source Inverter : VSI)
2. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายกระแส (Current-Source Inverter : CSI)

โดยอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบนี้จะให้คุณสมบัติ และลักษณะของรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่แตกต่างกัน และเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปด้วย

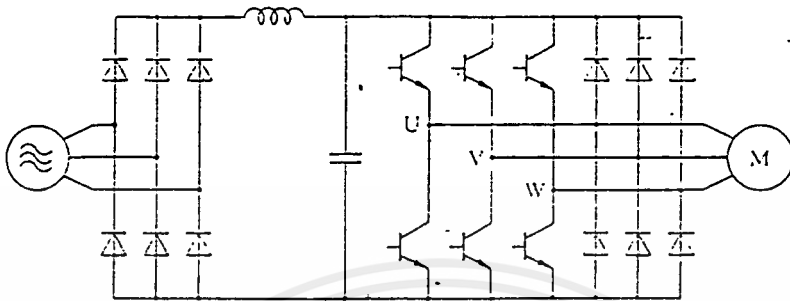
2.4.1 อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน

โครงสร้างแรงดันดิซีลิ่งที่มีขนาดตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก อาจกล่าวได้ว่าแรงดันอินพุทของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ ทำให้แรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์คงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด และโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ 6-Step อินเวอร์เตอร์ และ PWM อินเวอร์เตอร์ ข้อดีของอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดันคือ สามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้ง่าย ปรับความถี่ได้ในย่านกว้าง ส่วนข้อเสียมักมีปัญหาในเรื่องการสัท้วงจรของอุปกรณ์สวิทซ์ซึ่งในกิ่งเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ ในทางปฏิบัติใช้ช่วงจรเดดไทม์ (Dead Time) เป็นส่วนช่วยในการป้องกัน

แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวเพียงชนิดพีดับบลิวเอ็ม (PWM) อินเวอร์เตอร์เท่านั้น ทั้งนี้เพราะในการศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างอินเวอร์เตอร์บนพื้นฐานของพีดับบลิวเอ็ม ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่นิยมใช้อินเวอร์เตอร์ชนิด 6-Step ทั้งนี้เพราะมีข้อเสียมากกว่าชนิดพีดับบลิวเอ็ม

พีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ (PWM Inverter)

โครงสร้างของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ในส่วนของแรงดันดิซีลิ่งสามารถใช้รีคตีไฟเออร์ที่เป็นไดโอดทำให้แรงดันของดิซีลิ่งมีค่าคงที่ ซึ่งไม่อาจสามารถควบคุมแรงดันดิซีได้ และเป็นการลดขนาด LC ฟิลเตอร์ให้เล็กลง ดังนั้นความถี่และแรงดันเอาท์พุทของแรงดันมูลฐานสามารถควบคุมโดยใช้เทคนิคของพีดับบลิวเอ็มซึ่งอยู่ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ เทคนิคพีดับบลิวเอ็มนี้จะให้แรงดันเอาท์พุทที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกอันดับต่ำน้อยลง แต่จำนวนครั้งของการสวิทซ์สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีปัญหาของการสูญเสียของการสวิทซ์ แต่จะใช้งานได้ดีในย่านความถี่ต่ำ ทำให้ทอร์คเริ่มต้นสูงและลดปัญหา การกระเพื่อมของทอร์ค

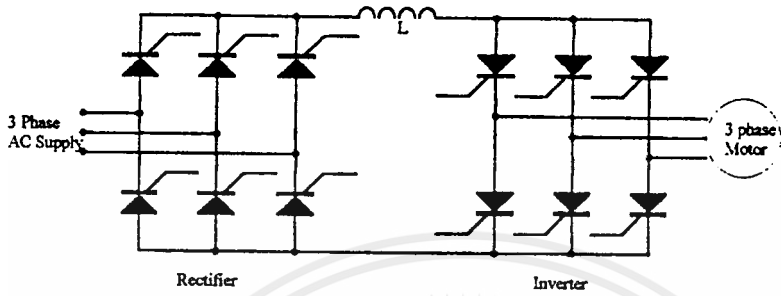


รูปที่ 2.9 แสดงวงจรกำลังของพีคิบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

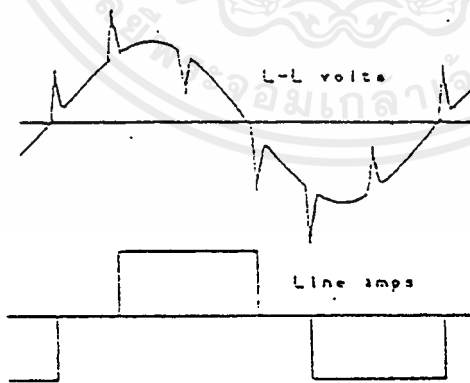
2.4.2 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter)

วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) แสดงในรูปที่ 2.10 จะประกอบไปด้วยไทรสเตอร์เร็คติฟายเออร์ที่สามารถควบคุมเฟสของเอซีไลน์และยังมีอินคัลเตอร์ขนาดใหญ่ต่ออนุกรมอยู่ แต่ไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่ด้วย เพื่อสร้างแหล่งจ่ายกระแสให้กับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของโครงสร้างทางวงจรจากอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน และในส่วนของชุดอินเวอร์เตอร์จะมีไทรสเตอร์เพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ รูปร่างของกระแสที่จ่ายออกทางด้านเอาต์พุท จะขึ้นอยู่กับแพทเทิร์นของการควบคุมที่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งอาจจะเป็น 6 สเต็ป หรือ พีคิบลิวเอ็มก็ได้แต่ลักษณะของแรงดันเอาต์พุทจะมีรูปร่างเข้าใกล้รูปไซน์ (ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากแบบจ่ายแรงดันในเรื่องของรูปคลื่น) นอกจากนี้ แรงดันทางด้านเอาต์พุทจะยังเกิดสไปค์ เนื่องจากการคอมมิวเตตดังแสดงในรูปที่ 2.11

ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีมากมายดังที่ได้กล่าวมาแล้วสำหรับอินเวอร์เตอร์ป้อนกระแส (Current fed inverter) แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอีกมากคือ ช่วงความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ค่อนข้างต่ำและไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะไร้โหลด ซึ่งต้องมีกระแสไหลค้อย่างน้อยที่สุดที่จะทำให้มีการคอมมิวเตทในอินเวอร์เตอร์ได้และนอกจากนี้ขนาดของคิซีลิ่งคิอินคัลแคนซ์ และตัวเก็บประจุของการคอมมิวเตทจะใหญ่ ทำให้อินเวอร์เตอร์แบบนี้ค่อนข้างมีราคาแพง การตอบสนองของไดร์ฟนี้ค่อนข้างช้าและมีแนวโน้มที่จะมีปัญหาของการมีเสถียรภาพที่โหลดต่ำ



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส



รูปที่ 2.11 แสดงแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ในบทนี้จะเน้นในเรื่องการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่ว่าจะเป็นความรู้เบื้องต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ วงจรสมมูลย์ รวมทั้งหลักการควบคุมความเร็วด้วยวิธีต่างๆ ดังสมการ (2.14) ไม่ว่าจะเป็นการปรับจำนวนขั้วแม่เหล็ก การควบคุมสลลิป หรือการควบคุมโดยการปรับความถี่ ในลักษณะของการควบคุมแรงดันต่อความถี่คงที่ และในตอนท้ายของบทนี้ยังได้กล่าวถึงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ และชนิดของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปอาจแบ่งได้เป็นการควบคุมด้วยแรงดันและการควบคุมด้วยกระแส ซึ่งในแต่ละแบบก็สามารถแบ่งได้เป็นหลายๆ หลักการ เช่น ควบคุมด้วยสัญญาณ 6 สเต็ปหรือ สัญญาณพีคดับลิวเอ็มดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น รวมไปถึงลักษณะการสร้างอย่างคร่าวๆ ของสัญญาณพีคดับลิวเอ็มซึ่งรายละเอียดและเนื้อหาเกี่ยวกับลักษณะของสัญญาณพีคดับลิวเอ็มจะขอกกล่าวในบทต่อไป





บทที่ 3

ทฤษฎีและเทคนิคในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

3.1 บทนำ

พีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์เป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งของอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน โดยอินเวอร์เตอร์แบบนี้จะให้แรงดันเอาต์พุตที่มีองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์อันดับต่ำน้อยลง และใช้งานได้ดีในย่านความถี่ต่ำทำให้ทอร์คเริ่มต้นสูง และลดปัญหา การกระเพื่อมของทอร์ค ส่วนเทคนิคในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มคือ ใช้ Microprocessor เบอร์ 8031 ตระกูล 51 ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต มาเป็นตัวควบคุม โดยชนิดหรือรูปแบบของอินเวอร์เตอร์จะใช้วิธี SPWM Inverter (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

3.2 เทคนิคในการสร้างสัญญาณ PWM

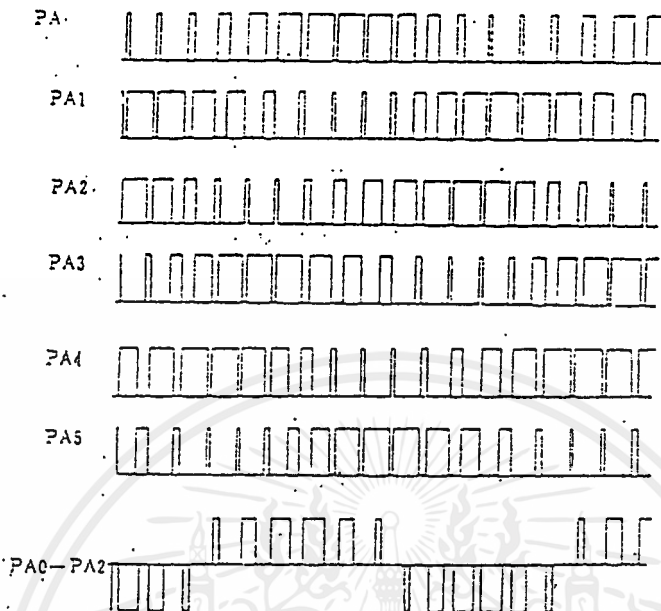
สัญญาณ PWM ที่ใช้ CPU สร้างขึ้นมา ซึ่งจะใช้ในโครงการนี้ จุดสำคัญของรูปคลื่น (waveform) คือ

- (1) 1 cycle มีทั้งหมด 30 pulses.
- (2) อัตราส่วนระหว่าง V/f จะเป็นเชิงเส้น (คงที่)
- (3) ความถี่ของ input port A จะสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 15-99 Hz.

ถ้าเราทำการ set pattern ให้ได้เหมือนรูปคลื่นของ PA0 - PA5 ดังรูปที่ 3.1 ก็จะได้สัญญาณคลื่นเป็นของเอาต์พุตตามที่ต้องการ

สิ่งสำคัญในการสร้างรูปคลื่นในรูปของ PA0 - PA5 คือ

- (1) PA2 เมื่อเทียบกับ PA0 ต้องห่างกัน 120 องศา
- (2) PA4 ห่างจาก PA2 เท่ากับ 120 องศา
- (3) PA1 กับ PA0 จะกลับ phase เช่นเดียวกับ PA3 กับ PA2 และ PA5 กับ PA4 ก็จะกลับเฟสกัน
- (4) PA0 - PA2 ได้ตั้งรูปล่างสุดในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นสัญญาณใน 1 เฟส



รูปที่ 3.1 แสดงรูปคลื่นสัญญาณ PWM

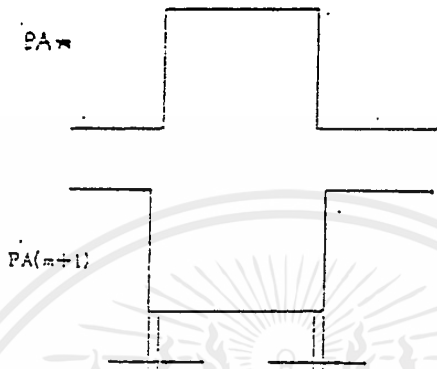
สัญญาณที่ใช้ป้อนให้มอเตอร์จะต้องระวังในช่วงที่ Q_1 ของ phase u ที่ ON และ Q_2 กำลังจะ OFF จะต้องมีการหน่วงเวลา เพราะเพาเวอร์มอสเฟต ไม่สามารถ ON-OFF ได้อย่างทันทีทันใด ซึ่งจะทำให้มีโอกาสน ON พร้อมกัน ถ้าเกิด ON พร้อมกันจะเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ของอุปกรณ์ทั้งสอง วิธีการแก้ปัญหานี้ก็คือ ทำให้มัน OFF ทั้งคู่ในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนสถานะการทำงาน ซึ่งจะเป็นการ OFF ชั่วขณะเป็นเวลาไม่กี่ μsec . โดยสั่งทาง Software

การขยายของ pulses ในแต่ละช่วงของแต่ละเฟส เมื่อทำการขยายแล้วจะแสดงได้ดังรูปที่ 10 โดยการแบ่งเป็น n ช่วง ซึ่งในแต่ละช่วงจะมีช่วงย่อย 4 ช่วง (มี 4 ช่วงย่อย) ทั้งหมดจะต้องมี 8 ช่วง คือ

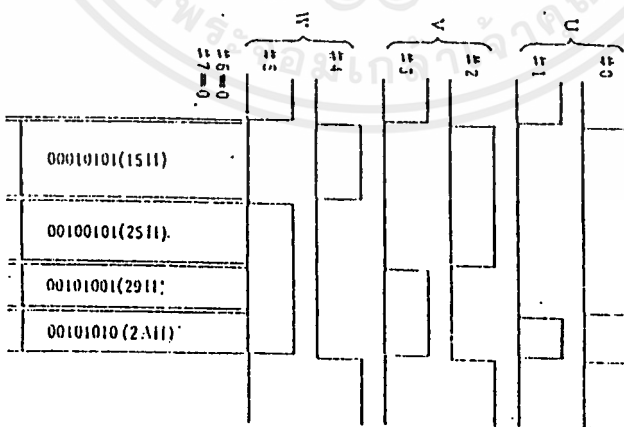
- (1) สถานะสวิทช์ของช่วงย่อยที่ 1 ในที่นี้คือ 15H
- (2) ข้อมูลที่ใช้สร้างเวลาของช่วงย่อยที่ 1
- (3) สถานะสวิทช์ของช่วงย่อยที่ 2 ในที่นี้คือ 29H
- (4) ข้อมูลที่ใช้สร้างเวลาของช่วงย่อยที่ 2
- (5) สถานะสวิทช์ของช่วงย่อยที่ 3 ในที่นี้คือ 25H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (6) ข้อมูลที่ใช้สร้างเวลาของช่วงย่อยที่ 3
- (7) สถานะสวิทช์ของช่วงย่อยที่ 4 ในที่นี้คือ 2AH
- (8) ข้อมูลที่ใช้สร้างเวลาของช่วงย่อยที่ 4



รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่น Dead Time



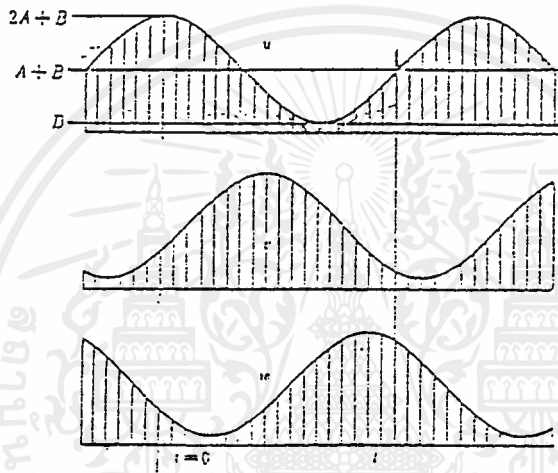
รูปที่ 3.3 แสดงช่วงของ pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงละ 8 บิต

จำนวนช่วง 1 คาบเวลาของรูปคลื่นไซน์จะมี 30 ช่วง ฉะนั้นก็จะมีทั้งหมด 240 ลูก ถ้ามีข้อมูล 240 ชุดก็สามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้ โดยแต่ละชุดจะมี 8 บิต หรือ 1 ไบต์ ซึ่งจะต้องใช้ ROM จำนวน 240 ชุด ให้ใส่ข้อมูลเหล่านั้นลงไปตำแหน่ง 8201H - 82F0H

เมื่อสถานะสวิตช์ถูกโหนดเข้าไปยัง address คู่ของตาราง และ address ก็จะมีข้อมูลเวลาเข้าไปอยู่ วิธีการคำนวณนี้จะทำให้เป็นที่ชัดเจนได้จากการคำนวณข้อมูลเหล่านี้



รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของ U,V,W

รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นคลื่น fundamental ของคลื่น PWM และการรวบรวมค่า DC ของ PA0, PA2, PA4 ในรูปที่ 3.1 ให้ voltage u,v,w ของ output terminal ของ Inverter จะได้สมการดังนี้คือ

$$u = A \cos[\omega t] + A + B \dots\dots\dots(1)$$

$$v = A \cos[\omega t - (2/3) \pi] + A + B \dots\dots\dots(2)$$

$$w = A \cos[\omega t + (2/3) \pi] + A + B \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ A = Amplitude ของ Sinewave แต่จะมีความสำคัญกับความถี่

B = เป็นค่าคงที่ จะถูกใช้เป็นข้อมูลที่สัมพันธ์กับความถี่เหมือนกัน

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างความถี่

8201	15	8221	15	8241	15	8261	15	8281	15	82A1	15	82C1	15	82E1	15
8202	0D	8222	1	8242	8	8262	5	8282	2	82A2	0D	82C2	1	82E2	8
8203	29	8223	29	8243	26	8263	26	8283	1A	82A3	1A	82C3	1A	82E3	29
8204	2A	8224	6	8244	23	8264	1A	8284	11	82A4	2A	82c4	6	82E4	23
8205	25	8225	25	8245	25	8265	16	8285	16	82A5	19	82C5	19	82E5	19
8206	6	8226	2A	8246	11	8266	1A	8286	23	82A6	6	82C6	2A	82E6	11
8207	2A	8227	2A	8247	2A	8267	2A	8287	2A	82A7	2A	82C7	2A	82E7	2A
8208	1	8228	0D	8248	2	8268	5	8288	8	82A8	1	82C8	0D	82E8	2
8209	15	8229	15	8249	15	8269	15	8289	15	82A9	15	82C9	15	82E9	15
820A	8	822A	1	824A	0D	826A	2	828A	5	82AA	8	82CA	1	82EA	0D
820B	29	822B	26	824B	26	826B	26	828B	1A	82AB	1A	82CB	29	82EB	29
820C	23	822C	6	824C	2A	826C	11	828C	1A	82AC	23	82CC	6	82EC	2A
820D	25	822D	25	824D	25	826D	16	828D	16	82AD	19	82CD	19	82ED	19
820E	11	822E	2A	824E	6	826E	23	828E	1A	82AE	11	82CE	2A	82EE	6
820F	2A	822F	2A	824F	2A	826F	2A	828F	2A	82AF	2A	82CF	2A	82EF	2A
8210	2	8230	0D	8250	1	8270	8	8290	5	82B0	2	82D0	0D	82F0	1
8211	15	8231	15	8251	15	8271	15	8291	15	82B1	15	82D1	15		
8212	5	8232	2	8252	0D	8272	1	8292	8	82B2	5	82D2	2		
8213	29	8233	26	8253	26	8273	26	8293	1A	82B3	1A	82D3	29		
8214	1A	8234	11	8254	2A	8274	6	8294	23	82B4	1A	82D4	11		
8215	25	8235	25	8255	16	8275	16	8295	16	82B5	19	82D5	19		
8216	1A	8236	23	8256	6	8276	2A	8296	11	82B6	1A	82D6	23		
8217	2A	8237	2A	8257	2A	8277	2A	8297	2A	82B7	2A	82D7	2A		
8218	5	8238	8	8258	1	8278	0D	8298	2	82B8	5	82D8	8		
8219	15	8239	15	8259	15	8279	15	8299	15	82B9	15	82D9	15		
821A	2	823A	5	825A	8	827A	1	829A	0D	82BA	2	82DA	5		
821B	29	823B	26	825B	26	827B	1A	829B	1A	82BB	1A	82DB	29		
821C	11	823C	1A	825C	23	827C	6	829C	2A	82BC	11	82DC	1A		
821D	25	823D	25	825D	16	827D	16	829D	16	82BD	19	82DD	19		
821E	23	823E	1A	825E	11	827E	2A	829E	6	82BE	23	82DE	1A		
821F	2A	823F	2A	825F	2A	827F	2A	829F	2A	82BF	2A	82DF	2A		
8220	8	8240	5	8260	2	8280	0D	82A0	1	82C0	8	82E0	5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นจะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM โดย
ลองพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้

$$A = 34$$

$$B = 1$$

$\omega t = 6^\circ, 18^\circ, 30^\circ, 42^\circ, 54^\circ, \dots, 342^\circ, 354^\circ$ (แบ่งทีละ 12 องศา ทั้งหมด 30 จุด,
30 จุด คือ จำนวนช่วงของ 1 ไซเคิล)

ตารางที่ 3.2 แสดงโปรแกรมภาษา BASIC เป็นการคำนวณคร่าวๆ ของเลขจำนวนเต็ม
ในสมการ 1-3 นอกจากนี้ยังได้แสดงผลจากการคำนวณ และสร้างตารางข้อมูลของตารางความถี่
ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดง โปรแกรมภาษา BASIC

```

PWM NO KEISAN
10 FOR X=6 TO 354 STEP 12
20 Z=120*3.14159/180
30 Y=X*3.14159/180
40 D=?? (ค่า Amplitude ของคลื่น)
50 A=(D-1)/2
60 B=1
70 U=A*COS(Y) + A + B
80 V=A*COS(Y-Z) + A + B
90 W=A*COS(Y+Z) + A + B
100 PRINT X ; INT(U+0.5); INT(V+0.5); INT(W+0.5)
110 NEXT X
120 END

```

(1) $\theta = 0 \sim 360$ องศา แบ่งช่วงละ 120 องศา ซึ่งแต่ละช่วงจะเรียกว่าช่วง θ ตำแหน่ง
กึ่งกลางของแต่ละช่วงจะคำนวณค่าของ sinewave (ในช่วงที่ 1 คือ 0 - 120 องศา ตำแหน่งกึ่ง
กลาง คือ 6 องศา) ทั้งหมดจะแบ่งได้ 6 โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) แบ่งเป็น 6 โปรแกรม โปรแกรมที่ (1) แสดงการเปรียบเทียบ u, v, w ซึ่งมีลำดับคือ $u > v > w$ ตรรกะของโปรแกรม ลำดับการเปรียบเทียบขนาดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การกำหนดเลขเวลาของช่วงย่อย นั่นคือโปรแกรมที่ (1) $u > v > w$ ขนาดของ pulse จะมีลักษณะดัง รูปที่ 3.3 และสถานะสวิทช์ ของช่วงย่อยที่ 1 มีค่าเท่ากับ 15H , ช่วงย่อยที่ 2 มีค่าเท่ากับ 29H , ช่วงย่อยที่ 3 มีค่าเท่ากับ 25H , ช่วงย่อยที่ 4 มีค่าเท่ากับ 2AH สำหรับโปรแกรม block ที่ 2 จะมีค่า 15H, 26H, 25H, 2AH ตามลำดับ

(3) รูปที่อธิบายวิธีการคำนวณเลขเวลาของช่วงย่อยโดยเกี่ยวกับช่วงที่ 2 โดยในที่นี้ไม่ คิดค่า *deadtime* เลขเวลาของช่วงที่ 4 ให้ระวังเกี่ยวกับว่า ผลรวมของเลขเวลาของช่วงย่อยที่ 1 - 4 รวมกัน จะเท่ากับค่า *Amplitude*

(4) ความหมายของข้อมูลช่วงที่ 1 จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ADDRESS	DATA
8211	15 ; สถานะ switch ของช่วงที่ 1
8212	05 ; เลขเวลาของช่วงย่อยที่ 1
8213	29 ; สถานะ switch ของช่วงที่ 2
8214	1A ; เลขเวลาของช่วงย่อยที่ 2
8215	25 ; สถานะ switch ของช่วงที่ 3
8216	1A ; เลขเวลาของช่วงย่อยที่ 3
8217	2A ; สถานะ switch ของช่วงที่ 4
8218	05 ; เลขเวลาของช่วงย่อยที่ 4

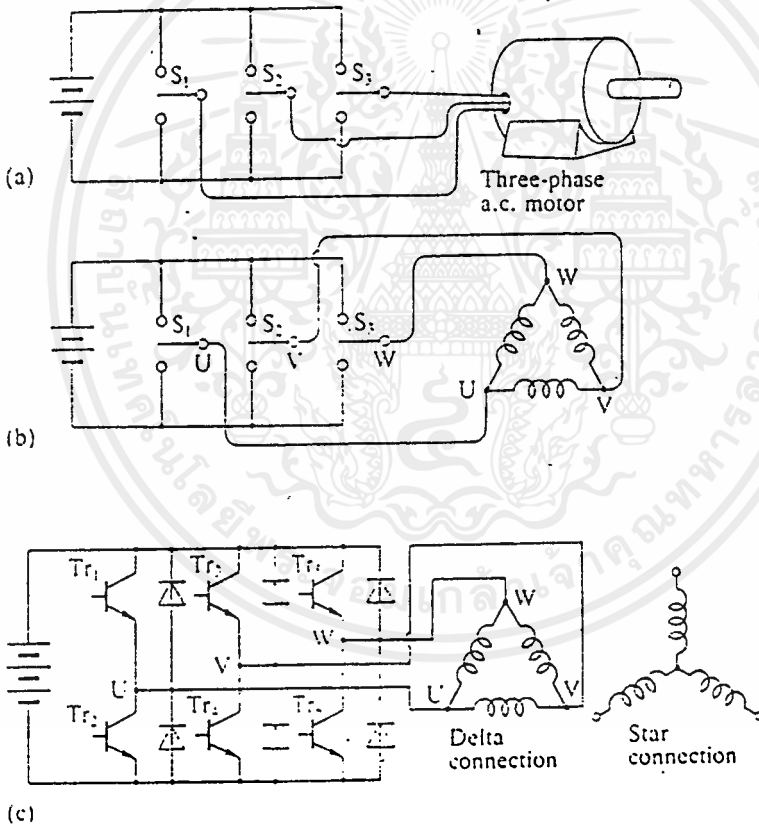
เมื่อทำเช่นนี้แล้ว ข้อมูล 8 ไบท์(byte) ก็จะถูกนำมาใช้ ทั้งนี้เนื่องจากการได้มีการสร้าง pulse ของช่วงที่ 1 ในทำนองเดียวกัน ตารางข้อมูลของช่วงที่ 2 - 30 ก็จะถูกสร้างขึ้นได้ โดยอาศัยหลักการ การสร้างของตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่าง Pattern ของเวลาที่ใช้ในการ ON-OFF ของ Power Mosfet

Block No.	ช่วง	องศา	ค่าจากการคำนวณ			เลขเวลาของช่วงย่อย				สถานะ Switching ที่ใช้ในการกำหนด
			U	V	W	1	2	3	4	Output และการเปรียบเทียบค่าของ U,V,W
1	1	6	89	27	19	19	62	8	1	U>V>W
	2	18	87	36	12	12	51	24	3	00010101=15H
	3	30	84	45	6	6	39	39	6	00101001=29H
	4	42	78	54	3	3	24	51	12	00100101=25H
	5	54	71	63	1	1	8	62	19	00101010=2AH
2	6	66	63	71	1	1	8	62	19	V>U>W
	7	78	54	78	3	3	24	51	12	00010101=15H
	8	90	45	84	6	6	39	39	6	00100110=26H
	9	102	36	87	12	12	51	24	3	00100101=25H
	10	114	27	89	19	19	62	8	1	00101010=2AH
3	11	126	19	89	27	19	62	8	1	V>W>U
	12	138	12	87	36	12	51	24	3	00010101=15H
	13	150	6	84	45	6	39	39	6	00100110=26H
	14	162	3	78	54	3	24	51	12	00010110=16H
	15	174	1	71	63	1	8	62	19	00101010=2AH
4	16	186	1	63	71	1	8	62	19	W>V>U
	17	198	3	54	78	3	24	51	12	00010101=15H
	18	210	6	45	84	6	39	39	6	00011010=1AH
	19	222	12	36	87	12	51	24	3	00010110=16H
	20	234	19	27	89	19	62	8	1	00101010=2AH
5	21	246	27	19	89	19	62	8	1	W>U>V
	22	258	36	12	87	12	51	24	3	00010101=15H
	23	270	45	6	84	6	39	39	6	00011010=1AH
	24	282	54	3	78	3	24	51	12	00011001=19H
	25	294	63	1	71	1	8	62	19	00101010=2AH
6	26	306	71	1	63	1	8	62	19	U>W>V
	27	318	78	3	54	3	24	51	12	00010101=15H
	28	330	84	6	45	6	39	39	6	00101001=29H
	29	342	87	12	36	12	51	24	3	00011001=19H
	30	354	89	19	27	19	62	8	1	00101010=2AH

3.2.1 Voltage Vector Rotation ในรูปทรงสามมิติ

การแสดงผล Voltage Vector Rotation ในรูปทรงสามมิติ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการกำหนด Switching sequences ใช้ใน Voltage Source Inverter เทคนิคนี้ให้ความสะดวกในการใช้กำหนดจังหวะการสวิตช์ ซึ่งเป็นไปตามนิยามของการหมุนแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ 3 เฟสบริค อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

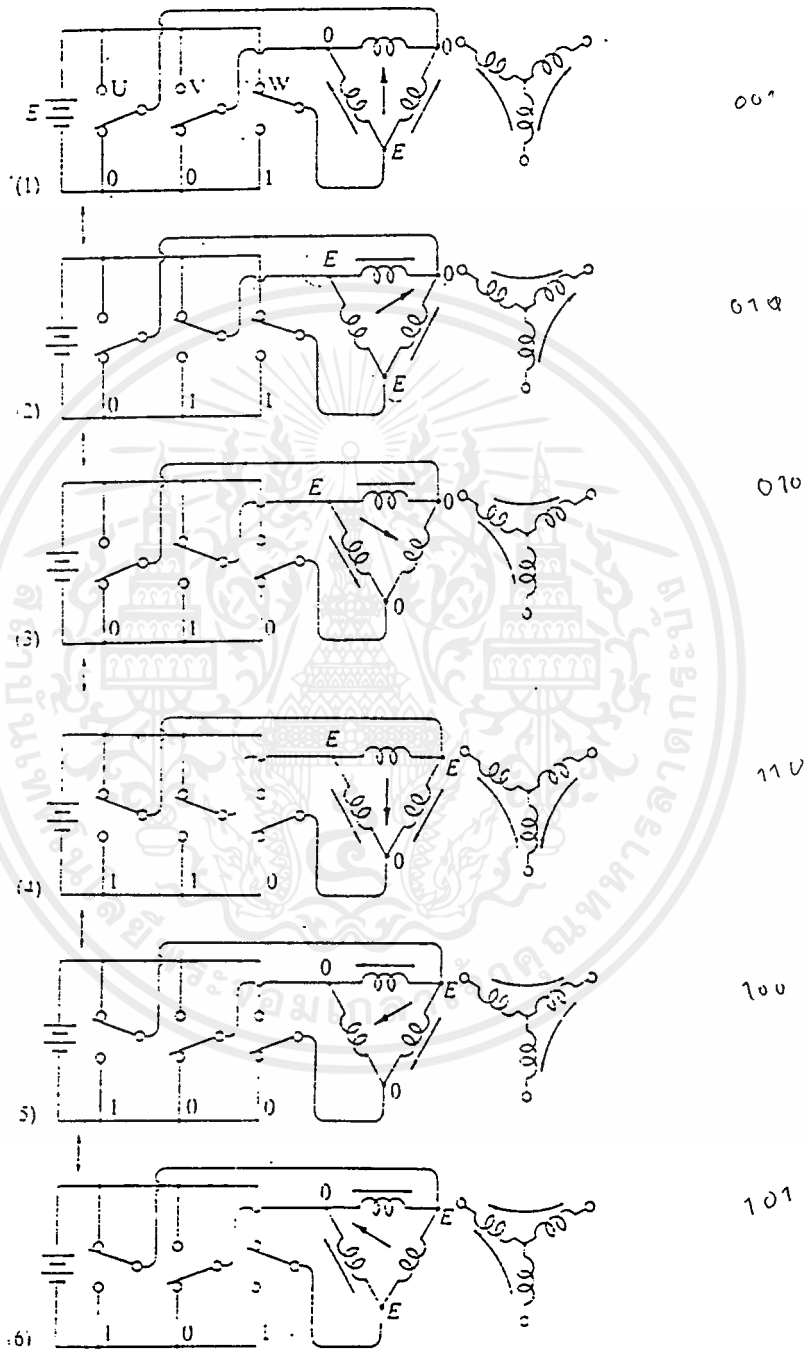
จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์มี 3 สวิตช์ คือ S1, S2 และ S3 และแต่ละสวิตช์อยู่ที่ ขั้วบวก หรือขั้วลบ ถ้าอยู่ที่ขั้วบวก (ON) เราให้สภาวะนั้นเป็น 1 และขั้วลบ (OFF) เราให้สภาวะ นั้นเป็น 0 ดังนั้นเราจึงมีสภาวะแตกต่างกัน 8 สภาวะของการสวิตช์ดังนี้

	S1	S2	S3
(1)	0	0	0
(2)	0	0	1
(3)	0	1	1
(4)	0	1	0
(5)	1	1	0
(6)	1	0	0
(7)	1	0	1
(8)	1	1	1

การรวมกันทั้ง 8 สภาวะนี้ สภาวะแรกกับสภาวะสุดท้าย เราจะไม่ให้กระแสไหลเข้าสู่ มอเตอร์ ดังนั้นทั้ง 3 ขั้ว U, V, W คือ อยู่ในสภาวะขั้ว Voltage เดียวกัน (GND หรือ E) จึงทำให้ ผลรวมของ Voltage กลายเป็นศูนย์ ส่วน 6 สภาวะการสวิตช์ที่เหลือที่แสดงในตารางสามารถ จ่าย Voltage เข้าสู่ขั้วของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

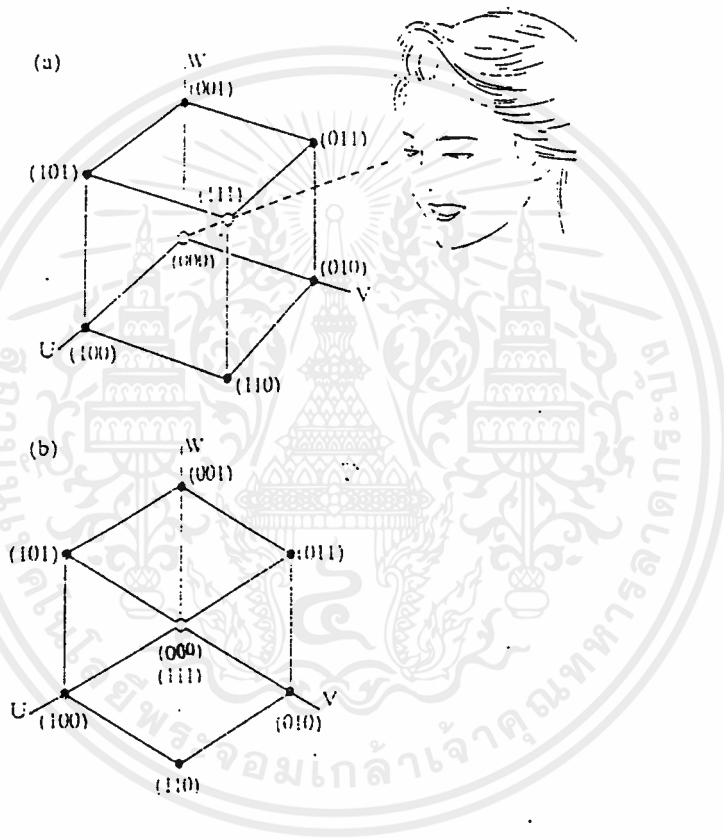
จากนั้นเราจะพิจารณาวิธีการใช้ Voltage Vector Rotation จากในรูปที่ 3.6 เราใช้แกน 3 มิติ คือ U, V, W สำหรับสภาวะการสวิตช์ S1, S2 และ S3 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

ช่วงการสวิตช์ที่แตกต่างกัน 8 สภาวะ สามารถ plot ในโคออดิเนต (000) และ (111) แสดงด้วยวงกลมขาวและสภาวะที่เหลือทั้ง 6 แสดงด้วยวงกลมดำ จุดนี้คือจุดสูงสุดของ Cube ขนาดความยาว 1 หน่วย ถ้าทิศทางของเส้นประที่ผ่านจุด (000) และ (111) ในรูป (a) ก็จะได้รูปที่ แสดงในรูป (b)



รูปที่ 3.6 แสดงสภาวะการสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

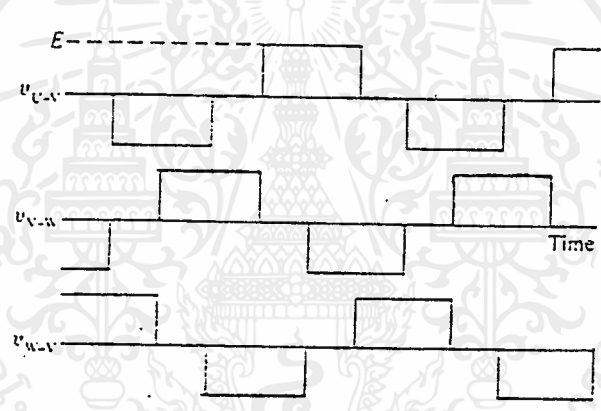


รูปที่ 3.7 (a) Binary States ของอุปกรณ์สวิทช์ที่แสดงในแกน 3 มิติ

(b) แสดงการมองจากเส้นประในรูป (c) เป็นรูป 6 เหลี่ยม โดยการต่อ
(000) และ (111)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sequence		001	011	010	110	100	101	001	011	010	110	100
Switches	S_1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Up S_2	/	\	\	\	/	/	\	\	\	\	/
	Down S_3	\	/	/	/	\	\	/	/	/	/	\
Transistors' states	Tr_1											
	Tr_2											
	Tr_3											
	Tr_4											
	Tr_5											
	Tr_6											
Terminal voltages	U	0	0	0	E	E	E	0	0	0	E	E
	V	0	E	E	E	0	0	0	E	E	E	0
	W	E	E	0	0	0	E	E	E	0	0	0



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการสวิทช์กับ Voltage Vector Code ของอินเวอร์เตอร์

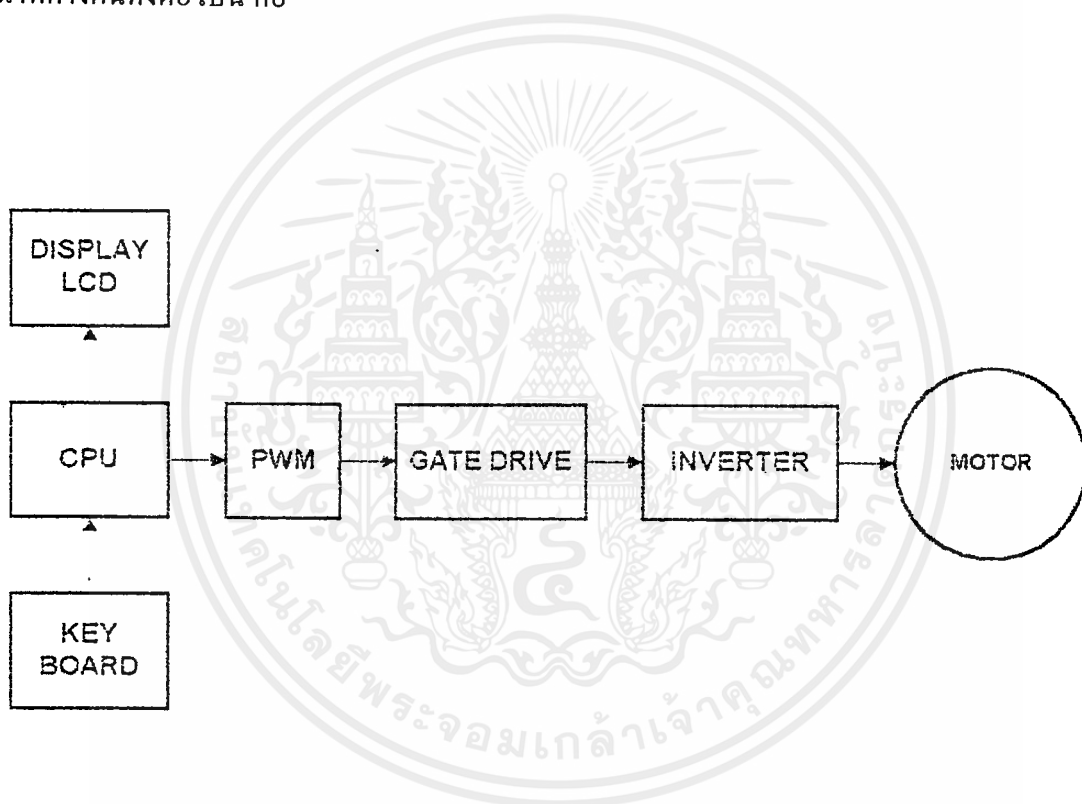
3.3 การสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ในโครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งใช้ชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทซิลิโคนชิพส์ ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการขยายพอร์ตและขยายเมมโมรี่ให้ใช้งานได้ ทำให้ทำงานร่วมกับวงจรควบคุมที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณทริกและรับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการพื้นฐานในการควบคุม คือ ใช้หลักการควบคุมแบบแรงดันต่อความถี่คงที่ (Constant V/f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม

สำหรับการควบคุมในโครงการนี้ได้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการรับค่าความถี่ที่ต้องการจากผู้ใช้โดยคีย์บอร์ด และส่งสัญญาณไปยังชุดเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณของความถี่เพื่อนำสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตที่อยู่ในชุดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรควบคุม จะใช้หลักการของทฤษฎีการควบคุมแรงดันต่อความถี่คงที่ (Constant V/f) เป็นหลักการพื้นฐานในการควบคุม โดยสามารถแสดงการทำงานของวงจรควบคุม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 โดยการทำงานจะแบ่งออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมีหน้าที่ต่างกันดังต่อไปนี้ คือ



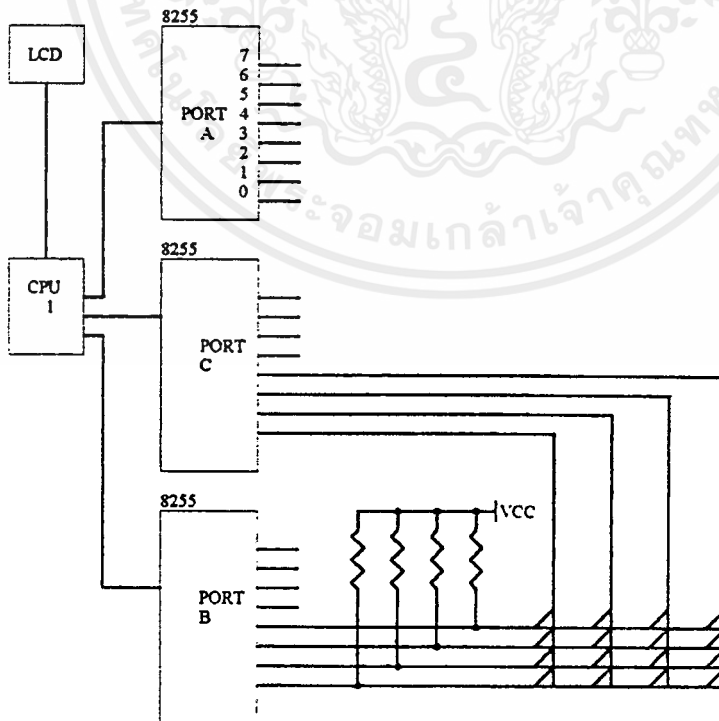
รูปที่ 3.9 แสดง Block diagram ของวงจรควบคุม

3.3.1.1 ชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ มีหน้าที่หลักดังนี้

- รับคำสั่งต่างๆ จากคีย์บอร์ดและประมวลผลคำสั่งเป็นสัญญาณควบคุมต่อไป
- แสดงผลคำสั่งที่ออกทางหน้าจอ LCD
- ส่งสัญญาณค่าความถี่ที่ต้องการให้กับชุดเก็บข้อมูลรูปแบบสัญญาณของความถี่

3.3.1.2 คีย์บอร์ด

คีย์บอร์ดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งค่าข้อมูลโดยส่งข้อมูลจากหลักการของเมตริกส์ กล่าวคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งคำสั่งสัญญาณ 8 บิตออกมาที่พอร์ต ซึ่งมีการต่อคีย์บอร์ดอยู่ โดยคำสั่งสัญญาณ 8 บิตนี้ จะเปลี่ยนแปลงหากมีการกดคีย์บอร์ดคีย์ใดคีย์หนึ่ง ซึ่งในเวลาต่อมาไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานตามโปรแกรม สแกนคีย์บอร์ด (Scan Keyboard) โดยโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมการทำงานหลักที่บรรจุอยู่ในส่วนของ โปรแกรมอีพรอม (Program Eprom) ที่คอมไพล์ (Compile) มาจากแอสเซมบลี ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051 โดยการทำงานของโปรแกรมนี้จะเริ่มต้นการทำงานจากโปรแกรมหลัก ซึ่งจะมีการสแกนคีย์บอร์ด ทุกๆ เวลาที่ว่างจากการส่งสัญญาณควบคุม การทำงานของโปรแกรมหลักนี้จะสัมพันธ์กับการสแกนคีย์บอร์ด ลักษณะของคีย์บอร์ดที่ใช้ในปฏิญานินพจน์ จะใช้คีย์บอร์ดที่ทำงานแบบ แถวและหลัก โดยประกอบไปด้วย 4 แถว 4 หลัก รวมแล้วมีคีย์บอร์ดอยู่ 16 คีย์ โดยการทำงานจะมีการแสดงรหัส (Code) ออกมาทางจอ แอล ซี ดี (LCD) เพื่อชี้ให้เห็นว่ารหัสที่จะกด มีความหมายอย่างไร ทำให้การติดต่อระหว่างความหมายของคีย์บอร์ด ความหมายที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และความเข้าใจของผู้ใช้งานเป็นไปได้โดยดี ซึ่งหลักการทำงานจะอาศัยโปรแกรมโดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะอ่านค่าที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงเข้าไปเพื่อประมวลผล ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงตรงกับคำสั่งใด ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำคำสั่งนั้น



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อคีย์บอร์ดแบบเมตริกส์ 4*4

3.3.1.3 จอแสดงผล LCD

เป็นจอแสดงผลที่รับค่าข้อมูลโดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งข้อมูลออกไปให้ตรงตามรหัสเพื่อให้ผลที่ออกหน้าจอ LCD เป็นไปตามต้องการ

3.3.1.4 อีพรอม (EPROM)

ทำหน้าที่ในการเก็บสัญญาณแพทเทิร์นส์ของพีคดับลิวเอ็ม ที่ได้ออกแบบไว้ โดยเก็บไว้เพื่อเตรียมส่งค่าออกไปยังวงจรเดด ไทม์ (Dead Time) ต่อไป

3.3.2 หลักการทำงานของชุดควบคุมความถี่

เมื่อมีการสั่งให้มอเตอร์ทำงานที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง ซึ่งจะถูกส่งออกมาโดยผ่านทางคีย์บอร์ดจากผู้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับคำสั่งและประมวลผลคำสั่งนั้น มาเป็นจำนวนเลข 8 บิต เพื่อไปเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของข้อมูลของความถี่ที่ต้องการ และส่งสัญญาณผ่านวงจรเดด ไทม์ วงจรจับเกทเพื่อขยายสัญญาณที่ได้ไปยังชุดอินเวอร์เตอร์

3.3.3 โปรแกรมการควบคุมและโหมดการทำงาน

โปรแกรมการควบคุมที่เขียนจากไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ สามารถอธิบายได้ดังโฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ในรูปที่ 3.11 โดยมีหลักการทำงานและอธิบายได้ดังรูปที่ 3.12

สำหรับโหมดการทำงานแบ่งออกเป็น 6 โหมด คือ

โหมดที่ 1 START

โหมดที่ 2 SET FREQUENCY

โหมดที่ 3 RUN

โหมดที่ 4 INCREASE

โหมดที่ 5 DECREASE

โหมดที่ 6 STOP

โหมดที่ 1 เป็นโหมดการทำงานในการเริ่มสตาร์ท ซึ่งมอเตอร์ยังไม่มีภาระหมุนอยู่ โดยโหมดนี้จะเป็นโหมดแรกในการทำงานทุกครั้งหลังจากมอเตอร์หยุดหมุนแล้ว และจอ LCD จะแสดงข้อความ “AC ADJUST SPEED”

โหมดที่ 2 เป็นโหมดที่ป้อนค่าความถี่โดยการคีย์ข้อมูลที่ละหนึ่งหลัก และจะแสดงผลของค่าความถี่ที่ต้องการขึ้นทางหน้าจอ LCD มีข้อความ “SET-FREQ ** Hz”

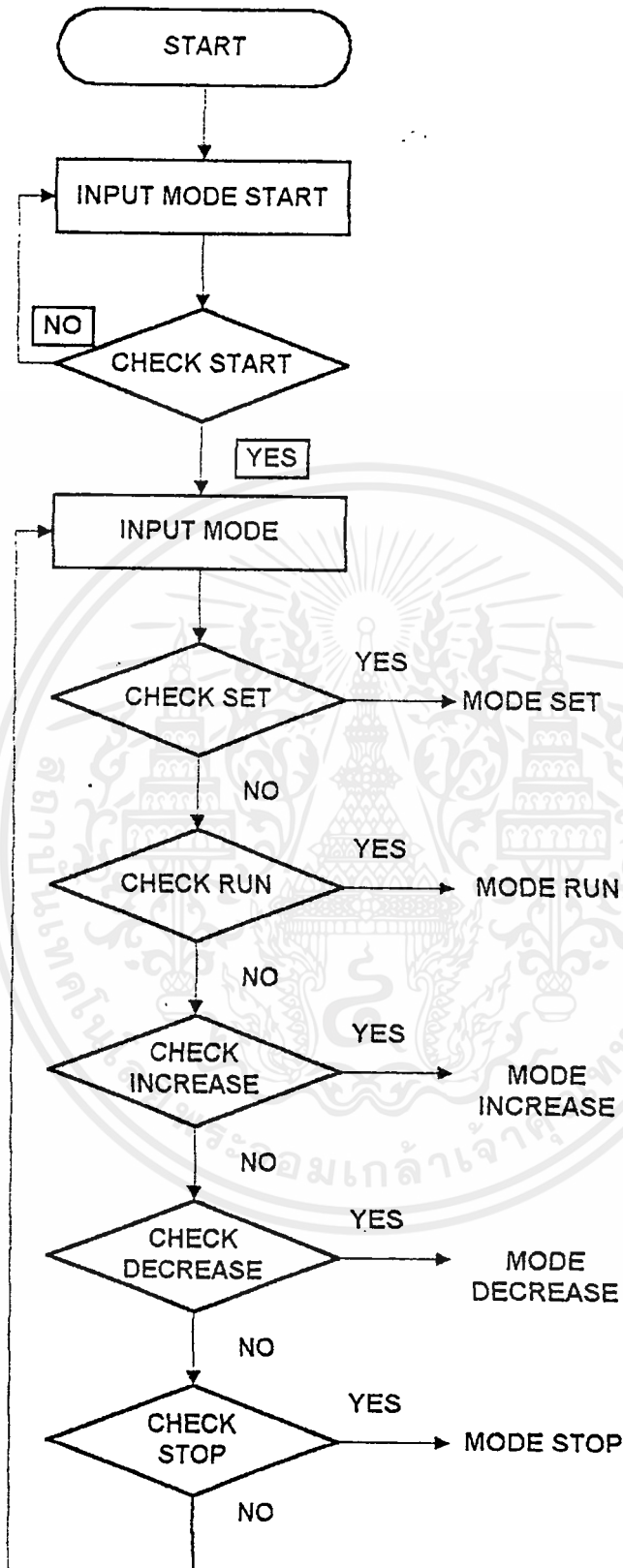
โหมดที่ 3 เป็นโหมดที่ทำให้ข้อมูลจากโหมดที่ 2 ถูกส่งไปยังชุดสร้างเคดใหม่ ผ่านไปยังชุดขับเกท จนถึงชุดอินเวอร์เตอร์

โหมดที่ 4 เป็นโหมดที่เพิ่มค่าความถี่ที่กำหนดไว้ยูเคิมขึ้นทีละ 1 Hz. พร้อมทั้งส่งข้อมูลออกไปสู่ วงจรเคดใหม่

โหมดที่ 5 เป็นโหมดที่ลดค่าความถี่ที่กำหนดไว้ยูเคิมลงทีละ 1 Hz. พร้อมทั้งส่งข้อมูลออกไปสู่ วงจรเคดใหม่

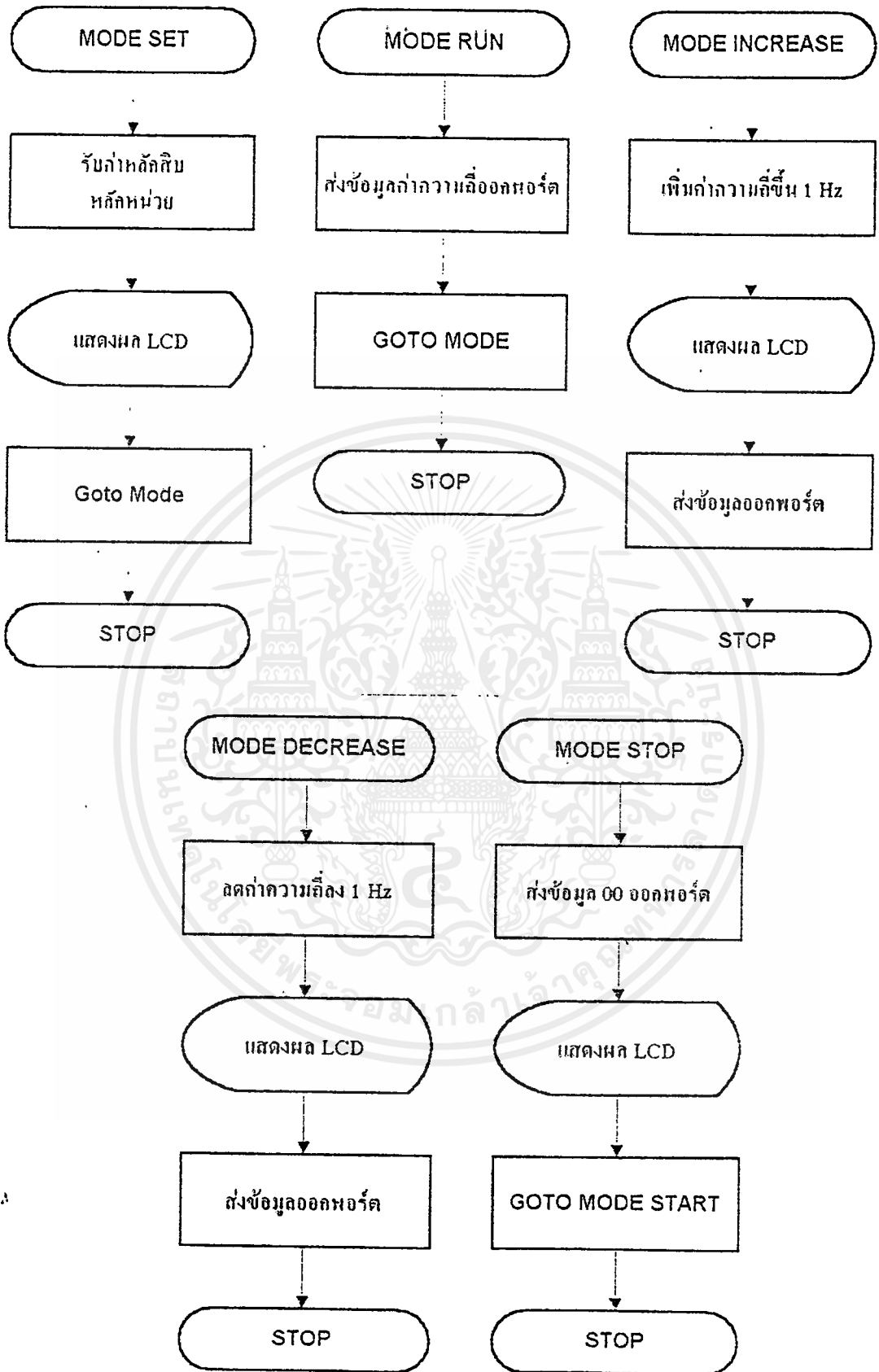
โหมดที่ 6 เป็นโหมดที่หยุดการทำงานของโปรแกรม พร้อมทั้งส่งข้อมูลที่ค่าความถี่ 0 Hz. ไปยังชุดอินเวอร์เตอร์





รูปที่ 3.11 แสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมหลัก ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมย่อย ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

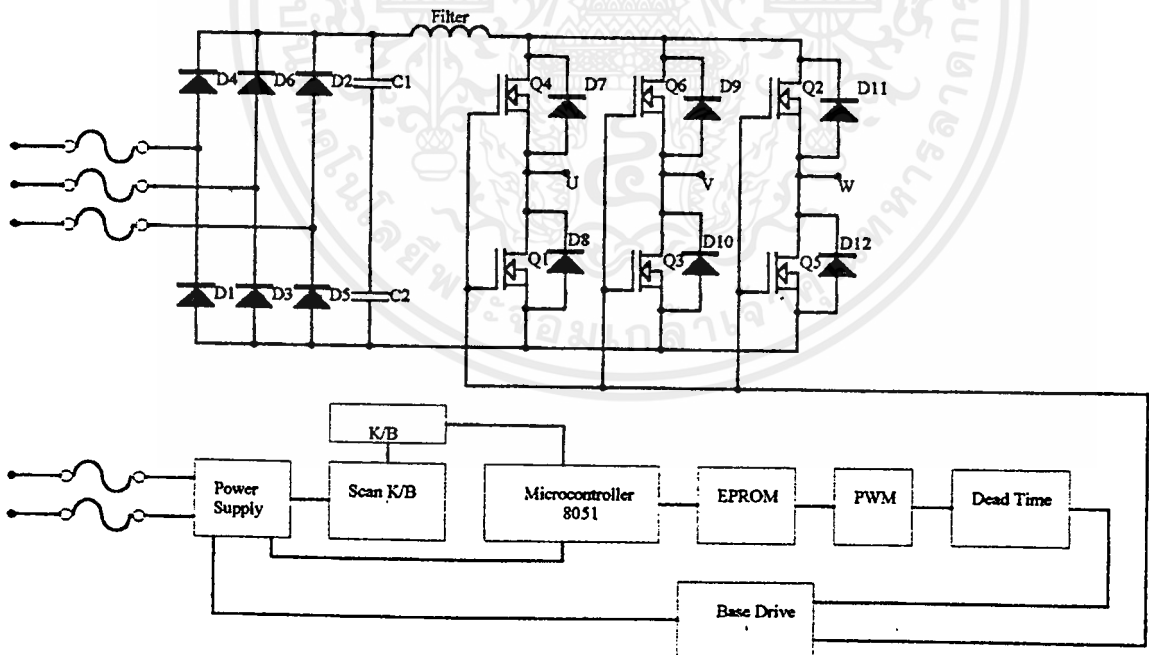
วงจรควบคุมและวงจรกำลัง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบส่วนต่างๆ ที่ใช้ในชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยแบ่งส่วนของวงจรถูกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ

1. ส่วนของวงจรกำลัง
2. ส่วนของวงจรถูกคุม

ซึ่งรายละเอียดของวงจรในแต่ละส่วนของระบบจะได้กล่าวต่อไป โดยวงจรรวมทั้งหมดแสดงไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรทั้งหมดของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เป็นส่วนประกอบและวงจรต่างๆ ของโครงการนี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

1. ระบบแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงและแบบเร็กทูลิเตอร์
2. วงจรแปลงไฟกระแสสลับ 1 เฟส เป็นไฟกระแสตรง (1- ϕ Diode Bridge Rectifier) และ LC ฟิลเตอร์
3. วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต
4. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟต เป็นอุปกรณ์สวิตชิง
5. วงจรกรองกระแสไฟตรง (LC ฟิลเตอร์) ทางด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์
6. หน่วยประมวลผลซีพียู ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051
7. วงจรหน่วงเวลา (Dead Time)
8. จอแสดงผล LCD

ซึ่งในส่วนของวงจรที่ 6 , 7 และ 8 นั้น ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3

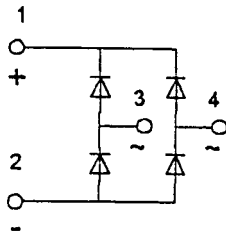
4.2 ส่วนของวงจรกำลัง

ในส่วนของวงจรกำลังทั้งหมดของโครงการนี้ สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

1. วงจรบริดจ์เรกติไฟยต์
2. วงจรขับเกท
3. วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
4. วงจรกรองกระแส
5. วงจรป้องกัน

4.2.1 วงจรบริดจ์เรกติไฟยต์

วงจรบริดจ์เรกติไฟยต์ เป็นวงจรที่ใช้สำหรับแปลงสัญญาณไฟกระแสสลับ 1 เฟส ให้เป็นสัญญาณไฟตรง ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปผ่านวงจรกรองกระแสเพื่อให้สัญญาณเรียบขึ้น และนำสัญญาณไฟตรงที่ได้นี้ไปเป็นไฟเลี้ยงให้ส่วนของวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ ซึ่งควบคุมโดยสัญญาณทริกที่ขาเกท ลักษณะของวงจรบริดจ์เรกติไฟยต์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

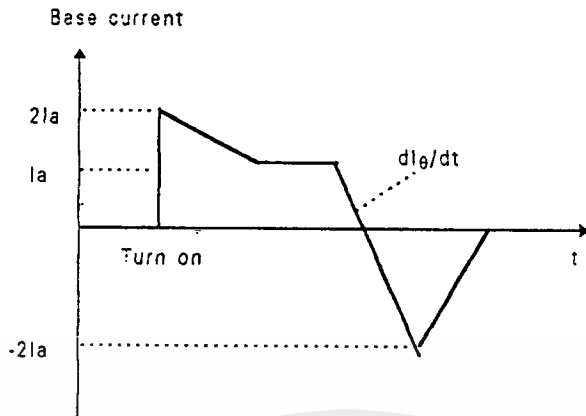


รูปที่ 4.2 แสดงวงจรบริดจ์เรกติฟายด์ 1 เฟส

4.2.2 วงจรขับเกท (Gate Drive Circuit)

วงจรขับเกทที่ใช้จะใช้ในการขับให้เพาเวอร์สวิตชิงในวงจรกำลัง 3 เฟสอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทั้งหมดจะใช้ 6 ชุดโดยปกติแล้ววงจรขับเกทจะต้องจ่ายกระแสได้เพียงพอ กระแสเบสนี้จะต้องมากเพียงพอที่จะทำให้เพาเวอร์สวิตชิงทำงานอยู่ในย่านอิ่มตัว (Saturate) จากการศึกษาพบว่ากระแสนี้จะอยู่ในย่าน 500-700 mA ดังนั้นวงจรขับเบสโดยส่วนใหญ่จะมีวงจรดาร์ลิงตันเพื่อทำหน้าที่ขยายกระแสให้สูงขึ้นในทางทฤษฎีควรให้กระแสมีการไหลย้อนกลับและมีค่าเกือบเป็น 2 เท่าของกระแสเบสฟอร์เวอร์สในขณะเทอร์น ออฟ ส่วนในขณะเทอร์น-ออน กระแสเบสควรมีค่าน้อย ทั้งนี้เพราะจะทำให้สโตเรจใหม่มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นควรจะให้กระแสเบสมีการโอเวอร์ชูดของขอบขาขึ้นของกระแสประมาณ 2 เท่าของกระแสเบสที่สภาวะคงที่ ดังรูปที่ 4.3 จะแสดงลักษณะของกระแสเบสที่จะทำให้การทำงานเหมาะสมสำหรับความเร็วของการสวิตชิงที่ต้องการ ดังนั้นในการออกแบบวงจรขับเกทจึงต้องคำนึงถึงกระแสเบสอย่างเหมาะสม โดยวงจรขับเกทส่วนใหญ่ประกอบด้วย

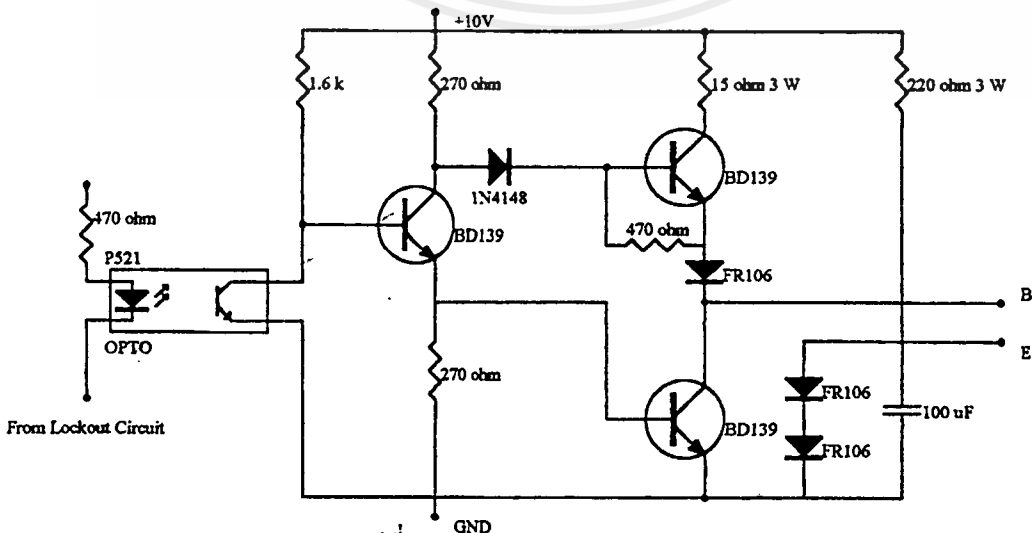
1. ส่วนแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง เพื่อป้องกันการรบกวนและเป็นอันตรายจากไฟแรงดันสูงจากวงจรกำลังโดยใช้ออปโตคัปเปิล (opto couple) ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ P521 และมีการต่อวงจรช่วยในลักษณะที่เพิ่มขีดความสามารถในด้านความเร็ว และให้มีการเลื่อนเฟสระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตให้น้อยที่สุด
2. ส่วนของการให้กระแสไหลย้อนกลับ โดยใช้ไดโอด D2-D4 เร่งการหยุดนำกระแสให้เร็วขึ้น



รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างของกระแสเบสในอุดมคติ

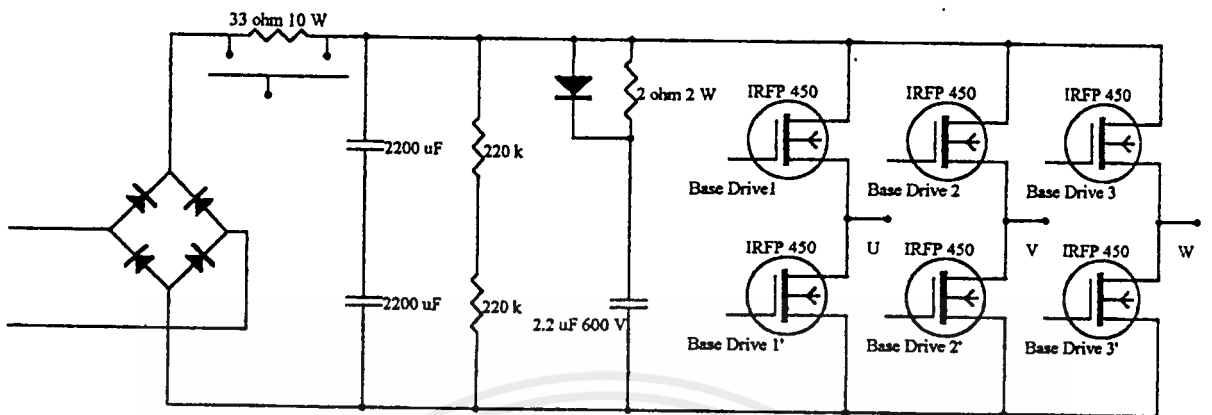
หลักการทํางาน

จากรูป 4.4 เมื่อสัญญาณพีคดับลิวิตเอ็มเข้ามาที่ออปโต-คัปเปิล โดยมี R_1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้กับออปโต-คัปเปิล กระแสที่ไหลเข้าออปโต-คัปเปิลจะไปไบอัสให้แอลอีดี(LED) ที่อยู่ในออปโตคัป และคืบตามสัญญาณพีคดับลิวิตเอ็มที่ป้อนเข้าไป เมื่อแอลอีดีติดไฟโตะทรานซิสเตอร์ (Photo-transister) ที่อยู่ภายในไอซีได้รับการไบอัสให้เกิดการนำกระแส และสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะถูกนำไปขยายสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์ CPN2222A และนำสัญญาณที่ได้จากทรานซิสเตอร์ตัวนี้ผ่านวงจรรีดตันเพื่อทำหน้าที่ขยายกระแสให้สูงขึ้นพอที่จะนำไปขับให้แก่เพาเวอร์สวิทช์ซึ่งได้ โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณพีคดับลิวิตเอ็มแบบ 3 ระดับ (บวก กราวน์ และลบ) ทั้งนี้เพื่อให้แรงคืบซีกกลับ ทำให้เพาเวอร์สวิทช์ซึ่งหยุดทํางานได้เร็วขึ้น จากวงจรจะเห็นว่าสัญญาณซีกกลับนี้จะได้อะโอด D2-D4 นั้นเอง



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรขับเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



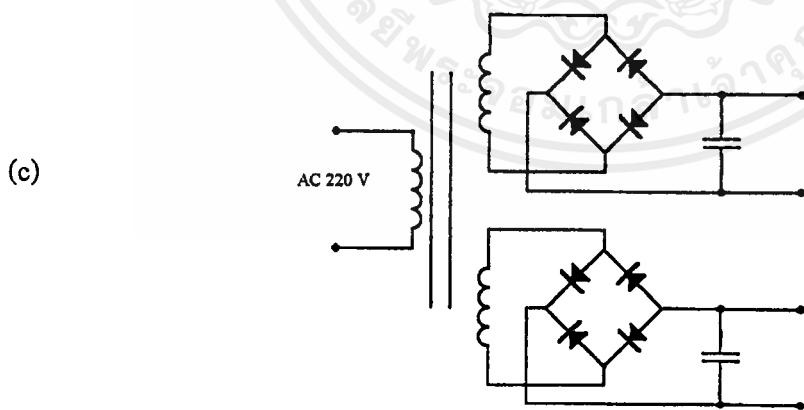
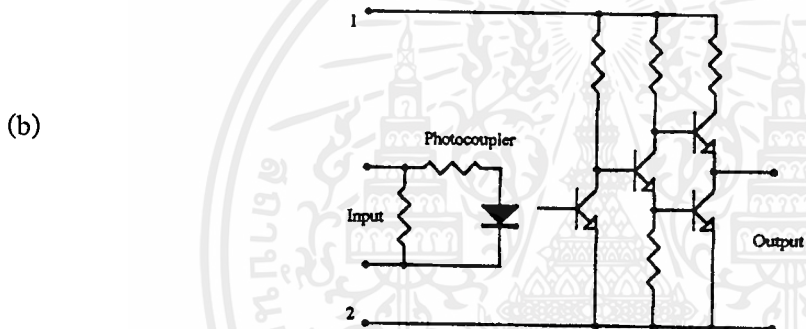
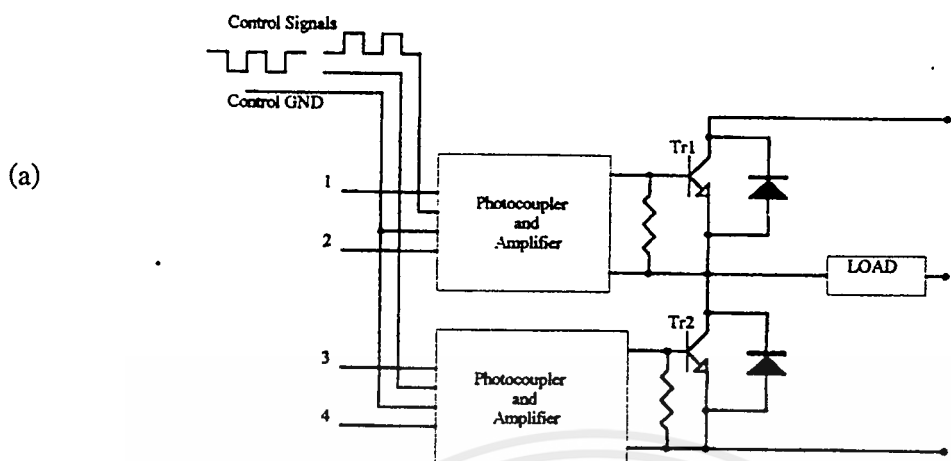
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรขับเคลื่อนทั้ง 6 ชุด

4.2.3 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

เนื่องจากวงจรขับเคลื่อนในโครงการนี้สามารถใช้ในการขับเคลื่อนได้หลายชนิด คือเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์มอสเฟต ไอจีบีที เป็นต้น แต่ในโครงการนี้เลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตมาเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ซึ่ง ซึ่งจะกล่าวถึงโครงสร้างและข้อดี-ข้อเสียของอุปกรณ์ทั้งสามชนิด ดังต่อไปนี้

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Power Transistor)

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ซึ่งได้ โดยนำมาต่อให้ทำงานในย่านอิ่มตัว (Saturation Region) โดยทำหน้าที่เหมือนกับสวิตซ์ปิด-เปิด แต่สัญญาณที่นำมาขับขาเบส(Base) จะต้องมีซิกลอป เพื่อให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สามารถหยุดทำงานได้เร็วขึ้น และทำงานที่ความถี่สูงได้ และมีข้อดีอีกอย่างหนึ่งของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกอย่างหนึ่งคือ ไม่ต้องมีวงจรช่วยหยุดนำกระแสทำให้การควบคุมไม่ยุ่งยาก เพียงแค่ควบคุมกระแสที่จ่ายแก่ขาเบส ก็สามารถควบคุมการนำและหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ และนอกจากนี้ตัวมันยังมีฟรีวิลลิ่งไดโอดต่อขนานกับขาคอลเลคเตอร์(Collector) และ อีมิตเตอร์(Emitter) เพื่อให้ทางเดินของกระแสไหลอย่างต่อเนื่องเมื่อโหลดเป็นชนิดอินดักทีฟโหลด



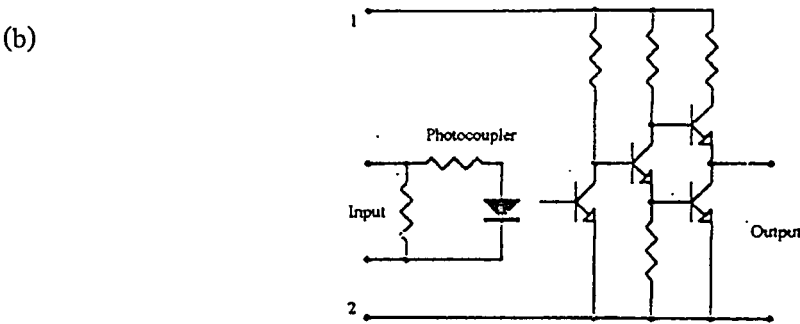
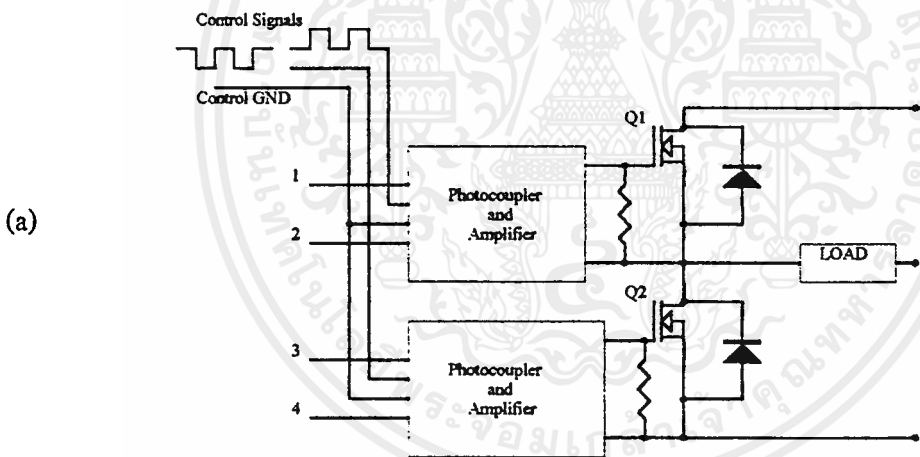
รูปที่ 4.6 (a) แสดงวงจรการต่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรสวิตช์ซึ่ง
 (b) แสดงรูปโฟโตคอปปีเปิด และวงจรขยายสัญญาณ(Amplifier)
 (c) แสดงการแยกระบบกำลัง

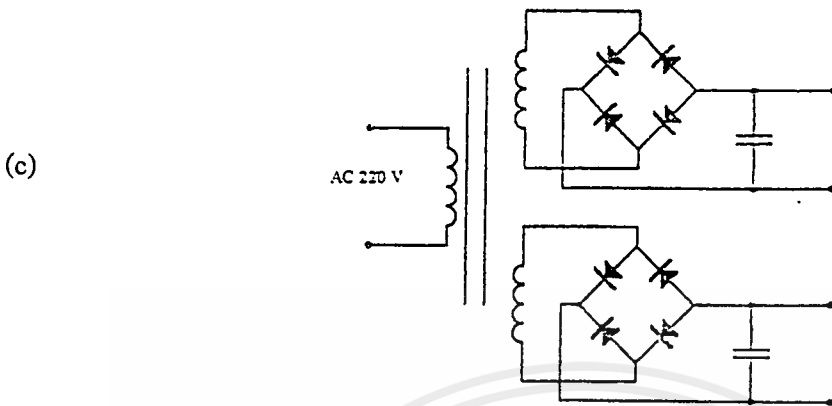
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์มอสเฟต (Power MOSFETs)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งได้ ซึ่งตัวมันมีลักษณะเด่น คือ ขาเกท(Gate) จะถูกแยกออกจากขาซอส (Source) และขาเดรน (Drain) ดังนั้น จึงมีผลให้กระแสไหลไม่มากที่ขาเกท และมอสเฟตยังมีสวิตซ์ซึ่งใหม่ (Switching Time) ดีกว่าทรานซิสเตอร์ เมื่อเทียบที่ขนาดเดียวกัน ส่วนผลตอบสนองของเวลา (Response Time) ในเบื้องต้นจะถูกกำหนดโดยคาปาซิแตนซ์ (Capacitance) ระหว่างขาเกทและขาซอส แม้ว่าในสภาวะเริ่มต้น (Stationary Condition)

กระแสอินพุทจะมีเพียงกระแสรั่วไหลซึ่งน้อยมาก ส่วนกระแสซาร์จและดิสซาร์จจะไหลเนื่องจากการเทิร์นออน (Turning-on) และ เทิร์นออฟ (Turning-off) ในช่วงเวลาที่แน่นอน จะมีผลกระทบต่อความเร็วในการสวิตซ์





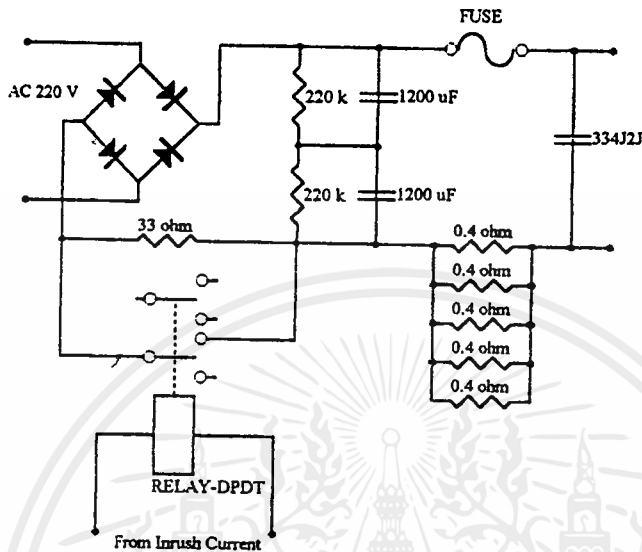
รูปที่ 4.7 (a) แสดงวงจรการต่อเพาเวอร์มอสเฟตเป็นวงจรสวิตชิง
 (b) แสดงรูปโฟโตคัปเปิ้ล และวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)
 (c) แสดงการแยกระบบกำลัง

ไอจีบีที (IGBT ; Insulated-Gate Bipolar Transistor)

ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มีลักษณะเด่น คือ มีความหนาแน่นกระแสสูง ในขณะที่มอสเฟตมีการพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์ที่มีผลตอบสนองด้านแรงดันสูง ซึ่งเหมาะสมในการเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ดังนั้น ไอจีบีที จึงเป็นอุปกรณ์ที่รวมเอาข้อดีของทั้งทรานซิสเตอร์ และมอสเฟตเข้าด้วยกัน

4.2.4 วงจรกรองกระแส (Power filter)

จะทำหน้าที่กรองสัญญาณก่อนจะจ่ายให้ส่วนของวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ ในวงจรนี้ใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าสูงถึง 1,200 ไมโครฟารัดต่ออนุกรมกัน เพื่อให้ได้โวลต์เดจเกกวลชัน (Voltage regulation) ดี ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันดีซีลิงค์



รูปที่ 4.8 วงจรฟิลเตอร์

4.2.5 วงจรป้องกัน

4.2.5.1. วงจรป้องกันกระแสเกิน

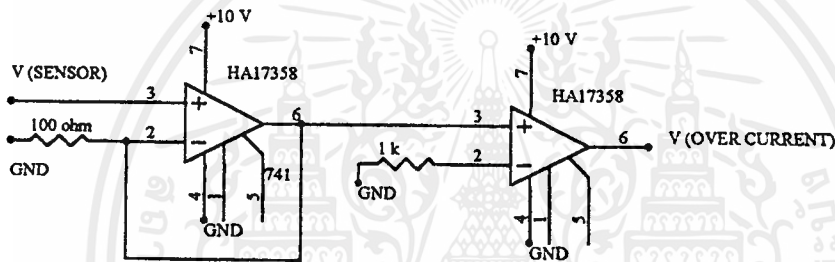
การป้องกันกระแสเกินของวงจรนี้ จะเป็นการป้องกันกระแสเกิน 1.5 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์ ซึ่งการทำงานของวงจรจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของการตรวจจับกระแส ส่วนของการควบคุม และส่วนของวงจรกำลัง

ส่วนของการตรวจจับกระแส

ในที่นี้จะใช้ตัวต้านทานขนาด 0.4 โอห์ม 10 วัตต์ จำนวน 5 ตัวต่อขนานกัน ซึ่งจะมี ความต้านทานรวมเท่ากับ 0.08 โอห์ม ทำหน้าที่ในการตรวจจับ โดยส่วนของวงจรควบคุมจะใช้ แรงดันตกคร่อม ตัวความต้านทานนี้เป็นค่าในการเปรียบเทียบ

ส่วนของการควบคุม

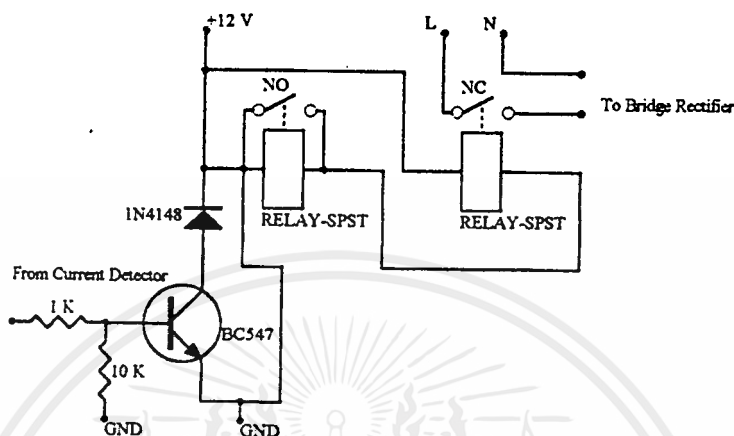
จะประกอบด้วยออปแอมป์(Op-Amp) เบอร์ HA 17358 โดยส่วนแรกทำหน้าที่เป็นวงจร Non-Inverting Amplifier เพื่อทำการขยายแรงดันที่ตกคร่อมตัวคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งในที่นี้จะขยายเพิ่มขึ้น 10 เท่า และส่วนที่สองจะต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้แรงดันอ้างอิงเท่ากับ 5 โวลต์ หลักการทำงานคือ ถ้ากระแสที่ไหลในวงจรไม่เกินกระแสพิกัด ก็จะทำให้มีแรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์จ่ายไปยังส่วนของวงจรกำลัง



รูปที่ 4.9 ส่วนของวงจรควบคุมในวงจรป้องกันกระแสเกิน

ส่วนของวงจรกำลัง

จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ เพาเวอร์รีเลย์ จำนวน 2 ตัว โดยถ้าเกิดกระแสเกินกระแสพิกัด ทำให้มีเอาต์พุต 5 โวลต์ จากส่วนวงจรควบคุมจ่ายเข้ามายังวงจรกำลัง เป็นผลให้เพาเวอร์รีเลย์ทำงาน และจะส่งผลให้หน้าสัมผัสของเพาเวอร์รีเลย์จากออกชุดอินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงาน แต่ในวงจรนี้เราใช้รีเลย์ 1 ตัว ทำหน้าที่ให้หน้าสัมผัสของตัวเองมาต่อวงจร เพื่อให้มีไฟ 12 โวลต์ จ่ายให้กับคอยล์ของตัวเองตลอดเวลา ดังนั้นถ้าต้องการให้ชุดของอินเวอร์เตอร์ทำงานใหม่อีกครั้ง ต้องทำการปิดสวิทช์ของชุดอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการรีเซ็ต ชุดของเพาเวอร์รีเลย์จึงจะเริ่มทำงานใหม่อีกครั้ง



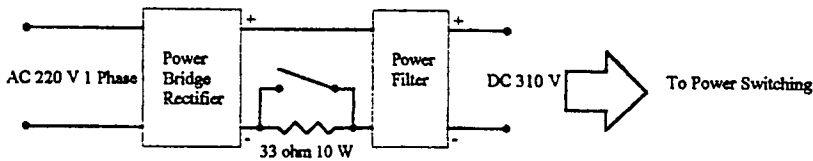
K_1 คือ คอยล์ของรีเลย์

K_2 คือ คอยล์ของเพาเวอร์รีเลย์

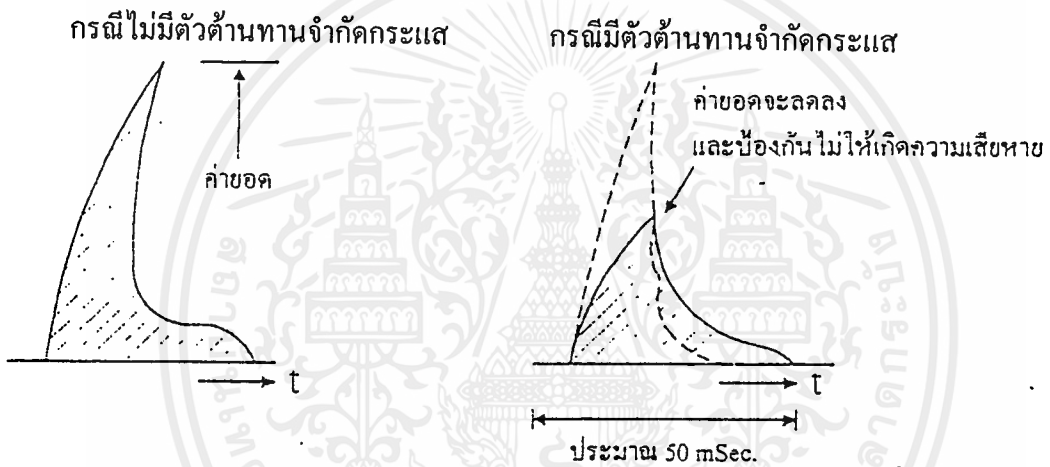
รูปที่ 4.10 ส่วนของวงจรกำลัง

4.2.5.2. วงจรป้องกันกระแสอินรัช (Inrush Current Protection)

เมื่อเราเปิดสวิตช์ของชุดอินเวอร์เตอร์เป็นครั้งแรก จะมีการชาร์จ(charge) ประจุให้แก่คอนเดนเซอร์ของชุดวงจรฟิลเตอร์(filter) ซึ่งจะมีขนาดใหญ่ ทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลพุ่งเข้าสู่วงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแสอินรัช (Inrush current) โดยใช้ตัวต้านทานมาต่อในวงจรเพื่อจำกัดกระแส ในตอนเริ่มเปิดเครื่อง และเมื่อมีการให้ประจุแก่ตัวคอนเดนเซอร์จนเต็มแล้ว จึงทำการลัดวงจรเพื่อตัดตัวต้านทานออกจากวงจรโดยอาศัยเพาเวอร์รีเลย์ (Power relay) ซึ่งจะทำให้การลัดวงจรตลอดการทำงานของอินเวอร์เตอร์จนกว่าการปิด และทำการเปิดเครื่องขึ้นมาใหม่ก็จะทำงานอีกครั้ง สาเหตุที่เราต้องทำการลัดวงจรตัวต้านทาน เนื่องจากความต้านทานที่เราใช้มีค่า 30 โอห์ม 10 วัตต์ ทำให้แรงดันตกคร่อมที่ตัวความต้านทาน ก่อให้เกิดการสูญเสียในรูปของความร้อน และยังส่งผลต่อเอาต์พุทของชุดเพาเวอร์สวิตซ์ซึ่ง คือ รูปคลื่นจะเกิดการผิดเพี้ยน และถ้าต่อโหลดมอเตอร์อยู่กับชุดอินเวอร์เตอร์จะทำให้แรงบิดเริ่มต้นลดลง



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรกำจัดกระแสอินรัช



รูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นกระแสอินรัช

(a) กรณีไม่มีตัวต้านทานจำกัดกระแส (b) กรณีมีตัวต้านทานจำกัดกระแส

4.3 ส่วนของวงจรควบคุม

4.3.1. ส่วนของหน่วยประมวลผล CPU 8031

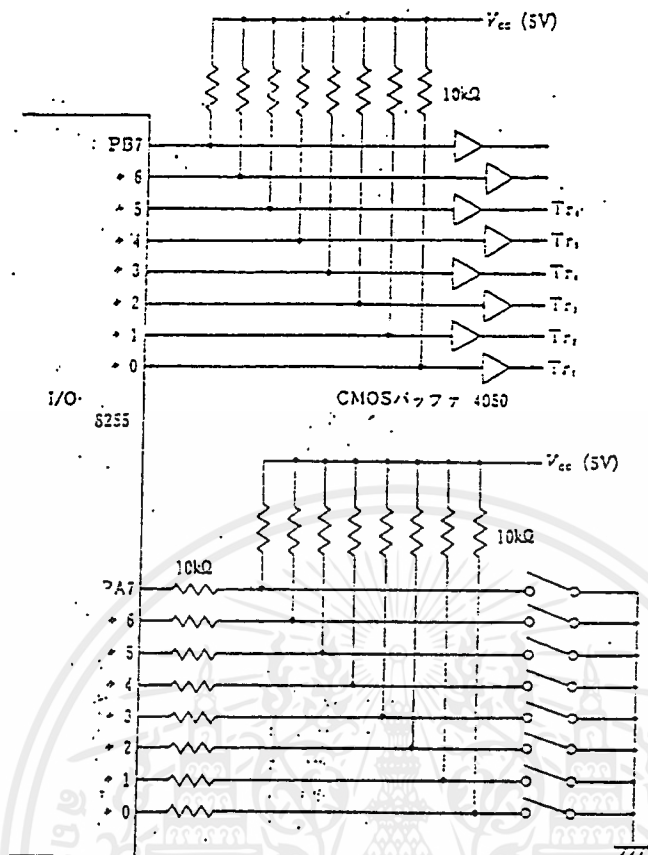
ในปริญญาโทฉบับนี้ได้มีการนำไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เบอร์ 8031 ซึ่งเป็น 8 บิตไมโครโปรเซสเซอร์ มาเป็นคอนโทรลเลอร์ (Controller) และชนิดหรือรูปแบบของอินเวอร์เตอร์เราได้ใช้วิธี SPWM อินเวอร์เตอร์ (Sinusoidal Pulse-Width Modulation)

จากในรูปที่ 4.13 แสดงวงจรจาก CPU 8031 ไปยังพอร์ตของ 8255 เราได้กำหนดให้พอร์ต A (address FC) เป็นอินพุตพอร์ต

จากในรูปที่ 4.14 แสดงวงจรจากพอร์ตเอาต์พุต และได้ใช้บัฟเฟอร์ #4050 เป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งเป็น IC แบบ CMOS และคุณสมบัติของบัฟเฟอร์ คือ

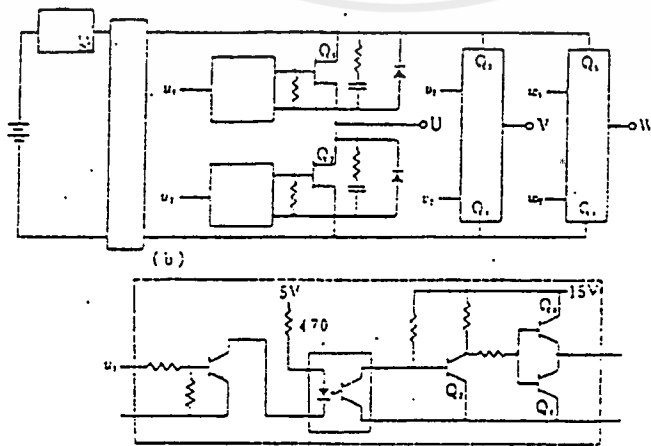
- สภาวะ H.V. จะต้องสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 1 mA.
- สภาวะ L.V. จะต้องสามารถดูดซับกระแสได้ถึง 2 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงวงจรการต่อจาก พอร์ต I/O

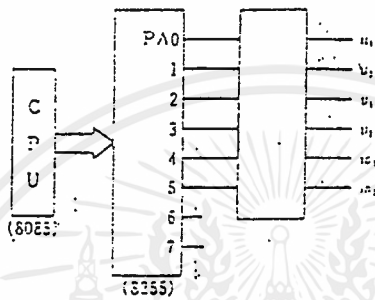
หลังจากส่วนของบัพเฟอร์เป็นต้นไป จะขึ้นอยู่กับชนิดของอินเวอร์เตอร์ สิ่งสำคัญที่สุดจะต้องให้กระแสบัพเฟอร์ที่ไหลจะต้องอยู่ในช่วงของมันและสามารถทำงานได้ไม่เกินอัตราบัพเฟอร์ เพราะว่า $I_c \propto I_b$ และวงจรของอินเวอร์เตอร์ได้ใช้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นตัวสวิตซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

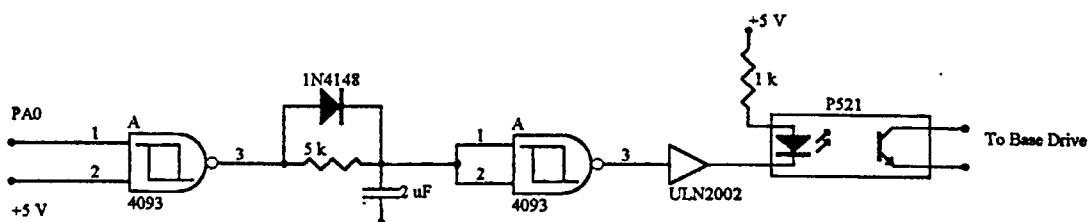
จากรูปที่ 4.15 เมื่อสัญญาณจาก u_1 ไปทำให้เอาต์พุตเป็น H.V. ไฟที่ LED ที่อยู่ในออปโต จะติดทำให้ Q_8-O_1 , Q_9-OFF จะทำให้ Q_1-O1 , Q_2-OFF ถ้าเอาต์พุตเป็น L.V. LED จะดับ ทำให้ Q_8-O1 , Q_7 และ Q_9-O1 ฉะนั้นทำให้ Q_1-OFF , Q_2-O1 โดยใช้พอร์ต B (address FD) สำหรับ สัญญาณสวิทช์ที่ส่งผ่านไปให้วงจรอินเวอร์เตอร์ส่งออกเอาต์พุต แล้วส่งไปที่สวิทช์ดีไวต์ Q_1-Q_6 แสดงวงจรดังในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 Block diagram ของการต่อ 8255 กับ 8031

4.3.2. วงจรหน่วงเวลา (Dead Time Circuit)

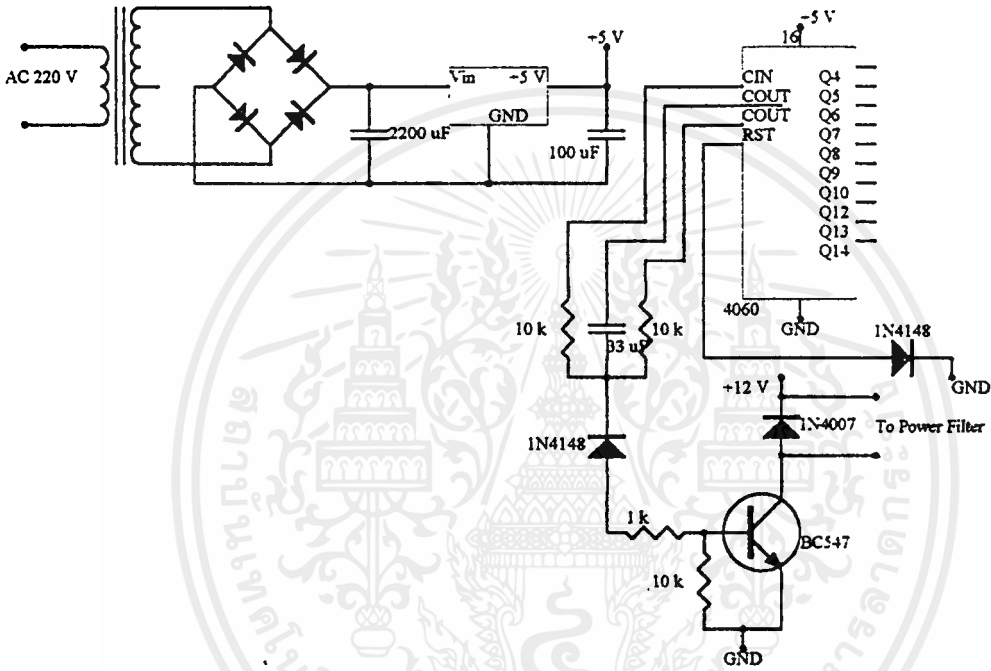
เป็นวงจรที่จะแยกสัญญาณที่จะนำไปควบคุมเพาเวอร์มอสเฟตตัวบน และตัวล่างในกึ่งเดียวกันของบริดจ์อินเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 4.17 โดยสัญญาณที่จะไปควบคุมเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวในกึ่งเดียวกันนั้นจะกลับเฟสซึ่งกันและกัน เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวนั้นทำงานสลับกันไป ซึ่งสัญญาณที่ไปควบคุมเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวนั้นต้องมีการสร้างเดดไทม์(Dead Time) เพื่อไม่ให้เพาเวอร์มอสเฟตเกิดการชอร์ตทู (Short through) โดยผ่านวงจรเดดไทม์ดังแสดงในรูปที่ 4.18



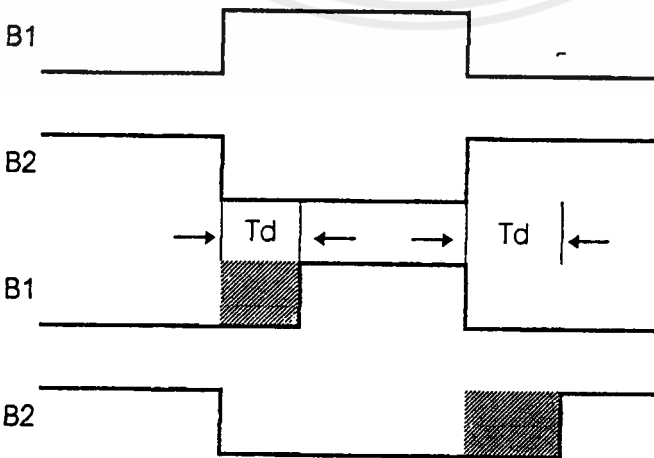
รูปที่ 4.17 แสดงวงจรสร้างสัญญาณกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางทฤษฎีพบว่าถ้าค่าของเดคโทม์สูงจะทำให้แรงดันมูลฐานมีค่าลดลงไปจากเดิม และมีผลทำให้ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) อันดับต่ำมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการกำหนดค่าเดคโทม์ควรกำหนดให้มีค่าที่เหมาะสม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า t_f, t_s ของเพาเวอร์ MOSFET ดังนั้นจากการทดลองค่าที่เหมาะสมได้เลือกค่าประมาณ $10 \mu s$ ซึ่งสามารถตั้งค่าได้จากค่าคงที่ของเวลา RC ที่อยู่ในวงจรรูปที่ 4.17

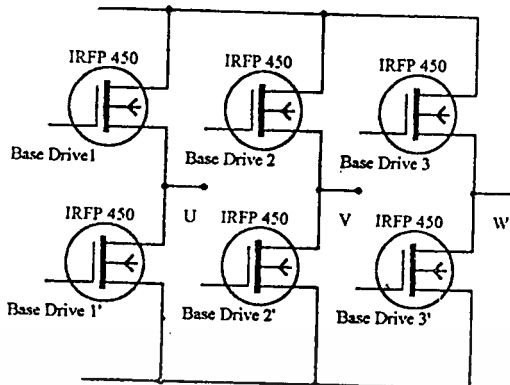


(a) วงจรควบคุมกระแสอินรีช



(b) สัญญาณเมื่อมีการสร้างเดคโทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกระบวนงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) การนำวงจรล๊อคเอาต์ต่อเข้ากับวงจรเบสไดท์

รูปที่ 4.18 แสดงหลักการสร้างวงจรเคดใหม่และวงจรควบคุมกระแสอินรัช

4.4 การออกแบบวงจร

ถ้าใช้ Power Transistor เป็น Power Module ค่านี้จะอยู่ที่ประมาณ $40\mu s$ เราสามารถที่จะลดหรือเพิ่มค่า t_d นี้ โดยเพิ่มหรือลดค่า R (ซึ่งง่ายกว่าเพิ่มหรือลดค่า C) ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับ t_{off} ของ Power Transistor เป็นหลัก

1. ถ้ามีการสร้างสัญญาณ 30 แต่ A,B,C สามารถที่จะสร้าง $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ ได้โดยการต่อจุด 2 จุดนี้เข้าด้วยกัน (ป้อนเฉพาะ \bar{A} ก็จะได้ A)
2. ค่า R ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ I_f ของ LED ใน Opto Couple โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 10-15 mA.
3. NAND GATE ถ้าใช้ไฟเลี้ยง +5V ให้ใช้เบอร์ 74 HCT4093 และถ้าเป็น +12V ใช้เบอร์ CD4093
4. Opto-Couple driver ใช้เบอร์ ULN 2002
5. R และ C สำหรับกำหนดค่า t_d (delay time) เพื่อสร้าง Over lapping Protection โดยทั่วไป

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลอง

จากหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดแล้วนั้น สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในปริภูมิพันธะฉบับนี้เป็นการควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายในช่วง 15-99 Hz. โดยใช้หลักการแบบแรงดันต่อความถี่คงที่ ซึ่งหลักการนี้มีผลทำให้ทอร์คมีค่าคงที่ด้วย โดยในส่วนต่างๆ ทั้งหมดเราจะทำการทดลองโดยแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ทดสอบลักษณะของแรงดันต่อเฟสของมอเตอร์
2. ทดสอบลักษณะของกระแสของมอเตอร์

มอเตอร์ มีพิกัดต่างๆ ดังนี้

พิกัดแรงดัน 380/220 Y - Δ พิกัดกำลัง 1 Hp. พิกัดความถี่ 50 Hz.

พิกัดกระแส 2.2/3.5 Y - Δ พิกัดความเร็ว 1410 rpm.

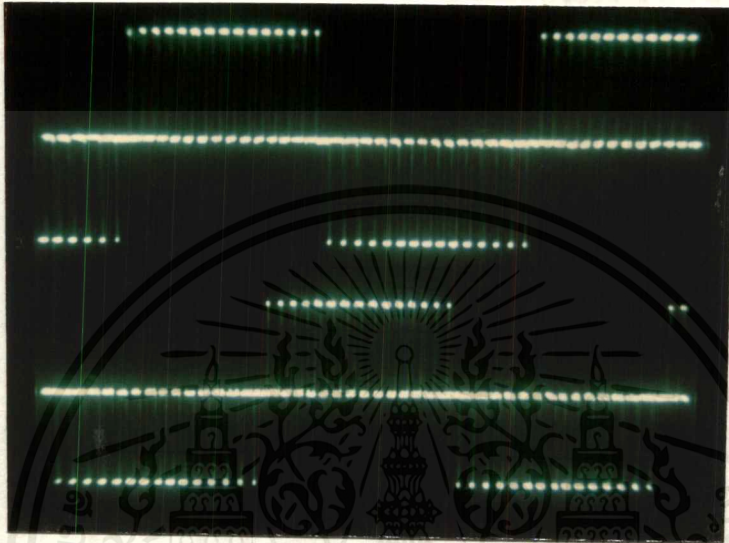
1. ทดสอบลักษณะของแรงดันต่อเฟสของมอเตอร์
2. ทดสอบลักษณะของกระแสของมอเตอร์

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

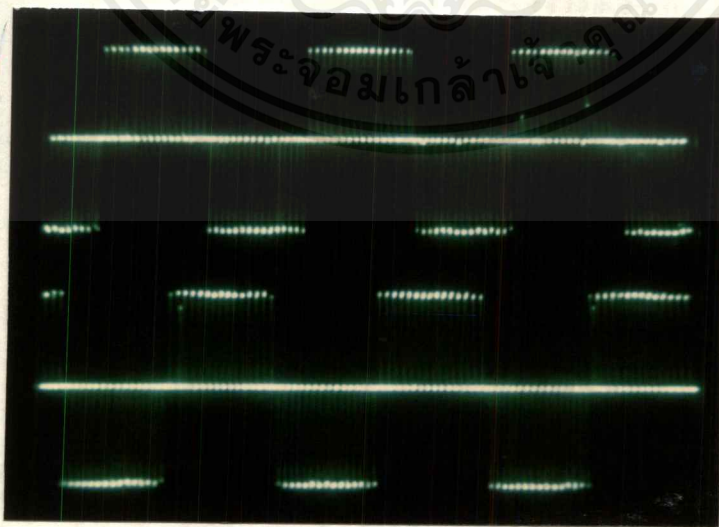
- Ammeter YEW.
- Voltmeter YEW.
- เครื่อง Power Meter FLUKE 39
- Oscilloscope Iwatsu SS-5702 DC - 20 Mhz.
- Oscilloscope HAMEG. Storagescope.

5.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองลักษณะต่างๆ ของมอเตอร์ สามารถทำการเก็บและแสดงผลการทดลองได้ต่อไปนี้

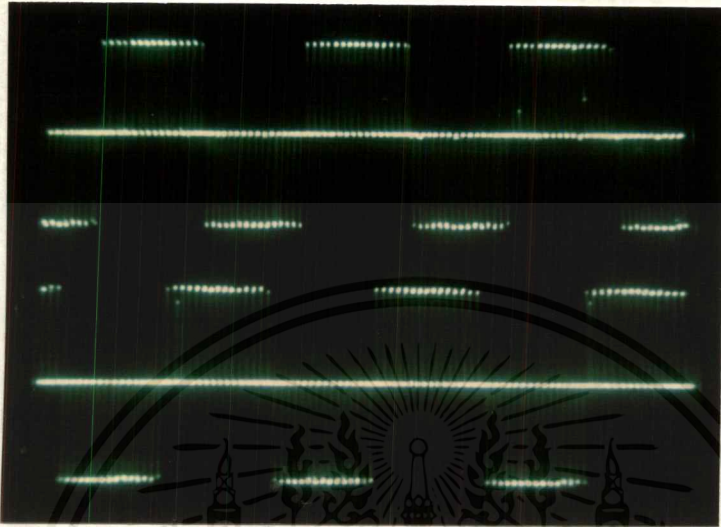


รูปที่ 5.1 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิฟท์ที่ความถี่ 15 Hz

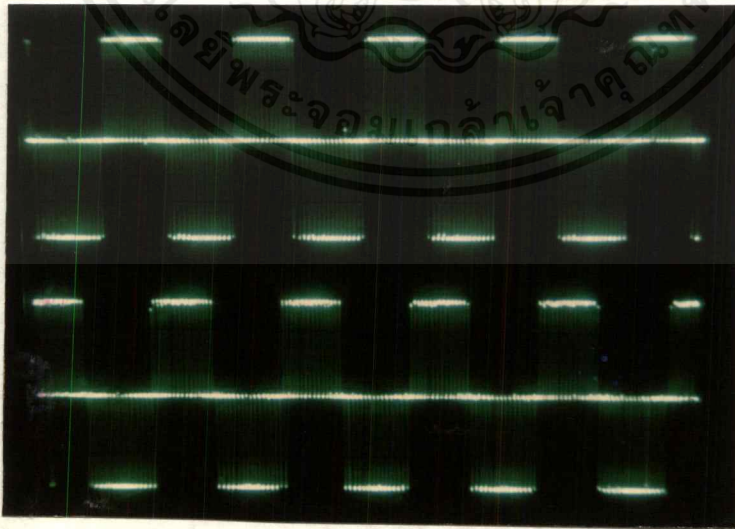


รูปที่ 5.2 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับลิฟท์ที่ความถี่ 30 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

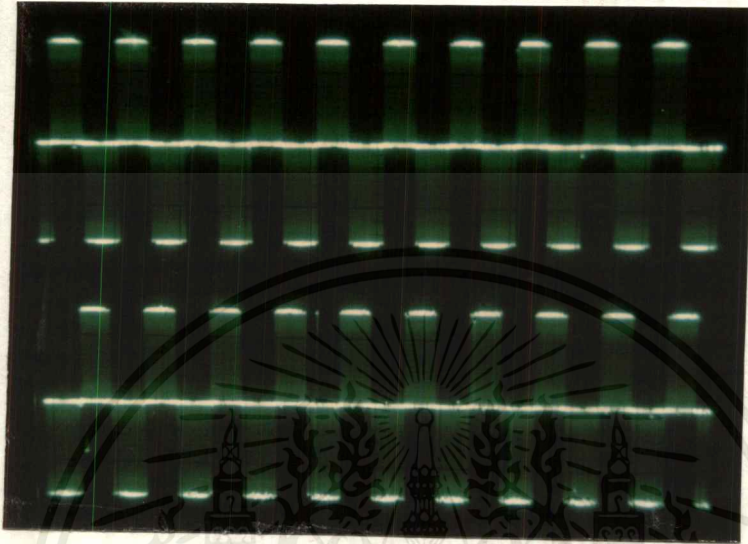


รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz

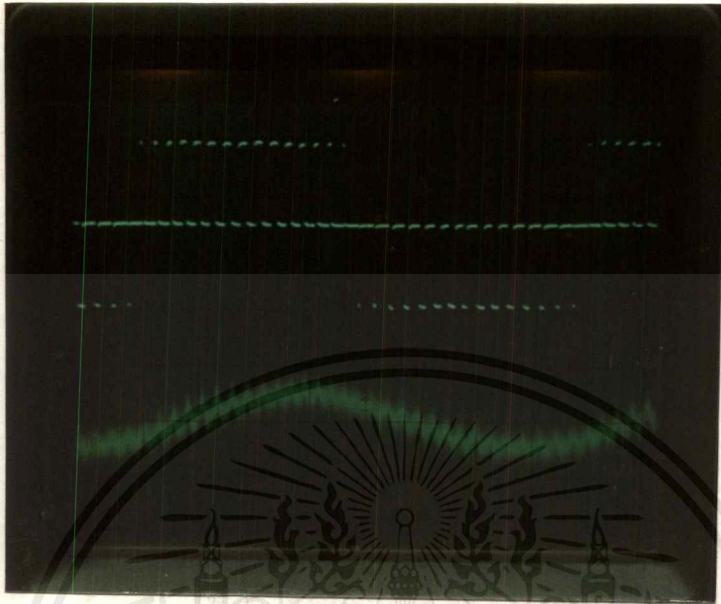


รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 70 Hz

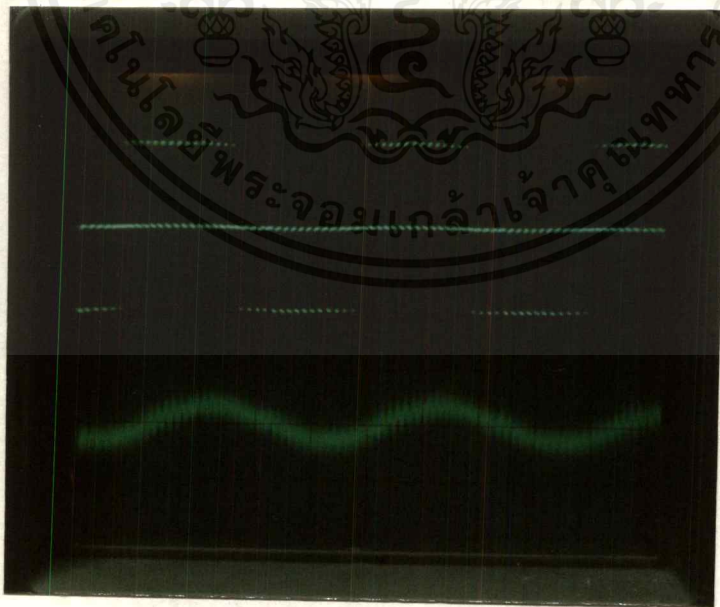
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันพีคดับเบิลที่ความถี่ 99 Hz

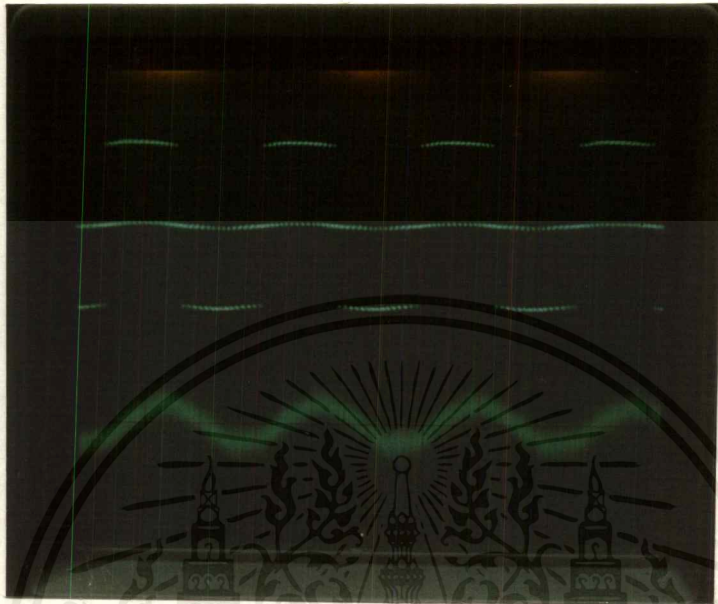


รูปที่ 5.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 15 Hz (No-Load)

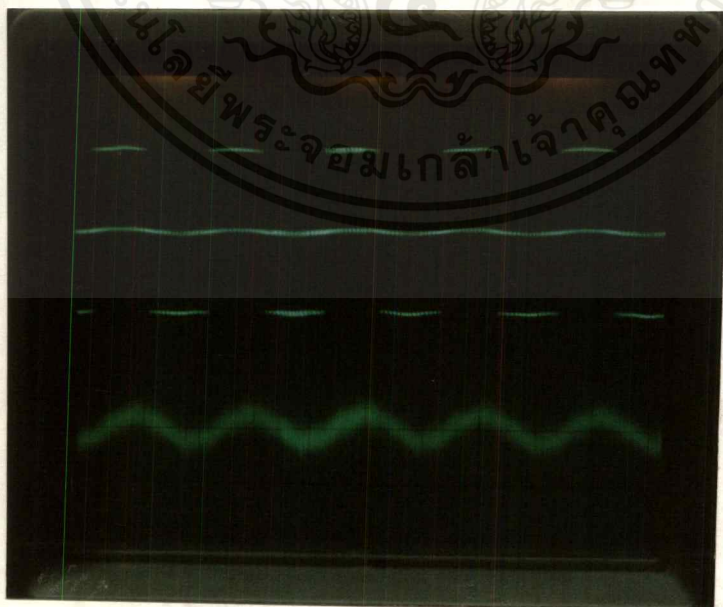


รูปที่ 5.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 Hz (No-Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

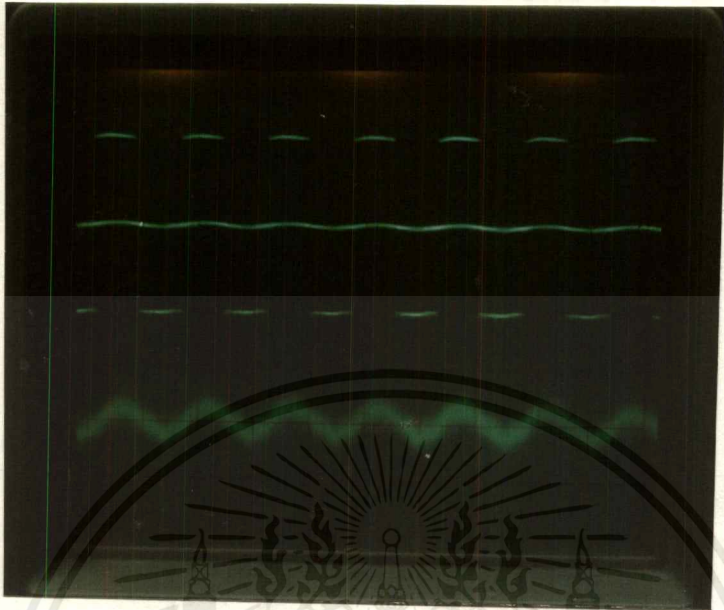


รูปที่ 5.8 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 Hz (No-Load)

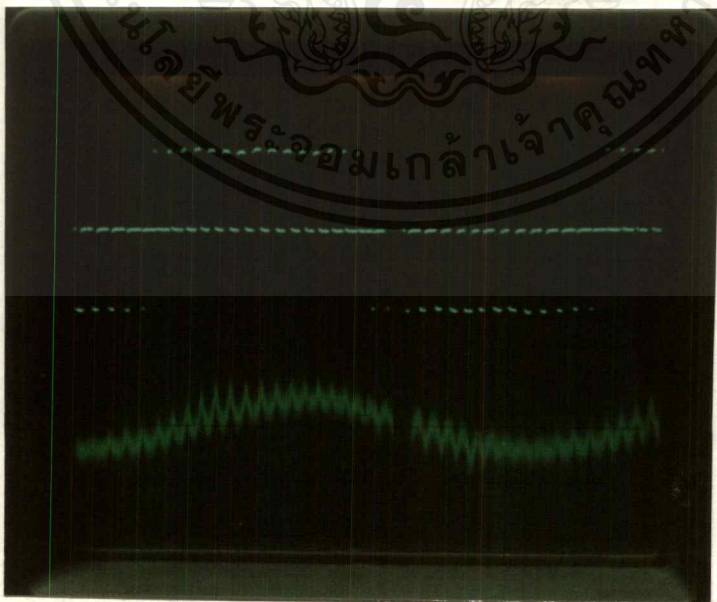


รูปที่ 5.9 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 70 Hz (No-Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

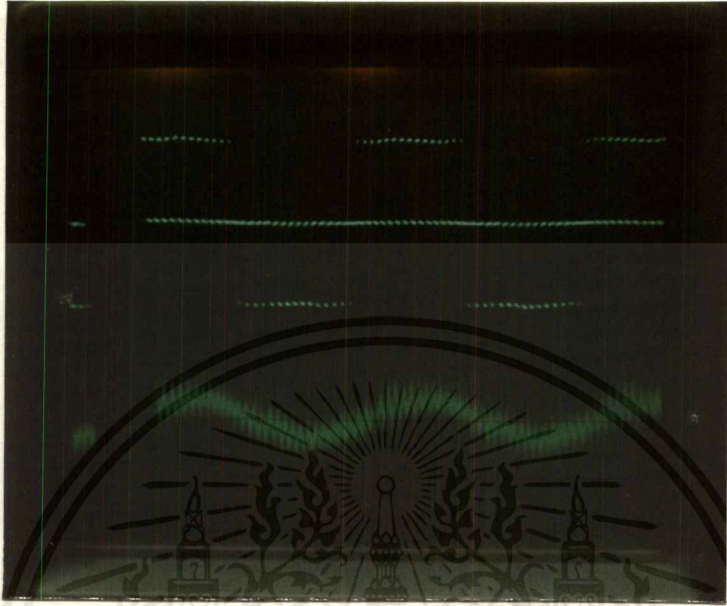


รูปที่ 5.10 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 99 Hz (No-Load)

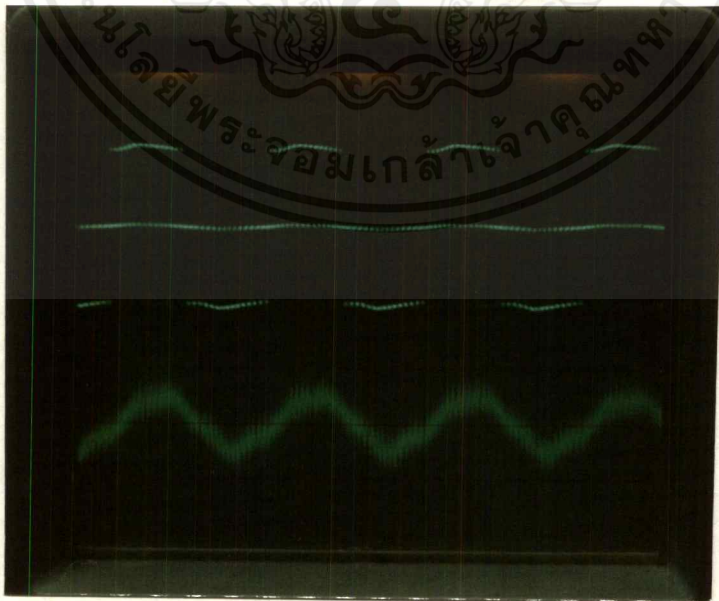


รูปที่ 5.11 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 15 Hz (Load 0.5 Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

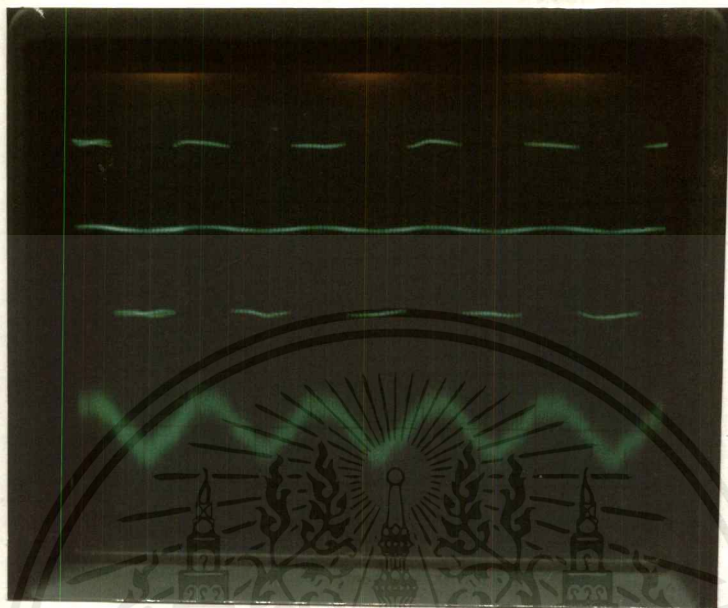


รูปที่ 5.12 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 Hz (Load 0.5 Kg)

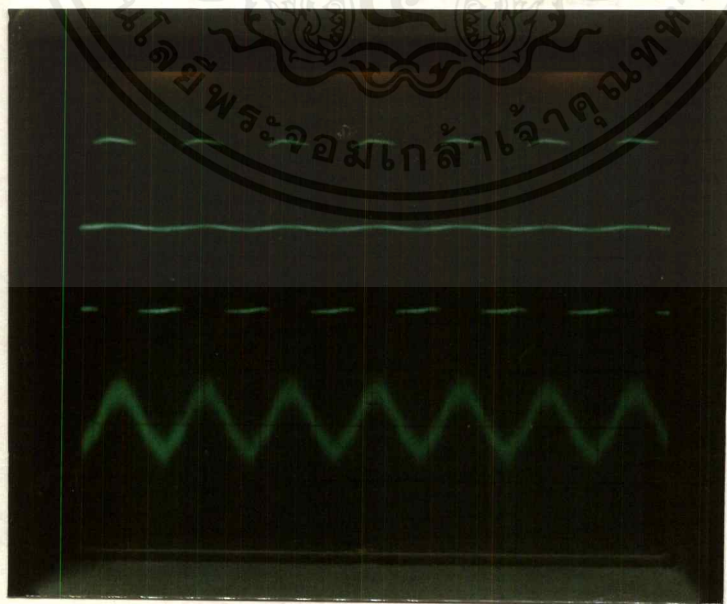


รูปที่ 5.13 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 Hz (Load 0.5 Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

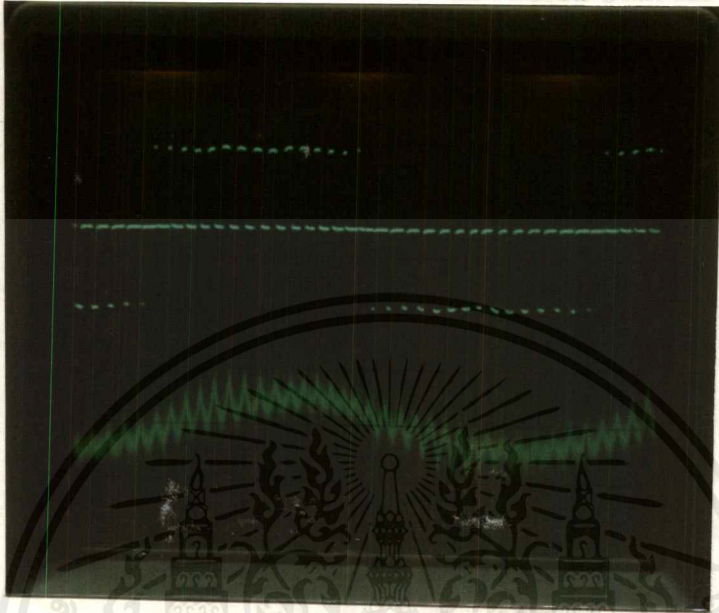


รูปที่ 5.14 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 70 Hz (Load 0.5 Kg)

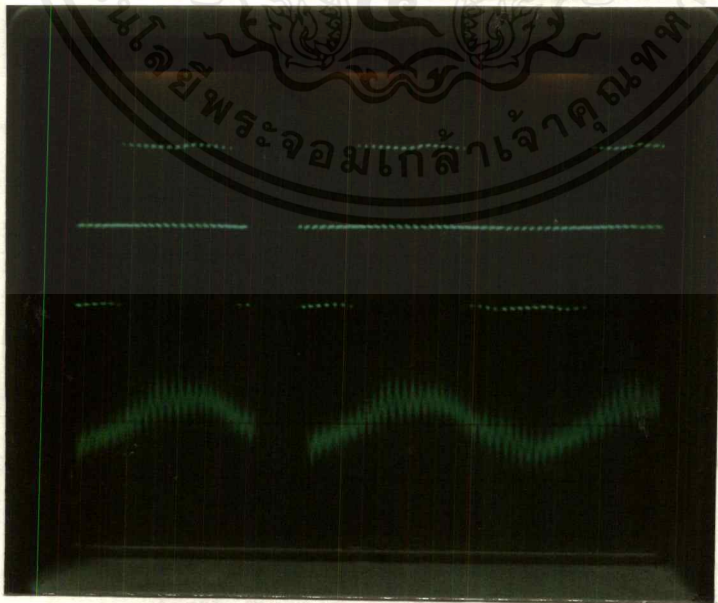


รูปที่ 5.15 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 99 Hz (Load 0.5 Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 15 Hz (Load 1.0 Kg)

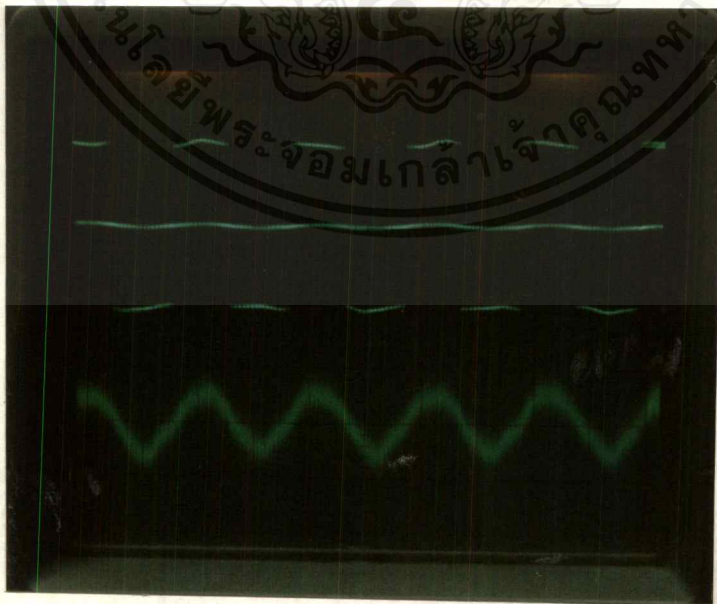


รูปที่ 5.17 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 Hz (Load 1.0 Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

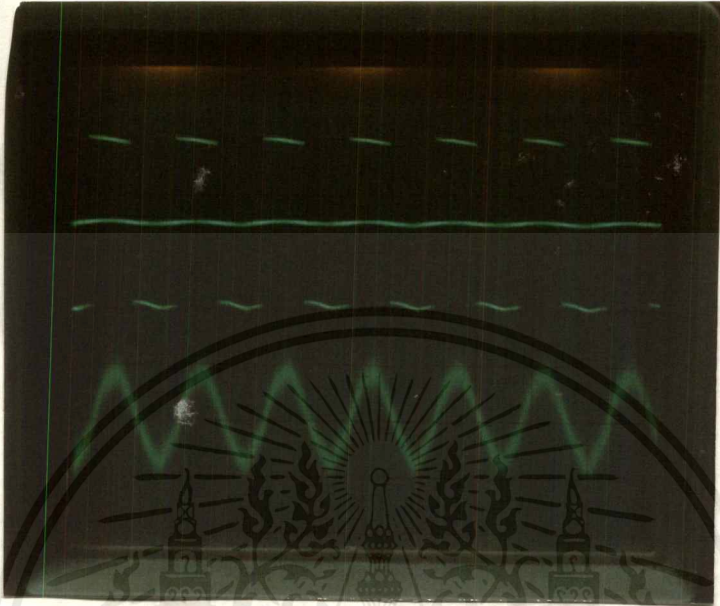


รูปที่ 5.18 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 Hz (Load 1.0 Kg)

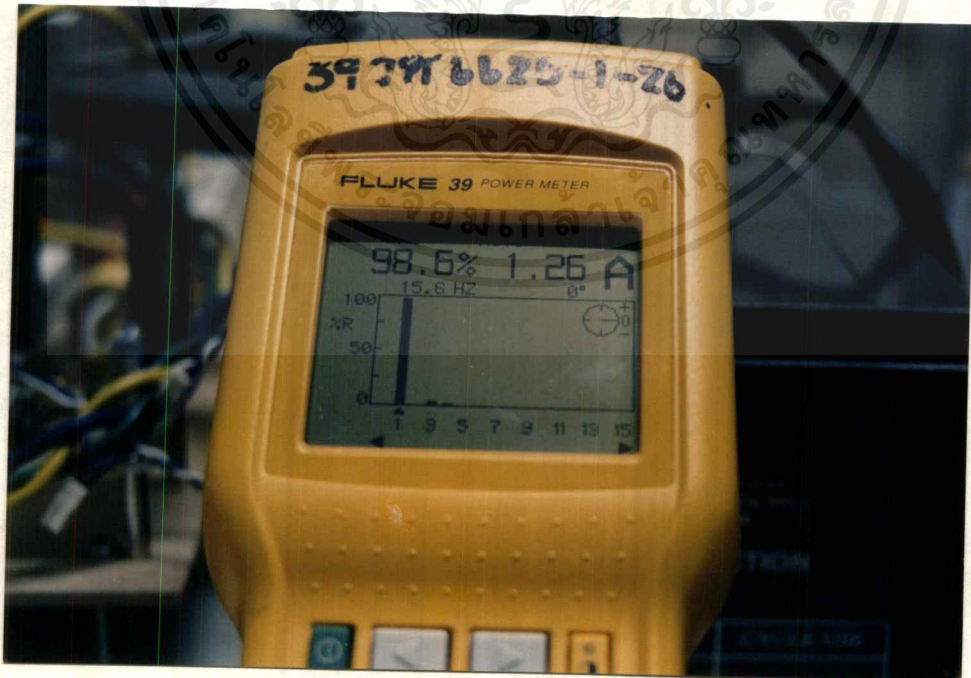


รูปที่ 5.19 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 70 Hz (Load 1.0 Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันต่อเฟสและกระแสไลน์ที่ความถี่ 99 Hz (Load 1.0 Kg)

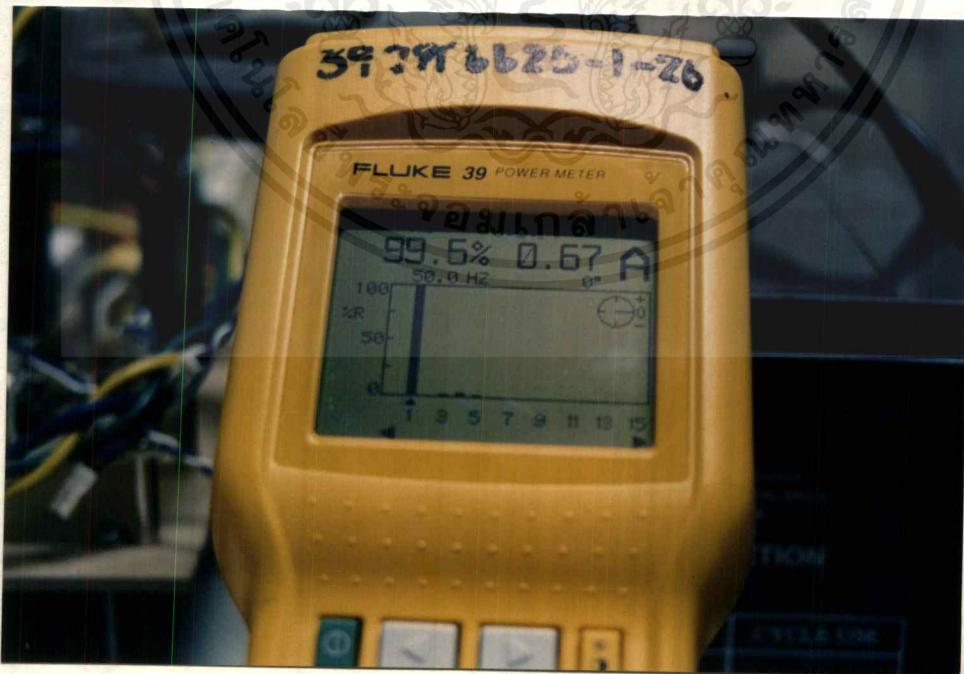


รูปที่ 5.21 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ ที่ความถี่ 15 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ ที่ความถี่ 30 Hz.



รูปที่ 5.23 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ ที่ความถี่ 50 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ ที่ความถี่ 70 Hz.



รูปที่ 5.25 แสดงสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ ที่ความถี่ 99 Hz.

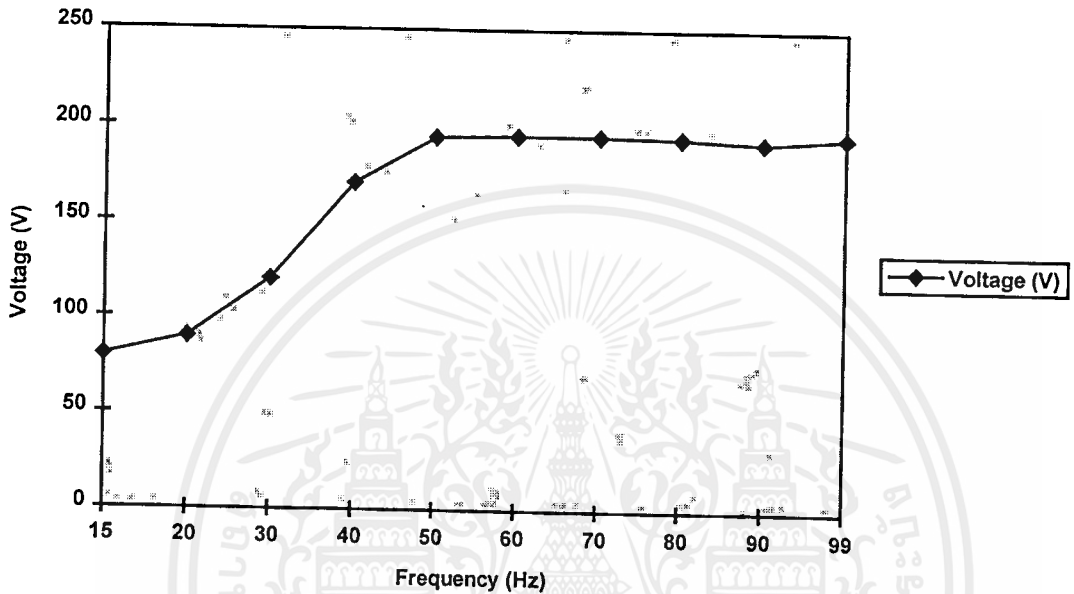
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์

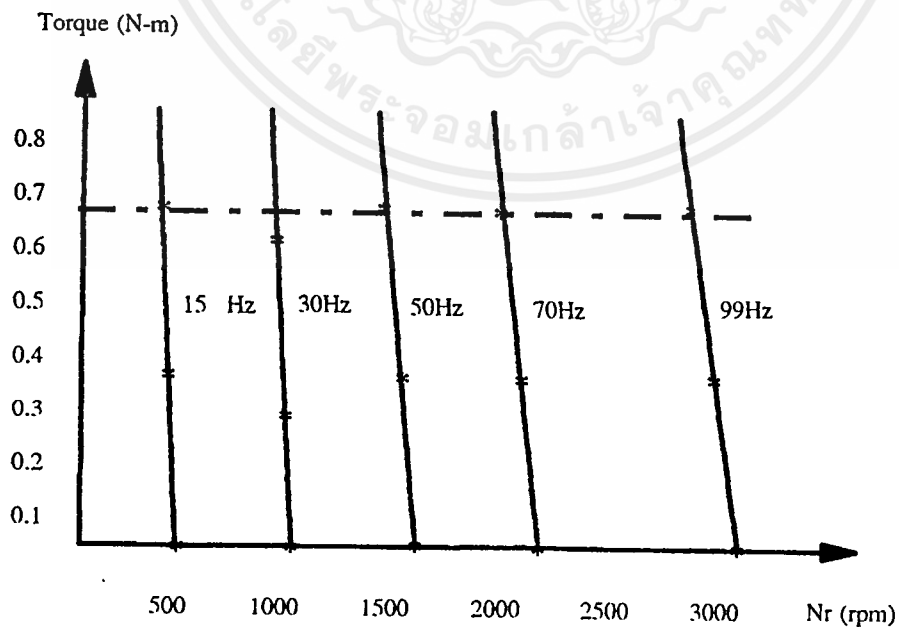
สภาวะการทดลอง	f (Hz)	N _s (rpm)	N _r (rpm)	I _{dc} (A)	I _{ac} (A)		V _{LL} (V)	Slip	T (N-m)	P _{input}	P _{output}	% Eff.
					Input	Output						
No load			468	0.3	0.6	1.1	80	-	-	93	47	50.53
On load 0.5 kg.	15.6	468	454.8	0.4	0.75	1.2	76	0.0282	0.3136	124	90	72.58
On load 1.0 kg.			444.4	0.55	1.05	1.2	75	0.0504	0.6272	170.5	125	73.31
No load			900	0.3	0.75	1.4	125	-	-	93	70	75.26
On load 0.5 kg.	30	900	889.9	0.4	1.1	1.45	122.5	0.0111	0.2508	124	105	84.67
On load 1.0 kg.			881.3	0.5	1.4	1.5	120	0.0211	0.5801	155	132	85.16
No load			1500	0.38	0.9	1.4	197	-	-	117.8	90	76.40
On load 0.5 kg.	50	1500	1487	0.6	1.55	1.5	195	0.0086	0.3136	186	150	80.64
On load 1.0 kg.			1476	0.8	2.0	1.6	192	0.0160	0.6272	248	205	82.66
No load			2100	0.4	1.15	0.98	195	-	-	124	93	75.00
On load 0.5 kg.	70	2100	2073	0.7	1.84	1.2	193	0.0218	0.3136	217	170	78.34
On load 1.0 kg.			2046	0.95	2.45	1.6	192	0.0257	0.6428	294.5	235	79.79
No load			2970	0.4	1.1	0.7	195	-	-	124	90	72.58
On load 0.5 kg.	99	2970	2870	0.95	2.5	1.4	193	0.0336	0.3136	294.5	220	74.70
On load 1.0 kg.			2740	1.5	3.6	2.2	190	0.0774	0.6272	465	355	76.34

ตารางที่ 5.2 ตารางค่าแรงดันต่อความถี่

f (Hz.)	15	20	30	40	50	60	70	80	90	99
Voltage (V)	80	90	120	170	194	195	195	194	192	195



รูปที่ 5.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันและความถี่ จากการทดลอง



รูปที่ 5.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงบิดกับความเร็วรอบ จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณ

Frequency (Hz)	%THD
15	16.7
30	14.3
50	13.8
70	14.2
99	13.5

หมายเหตุ ค่า %THD มาตรฐานที่ยอมรับได้ของ IEC เท่ากับ 15 %



บทที่ 6

สรุปผลและวิจารณ์

6.1 บทวิจารณ์

เมื่อได้ทำการศึกษาและทดลองการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้เทคนิคแบบพีคดับลิฟต์เอ็ม จากผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างเป็นที่น่าพอใจซึ่งให้ผลทางปฏิบัติสอดคล้องกับผลในทางทฤษฎีที่ได้จากการวิเคราะห์ คุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบอินเวอร์เตอร์นี้สามารถยืนยันได้ว่าเทคนิคนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในโครงการนี้ใช้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณพีคดับลิฟต์เอ็ม เพื่อไปควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งค่อนข้างจะมีความถูกต้องและแน่นอนกว่าการใช้วงจรถอดออก ทำให้การควบคุมหรือการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นไปตามต้องการและสามารถทำได้โดยง่าย แต่กระนั้นก็ยังคงมีบางส่วนของวงจรที่เราใช้เป็นวงจรถอดออก ซึ่งก็ทำให้พบปัญหาบ้าง

ปัญหาต่างๆ ที่มักจะเกิดขึ้นในการทำงานก็คือ ในส่วนของวงจรสร้างเคดไทม์ที่เป็นอนาล็อก และในวงจรกำลัง 3 เฟส โดยในส่วนของวงจรสร้างเคดไทม์นั้นตัวไอซี CMOS นั้นมักจะเกิดปัญหาในการทำงานเมื่อระบบจ่ายกระแสไหลสูง หรือเกิดการกระชากของกระแสในช่วงที่เปลี่ยนความถี่ สำหรับวงจรกำลังในส่วนของวงจรป้องกันพบว่าการทำงานของวงจรไม่มีเสถียรภาพ เพราะกรณีที่เกิดการลัดวงจร บางครั้งก็ตัดวงจรทันทีและบางครั้งก็ตัดไม่ทัน โดยในกรณีเช่นนี้ถ้ามีการใช้อุปกรณ์ที่มีความไวในการตรวจจับสัญญาณก็คงจะสามารถทำงานได้มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

สำหรับในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นแบบ 8 บิต ทางผู้จัดทำมีความเห็นว่าตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ยังมีความเร็วในการประมวลผลช้าเกินไป ทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานในรูปของการประมวลผลของสัญญาณ PWM แบบ Real Time ทางผู้จัดทำจึงใช้การทำงานเป็นแบบ Look up Table ของการเปลี่ยนความถี่ อย่างไรก็ตามแม้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้จะมีข้อจำกัดในการทำงาน แต่มันยังเป็นรุ่นที่นิยมใช้กันอยู่ในท้องตลาดและในปัจจุบัน ดังนั้นจึงเป็นการดีที่เราสามารถเอาข้อดีของมันมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้

ในการทดสอบมอเตอร์จะเห็นว่าค่าที่เราวัดได้นั้น ไม่ใช่ค่าจริงที่เกิดขึ้น เพราะค่าแรงดันและกระแสในขณะนั้นมีความถี่สูงกว่าความถี่ใช้งานของเครื่องวัด ซึ่งถ้าต้องการค่าที่ถูกต้องแท้จริงของสัญญาณเราจะต้องใช้สตอร์เรจสโคปมาจับสัญญาณ ส่วนผลการทดลองที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับในทางทฤษฎี จะได้ผลค่อนข้างน่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 บทสรุป

จากการศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติของการควบคุมมอเตอร์ โดยใช้เทคนิคการมีอดคูเลทแบบพีดับบลิวเอ็ม เพื่อนำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์ชนิดโวลต์เตจเซอร์ส ซึ่งในขั้นแรกของการศึกษาได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีของการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาถึงวงจรกำลังที่ใช้ในการขับสัญญาณ เพื่อนำไปขับให้แก่เพาเวอร์มอสเฟตที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยในการศึกษาระบบต่างๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

1. ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำและลักษณะการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งควบคุมได้โดยการปรับความถี่ของสัญญาณขาขึ้นที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยใช้หลักการคงที่ของแรงดันต่อความถี่ในการควบคุม
2. ได้ศึกษาถึงการปรับความถี่ของสัญญาณขาขึ้นที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนความถี่สามารถสร้างได้จากการสวิทซ์ซิ่งของเพาเวอร์มอสเฟตและการที่เพาเวอร์มอสเฟตสามารถสวิทซ์ซิ่งได้ เกิดจากการป้อนสัญญาณพีดับบลิวเอ็มให้กับเพาเวอร์มอสเฟต
3. ได้ศึกษาถึงหลักการสร้างสัญญาณขาขึ้นและสัญญาณสามเหลี่ยม โดยเก็บข้อมูลไว้ในตัวเก็บโปรแกรม เพื่อทำให้เกิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มต่อไป และจะนำสัญญาณพีดับบลิวเอ็มนี้ไปป้อนให้แก่เพาเวอร์มอสเฟต เพื่อทำให้เกิดการสวิทซ์ซิ่งดังกล่าวข้างต้นนั่นเอง
4. สำหรับการเปลี่ยนขนาดแรงดันของสัญญาณขาขึ้นอ้างอิง จะมีผลต่อจำนวนพัลส์ของการสวิทซ์ซิ่ง โดยเมื่อขนาดแรงดันสูงขึ้นจะทำให้จำนวนพัลส์น้อยลง ซึ่งก็เป็นวิธีที่สามารถควบคุมความเร็วได้ชนิดหนึ่ง แต่สำหรับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำของโครงการนี้จะทำการเปลี่ยนความเร็ว โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ ซึ่งจะทำให้จำนวนพัลส์ของการสวิทซ์ซิ่งเปลี่ยนไปพร้อมๆ กับการเปลี่ยนความถี่ และจากการที่จำนวนพัลส์ของการสวิทซ์ซิ่งเปลี่ยนไปเป็นผลให้ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ ซึ่งจะเห็นว่าการควบคุมความเร็วจะเป็นไปในลักษณะที่อัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อความถี่ที่มีค่าคงที่
5. จากการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใช้สัญญาณพีดับบลิวเอ็มจะมีลักษณะที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะโอเวอร์มีอดคูเลท ซึ่งจะทำให้ช่วงที่ทอร์คมีการเปลี่ยนแปลงโดยจะเปลี่ยนจากช่วงที่ทอร์คมีค่าคงที่แล้วค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้ไม่เกิดการกระเพื่อมของทอร์ค ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็ม

สำหรับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบพีดับลิวเอ็ม จะพบว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ และสามารถที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ง่าย ซึ่งทำให้การควบคุมความเร็วมอเตอร์ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมหลักในการใช้งาน

DPL: EQU 82H

DPH: EQU 83H

STACK: EQU 81H

PORTA: EQU 0FC00H

PORTB: EQU 0FC01H

PORTC: EQU 0FC02H

PORTP: EQU 0FC03H

R7: EQU 07H

***** PROGRAM CONTROL SPEED MOTOR *****

ORG 8100H

MOV STACK,#30H

MOV DPTR,#PORTP

MOVB A,#82H

MOV @DPTR,A

MOV R7,#00H

MOV DPTR,#8201H

MOV R6,#00H

MOV R0,#04H

MOV R1,#05H

MAIN: MOV R5,#1EH

LOOP: MOV A,#00H

MOVB A,@A+DPTR

XCH A,R6

ANL A,R6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PUSH DPL
PUSH DPH
MOV DPTR,#PORTA
MOVBX @DPTR,A
MOV A,R6
MOVBX @DPTR,A
POP DPH
POP DPL
INC DPTR
MOV A,@00H
MOVC A,@A+DPTR
DELAY: DEC A
JNZ DELAY
INC DPTR
DJNZ R0,LOOP
MOV R0,#04H
PUSH DPL
MOV DPL,#0FH
MOV A,#00H
MOVC A,@A+DPTR

```

```

DELAY1: DEC A
JNZ DELAY1
POP DPL
JNZ R5,LOOP
MOV DPL,#01H
DJNZ R1,MAIN
MOV R1,#05H

```

```
PUSH DPL
PUSH DPH
MOV DPTR,#PORTB
MOVX A,@DPTR
POP DPH
POP DPL
CJNE A,R7,ACC
MOV R7,A
SJMP MAIN
```

```
ACC: JC ACC
INC R7
INC DPH
SJMP MAIN
DCC: DEC R7
DEC DPH
SJMP MAIN
END
```

โปรแกรมแสดงผล

CPU "8051.TBL"
HOF "INT8"
ORG 8100H

COMMAND: EQU 0FA00H
READ_BUSY: EQU 0FA01H
WRITE_DATA: EQU 0FA02H
READ_DATA: EQU 0FA03H
PORTA: EQU 0F800H
PORTB: EQU 0F801H
PORTC: EQU 0F802H
PORT_CTRL: EQU 0F803H
STACK: EQU 81H
DPH: EQU 83H
DPL: EQU 82H
ACC.7: EQU 0E7H
B: EQU 0F0H
R3: EQU 03H

***** MAIN PROGRAM *****

MOV STACK,#30H ;LOAD STACK POINTER
LCALL INIT_LCD
LCALL CLR_LCD

***** SCAN FUNCTION START *****

; SCAN KEY START
; REG = R0,R2,DPTR

START_PROG: MOV DPTR,#PORT_CTRL ;SET MODE 8255
MOV A,#82H
MOVX @DPTR,A

SCAN_START: MOV R0,#4 ;COUNTER SCAN COL1-COL4
MOV R2,#11101110B

SCAN_START1: MOV A,R2
MOV DPTR,#PORTC
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTB
MOVX A,@DPTR
ANL A,#0FH
CJNE A,#0FH,CHK_START
SJMP NO_START

CHK_START: NOP
CJNE A,#00001110B,NO_START ;ROW 1
MOV A,R2
CJNE A,#01110111B,NO_START ;COL 4
SJMP START

NO_START: MOV A,R2
RL A ;หมุนซ้าย 1 บิต

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น RL ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      R2,A
DJNZ    R0,SCAN_START1
SJMP    SCAN_START

```

```

;***** FUNCTION START *****
; DISPLAY TITLE
; REG = R0,A,DPTR

```

```

START:  LCALL   CLR_LCD
        MOV     A,#80H
        MOV     DPTR,#COMMAND
        MOVX    @DPTR,A
        LCALL   WAITBF
        MOV     R0,#8
        MOV     DPTR,#TITLE
T1.1:   MOV     A,#00H
        MOVC    A,@A+DPTR
        LCALL   WRITE
        INC     DPTR
        DJNZ    R0,T1.1

        MOV     A,#0C0H
        MOV     DPTR,#COMMAND
        MOVX    @DPTR,A
        LCALL   WAITBF
        MOV     R0,#8
        MOV     DPTR,#TITLE+8
T1.2:   MOV     A,#00H
        MOVC    A,@A+DPTR
        LCALL   WRITE
        INC     DPTR
        DJNZ    R0,T1.2

```

```

;***** SCAN FUNCTION SET FREQUENCY *****
; SCAN KEY SET FREQUENCY
; REG = R0,R2,A,DPTR

```

```

SCAN_SET:  MOV     R0,#4                ;COUNTER SCAN COL1-COL4
           MOV     R2,#0EEH

SCAN_SET1: MOV     A,R2
           MOV     DPTR,#PORTC
           MOVX    @DPTR,A
           MOV     DPTR,#PORTB
           MOVX    A,@DPTR
           ANL     A,#0FH
           CJNE    A,#0FH,CHK_SET      ;CHECK KEY SET
           SJMP    NO_SET

           CHK_SET:  NOP
           CJNE    A,#00001101B,NO_SET  ;ROW 2
           MOV     A,R2
           CJNE    A,#01110111B,NO_SET  ;COL 4
           SJMP    SET_FREQ

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายวิชาการ
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NO_SET:  MOV      A,R2
         RL       A
         MOV      R2,A
         DJNZ    R0,SCAN_SET!
         SJMP    SCAN_SET

```

```

;***** FUNCTION SET FREQUENCY *****
; DISPLAY SET FREQUENCY
; REG = R0,R3,R4,R5,A,B,DPTR

```

```

SET_FREQ: LCALL   CLR_LCD
          MOV     A,#80H
          MOV     DPTR,#COMMAND
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL  WAITBF
          MOV     R0,#8
DIS_SET:  MOV     DPTR,#FONT_SET
          MOV     A,#00H
          MOVC   A,@A+DPTR
          LCALL  WRITE
          INC    DPTR
          DJNZ   R0,DIS_SET

```

```

          MOV     A,#0C6H
          MOV     DPTR,#COMMAND
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL  WAITBF
          MOV     R0,#2
DIS_Hz:  MOV     DPTR,#FONT_HZ
          MOV     A,#00H
          MOVC   A,@A+DPTR
          LCALL  WRITE
          INC    DPTR
          DJNZ   R0,DIS_Hz
          MOV     A,#0C4H
          MOV     DPTR,#COMMAND
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL  WAITBF

```

```

          LCALL  SCAN_FREQ
          PUSH   DPH
          PUSH   DPL
          MOV     A,#0C4H
          MOV     DPTR,#COMMAND
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL  WAITBF
          POP    DPL
          POP    DPH
          MOV     A,#00H
          MOVC   A,@A+DPTR
          MOV     R3,A
          LCALL  WRITE
          MOV     B,R5
          MOV     A,#10
          MUL    AB
          MOV     R6,A

```

```

;CALCULATE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแบบ... หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      R0 , #2
LCALL   DELAY
LCALL   SCAN_FREQ

PUSH    DPH
PUSH    DPL
MOV     A , #0C3H
MOV     DPTR , #COMMAND
MOVX    @DPTR , A
LCALL   WAITBF
MOV     A , R3
LCALL   WRITE

MOV     A , #0C4H
MOV     DPTR , #COMMAND
MOVX    @DPTR , A
LCALL   WAITBF
POP     DPL
POP     DPH
MOV     A , #00H
MOVC    A , @A+DPTR
LCALL   WRITE

MOV     A , R6 ; CALCULATE
ADD     A , R5
MOV     R6 , A

;***** SCAN FUNCTION *****
; SCAN FUNCTION INC, DEC, RUN, STOP
; REG = R0, R2, A, DPTR

SCAN_FUNC:  MOV     R0 , #4
            MOV     R2 , #0EEH

SCAN_FUNC1: MOV     A , R2
            MOV     DPTR , #PORTC
            MOVX    @DPTR , A
            MOV     DPTR , #PORTB
            MOVX    A , @DPTR
            ANL     A , #0FH
            CJNE    A , #0FH , CHK_FUNC
            SJMP    NO_FUNC

CHK_FUNC:   NOP
            SET     CJNE    A , #00001101B , RUN ; ROW 2
            MOV     R1 , #20H
            SJMP    DEC

RUN:        CJNE    A , #00001011B , STP_INC_DEC ; ROW 3
            MOV     R1 , #30H
            SJMP    DEC

STP_INC_DEC: CJNE    A , #00000111B , NO_FUNC ; ROW 4
            MOV     R1 , #40H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... สำหรับการ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก... R1... ; COL 1

```

INC:      SJMP      CHK_FUNC1
          CJNE     A,#10111011B,SET_RUN_STP ;COL 3
          INC     R1
          INC     R1
          INC     R1
          SJMP     CHK_FUNC1
SET_RUN_STP: CJNE     A,#01110111B,NO_FUNC ;COL 4
          INC     R1
          INC     R1
          INC     R1
          INC     R1
          SJMP     CHK_FUNC1
NO_FUNC:  MOV      A,R2
          RL      A
          MOV     R2,A
          DJNZ   R0,SCAN_FUNC1
          SJMP   SCAN_FUNC

CHK_FUNC1: MOV     A,R1
KEY_SET:  CJNE   A,#24H,KEY_RUN ;ROW 2,COL 4
          LJMP  SET_FREQ
KEY_RUN:  CJNE   A,#34H,KEY_DEC ;ROW 3,COL 4
          LJMP  SEND_DATA
KEY_DEC:  CJNE   A,#41H,KEY_INC ;ROW 4,COL 1
          LJMP  DEC_FREQ
KEY_INC:  CJNE   A,#43H,KEY_STP ;ROW 4,COL 3
          LJMP  INC_FREQ
KEY_STP:  CJNE   A,#44H,SCAN_FUNC ;ROW 4,COL 4
          LCALL CLR_LCD

          MOV     DPTR,#PORTA
          MOV     A,#00H ;ENABLE=0
          MOVX   @DPTR,A
          SETB   ACC.7 ;ENABLE=1
          MOVX   @DPTR,A
          CLR    ACC.7 ;ENABLE=0
          MOVX   @DPTR,A

          MOV     A,#80H
          MOV     DPTR,#COMMAND
          MOVX   @DPTR,A
          LCALL  WAITBF
          MOV     R0,#8
          MOV     DPTR,#TAB_END
T_END:    MOV     A,#00H
          MOVC   A,@A+DPTR
          LCALL  WRITE
          INC    DPTR
          DJNZ   R0,T_END

          MOV     A,#0C0H
          MOV     DPTR,#COMMAND
          MOVX   @DPTR,A
          LCALL  WAITBF
          MOV     R0,#8
          MOV     DPTR,#TAB_END+8
T_END1:   MOV     A,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม มีให้ดาวน์โหลดฟรี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,@A+DPTR
LCALL   WRITE
INC      DPTR
DJNZ    R0,T_END1

LJMP    START_PROG

```

```

;***** SCAN FREQUENCY VALUE *****
; SCAN FREQUENCY VALUE SUBROUTINE
; REG = R0,R1,R2,A,DPTR

```

```

SCAN_FREQ:  MOV      R0,#4
            MOV      R2,#0EEH

SCAN_FREQ1: MOV      A,R2
            MOV      DPTR,#PORTC
            MOVX    @DPTR,A
            MOV      DPTR,#PORTB
            MOVX    A,@DPTR
            ANL     A,#0FH
            CJNE    A,#0FH,CHK_VALUE
            SJMP    NO_FREQ

CHK_VALUE:  NOP
N_789:     CJNE    A,#00001110B,N_456      ;ROW1
            MOV      R1,#10H
            SJMP    N_741
N_456:     CJNE    A,#00001101B,N_123      ;ROW2
            MOV      R1,#20H
            SJMP    N_741
N_123:     CJNE    A,#00001011B,NN_0       ;ROW3
            MOV      R1,#30H
            SJMP    N_741
NN_0:      CJNE    A,#00000111B,NO_FREQ    ;ROW4
            MOV      R1,#40H
            SJMP    N_741

N_741:     MOV      A,R2
            CJNE    A,#11101110B,N_8520    ;COL1
            INC     R1
            SJMP    FREQ_VALUE
N_8520:    CJNE    A,#11011101B,N_963      ;COL2
            INC     R1
            INC     R1
            SJMP    FREQ_VALUE
N_963:     CJNE    A,#10111011B,NO_FREQ    ;COL3
            INC     R1
            INC     R1
            INC     R1
            SJMP    FREQ_VALUE

NO_FREQ:   MOV      A,R2
            RL      A
            MOV     R2,A
            DJNZ    R0,SCAN_FREQ1
            SJMP    SCAN_FREQ

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ SCAN_FREQ ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FREQ_VALUE:  MOV      A,R1
NUMBER_0:    CJNE     A,#42H,NUMBER_1
             MOV      R5,#0
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER
             RET

NUMBER_1:    CJNE     A,#31H,NUMBER_2
             MOV      R5,#1
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+1
             RET

NUMBER_2:    CJNE     A,#32H,NUMBER_3
             MOV      R5,#2
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+2
             RET

NUMBER_3:    CJNE     A,#33H,NUMBER_4
             MOV      R5,#3
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+3
             RET

NUMBER_4:    CJNE     A,#21H,NUMBER_5
             MOV      R5,#4
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+4
             RET

NUMBER_5:    CJNE     A,#22H,NUMBER_6
             MOV      R5,#5
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+5
             RET

NUMBER_6:    CJNE     A,#23H,NUMBER_7
             MOV      R5,#6
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+6
             RET

NUMBER_7:    CJNE     A,#11H,NUMBER_8
             MOV      R5,#7
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+7
             RET

NUMBER_8:    CJNE     A,#12H,NUMBER_9
             MOV      R5,#8
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+8
             RET

NUMBER_9:    CJNE     A,#13H,TURN_N
             MOV      R5,#9
             MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+9
TURN_N:      RET

```

```

;***** WRITE LCD SUBROUTINE *****
; WRITE LCD 1 CHAR.
; IN = DPTR
; REG = DPTR,A

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WRITE:  PUSH      DPH
        PUSH      DPL
        MOV       DPTR,#WRITE_DATA
        MOVX      @DPTR,A
        LCALL     WAITBF
        POP       DPL
        POP       DPH
        RET

```

```

;***** WAIT BUSYFLAG SUBROUTINE *****
; WAIT BUSYFLAG
; REG = DPTR,A

```

```

WAITBF:  PUSH      DPH
         PUSH      DPL
         MOV       DPTR,#READ_BUSY
         BUSY:    MOV       A,#00H
         MOVX     A,@DPTR
         JB       ACC.7,BUSY
         POP      DPL
         POP      DPH
         RET

```

```

;***** CLEAR LCD SUBROUTINE *****
; CLEAR LCD
; REG = DPTR,A

```

```

CLR_LCD:  PUSH      DPH
          PUSH      DPL
          MOV       DPTR,#COMMAND
          MOV       A,#01H
          MOVX     @DPTR,A
          LCALL     WAITBF
          POP      DPL
          POP      DPH
          RET

```

```

;***** INITIAL LCD SUBROUTINE *****
; INITIAL LCD
; REG = DPTR,A

```

```

INIT_LCD:  PUSH      DPH
          PUSH      DPL
          MOV       DPTR,#COMMAND
          MOV       A,#38H
          MOVX     @DPTR,A
          LCALL     WAITBF

          MOV       A,#0CH
          MOVX     @DPTR,A
          LCALL     WAITBF
          POP      DPL
          POP      DPH
          RET

```



```

                LJMP          SEND_DATA

CONT_INC:      LCALL          FIND_F10_1

                MOV           A, R5
                CJNE          A, #9, INC1
                MOV           R0, #1
                LCALL          DELAY

                MOV           DPTR, #TAB_NUMBER
                PUSH          DPH
                PUSH          DPL
                MOV           A, #0C4H
                MOV           DPTR, #COMMAND
                MOVX          @DPTR, A
                LCALL          WAITBF
                POP           DPL
                POP           DPH
                MOV           A, #00H
                MOVC          A, @A+DPTR
                LCALL          WRITE

                INC           R7
                MOV           A, R7
                LCALL          CHK_N
                PUSH          DPH
                PUSH          DPL
                MOV           A, #0C3H
                MOV           DPTR, #COMMAND
                MOVX          @DPTR, A
                LCALL          WAITBF
                POP           DPL
                POP           DPH
                MOV           A, #00H
                MOVC          A, @A+DPTR
                LCALL          WRITE
                INC           R6
                LJMP          SCAN_FUNC

```

```

INC1:          MOV           A, R5
                CJNE          A, #0, INC2
                MOV           R0, #1
                LCALL          DELAY

```

```

INC2:          INC           R5
                MOV           A, R5
                LCALL          CHK_N
                PUSH          DPH
                PUSH          DPL
                MOV           A, #0C4H
                MOV           DPTR, #COMMAND
                MOVX          @DPTR, A
                LCALL          WAITBF
                POP           DPL
                POP           DPH
                MOV           A, #00H
                MOVC          A, @A+DPTR

```

```

LCALL    WRITE
MOV      R0,#2
LCALL    DELAY
INC      R6
LJMP     SCAN_FUNC

```

```

;***** DEC FREQUENCY *****
; DEC FREQUENCY
; IN = R5,R6,R7
; REG = R5,R6,R7,A,DPTR

```

```

DEC_FREQ: MOV      A,R6
          CJNE     A,#00H,CONT_DEC
          MOV      R0,#2
          LCALL    DELAY
          LJMP     SEND_DATA

```

```

CONT_DEC: MOV      R0,#1
          LCALL    DELAY
          LCALL    FIND_F10_1

          MOV      A,R5
          CJNE     A,#0,DEC_1
          MOV      DPTR,#TAB_NUMBER+9
          PUSH     DPH
          PUSH     DPL
          MOV      A,#0C4H
          MOV      DPTR,#COMMAND
          MOVB     @DPTR,A
          LCALL    WAITBF
          POP      DPL
          POP      DPH
          MOV      A,#00H
          MOVB     A,@A+DPTR
          LCALL    WRITE

```

```

DEC      R7
MOV      A,R7
LCALL    CHK_N
PUSH     DPH
PUSH     DPL
MOV      A,#0C3H
MOV      DPTR,#COMMAND
MOVB     @DPTR,A
LCALL    WAITBF
POP      DPL
POP      DPH
MOV      A,#00H
MOVB     A,@A+DPTR
LCALL    WRITE
DEC      R6
LJMP     SCAN_FUNC

```

เอกสาร DEC_1: สำหรับ R5 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 MOV A,R5
 LCALL CHK_N

```

PUSH        DPH
PUSH        DPL
MOV         A,#0C4H
MOV         DPTR,#COMMAND
MOVX        @DPTR,A
LCALL      WAITBF
POP         DPL
POP         DPH
MOV         A,#00H
MOVC       A,@A+DPTR
LCALL      WRITE
DEC         R6
LJMP       SCAN_FUNC

```

```

;***** FIND NUMBER *****
; IN R6
; REG = R4,R6,R7,A

```

```

FIND_F10_1: CLR        C
             MOV        A,R6
             MOV        R7,#00H
             MOV        R4,#10
INC_D:      INC        R7
             SUBB       A,R4
             JNC        INC_D
             ADD        A,R4
             DEC        R7
             MOV        R5,A
             RET

```

```

;***** FUNCTION SEND DATA *****
; SEND DATA OUT PORT_A
; IN = R6
; REG = R6,A,DPTR

```

```

SEND_DATA:  MOV        A,R6
             MOV        DPTR,#PORTA
             CLR        ACC.7           ;ENABLE=0
             MOVX       @DPTR,A
             SETB       ACC.7           ;ENABLE=1
             MOVX       @DPTR,A
             CLR        ACC.7           ;ENABLE=0
             MOVX       @DPTR,A
             LJMP       SCAN_FUNC

```

```

;***** DELAY SUBROUTINE *****
; IN = R0
; REG = R0,R3,R4

```

```

DELAY:      PUSH       R3
DELAY1:     MOV        R3,#00
DELAY2:     MOV        R4,#00
             DJNZ       R4,$
             DJNZ       R3,DELAY2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ติดต่อแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DJNZ R0,DELAY1
POP R3
RET

***** TABLE *****

TITLE: DFB "AC ADJUST SPEED "
FONT_SET: DFB "SET-FREQ"
FONT_Hz: DFB "Hz"
TAB_NUMBER: DFB "0123456789"
TAB_END: DFB "* STOP * MOTOR *"

END



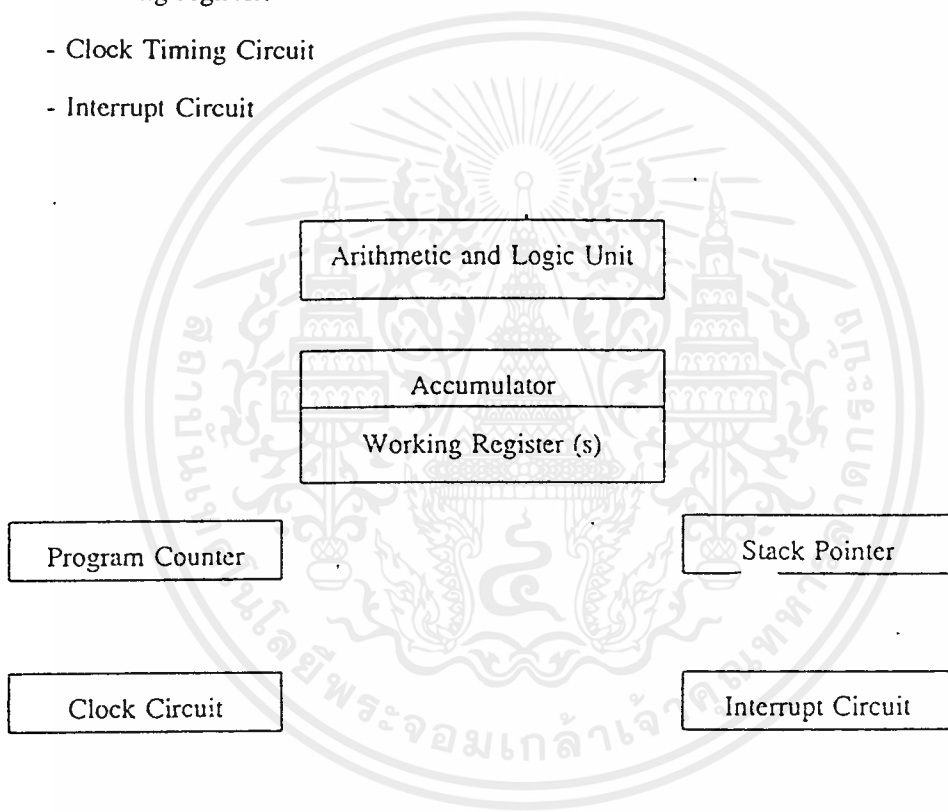
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

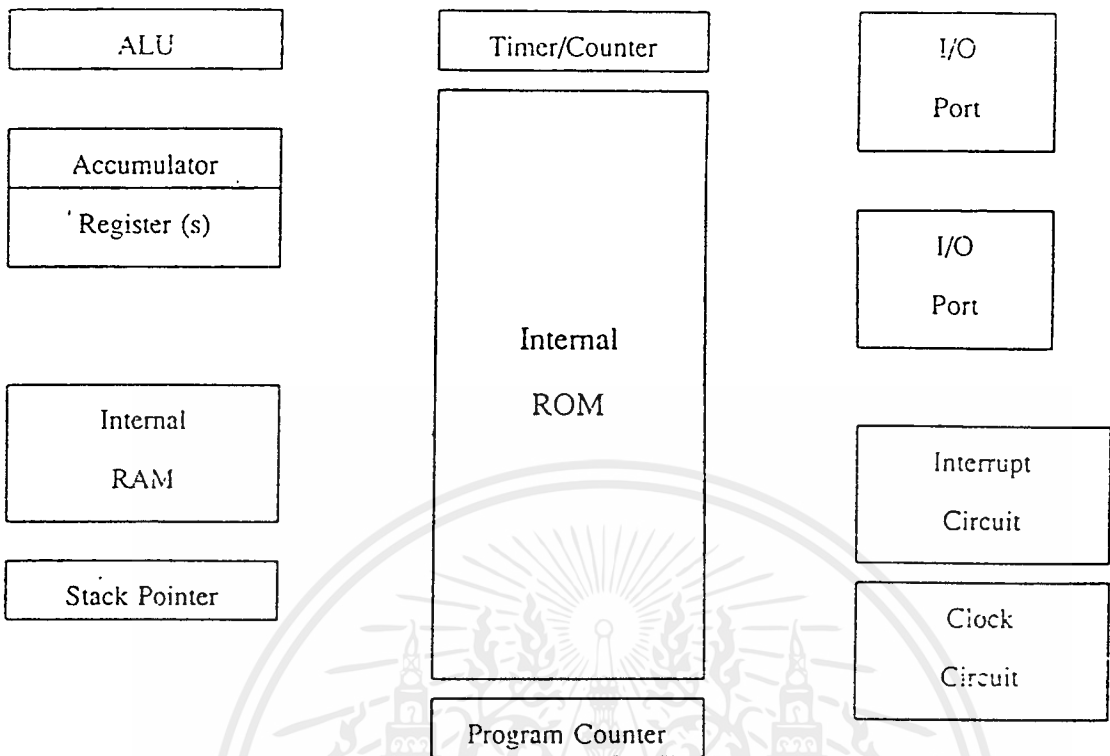
ส่วนประกอบของไมโครโปรเซสเซอร์

- Arithmetic and Logic Unit (ALU)
- Program counter (PC)
- Stack pointer (SP)
- Working registers
- Clock Timing Circuit
- Interrupt Circuit



รูปที่ 1 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือไมโครโปรเซสเซอร์ที่รวมเอาส่วนของหน่วยความจำไอโอพอร์ต Timer/Counter มาบรรจุไว้ในชิปเดียวมีชื่อเรียกว่า Single Chip Microcontroller ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2



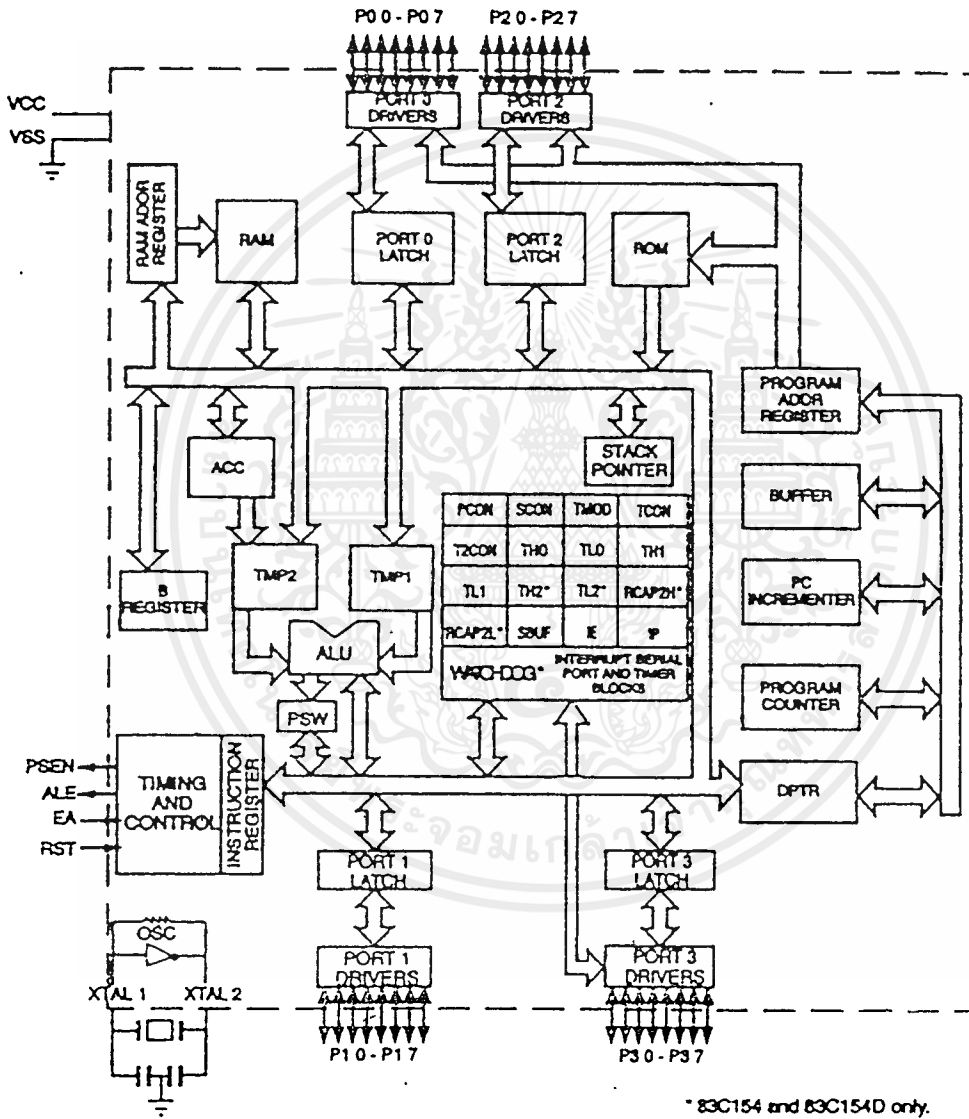
รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วย

- ALU
- แอควิวมูเลเตอร์ (ACC)
- รีจิสเตอร์
- แรมภายใน (Internal RAM)
- สแตกพอยเตอร์ (SP)
- อินเทอนอตรอม (Internal ROM)
- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)
- ไอโอพอร์ต (I/O Port)
- วงจรอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Circuit)
- วงจรคล็อก (Clock Circuit)
- ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ (Timer and Counter)

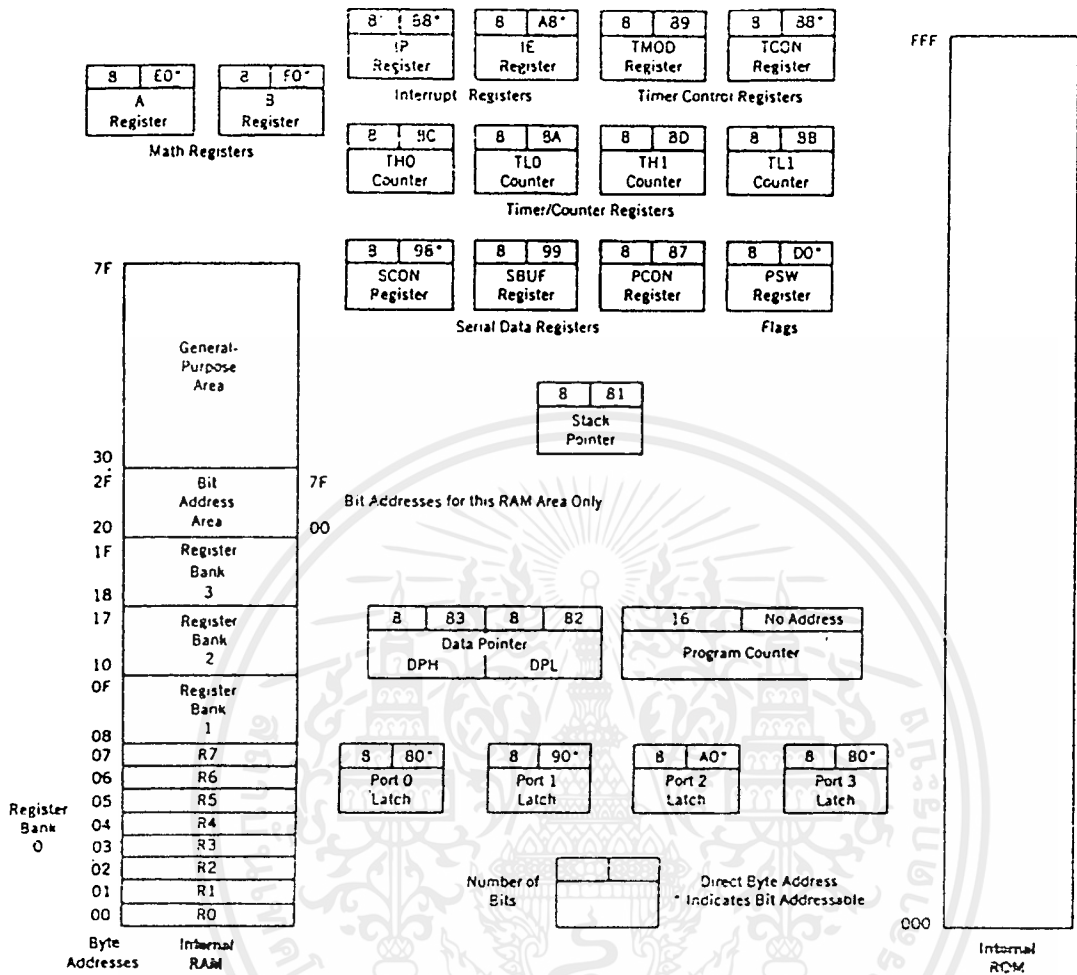
โครงสร้างภายในของ MCS-51

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวก สำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) และ 3 (b)



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

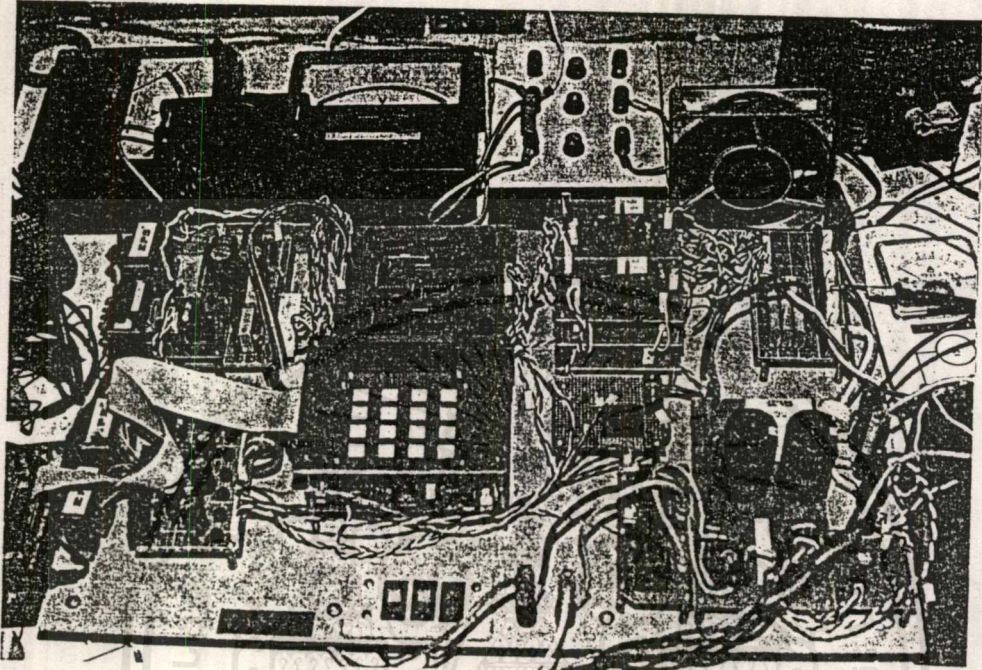


รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งต่างๆ ของรีจิสเตอร์ต่างๆ และหน่วยความจำ

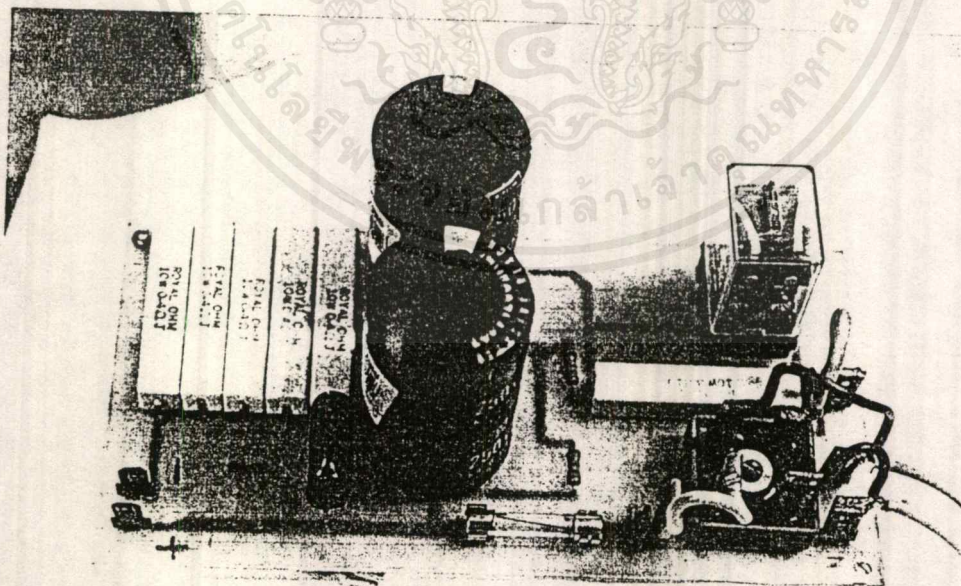
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ส่วนประกอบต่างๆ ของโครงงาน

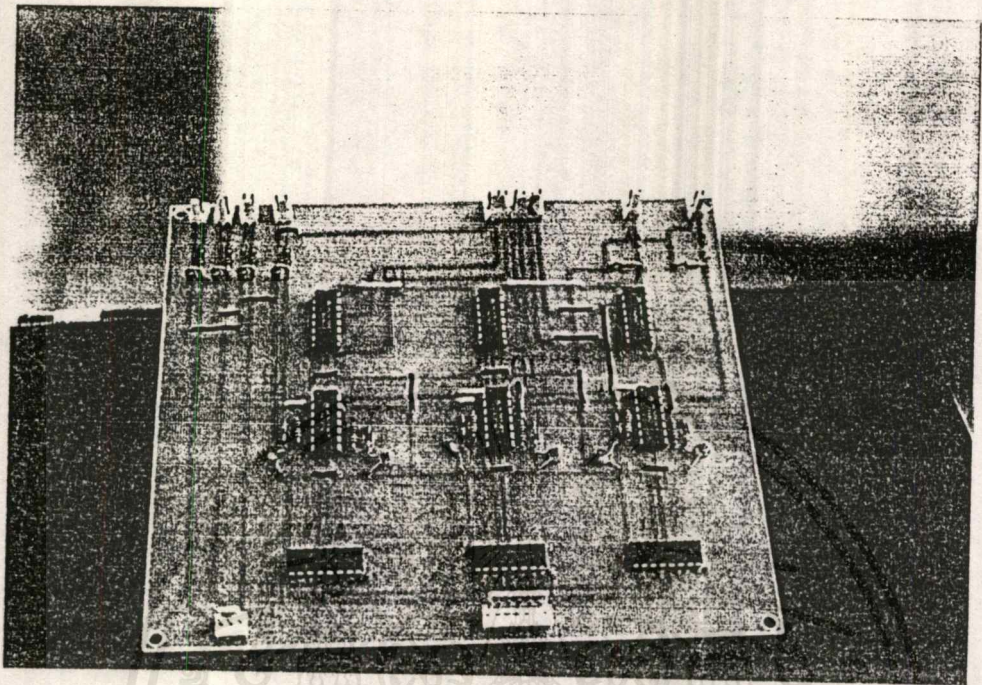


รูปโดยรวมของโครงงาน

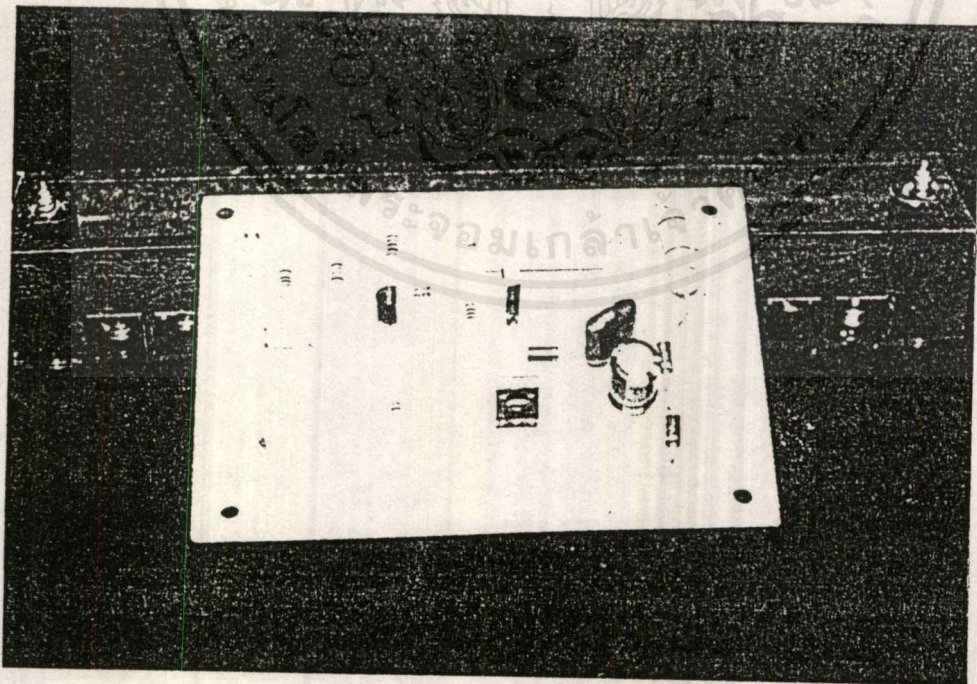


รูปวงจร Power filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

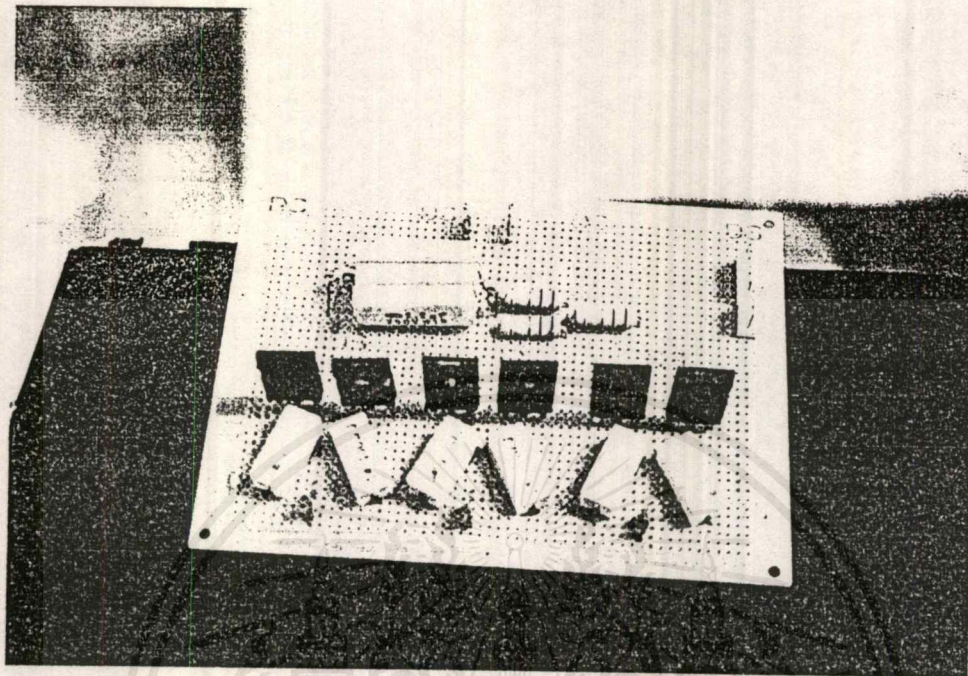


รูปวงจร Dead Time

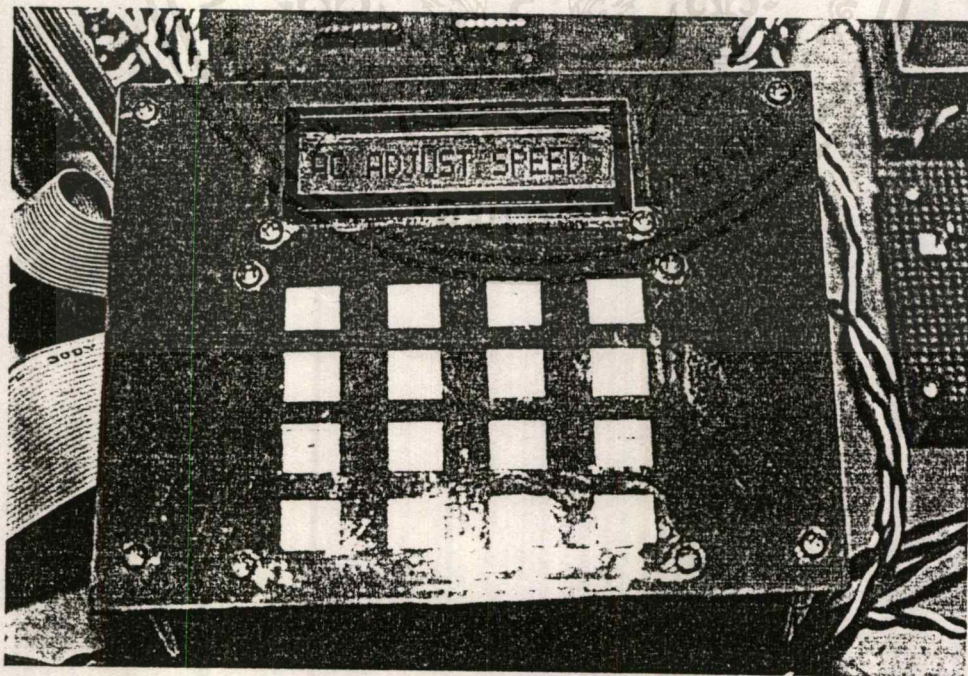


รูปวงจร Gate Drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

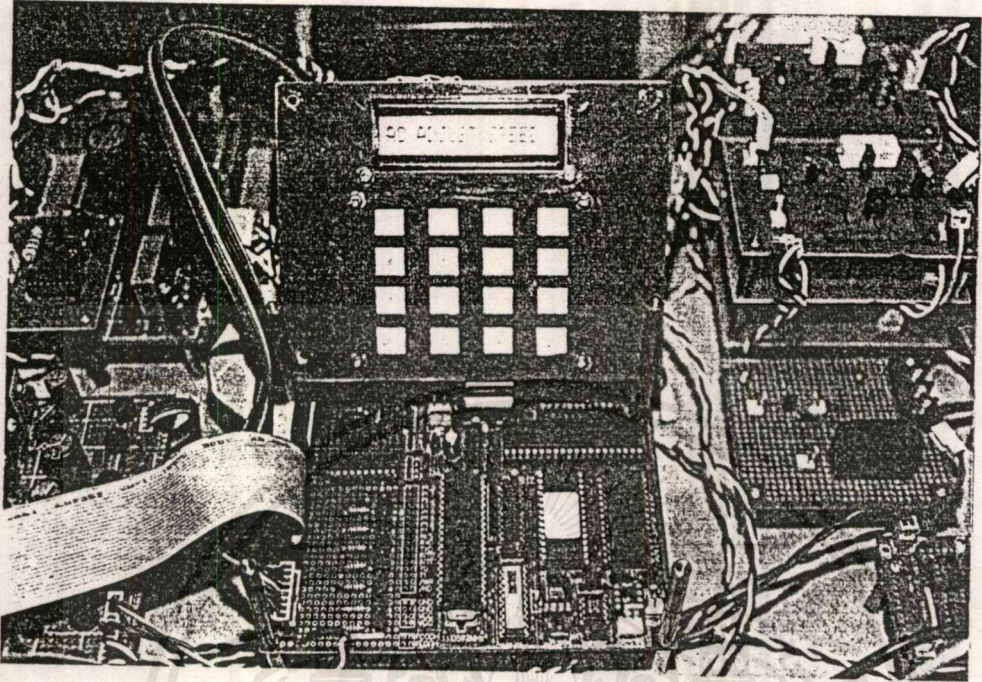


รูปวงจร Inverter

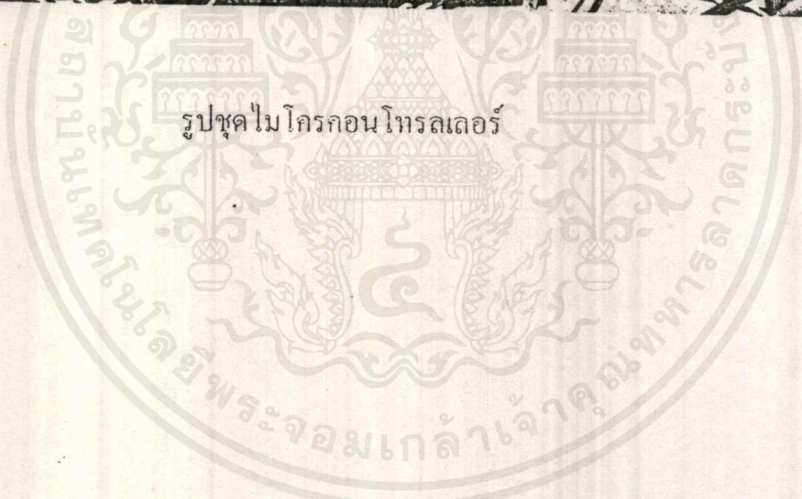


รูปลิ้นบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปชุดไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.
ข้อมูลของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



October 1992

DATA SHEET

80C31/80C51

CMOS SINGLE-CHIP 8 BIT MICROCONTROLLER

- 80C31/80C51 : 0 TO 12 MHz
- 80C31/80C51-1 : 0 TO 16 MHz
- 80C31-S/80C51-S : 0 TO 20 MHz
- 80C31/80C51-L : 0 TO 6 MHz WITH $2.7 V < V_{CC} < 6 V$
- 80C51F : 80C51 WITH PROTECTED ROM

FEATURES

- POWER CONTROL MODES
- 128 x 8 BIT RAM
- 4 K BYTES OF ROM (80C51)
- 32 PROGRAMMABLE I/O LINES
- TWO 16 BIT TIMER/COUNTER
- 64 K PROGRAM MEMORY SPACE
- FULLY STATIC DESIGN
- BOOLEAN PROCESSOR
- 5 INTERRUPT SOURCES
- PROGRAMMABLE SERIAL PORT
- 64 K DATA MEMORY SPACE
- TEMPERATURE RANGE : COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AUTOMOTIVE AND MILITARY

INTRODUCTION

MHS's 80C31 and 80C51 are high performance CMOS versions of the 8031/8051 NMOS single chip 8 bit μC and are manufactured using a self-aligned silicon gate CMOS process (SAJI VI).

The fully static design of the MHS 80C31/80C51 allows to reduce system power consumption by bringing the clock frequency down to any value, even DC, without loss of data.

The 80C51 retains all the features of the 8051 : 4 K bytes of ROM ; 128 bytes of RAM ; 32 I/O lines ; two 16 bit timers ; a 5-source, 2-level interrupt structure ; a full

duplex serial port ; and on-chip oscillator and clock circuits.

In addition, the 80C51 has two software-selectable modes of reduced activity for further reduction in power consumption. In the Idle Mode the CPU is frozen while the RAM, the timers, the serial port, and the interrupt system continue to function. In the Power Down Mode the RAM is saved and all other functions are inoperative.

The 80C31 is identical to the 80C51 except that it has no on-chip ROM.

The information contained herein is subject to change without notice. No responsibility is assumed by MATRA MHS SA for using this publication and/or circuits described herein : nor for any possible infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

80C31/Rev. 1.0

INTERFACE

PIN CONFIGURATION

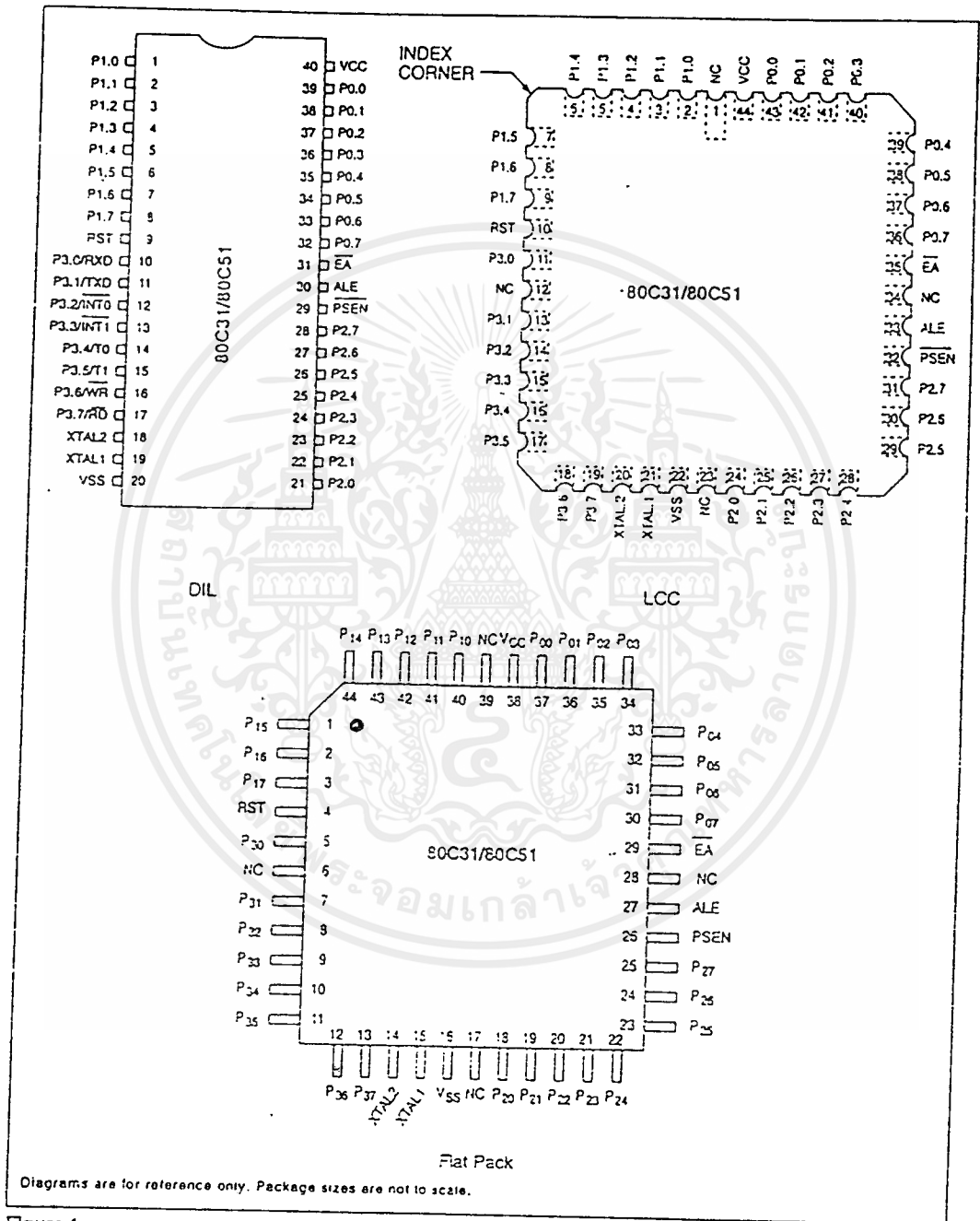


Figure 1.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias :

C = commercial0°C to 70°C

I = industrial - 40°C to +85°C

Storage Temperature..... - 65°C to + 150°C

Voltage on Vcc to Vss..... - 0.5 V to + 7 V

Voltage on Any Pin to Vss..... - 0.5 V to Vcc + 0.5 V

Power Dissipation..... 1 W**

** This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package

* Notice

Stresses at or above those listed under * Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

T_A = 0 to +70°C ; V_{CC} = 5 V ± 20 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 16 MHzV_{CC} = 5 V ± 10 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 16 to 20 MHzT_A = - 40 to 85°C ; V_{CC} = 5 V ± 10 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 16 MHz.

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS		
VIL	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 VCC - 0.1	V			
VIH	Input High Voltage (Except XTAL and RST)	0.2 VCC + 0.9	VCC + 0.5	V			
VIH1	Input High Voltage (RST and XTAL1)	0.7 VCC	VCC + 0.5	V			
VOL	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.3	V	IOL = 100 µA		
			0.45	V	IOL = 1.6 mA (note 3)		
			1.0	V	IOL = 3.5 mA		
VOL1	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.3	V	IOL = 200 µA		
			0.45	V	IOL = 3.2 mA (note 3)		
			1.0	V	IOL = 7.0 mA		
VOH	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	VCC - 0.3		V	IOH = - 10 µA		
		VCC - 0.7		V	IOH = - 30 µA		
		VCC - 1.5		V	IOH = - 60 µA VCC = 5 V ± 10 %		
VOH1	Output High Voltage (Port 0, ALE, PSEN)	VCC - 0.3		V	IOH = - 200 µA		
		VCC - 0.7		V	IOH = - 3.2 mA		
		VCC - 1.5		V	IOH = - 7.0 mA VCC = 5 V ± 10 %		
iIL	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)		C : - 50	µA	Vin = 0.45 V		
			I : - 60				
iLI	Inout Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	µA	0.45 < Vin < VCC		
ITL	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 650	µA	Vin = 2.0 V		
IPD	Power Down Current		50	µA	VCC = 2.0 V to 6 V (note 2)		
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	Ω			
CIO	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	fc = 1 MHz, TA = 25°C		
iCC	Power Supply Current		Active Mode		(notes 1, 2)		
			12 MHz	20		mA	
			16 MHz	26		mA	
			20 MHz	32		mA	
			Idle Mode				
			12 MHz	5		mA	
16 MHz	6	mA					
20 MHz	8	mA					

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias :

A = Automotive - 40°C to + 125°C
 Storage Temperature..... - 65°C to + 150°C
 Voltage on Any Pin to V_{SS} - 0.5 V to V_{CC} + 0.5 V
 Voltage on V_{CC} to V_{SS} - 0.5 V to 6.5 V
 Power Dissipation..... 1 W

*** Notice**

Stresses above those listed under * Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICST_A = - 40° to 125°C ; V_{CC} = 5 V ± 10 % ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 12 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
VIL	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V _{CC} - 0.1	V	
VIH	Input High Voltage (Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V	
VIH1	Input High Voltage (XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
VOL	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.3	V	I _{OL} = 100 μA I _{OL} = 1.6 mA (note 3) I _{OL} = 3.5 mA
			0.45	V	
			1.0	V	
VOL1	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.3	V	I _{OL} = 200 μA I _{OL} = 3.2 mA (note 3) I _{OL} = 7.0 mA
			0.45	V	
			1.0	V	
VOH	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)	V _{CC} - 0.3		V	I _{OH} = - 10 μA I _{OH} = - 30 μA I _{OH} = - 60 μA
				V	
				V	
VOH1	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode, ALE, PSEN)	V _{CC} - 0.3		V	I _{OH} = - 200 μA I _{OH} = - 3.2 mA I _{OH} = - 7.0 mA
				V	
				V	
IIL	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		- 75	μA	V _{in} = 0.45 V
ITL	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 750	μA	V _{in} = 2.0 V
ILI	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	μA	0.45 < V _{in} < V _{CC}
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
CIO	Pin Capacitance		10	pF	Test Freq = 1 MHz, T _A = 25°C
IPD	Power Down Current		75	μA	V _{CC} = 2 V to 5.5 V (note 2)
ICC	Power supply current Active mode 12 MHz Idle mode 12 MHz		21	mA	V _{CC} = 5.5 V (notes 1, 2) V _{CC} = 5.5 V (notes 1, 2)
			7	mA	

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias :

M = Military	- 55°C to + 125°C
Storage Temperature	- 65°C to + 150°C
Voltage on Any Pin to V _{SS}	- 0.5 V to V _{CC} + 0.5 V
Voltage on V _{CC} to V _{SS}	- 0.5 V to 6.5 V
Power Dissipation.....	1 W

*** Notice**

Stresses above those listed under * Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended period may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICST_A = - 55° to 125°C ; V_{SS} = 0 V ; V_{CC} = 5 V ± 10 % ; F = 0 to 12 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V _{IL}	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V _{CC} - 0.1	V	
V _{IH}	Input High Voltage (Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH1}	Input High Voltage (XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{OL}	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3)		0.45	V	I _{OL} = 1.6 mA (note 3)
V _{OL1}	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.45	V	I _{OL} = 3.2 mA (note 3)
V _{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)	2.4		V	I _{OH} = - 60 μA V _{CC} = 5 V ± 10 %
		0.75 V _{CC}		V	I _{OH} = - 25 μA
		0.9 V _{CC}		V	I _{OH} = - 10 μA
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode, ALE, PSEN)	2.4		V	I _{OH} = - 800 μA V _{CC} = 5 V ± 10 %
		0.75 V _{CC}		V	I _{OH} = - 300 μA
		0.9 V _{CC}		V	I _{OH} = - 60 μA
I _{IL}	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		- 75	μA	V _{in} = 0.45 V
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 750	μA	V _{in} = 2 V
I _{IJ}	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	μA	0.45 < V _{in} < V _{CC}
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C _{IO}	Pin Capacitance		10	pF	Test Freq = 1 MHz, T _A = 25°C
IPD	Power Down Current		75	μA	V _{CC} = 2 V to 5.5 V (note 2)
I _{CC}	Power supply current Active mode 12 MHz Idle mode 12 MHz		21	mA	V _{CC} = 5.5 V (notes 1, 2)
			7	mA	V _{CC} = 5.5 V (notes 1, 2)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias :

C = commercial 0°C to 70°C
 I = industrial - 40°C to +85°C
 Storage Temperature - 65°C to + 150°C
 Voltage on V_{CC} to V_{SS} - 0.5 V to + 7 V
 Voltage on Any Pin to V_{SS} - 0.5 V to V_{CC} + 0.5 V
 Power Dissipation 1 W**

** This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package

* Notice

Stresses at or above those listed under * Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICST_A = - 40° to 85°C ; V_{CC} = 2.7 V to 6 V ; V_{SS} = 0 V ; F = 0 to 6 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V _{IL}	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V _{CC} - 0.1	V	
V _{IH}	Input High Voltage (Except XTALs and RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH1}	Input High Voltage to RST for Reset	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{IH2}	Input High Voltage to XTAL1	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V	
V _{PD}	Power Down Voltage to V _{CC} in PD Mode	2.0	6.0	V	
V _{OL}	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.45		I _{OL} = 800 μA (note 3)
V _{OL1}	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.45	V	I _{OL} = 1.5 mA (note 3)
V _{OH}	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	0.9 V _{CC}		V	I _{OH} = - 10 μA
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode), ALE, PSEN	0.9 V _{CC}		V	I _{OH} = - 80 μA
I _{IL}	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		C - 50 I - 60	μA	V _{in} = 0.45 V
I _{LI}	Input Leakage Current		± 10	μA	0.45 < V _{in} < V _{CC}
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 650	μA	V _{in} = 2.0 V
I _{PD}	Power Down Current		50	μA	V _{CC} = 2.0 V to 6 V (note 2)
R _{RST}	RST Pull-down Resistor	50	150	kΩ	
C _{iO}	Capactance of I/O Buffer		10	pF	f _c = 1 MHz, T _A = 25°C

MAXIMUM I_{CC} (mA)

FREQ. V _{CC}	OPERATING (NOTE 3)			IDLE (NOTE 4)		
	2.7V	5 V	6 V	2.7 V	5 V	6 V
1 MHz	0.8 mA	1.5 mA	1.5 mA	400 μA	300 μA	1 mA
5 MHz	4 mA	3 mA	10 mA	1.2 mA	3.5 mA	3.8 mA

MHS C51 INSTRUCTION SET

Interrupt Response time : Refer to Hardware Description Chapter.

Instructions that Affect Flag Settings (1)

INSTRUC.	FLAG			INSTRUC.	FLAG		
	C	OV	AC		C	OV	AC
ADD	X	X	X	CLRC	0		
ADDC	X	X	X	CPL C	X		
SUBB	X	X	X	ANL C, bit	X		
MUL	0	X		ANL C, bit	X		
DIV	0	X		ORL C, bit		X	
DA	X			ORL C, bit		X	
RRC	X			MOV C, bit		X	
RLC	X			CJNE	X		
SETB C	1						

(1) note that operations on SFR byte address 208 or bit addresses 209-215 (i.e., the PSW or bits in the PSW) will also affect flag settings.

Note on instruction set and addressing modes :

Rn - Register R7-R0 of the currently selected Register Bank

direct - 8-bit internal data location's address. This could be an Internal Data RAM location (0-127) or a SFR (i.e., I/O port, control register, status register, etc. (128-255)).

@ Ri - 8-bit internal data RAM location (0-255) addresses indirectly through register R1 or R0.

data - 8-bit constant included in instruction.

data 16 - 16-bit constant included in instruction.

addr 16 - 16-bit destination address. Used by LCALL & LJMP. A branch can be anywhere within the 64K-byte Program memory address space

addr 11 - 11-bit destination address. Used by ACALL & AJMP. The branch will be within the same 2K-byte page of program memory as the first byte of the following instruction

rel - Signed (two's complement) 8-bit offset byte. Used by SJMP and all conditional jumps. Range is -128 to + 127 bytes relative to first byte of the following instruction.

bit - Direct Addressed bit in internal Data RAM or special Function Register.

Table 10: 80C51 Instruction Set Summary.

MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD
ARITHMETIC OPERATIONS			
ADD A, Rn	Add register to Accumulator	1	12
ADD A, direct	Add direct byte to Accumulator	2	12
ADD A, @Ri	Add indirect RAM to Accumulator	1	12
ADD A, #data	Add immediate data to Accumulator	2	12
ADDC A, Rn	Add register to Accumulator with Carry	1	12
ADDC A, direct	Add direct byte to Accumulator with Carry	2	12
ADDC A, @Ri	Add indirect RAM to Accumulator with Carry	1	12
ADDC A, #data	Add immediate data to Acc with Carry	2	12
SUBB A, Rn	Subtract Register from Acc with borrow	1	12
SUBB A, direct	Subtract direct byte from Acc with borrow	2	12
SUBB A, @Ri	Subtract indirect RAM from ACC with borrow	1	12
SUBB A, #data	Subtract immediate data from Acc with borrow	2	12
INC A	Increment Accumulator	1	12
INC Rn	Increment register	1	12
INC direct	Increment direct byte	2	12
INC @Ri	Increment direct RAM	1	12
DEC A	Decrement Accumulator	1	12
DEC Rn	Decrement Register	1	12
DEC direct	Decrement direct byte	2	12
DEC @Ri	Decrement indirect RAM	1	12

MHS C51

MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD
ARITHMETIC OPERATIONS (continued)			
INC DPTR	Increment Data Pointer	1	24
MUL AB	Multiply A & B	1	48
DIV AB	Divide A by B	1	48
DA A	Decimal Adjust Accumulator	1	12
LOGICAL OPERATIONS			
ANL A, Rn	AND Register to Accumulator	1	12
ANL A, direct	AND direct byte to Accumulator	2	12
ANL A, @Ri	AND indirect RAM to Accumulator	1	12
ANL A, #data	AND immediate data to Accumulator	2	12
ANL direct, A	AND Accumulator to direct byte	2	12
ANL direct, #data	AND immediate data to direct byte	3	24
ORL A, Rn	OR register to Accumulator	1	12
ORL A, direct	OR direct byte to Accumulator	2	12
ORL A, @Ri	OR indirect RAM to Accumulator	1	12
ORL A, #data	OR immediate data to Accumulator	2	12
ORL direct, A	OR Accumulator to direct byte	2	12
ORL direct, #data	OR immediate data to direct byte	3	24
XRL A, Rn	Exclusive-OR register to Accumulator	1	12
XRL A, direct	Exclusive-OR direct byte to accumulator	2	12
XRL A, @Ri	Exclusive-OR indirect RAM to Accumulator	1	12
XRL A, #data	Exclusive-OR immediate data to Accumulator	2	12
XRL direct, A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte	2	12
XRL direct, #data	Exclusive-OR immediate data to direct byte	3	24
CLR A	Clear Accumulator	1	12
CPL A	Complement Accumulator	1	12

MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD
LOGICAL OPERATIONS (continued)			
RL A	Rotate Accumulator Left	1	12
RLC A	Rotate Accumulator Left through the Carry	1	12
RR A	Rotate Accumulator Right	1	12
RRC A	Rotate Accumulator Right through the Carry	1	12
SWAP A	Swap nibbles within the Accumulator	1	12
DATA TRANSFER			
MOV A, Rn	Move Register to Accumulator	1	12
MOV A, direct	Move direct byte to Accumulator	2	12
MOV A, @Ri	Move indirect RAM to Accumulator	1	12
MOV A, #data	Move immediate data to Accumulator	2	12
MOV Rn, A	Move Accumulator to register	1	12
MOV Rn, direct	Move direct byte to register	2	24
MOV Rn, #data	Move immediate data to register	2	12
MOV direct, A	Move Accumulator to direct byte	2	12
MOV direct, Rn	Move register to direct byte	2	24
MOV direct, direct	Move direct byte to direct	3	24
MOV direct, @Ri	Move indirect RAM to direct byte	2	24
MOV direct, #data	Move immediate data to direct byte	3	24
MOV @Ri, A	Move Accumulator to indirect RAM	1	12

MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD	MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD
DATA TRANSFER (continued)				BOOLEAN VARIABLE MANIPULATION			
MOV @Ri, direct	Move direct by to indirect RAM	2	24	CLR C	Clear Carry	1	12
MOV @Ri, #data	Move immediate data to indirect RAM	2	12	CLR bit	Clear direct bit	2	12
MOVDPTR, #data16	Load Data Pointer with a 16-bit constant	3	24	SETB C	Set Carry	1	12
MOVCA, @A+DPTR	Move Code byte relative to DPTR to Acc	1	24	SETB bit	Set direct bit	2	12
MOVCA, @A+PC	Move Code byte relative to PC to Acc	1	24	CPL C	Complement Carry	1	12
MOVXA, @Ri	Move External RAM (8-bit addr) to Acc	1	24	CPL bit	Complement direct bit	2	12
MOVX A, @DPTR	Move External RAM (16-bit addr) to Acc	1	24	ANL C, bit	AND direct bit to Carry	2	24
MOVX @Ri, A	Move Acc to External RAM (8-bit addr)	1	24	ANL C, /bit	AND complement of direct bit to Carry	2	24
MOVX @DPTR, A	Move Acc to External RAM (16-bit addr)	1	24	ORL C, bit	OR direct bit to Carry	2	24
PUSH direct	Push direct byte only stack	2	24	ORL C, /bit	OR complement of direct bit to Carry	2	24
POP direct	Pop direct byte from stack	2	24	MOV C, bit	Move direct bit to Carry	2	12
XCH A, Rn	Exchange register with Accumulator	1	12	MOV bit, C	Move Carry to direct bit	2	24
XCH A, direct	Exchange direct byte with Accumulator	2	12	JC rel	Jump if Carry is set	2	24
XCH A, @Ri	Exchange indirect RAM with Accumulator	1	12	JNC rel	Jump if Carry not set	2	24
XCHD A, @Ri	Exchange loworder Digit indirect RAM with Acc	1	12	JB bit, rel	Jump if direct Bit is set	3	24
				JNB bit, rel	Jump if direct Bit is Not set	3	24
				JBC bit, rel	Jump if direct Bit is set & clear bit	3	24
				PROGRAM BRANCHING			
				ACALLK addr11	Absolute Subroutine Call	2	24
				LCALL addr16	Long Subroutine Call	3	24
				RET	Return from Subroutine	1	24
				RETI	Return from interrupt	1	24
				AJMP addr11	Absolute Jump	2	24
				LJMP addr16	Long Jump	3	24
				SJMP rel	Short Jump (relative addr)	2	24

MHS C51

MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD
PROGRAM BRANCHING (continued)			
JMP @A+DPTR	Jump direct relative to the DPTR	1	24
JZ rel	Jump if Accumulator is zero	2	24
JNZ rel	Jump if Accumulator is not Zero	2	24
CJNE A, direct, rel	Compare direct byte to Acc and Jump if Not Equal	3	24
CJNE A, #data, rel	Compare immediate to Acc and Jump if Not Equal	3	24

MNEMONIC	DESCRIPTION	BYTE	OSCIL. PERIOD
PROGRAM BRANCHING (continued)			
CJNE Rn, #data, rel	Compare immediate to register and Jump if Not Equal	3	24
CJNE @Ri, #data, rel	Compare immediate to indirect and Jump if Not Equal	3	24
DJNZ Rn, rel	Decrement register and Jump if Not Zero	2	24
DJNZ direct, rel	Decrement direct byte and Jump if Not Zero	3	24
NOP	No Operation	1	12

INSTRUCTION OPCODES

MHS C51 INSTRUCTION SET DESCRIPTION

ARITHMETIC OPERATIONS					
MNEMONIC		DESCRIPTION	BYTE	CYC	
ADD	A, Rn	Add register to Accumulator	1	1	
ADD	A, direct	Add direct bytes to Accumulator	2	1	
ADD	A, @Ri	Add indirect RAM to Accumulator	1	1	
ADD	A, #data	Add immediate data to Accumulator	2	1	
ADDC	A, Rn	Add register to Accumulator with Carry	1	1	
ADDC	A, direct	Add direct byte to A with Carry flag	2	1	
ADDC	A, @Ri	Add indirect RAM to A with Carry flag	1	1	
ADDC	A, #data	Add immediate data to A with Carry flag	2	1	
SUBB	A, Rn	Subtract register from A with borrow	1	1	
SUBB	A, direct	Subtract direct byte from A with Borrow	2	1	
SUBB	A, @Ri	Subtract indirect RAM from A with Borrow	1	1	
SUBB	A, data	Subtract immed. data from A with Borrow	2	1	
INC	A	Increment Accumulator	1	1	
INC	Rn	Increment register	1	1	
INC	direct	Increment direct byte	2	1	
INC	@Ri	Increment indirect RAM	1	1	
INC	DPTR	Increment Data Pointer	1	2	
DEC	A	Decrement Accumulator	1	1	
DEC	Rn	Decrement register	1	1	
DEC	direct	Decrement direct byte	2	1	
DEC	@Ri	Decrement indirect RAM	1	1	
MUL	AB	Multiply A & B	1	4	
DIV	AB	Divide A by B	1	4	
DA	A	Decimal Adjust Accumulator	1	1	
LOGICAL OPERATIONS					
MNEMONIC		DESTINATION	BYTE	CYC	
ANL	A, Rn	AND register to Accumulator	1	1	
ANL	A, direct	AND direct byte to Accumulator	2	1	
ANL	A, @Ri	AND indirect RAM to Accumulator	1	1	
ANL	A, #data	AND immediate data to Accumulator	2	1	
ANL	direct, A	AND Accumulator to direct byte	2	1	
ANL	direct, #data	AND immediate data to direct byte	3	2	
ORL	A, Rn	OR register to Accumulator	1	1	
ORL	A, direct	OR direct byte to Accumulator	2	1	
ORL	A, @Ri	OR indirect RAM to Accumulator	1	1	
ORL	A, #data	OR immediate data to Accumulator	2	1	
ORL	direct A	OR Accumulator to direct byte	2	1	
ORL	direct, #data	OR immediate data to direct byte	3	2	
XRL	A, Rn	Exclusive-OR register to Accumulator	1	1	
XRL	A, direct	Exclusive-OR direct byte to Accumulator	2	1	
XRL	A, @Ri	Exclusive-OR indirect RAM to A	1	1	
XRL	A, #data	Exclusive-OR immediate data to A	2	1	
XRL	direct, A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte	2	1	
XRL	direct, #data	Exclusive-OR immediate data to direct	3	2	
CLR	A	Clear Accumulator	1	1	
CPL	A	Complement Accumulator	1	1	
RL	A	Rotate Accumulator Left	1	1	
RLC	A	Rotate A Left through the Carry flag	1	1	
RR	A	Rotate Accumulator Right	1	1	
RRC	A	Rotate A Right through Carry flag	1	1	
SWAP	A	Swap nibbles within the Accumulator	1	1	

ARITHMETIC TRANSFER				
MNEMONIC		DESCRIPTION	BYTE	CYC
MOV	A, Rn	Move register to Accumulator	1	1
MOV	A, direct	Move direct byte to Accumulator	2	1
MOV	A, @Ri	Move indirect RAM to Accumulator	1	1
MOV	A, #data	Move immediate data to Accumulator	2	1
MOV	Rn, A	Move Accumulator to register	1	1
MOV	Rn, direct	Move direct byte to register	2	2
MOV	Rn, #data	Move immediate data to register	2	1
MOV	direct, A	Move Accumulator to direct byte	2	1
MOV	direct, Rn	Move register to direct byte	2	2
MOV	direct, direct	Move direct byte to direct	3	2
MOV	direct, @Ri	Move indirect RAM to direct byte	2	2
MOV	direct, #data	Move immediate data to direct byte	3	2
MOV	@Ri, A	Move Accumulator to indirect RAM	1	1
MOV	@Ri, direct	Move direct byte to indirect RAM	2	2
MOV	@Ri, #data	Move immediate data to indirect RAM	2	1
MOV	DPTR, #data 16	Load Data Pointer with a 16-bit constant	3	2
MOVC	A, @A + DPTR	Move Code byte relative to DPTR to A	1	2
MOVC	A, @A + PC	Move Code byte relative to PC to A	1	2
MOVX	A, @Ri	Move External RAM (8-bit addr) to A	1	2
MOVX	A, @DPTR	Move external RAM (16-bit addr) to A	1	2
MOVX	@Ri, A	Move A to External RAM (8-bit addr)	1	2
MOVX	@DPTR, A	Move A to External RAM (16-bit addr)	1	2
PUSH	direct	Push direct byte onto stack	2	2
POP	direct	Pop direct byte from stack	2	2
XCH	A, Rn	Exchange register with Accumulator	1	1
XCH	A, direct	Exchange direct byte with Accumulator	2	1
XCH	A, @Ri	Exchange indirect RAM with A	1	1
XCHD	A, @Ri	Exchange low-order nibble ind RAM with A	1	1
BOOLEAN VARIABLE MANIPULATION				
MNEMONIC		DESCRIPTION	BYTE	CYC
CLR	C	Clear Carry flag	1	1
CLR	bit	Clear direct bit	2	1
SETB	C	Set Carry flag	1	1
SETB	bit	Set direct bit	2	1
CPL	C	Complement Carry flag	1	1
CPL	bit	Complement direct bit	2	1
ANL	C, bit	AND direct bit to Carry flag	2	2
ANL	C, bit	AND complement of direct bit to Carry	2	2
ORL	C, bit	OR direct bit to Carry flag	2	2
ORL	C, bit	OR complement of direct bit to Carry	2	2
MOV	C, bit	Move direct bit to Carry flag	2	1
MOV	bit, C	Move Carry flag to direct bit	2	2
PROGRAM AND MACHINE CONTROL				
MNEMONIC		DESCRIPTION	BYTE	CYC
ACALL	addr 11	Absolute subroutine Call	2	2
LCALL	addr 16	Long Subroutine Call	3	2
RET		Return from subroutine	1	2
RETI		Return from interrupt	1	2
AJMP	addr 11	Absolute Jump	2	2
LJMP	addr 16	Long Jump	3	2
SJMP	rel	Short Jump (relative addr)	2	2
JMP	@A + DPTR	Jump indirect relative to the DPTR	1	2
JZ	rel	Jump if Accumulator is Zero	2	2
JNZ	rel	Jump if Accumulator is Not Zero	2	2
JC	rel	Jump if Carry flag is set	2	2
JNC	rel	Jump if No Carry flag	2	2

PROGRAM AND MACHINE CONTROL (cont.)				
MNEMONIC		DESCRIPTION	BYTE	CYC
JB	bit, rel	Jump if direct Bit set	3	2
JNB	bit, rel	Jump if direct Bit Not set	3	2
JBC	bit, rel	Jump if direct Bit is set & Clear bit	3	2
CJNE	A, direct, rel	Compare direct to A & Jump if Not Equal	3	2
CJNE	A, #data, rel	Comp. immed. to A & Jump if Not Equal	3	2
CJNE	Rn, #data, rel	Comp. immed. to reg & Jump if Not Equal	3	2
CJNE	@Ri, #data, rel	Comp. immed. to ind. & jump if Not Equal	3	2
DJNZ	Rn, rel	Decrement register & Jump if Not Zero	2	2
DJNZ	direct, rel	Decrement direct & Jump if Not Zero	3	2
NOP		No operation	1	1

Notes on data addressing modes :

- Rn – Working register R0-R7
- direct – 128 internal RAM locations, any I/O port, control or status register
- @Ri – Indirect internal RAM location addressed by register R0 or R1
- #data – 8-bit constant included in instruction
- #data 16 – 16-bit constant included as bytes 2 & 3 of instruction
- bit – 128 software flags, any I/O pin, control or status bit

Notes on program addressing modes :

- addr 16 – Destination address for LCALL & LJMP may be anywhere within the 64-k program memory address space
- Addr 11 – Destination address for ACALL & AJMP will be within the same 2-k page of program memory as the first byte of the following instruction
- rel – SJMP and all conditional jumps include an 8-bit offset byte. Range is + 127 – 128 bytes relative to the first byte of the following instruction.

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation 1979

INSTRUCTION OPCODES IN HEXADECIMAL ORDER

HEX CODE	NUMB. OF BYTES	MNEM.	OPERANDS	HEX CODE	NUMB. OF BYTES	MNEM.	OPERANDS
00	1	NOP		33	1	RLC	A
01	2	AJMP	code addr	34	2	ADDC	A, #data
02	3	LJMP	code addr	35	2	ADDC	A, data addr
03	1	RR	A	36	1	ADDC	A, @R0
04	1	INC	A	37	1	ADDC	A, @R1
05	2	INC	data addr	38	1	ADDC	A, R0
06	1	INC	@R0	39	1	ADDC	A, R1
07	1	INC	@R1	3A	1	ADDC	A, R2
08	1	INC	R0	3B	1	ADDC	A, R3
09	1	INC	R1	3C	1	ADDC	A, R4
0A	1	INC	R2	3D	1	ADDC	A, R5
0B	1	INC	R3	3E	1	ADDC	A, R6
0C	1	INC	R4	3F	1	ADDC	A, R7
0D	1	INC	R5	40	2	JC	code addr
0E	1	INC	R6	41	2	AJMP	code addr
0F	1	INC	R7	42	2	ORL	data addr, A
10	3	JBC	bit addr, code addr	43	3	ORL	data addr, #data
11	2	ACALL	code addr	44	2	ORL	A, #data
12	3	LCALL	code addr	45	2	ORL	A, data addr
13	1	RC	A	46	1	ORL	A, @R0
14	1	DEC	A	47	1	ORL	A, @R1
15	2	DEC	data addr	48	1	ORL	A, R0
16	1	DEC	@R0	49	1	ORL	A, R1
17	1	DEC	@R1	4A	1	ORL	A, R2
18	1	DEC	R0	4B	1	ORL	A, R3
19	1	DEC	R1	4C	1	ORL	A, R4
1A	1	DEC	R2	4D	1	ORL	A, R5
1B	1	DEC	R3	4E	1	ORL	A, R6
1C	1	DEC	R4	4F	1	ORL	A, R7
1D	1	DEC	R5	50	2	JNC	code addr
1E	1	DEC	R6	51	2	ACALL	code addr
1F	1	DEC	R7	52	2	ANL	data addr, A
20	3	JB	bit addr, code addr	53	3	ANL	data addr, #data
21	2	AJMP	code addr	54	2	ANL	A, #data
22	1	RET		55	2	ANL	A, data addr
23	1	RL	A	56	1	ANL	A, @R0
24	2	ADD	A, data	57	1	ANL	A, @R1
25	2	ADD	A, data addr	58	1	ANL	A, R0
26	1	ADD	A, @R0	59	1	ANL	A, R1
27	1	ADD	A, @R1	5A	1	ANL	A, R2
28	1	ADD	A, R0	5B	1	ANL	A, R3
29	1	ADD	A, R1	5C	1	ANL	A, R4
2A	1	ADD	A, R2	5D	1	ANL	A, R5
2B	1	ADD	A, R3	5E	1	ANL	A, R6
2C	1	ADD	A, R4	5F	1	ANL	A, R7
2D	1	ADD	A, R5	60	2	JZ	code addr
2E	1	ADD	A, R6	61	2	AJMP	code addr
2F	1	ADD	A, R7	62	2	XRL	data addr, A
30	3	JNB	bit, addr, code	63	3	XRL	data addr, #data
31	2	ACALL	addr	64	2	XRL	A, #data
32	1	RETI	code addr	65	2	XRL	A, data addr

HEX CODE	NUMB. OF BYTES	MNEM.	OPERANDS	HEX CODE	NUMB. OF BYTES	MNEM.	OPERANDS
66	1	XRL	A, @R0	99	1	SUBB	A, R1
67	1	XRL	A, @R1	9A	1	SUBB	A, R2
68	1	XRL	A, R0	9B	1	SUBB	A, R3
69	1	XRL	A, R1	9C	1	SUBB	A, R4
6A	1	XRL	A, R2	9D	1	SUBB	A, R5
6B	1	XRL	A, R3	9E	1	SUBB	A, R6
6C	1	XRL	A, R4	9F	1	SUBB	A, R7
6D	1	XRL	A, R5	A0	2	ORL	C, bit addr
6E	1	XRL	A, R6	A1	2	AJMP	code addr
6F	1	XRL	A, R7	A2	2	MOV	C, bit addr
70	2	JNZ	code addr	A3	1	INC	DPTR
71	2	ACALL	code addr	A4	1	MUL	AB
72	2	ORL	C, bit addr	A5		reserved	
73	1	JMP	@A + DPTR	A6	2	MOV	@R0, data addr
74	2	MOV	A, #data	A7	2	MOV	@R1, data addr
75	3	MOV	data addr, #data	A8	2	MOV	R0, data addr
76	2	MOV	@R0, #data	A9	2	MOV	R1, data addr
77	2	MOV	@R1, #data	AA	2	MOV	R2, data addr
78	2	MOV	R0, #data	AB	2	MOV	R3, data addr
79	2	MOV	R1, #data	AC	2	MOV	R4, data addr
7A	2	MOV	R2, #data	AD	2	MOV	R5, data addr
7B	2	MOV	R3, #data	AE	2	MOV	R5, data addr
7C	2	MOV	R4, #data	AF	2	MOV	R7, data addr
7D	2	MOV	R5, #data	B0	2	ANL	C, bit addr
7E	2	MOV	R6, #data	B1	2	ACALL	code addr
7F	2	MOV	R7, #data	B2	2	CPL	bit addr
80	2	SJMP	code addr	B3	1	CPL	C
81	2	AJMP	code addr	B4	3	CJNE	A, #data, code addr
82	2	ANL	C, bit addr	B5	3	CJNE	A, data addr, code addr
83	1	MOVC	A, @A + PC	B6	3	CJNE	@R0, #data, code addr
84	1	DIV	AB	B7	3	CJNE	@R1, #data, code addr
85	3	MOV	data addr, data addr	B8	3	CJNE	R0, #data, code addr
86	2	MOV	data addr, @R0	B9	3	CJNE	R1, #data, code addr
87	2	MOV	data addr, @R1	BA	3	CJNE	R2, #data, code addr
88	2	MOV	data addr, R0	BB	3	CJNE	R3, #data, code addr
89	2	MOV	data addr, R1	BC	3	CJNE	R5, #data, code addr
8A	2	MOV	data addr, R2	BD	3	CJNE	R4, #data, code addr
8B	2	MOV	data addr, R3	BE	3	CJNE	R6, #data, code addr
8C	2	MOV	data addr, R4	BF	3	CJNE	R7, #data, code addr
8D	2	MOV	data addr, R5	C0	2	PUSH	data addr
8E	2	MOV	data addr, R6	C1	2	AJMP	code addr
8F	2	MOV	data addr, R7	C2	2	CLR	bit addr
90	3	MOV	DPTR, #data	C3	1	CLR	C
91	2	ACALL	code addr	C4	1	SWAP	A
92	2	MOV	bit addr, C	C5	2	XCH	A, data addr
93	1	MOVC	A, @A + DPTR	C6	1	XCH	A, @R0
94	2	SUBB	A, #data	C7	1	XCH	A, @R1
95	2	SUBB	A, data addr	C8	1	XCH	A, R0
96	1	SUBB	A, @R0	C9	1	XCH	A, R1
97	1	SUBB	A, @R1	CA	1	XCH	A, R2
98	1	SUBB	A, R0	CB	1	XCH	A, R3

HEX CODE	NUMB. OF BYTES	MNEM.	OPERANDS	HEX CODE	NUMB. OF BYTES	MNEM.	OPERANDS
CC	1	XCH	A, R4	E6	1	MOV	A, @R0
CD	1	XCH	A, R5	E7	1	MOV	A, @R1
CE	1	XCH	A, R6	E8	1	MOV	A, R0
CF	1	XCH	A, R7	E9	1	MOV	A, R1
D0	2	POP	data addr	EA	1	MOV	A, R2
D1	2	ACALL	code addr	EB	1	MOV	A, R3
D2	2	SETB	bit addr	EC	1	MOV	A, R4
D3	1	SETB	C	ED	1	MOV	A, R5
D4	1	DA	A	EE	1	MOV	A, R6
D5	3	DJNZ	data addr, code addr	EF	1	MOV	A, R7
D6	1	XCHD	A, @R0	F0	1	MOVX	@DPTR, A
D7	1	XCHD	A, @R1	F1	2	ACALL	code addr
D8	2	DJNZ	R0, code addr	F2	1	MOVX	@R0, A
D9	2	DJNZ	R1, code addr	F3	1	MOVX	@R1, A
DA	2	DJNZ	R2, code addr	F4	1	CPL	A
DB	2	DJNZ	R3, code addr	F5	2	MOV	data addr, A
DC	2	DJNZ	R4, code addr	F6	1	MOV	@R0, A
DD	2	DJNZ	R5, code addr	F7	1	MOV	@R1, A
DE	2	DJNZ	R6, code addr	F8	1	MOV	R0, A
DF	2	DJNZ	R7, code addr	F9	1	MOV	R1, A
E0	1	MOVX	A, @DPTR	FA	1	MOV	R2, A
E1	2	AJMP	code addr	FB	1	MOV	R3, A
E2	1	MOVX	A, @R0	FC	1	MOV	R4, A
E3	1	MOVX	A, @R1	FD	1	MOV	R5, A
E4	1	CLR	A	FE	1	MOV	R6, A
E5	2	MOV	A, data addr	FF	1	MOV	R7, A

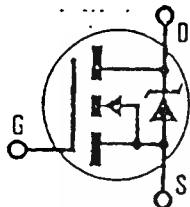
ORDERING INFORMATION

A	R	80C31	- L	
Q	P	80C51	- S	
L	D	80C51F	- 1	: D
I	J		/B	: R
M	V	xxx		
	T			
Temperature Range	Package Type	Part Number	Blank : 12 MHz version	
blank : Commercial	P : Plastic DIL	80C51 Rom 4 K x 8	- 1 : 16 MHz version	
I : Industrial	S : PLCC	80C31 External Rom	- S : 20 MHz version	
M : Military	D : Cerdip	80C51F Secret ROM	- L : Low power.	
L : Ind + BI*	R : LCC	version	-/B : Military Program.	
Q : Com + BI*	J : J leaded LCC		Customer Rom Code	: R Tape and Reel
A : Automotive	F : Quad Flat Pack		(80C51 only)	: D Dry Pack
	V : S Quad Flat Pack (1.4 mm)			
	T : T Quad Flat Pack (1.0 mm)**			
* BI : Burn-In				
** : Preliminary				

INTERNATIONAL RECTIFIER 

REPETITIVE AVALANCHE AND dv/dt RATED*
HEXFET[®] TRANSISTORS

- IRFP450
- IRFP451
- IRFP452
- IRFP453



N-CHANNEL

500 Volt, 0.40 Ohm HEXFET
TO-247AC (TO-3P) Plastic Package

Product Summary

Part Number	V _{DS}	R _{DS(on)}	I _D
IRFP450	500V	0.40Ω	14A
IRFP451	450V	0.40Ω	14A
IRFP452	500V	0.50Ω	12A
IRFP453	450V	0.50Ω	12A

The HEXFET[®] technology is the key to International Rectifier's advanced line of power MOSFET transistors. The efficient geometry and unique processing of the HEXFET design achieve very low on-state resistance combined with high transconductance and great device ruggedness.

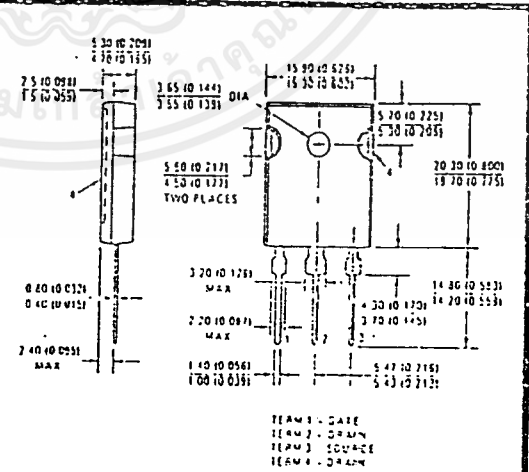
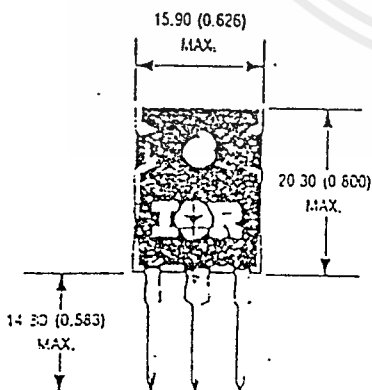
The HEXFET transistors also feature all of the well established advantages of MOSFETs such as voltage control, very fast switching, ease of paralleling, and temperature stability of the electrical parameters.

They are well suited for applications such as switching power supplies, motor controls, inverters, choppers, audio amplifiers, and high energy pulse circuits.

FEATURES:

- ☑ Isolated Central Mounting Hole
- ☑ Repetitive Avalanche Ratings
- ☑ Dynamic dv/dt Rating
- ☑ Simple Drive Requirements
- ☑ Ease of Paralleling

CASE STYLE AND DIMENSIONS



Conforms to JEDEC Outline TO-247AC (TO-3P)
Dimensions in Millimeters and (Inches)

* This data sheet applies to product with batch codes that begin with a digit, ie. 2A3B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 Devices

Absolute Maximum Ratings

Parameter	IRFP450, IRFP451	IRFP452, IRFP453	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$ Continuous Drain Current	14	12	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$ Continuous Drain Current	8.8	7.9	A
I_{DM} Pulsed Drain Current	56	48	A
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$ Max. Power Dissipation		160	W
Linear Derating Factor		1.4	W/°C
V_{GS} Gate-Source Voltage		± 20	V
E_{AS} Single Pulse Avalanche Energy		760 (See Fig. 14)	mJ
I_{AS} Avalanche Current (Repetitive or Non-Repetitive)		14 (See Eq. 1)	A
E_{AR} Repetitive Avalanche Energy		14 (See Fig. 14)	mJ
I_{RM} Peak Reverse Recovery Current		13 (See Fig. 17)	A
T_J, T_{STG} Operating Junction Storage Temperature Range		-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Lead Temperature	300 to 350 $^\circ\text{C}$ (1 min. from base to lead)		


Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Unless Otherwise Specified)

Parameter	Typ.	Min.	Max.	Test Conditions
$V_{DS(ON)}$ Drain-Source On-State Voltage	$V_{GS} = 0$ IRFP450 IRFP451 IRFP452 IRFP453	N/A	—	$V_{GS} = 0$, $I_D = 250\mu\text{A}$
$r_{DS(on)}$ Drain-Source On-State Resistance	IRFP450 IRFP451 IRFP452 IRFP453	—	1.22 1.42 1.22	$V_{GS} = 0$, $I_D = 1\text{A}$
$I_{D(sat)}$ Drain-Source Saturation Current	IRFP450 IRFP451 IRFP452 IRFP453	4	—	$V_{GS} = 10\text{V}$, $V_{DS} = \text{Min.}$, $V_{GS} = 10\text{V}$
$V_{GS(th)}$ Gate Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	2.7	4.0	$V_{GS} = 10\text{V}$, $I_D = 250\mu\text{A}$
r_{DS} Forward Transconductance	r_{DS}	1.3	1.4	$V_{GS} = 10\text{V}$, $V_{DS} = 7.5\text{V}$
$I_{D(sw)}$ Switching Drain Current	$I_{D(sw)}$	—	280	$V_{GS} = \text{Max. Ramp } V_{GS} = 0$, $V_{GS} = 10\text{V}$, Max. Ramp $V_{GS} = 0$, $T_J = 100^\circ\text{C}$
$r_{DS(on)}$ Drain-Source Resistance Forward	$r_{DS(on)}$	—	100	$V_{GS} = 10\text{V}$
$r_{DS(on)}$ Drain-Source Resistance Reverse	$r_{DS(on)}$	—	100	$V_{GS} = 10\text{V}$
Q_g Total Gate Charge	Q_g	35	100	$V_{GS} = 10\text{V}$, $I_D = 1\text{A}$
Q_{gs} Gate-Source Charge	Q_{gs}	—	—	$V_{GS} = 10\text{V}$, Max. Ramp
Q_{gd} Gate-Drain Charge	Q_{gd}	43	54	See Fig. 16
$t_{r(on)}$ Turn-On Delay Time	$t_{r(on)}$	18	27	$V_{GS} = 10\text{V}$, $I_D = 1\text{A}$, $V_{GS} = 0$
$t_{f(on)}$ Rise Time	$t_{f(on)}$	44	56	$V_{GS} = 10\text{V}$
$t_{r(off)}$ Turn-Off Delay Time	$t_{r(off)}$	72	100	See Fig. 16
$t_{f(off)}$ Fall Time	$t_{f(off)}$	42	52	Independent of operating temperature
$r_{DS(ON)}$ Normal Drain Resistance	$r_{DS(ON)}$	1.2	—	Measured from the drain pad 8mm x 22mm distance to center of die
$r_{DS(REV)}$ Normal Source Resistance	$r_{DS(REV)}$	1.2	—	Measured from the source pad 8mm x 22mm distance to source center of die
r_{DS} Drain Resistance	r_{DS}	2100	27	$V_{GS} = 0$, $V_{DS} = 25\text{V}$
$r_{DS(s)}$ Source Resistance	$r_{DS(s)}$	260	27	$V_{GS} = 10\text{V}$
$r_{DS(TH)}$ Reverse Transfer Resistance	$r_{DS(TH)}$	15	27	See Fig. 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 Devices

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S Continuous Source Current (Body Diode)	ALL	—	—	14	A	Modified MOSFET symbol showing the integral Reverse pin junction rectifier. 
I_{SM} Pulsed Source Current (Body Diode)	ALL	—	—	54	A	
V_{SD} Diode Forward Voltage	ALL	—	—	1.4	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = 14\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$
t_r Reverse Recovery Time	ALL	250	500	1200	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = 13\text{A}$, $dI_S/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$
Q_{RR} Reverse Recovery Charge	ALL	3.2	6.7	14	μC	
t_{fd} Forward Turn-On Time	ALL	INTERNAL TURN-ON TIME IS NEGLECTABLE. TURN-ON SPEED IS SUBSTANTIALLY GOVERNED BY $I_S - I_D$.				

Thermal Resistance

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
$R_{\theta JC}$ Junction-Case	ALL	—	—	0.73	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	
$R_{\theta CS}$ Case-to-Sink	ALL	—	0.24	—	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	Mounting surface flat, smooth, and greased.
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Air	ALL	—	—	40	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	Typical bracket mount.
Mounting Torque	ALL	—	—	13	$\text{in} \cdot \text{lb}$	Standard 9-32 screw.

① Maximum Rating P_{DM} when limited by maximum junction temperature (see Fig. 1) Refer to current PLEP™ waveform 10001.

② $I_{SD} = 14\text{A}$, $dI_S/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_J = 150^\circ\text{C}$, Suggested $R_G = 20\Omega$.

③ $K_{WJ} = 1^\circ\text{C}/\text{W}$, $W_{JK} = W_{JC}$.

④ $V_{GS} = 10\text{V}$ (Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $t_r = 10\text{ns}$, $R_G = 25\Omega$, $I_{SD} = 14\text{A}$).

⑤ P_{DM} when $d = 300\text{ }\mu\text{m}$ Duty Cycle = 2%

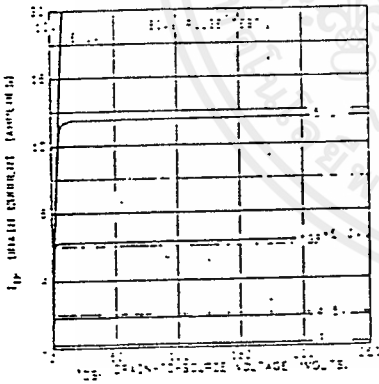


Fig. 1 — Typical Output Characteristics

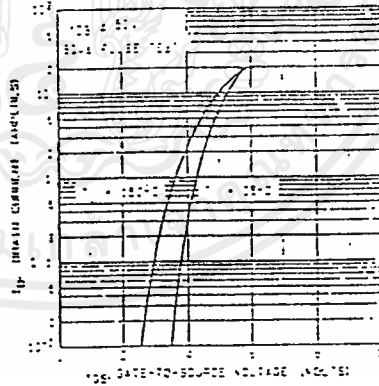


Fig. 2 — Typical Transfer Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 Devices

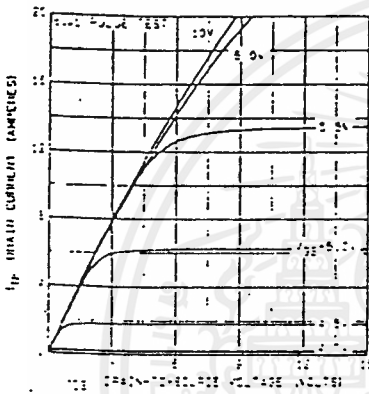


Fig. 3 — Typical Saturation Characteristics

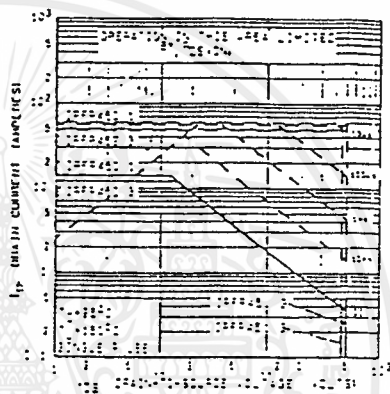


Fig. 4 — Maximum Safe Operating Area

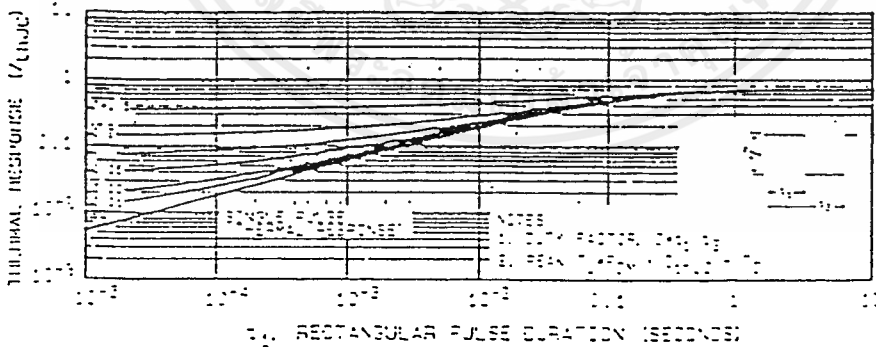


Fig. 5 — Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case Vs. Pulse Duration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 Devices

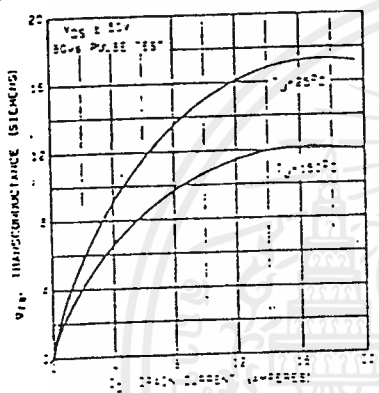


Fig. 6 — Typical Transconductance Vs. Drain Current

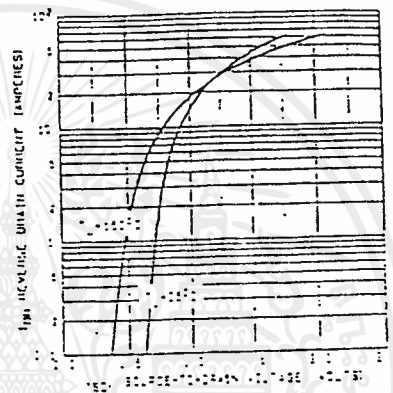


Fig. 7 — Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

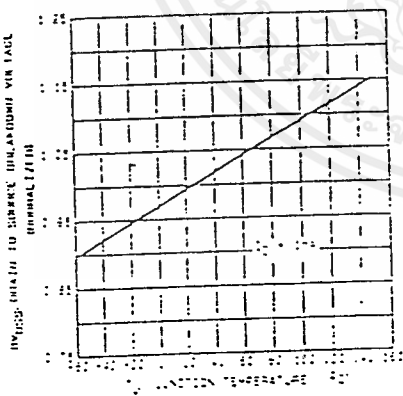


Fig. 8 — Breakdown Voltage Vs. Temperature

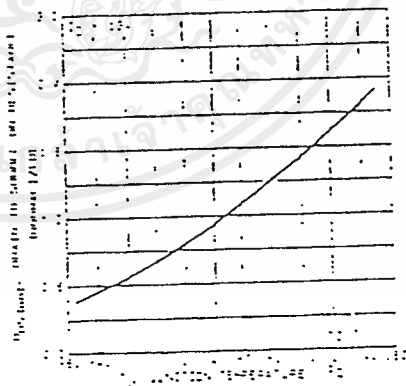


Fig. 9 — Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 Devices

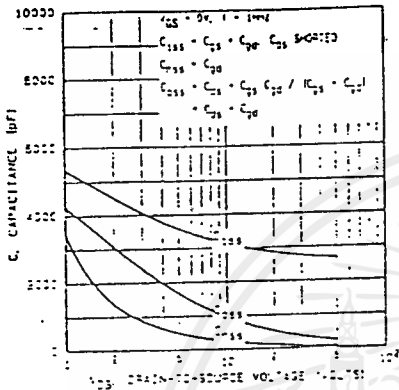


Fig. 10 — Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

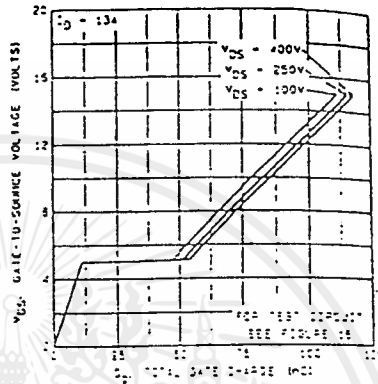


Fig. 11 — Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

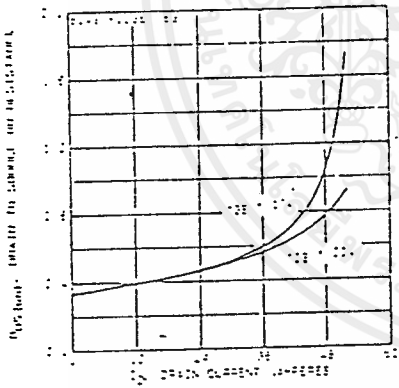


Fig. 12 — Typical On-Resistance Vs. Drain Current

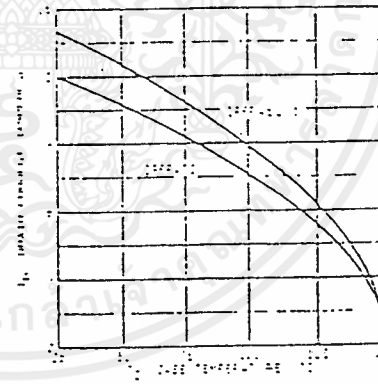


Fig. 13 — Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453 Device

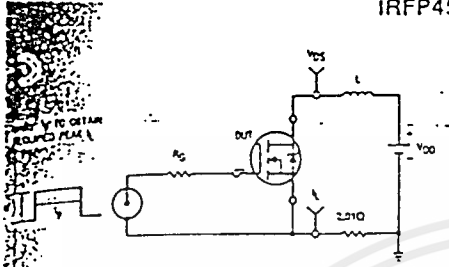


Fig. 14a — Unclamped Inductive Test Circuit

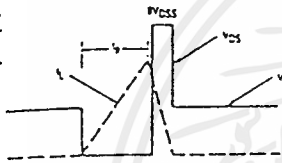


Fig. 14b — Unclamped Inductive Waveforms

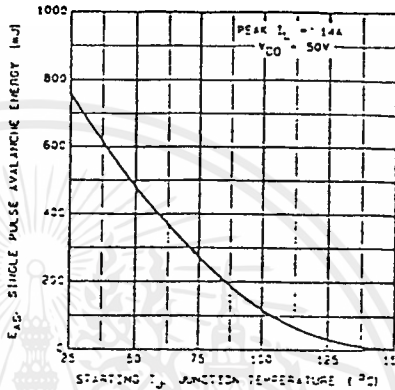


Fig. 14c — Maximum Avalanche Energy Vs. Starting Junction Temperature

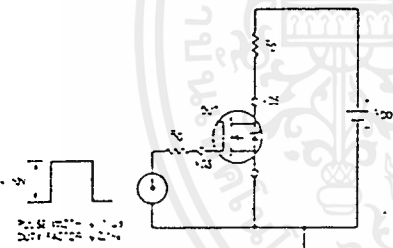


Fig. 15a — Switching Time Test Circuit

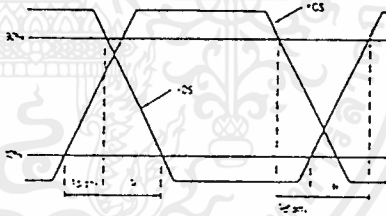


Fig. 15b — Switching Time Waveforms

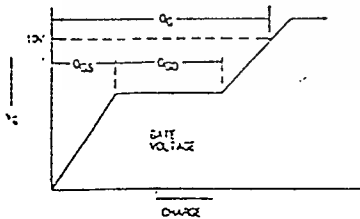


Fig. 16a — Basic Gate Charge Waveform

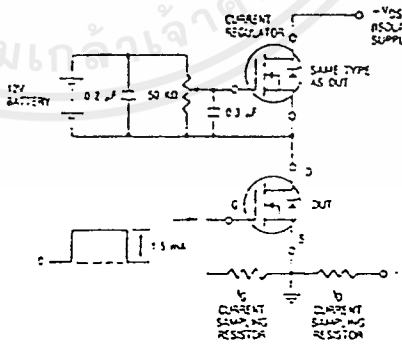


Fig. 16b — Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450, IRFP451, IRFP452, IRFP453, Devices

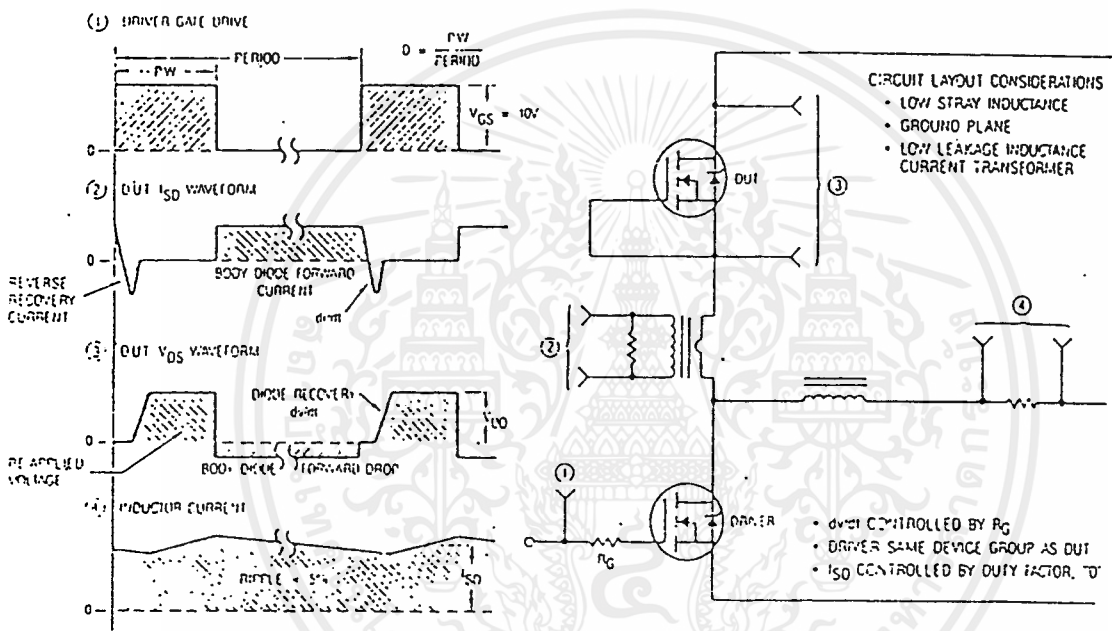


Fig. 17 — Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUAD 2-INPUT "NAND" SCHMITT TRIGGER

The MC14093B Schmitt trigger is constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. These devices find primary use where low power dissipation and/or high noise immunity is desired. The MC14093B may be used in place of the MC14011B quad 2-input NAND gate for enhanced noise immunity or to "square up" slowly changing waveforms.

- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Capable of Driving Two Low-Power TTL Loads or One Low-Power Schottky TTL Load over the Rated Temperature Range
- Triple Diode Protection on All Inputs
- Pin-for-Pin Compatible with CD4093
- Can be Used to Replace MC14011B
- Independent Schmitt-Trigger at each Input

MC14093B

 L SUFFIX
 CERAMIC
 CASE 632

 P SUFFIX
 PLASTIC
 CASE 646

 D SUFFIX
 SOIC
 CASE 751A

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	-0.5 to +18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
i_{in}, i_{out}	Input or Output Current (DC or Transient), per Pin	± 10	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

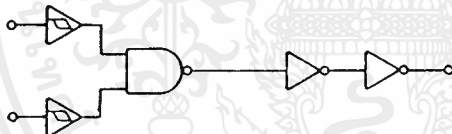
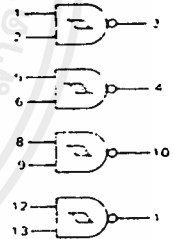
*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

†Temperature Derating: Plastic "P" and "D/DW" Packages: -7.0 mW/°C From 65°C To 125°C
 Ceramic "L" Packages: -12 mW/°C From 100°C To 125°C

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
 MC14XXXBCL Ceramic
 MC14XXXBD SOIC

T_A 55 to 125 C for all packages

EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC
 (1/4 OF CIRCUIT SHOWN)

LOGIC DIAGRAM


V_{DD} = Pin 14
 V_{SS} = Pin 7

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V _{DD} Vdc	-55°C		25°C			125°C		Unit
			Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
Output Voltage V _{in} = V _{DD} or 0	V _{OL}	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	
V _{in} = 0 or V _{DD}	V _{OH}	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—	
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—	
Output Drive Current (V _{OH} = 2.5 Vdc) (V _{OH} = 4.6 Vdc) (V _{OH} = 9.5 Vdc) (V _{OH} = 13.5 Vdc)	Source I _{OH}	5.0	-3.0	—	-2.4	-4.2	—	-1.7	—	mAdc
		5.0	-0.64	—	-0.51	-0.88	—	-0.36	—	
		10	-1.6	—	-1.3	-2.25	—	-0.9	—	
	Sink I _{OL}	5.0	0.64	—	0.51	0.88	—	0.36	—	mAdc
		10	1.6	—	1.3	2.25	—	0.9	—	
		15	4.2	—	3.4	8.8	—	2.4	—	
Input Current	I _{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μAdc
Input Capacitance (V _{in} = 0)	C _{in}	—	—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF
Quiescent Current (Per Package)	I _{DD}	5.0	—	0.25	—	0.0005	0.25	—	7.5	μAdc
		10	—	0.5	—	0.0010	0.5	—	15	
		15	—	1.0	—	0.0015	1.0	—	30	
Total Supply Current**† (Dynamic plus Quiescent, Per Package) (C _L = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I _T	5.0	I _T = (1.2 μA/kHz) f + I _{DD}							μAdc
		10	I _T = (2.4 μA/kHz) f + I _{DD}							
		15	I _T = (3.6 μA/kHz) f + I _{DD}							
Hysteresis Voltage	V _{H†}	5.0	0.3	2.0	0.3	1.1	2.0	0.3	2.0	Vdc
		10	1.2	3.4	1.2	1.7	3.4	1.2	3.4	
		15	1.6	5.0	1.6	2.1	5.0	1.6	5.0	
Threshold Voltage Positive-Going	V _{T+}	5.0	2.2	3.6	2.2	2.9	3.6	2.2	3.6	Vdc
		10	4.6	7.1	4.6	5.9	7.1	4.6	7.1	
		15	6.8	10.8	6.8	8.8	10.8	6.8	10.8	
Negative-Going	V _{T-}	5.0	0.9	2.8	0.9	1.9	2.8	0.9	2.8	Vdc
		10	2.5	5.2	2.5	3.9	5.2	2.5	5.2	
		15	4.0	7.4	4.0	5.8	7.4	4.0	7.4	

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

**The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

†To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) Vfk$$

where: I_T is in μA (per package), C_L in pF, V = (V_{DD} - V_{SS}) in volts, f in kHz is input frequency, and k = 0.004.

SWITCHING CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Characteristic	Symbol	V _{DD} V _{dC}	Min	Typ #	Max	Unit
Output Rise Time	t _{TLH}	5.0	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
Output Fall Time	t _{THL}	5.0	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
Propagation Delay Time	t _{PLH} , t _{PHL}	5.0	—	125	250	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	

#Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

FIGURE 1 — SWITCHING TIME TEST CIRCUIT AND WAVE FORMS

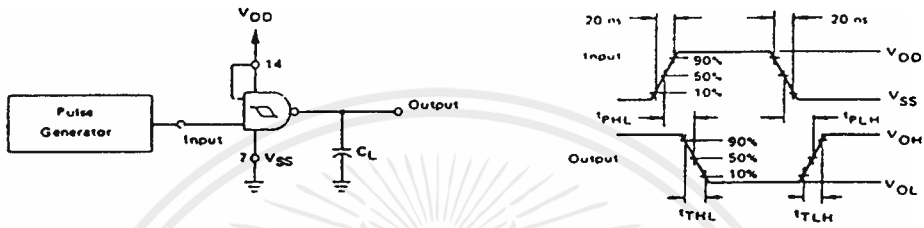


FIGURE 2 — TYPICAL SCHMITT TRIGGER APPLICATIONS

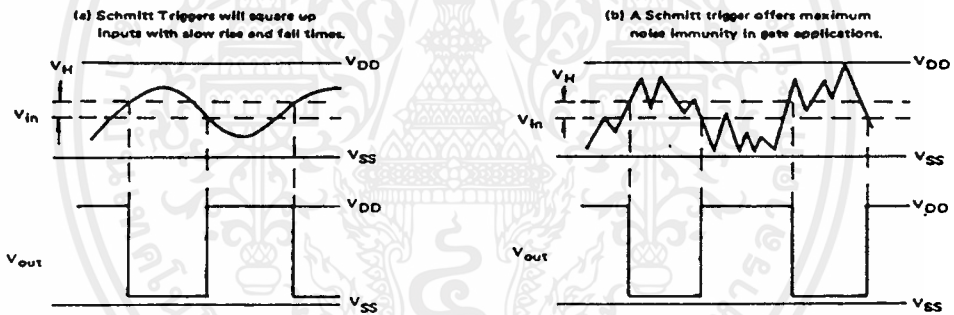


FIGURE 3 - TYPICAL OUTPUT SOURCE CHARACTERISTICS TEST CIRCUIT

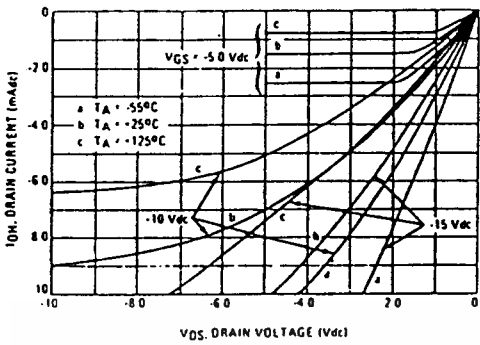
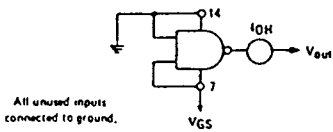


FIGURE 4 - TYPICAL OUTPUT SINK CHARACTERISTICS TEST CIRCUIT

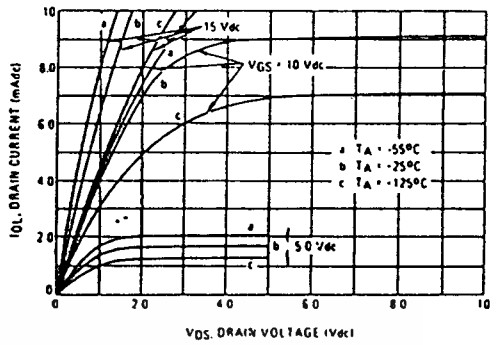
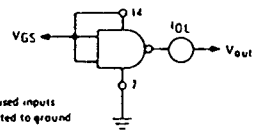
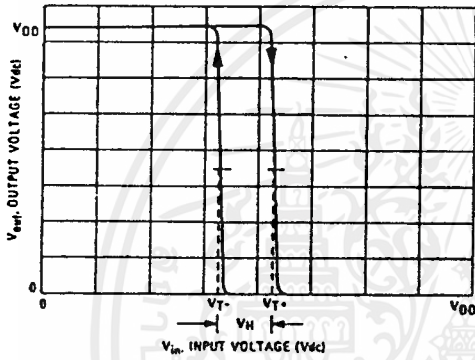
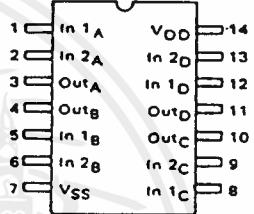


FIGURE 5 - TYPICAL TRANSFER CHARACTERISTICS



PIN ASSIGNMENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

MC14049B
MC14050B

HEX BUFFER

The MC14049B Hex Inverter/Buffer and MC14050B Noninverting Hex Buffer are constructed with MOS P-Channel and N-Channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. These complementary MOS devices find primary use where low power dissipation and/or high noise immunity is desired. These devices provide logic level conversion using only one supply voltage, V_{DD} .

The input-signal high level (V_{IH}) can exceed the V_{DD} supply voltage for logic level conversions. Two TTL/DTL loads can be driven when the devices are used as a CMOS-to-TTL/DTL converter ($V_{DD} = 5.0$ V, $V_{OL} \leq 0.4$ V, $I_{OL} \geq 3.2$ mA).

Note that pins 13 and 16 are not connected internally on these devices; consequently connections to these terminals will not affect circuit operation.

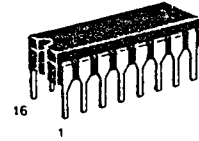
- High Source and Sink Currents
- High-to-Low Level Converter
- Supply Voltage Range = 3.0 V to 18 V
- V_{IH} can exceed V_{DD}
- Meets JEDEC B Specifications
- Improved ESD Protection On All Inputs

MAXIMUM RATINGS¹ (Voltages referenced to V_{SS})

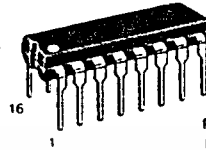
Characteristic	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V_{DD}	-0.5 to +18	Vdc
Input Voltage (DC or Transient)	V_{IH}	-0.5 to +18	Vdc
Output Voltage (DC or Transient)	V_{out}	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$	Vdc
Input Current (DC or Transient), per pin	I_{in}	± 10	mA
Output Current (DC or Transient), per pin	I_{out}	+45	mA
Power Dissipation, per Package ² (Plastic/Ceramic)	P_D	825 740	mW
Storage Temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead Temperature (8-Second Soldering)	T_l	260	°C

¹Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

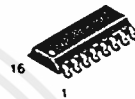
²Temperature Derating: See Figure 3.



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



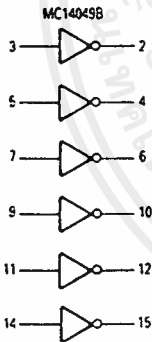
D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

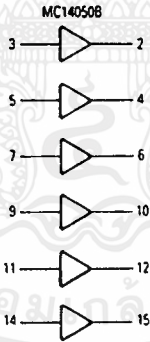
- MC14XXXBCL Ceramic
- MC14XXXBCP Plastic
- MC14XXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ for all packages

LOGIC DIAGRAM

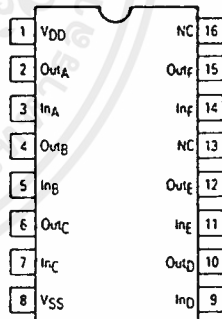


NC = Pin 13, 16
 V_{SS} = Pin 8
 V_{DD} = Pin 1



NC = Pin 13, 16
 V_{SS} = Pin 8
 V_{DD} = Pin 1

PIN ASSIGNMENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V _{DD} Vdc	-55°C		+25°C			+125°C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ ¹	Max	Min	Max		
Output Voltage V _{in} = V _{DD}	"0" Level VOL	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc	
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
	"1" Level V _{in} = 0	VOH	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc
			10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—	
			15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—	
Input Voltage (V _O = 4.5 Vdc) (V _O = 9.0 Vdc) (V _O = 13.5 Vdc)	"0" Level V _{IL}	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	Vdc	
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0		
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0		
	"1" Level (V _O = 0.5 Vdc) (V _O = 1.0 Vdc) (V _O = 1.5 Vdc)	V _{IH}	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	Vdc
			10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
			15	11	—	11	8.25	—	11	—	
Output Drive Current (V _{OH} = 2.5 Vdc) (V _{OH} = 9.5 Vdc) (V _{OH} = 13.5 Vdc)	Source I _{OH}	5.0	-1.6	—	-1.25	-2.5	—	-1.0	—	mAdc	
		10	-1.6	—	-1.30	-2.6	—	-1.0	—		
		15	-4.7	—	-3.75	-10	—	-3.0	—		
	Sink I _{OL}	5.0	3.75	—	3.2	6.0	—	2.6	—	mAdc	
		10	10	—	8.0	16	—	6.6	—		
		15	30	—	24	40	—	19	—		
Input Current	I _{in}	15	—	± 0.1	—	± 0.00001	± 0.1	—	± 1.0	μAdc	
Input Capacitance (V _{in} = 0)	C _{in}	—	—	—	—	10	20	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package)	I _{DD}	5.0	—	1.0	—	0.002	1.0	—	30	μAdc	
		10	—	2.0	—	0.004	2.0	—	60		
		15	—	4.0	—	0.006	4.0	—	120		
Total Supply Current ^{2,3} (Dynamic plus Quiescent, per package) (C _L = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I _T	5.0					I _T = (1.8 μA/kHz) f + I _{DD}				μAdc
		10					I _T = (3.5 μA/kHz) f + I _{DD}				
		15					I _T = (5.3 μA/kHz) f + I _{DD}				

¹ Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

² The formulas given are for the typical characteristics only at +25°C

³ To calculate total supply current at loads other than 50 pF

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) \text{ V/k}$$

Where: I_T is in μA (per Package), C_L in pF, V = (V_{DD} - V_{SS}) in volts, f in kHz is input frequency and k = 0.002

This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields referenced to the V_{SS} pin only. Extra precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than the maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, the ranges V_{SS} ≤ V_{in} ≤ 18 V and V_{SS} ≤ V_{out} ≤ V_{DD} are recommended.
Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

AC SWITCHING CHARACTERISTICS¹ ($C_L = 50 \text{ pF}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Symbol	V _{DD} V _{dC}	Min	Typ ²	Max	Unit
Output Rise Time $t_{TLH} = (0.7 \text{ ns/pF}) C_L + 65 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 37.5 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$	t_{TLH}	5.0 10 15	— — —	100 50 40	160 80 60	ns
Output Fall Time $t_{THL} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 17 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.04 \text{ ns/pF}) C_L + 13 \text{ ns}$	t_{THL}	5.0 10 15	— — —	40 20 15	60 40 30	ns
Propagation Delay Time $t_{PLH} = (0.33 \text{ ns/pF}) C_L + 63.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.19 \text{ ns/pF}) C_L + 30.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 27 \text{ ns}$	t_{PLH}	5.0 10 15	— — —	80 40 30	140 80 60	ns
Propagation Delay Time $t_{PHL} = (0.2 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.1 \text{ ns/pF}) C_L + 15 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.05 \text{ ns/pF}) C_L + 12.5 \text{ ns}$	t_{PHL}	5.0 10 15	— — —	40 20 15	80 40 30	ns

¹ The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

² Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

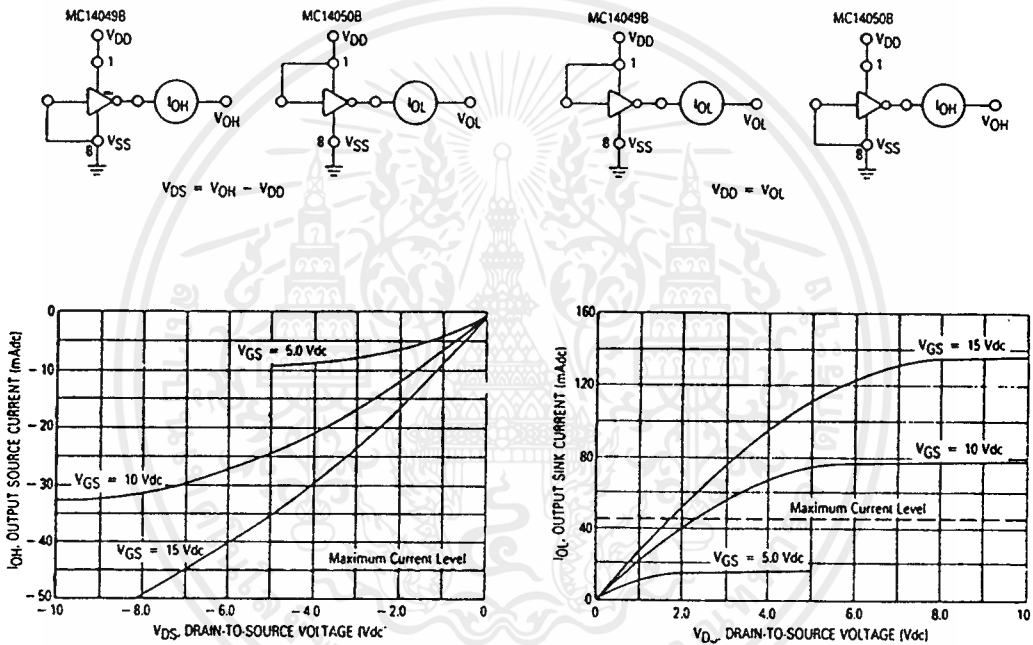


FIGURE 1 — TYPICAL OUTPUT SOURCE CHARACTERISTICS

FIGURE 2 — TYPICAL OUTPUT SINK CHARACTERISTICS

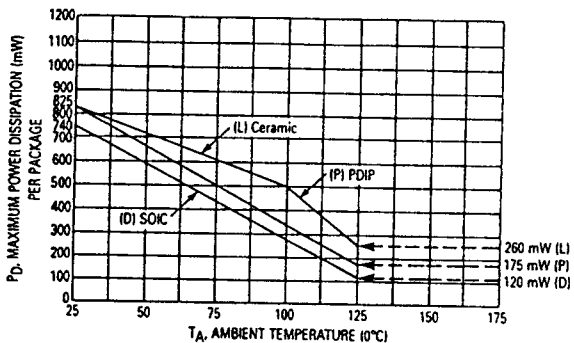


FIGURE 3 — AMBIENT TEMPERATURE POWER DERATING

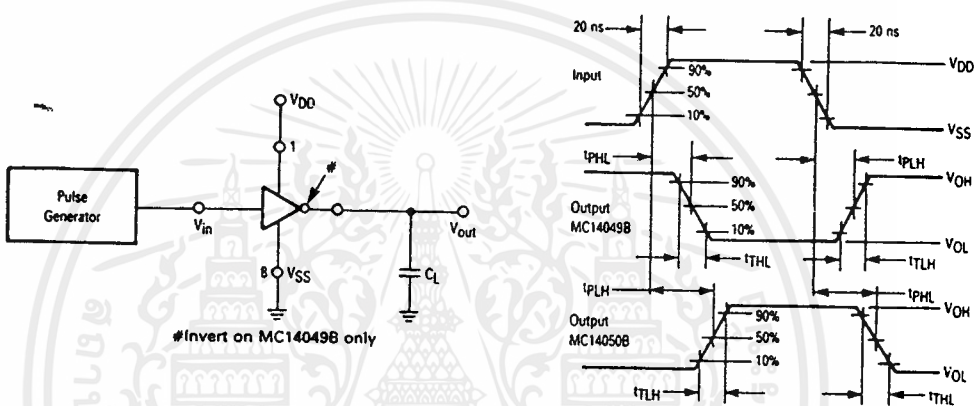


FIGURE 4 — SWITCHING TIME TEST CIRCUIT AND WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

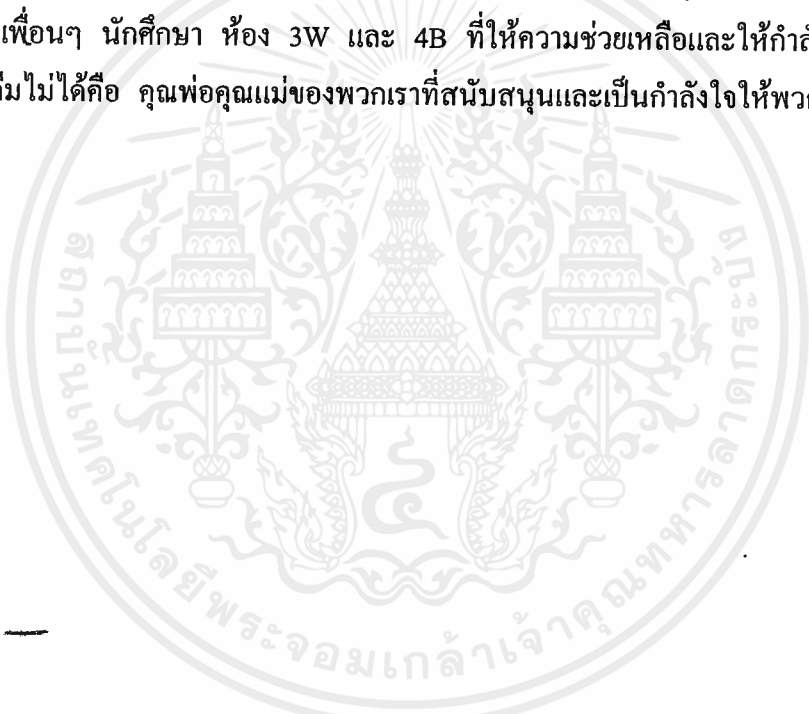
กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ. ดร. วิริยะ พิเศษฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูงสุดที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เกี่ยวกับการทำปริญญาบัตรนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงาน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่โรมัส พี่อ็อค พี่นิก และพี่แก้ว (นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า) ที่คอยให้คำปรึกษา ให้อืมใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งให้การสนับสนุนมาตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษา ห้อง 3W และ 4B ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงาน และที่ลืมไม่ได้คือ คุณพ่อคุณแม่ของพวกเราที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้พวกเรามาโดยตลอด





เอกสารอ้างอิง

1. B. K. Bose "Power electronics and AC drives" Prentice-Hall , Engiedwood Cliffs , New Jersey 07632 , page 28-42
2. J. M. D Murphy and F. G. Turnbull "Power electronic control of AC motors" Oxford OX3 0 BW , England , page 266-270
3. Takashi Kenjo "Power electronics for the Microprocessor Age" Oxford , Oxford University Press 1990 , page 53-92 , 200-254
4. พีระศักดิ์ วรสุนทร โอสธ และ มาบุชิ มาการิซาวา "เทคนิคการช่อมแซม เลือกประเภทและติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำ" หน้า 151-156
5. วิจิตร กิณเรศ "สามเฟสเดลต้ามีอดคูลเทฟีดบกลิวเอ็มอินเวอร์ สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ (3- ϕ Delta Modulated PWM Inverter for Induction Motor Drive) วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2534
6. สมยศ จุณณะปิยะ "การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร , 2537
7. สุวัฒน์ ต้น "เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย" เอนเทลไทย จำกัด , กรุงเทพ 2538 , หน้า 12-16 , 128-136 , 190-192