



ศึกษาและวิเคราะห์เอซีไดร์ฟ

Study and Analysis AC Drive



นายกิตตินัน สระสวย รหัส 47363742

นายบงการ ไชยตัน รหัส 47363916

5081026 e.a

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่รับ..... 30 พ.ค. 2551

เลขทะเบียน..... 05100026

เลขเรียกหนังสือ.....

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ป.ร.

ก๖๗๓๕

๒๕๕๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2550



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	ศึกษาและวิเคราะห์เอซีไคร์ฟ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายกิตตินัน	สระสวย	รหัส 47363742
	นายบงการ	ไชยตัน	รหัส 47363916
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมพร	เรืองสินชัยวานิช	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบรบือ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ดร. ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

หัวข้อโครงการ	ศึกษาและวิเคราะห์เอซีไดรฟ์ (Study and Analysis AC Drive)		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายกิตตินัน	สระสวย	รหัส 47363742
	นายบงการ	ไชยคั่น	รหัส 47363916
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมพร	เรื่องถิ่นชัชวานิช	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเอซีไดรฟ์หรืออินเวอร์เตอร์ ซึ่งอินเวอร์เตอร์ชุดนี้จะใช้อุปกรณ์เพาเวอร์มอสเฟต (POWER MOSFET) เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ ในภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณควบคุมผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงหลักการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าได้

Project Title Study and Analysis AC Drive.
Name Mr. Kittinun Srasuay ID 47363742
Mr. Bongkan Chaiton ID 47363916
Project Advisor Dr. Somporn Ruangsinchaiwanich
Major Electrical Engineering.
Department Electrical and Computer Engineering.
Academic Year 2007

.....

ABSTRACT

This project is about study and design AC drive or inverter. This inverter using MOSFET for power switching device in power circuit and the control signal is generated by Microcontroller. The experimental results show the method of control motor. Which can be further used in motor drive.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำจาก คร.สมพร เรืองสินชัยวานิช ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้และขอขอบคุณ คร.ชัยรัตน์ พินทอง และอาจารย์แสงชัย มังกรทอง ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้ตรวจสอบปริญญาานิพนธ์และคอยให้คำแนะนำในส่วนของคุณวุฒิที่เกี่ยวกับปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆ มาโดยตลอดในการทำปริญญาานิพนธ์ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆที่ไม่ได้กล่าวถึงรวมถึงแหล่งข้อมูลที่เอื้อต่อการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้



ผู้จัดทำ

นายกิตตินัน สระสวย

นายบงการ ไชยตัน

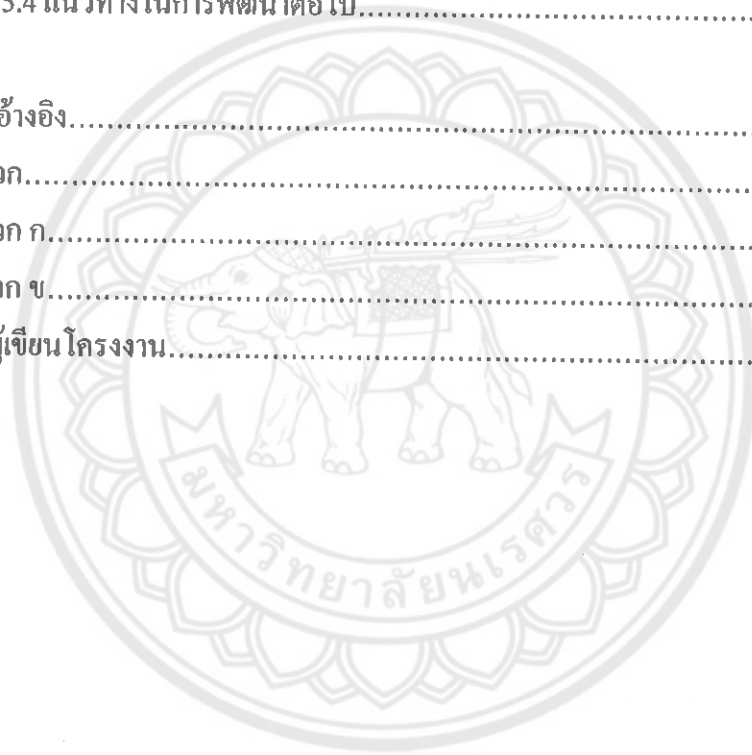
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน.....	1
1.3 ขอบข่ายของ โครงการงาน.....	1
1.4 ขั้นตอนกิจกรรมการดำเนินงาน.....	2
1.5 ตารางกิจกรรมการดำเนินงาน.....	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 งบประมาณที่ใช้.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	
2.1 ลักษณะ โดยทั่วไปของ Drive แบบต่าง ๆ.....	4
2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	9
2.3 มอสเฟตกำลัง.....	23
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	
3.1 รูปแบบของการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ใน โครงการงานนี้.....	26
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกำลัง.....	26
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	28

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ประเมินผลการทดลอง.....	43
5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข.....	43
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	45
ภาคผนวก ก.....	46
ภาคผนวก ข.....	49
ประวัติผู้เขียน โครงการ.....	73



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์.....	6
ตารางที่ 2.2 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์.....	17
ตารางที่ 2.3 วิธีการควบคุมแคเรียร์.....	18



สารบัญรูป

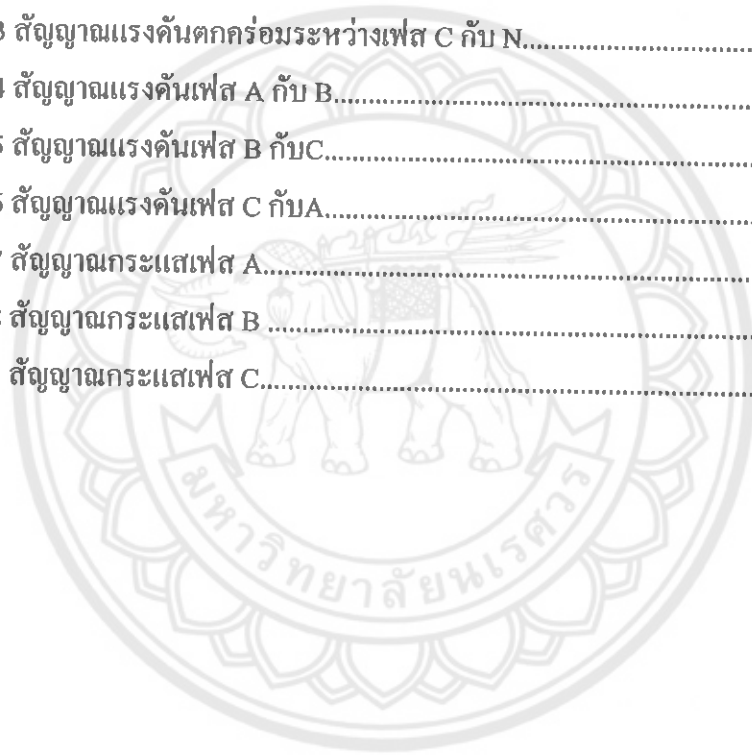
รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงรูปวงจรถ AC Drive แบบ PWM.....	4
รูปที่ 2.2 แสดง VSI Drive และ CSI Drive.....	5
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, แรงดัน และความถี่รอบของ Drive.....	6
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	7
รูปที่ 2.5 การลดความเร็วของอินเวอร์เตอร์.....	8
รูปที่ 2.6 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส จำนวน 3 วงจร ต่อเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	10
รูปที่ 2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	10
รูปที่ 2.8 คลื่นสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบนำกระแส 120 องศาและรูปคลื่นแรงดันเฟส.....	11
รูปที่ 2.9 คลื่นสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบนำกระแส 180 องศาและรูปคลื่นแรงดันเฟส.....	12
รูป 2.10 แสดงโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์.....	13
รูปที่ 2.11 วิธีการสร้างไฟสลับ.....	13
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นกระแส.....	13
รูปที่ 2.13 รูปคลื่น ไฟสลับความถี่ 1 Hz.....	14
รูปที่ 2.14 รูปความถี่.....	14
รูปที่ 2.15 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน.....	15
รูปที่ 2.16 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส.....	16
รูปที่ 2.17 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์.....	16
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์.....	19
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์.....	19
รูปที่ 2.20 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์.....	20
รูปที่ 2.21 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์.....	20
รูปที่ 2.22 รูปคลื่นกระแสขาเข้า.....	21
รูปที่ 2.23 รูปคลื่นการกรองแรงดันไฟฟ้า.....	21

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.24 วงจรจำกัดขนาดของกระแสอินรัช.....	22
รูปที่ 2.25 กระแสอินรัช.....	22
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแส และแรงดันที่วัดได้.....	23
รูปที่ 2.27 ภาพสัญลักษณ์ของ MOSFET แบบ N- Channel.....	23
รูปที่ 2.28 คุณสมบัติของมอสเฟสกำถั่ง.....	24
รูปที่ 2.29 แสดงพื้นที่ทำงานปลอดภัยของมอสเฟส.....	25
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมมอเตอร์.....	26
รูปที่ 3.2 รูปแบบเครื่องควบคุมความเร็วรอบหรือเอซีไดรฟ์.....	26
รูปที่ 3.3 โพล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	27
รูปที่ 3.4 วงจรจับมอเตอร์ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	28
รูปที่ 3.5 วงจรเอซีไดรฟ์ที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว.....	29
รูปที่ 3.6 วงจรที่ต่อเสร็จแล้วพร้อมทำการทดลอง.....	30
รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุต.....	31
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่มอสเฟสตัวที่ 1 และ 2	31
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่มอสเฟสตัวที่ 3 และ 4	32
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่มอสเฟสตัวที่ 5 และ 6	32
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส A กับ N.....	33
รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส B กับ N.....	33
รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส C กับ N.....	34
รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันเฟส A กับ B.....	34
รูปที่ 4.15 สัญญาณแรงดันเฟส B กับ C.....	35
รูปที่ 4.16 สัญญาณแรงดันเฟส C กับ A.....	35
รูปที่ 4.17 สัญญาณกระแสเฟส A	36
รูปที่ 4.18 สัญญาณกระแสเฟส B	36
รูปที่ 4.19 สัญญาณกระแสเฟส C.....	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.20 สัญญาณกระแสะระหว่างเฟสA กับ B.....	37
รูปที่ 4.21 สัญญาณกระแสะระหว่างเฟสB กับC.....	38
รูปที่ 4.22 สัญญาณกระแสะระหว่างเฟสC กับA.....	38
รูปที่ 5.1 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส A กับ N.....	39
รูปที่ 5.2 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส B กับ N.....	39
รูปที่ 5.3 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส C กับ N.....	40
รูปที่ 5.4 สัญญาณแรงดันเฟส A กับ B.....	40
รูปที่ 5.5 สัญญาณแรงดันเฟส B กับC.....	41
รูปที่ 5.6 สัญญาณแรงดันเฟส C กับA.....	41
รูปที่ 5.7 สัญญาณกระแสเฟส A.....	42
รูปที่ 5.8 สัญญาณกระแสเฟส B.....	42
รูปที่ 5.9 สัญญาณกระแสเฟส C.....	42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในงานอุตสาหกรรมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ยังคงเป็นเครื่องจักรต้นกำลังที่มีความสำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน เช่น อุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นหลัก ในยุคปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า นิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วและแรงบิด ทำให้ควบคุมมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีสถานะการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการบกพร่องระบบไฟฟ้าข้างเคียง อินเวอร์เตอร์จึงมีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น

โครงการนี้จึงนำเสนอการศึกษาชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ ที่สามารถควบคุมความเร็วได้โดยจัดทำชุดเอซีไดรฟ์ขึ้นเพื่อศึกษาการทำงานของเอซีไดรฟ์ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้โดยใช้มอสเฟตเป็นตัวทรานซิสต์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทรานซิสต์ให้กับมอเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเอซีไดรฟ์
2. เพื่อศึกษาการทำงานของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซีควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเอซีไดรฟ์มากยิ่งขึ้น
5. เพื่อเป็นการเสริมสร้างประสบการณ์ ตลอดจนสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ใน ชีวิตประจำวัน

1.3 ขอบข่ายของงาน

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเอซีไดรฟ์และสร้างชุดเอซีไดรฟ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมแล้วใช้ Oscilloscope มาวัดเพื่อหาสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ออกมาจากชุดไดรฟ์

1.4 ขั้นตอนกิจกรรมการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเอซีไคร์ฟ
2. ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการควบคุมมอเตอร์
3. ศึกษาและค้นคว้าของมูลเกี่ยวกับ PIC Microcontroller
4. ทำการทดลองการทำงานบันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

1.5 ตารางกิจกรรมการดำเนินงาน

กิจกรรมการดำเนินงาน	ปี 2550			ปี 2551			
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเอซีไคร์ฟ							
ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการควบคุมมอเตอร์							
ศึกษาและค้นคว้าของมูลเกี่ยวกับ PIC Microcontroller และจัดทำชุดเอซีไคร์ฟ							
ทำการทดลองการทำงานบันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง							
สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน							

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของเอซีไคร์ฟ
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องของเอซีไคร์ฟมากขึ้น
3. สามารถนำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง

1.7 งบประมาณ

1. ค่าอุปกรณ์	1300	บาท
2. ค่าถ่ายเอกสาร	100	บาท
3. ค่าพิมพ์เอกสาร	200	บาท
4. กระดาษ	100	บาท
5. หนังสือประกอบการทำโครงการ	<u>300</u>	บาท
รวมเป็นเงิน	<u>2000</u>	บาท



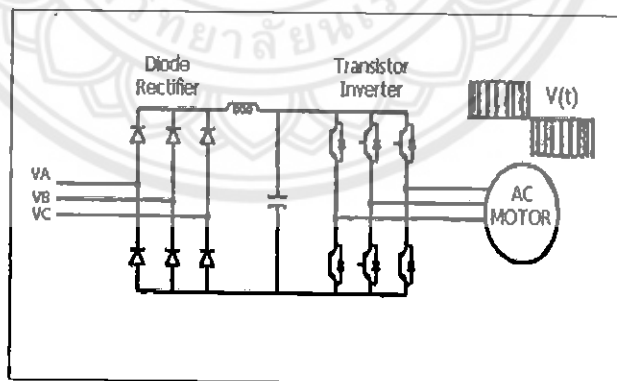
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ Drive แบบต่าง ๆ

AC Drive วงจร Rectifier ที่เรียงกระแสให้เป็น DC จะถูกเปลี่ยนให้เป็น AC ที่ความถี่ต่าง ๆ และถูกส่งออกไปทางด้าน Output สำหรับการควบคุมมอเตอร์ วงจรแปลงกระแส DC เป็นกระแส AC (Inverter) ในตัว AC Drive สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Voltage Source Inverter (VSI) และ Current Source Inverter (CSI) ชุด Inverter แบบ VSI นั้นจะต้องการความราบเรียบของ DC ทางด้าน Input ของ Inverter มากกว่า ดังนั้นวงจร LC Filter ใน DC Bus หรือ DC Link ของ Inverter แบบ VSI จึงมีความจำเป็น แต่สำหรับชุด Inverter แบบ CSI จะต้องการความคงที่ของกระแส (Constant Current) ด้าน Input ของ Inverter มากกว่า ดังนั้น Series Inductor ใน DC Link จึงต้องถูกบรรจุไว้สำหรับ AC Drive แบบที่ใช้ชุด Inverter แบบ CSI ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

โดยทั่วไปแล้ว AC Drive จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Motor) ในงานที่ไม่ต้องการความเร็วรอบที่คงที่มากนัก ขณะเดียวกันมอเตอร์แบบนี้ จะมีราคาที่ย่อมเยางถูก และ AC Drive จะถูกนำมาใช้กับซิงโครนัสมอเตอร์ ในกรณีที่งานต้องการความเร็วรอบที่คงที่

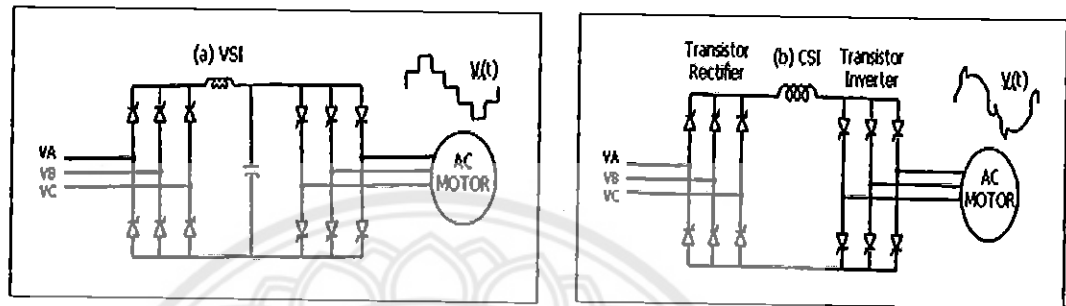


รูปที่ 2.1 แสดงรูปวงจร AC Drive แบบ PWM

AC Drive ส่วนใหญ่จะเป็น Inverter แบบ VSI โดยใช้เทคนิค PWM (Pulse-Width Modulation) ในการจัดการแรงดันกระแสสลับด้าน Output ของ Drive ให้เป็นความถี่ต่าง ๆ ในการควบคุมมอเตอร์ โดย Inverter จะใช้ SCR หรือ Gate Turn off Thyristor (GTO Thyristor) หรือ Power Transistor ในการจัดการ นอกจากนี้วงจร VSI PWM ยังมีคุณสมบัติเด่นด้านการประหยัดพลังงาน และความสามารถในการควบคุมความเร็วรอบได้อย่างหลากหลาย แต่ใน AC Drive ที่มี

ขนาดใหญ่ นั้น วงจร Rectifier จะใช้ SCR แบบ 6 Pulse เป็นตัวควบคุม จากรูปเป็น VSI Drive ที่มีวัตถุประสงค์การใช้งานที่ไม่ต้องการการเปลี่ยนแปลงความเร็วมากนัก

สำหรับ CSI Drive เหมาะสำหรับโหลดที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบบ่อยครั้ง และเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม CSI Drive นั้นก็ยังต้องการการติดตั้ง Inductive เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงเกินชั่วขณะ (Voltage Spike) ซึ่งก็จะทำให้ราคาสูงขึ้นไปอีก



รูปที่ 2.2 แสดง VSI Drive และ CSI Drive

2.1.1 ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าต่อ Drive

โดยส่วนใหญ่คุณลักษณะของ Drive โดยทั่วไปจะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าสูง โดยเฉพาะเรื่อง Voltage Sag เมื่อเกิดเหตุการณ์ Voltage Sag ขึ้นก็จะเกิดปรากฏการณ์ที่ทำให้ Drive หยุดการทำงานลงดังนี้

- ชุด Controller หรือชุด Voltage Protection ของ Drive สามารถตรวจจับสถานะผิดปกติของแรงดัน (Voltage Sag) ได้และตัดไฟเลี้ยงด้าน Input ออกทันทีเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์ Power Electronics

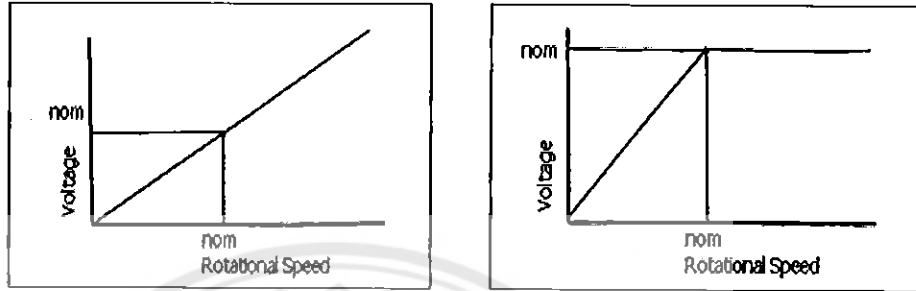
- ขณะเกิด Voltage Sag จะทำให้แรงดันกระแสตรงภายใน (DC Bus) ลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ส่งผลให้ชุด Controller เองหรือวงจรชุด PWM Inverter ทำงานผิดพลาด

- การเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดสูงเกิน ซึ่งเป็นกระแสชาร์จของ Capacitor ภายในตัว Drive (Over Currents Charging DC Capacitor) หลังจากแรงดันกลับสู่สถานะ (Post-Sag) จะทำให้เกิดสถานะกระแสสูงเกินจนทำให้ฟิวส์ป้องกันชุด Power Electronics ขาด และทำให้ Drive หยุดการทำงานลง

- เกิดสถานะความเร็วรอบตกต่ำหรือทอร์คของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงมากจนไม่สามารถทำงานต่อไปได้ ความเร็วของมอเตอร์จะถูกควบคุมจากขนาดของแรงดัน และความถี่ที่ถูกส่งมาจาก Out Put ของตัว Drive ซึ่งเรียกว่า Voltage Source Converter (VSC) สำหรับ AC มอเตอร์นั้น ความเร็วรอบจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่สเตรเตอร์ที่ความถี่ที่เปลี่ยนแปลง โดยความเร็วของมอเตอร์

และทอร์คจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ที่มีความสัมพันธ์กันตามรูปที่ 2.3 และตามสมการ

$$T_{max} \approx \frac{V^2}{f^2} \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, แรงดัน และความเร็วรอบของ Drive

กรณีที่ถ้าแรงดันและความถี่มีค่าเท่ากันจะทำให้ค่าทอร์คมีค่าสูงมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีความต้องการเพิ่มความเร็ว จะทำให้ค่าทอร์คลดลงอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน

2.2.2 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

เนื่องจากความเร็วรอบของอินคักชั่นมอเตอร์ หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบหรือสมการซิงโครนัส-สปีดดังต่อไปนี้

$$\text{Synchronous speed (Ns)} = (120 * f) / P \tag{2.2}$$

โดยกำหนดให้: f = ความถี่กระแสไฟฟ้า

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

จากสมการจะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 เส้นทางคือ เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) และเปลี่ยนแปลงความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า (f)

ดังนั้นหากความถี่กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่คือ 50 Hz. (หรือ 60 Hz. ในบางประเทศ เช่นอเมริกา) ความเร็วรอบของมอเตอร์ แต่ละตัวก็จะมีความเร็วรอบที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางดังนี้

จำนวนขั้วแม่เหล็ก(P)	2	4	6	8	10	15
จำนวนรอบที่ความถี่ 50 Hz. (RPM)	3000	1500	1000	750	600	500
จำนวนรอบที่ความถี่ 60 Hz. (RPM)	3600	1800	1200	900	720	600

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์

จากตารางสรุปความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีจำนวนขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันจะเห็นว่า วิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กนั้น ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปครั้งละมาก ๆ เช่น เปลี่ยนจาก 3000 รอบต่อนาที ไปเป็น 1500 รอบต่อนาที หรือจาก 1500 รอบต่อนาที ไปเป็น 3000 รอบต่อนาที ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในลักษณะนี้ ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงจะไม่ละเอียด ,ทำได้เฉพาะในขณะที่ไม่มีโหลด และที่สำคัญคือต้องใช้มอเตอร์ที่ออกแบบพิเศษที่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กได้เท่านั้น ทำให้ไม่เหมาะสมกับความต้องการของงานในหลาย ๆ ประเภทที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบในขณะมีโหลดเพื่อให้ความเร็วเหมาะสมกับความเร็วของกระบวนการผลิต ดังนั้นในกระบวนการผลิตทั่วไปจึงนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์มากกว่าเนื่องจากสามารถควบคุมให้มอเตอร์ด้วยความเร็วคงที่ ปรับความเร็วรอบไปที่ความเร็วต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงมากกว่า

2.2.3 การควบคุมมอเตอร์

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้า ไปเป็นพลังงานกล โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปทำ การขับเคลื่อนเครื่องจักร อื่นๆต่อไป ความเร็วของมอเตอร์ สามารถกำหนดได้โดย

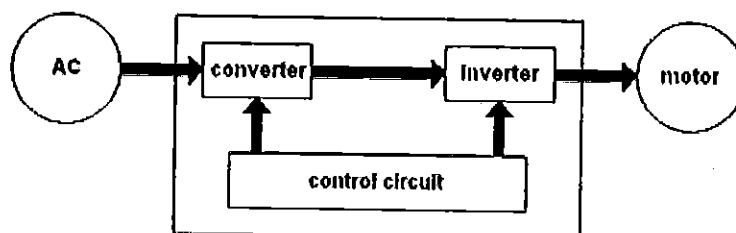
1. แรงบิดของ โหลด
2. จำนวนขั้วของมอเตอร์
3. ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับมอเตอร์
4. แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\text{ความเร็วรอบ } N = \{ [120 * \text{ความถี่ } f (\text{Hz})] / \text{จำนวนขั้ว } P \} * (1-S) \quad (2.3)$$

* โดยที่ S กำหนดโดย โหลด

จากสูตรข้างต้นจะพบว่า ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ เปลี่ยนแปลงไปก็จะมีผลทำให้มอเตอร์ มีความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ โดยให้แรงดันคงที่ จะมีผลทำให้เกิดฟลักซ์ แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ ร้อนจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยน แรงดันควบคู่ไปกับความถี่ด้วย และการที่จะเปลี่ยนแปลง ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ สามารถทำได้โดย การใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีหลักในการทำงานดังรูป



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

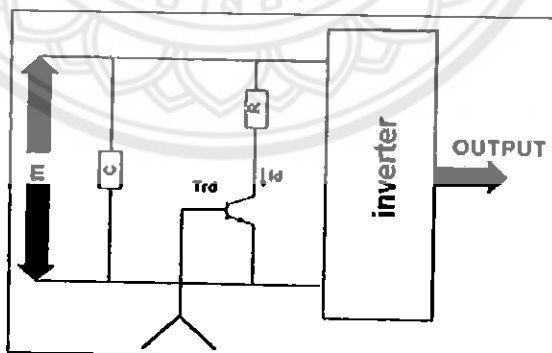
จากรูปข้างต้น แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ไปยังคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้า กระแสสลับให้เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้ต่อเป็น อินพุตเข้าไป ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยน ไฟฟ้ากระแส ตรงนี้เป็น ไฟฟ้ากระแสสลับที่ สามารถเลือกความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ ให้มีความเร็วตามต้องการได้ หลักการทำงานของ ส่วนอินเวอร์เตอร์ และคอนเวอร์เตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

(1). การควบคุมมอเตอร์

1.1 การสตาร์ท ทำได้โดยให้สัญญาณตั้งความถี่แก่นินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ ก็จะผลิตแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไปจนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของ โหลด มอเตอร์จึงเริ่มหมุน

1.2 การเร่งความเร็วและความเร็วคงที่ หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์ ความถี่ขา ออกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือเวลาการเร่งความเร็ว และเมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบ อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่อง ด้วยความเร็วคงที่

1.3 การลดความเร็ว ทำได้โดยตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อย ๆ ตามช่วง เวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะที่ลดความถี่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะทำงาน เหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตไฟจ่ายกลับ ไปให้อินเวอร์เตอร์ (regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดัน ครอบ คอนเดนเซอร์) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการ regeneration ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรคมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรคคืนพลังงาน ดังรูป



รูปที่ 2.5 การลดความเร็วของอินเวอร์เตอร์

พลังงานที่เกิดจากการ regeneration จะป้อนกลับมาชาร์จประจุที่คอนเดนเซอร์ C ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้น ถ้าแรงดันสูงกว่าค่าที่กำหนด ทหรานซิสเตอร์ T ในวงจรเบรคจะทำงาน ทำให้มีกระแส I ไหล ผ่านตัวต้านทานเบรค R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการ regeneration และพลังงานที่เก็บสะสมใน คอนเดนเซอร์ C ก็จะถูกคายออกมาด้วย ทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทหรานซิสเตอร์ T จะหยุดทำงาน กระแสเบรคก็จะหยุด

ไหลในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลาย ๆ ครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย อัตราการใช้ งานวงจรเบรคก็จะต่ำ บางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็มี อัตราการใช้ งานวงจรเบรคนี้ ได้รับการ ออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2-3 % เท่านั้น ถ้ามีการใช้เบรคบ่อย หรือใช้เบรคนานเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวด้านทานและอาจทำให้ ทรานซิสเตอร์เสื่อมได้

1.4 การหยุด อินเวอร์เตอร์จะลดความเร็วลงจนถึงระดับหนึ่ง และจะผลิตไฟตรงเข้าไปใน มอเตอร์เพื่อทำงานเป็นเบรค จนมอเตอร์หยุด เรียกว่า การเบรคด้วยไฟตรง แนวคิดในการเลือก ขนาดอินเวอร์เตอร์ ถ้าคิดว่าอินเวอร์เตอร์เหมือนกับแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายพลังงานเพื่อขับมอเตอร์ ก็ จะคิดว่ายิ่งเลือกอินเวอร์เตอร์ ขนาดยิ่งใหญ่เท่าใดก็ยิ่งดี สามารถติดตั้งสวิทช์ ที่เอาท์พุทของ อินเวอร์เตอร์ เพื่อเปิดปิดจ่ายกระแส ให้มอเตอร์ได้ทันที เหมือนกับแหล่งจ่ายไฟ แต่แนวความคิดนี้ ไม่ถูกต้องเนื่องจาก ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง และอินเวอร์เตอร์มีขนาดใหญ่ เกินความจำเป็น

2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

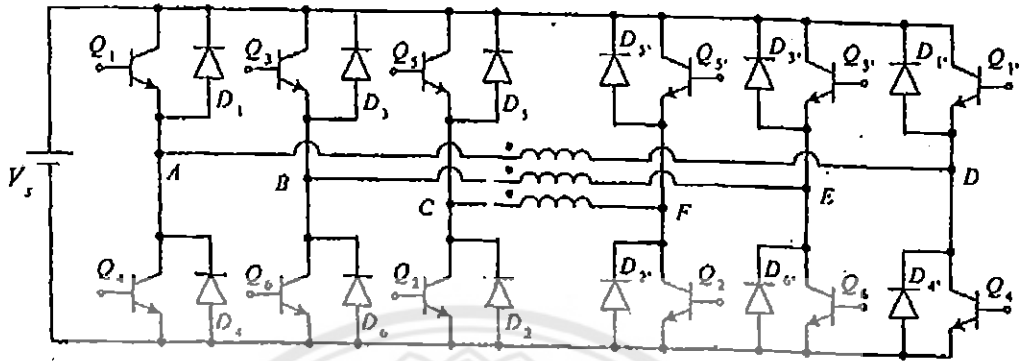
อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้า จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าเป็น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านออก การสวิตซ์ของแรงดันแบบไบ โพลาร์ และแบบยูนิโพลาร์มี ลักษณะแตกต่างกัน โดยแบบยูนิโพลาร์จะกรองความถี่สูงได้ง่ายกว่า สำหรับการ ทำงานของ อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวหรือสามเฟสในการทำงานแบบพีคดับเบิลยูเอ็มย่านเชิงเส้น จะมีข้อดีในการ ควบคุมและสามารถกรองความถี่ให้เหลือเฉพาะความถี่หลักมูลได้ง่าย แต่ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ ความถี่หลักมูลจะปรับค่าได้ไม่มากนัก ต่างจากย่าน โอเวอร์มอดูเลชันและย่านรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มี ข้อดีคือขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลมีค่าสูงแต่ก็จะมีผลเสียที่เกิดจากฮาร์มอนิกลำดับต่ำ ส่วนอัตราการใช้ ประโยชน์ของสวิตซ์ของโหมครูปคลื่นสี่เหลี่ยม จะสูงกว่าการทำงานแบบพีคดับเบิล ยูเอ็มย่านเชิงเส้น

เมื่อพิจารณาอินเวอร์เตอร์ตาม โครงสร้างและการนำไปใช้งานแล้วจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Fed Inverter) อินเวอร์เตอร์แบบมีแรงดันไฟตรงมี ค่าคงที่และอินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Fed Inverter) อินเวอร์เตอร์แบบนี้มีกระแสคงที่ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Fed Inverter) ชนิด 3 เฟส เท่านั้น

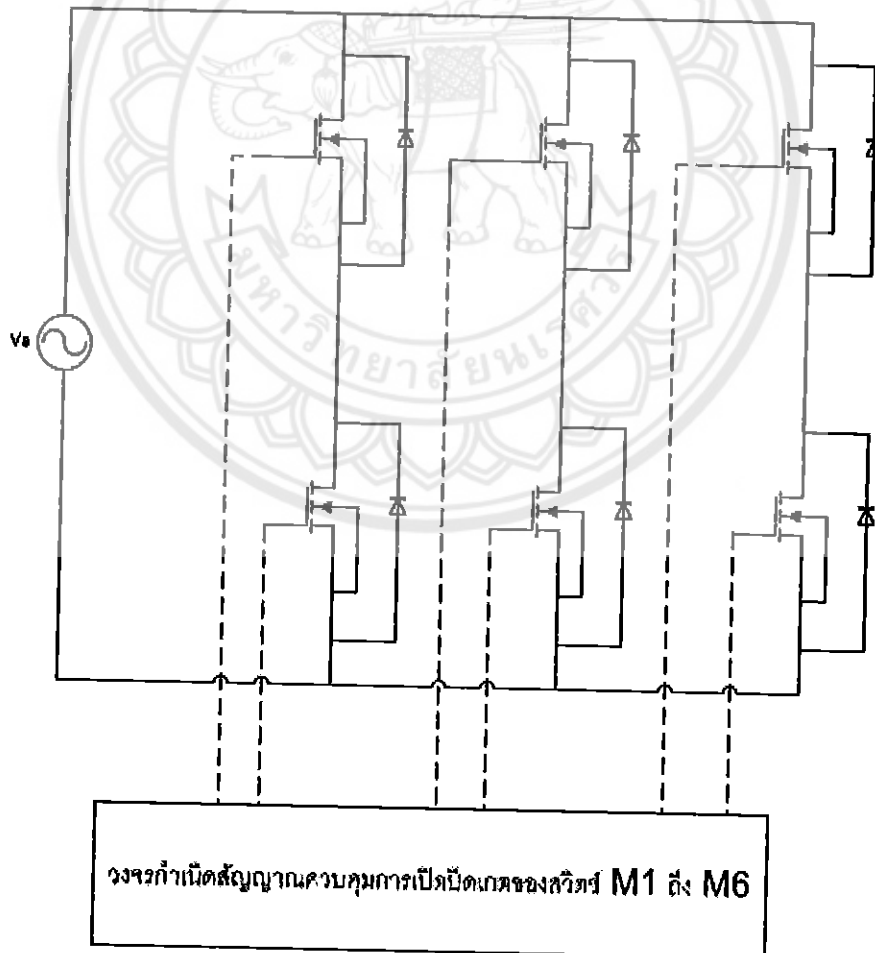
2.2.1 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส มักนำไปใช้ในงานที่ใช้กำลังสูงๆ เราสามารถนำวงจรถึงบริดจ์ (หรือบริดจ์) อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส 3 วงจรมาต่อเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดย ที่สัญญาณขับนำทรานซิสเตอร์ของแต่ละวงจรจะต้องสวิง (Swing) กัน 120 องศา เพื่อจะทำให้ แรงดันสมมูล 3 เฟส ขดลวดหม้อแปลงด้านปฐมภูมิต้องแยกออกจากกัน ส่วนขดลวดด้านทุติยภูมิ สามารถต่อได้ทั้งแบบสตาร์และเดลต้า โดยปกติแล้วมักต่อหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบสตาร์ เพื่อ

จำกัดผลของฮาร์โมนิก 3,9,15 ได้ การต่อวงจรซึ่งวงจรต้องใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอดอย่างละ 12 ตัว ถ้าแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสของแต่ละวงจรมีขนาดและความถี่ไม่เท่ากัน ก็จะทำให้แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ไม่สมดุลไปด้วย

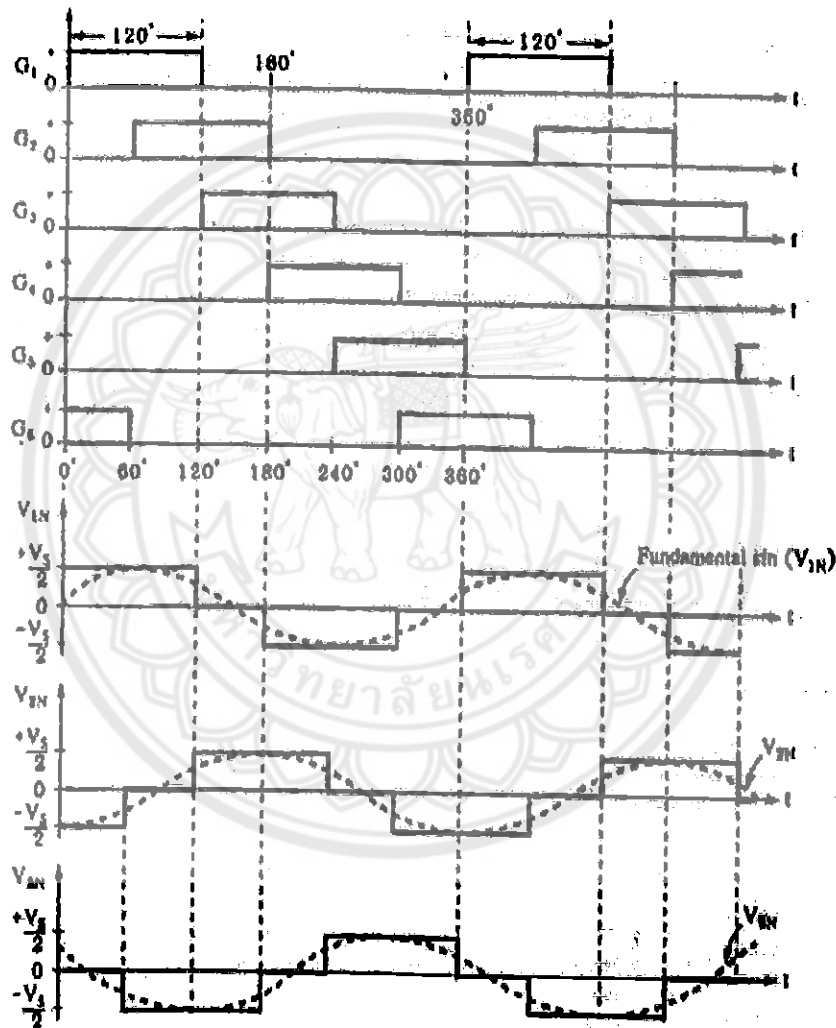


รูปที่ 2.6 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส จำนวน 3 วงจร ต่อเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



รูปที่ 2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

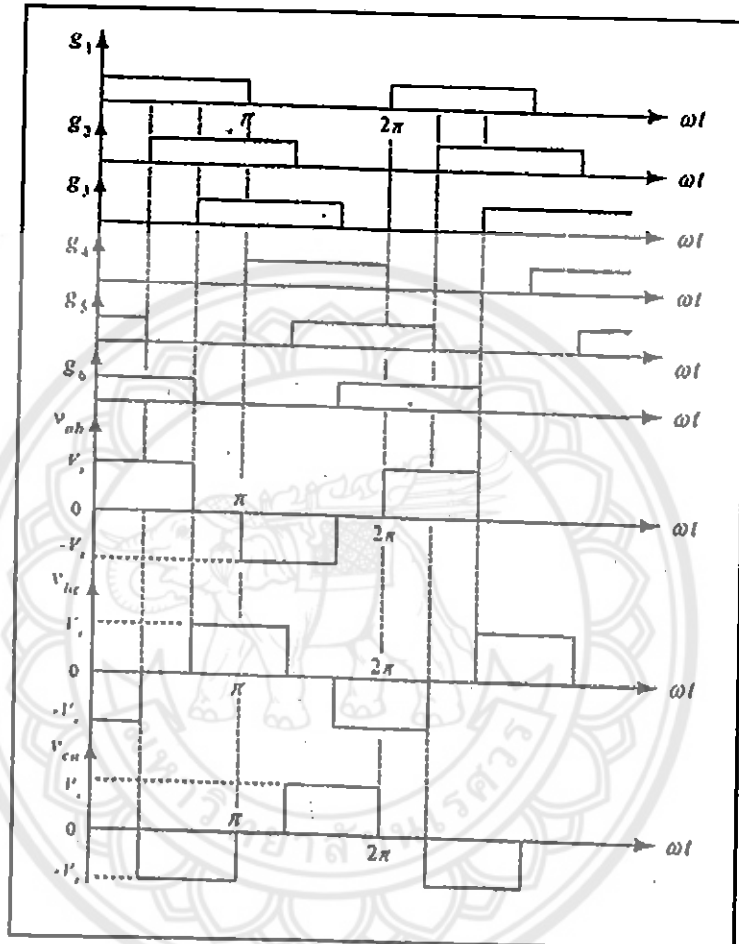
อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบนำกระแส 120 องศา จากวงจรในรูปที่ 2.3 เมื่อควบคุมให้สวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละตัวนำกระแสตัวละ 120 องศา โดยใช้สัญญาณควบคุมการเปิด - ปิดเกต ของมอสเฟต ตามลำดับ G_1 ถึง G_6 ดังรูปที่ 2.2 จะพบว่ามอสเฟต 2 ตัวทำงานพร้อมกันในแต่ละ ช่วงตามลำดับ ดังนั้นคือ M_6M_1 , M_1M_2 , M_2M_3 , M_3M_4 , M_4M_5 , M_5M_6 และ M_6M_1 จึงได้รูปคลื่น แรงดันคร่อมโหลดระหว่างเฟส V_{1N} , V_{2N} และ V_{3N} ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.8 คลื่นสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบนำกระแส 120 องศาและรูปคลื่นแรงดันเฟส [ที่มา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2 : หน้า 368]

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบนำกระแส 180 องศา จากวงจรในรูปที่ 2.3 เมื่อควบคุมให้สวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละตัวนำกระแสตัวละ 180 องศา โดยใช้สัญญาณควบคุมการเปิด - ปิดเกต ของมอสเฟต โดยแต่ละช่วงจะมีมอสเฟต 3 ตัวนำกระแสพร้อมกัน เมื่อมอสเฟต M_1 นำกระแสขั้ว a ถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของ แหล่งจ่ายไฟตรงและเมื่อมอสเฟต M_4 นำกระแสขั้ว a ถูกต่อเข้ากับขั้วลบ

ของแหล่งจ่ายไฟตรง การทำงานแต่ละไซเคิลถูกแบ่งเป็น 6 โหมดใน 1 คาบ โหมดละ 60 องศา ลำดับการนำกระแสของทรานซิสเตอร์แสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งสัญญาณขับทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะมีการเลื่อนเฟสไปตัวละ 60 องศา เพื่อให้แรงดันด้านออกที่สมดุล



รูปที่ 2.9 คลื่นสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบนำกระแส 180 องศาและรูปคลื่นแรงดันเฟส

2.2.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์แปลงไฟสลับที่มีความถี่และแรงดันคงที่ไปเป็นไฟสลับที่มีความถี่และแรงดันขนาดต่าง ๆ แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเป็นแหล่งจ่ายไฟสลับทั่วไปที่มีรูปคลื่นไซน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์

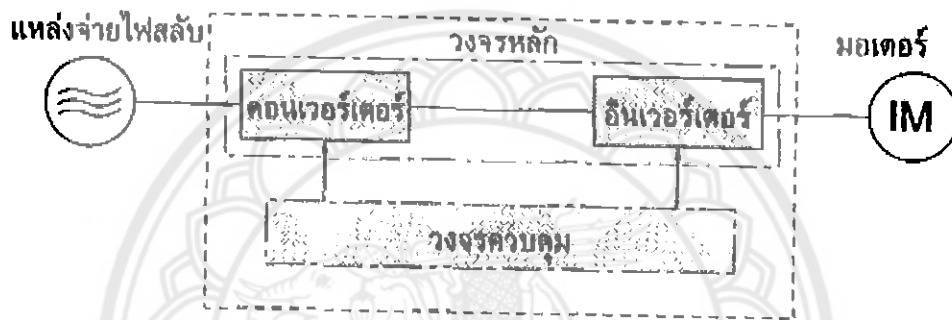
1. โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

จากรูป 2.10 แสดง โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟ (50 Hz หรือ 60 Hz) ไฟสลับนี้จะถูกแปลงเป็นไฟตรง โดยคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นไฟตรงจะถูกแปลงเป็นไฟสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจร

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และความถี่ได้ โดยผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังมีวงจรควบคุมสำหรับควบคุมการทำงานของ วงจรทั้งสองส่วนนั้น

อินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไป (General Purpose Inverter) จะประกอบด้วยส่วนคอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์ รวมอยู่ในเครื่องเดียวกันเสมอ

คอนเวอร์เตอร์มีหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรงเป็นอุปกรณ์แปลงไฟชนิดหนึ่ง ส่วนอินเวอร์เตอร์ก็เป็นอุปกรณ์แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับ ทั้งสองส่วนนี้จะใช้องค์ประกอบวงจรที่แตกต่างกัน และมีการทำงานที่ต่างกันซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป



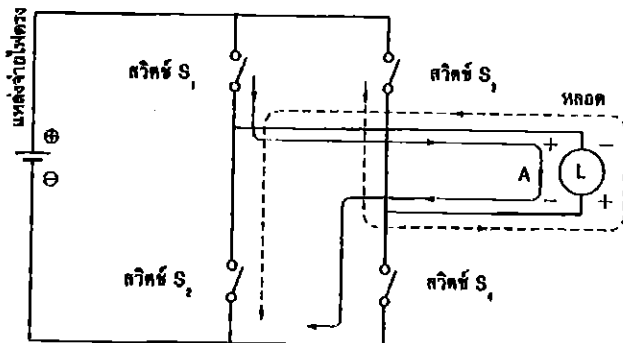
จากรูป 2.10 แสดง โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

2. หลักการทำงานของภาคอินเวอร์เตอร์

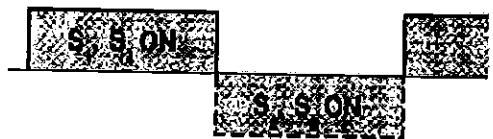
2.1 วิธีการสร้างไฟสลับจากไฟตรง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตไฟสลับได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง การทำความเข้าใจกับ หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ก็ควรเริ่มจากวงจรสลับเฟสเดียวกันก่อน

รูปที่ 2.11 อธิบายหลักการเปลี่ยนไฟตรงไปเป็นไฟสลับ โดยเปลี่ยน โหลดจากมอเตอร์เป็น โหลดไฟเพื่อให้เข้าใจง่ายสวิตช์ 4 ตัว $S_1, S_2, S_3,$ และ S_4 ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรง และ โหลด จะเปิด-ปิด สลับกันเป็นจังหวะเพื่อสร้างไฟสลับจ่ายให้กับโหลดไฟ ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 วิธีการสร้างไฟสลับ



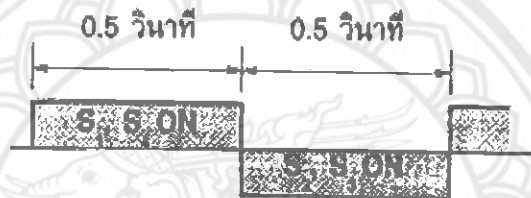
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นกระแส

- เมื่อสวิตช์ S_1 และ S_4 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และหลอดไฟตามที่ทิศทาง A
- เมื่อสวิตช์ S_2 และ S_3 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และหลอดไฟตามที่ทิศทาง B ซึ่งขัดแย้งกับทิศทาง A

ดังนั้นถ้าให้สวิตช์ S_1 และ S_4 เปิดปิดสลับกับสวิตช์ S_2 และ S_3 ก็จะทำให้กระแสที่ไหลไปที่หลอดกลับทิศทางกันสลับไปมาเป็นไฟสลับนั่นเอง

2.2 วิธีการแปรความถี่

ถ้าควบคุมเวลาที่เปิดปิดสวิตช์ S_1 - S_4 ได้ ก็สามารถแปรความถี่ของไฟสลับได้ ตัวอย่างเช่น ให้สวิตช์ S_1 และ S_4 ปิด 0.5 วินาที ต่อมาสวิตช์ S_2 และ S_3 ปิด 0.5 วินาที และทำการปิดเปิดสลับกันเช่นนี้เรื่อยๆ ไป ดังนั้นใน 1 วินาที ไฟสลับจะวิ่งไปกลับครบ 1 รอบ หรือไซเคิล ไฟสลับนี้จึงมีความถี่ 1 Hz นั่นเอง



รูปที่ 2.13 รูปคลื่น ไฟสลับความถี่ 1 Hz

โดยทั่วไปช่วงเวลาที่ S_1 , S_4 และ S_2 , S_3 ปิดจะเท่ากัน เมื่อรวมเวลาที่สวิตช์ทั้งสองชุดปิดเท่ากับ t_0 วินาทีเป็นหนึ่งไซเคิลความถี่จะเท่ากับ

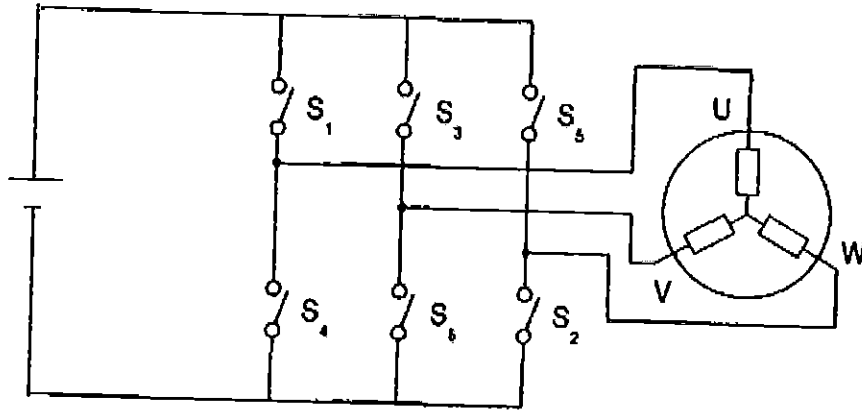
$$f = \frac{1}{t_0} [Hz]$$



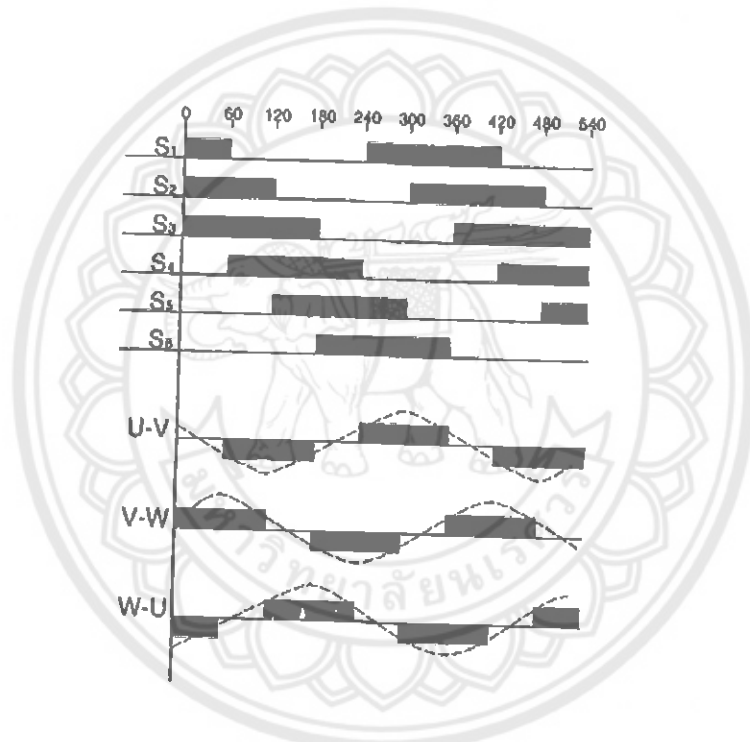
รูปที่ 2.14 รูปความถี่

2.3 กรณีของไฟสามเฟส

รูปที่ 2.15 แสดงวงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส



รูปที่ 2.15 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน



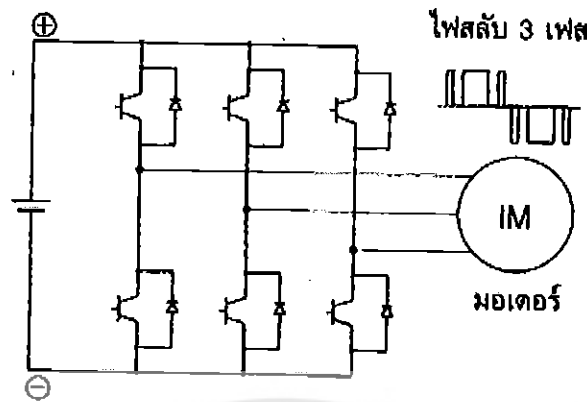
รูปที่ 2.16 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส

ถ้าให้สวิทช์ S₁ ถึง S₆ ในวงจรเปิดปิด ตามจังหวะที่แสดงในรูปที่ 2.16 ก็จะมีกระแสไหลผ่านขั้ว U-V, V-W และ W-U ของมอเตอร์ ตามรูปคลื่นที่แสดงในรูป 2.16 รูปคลื่นของกระแสนี้จะ เป็นไฟสลับของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีช่วงกว้างและช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้าเปลี่ยนช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิทช์เหล่านี้ ก็จะทำให้ความถี่ของไฟสลับเปลี่ยนขนาดของแรงดันของแหล่งจ่ายไฟตรง ก็จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟสลับของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนไปได้เช่นกัน

2.4 โครงสร้างส่วนที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิทช์ทั้ง 6 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.17เมื่อต่อเอาท์พุทเข้ากับมอเตอร์ 3 เฟสและควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ ON-OFF ตามจังหวะในรูปที่ 2.16 ก็จะทำให้

มอเตอร์หมุนได้ และถ้าเปลี่ยนลำดับการ ON-OFF ของทรานซิสเตอร์ ก็สามารถบังคับให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้

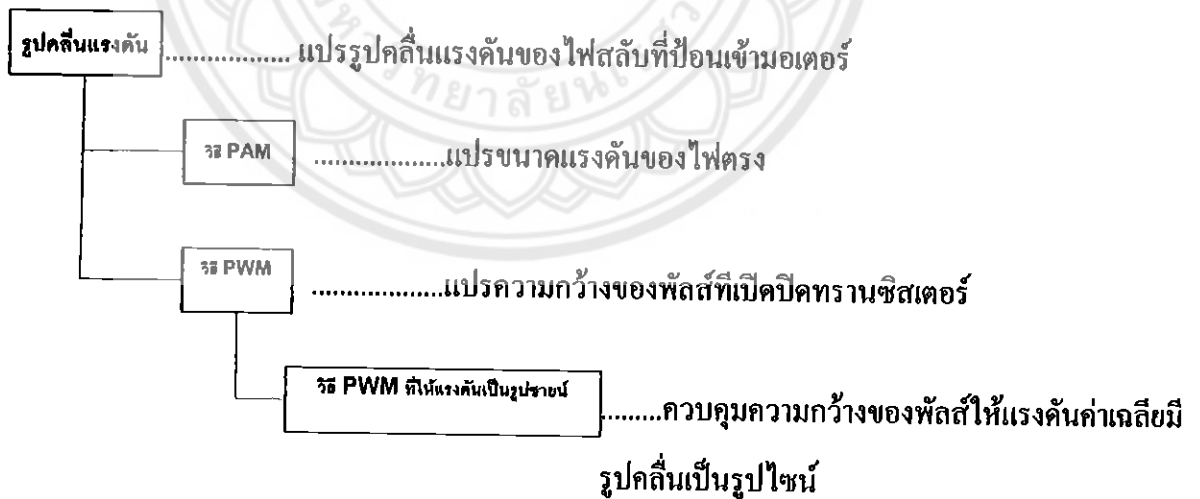


รูปที่ 2.17 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

2.5 วิธีการเปลี่ยนขนาดแรงดัน

เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ นอกจากการแปรความถี่เพื่อปรับความเร็วมอเตอร์แล้ว ยังต้องการแปรขนาดแรงดันตามความถี่ที่เปลี่ยนไป เพื่อรักษาอัตราส่วน V/f ให้คงที่

การแปรขนาดแรงดันของอินเวอร์เตอร์มีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันมากในอินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไปคือ วิธีการแปรรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ป้อนให้มอเตอร์ การแปรรูปคลื่นแรงดันนี้ ก็ยังมีหลายวิธีดังนี้



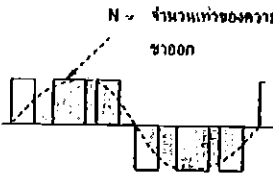
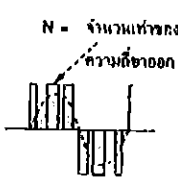




การแปรแรงดันด้วยวิธีการต่างๆ นี้ จะมีผลต่อลักษณะสมบัติการควบคุมมอเตอร์ เช่น การสั่นสะเทือน สัญญาณรบกวนการกระเพื่อมหรือริบเปิด (RIPPLE) ของแรงบิดและกระแส และผลตอบของแรงบิด เป็นต้น (ดูรายละเอียดในตาราง 2.2 และ 2.3)

(E : แรงดันไฟตรง)

วิธีควบคุม	ความถี่ต่ำ (แรงดันต่ำ)	ความถี่สูง (แรงดันสูง)	จุดเด่น
วิธี PAM PULSE AMPLITUDE MODULATION			<ul style="list-style-type: none"> - เสียงมอเตอร์เบา - ประสิทธิภาพดี - ควบคุมขนาดแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ - ผลตอบซ้ำ
วิธี PWM PULSE WIDTH MODULATION			<ul style="list-style-type: none"> - ส่วนอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความถี่และแรงดันได้ทั้งหมด - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์
วิธี PWM ที่ให้แรงดัน เป็นรูปซายน์			<ul style="list-style-type: none"> - เดินมอเตอร์ได้เร็วที่ความเร็วต่ำ - ฮาร์โมนิกความถี่ต่ำมีขนาดเล็ก - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์

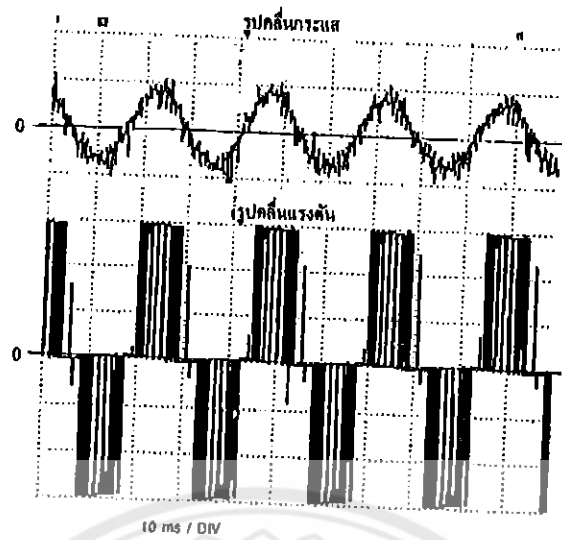
ตาราง 2.2 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์

วิธี PWM นั้นจะต้องกำเนิดพัลส์ที่ ON-OFF หลายครั้งในหนึ่งไซเคิล ความกว้างของแต่ละพัลส์จะไม่เท่ากัน เพื่อให้แรงดันเฉลี่ยมีรูปซายน์ จำนวนพัลส์ที่กำหนดใน 1 วินาที เรียกว่าความถี่แคเรียร์ (Carrier Frequency) การควบคุมแรงดันด้วยวิธี PWM นี้ จะทำให้เกิดการสั่นที่มอเตอร์ และเสียงรบกวนซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับความถี่แคเรียร์นี้

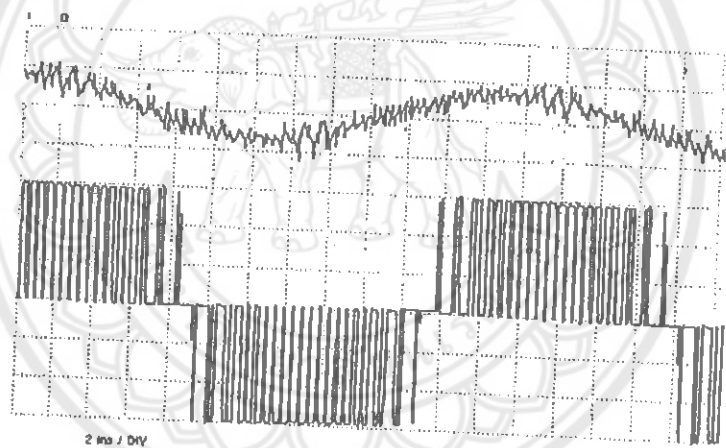
รูปแบบการควบคุม		ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง	จุดเด่น
แบบซิงโครนัส (SYNCHRONOUS)	ความถี่แคเรียร์ แปรตาม ความถี่ขาออก	 N = จำนวนเท่าของความถี่ ขาออก	 N = จำนวนเท่าของ ความถี่ขาออก	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถควบคุมฮาร์โมนิกได้ - แรงดันขาออกสูงสุฟเกินไปเท่าแรงดันขอะแหล่งจ่ายไฟ
แบบอะซิงโครนัส (ASYNCHRONOUS)	ความถี่แคเรียร์คงที่ ไม่ สัมพันธ์กับความถี่ ขาออก	 ความเวลาของคลื่นแคเรียร์คงที่	 ความเวลาของคลื่นแคเรียร์คงที่	<ul style="list-style-type: none"> - เสียบบกวนจากฮอเคอร์ จะเป็นเสียงเดียว ไม่น่ารำคาญ
แบบผสม	ย่านความถี่ต่ำเป็น อะซิงโครนัส และ ย่านความถี่สูงเป็นซิงโครนัส	 เหมือนแบบ อะซิงโครนัส	 เหมือนแบบ ซิงโครนัส	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถควบคุมได้ดีทั้งย่านความถี่ต่ำตลอดจนถึงความถี่สูง

ตาราง 2.3 วิธีการควบคุมแคเรียร์

อินเวอร์เตอร์ที่มีเสียงรบกวนน้อย (Low Noise Inverter) จะใช้ความถี่แคเรียร์สูงมากประมาณ 15-20 kHz ซึ่งความถี่ย่านนี้มนุษย์จะไม่ได้ยินเสียง เมื่ออินเวอร์เตอร์ชนิดเสียงรบกวนต่ำนี้สามารถขับมอเตอร์ที่เกือบจะไม่ได้ยินเสียงรบกวนเลย การเลือกความถี่แคเรียร์ได้สูงนี้ จะต้องใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็น MOSFET หรือ IGBT เนื่องจากทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้งานทั่วไป มีขีดจำกัดของความเร็วในการสวิตช์ได้ไม่เกิน 2 kHz



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์

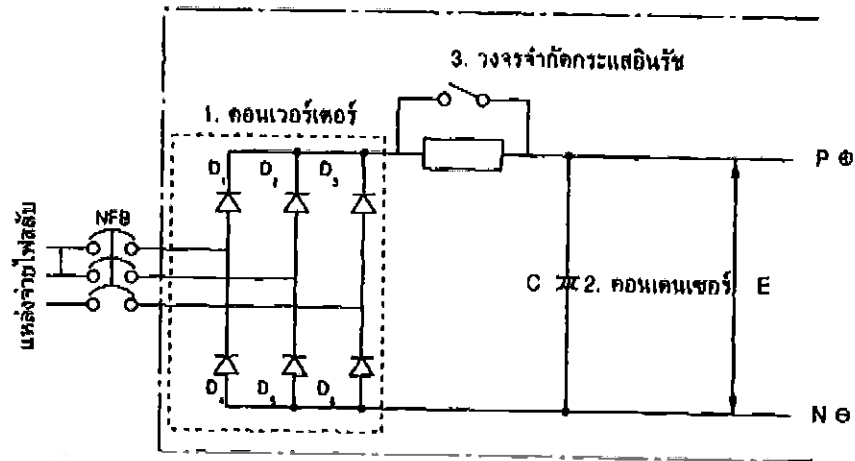


รูปที่ 2.19 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่วัดได้ของอินเวอร์เตอร์ (ขยาย 5 เท่าจากรูป 2.18)

3. การทำงานของภาคคอนเวอร์เตอร์

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้วว่าแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์นั้นผลิตมาจากส่วนที่เรียกว่า คอนเวอร์เตอร์ วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟสลับเป็นไฟตรง วงจรประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

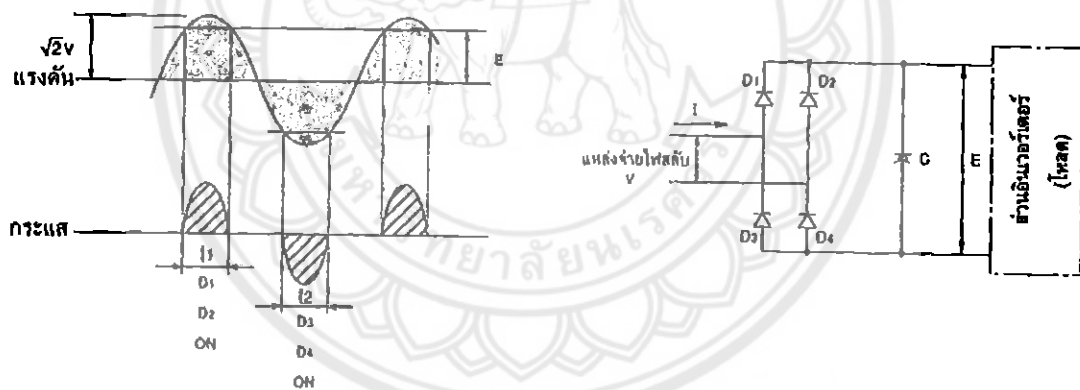
1. ส่วนคอนเวอร์เตอร์
2. คอนเดนเซอร์
3. วงจรจำกัดกระแสอินรัช



รูปที่ 2.20 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์

3.1 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.21 แสดงหลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟสลับเฟสเดียวเป็นไฟตรง



รูปที่ 2.21 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

จะอธิบายถึงรูปคลื่นของกระแสไฟสลับขาเข้า

- อินพุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นไฟสลับรูปไซน์ ซึ่งมีค่า $RMS = V$ (ค่ายอด = $\sqrt{2}xV$) ถ้าให้แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ E จากรูป 2.13 จะเห็นว่าจะมีส่วนของแรงดันสูงกว่าระดับ E ส่วนนี้มีช่วงเวลาเท่ากับ t_1 เป็นช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านไดโอด D_1 และไหลกลับทาง D_4

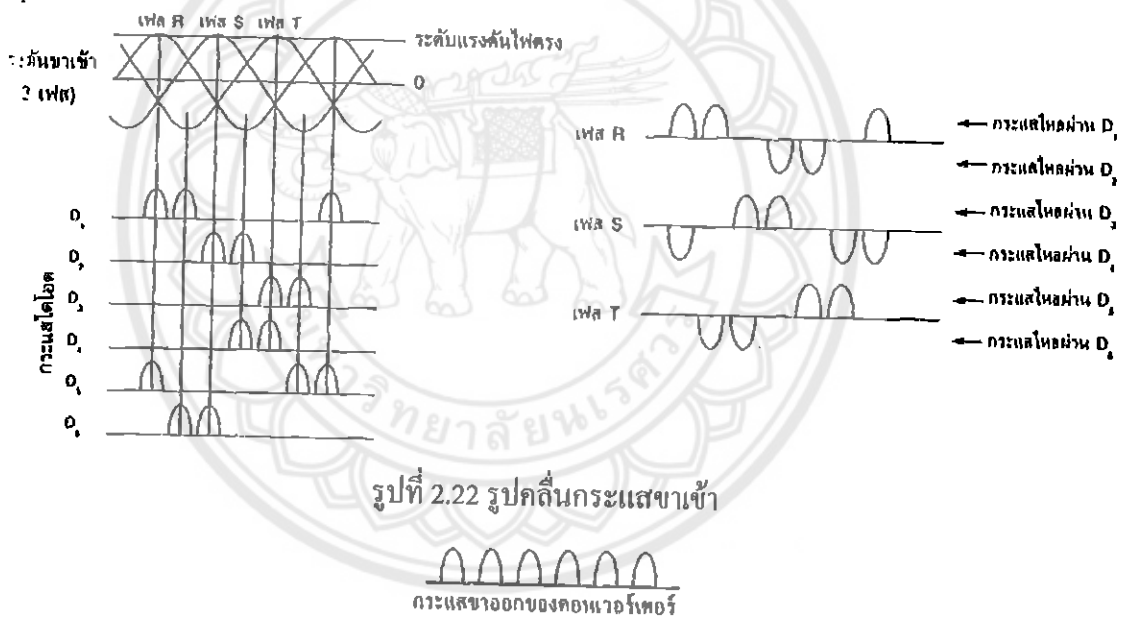
- แรงดันไฟสลับส่วนที่เป็นลบ ช่วงเวลาที่แรงดันต่ำกว่าระดับ $-E$ คือช่วงเวลา t_2 ช่วงเวลานี้กระแสจะไหลเข้าทางไดโอด D_2 และไหลกลับทาง D_3 ตามในรูป

จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสขาเข้าของคอนเวอร์เตอร์จะไม่เป็นรูปไซน์ แต่จะเพี้ยนจากรูปไซน์ และมีองค์ประกอบของฮาร์โมนิก

2.2.3.2 กระแสขาเข้าในขณะมอเตอร์หมุนต่อเนื่อง

รูปที่ 2.22 แสดงรูปคลื่นของกระแสขาเข้าของคอนเวอร์เตอร์ กรณีที่ เป็นไฟสลับ 3 เฟส คราวนี้จะต้องใช้ ไดโอด ในการเรกติไฟซ์ ทั้งหมด 6 ตัว คือ ไดโอด D1-D2 รูปที่ 2.22 แสดงจังหวะเวลาที่กระแสไหลผ่าน ไดโอดแต่ละตัว จะเห็นว่ารูปคลื่นของกระแสขาเข้า ก็จะเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์ เหมือนกับกรณีของคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว

คอนเดนเซอร์ C จะมีหน้าที่กรองกระแส เพื่อให้แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์ มีริบเป็ลน้อย และเรียบขนาดของแรงดันไฟตรงขาออก ในสภาพไม่มีโหลด จะเท่ากับ ค่ายอดของแรงดันไฟสลับขาเข้า คือ $\sqrt{2}xV$ (ไฟ AC 200V จะเท่ากับ DC280V) เมื่อมีโหลดคือ อินเวอร์เตอร์แรงดันไฟตรงนี้จะเปลี่ยนค่าลดลงตามขนาดของเอาท์พุท คือแรงบิดและความเร็วรอบ



รูปที่ 2.22 รูปคลื่นกระแสขาเข้า

แรงดันขาออก (กรณีที่ยังไม่มี คอนเดนเซอร์)

แรงดันขาออกที่กรองให้เรียบแล้ว

รูปที่ 2.23 รูปคลื่นการกรองแรงดันไฟฟ้า

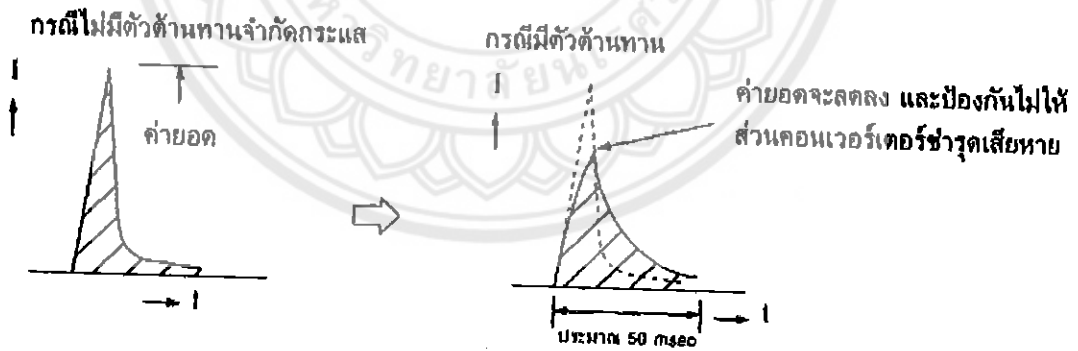
2.2.3.3 กระแสขาเข้าเมื่อเปิดสวิตช์

เมื่อเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ครั้งแรก จะต้องมีการชาร์จประจุให้คอนเดนเซอร์ จึงมีกระแสขาเข้าขนาดใหญ่ไหลเข้ามาในวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแสอินรัสนี้ โดยใช้ วงจรที่แสดงในรูปที่ 2.24

เมื่อกระแสประจุคอนเดนเซอร์จนเต็มแล้ว จึงใช้สวิตช์ของรีเลย์ลัดวงจรตัวด้านทานจำกัด กระแส



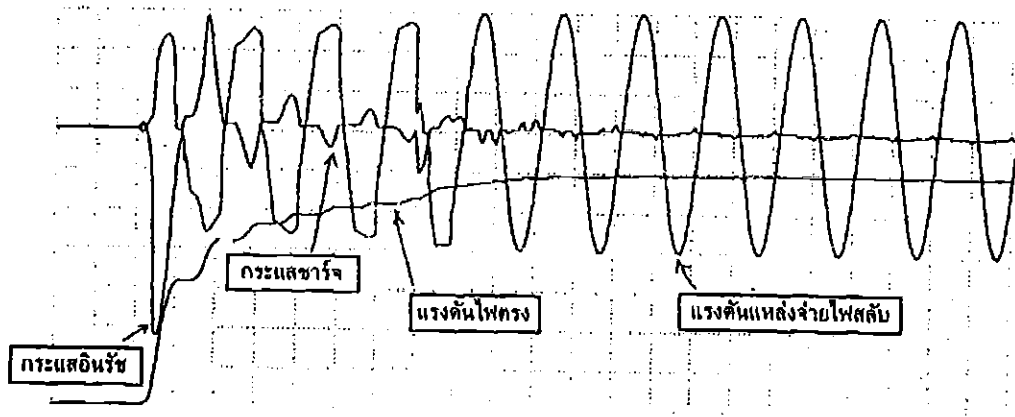
รูปที่ 2.24 วงจรจำกัดขนาดของกระแสอินรัสน์



รูปที่ 2.25 กระแสอินรัสน์

ถ้าต่อคอนแทกเตอร์เปิดปิดไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ ทุกครั้งที่ปิดจะมีกระแสอินรัสน์ไหลเข้าคอนเวอเตอร์ ถ้าเปิดปิดบ่อยจะทำให้อายุการใช้งานไดโอดสั้นลง และอายุการใช้และประสิทธิภาพการใช้งานของวงจรจำกัดกระแสจะต่ำลงด้วย ดังนั้นไม่ควรเปิดปิดบ่อย ๆ วันหนึ่งไม่เกิน 10 ครั้ง

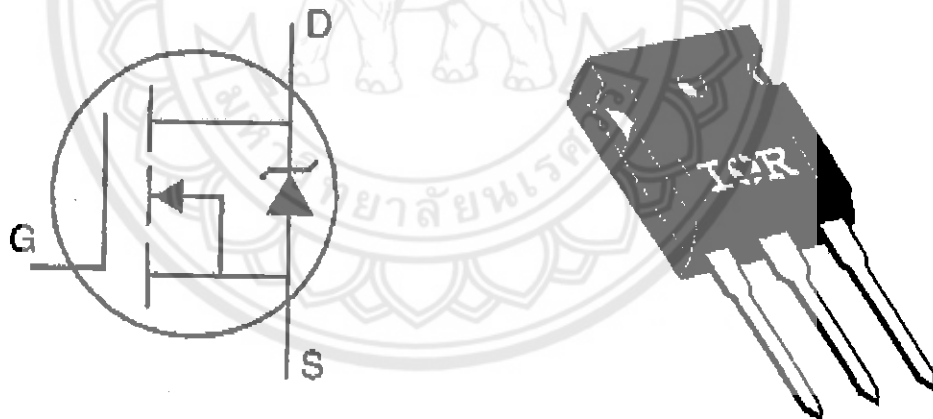
คอนเวอเตอร์จะมีหน้าที่สร้างแรงดันไฟตรงเท่านั้น การสตาร์ทมอเตอร์เป็นหน้าที่ของส่วนอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะต้องป้อนกระแสเข้าที่เบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้เริ่ม ON



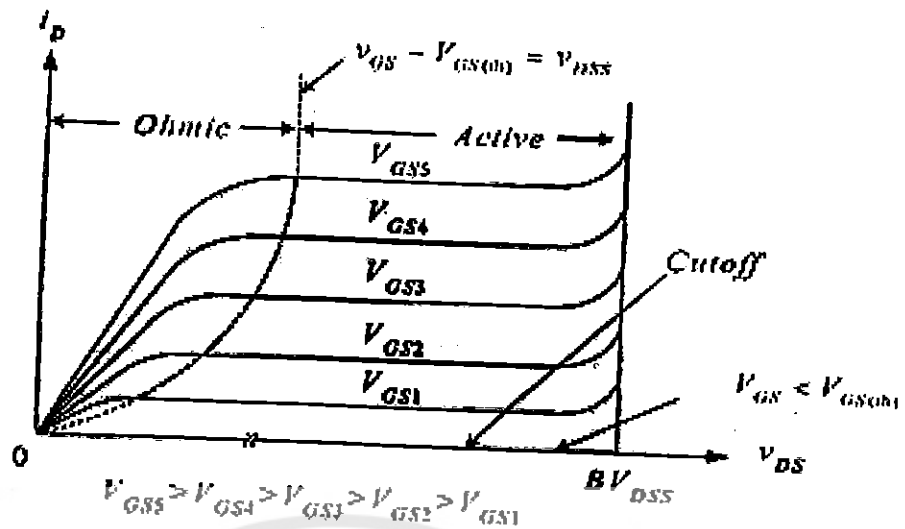
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างรูปคลื่นของกระแส และแรงดันที่วัดได้

2.3 มอสเฟสกำลัง

มอสเฟสกำลังเป็นอุปกรณ์ที่ก่่าตั้งได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานเป็นสวิตช์ในวงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยวิธีสวิตช์ วงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรอื่นๆ ซึ่งมอสเฟสมีข้อดีในแง่ของความเร็วในการสวิตช์สูง ง่ายในการใช้งาน สำหรับรูปร่างโดยทั่วไปของมอสเฟสกำลังแสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.27 ภาพสัญลักษณ์ของ MOSFET แบบ N-Channel



รูปที่ 2.28 คุณลักษณะของมอสเฟตกำลัง [ที่มา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง: หน้าที่ 239]

คุณลักษณะของมอสเฟตกำลังแสดงในรูปที่ 2.29 ซึ่งประกอบด้วยย่านการทำงาน 3 ย่านดังรูปการประยุกต์ใช้งานมอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตช์ในวงจรแปลงผันกำลัง เมื่อมอสเฟตอยู่ในสถานะหยุดนำกระแส จุดทำงานจะอยู่ในย่านหยุดนำกระแส (Cut-Off) โดยที่แรงดัน V_{GS} มีค่าน้อยกว่า

แรงดันจุดเปลี่ยน (Threshold voltage, $V_{GS(th)}$) เมื่อต้องการสถานะนำกระแสต้องให้มอสเฟตทำงานในย่านความต้านทานมอสเฟตจะทำงานในย่านแอกทีฟนี่ก็คือเมื่อ

$$V_{GS} - V_{GS(th)} > V_{DS} > 0 \tag{2.4}$$

โดยเส้นแบ่งระหว่างย่านไวงานและย่านความต้านทานกำหนดจากสมการ

$$V_{GS} - V_{GS(th)} = V_{DS} \tag{2.5}$$

การทำงานแอกทีฟกระแส i_D จะไม่ขึ้นอยู่กับแรงดัน V_{DS} แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดัน V_{GS} ซึ่งประมาณได้จากสมการ

$$i_D = K(V_{GS} - V_{GS(th)})^2 \tag{2.6}$$

โดยที่ค่า K เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับทรงเรขาคณิตของอุปกรณ์ ที่เส้นแบ่งระหว่างย่านไวงานและย่านความต้านทานจากสมการที่ 2.16 แทนค่าในสมการที่ 2.17 จะได้เป็น

$$i_D = KV_{DS}^2 \tag{2.7}$$

2.3.1 คุณสมบัติของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แรงดันควบคุมและต้องการกระแสอินพุตเพียงเล็กน้อยซึ่งนิยมใช้มากในวงจรสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายในการควบคุมมอเตอร์โดยอินเวอร์เตอร์เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีคือ

- กำลังสูญเสียขณะสวิตช์ต่ำ
- ไม่มีช่วงแรงดันพังทลายที่ 2 (Second Breakdown)

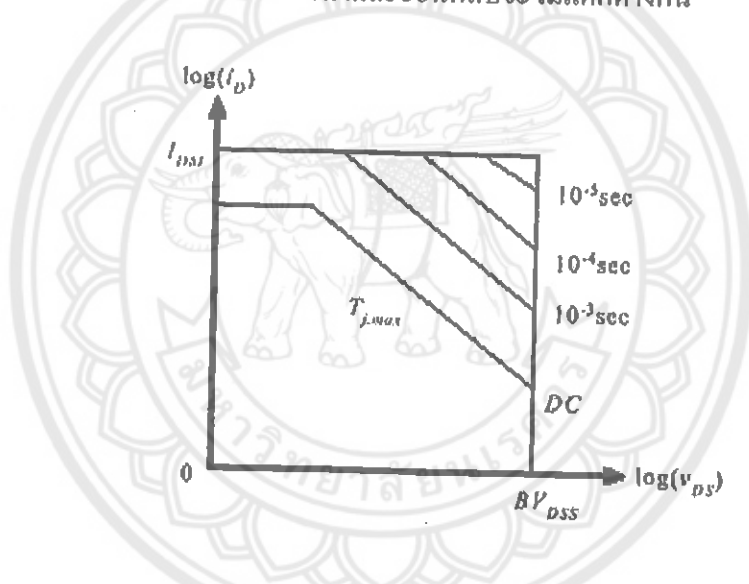
- มีอัตราขยายสูงและเสถียรภาพของอุณหภูมิดี i 5081026, ๗๑
- มีความจุหรือรับกระแสได้สูง C.2 ๗๑๖๓๙
- สามารถนำมาต่อขานได้ง่ายเนื่องจากสัมประสิทธิ์ความต้านทานเป็นบวก ๔๕๕๐
- ใช้งานในวงจรความถี่ได้สูง

แต่ข้อเสียของเพาเวอร์มอสเฟสก็มีเช่นเดียวกันคือแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสมีค่ามาก (ประมาณ 4.5 โวลต์) ซึ่งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีเพียง 1 โวลต์

2.3.2 พื้นที่ทำงานปลอดภัยของมอสเฟส

พื้นที่ทำงานปลอดภัยของมอสเฟสจะมีขีดจำกัดด้าน T_{jmax} พื้นที่ทำงานปลอดภัยจะจำกัดโดยกระแสตรงสูงสุด I_{DM} กำลังสูญเสียและอุณหภูมิที่รอยต่อสูงสุด T_{jmax} และแรงดันทลาย BV_{DSS}

รูปที่ 2.29 แสดงพื้นที่ทำงานปลอดภัยของมอสเฟสที่ใช้งานสวิตซ์ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม พื้นที่ทำงานเมื่อไบแอสไปหน้าและย้อนกลับจะไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.29 แสดงพื้นที่ทำงานปลอดภัยของมอสเฟส [ที่มา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง: หน้าที่ 335]

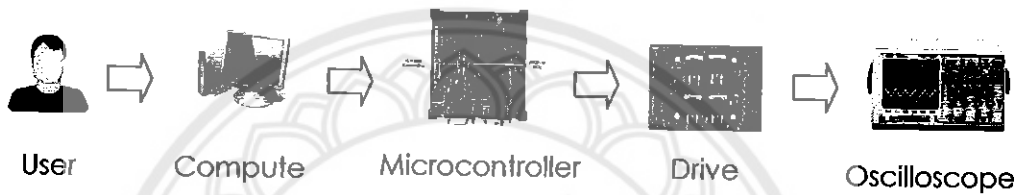
บทที่ 3

ขั้นตอนการออกแบบ

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงรายละเอียดและหลักการรวมถึงทฤษฎีต่างๆมาแล้ว ทางคณะผู้จัดทำ จึงได้เริ่มการดำเนินการออกแบบ โครงร่างของ โครงการและเลือกใช้วัสดุต่างๆดังรายละเอียดต่อไปนี้

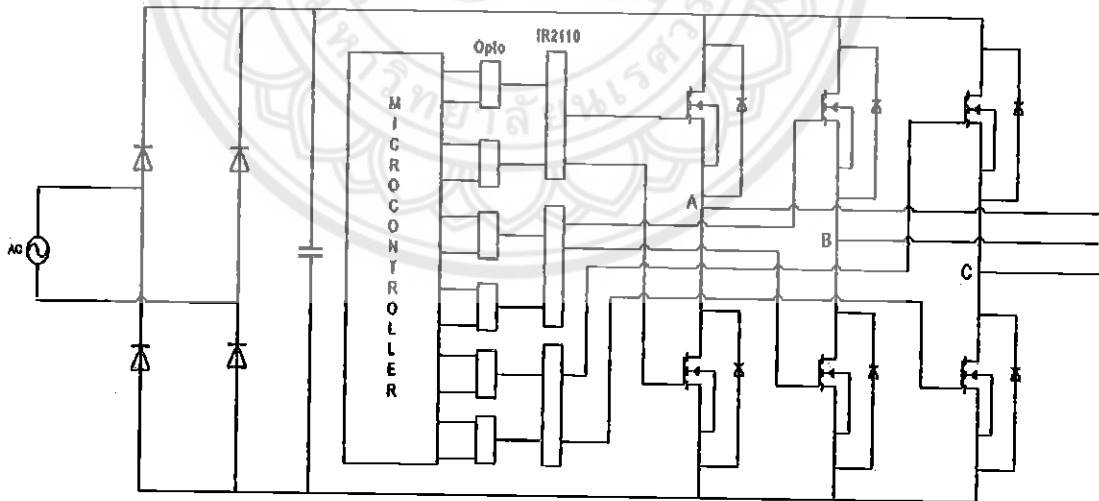
3.1 รูปแบบของการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในโครงการนี้

การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในโครงการนี้สามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดง บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การควบคุมการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมมอเตอร์

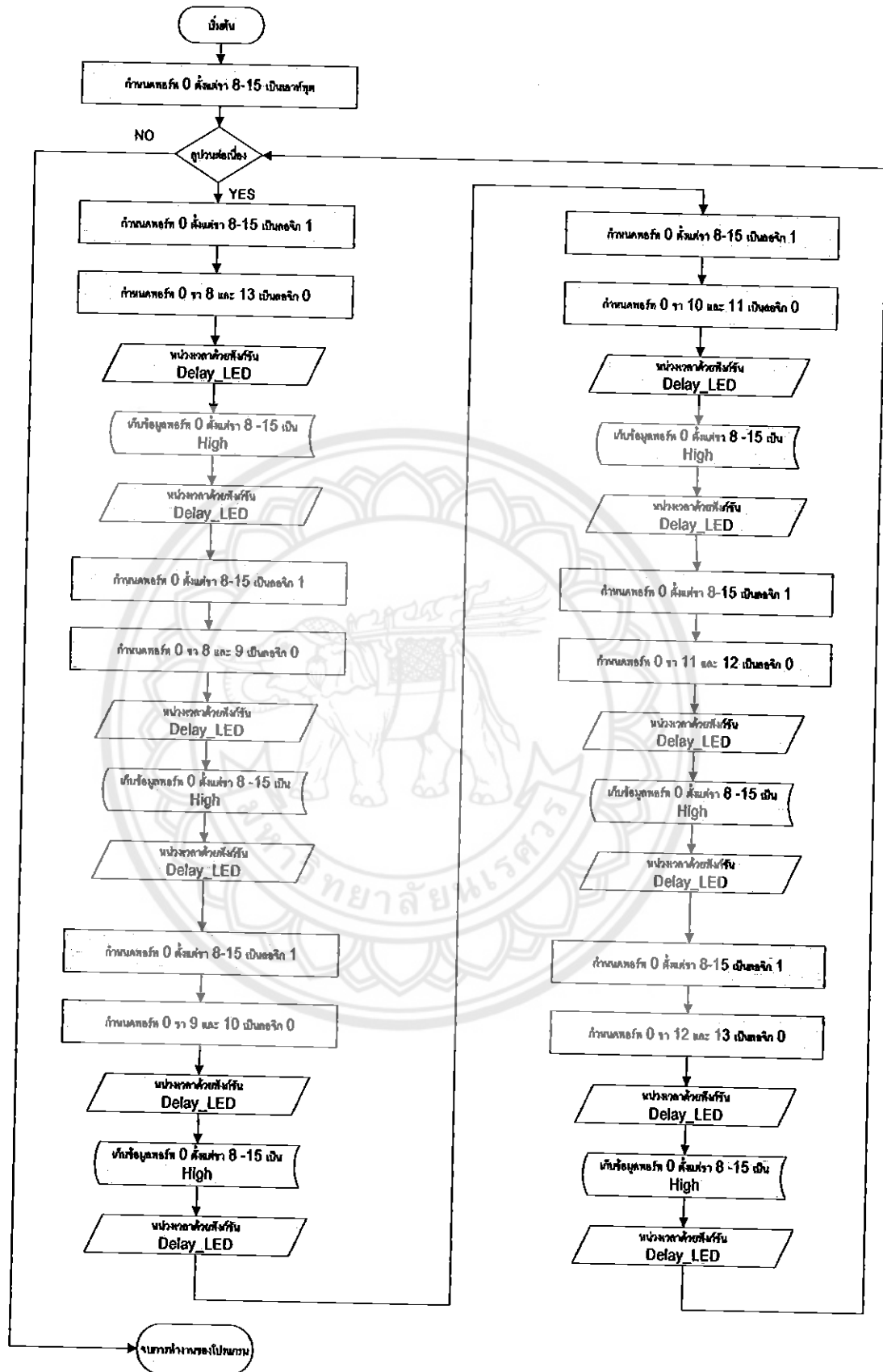
ส่วนควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ประกอบด้วยชุด ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับเคลื่อน แบบ Opto Couple โดยใช้ไอซีขับเคลื่อน IR2110 เพื่อส่งสัญญาณไปทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.2 รูปแบบเครื่องควบคุมความเร็วรอบหรือเอซีไดรฟ์

3.2 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรม โดยการสั่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ไปทรานซิสเตอร์ที่ตัวมอเตอร์ โดย จะได้สัญญาณทรานซิสเตอร์แต่ละตัวของมอเตอร์และแรงดันของแต่ละเฟสได้เฟส A, B และ C ซึ่งสามารถ ดูโปรแกรมการควบคุมการทำงานที่ภาคผนวก



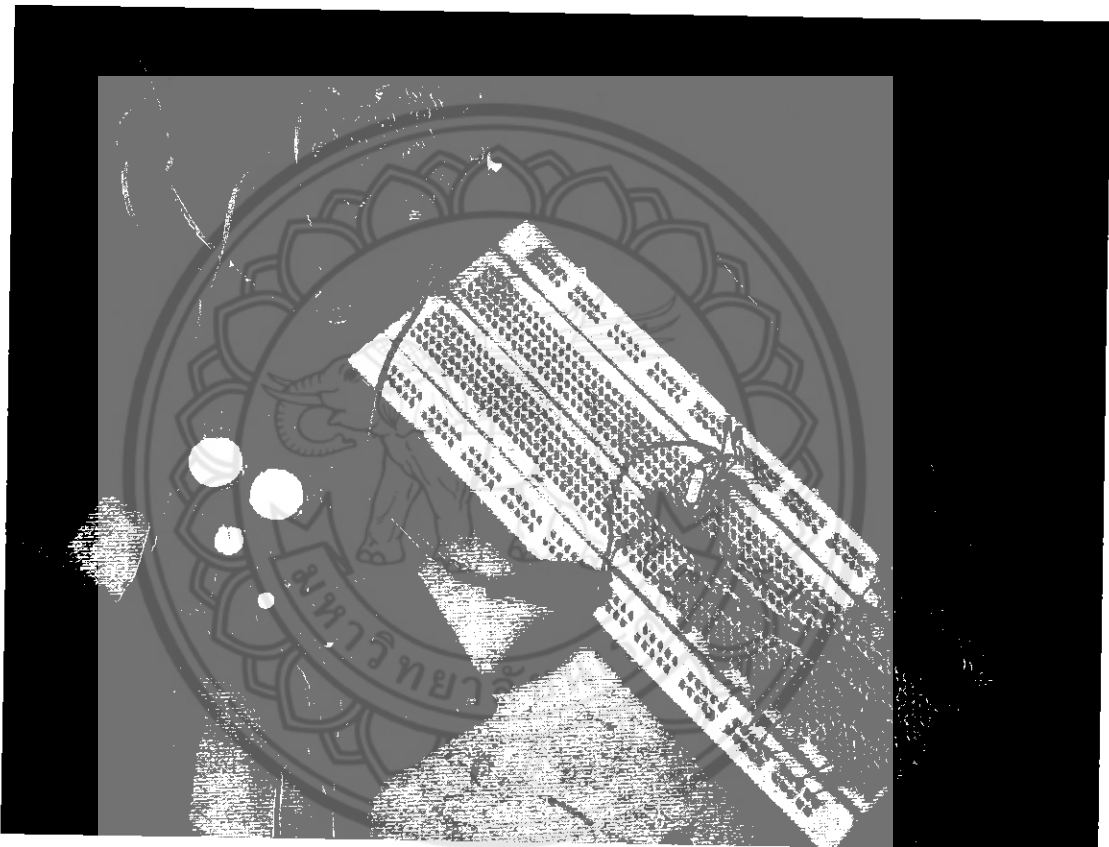
รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกาลัง

ในวงที่ใช้ในโครงการนี้เป็นวงจรที่ใช้มอสเฟส ซึ่งเป็นอุปกรณ์โดยใช้ Opto Couple เบอร์ H11L1 เป็นตัวขับมอสเฟส และใช้มอสเฟสเบอร์ IRFP450 โดยวงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F627A ควบคุมการทำงานของชุดเอซีไดร์ฟซึ่งจะอยู่ในภาคผนวก

3.4 การออกแบบการทดลอง

3.3.1 วงจรขับมอเตอร์

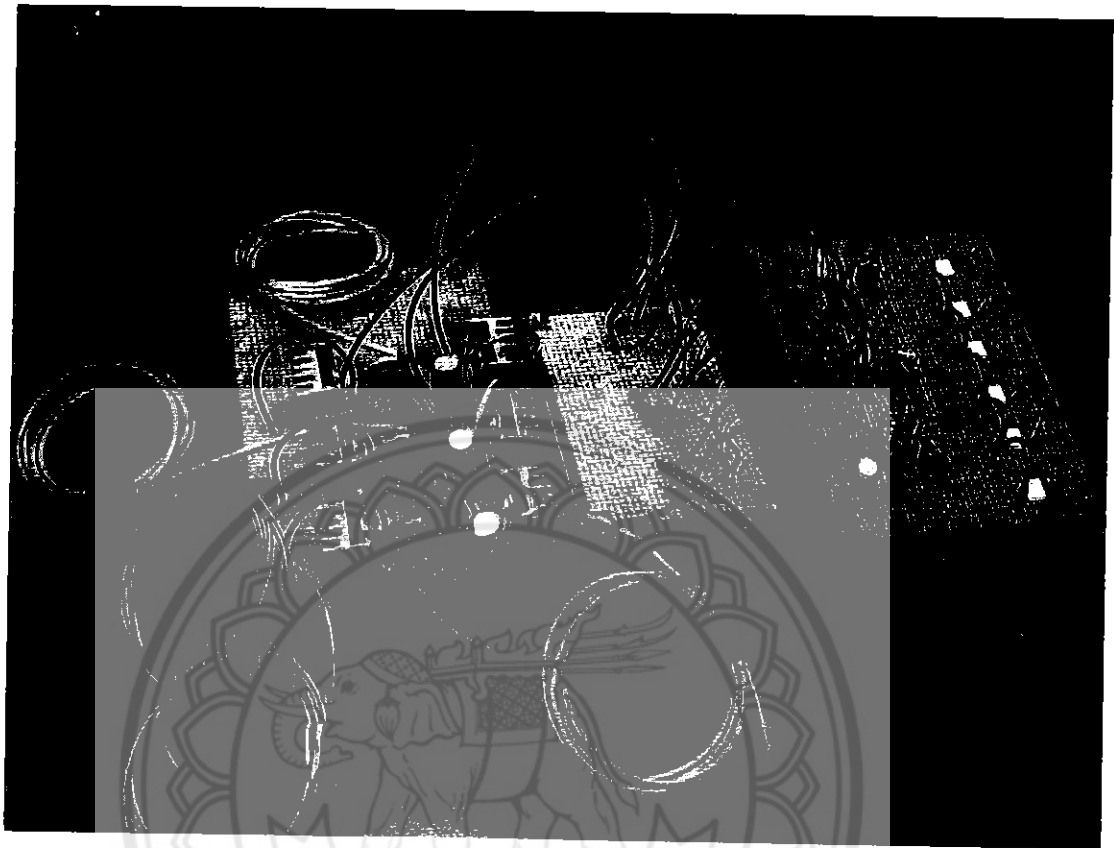


รูปที่ 3.4 วงจรขับมอเตอร์ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

การต่อวงจรขับมอเตอร์ ตามรูปที่ 3.3 และวงจรขับมอเตอร์จะมีวงจรภาคจ่ายไฟต่อรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นรายละเอียดอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในโครงการนี้ได้ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

3.3.2 วงจรเอซีไดร์ฟ

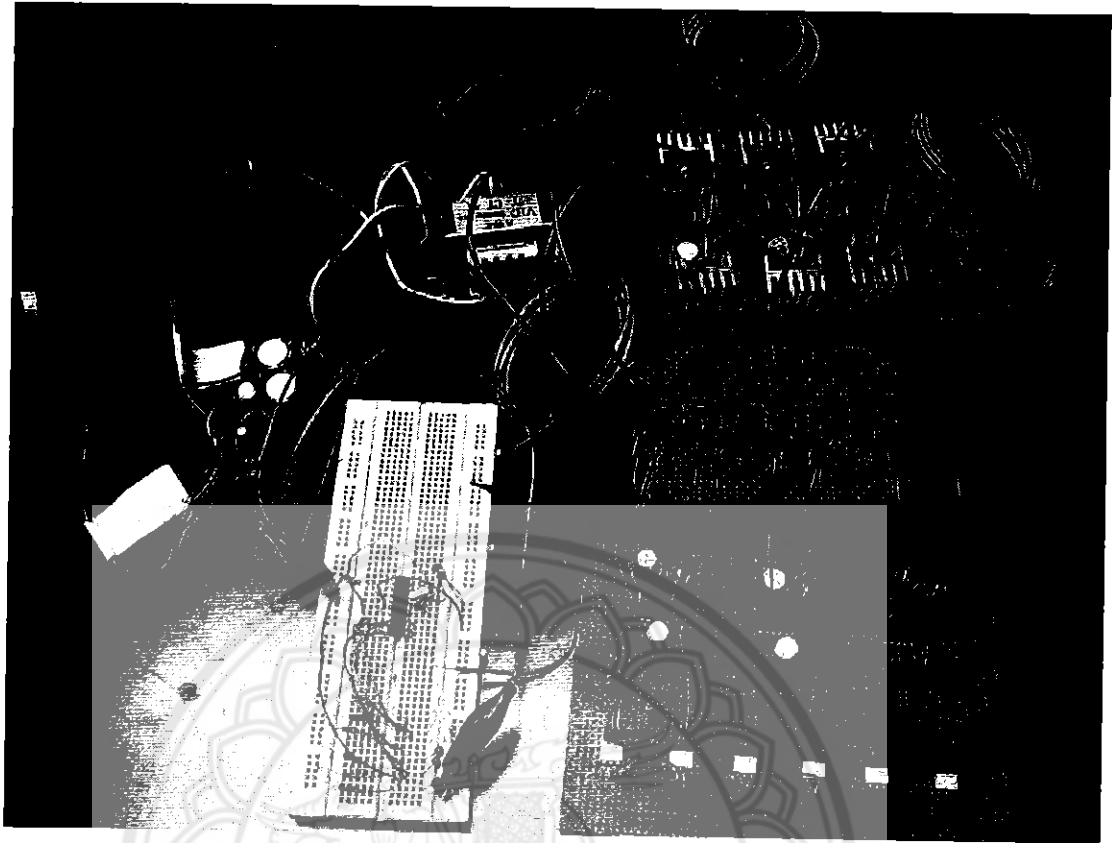
วงจรเอซีไดร์ฟจะมีมอสเฟส ($M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$) ที่คอยทำหน้าที่เป็นสวิทซ์ในการควบคุมมอเตอร์ วงจรที่ต่อเสร็จแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 วงจรเอซีไคร์ฟที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

3.3.3 การทดลองชุดเอซีไคร์ฟ

เมื่อต่อวงจรแต่ละส่วนการทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วนำวงจรทั้งหมดมาต่อรวมกัน ดังรูปที่ 3.5 โดยมีแหล่งจ่ายไฟมาต่อเข้ากับวงจรรวมจ่ายไฟ 24 VDC ดังรูป ให้กับวงจรควบคุมมอเตอร์ และใช้ไฟ 5 VDC จ่ายให้วงจรขับและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูป จากนั้นเริ่มทำการทดลองโดยการป้อนโปรแกรมที่ใช้ควบคุมมอเตอร์เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณควบคุมให้วงจรขับมอเตอร์ทำงานและวงจรขับมอเตอร์จะไปสั่งให้วงจรควบคุมมอเตอร์ทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้ามา แล้วทำการบันทึกผลการทดลองโดยใช้สโคปวัดกราฟกระแสที่ได้ และวัดสัญญาณของการ Trigger ของมอสเฟสแต่ละตัวและเฟส A, B และ C



รูปที่ 3.6 วงจรที่ต่อเสร็จแล้วพร้อมทำการทดลอง

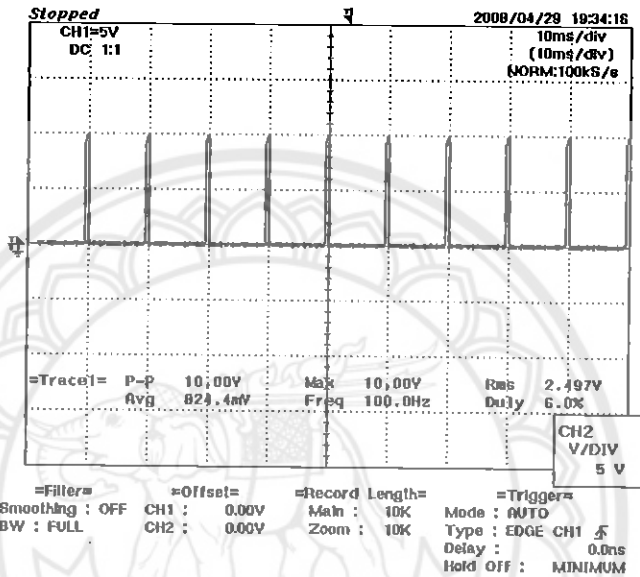


บทที่ 4

ผลการทดลอง

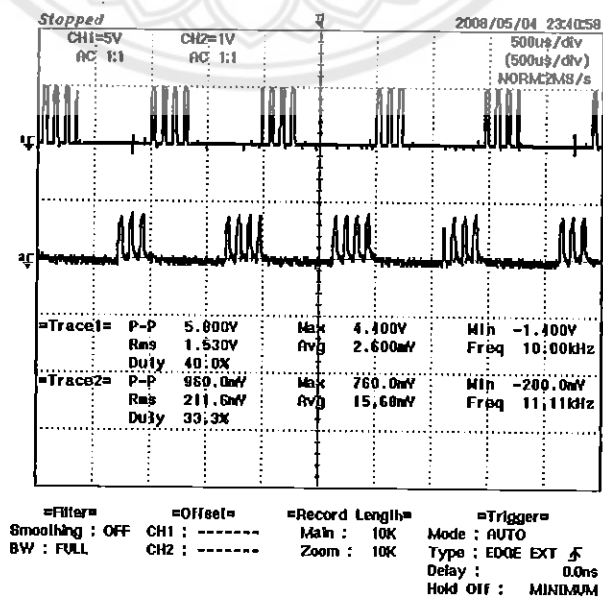
จากบทที่ 3 ได้ทำการออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการทดลองในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองจากการควบคุมมอเตอร์ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 สัญญาณที่สร้างอินพุต



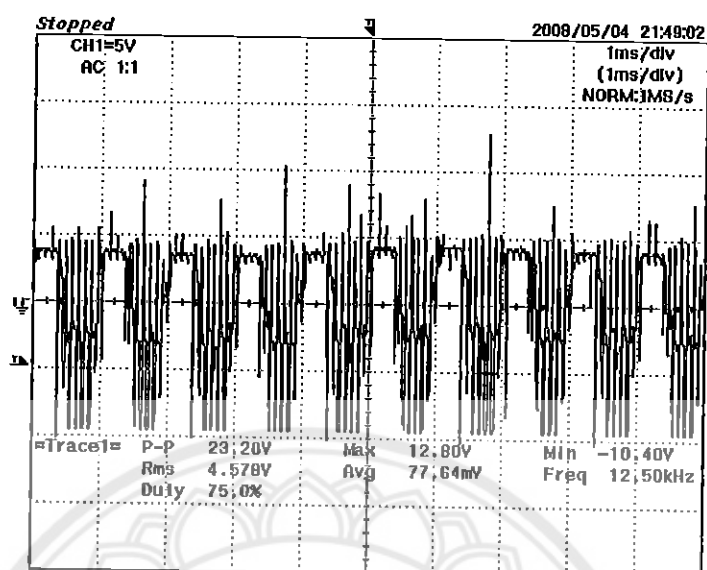
รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุต

4.2 สัญญาณที่ได้จากการ Trigger ของมอเตอร์เฟส

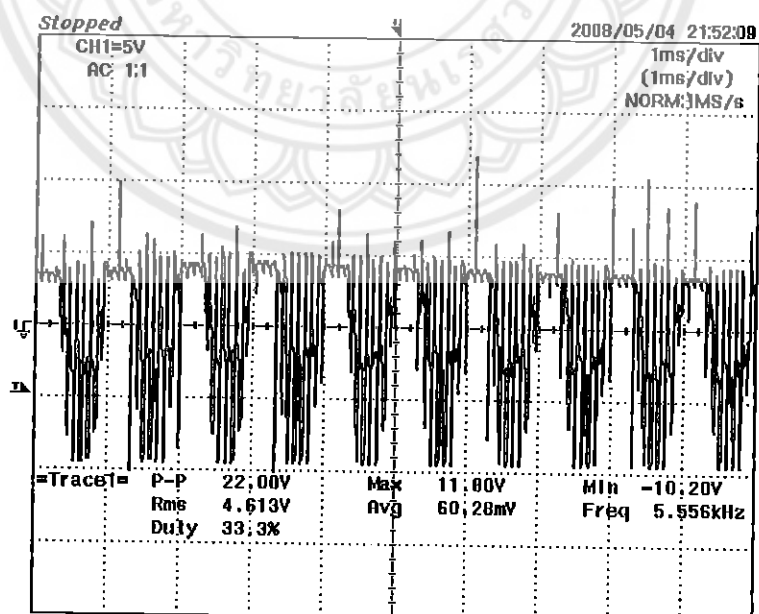


รูปที่ 4.2 สัญญาณที่มอเตอร์เฟสตัวที่ 1 และ 2

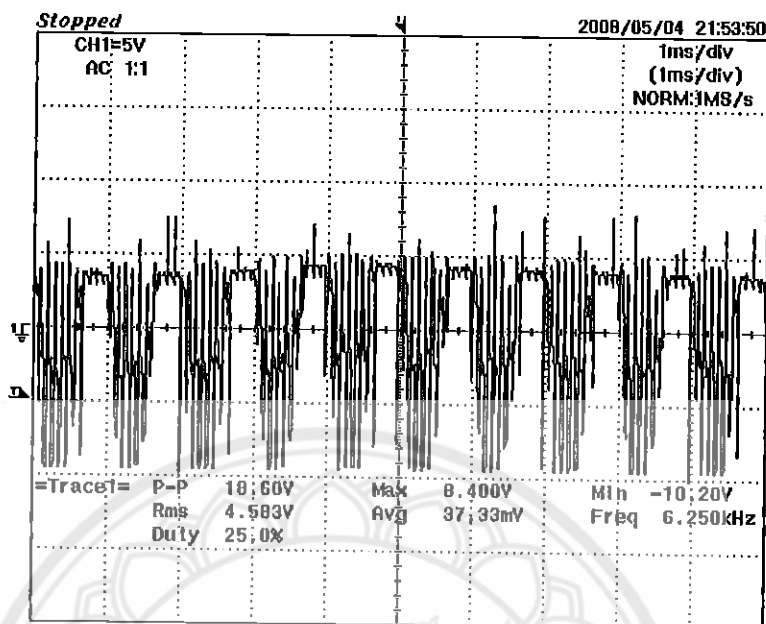
4.3 สัญญาณที่ได้จากเอาท์พุท



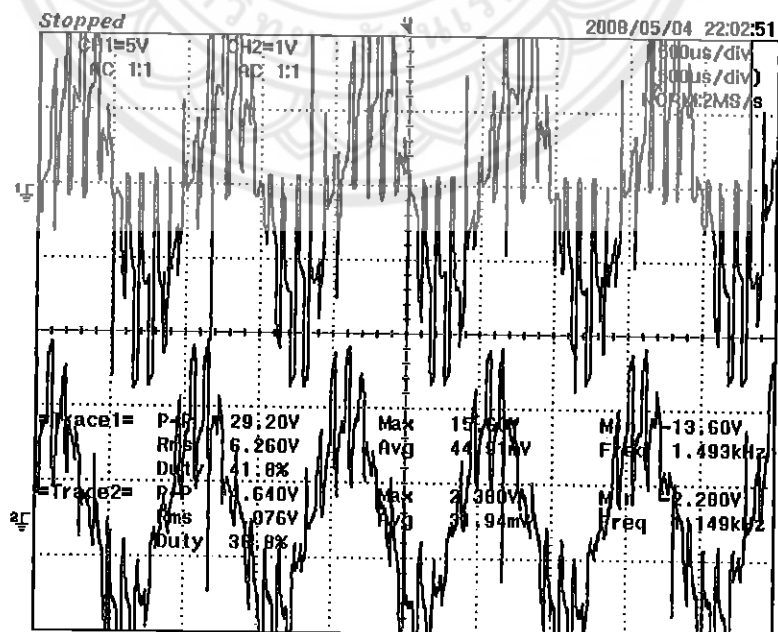
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส A กับ N



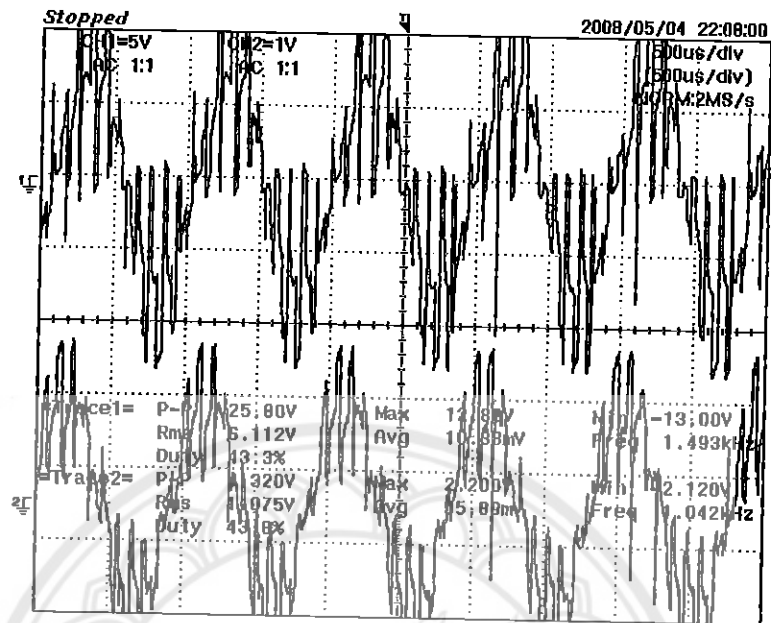
รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส B กับ N



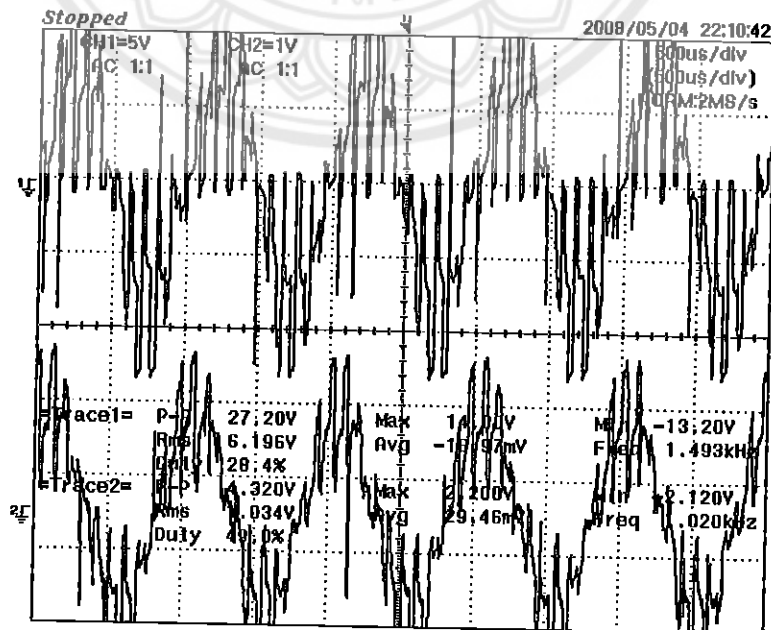
รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันคั่นคร่อมระหว่างเฟส C กับ N



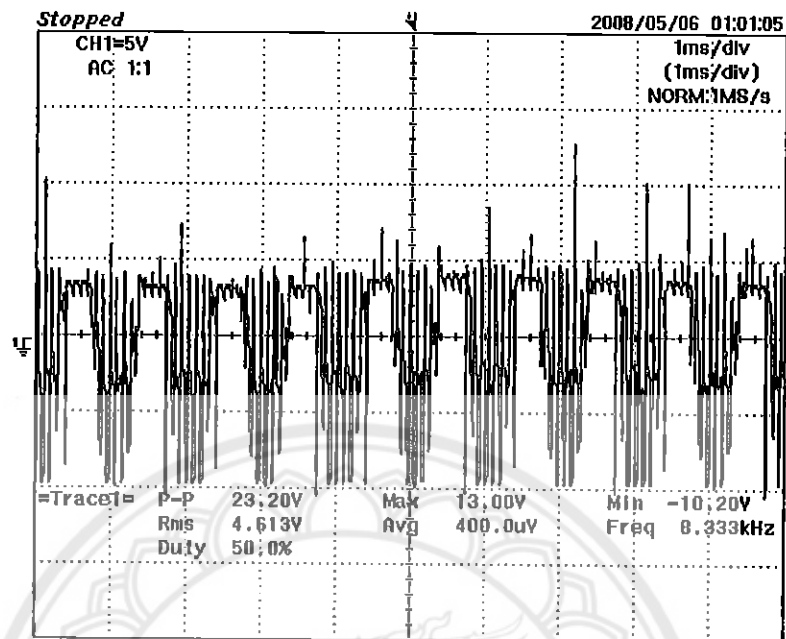
รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันคั่นเฟส A กับ B



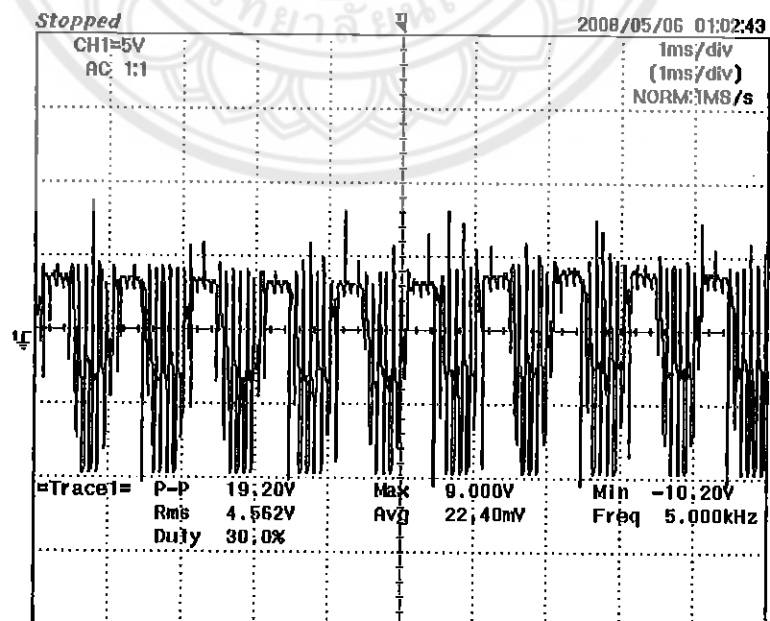
รูปที่ 4.15 สัญญาณแรงดันเฟส B กับ C



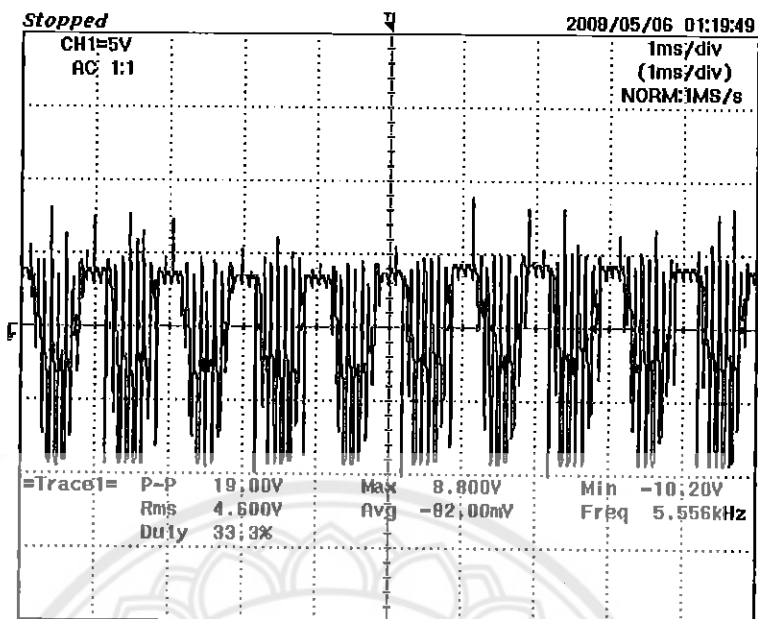
รูปที่ 4.16 สัญญาณแรงดันเฟส C กับ A



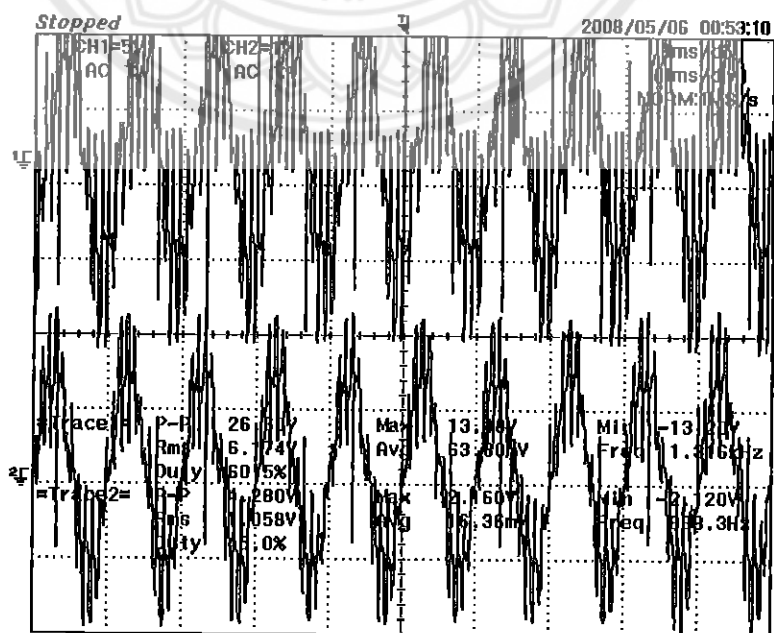
รูปที่ 4.17 สัญญาณกระแสเฟส A



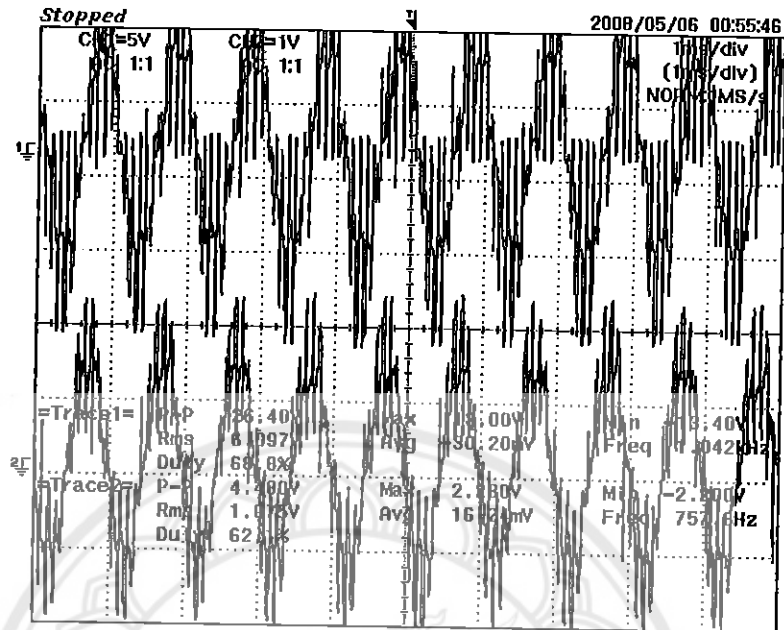
รูปที่ 4.18 สัญญาณกระแสเฟส B



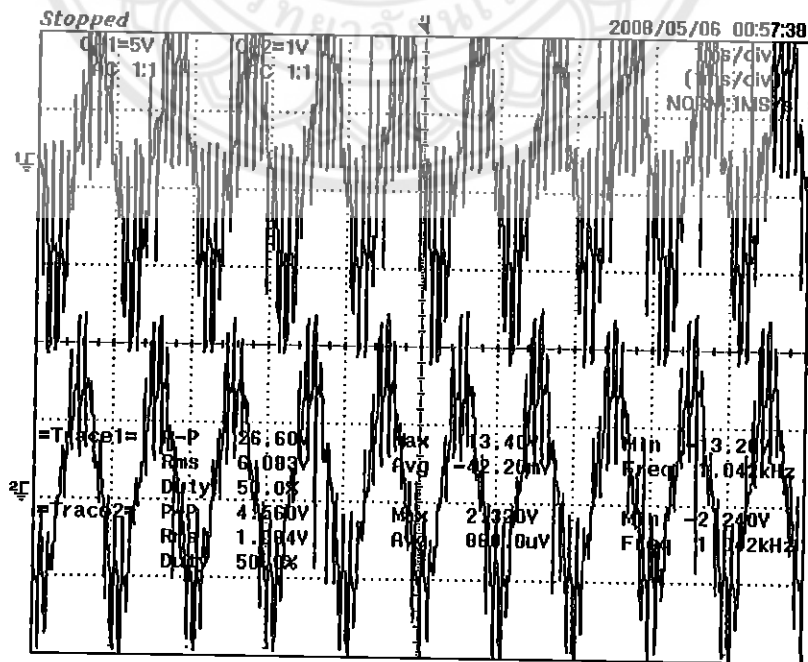
รูปที่ 4.19 สัญญาณกระแสเฟส C



รูปที่ 4.20 สัญญาณกระแสระหว่างเฟส A กับ B



รูปที่ 4.21 สัญญาณกระแสระหว่างเฟส B กับ C



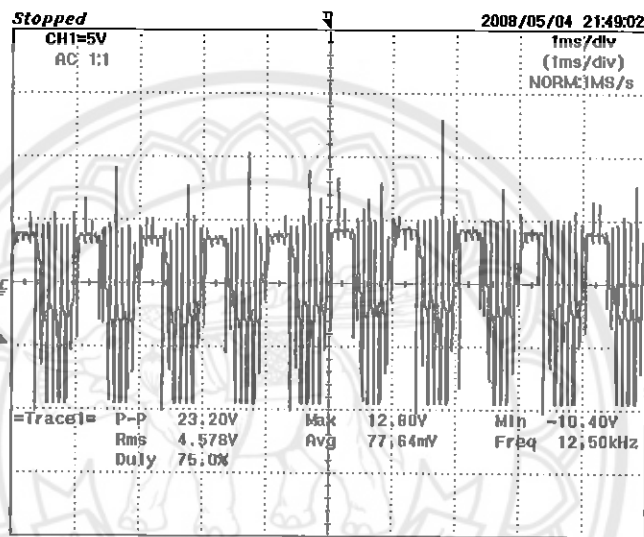
รูปที่ 4.22 สัญญาณกระแสระหว่างเฟส C กับ A

บทที่ 5

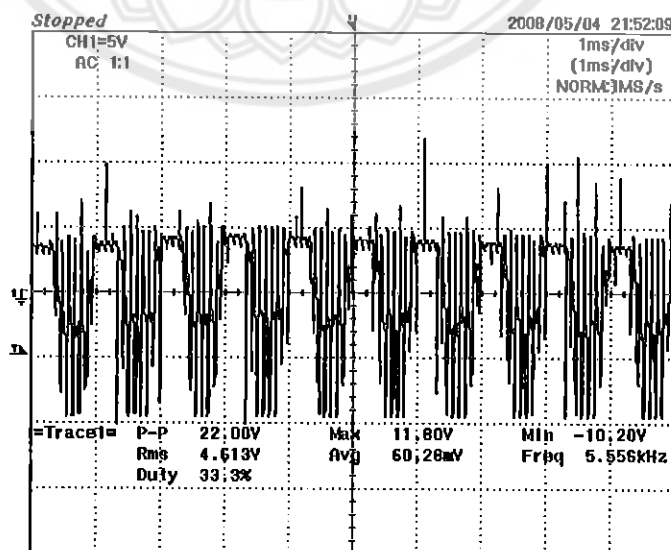
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองชุดเอซีไดร์ฟสามารถควบคุมได้โดยการสั่งให้สัญญาณไปทริกมอสเฟตแต่ละตัวซึ่งได้เป็นเป็นไปตามทฤษฎี

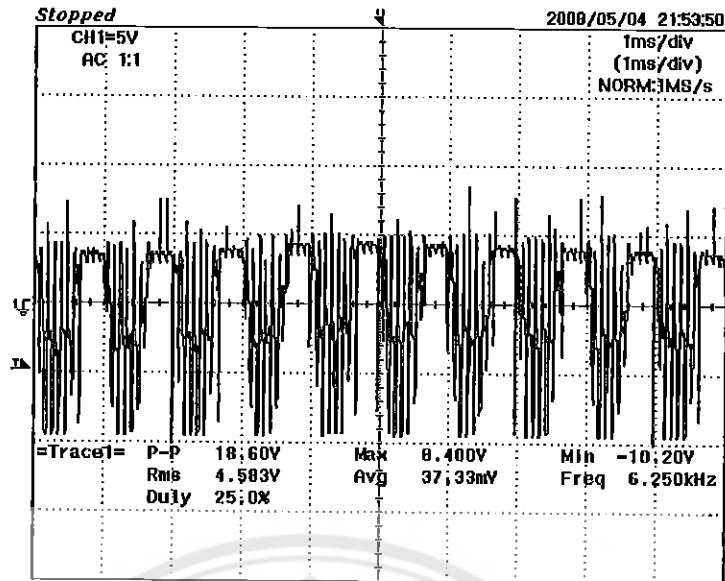
5.1 สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 5.1 สัญญาณแรงดันคั่นคร่อมระหว่างเฟส A กับ N

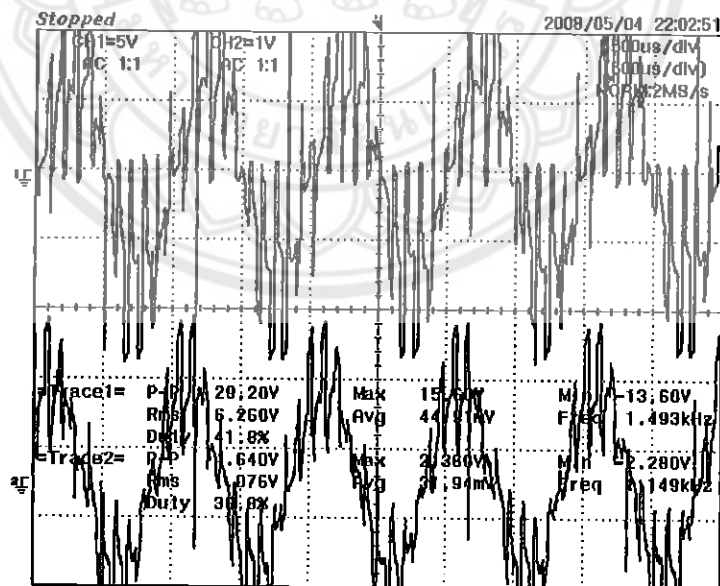


รูปที่ 5.2 สัญญาณแรงดันคั่นคร่อมระหว่างเฟส B กับ N



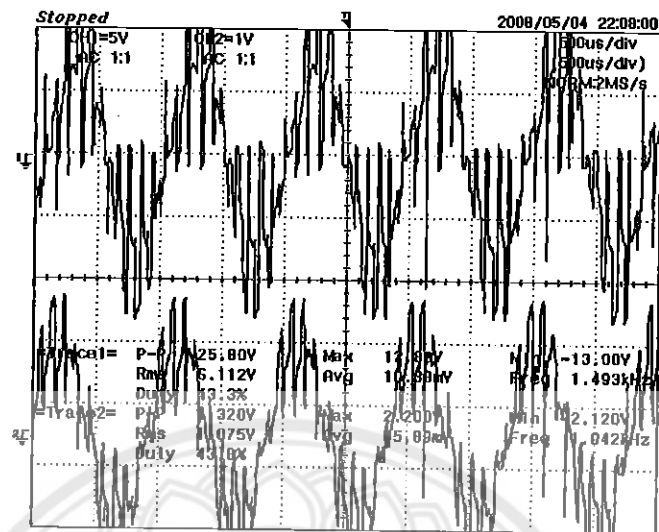
รูปที่ 5.3 สัญญาณแรงดันตกคร่อมระหว่างเฟส C กับ N

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สัญญาณควบคุมการเปิด - ปิดเกตของมอสเฟส ตามลำดับ G_1 ถึง G_6 จะพบว่ามอสเฟส 2 ตัวทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงตามลำดับ ดังนั้นคือ M_6M_1 , M_1M_2 , M_2M_3 , M_3M_4 , M_4M_5 , M_5M_6 และ M_6M_1 จึงได้รูปคลื่นแรงดันคร่อมโวลตระหว่างเฟส V_{AN} , V_{BN} และ V_{CN} ดังแสดงในรูปที่ 5.1 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ แต่สัญญาณที่ได้นั้นมีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ได้ยังเป็นรูปสัญญาณไซน์ตามทฤษฎี



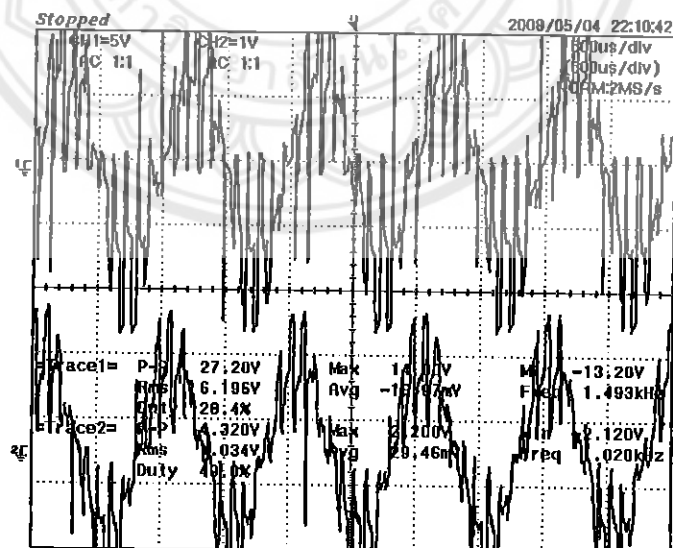
รูปที่ 5.4 สัญญาณแรงดันเฟส A กับ B

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันเฟส A จะนำหน้าเฟส B เป็นมุม 120 องศาตามทฤษฎี แต่สัญญาณที่ได้นั้นมีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ได้ยังเป็นรูปสัญญาณไซน์



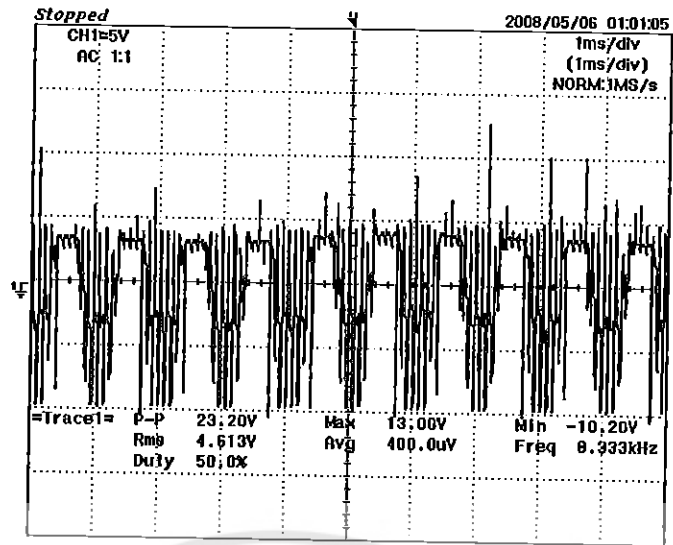
รูปที่ 5.5 สัญญาณแรงดันเฟส B กับ C

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันเฟส B จะนำหน้าเฟส C เป็นมุม 120 องศาตามทฤษฎีแต่สัญญาณที่ได้นั้นมีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ได้ยังเป็นรูปสัญญาณไซน์

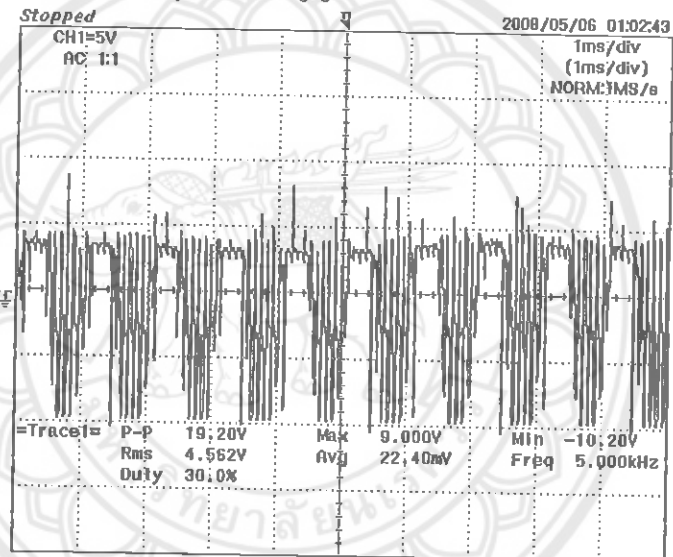


รูปที่ 5.6 สัญญาณแรงดันเฟส C กับ A

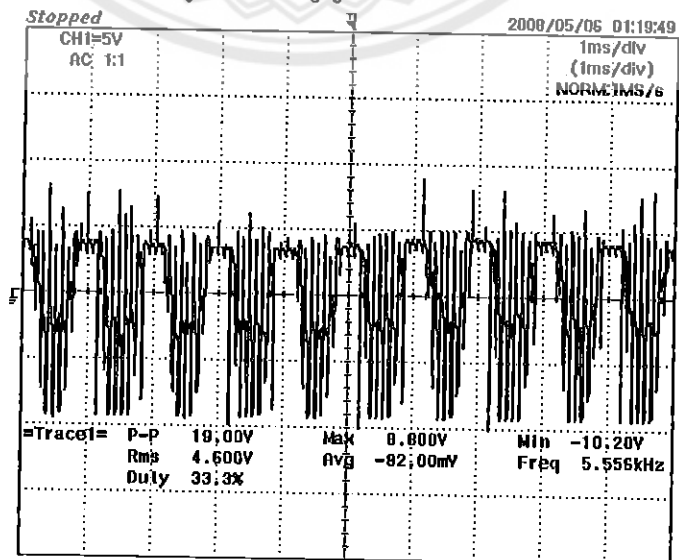
จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันเฟส C จะนำหน้าเฟส A เป็นมุม 120 องศาตามทฤษฎีแต่สัญญาณที่ได้นั้นมีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ได้ยังเป็นรูปสัญญาณไซน์



รูปที่ 5.7 สัญญาณกระแสเฟส A



รูปที่ 5.8 สัญญาณกระแสเฟส B



รูปที่ 5.9 สัญญาณกระแสเฟส C

รูปสัญญาณกระแสของแต่ละเฟสจากการทดลองออกมาจะเห็นได้ชัดเจนว่า มีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมากและเกิดฮาร์มอนิก จำนวนมากเหมือนกันทำให้รูปผิดเพี้ยนไปมาก แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณกระแสที่ได้จากการทดลองยังคงเป็นรูปไซน์ตามทฤษฎี

5.2 ประเมินผลการทดลอง

จากการดำเนินงาน โครงการงาน เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์แล้วได้ผลดังนี้

5.2.1 สามารถออกแบบวงจรเอชไอวีไฟได้

5.2.5 สามารถนำไปประยุกต์กับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมได้

5.3 ปัญหา และข้อเสนอแนะ

5.3.1 ปัญหาเกิดจากการต่อวงจรผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายจึงต้องทำการสั่งซื้ออุปกรณ์มาใหม่ ทำให้งานที่ได้ออกมาช้ากว่ากำหนด

5.3.2 ปัญหาเกิดจากการจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ถ้าจ่ายแรงดันไม่เหมาะสมสัญญาณต่างๆ จะไม่ได้ตามต้องการ จะต้องจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถึงจะทำงาน ได้คงที่

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

5.4.1 จากการทดลองใน โครงการงานนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าได้ เช่น รถไฟฟ้าขนาดใหญ่

5.4.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานคล้ายๆ กัน เช่น มอเตอร์แอร์ เครื่องบินบังคับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน. วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : วิ.เจ. พรินต์ติ้ง ; 2547
- [2] มงคล ทองสงคราม. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : พรศิระการพิมพ์; 2536
- [3] วิชัย ศังขจันทรานนท์. ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1. พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2537
- [4] วิชัย ศังขจันทรานนท์. ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2537
- [5] นภัทร วัฒนเทพินทร์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์; 2544
- [6] กฤษดา ใจเย็น และคณะ. เรียนรู้และใช้งาน PICBASIC PRO คอมไพเลอร์, กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็ดจิวเรียมেন্ট กรุงเทพฯ; 2521
- [7] เศรษฐี มณีธรรม. คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์; 2544
- [8] กฤษดา วิสวธีรานนท์. INVERTER หลักการทำงานและเทคนิคการใช้. พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2544



ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดเอซีไดร์ฟ

```

#include <LPC21xx.H> // LPC2119 MPU Register

/* pototype section */
void delay_led(unsigned long int); // Delay Time Function

int main(void)
{
    unsigned long int time=1000000;
    PINSEL0 &= 0x00000005; // Makesure GPIO0.2-16 = GPIO Function
    IODIR0 = 0x0000ff00; // Set GPIO0.10-15 = Output
    IOSET0 = 0x0000ff00; // Set GPIO0.10-15 Output Pin (ON LED)
    // Loop Blink LED on GPIO1.16
    while(1) // Loop Continue
    {
        IOSET0 = 0x0000ff00; // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        IOCLR0 = 0x00001e00;
        // Clear Output Pin P10.15 (ON LED)
        delay_led(time);
        // Display LED Delay
        /* IOSET0 = 0x0000ff00; // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        delay_led(time);*/

        IOSET0 = 0x0000ff00; // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        IOCLR0 = 0x00003c00; // Clear Output Pin P8.15 (ON LED)

        delay_led(time);
        // Display LED Delay
        /* IOSET0 = 0x0000ff00; // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)

```

```

        delay_led(time); */

        IOSET0 = 0x0000ff00;           // Set Output Pin P0.10-15 (OFF
LED)
        IOCLR0 = 0x00003900;         // Clear Output Pin P8.15 (ON LED)
        delay_led(time);             // Display LED Delay
/*   IOSET0 = 0x0000ff00;           // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        delay_led(time); */

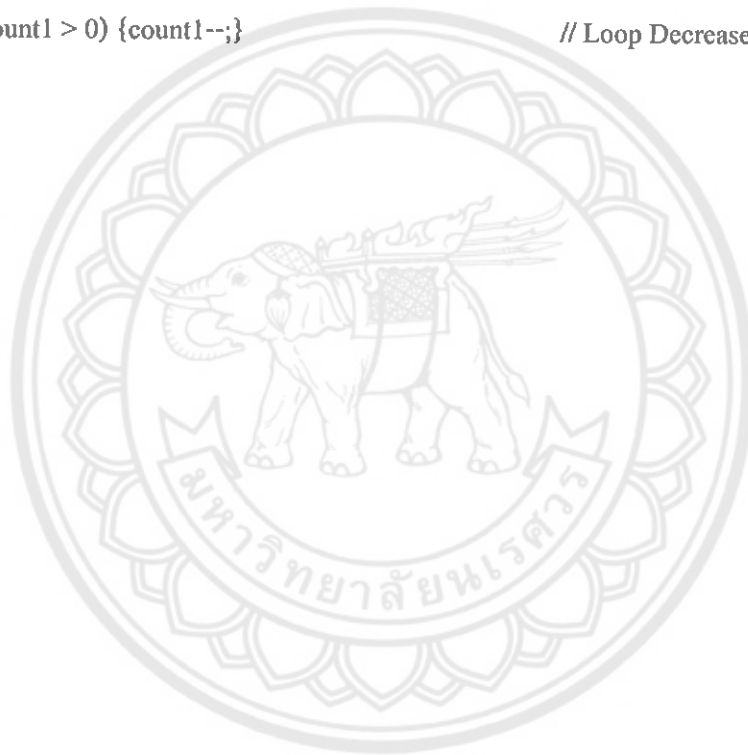
        IOSET0 = 0x0000ff00;         // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        IOCLR0 = 0x00003300;         // Clear Output Pin P08.15 (ON LED)
        delay_led(time);             // Display LED Delay
/*   IOSET0 = 0x0000ff00;           // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        delay_led(time); */

        IOSET0 = 0x0000ff00;         // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        IOCLR0 = 0x00002700;         // Clear Output Pin P10.15 (ON LED)
        delay_led(time);             // Display LED Delay
/*   IOSET0 = 0x0000ff00;           // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        delay_led(time); */

        IOSET0 = 0x0000ff00;         // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        IOCLR0 = 0x00000f00;         // Clear Output Pin P0.8-15 (ON
LED)
        delay_led(time);             // Display LED Delay
/*   IOSET0 = 0x0000ff00;           // Set Output Pin P0.8-15 (OFF LED)
        delay_led(time); */

```

```
    }  
  }  
  
  /***/  
  /* Delay Time Function */  
  /* 1-4294967296 */  
  /***/  
  void delay_led(unsigned long int count1)  
  {  
    while(count1 > 0) {count1--;} // Loop Decrease Counter  
  }
```



ภาคผนวก ข
รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

**6-PIN DIP
OPTOISOLATORS LOGIC OUTPUT**

H11L1M

H11L2M

H11L3M

DESCRIPTION

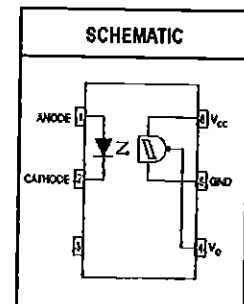
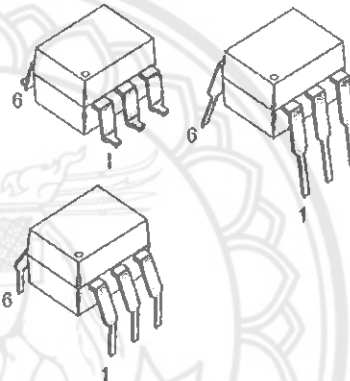
The H11LX series has a high speed integrated circuit detector optically coupled to a gallium-arsenide infrared emitting diode. The output incorporates a Schmitt trigger, which provides hysteresis for noise immunity and pulse shaping. The detector circuit is optimized for simplicity of operation and utilizes an open collector output for maximum application flexibility.

FEATURES

- High data rate, 1 MHz typical (NRZ)
- Free from latch up and oscillation throughout voltage and temperature ranges.
- Microprocessor compatible drive
- Logic compatible output sinks 16 mA at 0.4 V maximum
- Guaranteed on/off threshold hysteresis
- Wide supply voltage capability, compatible with all popular logic systems
- Underwriter Laboratory (UL) recognized—file #E90700

APPLICATIONS

- Logic to logic isolator
- Programmable current level sensor
- Line receiver—eliminate noise and transient problems
- A.C. to TTL conversion—square wave shaping
- Digital programming of power supplies
- Interfaces computers with peripherals

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T_{STG}	All	-55 to +150	°C
Operating Temperature	T_{OPR}	All	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	All	260 for 10 sec	°C
Total Device Power Dissipation @ 25°C Derate Above 25°C	P_D	All	250 2.94	mW mW/°C
EMITTER				
Continuous Forward Current	I_F	All	60	mA
Reverse Voltage	V_R	All	6	V
Forward Current - Peak (1 μ s pulse, 300 pps)	$I_{F(pk)}$	All	3.0	A
LED Power Dissipation 25°C Ambient Derate Linearly From 25°C	P_D	All	120 1.41	mW mW/°C
DETECTOR				
Detector Power Dissipation @ 25°C Derate Linearly from 25°C	P_D	All	150 2.0	mW mW/°C
V_{45} Allowed Range	V_O	All	0 to 16	V
V_{65} Allowed Range	V_{CC}	All	3 to 16	V
I_4 Output Current	I_O	All	50	mA

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

**6-PIN DIP
OPTOISOLATORS LOGIC OUTPUT**

H11L1M

H11L2M

H11L3M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F	All		1.2	1.5	V
	$I_F = 0.3\text{ mA}$			0.75	1.0		
Reverse Current	$V_R = 3\text{ V}$	I_R	All			10	μA
Capacitance	$V = 0, f = 1.0\text{ MHz}$	C_J	All			100	pF
DETECTOR							
Operating Voltage Range		V_{CC}	All	3		15	V
Supply Current	$I_F = 0, V_{CC} = 5\text{ V}$	$I_{CC(om)}$	All		1.6	5.0	mA
Output Current, High	$I_F = 0, V_{CC} = V_O = 15\text{ V}$	I_{OH}	All			100	μA

ISOLATION CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Input-Output Isolation Voltage	$t = 1\text{ sec.}$	V_{ISO}	7500			V_{PEAK}
Isolation Capacitance	$V_{IO} = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$	C_{ISO}		0.4	0.6	pF
Isolation Resistance	$V_{IO} = \pm 500\text{ VDC}$	R_{ISO}	10^{11}			Ω

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

**6-PIN DIP
OPTOISOLATORS LOGIC OUTPUT**

H11L1M

H11L2M

H11L3M

TRANSFER CHARACTERISTICS							
DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
Supply Current	$I_F = 10\text{mA}, V_{CC} = 5\text{V}$	$I_{CC(on)}$	All		1.6	5.0	mA
Output Voltage, low	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}, I_F = I_{F(on)max}$	V_{OL}	All		0.2	0.4	V
Turn-On Threshold Current	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}$	$I_{F(on)}$ *	H11L1M			1.6	mA
			H11L2M			10.0	
			H11L3M			5.0	
Turn-Off Threshold Current	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}$	$I_{F(off)}$	All	0.3	1.0		mA
Hysteresis Ratio	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}$	$I_{F(off)}/I_{F(on)}$	All	0.50	0.75	0.90	
AC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
SWITCHING SPEED							
Turn-On time	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}, I_F = I_{F(on)}, T_A = 25^\circ\text{C}$	t_{on}	All		1.0		μs
					0.65	4	
Fall Time	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}, I_F = I_{F(on)}, T_A = 25^\circ\text{C}$	t_f	All		0.1		μs
					.05		
Turn-Off Time	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}, I_F = I_{F(on)}, T_A = 25^\circ\text{C}$	t_{off}	All		2.0		μs
					1.2	4	
Rise time	$R_L = 270\Omega, V_{CC} = 5\text{V}, I_F = I_{F(on)}, T_A = 25^\circ\text{C}$	t_r	All		0.1		μs
					0.07		
Data Rate			All		0.1		
			All		1.0		MHz

NOTE:

*Maximum $I_{F(on)}$ is the maximum current required to trigger the output. For example, a 1.6mA maximum trigger current would require the LED to be driven at a current greater than 1.6mA to guarantee the device will turn on. A 10% guard band is recommended to account for degradation of the LED over its lifetime. The maximum allowable LED drive current is 60mA.

H11L1M

H11L2M

H11L3M

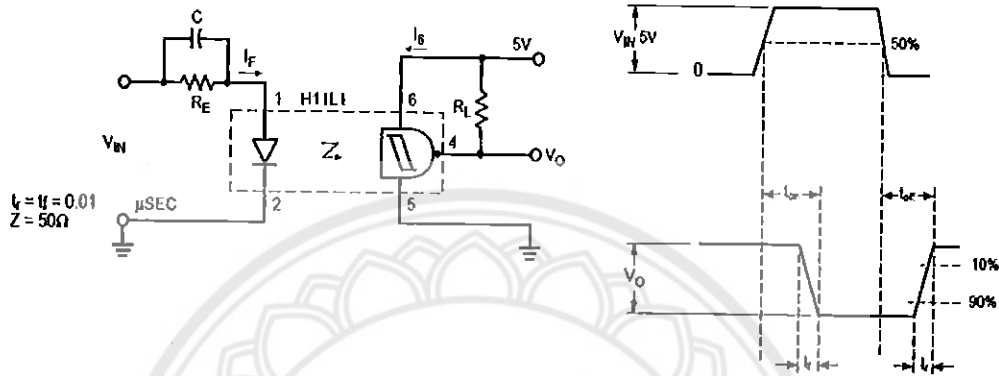


Figure 1. Switching Test Circuit and Waveforms

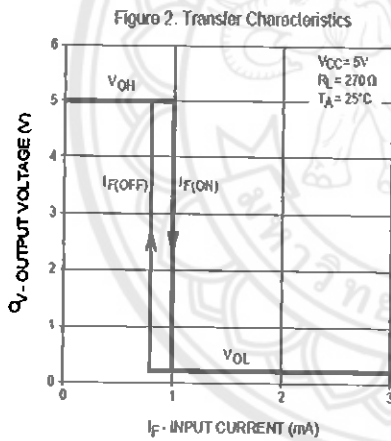


Figure 2. Transfer Characteristics

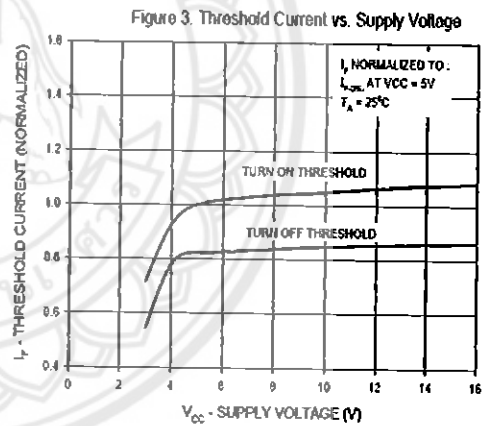


Figure 3. Threshold Current vs. Supply Voltage

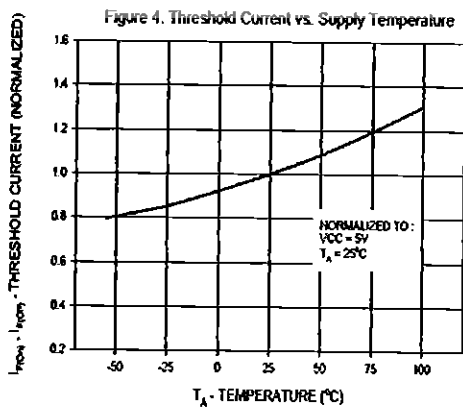


Figure 4. Threshold Current vs. Supply Temperature

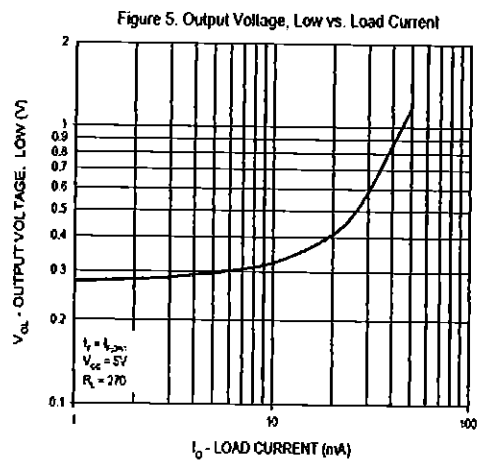


Figure 5. Output Voltage, Low vs. Load Current

H11L1M

H11L2M

H11L3M

Figure 6. Supply Current vs. Supply Voltage

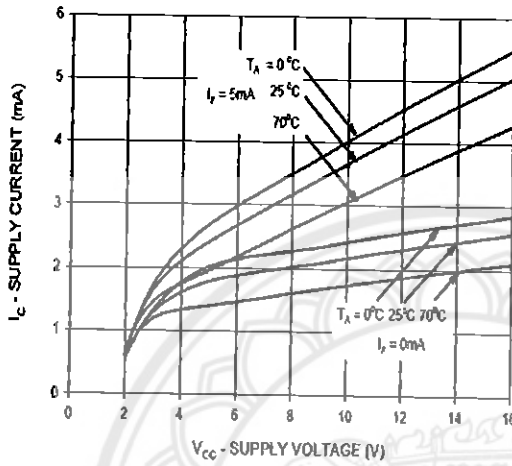
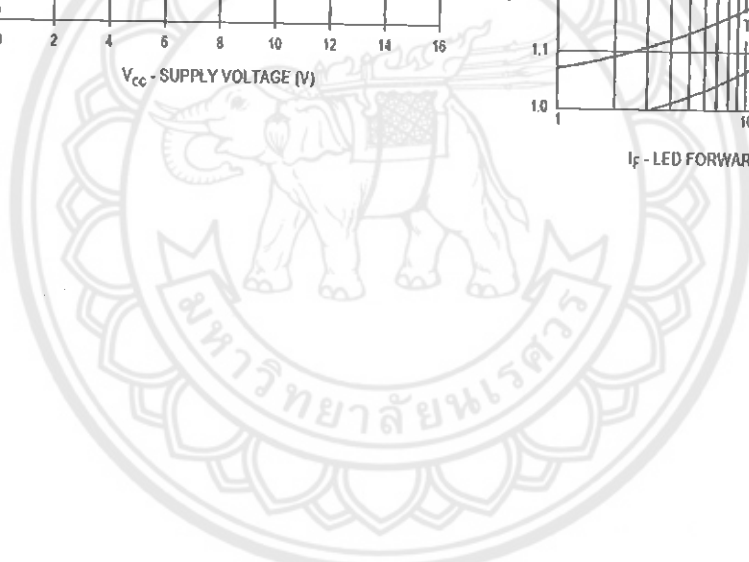
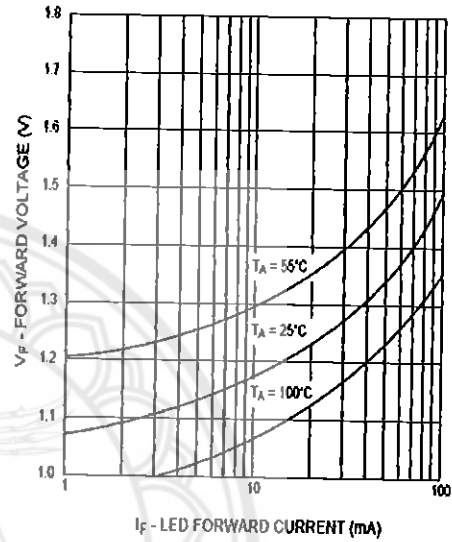


Figure 7. LED Forward Voltage vs. Forward Current

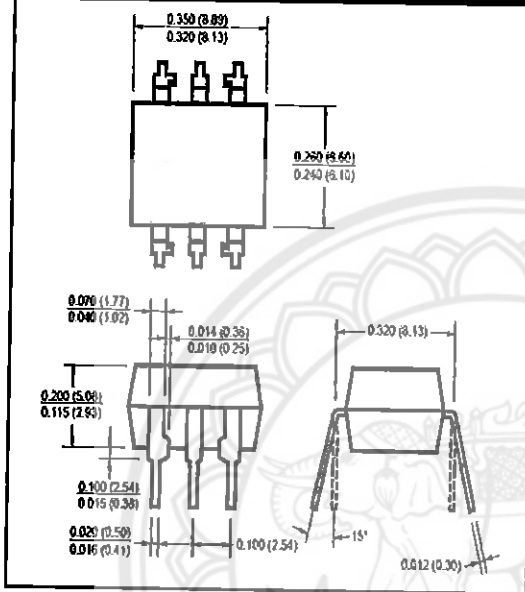


H11L1M

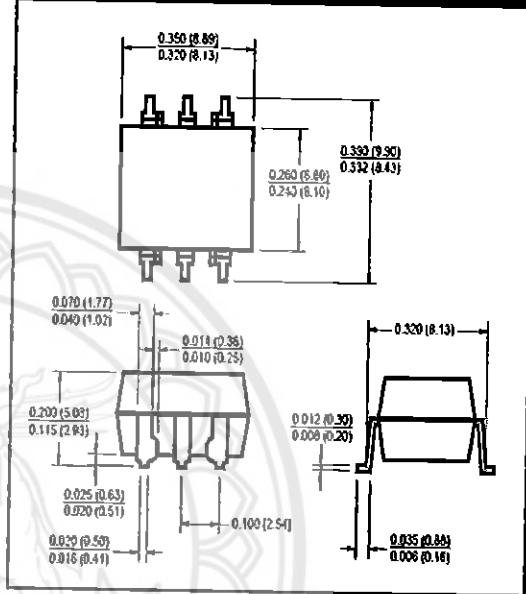
H11L2M

H11L3M

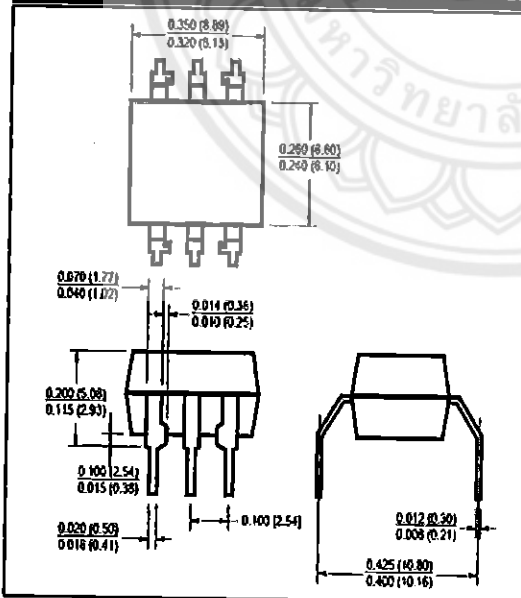
Package Dimensions (Through Hole)



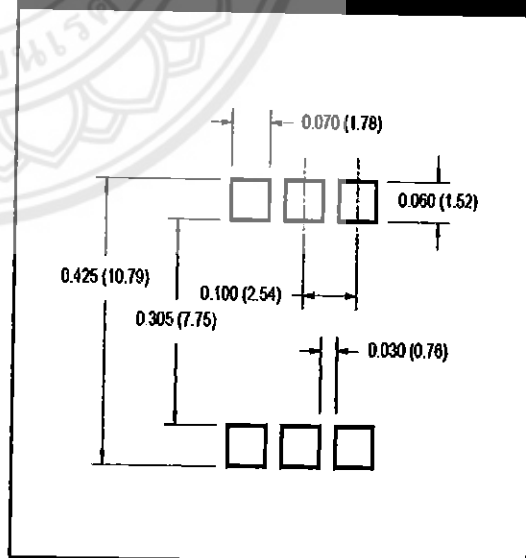
Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



**Recommended Pad Layout for
Surface Mount Leadform**



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)



6-PIN DIP OPTOISOLATORS LOGIC OUTPUT

H11L1M

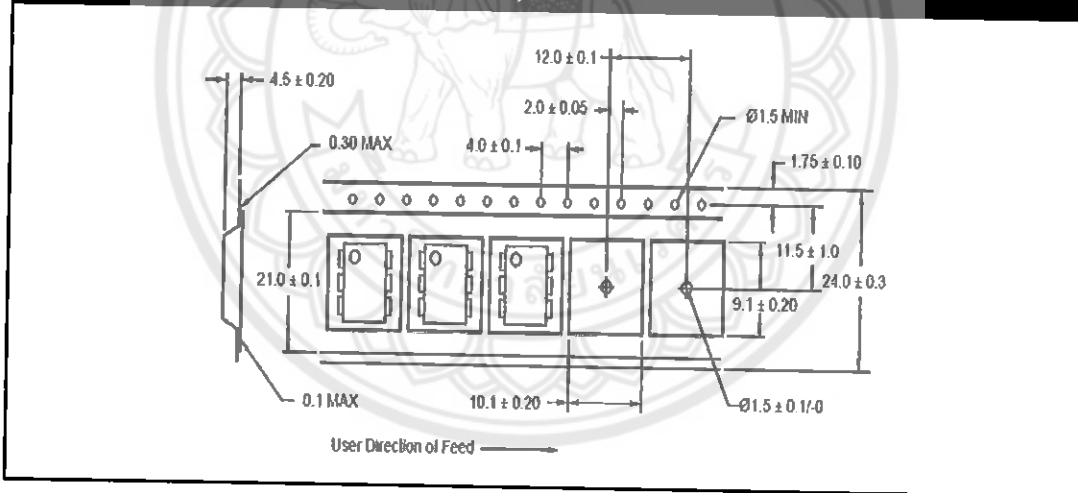
H11L2M

H11L3M

ORDERING INFORMATION

Option/Order Entry Identifier	Description
S	Surface Mount Lead Bend
SR2	Surface Mount; Tape and reel
T	0.4" Lead Spacing
V	VDE 0884
TV	VDE 0884, 0.4" Lead Spacing
5V	VDE 0884, Surface Mount
SR2V	VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel

Carrier Tape Specifications ("D" Taping Orientation)



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

6-PIN DIP OPTOISOLATORS LOGIC OUTPUT

H11L1M

H11L2M

H11L3M

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt Immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

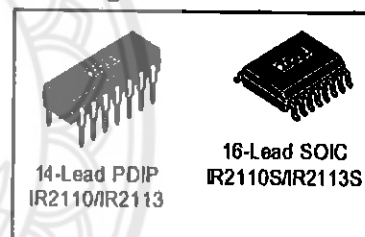
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O} \pm}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

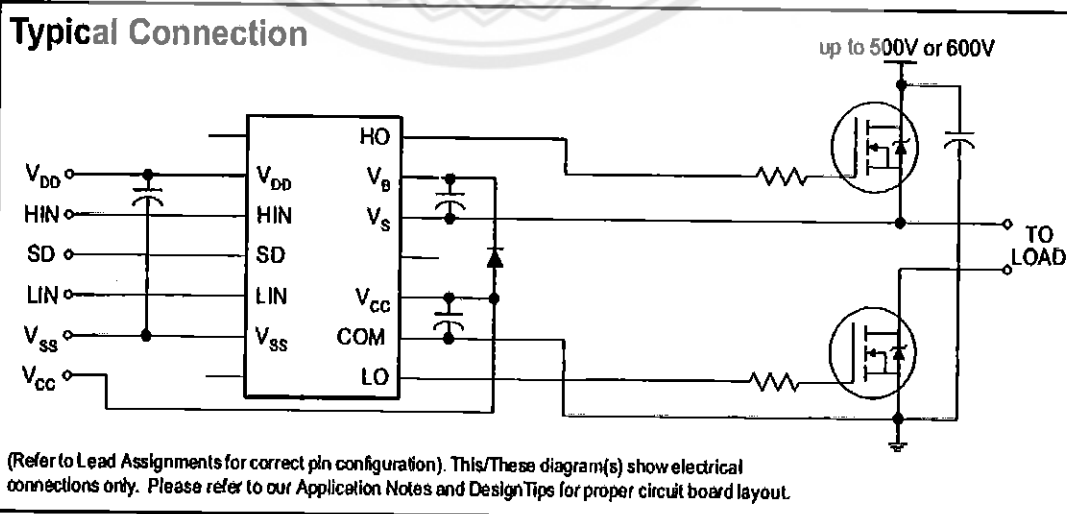
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IOR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dv _B /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The Input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_{SS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

International
IR Rectifier

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$	
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$	
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$	
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35			
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25			
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	10			
					20			

Static Electrical Characteristics

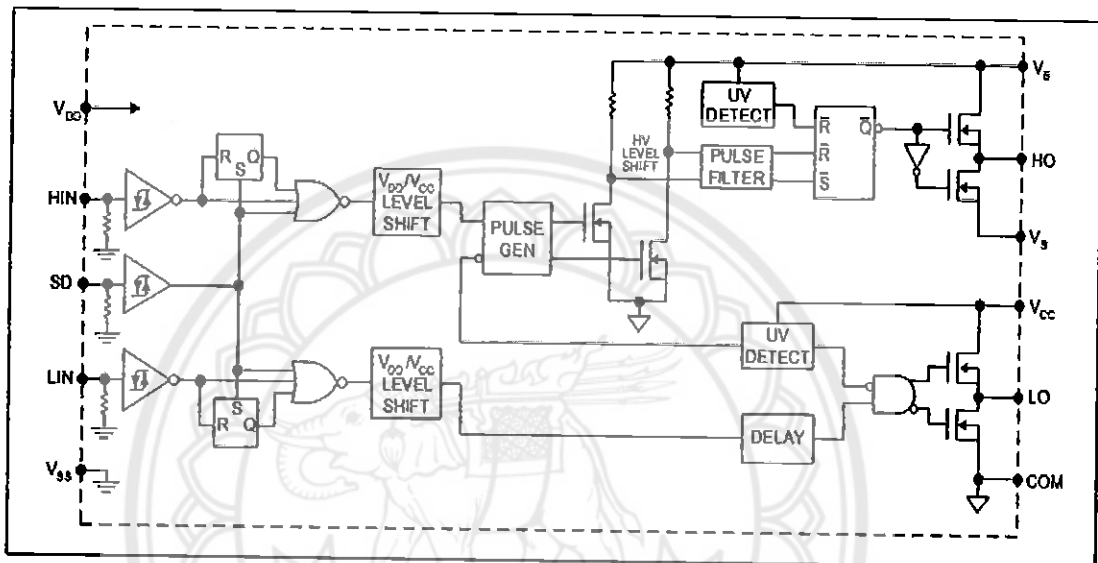
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	V	$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IOR Rectifier

Functional Block Diagram

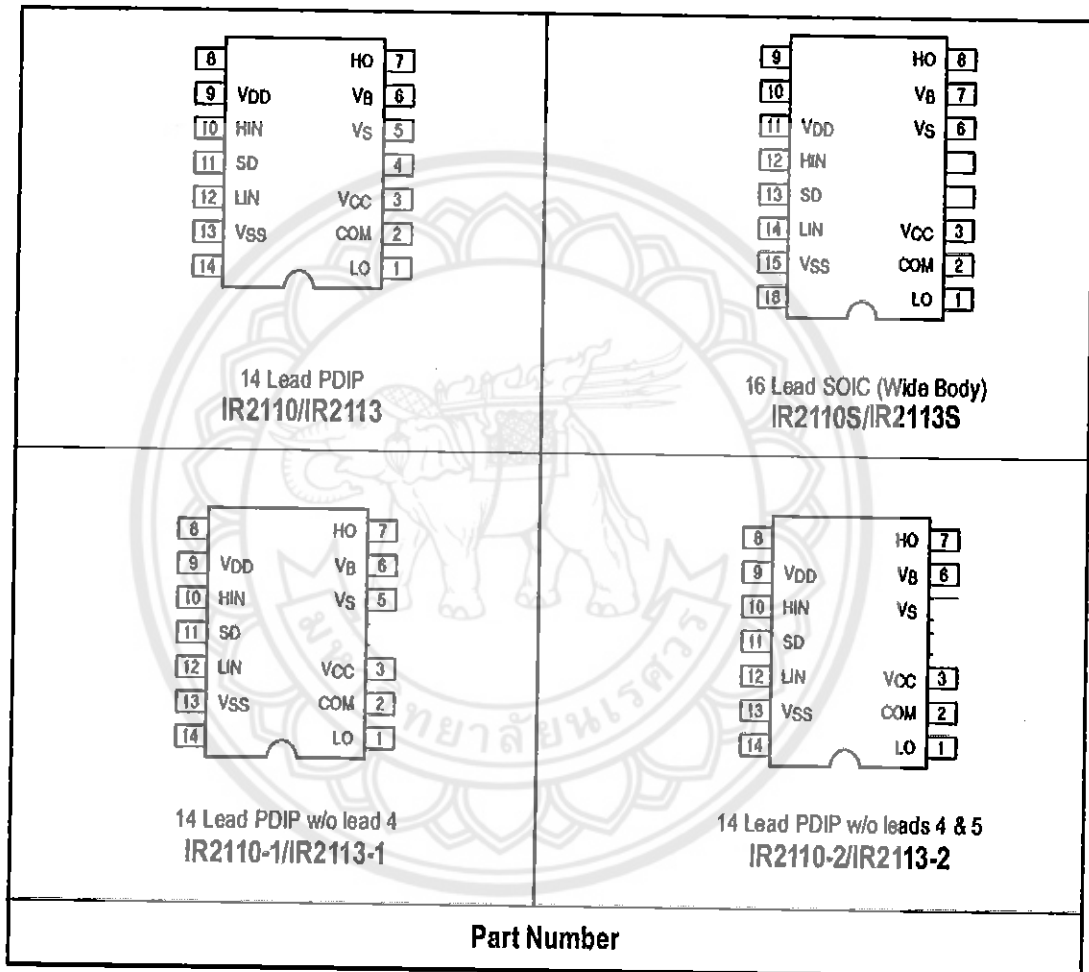


Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Lead Assignments



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

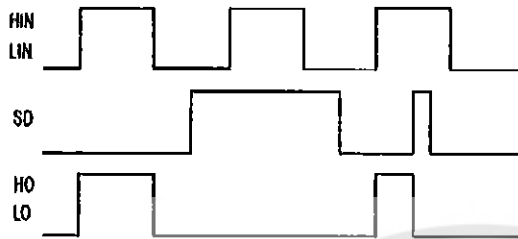


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

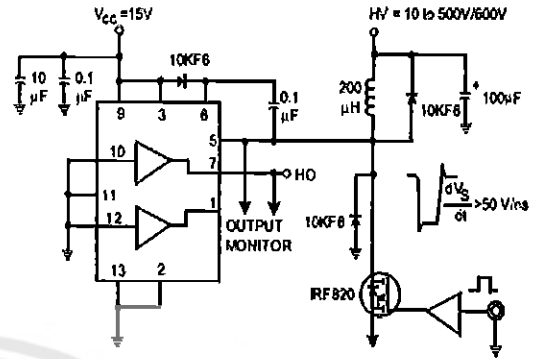


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

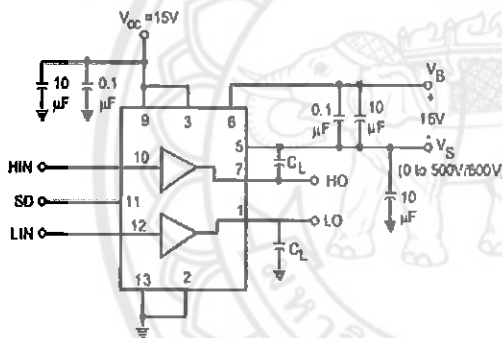


Figure 3. Switching Time Test Circuit

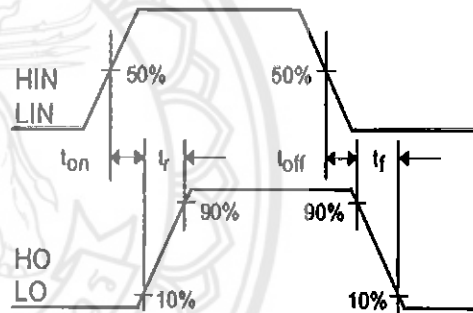


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

LO \ HO

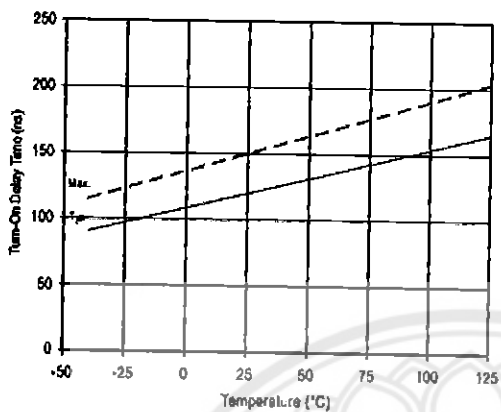


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

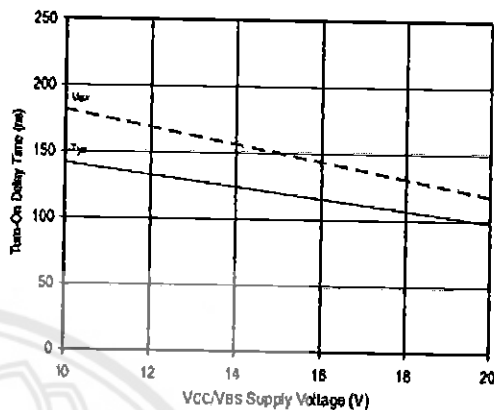


Figure 7B. Turn-On Time vs. Vcc/Vas Supply Voltage

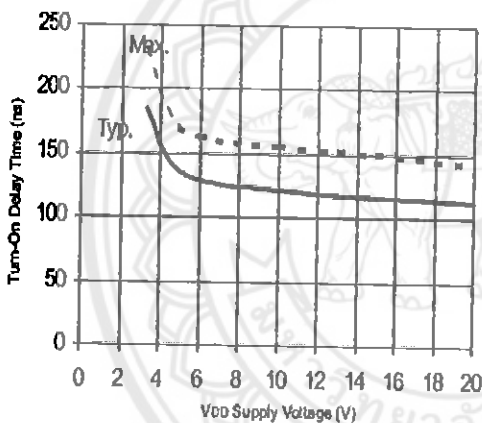


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

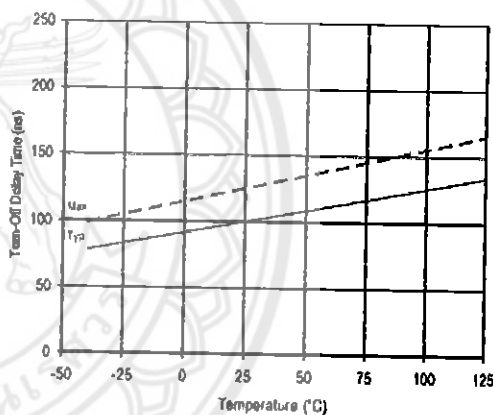


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

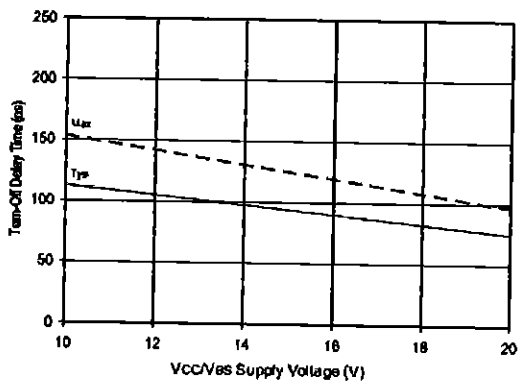


Figure 8B. Turn-Off Time vs. Vcc/Vas Supply Voltage

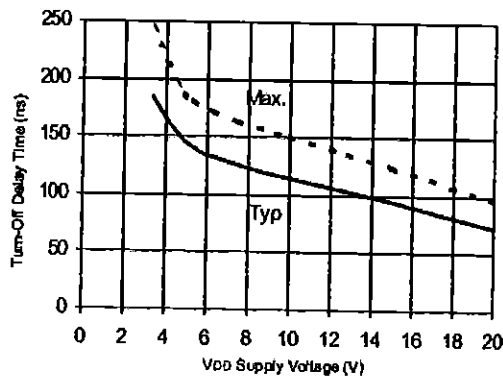


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IOR Rectifier

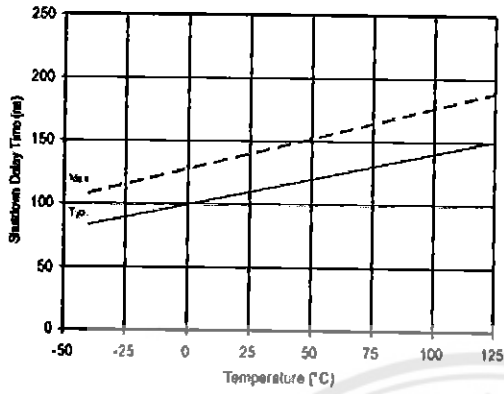


Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

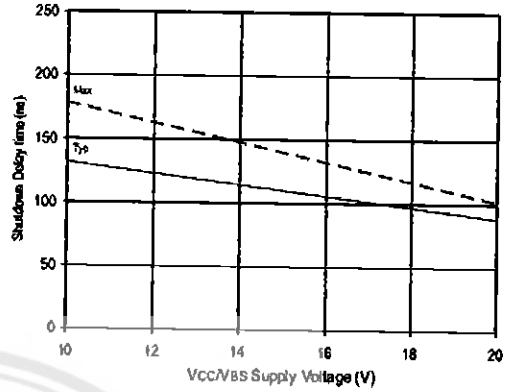


Figure 9B. Shutdown Time vs. Vcc/Vbs Supply Voltage

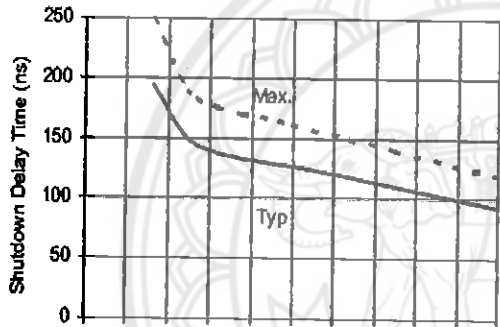


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

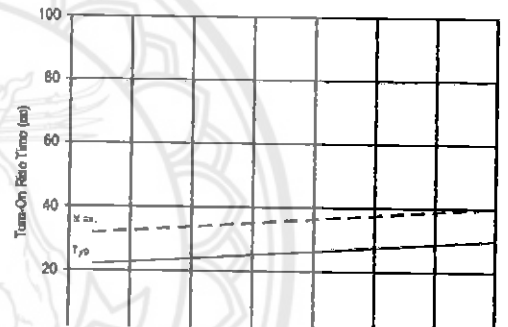
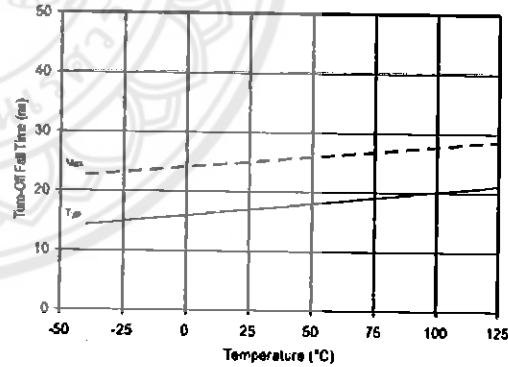
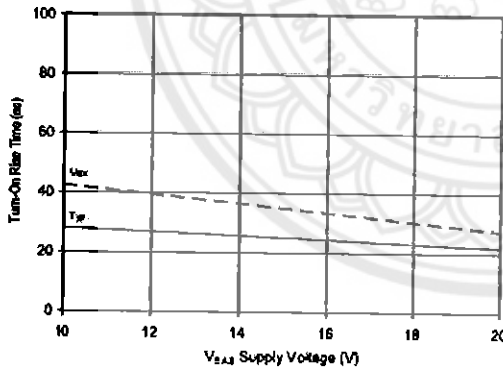
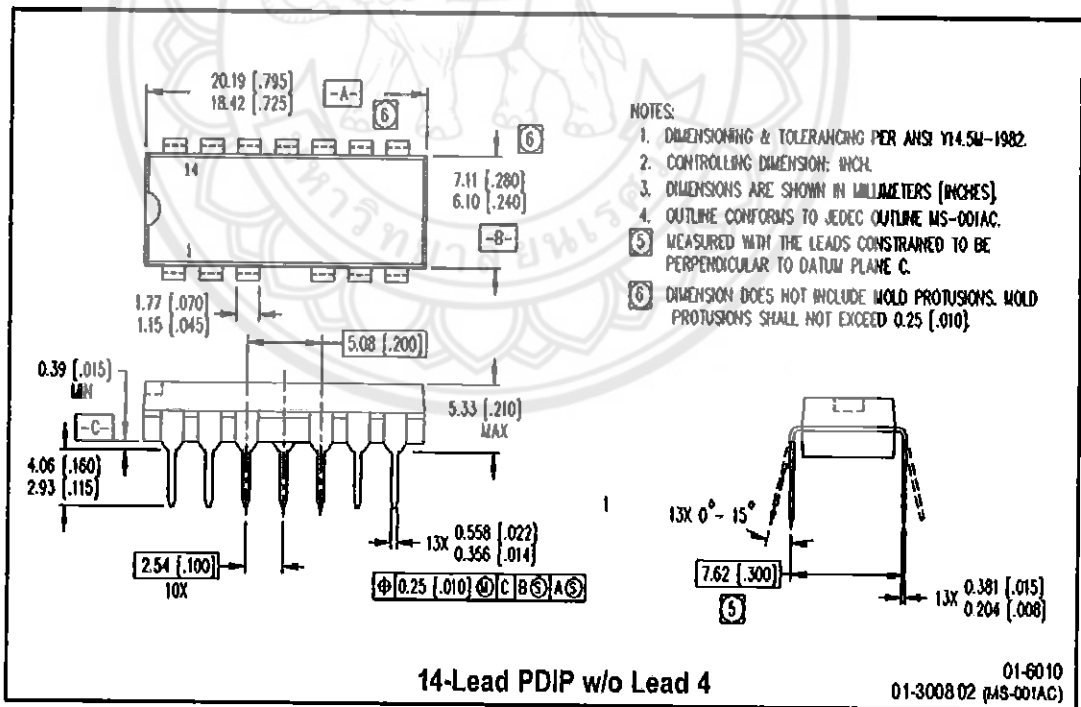
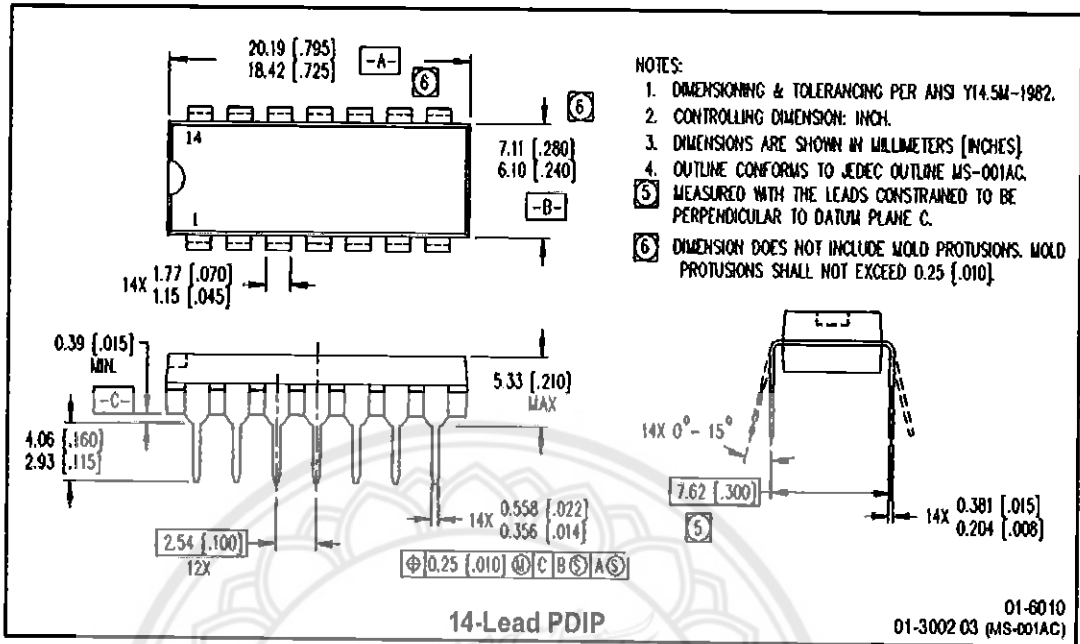


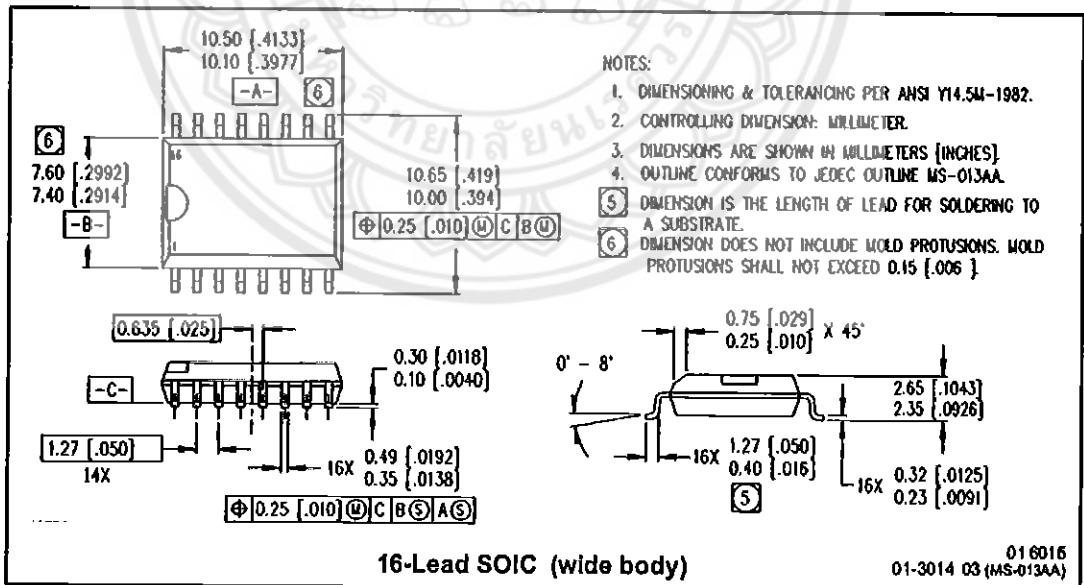
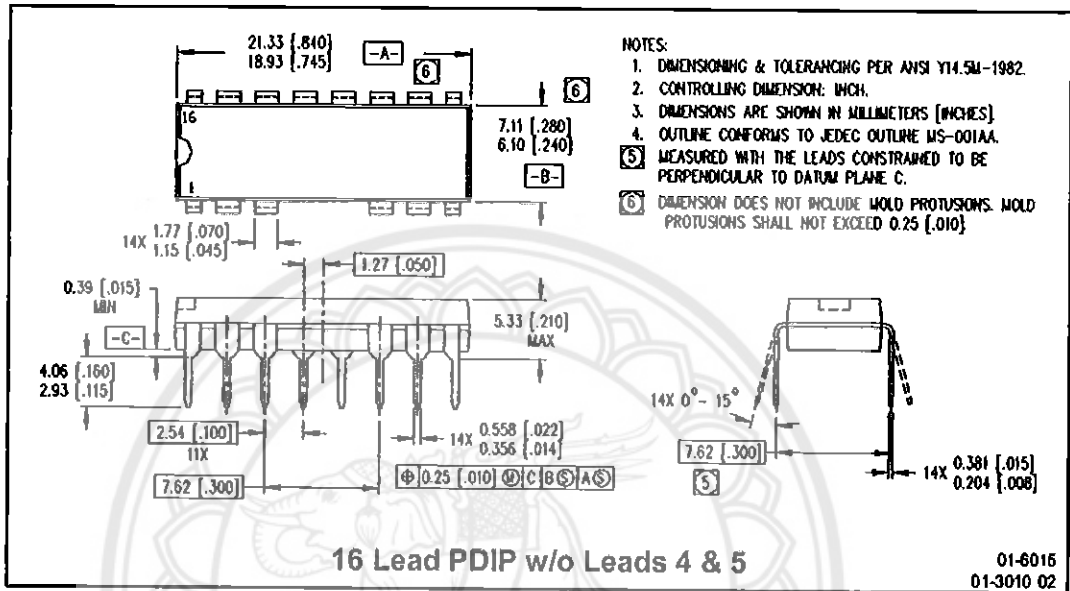
Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature



Case Outlines



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF



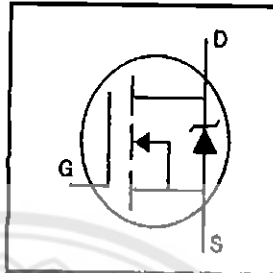
International IR Rectifier

PD-9.458C

IRFP450

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DSS} = 500V$$

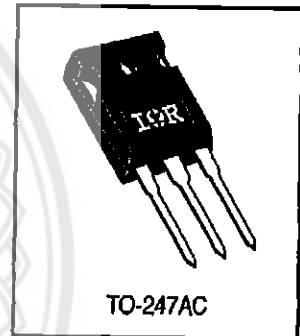
$$R_{DS(on)} = 0.40\Omega$$

$$I_D = 14A$$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.




Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_c = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	14	A
$I_D @ T_c = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	8.7	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	56	
$P_D @ T_c = 25^\circ C$	Power Dissipation	190	W
	Linear Derating Factor	1.5	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	760	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ③	8.7	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ④	19	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	3.5	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	


Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.65	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.40	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=8.4A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	9.3	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=8.4A$ ①
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	150	nC	$I_D=14A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	20		$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	80		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ①
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	47	—		$I_D=14A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	92	—		$R_G=6.2\Omega$
t_f	Fall Time	—	44	—		$R_D=17\Omega$ See Figure 10 ①
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact 
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	2600	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	720	—		$V_{DS}=25V$
C_{riss}	Reverse Transfer Capacitance	—	340	—		$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	14	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	56		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.4	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=14A, V_{GS}=0V$ ①
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	540	810	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=14A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	4.8	7.2	μC	$di/dt=100A/\mu\text{s}$ ①
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $V_{DD}=50V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=7.0\text{mH}$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=14A$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD}\leq 14A$, $di/dt\leq 130A/\mu\text{s}$, $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$, $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.



IRFP450

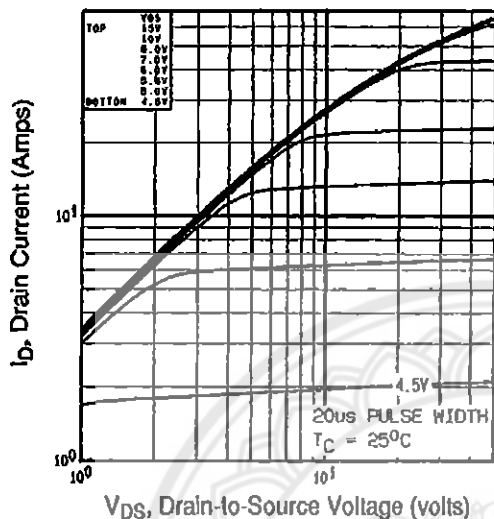


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C=25^\circ\text{C}$

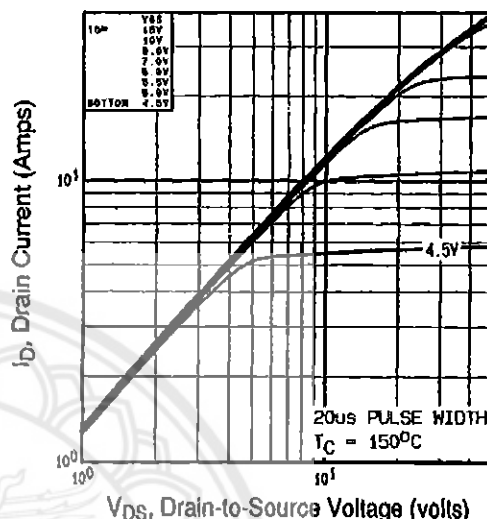


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C=150^\circ\text{C}$

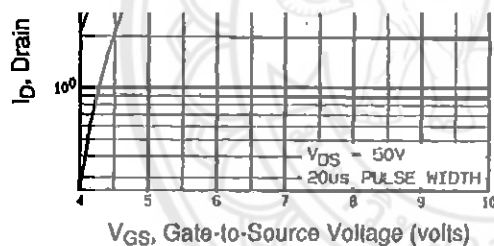


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

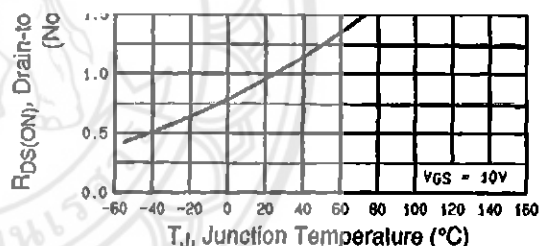


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRFP450

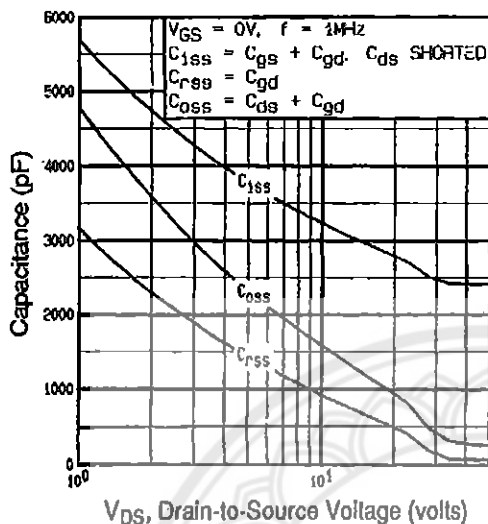


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

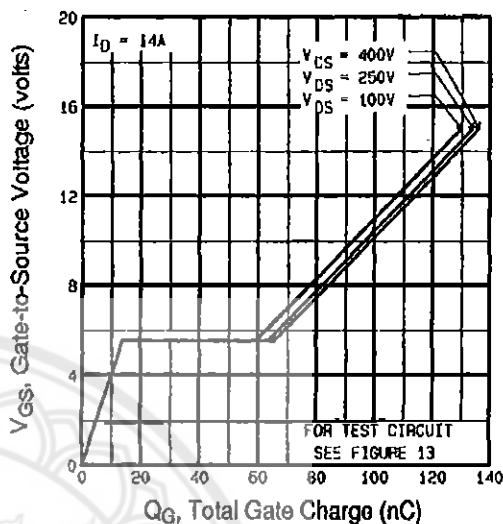


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

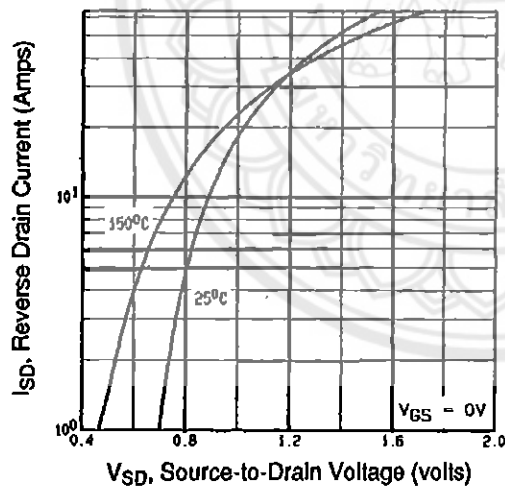


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

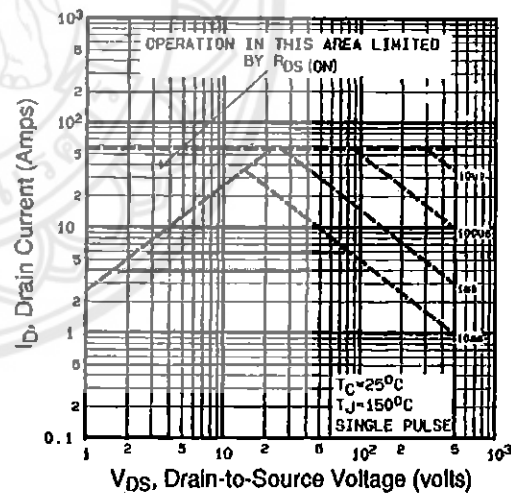


Fig 8. Maximum Safe Operating Area



IRFP450

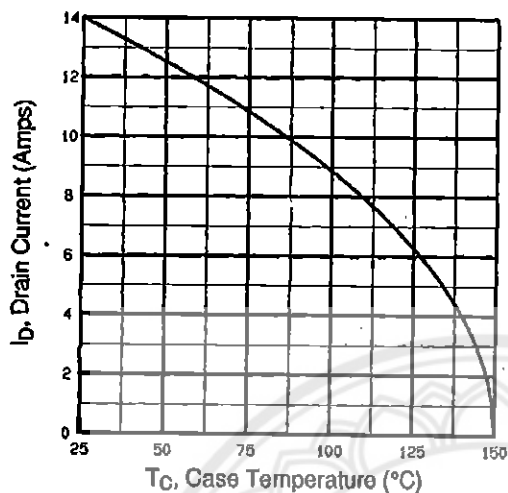


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

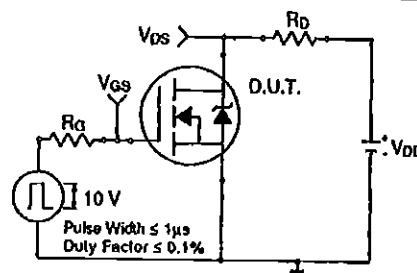


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

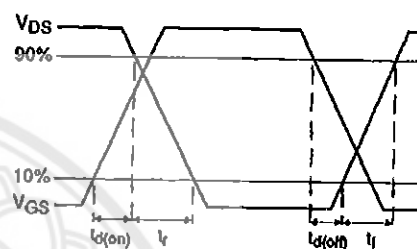


Fig 10b. Switching Time Waveforms

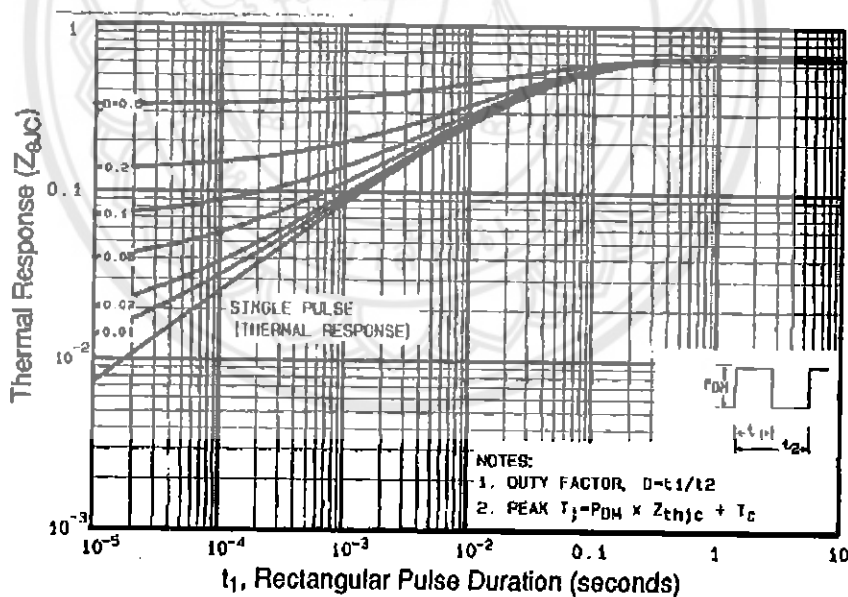


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRFP450

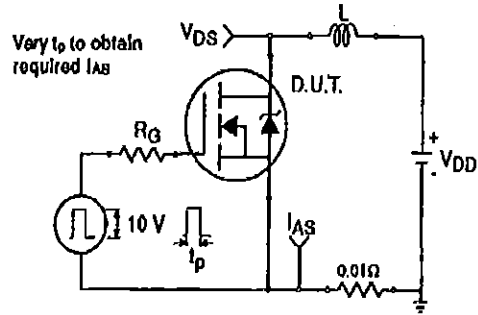


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

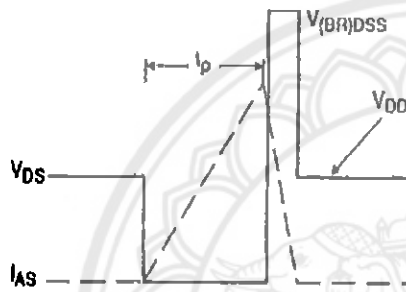


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

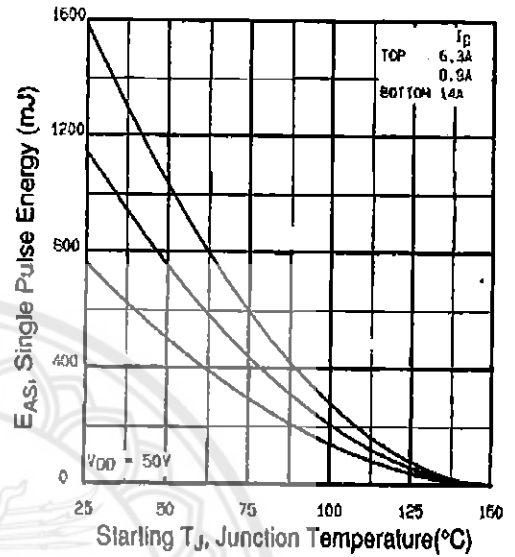


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

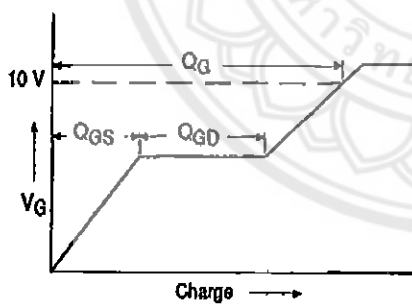


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

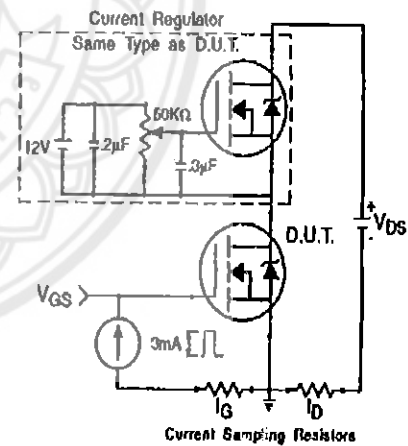


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายกิตตินัน สระสวย
 ภูมิลำเนา 156 หมู่ 8 ตำบลจิม อำเภอบึง จังหวัดพะเยา 56140
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบึงพัฒนาวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 E-mail: kittinun_ss@hotmail.com



ชื่อ นายบงการ ไชยตัน
 ภูมิลำเนา 68 หมู่ 2 ตำบลทวน อำเภอบัว จังหวัดน่าน 55120
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนน่านประชาอุทิศ
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 E-mail: kenyoy@hotmail.com