



ปีการศึกษา 2540

อินเวอร์เตอร์ชนิดพีดีบีบลิวเอ็มควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
PWM INVERTER MICROCONTROLLER BASED FOR AC MOTOR



โดย

นายเจนวิทย์ ทองใบ

นางสาวธิดา บุรพาวิจิตรนนท์

นางสาวประภรณ์ ไชยเฉีย

นายสุรนาถ อุณหโชค

- 4. ค.ศ. 2541
วัน เดือน ปี.....
เลขทะเบียน..... 038657
เลขเรียกหนังสือ..... T.40018.9.980

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน

12
142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี **038657**


ปริญญาโทปีการศึกษา 2540


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์ชนิดพีดีบีบลิวเอ็มควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

- 
1. นายเจนวิทย์ ทองใบ
 2. นางสาวธิดา บุรพาวิจิตรนนท์
 3. นางสาวประภารัตน์ ไชยเอี้ย
 4. นายสุรนาถ อุดมโชค


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. วีระไชยชู้ ชัยเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ชนิด PWM ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

นายเจนวิทย์ ทองใบ

นางสาวธิดา บุรพาวิจิตรนนท์

นางสาวประภารัตน์ ไชยเอี้ย

นายสุรนาถ อุดนไพศ

ดร.วิระเชษฐ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอถึงการศึกษาการปรับความเร็วรอบของอินดัคชั่นมอเตอร์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดที่ดับลิฟแอม (PWM Inverter) อาศัยการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์จาก Microcontroller MSC-196KB ในการศึกษาครั้งนี้ เราจะใช้วิธีการควบคุมความเร็วด้วยวิธีควบคุมฟลักซ์คงที่ (constant flux) โดยควบคุมให้อัตราส่วนของแรงดันและความถี่ของไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์มีค่าคงที่ โดยจะปรับความเร็วรอบให้ได้ตั้งแต่ 50-100% ของความเร็วพิกัด เพื่อเลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PWM INVERTER USING MICROCONTROLLER BASED FOR AC DRIVES

JAINWIT TONGBAI

THIDA BURAPAVIJITNONT

PRAPARUT CHAIEAR

SURANART AUNHACHOKE

DR. WEERACHET KHAN-NGERN ADVISOR

1998

ABSTRACT

This thesis is objected to present the project, " PWM inverter using the 16-bit Microcontroller MCS - 196KB based for induction motor with the rated power at ๗ Horse Power " which IGBT(S) are qualified being used as the switching devices in the inverter circuit. Adjusting the speed is based on the constant flux method which is to keep the ratio of voltage and frequency constant. Besides, controlling the speed range is suitable for 50-100% of the rated speed for selection in the optimized purposes.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเบื้องต้น	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ	1
1.3 หลักการทั่วไป และบล็อกไดอะแกรม	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1 ทฤษฎีมอเตอร์เบื้องต้น	3
2.2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.3 หลักการควบคุมโดยให้แรงดันต่อความถี่คงที่	8
บทที่ 3 อินเวอร์เตอร์	10
3.1 ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์	10
3.2 ลักษณะของความถี่และแรงดันทางกระแส	10
3.3 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์	11
3.4 พีดีบีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์	12
3.5 อินเวอร์เตอร์สามเฟส	17
บทที่ 4 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์	19
4.1 ออปโตไอโซเลเตอร์	19
4.2 บัฟเฟอร์	19
4.3 มอส-เกต ไดรเวอร์	22
4.4 สามเฟสอินเวอร์เตอร์	23
4.5 การสร้างและการคำนวณ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	26
5.1 ลักษณะเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้	26
5.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้	26
5.3 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรม	29
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	34
6.1 ทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีภาระ	35
6.2 ทดสอบมอเตอร์ขณะมีภาระ	42
6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	47
6.4 สรุปผลการทดลอง	47
บทที่ 7 สรุปผลโครงการ	49
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ไมโครคอนโทรลเลอร์ 80C196KB	
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของ 6N136, IR2130, IGBT	
ภาคผนวก ค โปรแกรม	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า	
รูปที่ 1.0	บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบทั้งหมดของโครงการ	2
รูปที่ 2.1	คุณลักษณะ แรงบิด-กระแส-ความเร็ว ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
รูปที่ 2.2	วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
รูปที่ 2.3	วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อย้ายโรเตอร์มายังสเตเตอร์	5
รูปที่ 2.4	คุณลักษณะ และความสามารถของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
รูปที่ 2.5	รูปแบบ แรงดัน/ความถี่ (v/f)	7
รูปที่ 3.1	วิธีการสร้างไฟล์ลับ	11
รูปที่ 3.2	รูปคลื่นกระแส	11
รูปที่ 3.3	รูปคลื่นไฟล์ลับความถี่ 1 เฟส	12
รูปที่ 3.4	แสดงความถี่	12
รูปที่ 3.5	การมือตดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดียว	13
รูปที่ 3.6	การมือตดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์	14
รูปที่ 3.7	การมือตดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์	16
รูปที่ 3.8	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน	17
รูปที่ 3.9	การสร้างไฟล์ลับ 3 เฟส	17
รูปที่ 3.10	การมือตดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ เฟส	18
รูปที่ 4.1	ส่วนประกอบด้านฮาร์ดแวร์	19
รูปที่ 4.2	วงจรฮับไดโอดไฮเลเตอร์	20
รูปที่ 4.3	วงจรบัฟเฟอร์	21
รูปที่ 4.4	วงจรควบคุมและวงจรกำลัง ที่ใช้ IR2130 เป็นตัวขับ และ IGBT เป็นตัวสวิตช์	23
รูปที่ 4.5	วงจรเรกกูเลเตอร์ขนาดแรงดัน +5 โวลต์	24
รูปที่ 4.6	วงจรเรกกูเลเตอร์ขนาดแรงดัน +15 โวลต์	24
รูปที่ 4.7	วงจรดีซีลิงค์	25
รูปที่ 5.1	ไฟล์เวิร์ก การทำงานของโปรแกรม	29
รูปที่ 5.2	ส่วนต่างๆ ของพัลส์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 6.1	แสดงการทดสอบมอเตอร์ขณะมีภาระ	34
รูปที่ 6.2	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส A กับ กราวด์ (V_{AN}) ที่ 110V 50Hz	35
รูปที่ 6.3	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส B กับ กราวด์ (V_{BN}) ที่ 110V 50Hz	35
รูปที่ 6.4	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส A กับ B (V_{AB}) ที่ 110V 50Hz	36
รูปที่ 6.5	แสดงส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ของแรงดัน ระหว่างเฟส A กับ B (V_{AB}) ที่ 110V 50Hz	36
รูปที่ 6.6	แสดงฮาร์โมนิกดีสทอร์ชัน (THD) ของสัญญาณแรงดันที่ 110V 50Hz	37
รูปที่ 6.7	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส A กับ กราวด์ (V_{AN}) ที่ 220V 50Hz	37
รูปที่ 6.8	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส B กับ กราวด์ (V_{BN}) ที่ 220V 50Hz	38
รูปที่ 6.9	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส A กับ B (V_{AB})	38
รูปที่ 6.10	แสดงส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ของแรงดัน ระหว่างเฟส A กับ B (V_{AB})	39
รูปที่ 6.11	แสดงฮาร์โมนิกดีสทอร์ชัน (THD) ของสัญญาณแรงดันที่ 220V 50Hz	39
รูปที่ 6.12	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส A กับ กราวด์ (V_{AN}) ที่ 110V 25Hz	40
รูปที่ 6.13	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส B กับ กราวด์ (V_{BN}) ที่ 110V 25Hz	40
รูปที่ 6.14	แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ระหว่าง เฟส A กับ B (V_{AB}) ที่ 110V 25Hz	41

รูปภาพ		หน้า
รูปที่ 6.15	แสดงส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ของแรงดันระหว่างเฟส A กับ B (V_{AB}) ที่ 110V 25Hz	41
รูปที่ 6.16	แสดงฮาร์โมนิกดีสทอร์ชัน (THD) ของสัญญาณแรงดันที่ 110V 25Hz	42
รูปที่ 6.17	แสดง Torque-Speed curve ของมอเตอร์ที่ 110V 50 Hz	43
รูปที่ 6.18	แสดง Torque-Speed curve ของมอเตอร์ที่ 220V 50 Hz	45
รูปที่ 6.19	แสดง Torque-Speed curve ของมอเตอร์ที่ 110 V 25 Hz	46



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 4.0 แสดงสถานะการทำงานของ IR2130	22
ตาราง 5.1 HSO Command register 06H : Write : HWO	27
ตาราง 5.2 การกำหนดตัวนับชุด 2 และบิตควบคุม	28
ตาราง 6.1 แสดงผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz 110 V	42
ตาราง 6.2 แสดงผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz 220 V	44
ตาราง 6.3 แสดงผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความถี่ 25 Hz 110 V	44



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเบื้องต้น

เดิมทีนั้นตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆจะใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นหลักในการขับเคลื่อน เพราะสามารถทำการควบคุมได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่ราคาสูง มีขนาดใหญ่ และต้องมีการดูแลรักษา อันเนื่องมาจากการขัดสีระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ มอเตอร์กระแสลับซึ่งมีราคาถูกกว่าและขนาดเล็กกว่า จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจต่อการพัฒนาขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะเมื่อ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ในการช่วยให้ AC drive สามารถควบคุมได้ในช่วงกว้างเช่นเดียวกับ DC drive แม้ว่าอุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์จะมีราคาสูงกว่าราคามอเตอร์อยู่หลายเท่าก็ตาม แต่ถ้าลองพิจารณาถึง ความประหยัดพลังงาน อายุการทำงาน และสมรรถนะในการควบคุมแล้ว ก็นับว่าเป็นการลงทุน ที่คุ้มค่าทีเดียว

โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จำแนกตามชนิดของแหล่งจ่ายกำลังได้ 2 ชนิดคือ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แหล่งจ่ายเป็นแรงดัน (VSI:Voltage Source Inverter)กับอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ใช้ แหล่งจ่ายเป็นกระแส (CSI:Current Source Inverter) ข้อดีของ VSI คือสามารถทำงานแบบ open loop ได้ และยังสามารถควบคุมมอเตอร์หลายตัวโดยใช้อินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียวได้ อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดในการสวิตช์อาจเกิดการลัดวงจรทำให้เกิดความเสียหายได้ ส่วนข้อดีของ CSI คือจะไม่มีปัญหากระแสเกินหรือลัดวงจร และยังสามารถทำงานแบบ 4 ควอดแรนต์ได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม แต่มีข้อเสียที่ว่าต้องทำงานแบบ close loop เท่านั้น ทั้งตัวเหนี่ยวนำ มีขนาดใหญ่และหนัก ต้องใช้จำนวนอุปกรณ์กำลังมาก และมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำที่โหลด ค่าน้อยๆ

สำหรับ PWM Inverter นั้นสามารถทำการควบคุมได้ทั้ง VSI และ CSI เหมาะกับภาวะความต้องการหลากหลาย และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะ PWM Inverter สามารถควบคุมการหมุนมอเตอร์ได้อย่างราบเรียบ แม้มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำก็ตาม

1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ

วัตถุประสงค์

เพื่อการศึกษาค้นคว้าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C196KB และสร้างชิ้นงานในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส อันจะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีสมรรถนะสูงขึ้นไปเป็นลำดับต่อไป โดยในโครงการนี้อาศัย ไมโคร

คอนโทรลเลอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญ ในการสร้างสัญญาณ sinusoidal pulse width modulation เพื่อที่จะส่งไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ IGBT ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ อีกทั้งยังต้องรู้คุณสมบัติ และลักษณะเฉพาะของมอเตอร์ เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสอีกด้วย

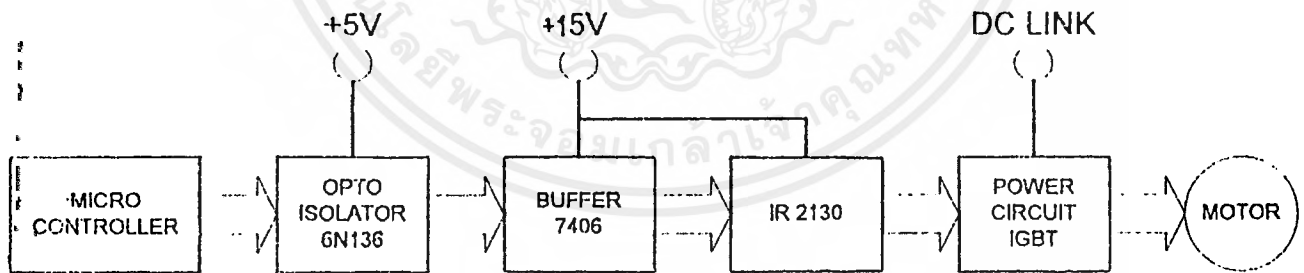
ขอบเขตของโครงการ

สร้างหนึ่งเฟสพีดับบลิวเอ็ม อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ขนาดครึ่งแรงม้า เพื่อให้ สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ ในช่วงตั้งแต่ 5-100 % ของพิกัดความเร็ว โดยใช้การ ควบคุมแบบ open-loop อาศัยวิธีการทาง Sinusoidal Pulse Width Modulation

1.3 หลักการทั่วไป และ Block Diagram

หลักการ เป็นการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้ IGBT เป็นตัว switching โดยสัญญาณทริกที่ IGBT ได้มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ 80C196KB ที่คงสัญญาณไว้ ด้วย IR 2130 โดยใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียนโปรแกรม เพื่อสร้างสัญญาณทริกอุปกรณ์ที่เป็น switch

Block Diagram



รูปที่ 1 แสดง block diagram ส่วนประกอบทั้งหมดของโครงการนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.1 ทฤษฎีมอเตอร์เหนี่ยวนำเบื้องต้น

ความเร็วรอบของมอเตอร์

เมื่อจ่ายไฟกระแสลับ 1 เฟสให้ขดลวด armature ที่ stator จะเกิด สนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (N_s) โดยที่

$$N_s = 120f/p \text{ (rpm)} \quad (2.1)$$

เมื่อเกิดการเหนี่ยวนำที่ rotor ทำให้ rotor หมุนด้วยความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส จึงเกิดค่า Slip (S) ขึ้น โดยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบ (N) โดยที่

$$N = 120f/p * (1-S) \text{ (rpm)} \quad (2.2)$$

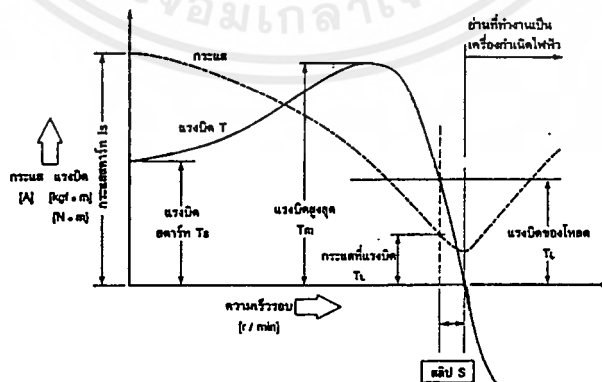
Slip

เมื่อมอเตอร์ขับโหลด ความเร็วรอบของมอเตอร์จะต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส เล็กน้อย ขนาดความเร็วที่ลดลงต่อความเร็วซิงโครนัส เรียกว่า Slip (S) โดยที่

$$S = (N_s - N) / N_s \quad (2.3)$$

ข้อสังเกต

- 1) ขณะสตาร์ทมอเตอร์จะหยุดนิ่ง สลิปจะมีค่าเป็น 1 เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น ค่าสลิปจะลดลง
- 2) ถ้าให้มอเตอร์ขับโหลดที่แรงบิดที่พิกัด ค่าสลิปจะมีค่าระหว่าง 3-5 % ถ้าโหลดเพิ่มมากขึ้น ค่าสลิปจะมีค่ามากขึ้น และกระแสเข้ามอเตอร์ก็จะสูงด้วย
- 3) ถ้าสลิปมีค่าเป็นลบ แสดงว่าความเร็วของมอเตอร์สูงกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน



รูปที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะแรงบิด/กระแส-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากรูปเป็นกราฟเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะแรงบิด/กระแส-ความเร็วในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ซึ่งสามารถทราบการทำงานของอินดักชันดังนี้

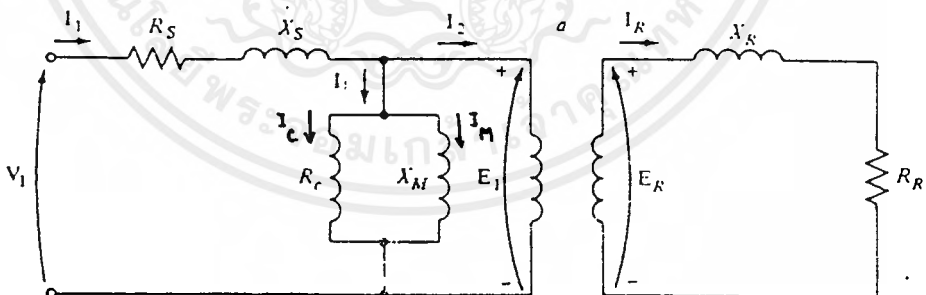
- 1) แรงบิดที่เกิดขึ้น (developed torque) เป็นศูนย์ที่ความเร็วซิงโครนัส
- 2) กราฟเส้นโค้งเกือบเป็นเชิงเส้น (linear) ในช่วงระหว่างแรงบิดขณะไม่มีโหลด (no load torque) กับแรงบิดขณะจ่ายโหลดเต็มที่ (full load torque) เรียกช่วงนี้ว่า ย่านทำงานปกติ (normal operating range) ของมอเตอร์
- 3) มีแรงบิดสูงสุด (maximum torque ; T_{MAX} หรือเรียกว่า pull-out torque) เป็น 2-3 เท่าของแรงบิดที่พิกัดขณะจ่ายโหลดเต็มที่
- 4) มีแรงบิดเริ่มต้นหมุน (starting torque) มากกว่าแรงบิดที่พิกัดเล็กน้อย ดังนั้นมอเตอร์จึงต่อกับโหลดขณะเริ่มต้นหมุนได้ทันที โดยแรงบิดที่โหลดนั้นจะต้องไม่มากกว่าแรงบิดที่พิกัด
- 5) ถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์อินดักชันถูกขับด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วซิงโครนัส แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์จะกลับทิศทาง และมอเตอร์ดังกล่าวจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนกำลังกลเป็นกำลังไฟฟ้า

กระแสของมอเตอร์

จากรูปกราฟเส้นโค้งคุณลักษณะของมอเตอร์ จะเห็นว่า

- ถ้าความเร็วรอบต่ำ สลิปจะมีค่ามาก
- ถ้าสลิปมีค่าเข้าใกล้ 0 กระแสจะมีค่าเท่ากับกระแสเมื่อไม่มีโหลด

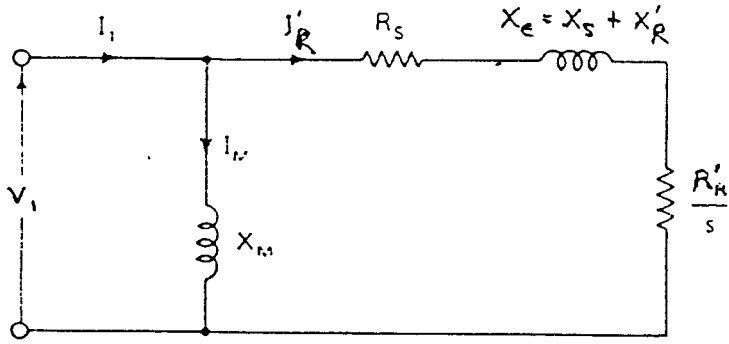
วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากรูป ค่า I_C มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับ I_M ดังนั้นแรงดันตกคร่อม R_C ย่อมมีผลต่อวงจรน้อย จึงตัด R_C ทิ้งได้

เมื่อย้ายวงจรสมมูลย์ทางด้านโรเตอร์มาทางด้านสเตเตอร์ จะได้วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อย้ายโรเตอร์มายังสเตเตอร์

จะได้

$$I'_R = V_1 / [(R_s + R'_R / S) + j(X_s + X'_R)] \tag{2.4}$$

แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

แรงบิดพิกัดของมอเตอร์ (Rated Torque)

หมายถึงแรงบิดของโหลดที่มอเตอร์สามารถขับได้ เมื่อมอเตอร์หมุนต่อเนื่องที่ความเร็วรอบพิกัด (ไม่ได้หมายถึงแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น)

Rated Torque = กำลังขาออกที่พิกัด (P_o) / ความเร็วรอบพิกัด (ω)

$$\text{Rated Torque : } T = V^2_{\text{RATED}} (R'_R / S) / [\omega_s ((R_s + R'_R / S)^2 + j(X_s + X'_R)^2)] \tag{2.5}$$

แรงบิดเริ่มต้นหมุนของมอเตอร์ (Starting Torque)

เนื่องจากขณะเริ่มต้นหมุน S=1 จะได้

$$I'_{R(\text{START})} = V_1 / \sqrt{[(R_s + R'_R)^2 + j(X_s + X'_R)^2]} \tag{2.6}$$

$$P_{iR(\text{START})} = I'^2_{R(\text{START})} R'_R$$

$$T_{(\text{START})} = P_{iR(\text{START})} / \omega_s$$

$$T_{(\text{START})} = V_1^2 R'_R / [\omega_s ((R_s + R'_R / S)^2 + j(X_s + X'_R)^2)] \tag{2.7}$$

แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ (Maximum Torque)

$$\text{สลิปขณะที่มีแรงบิดสูงสุด : } S_{MT} = R'_R / \sqrt{[R_s^2 + j(X_s + X'_R)^2]}$$

แต่ R_s น้อยมาก $S_{MT} = R'_R / X_e$

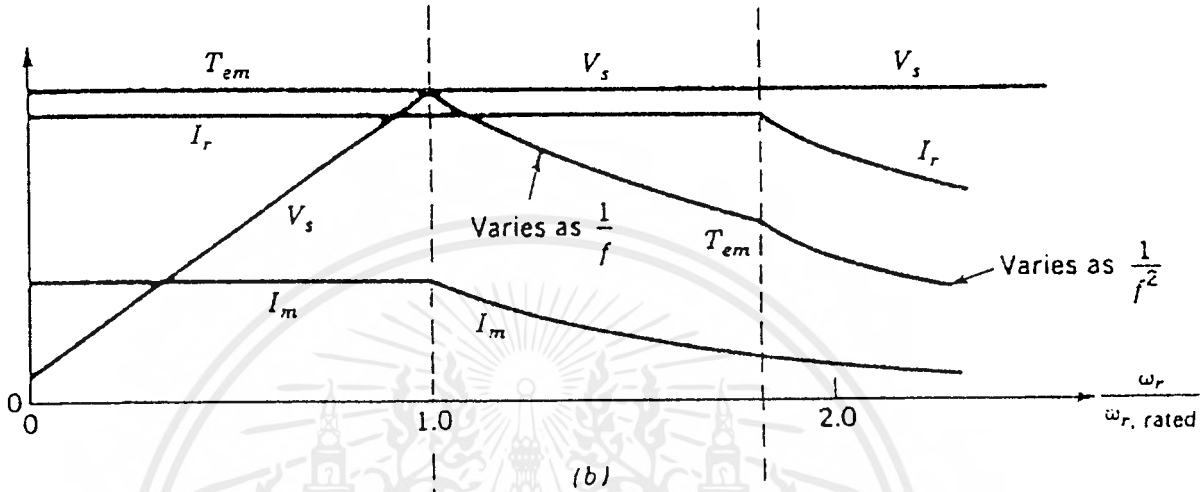
$$I'_{R(MT)} = V_1 / (\sqrt{2}) X_e \tag{2.8}$$

$$T_{\text{MAX}} = V^2_{\text{RATED}} / 2\omega_s \{ R_s \pm \sqrt{[R_s^2 + (X_s + X'_R)^2]} \} \tag{2.9}$$

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Efficiency)

$$\eta = P_o / P_i = 1 - S \quad (2.10)$$

2.2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.4 Induction Motor Characteristics and Capabilities

จากกราฟแสดงคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำข้างต้น แบ่งย่านการพิจารณาออกเป็น 3 ย่านคือ

- 1) Constant-Torque region
- 2) Constant-Power region
- 3) Constant-Slip Frequency region

Constant-Torque region

มอเตอร์จะมีความเร็วรอบต่ำกว่าพิกัด จากความสัมพันธ์ $V = k\phi_{ag} * f$ แสดงว่าแรงดันแปรผันกับความถี่เมื่อกำหนดให้ฟลักซ์คงที่ ถ้าฟลักซ์คงที่แล้วมอเตอร์จะให้ค่าแรงบิดพิกัดออกมาโดยใช้กระแสที่ค่าพิกัดในย่านนี้ จึงได้แรงบิดพิกัดออกมาคงที่ จึงควบคุมโดย v/f คงที่

Constant-Power region

ถ้าเพิ่มความถี่ให้สูงกว่าพิกัด อาจเป็นไปได้ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเกินกว่าค่าพิกัดของมัน ในการใช้งานตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วได้ แรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์จะต้องไม่เกินกว่าค่าพิกัดของมัน ถ้าเพิ่มความถี่จะทำให้ v/f ลดลง ฟลักซ์ จะลดลงด้วย ในย่านนี้จึงอยู่ในช่วงที่ความถี่มากกว่าพิกัด จะได้กำลังออกมาคงที่ที่ค่าพิกัด .

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จาก

$$N = (1-S)(120f/p) \quad (\text{rpm})$$

จะเห็นว่าสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้หลายวิธี ได้แก่

- เปลี่ยนความถี่
- เปลี่ยนจำนวนขั้ว
- เปลี่ยนสลลิป

1) การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมสลลิป

การควบคุมสลลิปของมอเตอร์จะทำโดยการควบคุม torque-speed curve ของมอเตอร์ ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

(1.1) การควบคุมแรงดันของสเตเตอร์

(1.2) โดยการควบคุม slip power

(1.1) การควบคุมแรงดันของสเตเตอร์

เมื่อเปลี่ยนแรงดันที่ใส่ให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์(V_s) จะทำให้ torque-speed curve ของมอเตอร์เปลี่ยนไป จึงสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้โดยการปรับค่า แรงดันของสเตเตอร์

วิธีนี้มีข้อดีคือทำได้ง่ายและราคาถูก แต่ข้อเสียก็มีคือแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จะ ลดลง เมื่อแรงดันสเตเตอร์ลดลง ทำให้ช่วงในการควบคุมความเร็วแคบและเหมาะสม สำหรับโหลดที่แรงบิด เพิ่มขึ้นกับความเร็ว เช่น พัดลม และปั๊มแบบหอยโข่ง เป็นต้น

(1.2) การควบคุม slip power

Slip Power (P_e)ของมอเตอร์ได้แก่กำลังสูญเสียในโรเตอร์ของมอเตอร์ ซึ่งเพิ่มขึ้นตามสลลิป การควบคุมวิธีนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลง โดยเฉพาะที่ความเร็ว ต่ำๆ ซึ่งสลลิปมีค่าสูง

3) การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมจำนวนขั้วของมอเตอร์

วิธีนี้จะใช้ได้กับมอเตอร์ที่ได้มีการออกแบบให้สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วได้เท่านั้น เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการควบคุมความเร็วอย่างต่อเนื่อง และการควบคุมความเร็วเพียงบางระดับเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันมีใช้ไม่มากนัก

3) การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความถี่

วิธีนี้ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งในย่านความเร็วสูงกว่าและต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (base speed) การควบคุมโดยวิธีนี้จะมี การปรับแรงดันตามความถี่ด้วยคือเมื่อลดความถี่ของแรงดันสเตเตอร์ลง ก็ต้องลดแรงดันสเตเตอร์

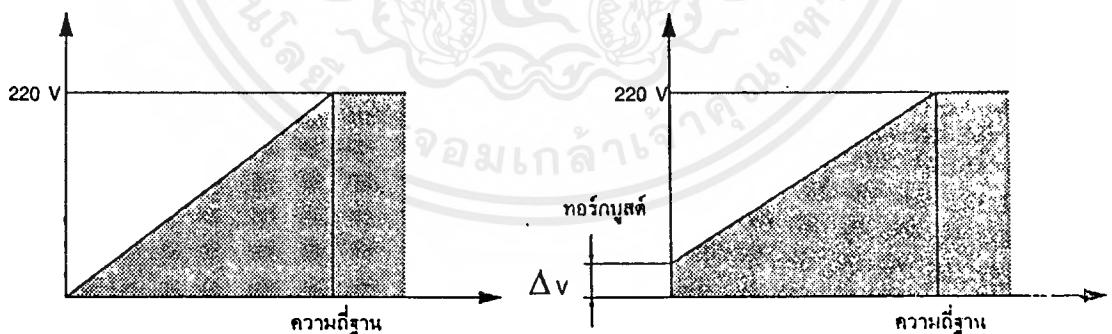
ตามไปด้วย เพื่อให้อัตราส่วน v/f คงที่ ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ (air gap flux) มีค่าคงที่

สำหรับในโครงการนี้จะสนใจเฉพาะการควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความถี่เท่านั้น และจากขอบเขตของงานที่ได้กำหนดไว้ คือ ต้องการปรับความเร็วตั้งแต่ 5-100% ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนความเร็วที่ไม่เกินพิกัด จึงอยู่ในย่าน constant-torque ดังนั้นจึงใช้หลักการควบคุมความเร็วโดยให้ v/f คงที่

2.3 หลักการควบคุมโดยให้ v/f คงที่

ถ้าให้ v/f คงที่ แสดงว่ากำหนดให้ฟลักซ์คงที่ ($\phi_{ag} \propto v/f$)

ในการดำเนินการกับเครื่องจักรกลที่มีค่าฟลักซ์คงที่นั้น จำเป็นต้องมี close-loop control flux เมื่อจุดทำงานเปลี่ยนไป close-loop control ก็สามารถปรับแต่งแรงดันของมอเตอร์ เพื่อรักษาค่า ฟลักซ์ให้คงที่ แต่ close-loop control นั้นมีความยุ่งยากมาก เพราะในการวัดฟลักซ์ทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้ฟลักซ์จึงถูกควบคุมโดยการให้ operate เครื่องจักรกลที่ค่า v/f คงที่ สำหรับทุกย่านความถี่ เว้นแต่ที่ความถี่ต่ำๆ เนื่องจากที่ความถี่ต่ำๆมีผลจากแรงดันตกคร่อม R และ L ที่ stator ซึ่งจะทำให้ output torque ของมอเตอร์ลดลง และประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงด้วย ในทางปฏิบัติเราจึงต้องพยายาม boost ค่า v/f ขึ้นไป



(a) รูปแบบ v/f ในอุดมคติ

(b) รูปแบบ v/f ที่ใช้ในงานจริง

รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบ v/f

ในทางปฏิบัติ เพื่อที่จะตรวจสอบรูปแบบ v/f อินเวอร์เตอร์จึงต้องถูกโปรแกรม เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมุญ์ก่อนที่จะสตาร์ทมอเตอร์

การจะให้ v/f คงที่ จะทำได้โดยทดลองเปลี่ยนแปลงความถี่และแรงดันไปเพื่อให้ v/f คงที่ เช่น ทดลองลดความถี่จาก 60 Hz เป็น 30 Hz (เมื่อลด f ก็ต้องลด v ด้วย)

$$v/f = 220/60 = 110/30 = \text{คงที่}$$

เนื่องจากในโครงการนี้ได้ใช้หลักการของ PWM Inverter มาช่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ ดังนั้นการทำให้ v/f คงที่ จึงต้องทำให้ modulation index แปรผันกับค่าความถี่ด้วย



บทที่ 3 INVERTER

3.1 ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์

(1) อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันกระแสตรง (DC Voltage) ทางด้านขาเข้า (input) ไปเป็นแรงดันสมมาตรกระแสสลับ (symmetrical AC voltage) ทางด้านขาออก (output) โดยที่มีขนาดและความถี่ของแรงดันได้ตามต้องการ

(2) อินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยวงจรควบคุมการ switching ซึ่งต้องใช้สัญญาณ pulse ในการ on/off อุปกรณ์ที่ใช้ในการ switching

(3) แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ในทางอุดมคติแล้วจะเป็น sinusoid แต่ในทางปฏิบัติแล้ว รูปคลื่นแรงดันขาออกมักจะไม่เป็น sine wave มักจะมีฮาร์มอนิกมาปนอยู่ด้วย ซึ่งแรงดันที่เป็น sine wave จะถูกใช้งานทางกำลังสูง

(4) การใช้งานทางกำลังต่ำและกำลังปานกลาง มักจะใช้แรงดันที่มีรูปคลื่นเป็น square-wave หรือ quasi-square wave

3.2 ลักษณะของความถี่และแรงดันทางกระแสสลับ

ความถี่กระแสสลับ (AC frequency)

ความถี่กระแสสลับสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้โดยการเปลี่ยนที่ค่าความถี่ในการสวิตช์ (switching frequency) ของอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ โดยพิจารณาที่ความถี่ของ clock oscillator ส่วนควบคุมการสวิตช์

ขนาดของแรงดันกระแสสลับ (Magnitude of AC Voltage)

ขนาดของแรงดันกระแสสลับ สามารถจะเปลี่ยนได้ 2 ทาง คือ

(1) ปรับภายนอกวงจรอินเวอร์เตอร์ คือ ปรับค่าแรงดันกระแสตรงทางขาเข้า โดยคงค่าอัตราขยาย (gain) ของอินเวอร์เตอร์ไว้ โดยวิธีนี้จะไม่ขึ้นกับการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

(2) ปรับอัตราขยายของอินเวอร์เตอร์ โดยคงค่าแรงดันกระแสตรงขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ไว้ โดยปกติวิธีนี้จะอาศัยหลักการ pulse width modulation (PWM) มาควบคุมอินเวอร์เตอร์

ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันกระแสสลับ (Waveform of the AC Voltage)

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่าในทางปฏิบัติ แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์มักจะไม่เป็น sine wave ที่เดียวจะมีส่วนประกอบของฮาร์มอนิกอื่นปนมาด้วยดังนั้นจะมีวิธีที่จะช่วยลดทอน ส่วนประกอบของฮาร์มอนิก เหล่านี้ลงได้ คือ

(1) ใส่วงจรกรอง (filter) เข้าไปทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์

(2) ใช้วิธี PWM ซึ่งของอาศัยเทคนิคการออกแบบในการสวิตซ์ได้อย่างเหมาะสมสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์

วิธีแรกการต่อวงจร filter ทางด้านขาออก นั้นมีความยุ่งยาก อยู่บ้างเพราะ ต้องออกแบบวงจรให้เหมาะสมกับแรงดันและกระแสที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้วงจรกำลังที่มีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นทั้งขนาด, น้ำหนักและราคาของอุปกรณ์ ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียทางกำลังขึ้น อันจะมีผลต่อประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ด้วย ดังนั้นจึงนิยมใช้วิธีที่สองมากกว่า โดยอาศัยการสร้างลูกคลื่นสัญญาณขาออกให้มีลักษณะของฮาร์โมนิกปนอยู่น้อยที่สุด ซึ่งจะใช้เทคนิคการ switching ในวงจรอินเวอร์เตอร์นั่นเอง โดยวิธีการสร้างรูปคลื่นแรงดันทางขาออกให้มีลักษณะดังกล่าวนั้นทำได้ 2 วิธี ได้แก่

- การ switching โดยกำจัดหรือลดทอนส่วนฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออก
- การเลื่อนสเปกตรัมของความถี่ฮาร์โมนิกในทิศทางที่มีความเร็วสูง กรณีนี้อุปกรณ์ใน filter จะเล็กลง เพราะฮาร์โมนิกจะถูกกำจัดที่ความถี่สูง โดยวิธีนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

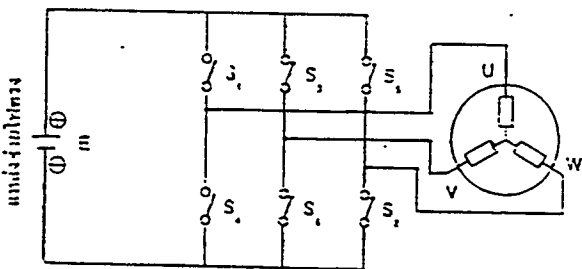
3.3 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

(1) วิธีสร้างไฟสลับจากไฟตรง

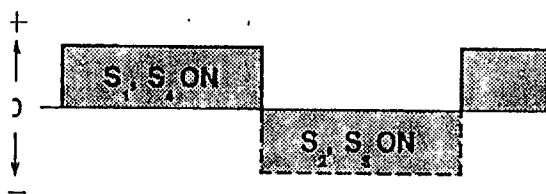
อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตไฟสลับได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง การทำความเข้าใจกับหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ก็ควรเริ่มจากวงจรสร้างไฟสลับเฟสเดียวก่อน

รูป 3.1 อธิบายหลักการเปลี่ยนไฟตรงเป็นไฟสลับ โดยเปลี่ยนโหลดจากมอเตอร์เป็นหลอดไฟเพื่อให้เข้าใจง่าย

สวิตซ์ 4 ตัว S_1, S_2, S_3, S_4 ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรง และโหลด จะเปิด-ปิด สลับกันเป็นจังหวะเพื่อสร้างไฟสลับจ่ายให้กับหลอดไฟ ตามรูป



รูปที่ 3.1 วิธีสร้างไฟสลับ



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นกระแส

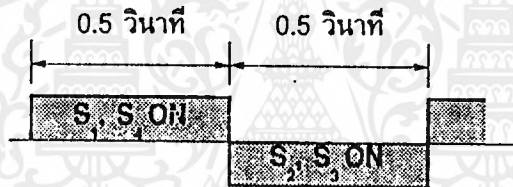
เมื่อ สวิตช์ S_1 และ S_4 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และหลอดไฟตามทิศทาง A

เมื่อ สวิตช์ S_2 และ S_3 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และหลอดไฟตามทิศทาง B ซึ่งย้อน
ทางกับทิศทาง A

ดังนั้นถ้าให้สวิตช์ S_1 และ S_4 เปิดปิดสลับกับสวิตช์ S_2 และ S_3 ก็จะทำให้กระแสที่ไหลไป
ที่หลอดกลับทิศทางกันสลับไปมาเป็นไฟสลับนั่นเอง

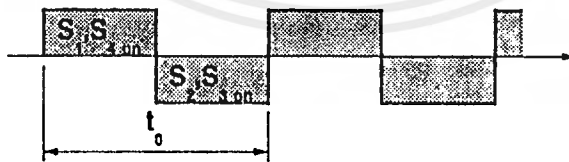
(2) วิธีการแปรความถี่

ถ้าควบคุมเวลาที่เปิดปิดสวิตช์ S_1 - S_4 ได้ ก็สามารถแปรความถี่ของไฟสลับได้ ตัวอย่างเช่น
ให้สวิตช์ S_1 และ S_2 ปิด 0.5 วินาที ต่อมาสวิตช์ S_2 และ S_3 ปิด 0.5 วินาที และทำการเปิดปิดสลับ
กันเช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้นใน 1 วินาที ไฟสลับจะวิ่งไปกลับครบ 1 รอบ หรือไซเคิล ไฟสลับนั้นจึงมี
ความถี่ 1 Hz นั่นเอง



รูปที่ 3.3 รูปคลื่นไฟสลับความถี่ 1 Hz

โดยทั่วไปช่วงเวลาที S_1, S_4 และ S_2, S_3 ปิดจะเท่ากัน เมื่อรวมเวลาที่สวิตช์ทั้งสองชุด
ปิดเท่ากับ t_0 วินาที เป็นหนึ่งไซเคิล ความถี่จะเท่ากับ $f = 1/t_0$



รูปที่ 3.4 ความถี่

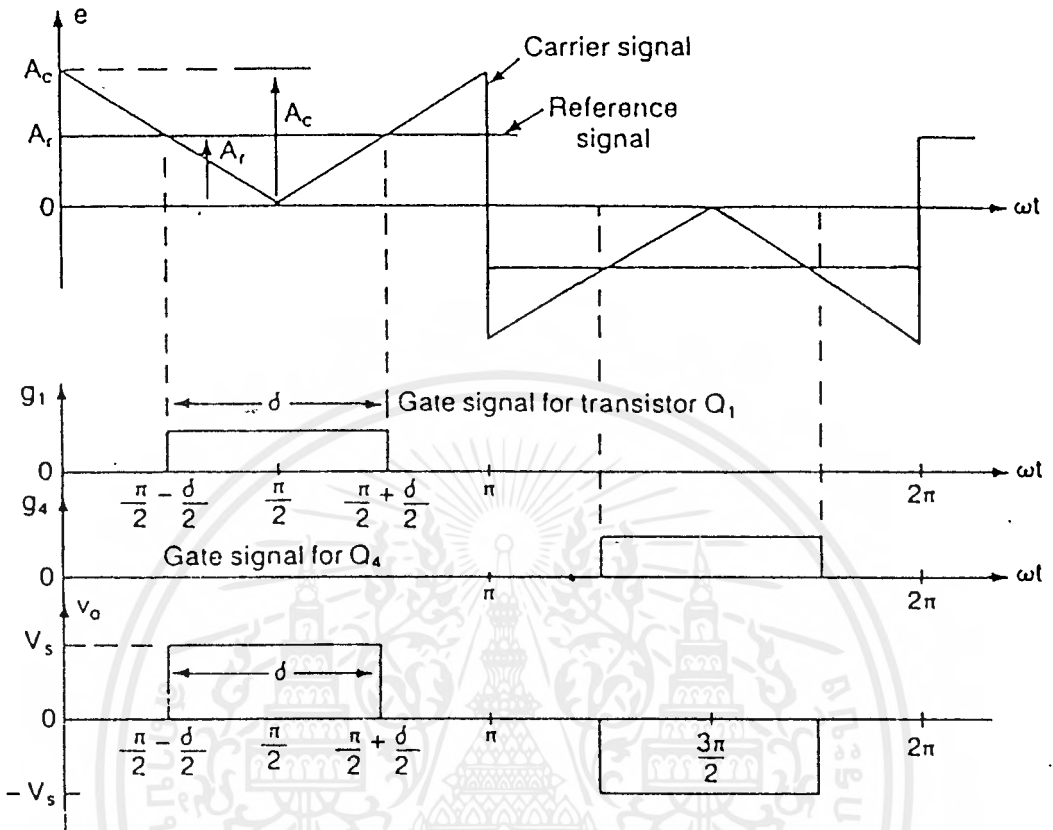
3.4 PWM INVERTER

หลักการของ pulse width modulation (PWM)

(1) Single Pulse Width Modulation

เป็นการควบคุมความกว้างของ voltage pulse ทาง output ของอินเวอร์เตอร์จำนวน 1
pulse ต่อครั้ง cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Single Pulse Width Modulation

จากรูปที่ 3.5 แสดงการกำเนิดสัญญาณทริกที่ขาเกต และแรงดันเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟสเดียว สังเกตว่าสัญญาณทริกที่เกตเหล่านี้เกิดจากบริเวณจุดตัดกัน(จากการเปรียบเทียบ) ระหว่างสัญญาณอ้างอิง(Reference Signal) รูปสี่เหลี่ยมขนาด A_r กับสัญญาณ Carrier รูปสามเหลี่ยม A_c โดยมีความถี่ของรูปคลื่นcarrierเป็นตัวกำหนดความถี่ของแรงดัน output

การปรับ A_r จาก 0 ถึง A_c ให้ความกว้างของพัลส์ (δ) เปลี่ยนจาก 0 ถึง 180 องศา สำหรับ อัตราส่วน A_r ต่อ A_c เป็นตัวแปรควบคุมที่เรียกว่า modulation index (M) เขียนเป็นสมการได้ เป็น

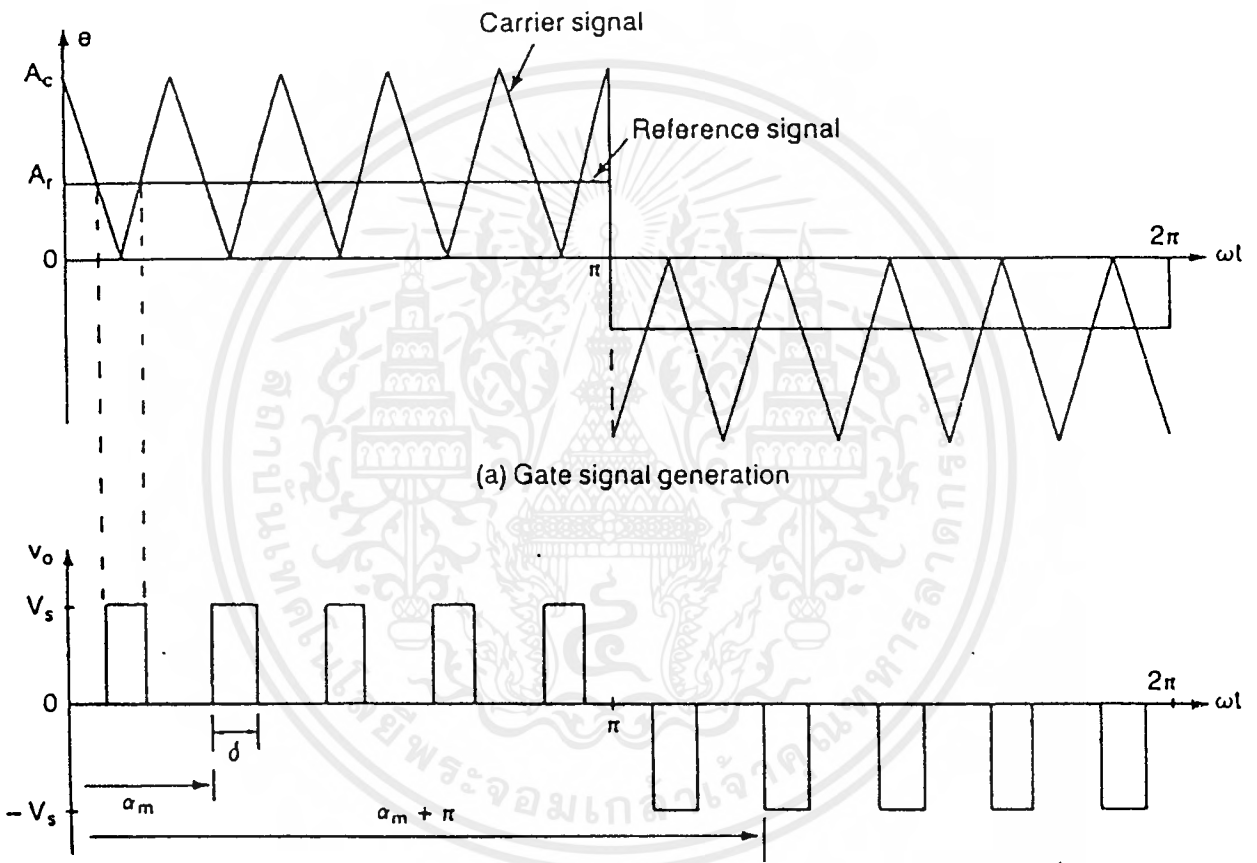
$$M = A_r / A_c \tag{3.1}$$

ค่า r.m.s. ของแรงดันเอาต์พุต สามารถหาได้จาก

$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{(\pi - \delta)/2}^{(\pi + \delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \tag{3.2}$$

(2) Multiple Pulse Width Modulation หรือ UPWM (Uniform Pulse Width Modulation)

เป็นการทำให้จำนวน pulse ในแต่ละครั้ง cycle ของรูปคลื่นแรงดัน output มีจำนวนมากขึ้นกว่าเดิม และลดองค์ประกอบฮาร์มอนิกในรูปคลื่นแรงดัน output สัญญาณทริกที่เกทสำหรับใช้ในการเปิดและปิดอุปกรณ์ switching ของการ modulation ประเภทนี้เกิดจากบริเวณจุดตัดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณ carrier (ในอินเวอร์เตอร์ แบบบริดจ์เฟสเดียว) ดังรูป



รูปที่ 3.6 Multiple Pulse Width Modulation

หาจำนวน pulse ต่อครั้ง cycle (P) ได้จาก

$$P = f_c / 2f_0 \quad (3.3)$$

เมื่อ f_c = ความถี่ของสัญญาณ carrier

f_0 = ความถี่ของ output

นอกจากนี้ modulation index (M) ยังเป็นตัวควบคุมแรงดันเอาต์พุต กล่าวคือการ เปลี่ยนของ M จาก 0 เป็น 1 ทำให้ความกว้างของพัลส์เปลี่ยนจาก 0 เป็น π และแรงดัน output เปลี่ยนจาก 0 ถึง V_s

ถ้า δ เป็นความกว้างของแต่ละพัลส์ หาค่า rms ของแรงดัน output ได้จาก

$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p - \delta)/2}^{(\pi/p + \delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \quad (3.4)$$

(3) Sinusoidal Pulse Width Modulation

จะคล้ายกับ UPWM แต่ความกว้างของแต่ละพัลส์เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนต่อขนาดของรูปคลื่น sine สัญญาณทริกที่เกท ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิงจะเป็นดังรูป 3.6

จากรูปที่ 3.6 (a) จะสังเกตได้ว่า สัญญาณอ้างอิงมี 2 สัญญาณ และมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา เป็นการยืนยันหลักการที่ว่า อุปกรณ์ switching ที่อยู่ในสาขาเดียวกัน นั้นไม่สามารถนำกระแสในเวลาเดียวกันได้ นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่าเกิดสัญญาณทริกที่เกท และเกิดแรงดัน output ได้อย่างไร

สำหรับรูปที่ 3.6 (b) แสดงให้เห็นสัญญาณทริกที่เกิดจากสัญญาณ carrier ทิศทางเดียว ซึ่งจะสร้างสัญญาณทริกที่เกทและแรงดัน output คล้ายดังรูปที่ 3.5

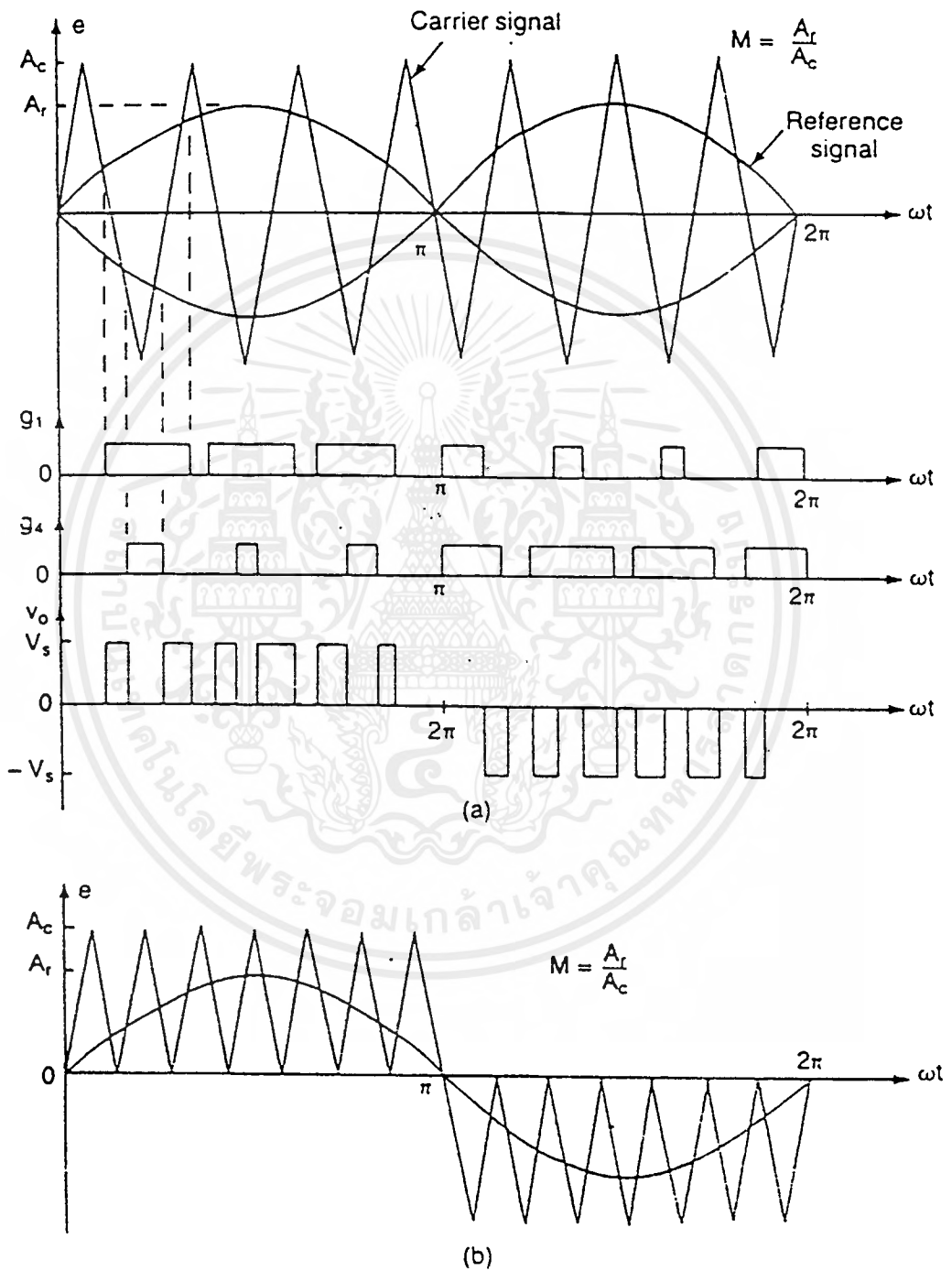
ค่า rms ของแรงดัน output แปรค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง V_s โดยการปรับค่า M จาก 0 ถึง 1 นอกจากนี้ถ้ากำหนดให้ δ_m เป็นความกว้างของพัลส์ลำดับที่ m ก็จะสามารถหาค่า rms ของแรงดัน output ได้จากสมการดังนี้

$$V_o = V_s \left(\sum_{m=1}^p \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

ในแต่ละครึ่ง cycle รูปคลื่นพัลส์จะกว้างที่สุดบริเวณตรงกลางของครึ่ง cycle จากจุดกึ่งกลางความกว้างของพัลส์จะลดลงเป็นฟังก์ชันของ cosine

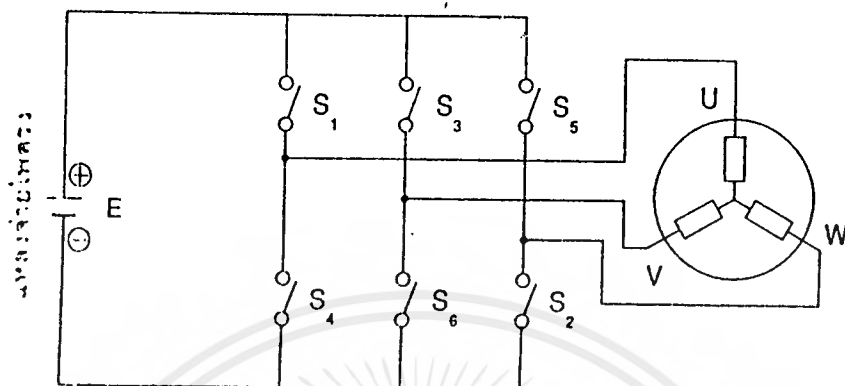
ลำดับของฮาร์โมนิก (m) จะขึ้นกับจำนวนพัลส์ในครึ่ง cycle (p) ถ้าพัลส์ที่ได้มีความถี่สูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มจำนวนลำดับของฮาร์โมนิก และทำให้ผลรวมของฮาร์โมนิกมีค่าเพิ่มขึ้น และมีผลต่อกระแสใน inductive load น้อยมาก แต่จะทำให้ switching loss มีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีค่าลดลง

ดังนั้นถ้า SPWM ถูกใช้ในอินเวอร์เตอร์ที่มีจำนวนพัลส์ในครึ่ง cycle มากแล้ว (p มาก) ความถี่ฮาร์โมนิกก็จะมากด้วย

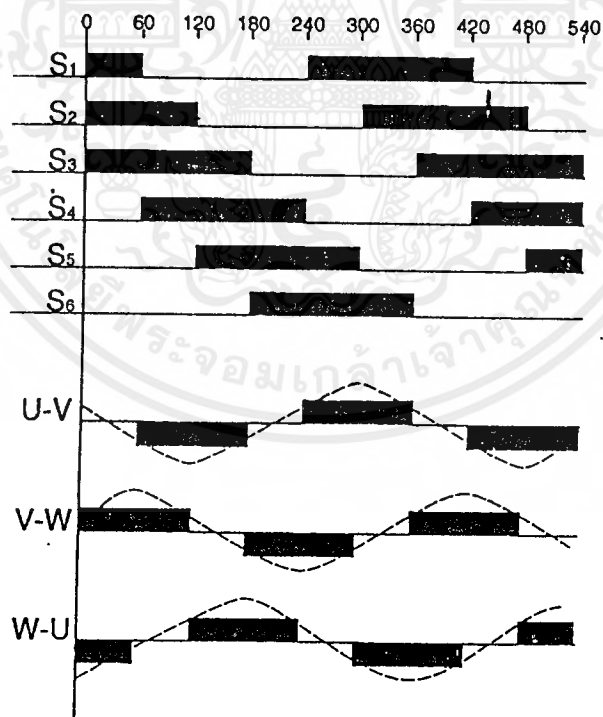


รูปที่ 3.7 Sinusoidal Pulse Width Modulation

3.5 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



รูปที่ 3.8 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน



รูปที่ 3.9 การสร้างไฟลดับ 3 เฟส

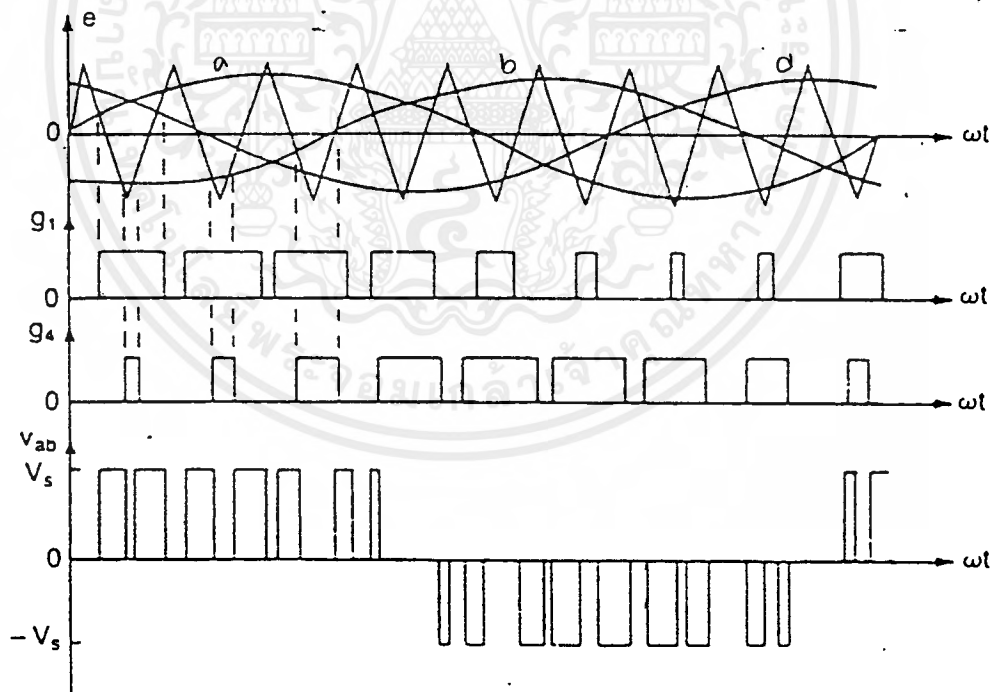
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ switch S1 ถึง S6 ในวงจรเปิดปิดตามจังหวะที่แสดงในรูปที่ 3.8 รูปคลื่นของ กระแสจะเป็นไฟสลับของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีช่วงกว้างและช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้า เปลี่ยนช่วงเวลาของการ on/off switch เหล่านี้ ก็จะทำให้ความถี่ของไฟสลับเปลี่ยนไปได้ และถ้า เปลี่ยนขนาดของแรงดันของแหล่งจ่ายไฟตรง ก็จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟสลับของรูป คลื่นสี่ เหลี่ยมเปลี่ยนไปได้เช่นเดียวกัน

การ on/off ตามจังหวะในรูป 3.8 ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ และถ้าเปลี่ยนลำดับการ on/off ของอุปกรณ์ switching ก็สามารถบังคับให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้

การควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (Voltage Control of Three Phase Inverter)

เราทราบว่ามันอาจพิจารณาในรูปอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว 3 ตัวได้ สิ่งที่จะต้องระลึกถึง ก็ คือ อินเวอร์เตอร์แต่ละตัว สร้างรูปคลื่นแรงดัน output ที่มีมุมต่างเฟสกัน 120 องศา นอกจากนี้ เรายังใช้เทคนิคการควบคุมแรงดันที่กล่าวมาแล้วกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสได้ เช่น การกำเนิด สัญญาณทริกที่เกท และรูปคลื่นแรงดัน output ที่เกิดจาก SPWM ดังรูป



รูปที่ 3.10 3-phase SPWM

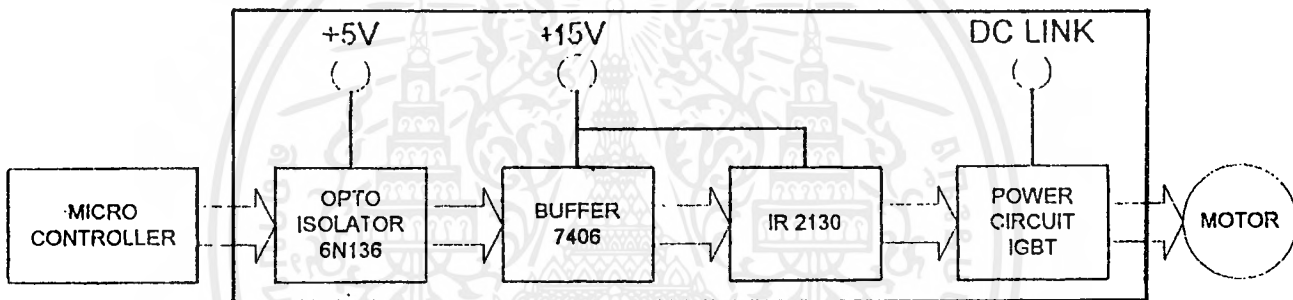
จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปคลื่นอ้างอิงที่เป็นรูปคลื่น sine แต่ละเฟสมีมุมต่างกัน 120 องศา และมีการเปรียบเทียบสัญญาณ carrier กับสัญญาณอ้างอิงเฟสใดเฟสหนึ่งที่เวลาใดๆ ซึ่งสอดคล้องกัน เพื่อสร้างสัญญาณทริกที่เกท (และรูปคลื่นแรงดัน output) ที่เฟสนั้น



ส่วนประกอบทางด้าน Hardware

ส่วนฮาร์ดแวร์ที่จะกล่าวถึง ได้แก่ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่ใช้รวมประกอบกันขึ้นเป็นส่วนของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วย

- 4.1) Optoisolator
- 4.2) Buffer
- 4.3) Mos-Gate Driver (Control circuit)
- 4.4) 3-phase inverter (power circuit)

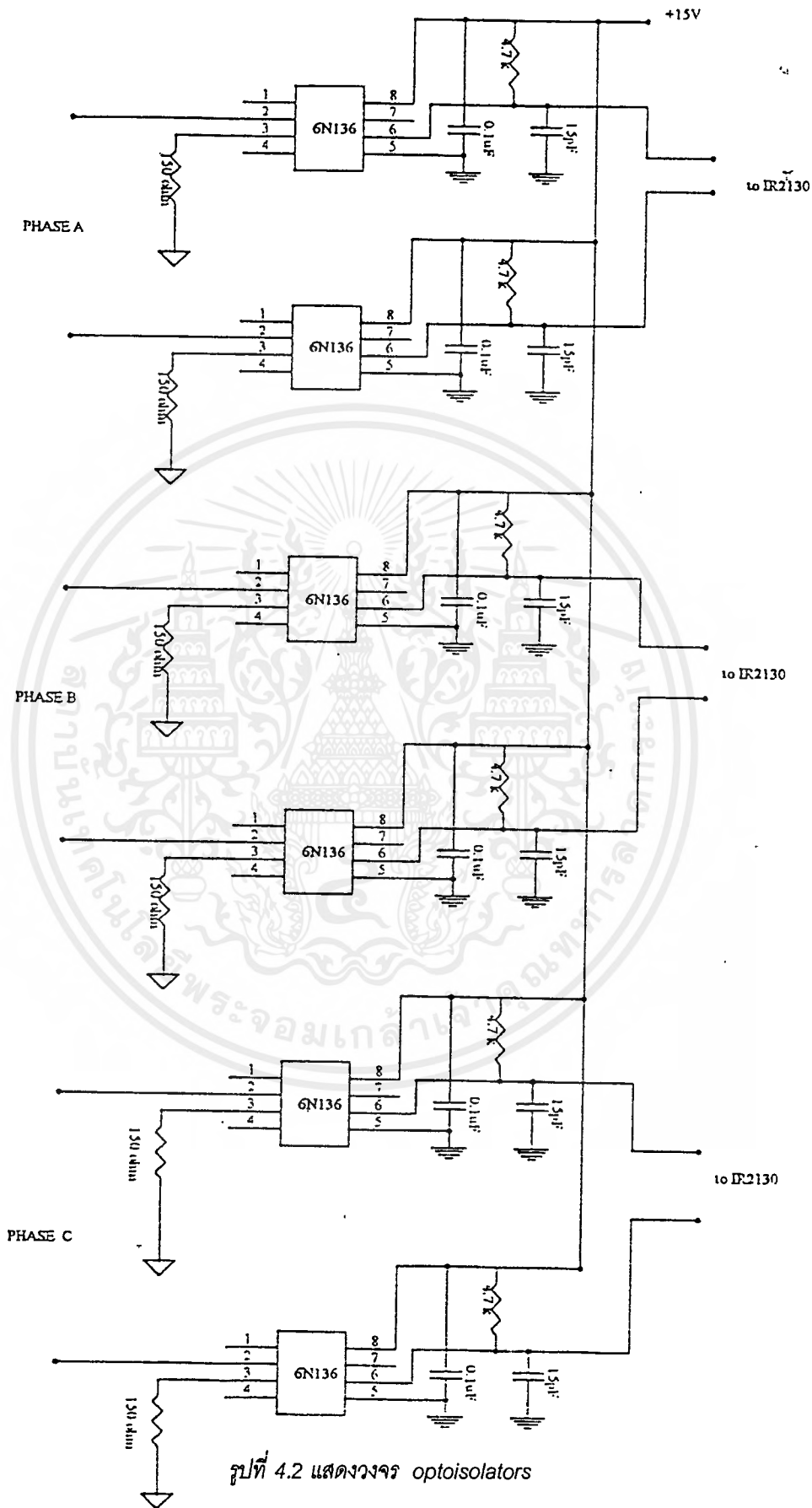


รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

4.1 Optoisolator มีหน้าที่แยกกราวด์ของส่วนทางด้าน signal กับด้านของ driving circuit ออกจากกันเนื่องจากก่อให้เกิดอันตรายทางไฟฟ้ากับผู้ใช้ในกรณีที่มีข้อบกพร่องที่ตัวอุปกรณ์ optoisolator จะส่งผ่านสัญญาณโดยใช้แสงเป็นตัวเชื่อม ซึ่งเป็นการแยกจากกัน ทางไฟฟ้าของวงจรได้อย่างสิ้นเชิง นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันการรบกวนสัญญาณระหว่าง signal กับ driving circuit โดย Optoisolator ที่ใช้เป็นเบอร์ 6N136 ซึ่งมี 1 อินพุต 1 เอาท์พุท ทำให้ต้องใช้ทั้งหมด 6 ตัวเนื่องจากต้องการ 6 เอาท์พุท ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์

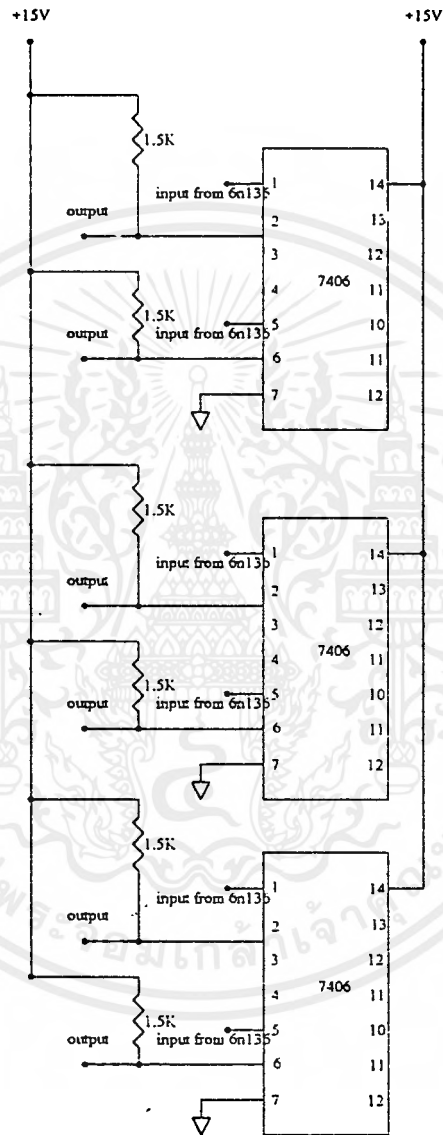
4.2 Buffer มีหน้าที่ทำให้พัลส์ที่ได้ใกล้เคียงกับอุดมคติ และยังมีหน้าที่ยกระดับสัญญาณให้ได้ตามที่ต้องการ โดยโครงงานนี้ใช้ระดับแรงดันเป็น 715 Volt เนื่องจากใน IR 2130 ต้องการแรงดันที่ใช้ไฟขับ 7-40 โวลต์

Buffer ที่ใช้เป็นเบอร์ 7406 ซึ่งเป็น open collector ทำให้เสมือน อินพุท เป็น invert กับ เอาท์พุท



รูปที่ 4.2 แสดงวงจร optoisolators

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงวงจร Buffer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Mos-gate Driver ถูกใช้ในวงจรขับมอเตอร์ โดยจะเป็นตัวขับสัญญาณจ่ายให้แก่ อินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ขับมอเตอร์ โดยใช้ไดรเวอร์เบอร์ IR 2130 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- สัญญาณที่ใช้ต้องมีขนาดเป็น 10-15 โวลท์
- แหล่งจ่าย (source) ต้องมีค่าความต้านทานต่ำเพื่อให้ C ที่ขาเกต charge และ discharge ได้เร็ว
- ต้องเป็น floating output เพื่อให้สามารถ สวิตช์ด้าน high ได้
- ความสูญเสียทางกำลังต่ำ
- สวิตช์ที่ความถี่สูง
- สามารถใช้กราวด์ร่วมกับกับสัญญาณทางด้าน อินพุต ของไดรเวอร์ได้
- IR2130 จะสามารถป้องกันวงจรจาก clamping voltage ของสัญญาณได้
- สามารถป้องกันวงจรได้ในกรณีแรงดันต่ำ โดยจะแสดงออกมาที่ขาfault ให้เป็น set และ จะไม่มี output ออกมา

-มี output 3 เฟส ในตัวเดียวจึงสามารถนำไปพัฒนาใช้ใน 3 เฟสได้เลย

IR2130 มี 6 เาท์พุต แบ่งเป็น สองส่วน คือ ส่วน low :L1,L2,L3 และส่วน high : H1,H2,H3 โดยด้าน lo มีสัญญาณจาก block signal gen แต่ด้านhigh จะมีการยกกระดืบแรงดันจาก block signal gen ก่อนออกเป็นเอาท์พุต และมีการป้องกัน undervoltage โดยนำ V_{cc} มาใช้ในการ lock out สัญญาณขาออกทางด้าน high ไม่ให้ออกมา

Input Signal Logic

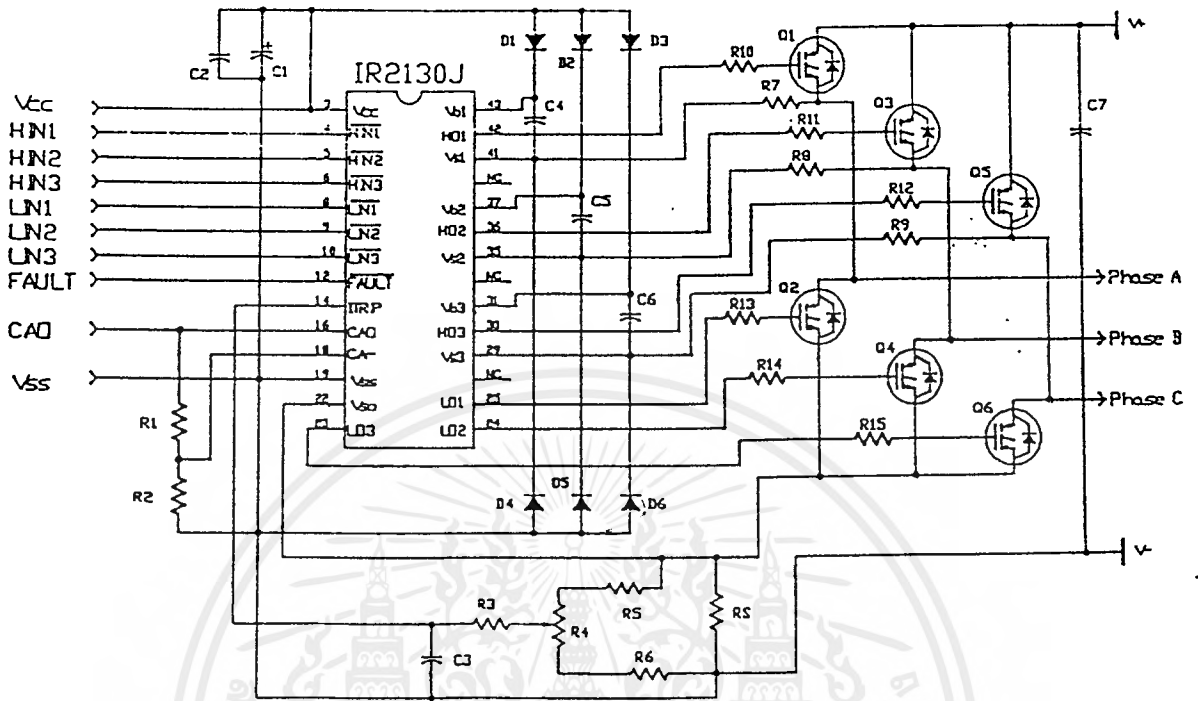
ตารางแสดงการทำงานของ IR2130

H_m	L_m	H_o	L_o
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	0	0

ตาราง 4.0 แสดงสถานะการทำงานของ IR2130

จากตารางแสดงการทำงานของ IR2130 ดังกล่าว พบว่าเป็นการป้องกันในกรณีที่ อุปกรณ์สวิตช์มีการ on พร้อมกันในสาขาเดียวกัน นั่นคือ ถ้า H_m กับ L_m เป็น 1 พร้อมกัน IR จะทำให้เอาท์พุตที่ได้เป็น 0 ทั้งคู่ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรควบคุมและวงจรถูกำลัง ที่ใช้ IR2130 เป็นตัวขับ และใช้ IGBT เป็นตัวสวิตช์

4.4 1-phase inverter

จากรูปวงจรถูกำลังเป็นส่วนของอินเวอร์เตอร์ ใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์สวิตช์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า IGBT มีข้อดีคือ

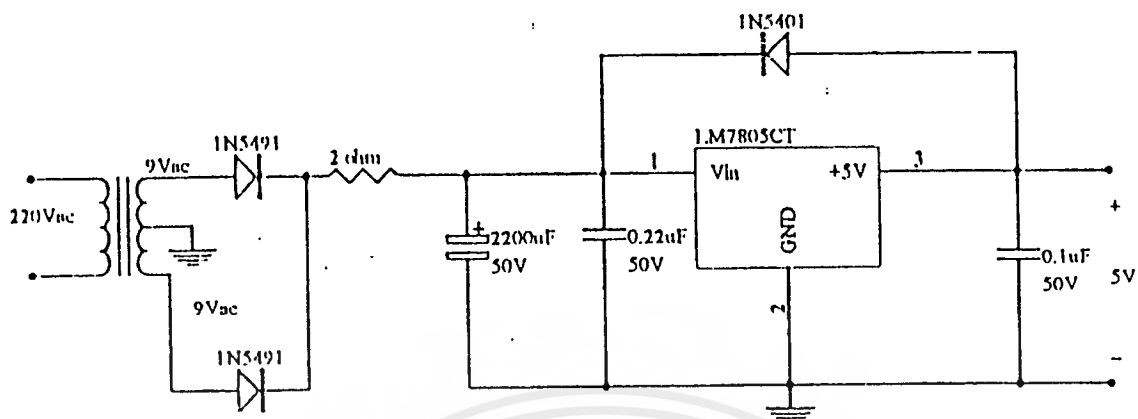
- (1) on-stage voltage น้อย ทำให้ conduction loss น้อยด้วย
- (2) high switching frequency
- (3) ไม่ต้องใช้วงจร snubber

4.5 การสร้างและการคำนวณ

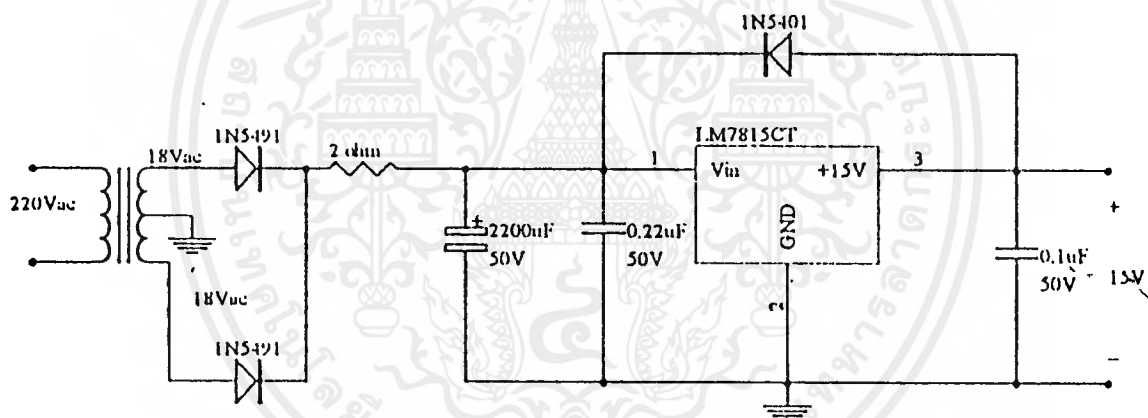
อินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ทำขึ้นมาใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสขนาด 1/2 แรงม้า ประกอบด้วย ส่วนประกอบทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆดังนี้

วงจรเรกกูเลเตอร์ ขนาด เอ๊าท์พุท เป็น +5 และ +15 โวลต์ เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับ optoisolator(+5) Buffer และ Mos-Gate Driver (+15v) โดยมีวงจรถังนี้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรเรกกูเลเตอร์ขนาดแรงดันเอาต์พุต +5 โวลต์



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรเรกกูเลเตอร์ขนาดแรงดันเอาต์พุต +15 โวลต์

โดยในวงจรเรกกูเลเตอร์ต้องใช้หม้อแปลงเพื่อลดระดับแรงดันลง ซึ่งสามารถคำนวณหา ขนาดหม้อแปลงที่ใช้ในวงจรได้ดังนี้

การคำนวณหาแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง จากสูตร

$$V_{AC} = (V_{dc} + V_{reg} + V_{rect} + V_{ripple}) * V_{NOM} / (1.414 * 0.92 * V_{MIN})$$

วงจร regulator สำหรับแรงดันกระแสตรง +5 โวลต์

$$\begin{aligned} V_{AC} &= 220 * (5+3+1.1+0.8) / (1.414 * 0.92 * 200) \\ &= 7.75 \text{ V}_{rms} \end{aligned}$$

ดังนั้นเลือกใช้ หม้อแปลงที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิ เป็น 8-9 โวลต์

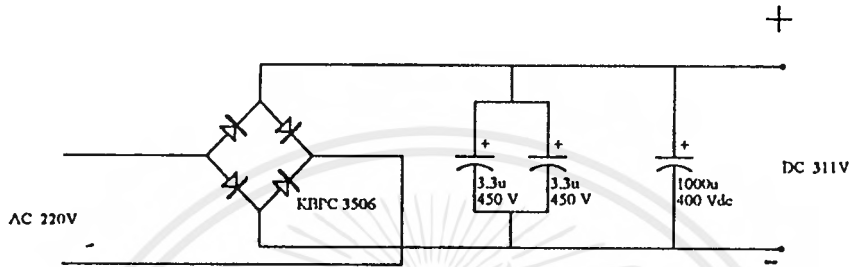
วงจร regulator สำหรับแรงดันกระแสตรง +15 โวลต์

$$V_{AC} = 220 * (15 + 3 + 1.1 + 0.8) / (1.414 * 0.92 * 200)$$

$$= 16.82 V_{rms}$$

ดังนั้นเลือกใช้ หม้อแปลงที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิ เป็น 17-18 โวลต์

ส่วน DC LINK เป็นส่วนที่จ่ายแรงดันกระแสให้แก่วงจรอินเวอร์เตอร์ โดยวงจร DC LINK ใช้ Bridge Rectified Diode ซึ่งได้แรงดันเอาต์พุตออกมามีขนาดเป็น 310 volt(dc)



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรในส่วน DC LINK

บทที่ 5

ไมโครคอนโทรลเลอร์

5.1 ลักษณะเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับโครงการนี้ ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 96 ได้แก่ 80C196KB มาใช้ในการควบคุมและสร้างสัญญาณพัลส์ เนื่องจากมีลักษณะเด่นหลายประการดังนี้

- (1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีแอดคิวิตูเลเตอร์ (accumulator) ขนาด 8 บิต ถึง 232 ตัว สามารถเลือกใช้พื้นฐานในคำสั่งได้มากมาย ซึ่งโดยปกติแล้วการประมวลผลของคำสั่งโดยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมักต้องผ่านแอดคิวิตูเลเตอร์ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีการรอกันเพื่อให้แอดคิวิตูเลเตอร์นั้นว่างเสียก่อน จึงทำให้มีความรวดเร็ว และที่สำคัญที่สุดคืออง่ายต่อการเขียนโปรแกรม ช่วยให้โปรแกรมสั้นลงได้
- (2) มีระบบการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 8 ช่องสัญญาณ ขนาด 8 หรือ 10 บิต ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงไม่ต้องสร้างวงจร A/D อีก
- (3) โครงสร้างของข้อมูลภายในสามารถเลือกใช้ใช้งานเป็น 8 บิต, 16 บิต หรือ 32 บิต ได้โดยตรงจากคำสั่งที่มี โดยมีคำสั่งช่วยปรับขยายขนาดข้อมูล ให้การทำงานที่มีขนาดข้อมูลต่างกันเป็นไปได้อย่างสะดวก
- (4) มีการจัดรูปแบบของรีจิสเตอร์เฉพาะออกเป็น 3 windows ได้แก่ H window , H window 1 , H windows 15 สำหรับใช้ในการอ้างอิง(write,read) เพื่อให้เพียงพอกับหน้าที่การทำงานต่างๆ

5.2 ส่วนประกอบต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้

(1) ตัวนับชุด 1 (Timer 1)

สำหรับตัวนับชุด 1 ของ 80C196KB มีขนาด 16 บิต จะมีการเพิ่มค่าทุกๆ 8 ช่วงนับ (state time) ปกติตัวนับชุด 1 จะสามารถสุ่มค่า(sampling) ได้ทุกๆ 1.33 μsec ดังนั้นถ้าใช้ในการ sampling sine wave ที่มีความถี่ 50 Hz ก็จะสามารถสร้างความละเอียดได้ถึง $20 \text{ ms}/1.33 \mu\text{sec} = 15,037$ ตำแหน่ง

(2) HSO (High Speed Output)

เป็นหน่วยส่งออกความเร็วสูง ที่สามารถเลือกช่องสัญญาณออกได้ถึง 6 ช่อง เราสามารถกำหนดเหตุการณ์หรือเอาต์พุต ณ เวลาใดๆก็ได้ โดยการเขียนคำสั่งที่ HSO_COMMAND ดังรูป

บิต	รายละเอียด
0	เลือกช่องสัญญาณออก
1	เลือกช่องสัญญาณออก
2	เลือกช่องสัญญาณออก
3	เลือกช่องสัญญาณออก
4	เซ็ตเพื่ออนุญาตการอินเทอร์รัปต์ (INT / INT#), "0" ห้าม
5	เซ็ตระดับสัญญาณที่ขาสัญญาณออก เมื่อเป็น 1, "0" เคลียร์สัญญาณที่ขาสัญญาณ
6	เซ็ต เมื่อต้องการทำงานเทียบกับตัวนับชุด 2 . เคลียร์ ไซค์วนนับ ชุด 1
7	สั่งให้เหตุการณ์ที่ต้องการ คงค้างอยู่ในส่วนความจำของหน่วย (Lock event in CAM) เมื่อ IOC2.6 เซ็ตค่า (ENA_LOCK)

* การเลือกช่องสัญญาณออก บิต 0-3

0H-5H	เลือกใช้งานขาสัญญาณ ทั้ง 6 ขา โดยอิสระ
6H	เลือก HSO ขา 1 และ 2
7H	เลือก HSO ขา 3 และ 4
8H-0BH	เลือก ตัวนับโดยโปรแกรม 0 ถึง 3 (Software Timer)
0CH	เลือก ใช้งาน ทั้ง 6 ขา พร้อมกัน
0DH	(ยังไม่มีการใช้งาน)
0EH	รีเซ็ตตัวนับชุด 2 (-Reset Timer 2)
0FH	สั่งเริ่มการแปลง สัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ตาราง 5.1 HSO Command register 06H : Write : HWO

การเลือก HSO 4 และ 5 ใช้งานนั้นจะต้องเห็นค่าของ ICO 1 (16H) โดยใช้บิต 4 และบิต 6 เป็น 1 เพื่อเป็นการอนุญาตให้มีเอาต์พุตออกได้ที่ port HSO 4 และ 5 ซึ่งจะใช้ร่วมกับ HIS 2 และ HIS 3 ตามลำดับ เอาต์พุตที่ออกมาจาก HSO นี้จะเป็น pulse ในแบบ sine wave PWM ที่จะนำเข้าวงจร Inverter เพื่อ switch IGBT ต่อไป เพื่อให้เกิดเอาต์พุตที่ไปยังโหลดมีความกว้าง

ของพัลส์เท่ากับพัลส์ที่ส่งออกมาจาก HSO แต่มีความสูงของแอมพลิจูดเท่ากับขนาดของ DC Link ที่มีขนาด 310 โวลต์ โดยค่าโวลต์ที่ออกไปยังโหลดจะมีลักษณะที่ใกล้เคียง sine wave

(3) HSO CAM จะมีลักษณะดังนี้

- เป็นส่วนของหน่วยความจำ ซึ่งคำสั่งที่จะกำเนิดเอชท์พุทที่ HSO จะต้องเข้ามาอยู่ใน CAM ก่อนที่จะทำการ execute ต่อไป

- register ตัวหนึ่งในส่วนความจำของหน่วย(CAM) นี้จะถูกทำการเปรียบเทียบค่ากับตัวนับทุกๆ ครั้งนับ ซึ่งจะต้องใช้เวลา 8 ช่วงนับ (8 state time)

- การเขียนค่าเวลาจะเป็นการส่งข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์เก็บข้อมูลพร้อมกับคำสั่งล่าสุด คำสั่งจะไม่เข้าสู่หน่วยความจำจนกว่ารีจิสเตอร์ในส่วนนั้นจะว่าง ซึ่งสามารถ check ได้ที่ IOS 0 บิตที่ 7 ว่าข้อมูลในว่างและพร้อมที่จะรับคำสั่งแล้ว

(4) ตัวนับชุด 2 (Timer 2) ลักษณะของตัวนับชุด 2 มีลักษณะดังนี้คือ

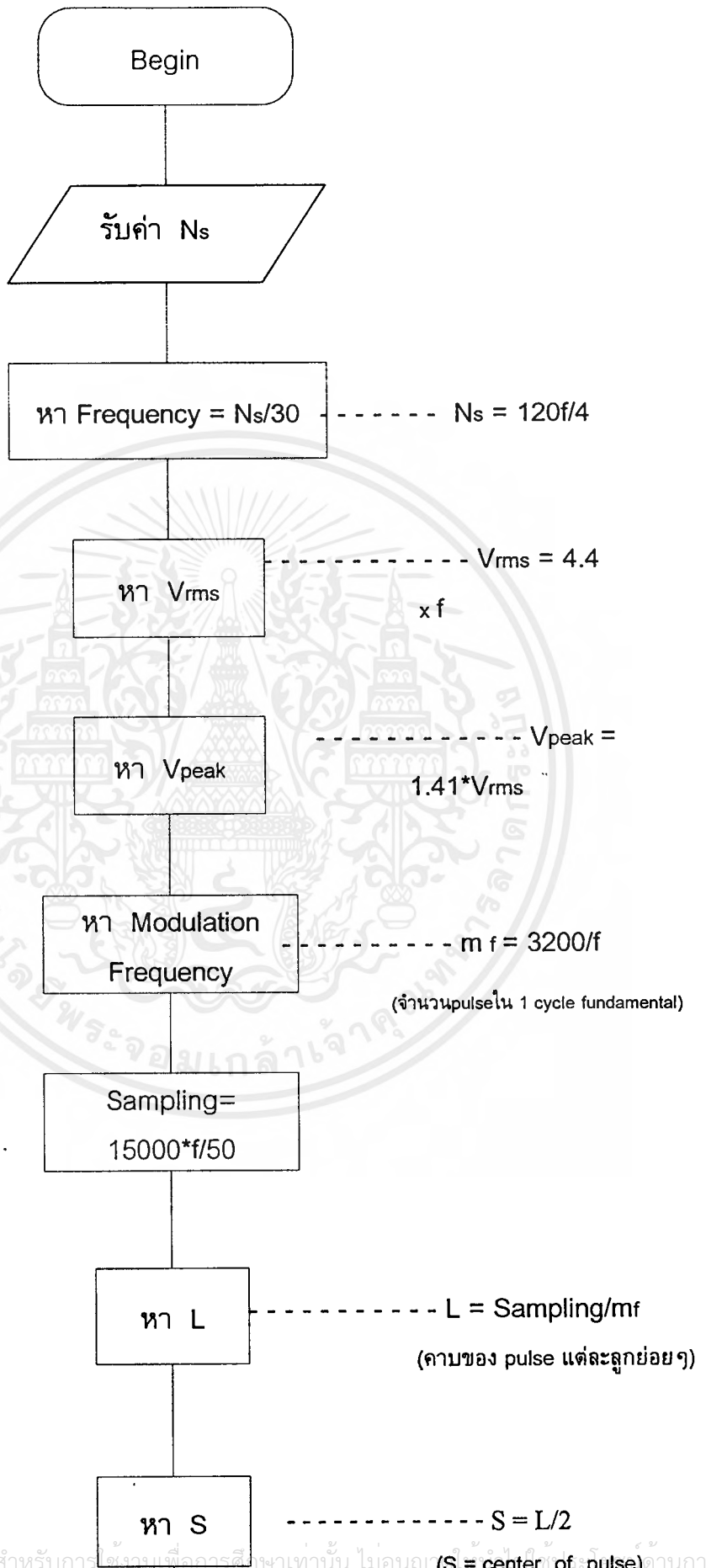
- ใช้เป็นตัวอ้างอิงสำหรับหน่วยส่งออกด้วยความเร็วสูง
- การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้ตัวนับชุด 2 ป้อนจากภายนอกที่ขา T_{2clk}
- ตัวนับชุด 2 สามารถอ่าน/เขียนที่ 0CH : HW0 การ reset ตัวนับชุด 2 สามารถทำได้จาก hardware , โปรแกรม หรือจาก HSO
- สามารถ reset ตัวนับชุด 2 ได้ โดยการ set ค่าที่รีจิสเตอร์ควบคุม IOC0 บิตที่ 5

ตาราง 5.2 แสดงการกำหนดตัวนับชุด 2 และบิตที่ควบคุม

บิตควบคุม	บิต = 1	บิต = 0
IOC 0.1	รีเซ็ตตัวนับชุด 2 ทุกครั้งที่เขียน	ไม่มีการทำงาน
IOC 0.3	อนุญาตการรีเซ็ตจากภายนอก	ไม่อนุญาต
IOC 0.7	ใช้ HSI.1 เป็นแหล่งสัญญาณ	ใช้ T2CLK เป็นแหล่งสัญญาณ
IOC 1.3	อนุญาต T2 overflow INT	ไม่อนุญาต INT
IOC 2.0	อนุญาตการทำงานนับเร็ว	ไม่อนุญาต
IOC 2.1	อนุญาตการนับลง	ไม่อนุญาต
P 2.6	นับลง ถ้า IOC2.1 = 1	นับขึ้น
IOC 2.5	เกิด INT เมื่อนับ 7FFFH / 8000H	เกิด INT เมื่อนับ 0FFFH / 0000H
P 2.7	อ่านช่วงเวลาตัวนับชุด 2 ไปไว้ที่ T2CAPTURE เมื่อขาขึ้น	----

IOC 3.0	ใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน	ใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1

หา pointer
ในการชี้ตำแหน่งกระโดด
ในการคำนวณที่ pulse
ต่อไป

----- pt = 2048/mr

pt เป็นเลขคู่
หรือไม่

ไม่ใช่

ลบ pt ด้วย 1

ใช่

ดึงค่าจากรางที่ตำแหน่ง pt

ค่าในตาราง
เป็นลบหรือ
ไม่

ไม่ใช่

ใช่

Neg. Table (pt)

$table * L * V_p / (311 * 256)$

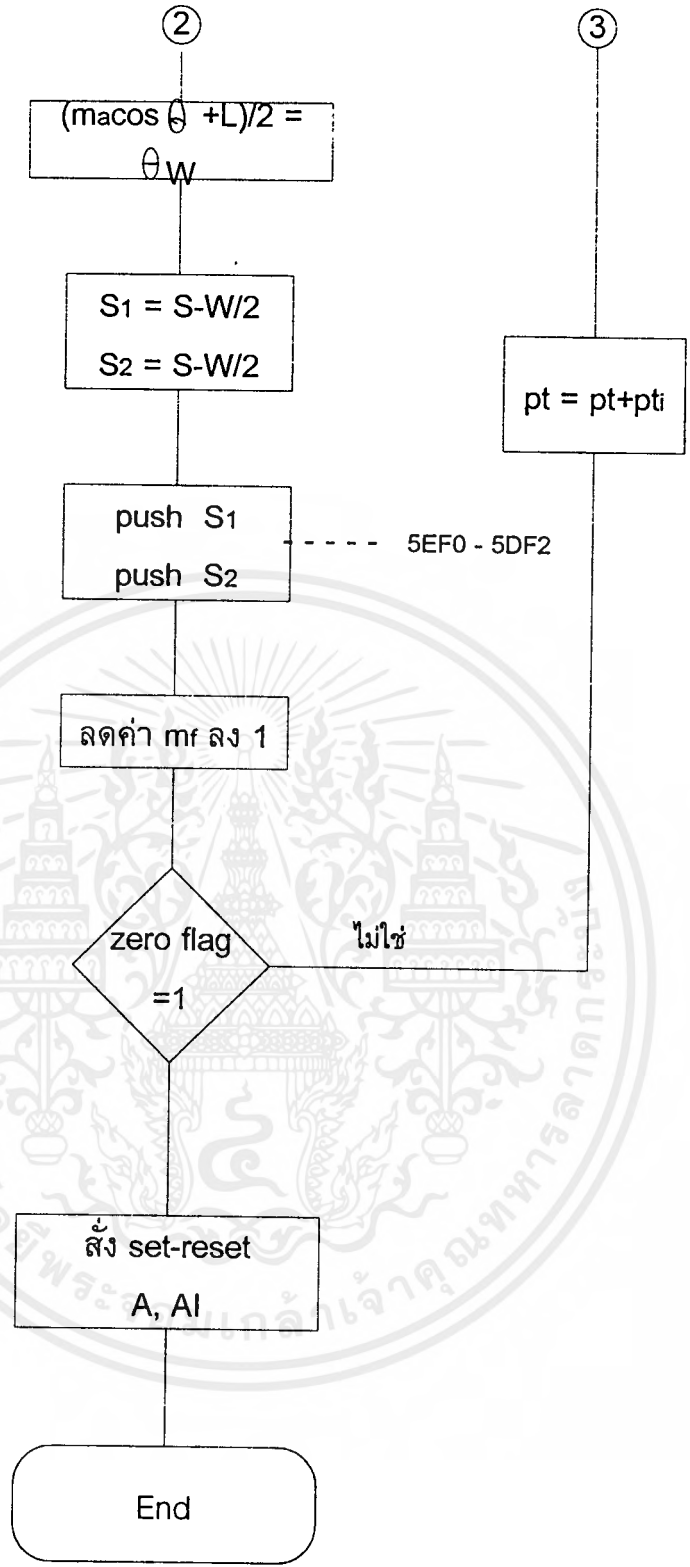
$table * L * V_p / (311 * 256)$

Neg. ผลลัพธ์

ma cos θ

2

3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Flow Chart สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

เนื่องจาก board ที่ใช้เป็น single board ที่สามารถใส่ค่าก่อนการ run program ที่ board ได้ จึงเลือกใช้ register Ns(0040H) ในการรับค่า synchronous speed ที่ต้องการ เมื่อ run program แล้ว จะเริ่มจากหา frequency ของสัญญาณที่ต้องป้อนมอเตอร์

$$\text{จาก } N_s = 120f / p$$

มอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบ 4 ขั้ว ดังนั้น $N_s = 120f / 4$ จะได้ $f = N_s / 30$

จากนั้นจะเป็นการหา voltage ของสัญญาณที่ควรจะเป็นจากการควบคุมแบบ v/f คงที่

เราจะได้ ค่าคงที่ = $220 / 50$ (ที่พิกัด) = 4.4 ได้ $V_{rms} = 4.4 * f$

จากนั้นจะหา V_{peak} ได้จาก $V_{peak} = \sqrt{2} * V_{rms}$ โดย $\sqrt{2}$ มีค่า 1.41 ดังนั้นใน program จะคูณ 141 หรือ 100 จากนั้นหา modulation frequency

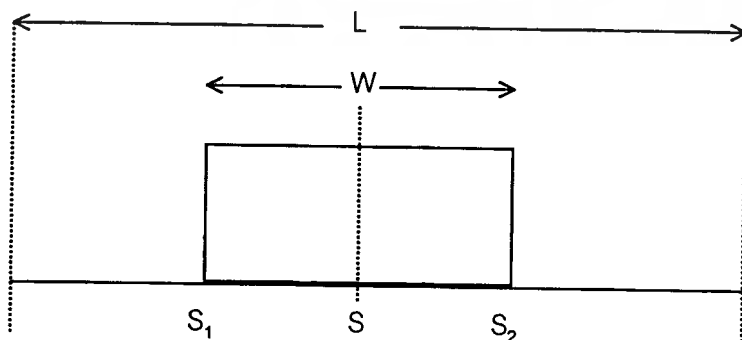
$$\text{จาก } m_f = f_{\text{switching}} / f$$

โดยที่ $f_{\text{switching}}$ = ความถี่ที่ switching = 3.2 kHz = 3200Hz และ f = ความถี่ที่แรง

ดัน ซึ่ง m_f ที่ได้จะเป็นจำนวนพัลส์ใน 1 period ของ sine wave reference หลังจากนั้นจะหา period ของ pulse โดยหาจากจำนวนครั้งที่ timer1 สามารถ Sampling ค่าได้ใน 1 period ของพัลส์ จากแต่ละลูกจากสมการ $L = 15,000 * f / m_f * 50$ (Sampling คืออัตราความละเอียดสูงสุดของ Timer ที่สามารถตรวจนับได้ ซึ่ง L ที่ได้จะเป็นจำนวนเท่าของ Timer 1 (1.33 μsec) เมื่อหา period ได้แล้ว จะทำการหาจุดกึ่งกลางของพัลส์โดย $S = L / 2$

เมื่อหาตำแหน่งกึ่งกลางได้แล้ว ก็จะมาหา W ที่เป็นความกว้างของ pulse ต่อไปโดย

$W = (m_a \cos \theta + L) / 2$ โดยที่ θ คือ มุมที่ได้จากการให้ COS เป็น reference



รูปที่ 5.2 แสดงส่วนต่างๆของพัลส์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

และ $m_a = V_{\text{peak reference}} / V_{\text{triangle}}$; ให้ $V_{\text{triangle}} = 415 \text{ volts}$

ในการเก็บค่า $\text{COS}\theta$ จะเก็บในรูปของ $256(\text{COS}\theta)$ จำนวน 2,048 ค่า ใส่ตารางเก็บไว้ เนื่องจากค่า $\text{COS}\theta$ จะเป็นค่าทศนิยมที่น้อยกว่า 1 ดังนั้นจะคิดส่วนของ $m_a \text{COS}\theta$

$$m_a \text{COS}\theta = [V_{\text{peak}} * \text{ค่าจากตาราง} / 415] / 256$$

โดยตัวที่มุมต่อไปจะหาได้จาก $360 / m_f =$ มุมที่ต่างกันของ pulse แต่ละลูก

เนื่องจากค่า COS ที่เก็บไว้จะเก็บเป็น 2048 ค่า ดังนั้นสามารถหาตำแหน่งที่จะกระโดดได้จาก $2048 / m_f$ และจากตาราง COS เก็บเป็น word address ซึ่งเปลี่ยนทีละ 2 ดังนั้นต้อง check ว่าตัวที่เป็นจำนวนเท่าของ 2 หรือไม่ ถ้าไม่จะลดค่า pt ลงโดยในการคำนวณ $m_a \text{COS}\theta$ กรณีที่ $\text{COS}\theta$ เป็นค่าติดลบ จะ NEG ค่า COS ก่อนคำนวณ $m_a \text{COS}\theta$ แล้วจึง NEG ให้เป็นค่าลบอีกครั้ง หลังจากนั้นนำ $m_a \text{COS}\theta$ ที่ได้มาบวกค่า L หารด้วย 2 จะได้ค่า W ออกมา แล้วหา $S1$ (ตำแหน่ง set pulse) และ $S2$ (ตำแหน่ง reset pulse) โดย

$$S1 = S - W/2$$

$$S2 = S + W/2$$

แล้วจะมีการเปรียบเทียบค่าของ $S1$ และ $S2$ ก่อนหากมีค่าเท่ากันจะลบ $S1$ ด้วย 3 ส่วน $S2$ คงค่าไว้จากนั้นจึงนำค่า $S1$ และ $S2$ นี้ไปเก็บไว้ในตาราง จากนั้นจะวน loop จนครบทุกลูก จากนั้นหารจำนวน m_f ด้วย 3 จะได้ตำแหน่งเริ่มต้นของ phase B, C แล้ว copy ค่าจากตารางที่ shift 120° และ 240° มาไว้ในตารางของ phase B, C ตามลำดับ

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการ set, reset pulse ตามตารางของแต่ละ phase โดย pulse phase ที่เป็น complementary กันจะเปลี่ยน $S1$ เป็นตำแหน่ง reset ของ A' และ $S2$ เป็นตำแหน่ง set ของ A' ดังกล่าว ซึ่งก่อนจะ set pulse ทุกๆตำแหน่ง set จะบวก dead time ประมาณ $5 \mu\text{sec}$

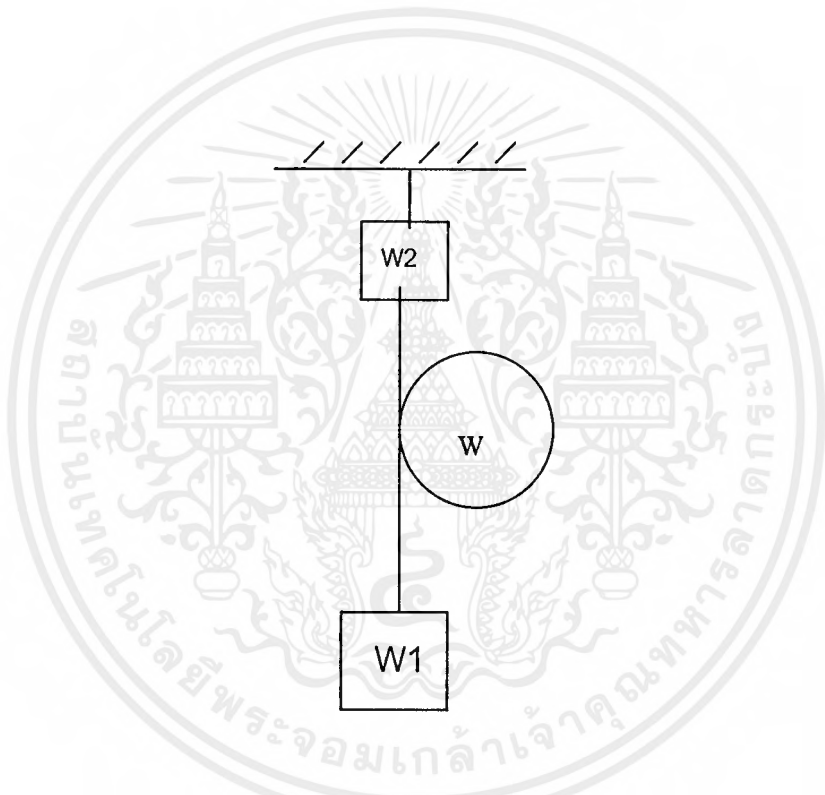
สัญญาณที่ได้จะเป็น 3 phase และสัญญาณที่เป็น complementary กันก็จะเป็น 3 phase ซึ่งสัญญาณทั้ง 6 ตัวนี้จะต่อเข้า driver และนำไปขับ IGBT ที่วงจรอินเวอร์เตอร์ต่อไป

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบมอเตอร์

ได้ทำการทดสอบโดยสร้างสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อขับมอเตอร์ โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดแยกเฟสสตาร์ทขนาดครึ่งแอมป์ โดยเริ่มจากการทดลองที่ไม่มีภาระแล้ววัดความเร็วและกระแสินพุท และทดสอบขณะมีภาระแล้วทำการวัดแรงบิด ความเร็วรอบและกระแสินพุทโดยจัดการทดลองดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 6.1 แสดงการทดสอบมอเตอร์ขณะมีภาระ

$$T = 9.8 (W1 - W2) D / 2$$

$W1$ = น้ำหนักของภาระที่ใส่ (kg)

$W2$ = น้ำหนักที่เครื่องชั่งอ่านได้ (kg)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เฒ่า

โดยมอเตอร์มี name plate ดังนี้

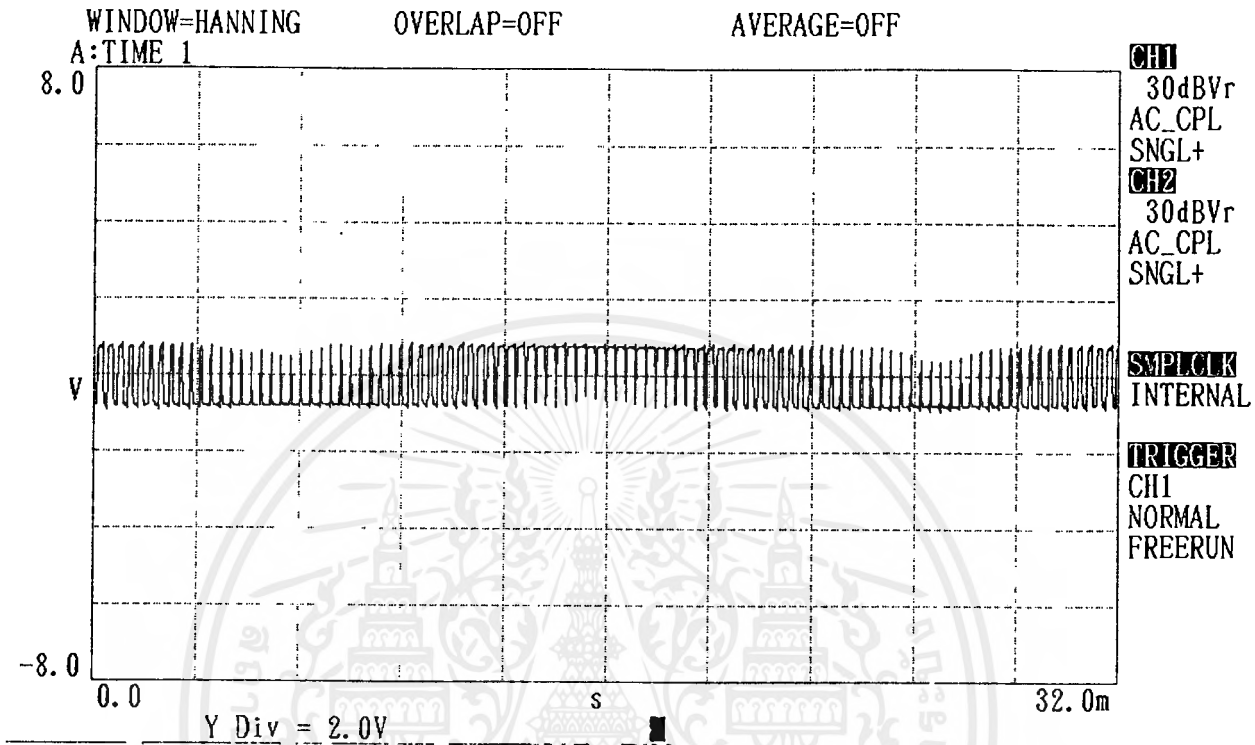
50 Hz 220V 4.6A 1450 rpm

ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังนี้

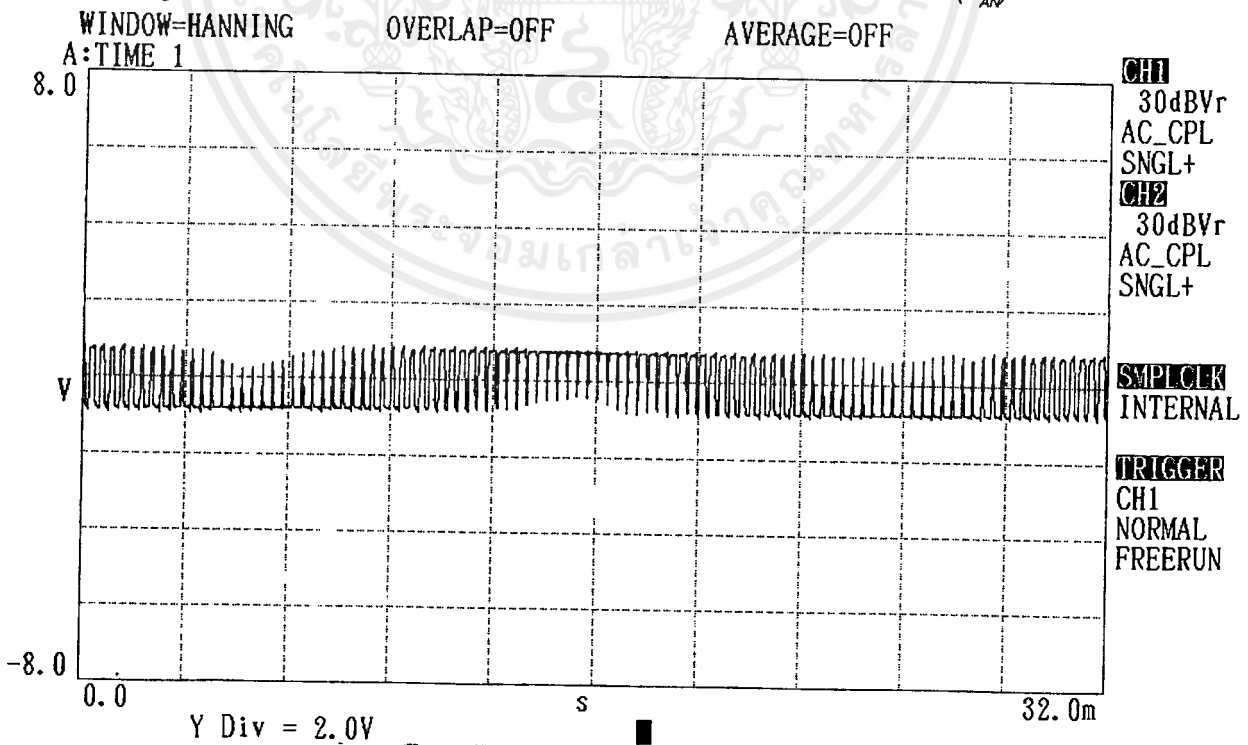
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 ทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีภาระ

6.1.1 เมื่อป้อนแรงดัน 110 โวลต์ 50 Hz ได้ผลดังนี้



รูปที่ 6.2 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส A กับ กราวด์ (V_{AN})



รูปที่ 6.3 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส B กับ กราวด์ (V_{BN})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WINDOW=HANNING OVERLAP=33% AVERAGE=OFF

A: SPECTRUM 1 THD = 2.1371 %

DLIST#	X_VALUE Hz	Y_VALUE V	DISTORTION %
1	46.875	1.328	
2	93.75	15.78m	1.1882
3	156.25	15.20m	1.1444
4	203.125	6.621m	0.4985
5	250.0	10.65m	0.8021
6	296.875	2.793m	0.2103
7	343.75	3.509m	0.2642
8	406.25	2.433m	0.1832
9	453.125	5.328m	0.4011
10	500.0	3.065m	0.2308
11	546.875	4.013m	0.3021
12	593.75	1.800m	0.1355
13	656.25	1.332m	0.1003
14	703.125	4.093m	0.3082
15	750.0	3.183m	0.2397
16	796.875	2.295m	0.1728
17	843.75	1.300m	0.0979
18	906.25	3.114m	0.2344
19	953.125	1.420m	0.1069
20	1.0k	2.181m	0.1642

CH1
30dBVr
AC_CPL
SNGL+

CH2
30dBVr
AC_CPL
SNGL+

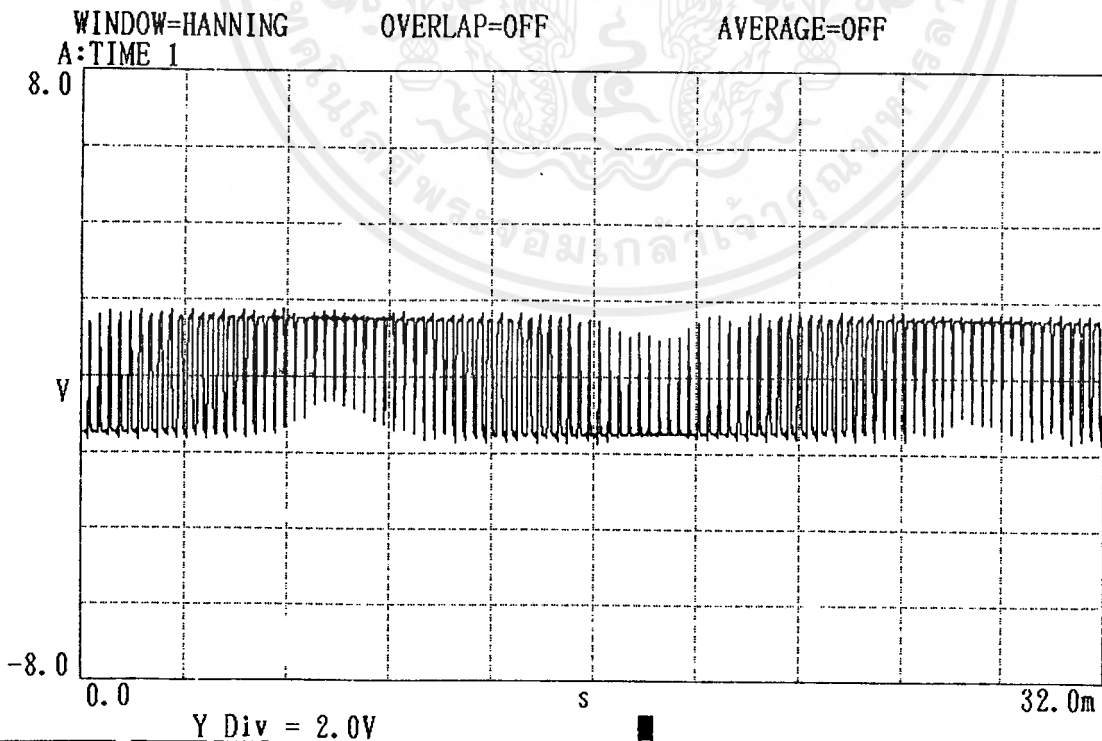
SMPLCLK
INTERNAL

TRIGGER
CH1
NORMAL
FREERUN

Fundamental Freq = 50.0Hz

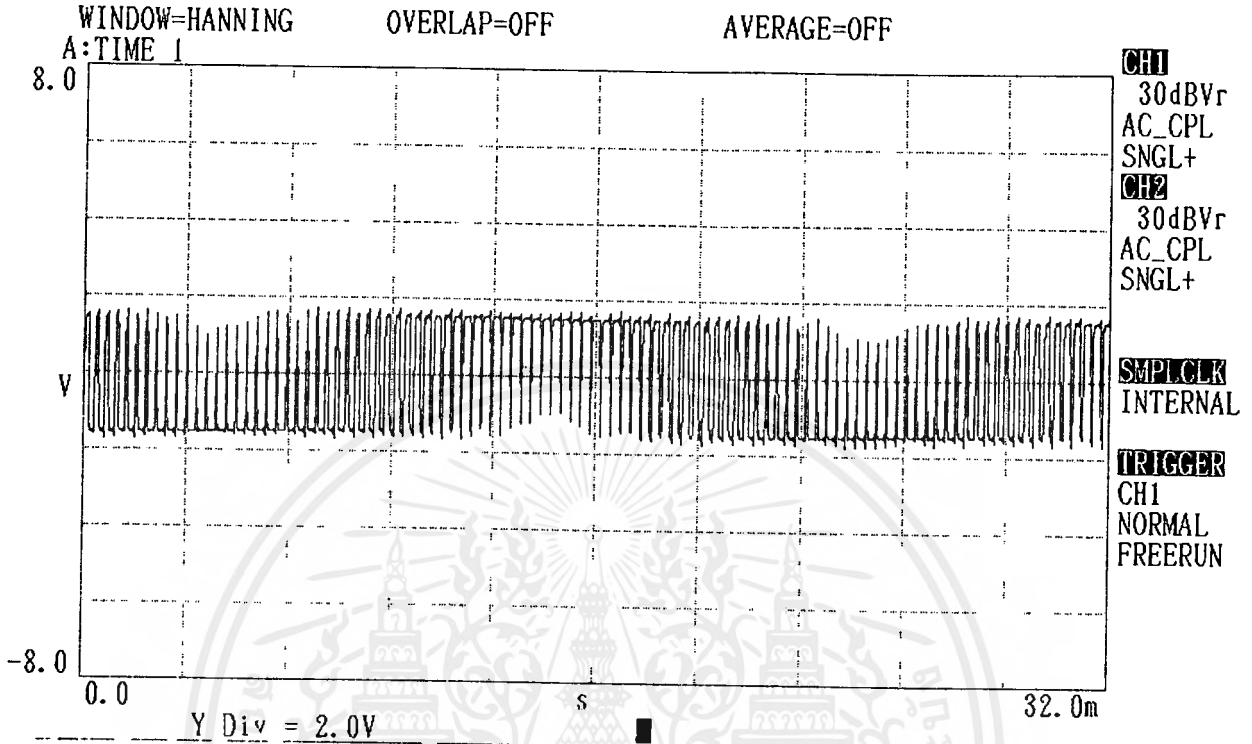
รูปที่ 6.6 แสดงฮาร์โมนิกคิสมอรรัน(THD)ของสัญญาณแรงดันที่ 220V 50Hz

6.1.2 เมื่อป้อนแรงดัน 220 โวลต์ 50 Hz ได้ผลดังนี้

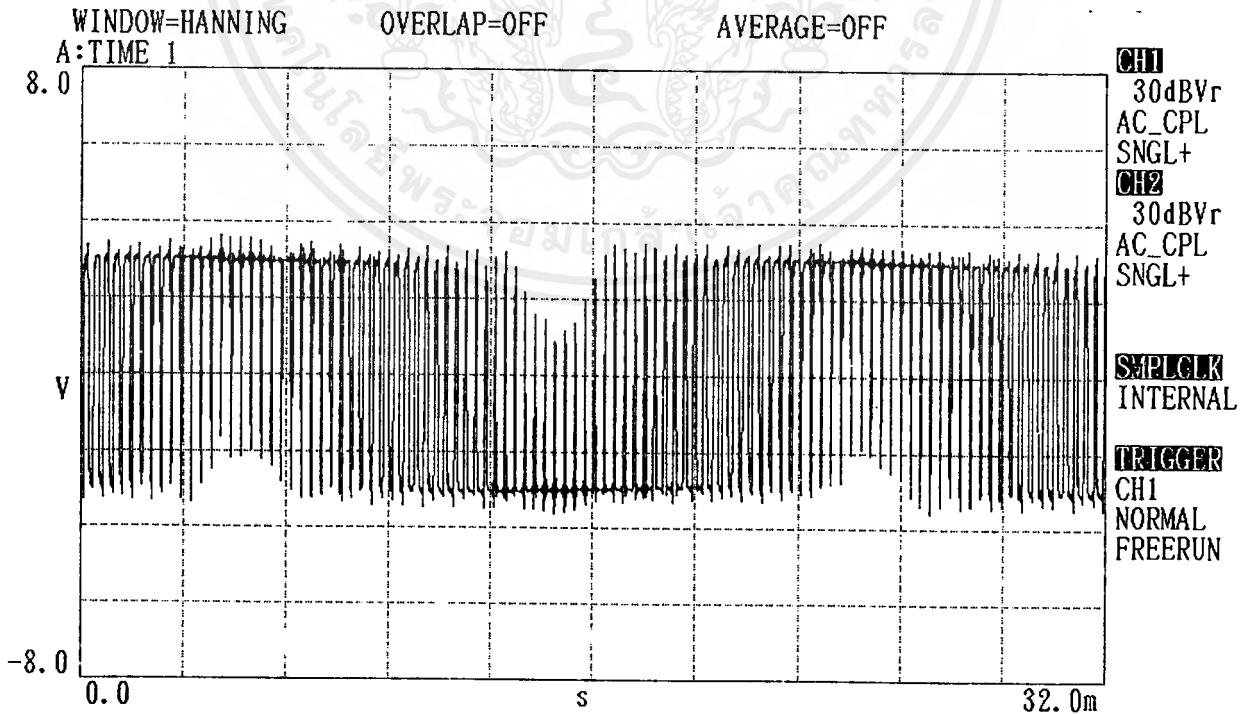


รูปที่ 6.7 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส A กับ กราวด์ (V_{AN})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

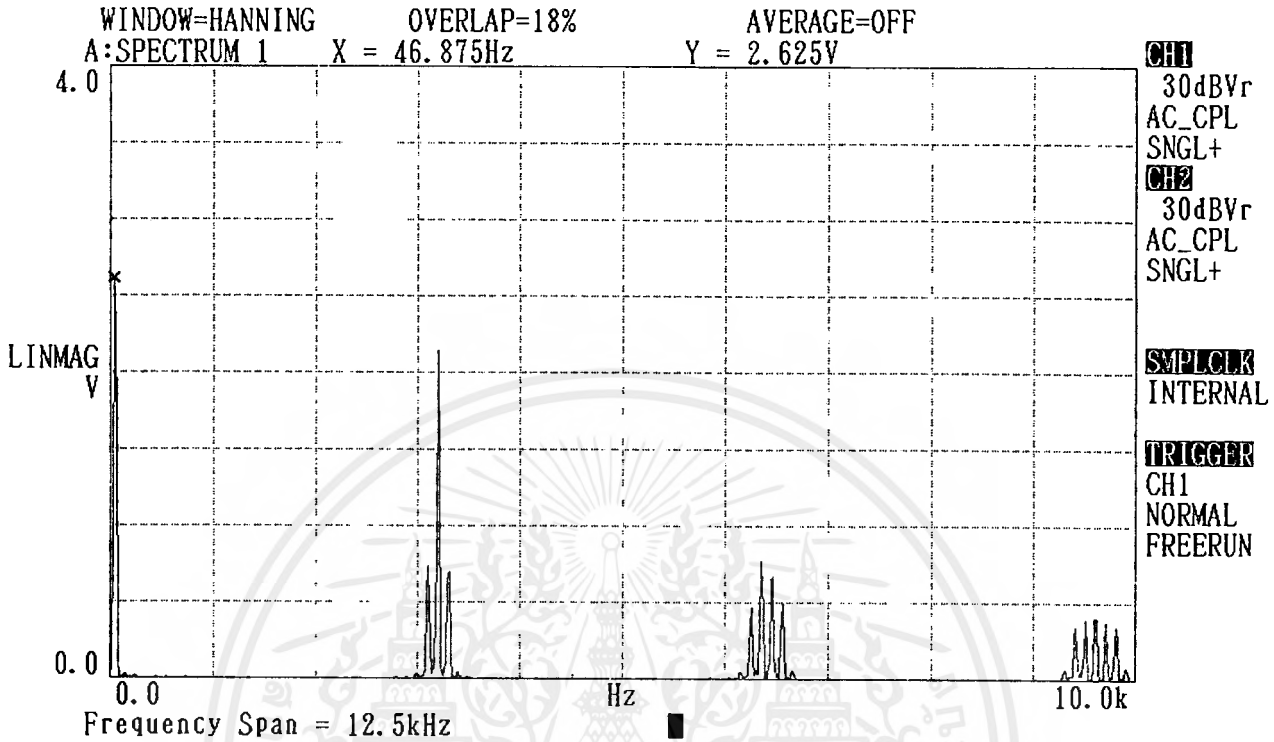


รูปที่ 6.8 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส B กับ กราวด์ (V_{BN})



รูปที่ 6.9 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส A กับ B (V_{AB})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 แสดงส่วนประกอบฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ของแรงดันระหว่างเฟส A กับ B (V_{AB})

WINDOW=HANNING OVERLAP=18% AVERAGE=OFF
 A:SPECTRUM 1 THD = 1.9090 %

DLIST#	X_VALUE Hz	Y_VALUE V	DISTORTION %
1	46.875	2.625	
2	93.75	27.14m	1.0342
3	156.25	27.91m	1.0633
4	203.125	12.33m	0.4699
5	250.0	17.98m	0.6851
6	296.875	4.553m	0.1734
7	343.75	5.577m	0.2125
8	406.25	3.368m	0.1283
9	453.125	10.15m	0.3866
10	500.0	4.907m	0.1869
11	546.875	6.778m	0.2583
12	593.75	3.423m	0.1304
13	656.25	4.148m	0.1580
14	703.125	6.599m	0.2514
15	750.0	6.222m	0.2371
16	796.875	3.803m	0.1449
17	843.75	3.263m	0.1243
18	906.25	4.679m	0.1783
19	953.125	2.087m	0.0795
20	1.0k	2.543m	0.0969

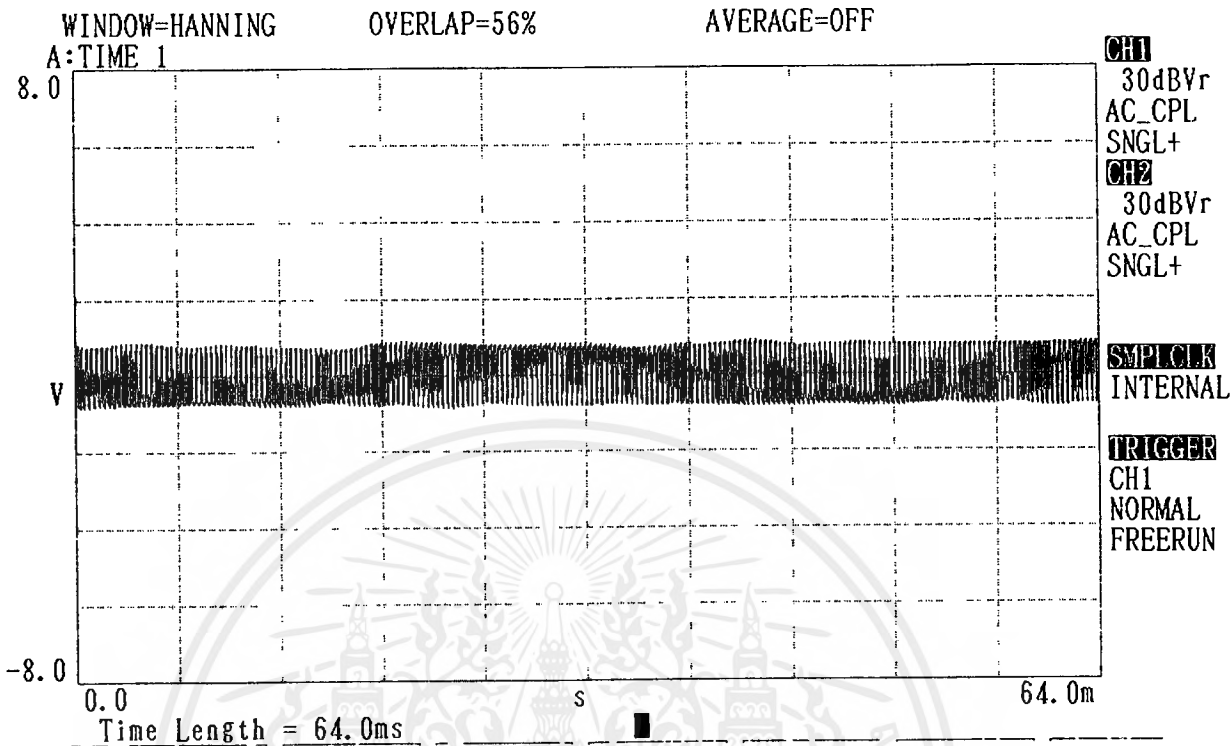
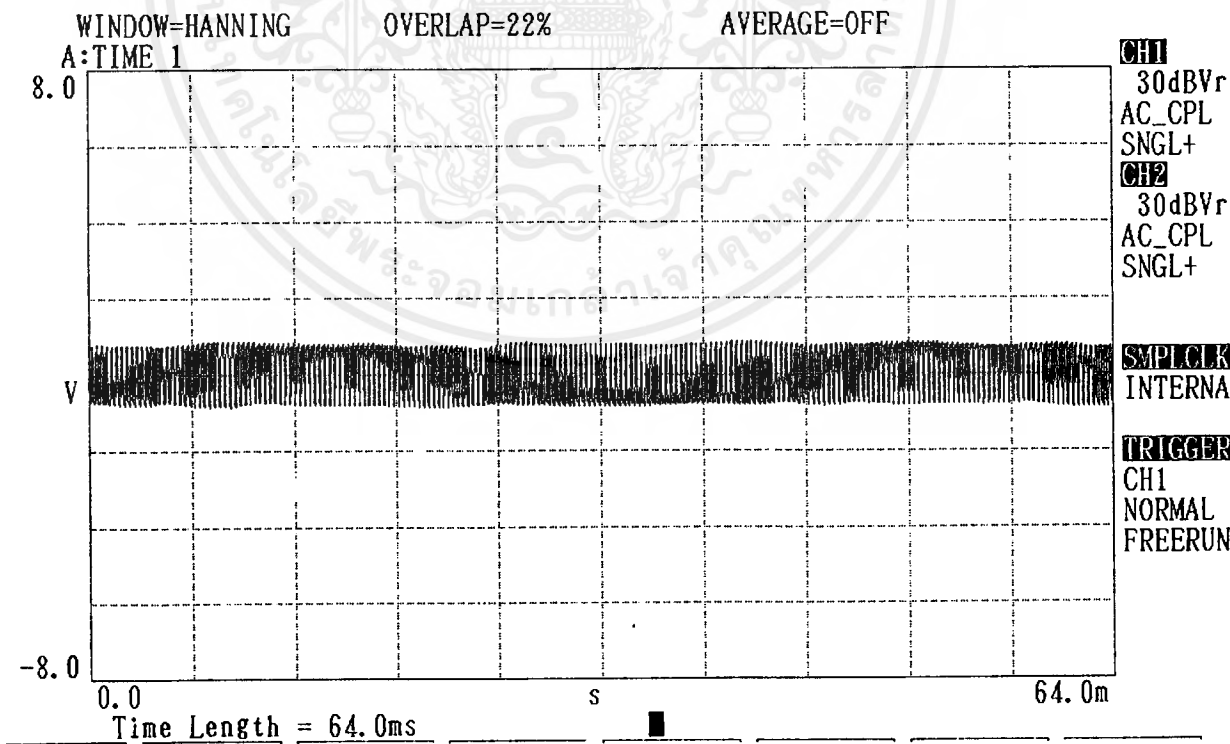
Fundamental Freq = 50.0Hz

CH1 30dBVr AC_CPL SNGL+
 CH2 30dBVr AC_CPL SNGL+
 SMPLOCK INTERNAL
 TRIGGER CH1 NORMAL FREERUN

รูปที่ 6.11 แสดงฮาร์โมนิกคิสทอร์ชัน(THD)ของสัญญาณแรงดันที่ 220V 50Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 เมื่อป้อนแรงดัน 110 โวลต์ 25 Hz ได้ผลดังนี้

รูปที่ 6.12 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส A กับ กราวด์ (V_{AN})รูปที่ 6.13 แสดงแรงดันขาออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ระหว่าง เฟส B กับ กราวด์ (V_{BN})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WINDOW=HANNING OVERLAP=18% AVERAGE=OFF

A:SPECTRUM 1 THD = 8.1476 %

DLIST#	X_VALUE Hz	Y_VALUE V	DISTORTION %
1	46.875	131.5m	
2	93.75	7.354m	5.5914
3	156.25	1.296m	0.9855
4	203.125	793.8u	0.6036
5	250.0	2.315m	1.7600
6	296.875	1.122m	0.8530
7	343.75	2.641m	2.0081
8	406.25	1.827m	1.3893
9	453.125	571.8u	0.4348
10	500.0	2.099m	1.5962
11	546.875	1.713m	1.3024
12	593.75	855.3u	0.6504
13	656.25	2.443m	1.8579
14	703.125	1.308m	0.9942
15	750.0	601.9u	0.4577
16	796.875	1.778m	1.3515
17	843.75	1.458m	1.1083
18	906.25	668.4u	0.5082
19	953.125	985.5u	0.7493
20	1.0k	1.230m	0.9354

Fundamental Freq = 50.0Hz

CH1 30dBVr AC_CPL SNGL+

CH2 30dBVr AC_CPL SNGL+

SMPCLK INTERNAL

TRIGGER CH1 NORMAL FREERUN

รูปที่ 6.16 แสดงฮาร์โมนิคคิสดรชั่น(THD)ของสัญญาณแรงดันที่ 110V 25Hz

6.2 ทดสอบมอเตอร์ขณะมีภาระ

6.2.1 เมื่อบ้อนแรงดัน 110 โวลต์ 50 Hz ได้ผลดังนี้

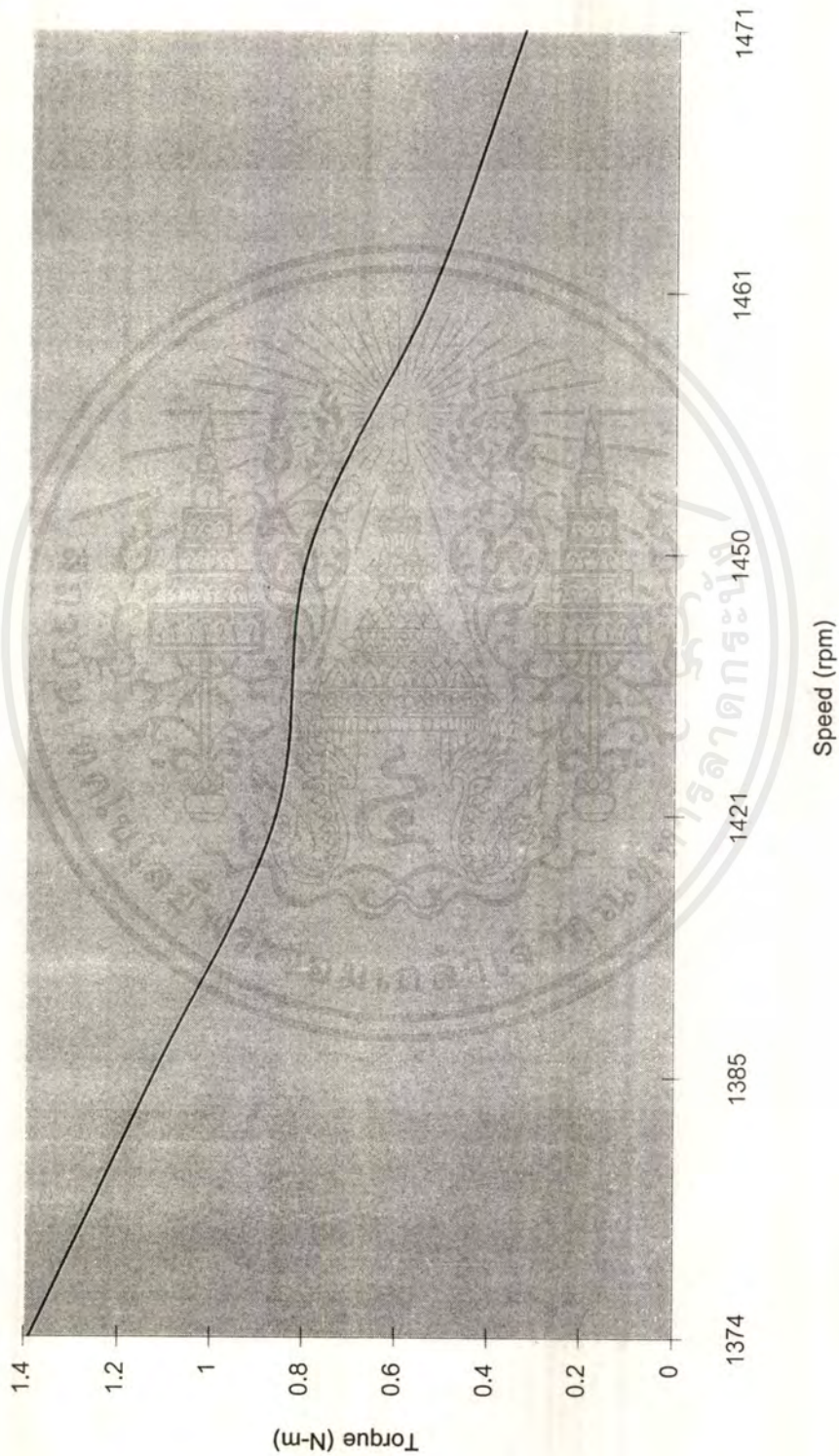
w1(kg)	w2 (kg)	W (kg)	T (N-m)	Speed (rpm)	I i/p (A)
no load			0	1495	1.5
1	0.5	0.5	0.33075	1471	1.55
1.5	0.7	0.8	0.5292	1461	1.65
2	0.8	1.2	0.7938	1450	1.8
2.5	1.2	1.3	0.85995	1421	2.3
3	1.3	1.7	1.12455	1385	2.6
3.5	1.4	2.1	1.38915	1374	2.7

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการทดลองที่ 110V 50 Hz

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Speed กับ Torque
ที่ 50 Hz 110 โวลต์



รูปที่ 6.17 แสดง Torque-Speed curve ของมอเตอร์ที่ 110V 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 เมื่อป้อนแรงดัน 220 โวลต์ 50 Hz ได้ผลดังนี้

w1(kg)	w2 (kg)	W (kg)	T (N-m)	Speed (rpm)	I i/p (A)
no load			0	1499	3
1	0.6	0.4	0.2646	1491	3
1.5	0.8	0.7	0.46305	1489	3
2	1	1	0.6615	1487	3
2.5	1.2	1.3	0.85995	1483	3
3	1.6	1.4	0.9261	1481	3
3.5	1.9	1.6	1.0584	1476	3
4	1.9	2.1	1.38915	1473	3.2
4.5	1.9	2.6	1.7199	1474	3.2
5	2	3	1.9845	1473	3.2
5.5	2	3.5	2.31525	1470	3.2
6	2.1	3.9	2.57985	1463	3.2

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลการทดลองที่ 220V 50 Hz

6.2.3 เมื่อป้อนแรงดัน 110 โวลต์ 25 Hz ได้ผลดังนี้

w1(kg)	w2 (kg)	W (kg)	T (N-m)	Speed (rpm)	I i/p (A)
no load			0	700	4.5
0.25	0.2	0.05	0.033075	676	4.7
0.5	0.3	0.2	0.1323	660	4.8
0.75	0.3	0.45	0.297675	654	4.9
1	0.5	0.5	0.33075	670	5
1.25	0.5	0.75	0.496125	570	5
1.5	0.6	0.9	0.59535	534	5
1.75	0.6	1.15	0.760725	537	5

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลการทดลองที่ 110V 25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

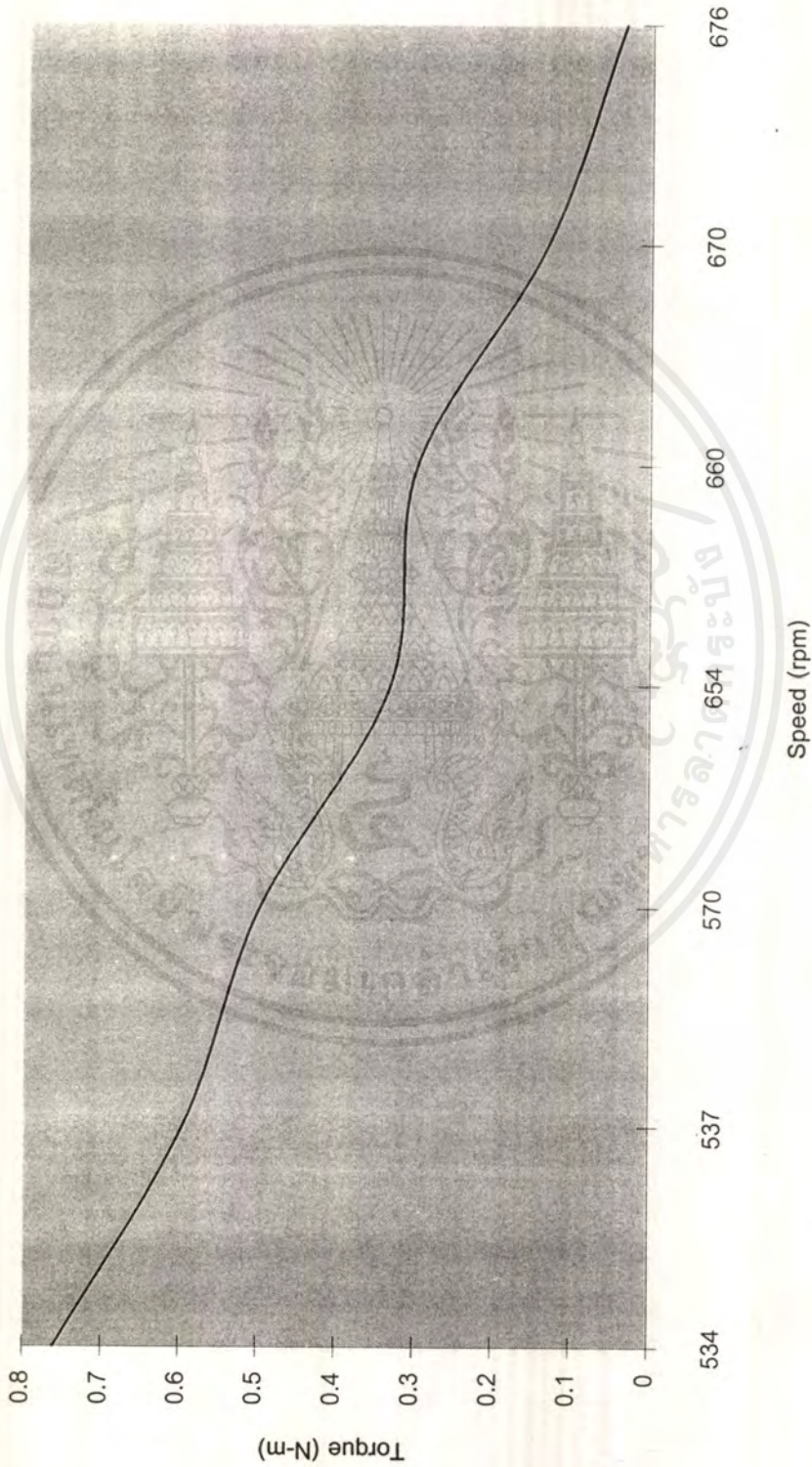
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Speed กับ Torque
ที่ความถี่ 50 Hz 220 โวลต์



รูปที่ 6.18 แสดง Torque-Speed curve ของมอเตอร์ที่ 220V 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่าง Speed กับ Torque
ที่ความถี่ 25 Hz 110 โวลต์



รูปที่ 6.19 แสดง Torque-Speed curve ของมอเตอร์ที่ 110 V 25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.3.1 เมื่อทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีภาระ

6.3.1.1 เมื่อป้อนแรงดันให้มอเตอร์ 110 V 50Hz พบว่าเกิด THD ของแรงดัน 2.137% แต่เมื่อป้อนแรงดัน 220 V 50Hz พบว่าเกิด THD ของแรงดัน 1.909% นั่นคือจะเห็นว่าที่ความถี่เดียวกัน เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น สัญญาณเอาท์พุทแรงดันที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนจากสัญญาณ fundamental น้อยลง (THD ลดลง) นั่นแสดงว่า ค่า modulation index มีค่ามาก (แต่น้อยกว่า 1)

6.3.1.2 เมื่อป้อนแรงดันให้มอเตอร์ 110 V 25 Hz พบว่าเกิด THD 8.1475 % จะเห็นว่าที่แรงดันเดียวกัน (110V) เมื่อความถี่ลดลง สัญญาณเอาท์พุทแรงดันที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนจากสัญญาณ fundamental มากขึ้น (THD มากขึ้น) และจากรูป 6.15 พบว่ามีฮาร์โมนิคลำดับที่ m , มากกว่า modulation index มีค่าน้อยมาก

6.3.1.3 จากรูปที่ 6.10 และรูปที่ 6.15 จะเห็นได้ชัดว่าที่ความถี่ต่างกัน ค่า modulation index ก็ต่างกันด้วย เนื่องจากว่าต้องการให้อัตราส่วนของแรงดันและความถี่มีค่าคงที่ ดังนั้นที่ความถี่น้อย ค่า m_0 จะน้อยและฮาร์โมนิคที่ m_1 จะมากโดยจะมากกว่าที่ fundamental ดังรูปที่ 6.15 และที่ความถี่มาก ค่า m_0 จะมากและฮาร์โมนิคที่ m_1 จะน้อยกว่าที่ fundamental ดังรูปที่ 6.10

6.3.1.4 จากรูปที่ 6.5 และ 6.10 พบว่า ความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) มีค่าเป็น 46.875 Hz ซึ่งไม่ถึง 50 Hz ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า โหลดเป็นมอเตอร์ อาจทำให้ความถี่ fundamental เปลี่ยนแปลงค่าไปเล็กน้อย

6.3.2 เมื่อทดสอบมอเตอร์ขณะมีภาระ

6.3.2.1 จากรูปที่ 6.17 เมื่อปรับแรงดันไปที่ 110V ความถี่ 50 Hz คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ พิจารณาในย่านการทำงานของมอเตอร์ (normal operation) พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 1.448% แรงบิดจะลดลง 50.4% เมื่อปรับแรงดันสูงขึ้นเป็น 220V แต่คงค่าความถี่ไว้ 50 Hz เท่าเดิม จากรูปที่ 6.18 คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ ในย่านการทำงานปกติ พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 0.68% แรงบิดจะลดลง 25%

6.3.2.2 เมื่อป้อนแรงดันที่ 110 V ความถี่ 25 Hz จากรูปที่ 6.19 พิจารณาในช่วงการทำงานปกติของมอเตอร์จาก คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 1.5% แรงบิดจะลดลง 55.5%

6.4 สรุปผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาในย่านการทำงานของมอเตอร์พบว่าเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ค่าแรงดันเดียวกัน แต่ความถี่ลดลงจะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้น ซึ่งในย่านความถี่ต่างๆ เราไม่สามารถที่จะทำให้มอเตอร์

ทำงานที่ค่าแรงดันสูงๆได้ เนื่องจากเราต้องคงค่าอัตราส่วนของแรงดันและความถี่ มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ฟลักซ์ในวงจรแม่เหล็กมากเกินไป ทำให้แกนเหล็กอิ่มตัวได้ และถ้ายังทำการใส่ภาระเพิ่มขึ้นอีก ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลง อันเนื่องมาจากเมื่อพิจารณาตามวงจรสมมูลย์ของอินดักชันมอเตอร์แล้ว กระแสกระตุ้นจะแปรผันตามแรงดันอินพุทที่เข้ามอเตอร์ นั่นคือถ้าแกนเหล็กยังไม่อยู่ในช่วงอิ่มตัว ความสามารถในการสร้างฟลักซ์จะมากขึ้นเมื่อกระแสกระตุ้นมากขึ้น แต่ถ้าเป็นกรณีดังกล่าวคือปรับแรงดันเพิ่มขึ้นให้อัตราส่วนของแรงดันและความถี่มากขึ้น จะทำให้แกนเหล็กถึงจุดอิ่มตัว กล่าวคือแม้ว่ากระแสกระตุ้นจะเพิ่มขึ้นมากเพียงใดก็ไม่สามารถที่จะสร้างฟลักซ์ให้เพิ่มขึ้นได้อีก จะกลายเป็นความสูญเสียในแกนเหล็ก จะทำให้ประสิทธิภาพรวมของมอเตอร์ลดลง เมื่อพิจารณาที่ความถี่เดียวกันแต่ปรับแรงดันเพิ่มขึ้น จะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความเร็วรอบจะยังคงเดิมอยู่ เนื่องจากไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นย่านการทำงานในช่วงแรงบิดคงที่ (constant torque)

จะเห็นได้จากผลการทดลองทั้งหมด จะมีลักษณะใกล้เคียงและเป็นไปตามทฤษฎี

บทที่ 7

สรุปโครงการ

สรุปโครงการ

จากวัตถุประสงค์ในการทำโครงการนี้ เพื่อสร้างอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ชนิด PWM ที่สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ตามต้องการ โดยอาศัยหลักการ v/f คงที่ และตามขอบเขตของโครงการนี้ที่ตั้งไว้คือการเขียนโปรแกรม(Assembly)เพื่อสร้างสัญญาณ SPWM 1 เฟส เพื่อไปควบคุมการทำงานของ IGBT และสามารถที่จะปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ในช่วง 5-100% ของความเร็วพิกัด และเป็นระบบเปิด

จากผลการทดลองและผลการดำเนินงานของโครงการทั้งหมดสรุปได้ว่าในส่วนของโปรแกรม สามารถที่จะเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณ SPWM 1 เฟส ได้จริงและสามารถนำสัญญาณดังกล่าวนี้ไปทริก IGBT ทั้ง 2 ตัวที่เป็น complementary กันได้ โดยมี dead time 2.66 μ sec และสามารถเปลี่ยนความเร็วโดยเปลี่ยนจากโปรแกรมให้อยู่ในช่วง 30-100% ของความเร็วพิกัดได้ เมื่อนำสัญญาณ pulse width modulation ต่อเข้ากับวงจรเพื่อนำไปขับมอเตอร์โดยทำการทดสอบเพื่อวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 2 ความถี่ คือ 25 Hz และ 50 Hz ปรากฏว่ามอเตอร์สามารถหมุนด้วยความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปตามความถี่ดังกล่าวได้จริง เมื่อทำการใส่ภาระให้กับมอเตอร์ และพิจารณาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ - และแรงบิดในช่วงย่านการทำงานของมอเตอร์แล้ว ที่ความถี่ต่างๆเราสามารถหาความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความเร็วและแรงบิด ดังนั้นเราจึงสามารถนำเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงนี้ไปพิจารณาการใช้งานของมอเตอร์ตามความเหมาะสมได้

จากผลที่สรุปทั้งหมดนี้สรุปได้ว่าสามารถทำโครงการนี้ให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามเป้าหมายได้ โดยปรับความเร็วได้ที่ความถี่ 50 และ 100 Hz และเป็นระบบเปิด ซึ่งในอนาคตสามารถที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์นี้ให้มีสมรรถนะเพิ่มมากขึ้นได้ต่อไป

ปัญหาและการแก้ไข

ส่วนโปรแกรม

1).เนื่องด้วยไม่เคยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จริงๆในทางปฏิบัติมาก่อน เคยเรียนเพียงเขียนโปรแกรมเบื้องต้น จึงไม่ทราบว่าจะบอร์ดใช้อย่างไร และไม่สามารถถามจากเพื่อนๆ ได้ เนื่องจากส่วนใหญ่จะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ทราบเพียงโครงสร้างคร่าวๆ ว่า มี

โปรแกรมสำหรับเปลี่ยนภาษา Assembly ที่เขียนใน Editor ให้เป็น file.obj , file.lst และจะมีโปรแกรมสำหรับเปลี่ยน file.obj เป็นคำสั่งเป็นเลขฐานสิบหก และโปรแกรมที่ใช้สำหรับส่งคำสั่งดังกล่าวไปที่บอร์ด จากนั้นจึงไป search จาก Internet จึงได้ทราบเพียงโปรแกรม ECM96 แต่เมื่อไม่สามารถ compile ได้ อาจารย์ที่ปรึกษาจึงแนะนำให้ไปพบอาจารย์อีกท่านหนึ่งที่ ม.มหานคร ซึ่งได้ทำโปรเจ็คในลักษณะเดียวกัน ได้โปรแกรม cross32 มา สามารถ compile โปรแกรมได้ แต่ส่งลงบอร์ดไม่ได้ ดังนั้นจึงลองนำโปรแกรมตัวอย่างมาเปลี่ยนเป็นเลขฐาน 16 เอง แล้วนำไปป้อนที่บอร์ดโดยตรง แต่เมื่อ run โปรแกรมแล้วก็ยังไม่ได้เอาท์พุทเลย ต่อมาเราได้ทราบว่าบอร์ดที่ใช้ไม่ใช่ของ intel จึงไม่สามารถใช้โปรแกรมทั้งสองได้ จึงโทรไปถามที่บริษัทที่ผลิตบอร์ด จึงได้ทราบว่าโปรแกรมที่อาจารย์ให้มาใช้โปรแกรมใดได้บ้าง

2). ในการคิดอัลกอริทึมนั้น ได้คิดเพียงคร่าว ๆ ไม่ได้เจาะลึกในรายละเอียด เมื่อมองลงในรายละเอียดจะพบว่ายังติดปัญหาเรื่องหน่วยของเวลาเนื่องจากเป็นหน่วย microsecond ซึ่งเป็นทศนิยม อาจารย์ได้แนะนำเทคนิคคิดหน่วยเทียบกับค่าการตรวจนับของ timer1 คือ $1.33\mu\text{sec}$ โดยจะใช้ timer1 เป็นตัวอ้างอิง

3.) เนื่องจากได้เริ่มนำบอร์ดมาทดลองใช้งานจริง สามารถนำบอร์ดดังกล่าวมาทดลองเขียนโปรแกรมเบื้องต้นได้ เมื่อกลางเดือนพฤศจิกายนแต่ยังใช้งานไม่เป็น และสามารถใช้งานจริงๆเป็นเมื่อต้นเดือนธันวาคม จึงทำให้แผนงานไม่เป็นไปตามที่ได้ตั้งไว้ และเมื่อทดลองใช้แล้วยังเกิดปัญหาที่เกิดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 bit คือ จาก microprocessor ที่เรียนมาเป็นแบบ 8 bit ทั้งสิ้น ทั้งๆที่โครงสร้างทาง hardware ของ microcontroller ไม่น่าจะต่างกันมากนัก แต่ส่วนที่จะนำไปใช้งานจริง (ส่วนของหน่วยส่งออกความเร็วสูง) นั้นต้องศึกษาการทำงานใหม่ ดังที่กล่าวแล้วว่าส่วนใหญ่เพื่อนๆ หรือ พี่ๆ ที่ใช้งาน microcontroller เป็นเบอร์ 8051 เกือบทั้งหมด จึงทำให้ไม่สามารถศึกษาได้อย่างละเอียด ทั้งนี้ที่ได้ศึกษาจากคู่มือของบอร์ดยังไม่กระจ่างแจ่มนัก จึงไปหาจากอินเทอร์เน็ตเพิ่มเติม แต่ก็ยังไม่ได้ความกระจ่าง จากนั้นได้ไปปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา แต่เมื่อทดลองแล้วไม่ได้ตามต้องการอาจเนื่องมาจากเราเข้าใจเพียงวิธีการแต่ยังไม่เข้าใจบอร์ดดีพอ จึงไปที่บริษัทผลิตบอร์ดอีกครั้ง ได้ปรึกษาอาจารย์ที่เคยทำโปรเจ็คเกี่ยวกับ MCS96 ได้แนวทางในการศึกษาการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น ส่วนการติดต่อกับหน่วยส่งออกความเร็วสูงคิดว่าเข้าใจ แต่พอมาทำจริงๆ ก็ยังไม่ได้ จึงลงมือทำส่วนคำนวณตำแหน่งที่จะ set-reset ก่อนแต่มีปัญหาในเรื่องของการเขียนโปรแกรมการคำนวณเช่น คำสั่งหาร จะมีการเก็บเศษของการหารไว้ที่ byte บนของ register นั้นๆ , การจองหน่วยความจำเป็นรีจิสเตอร์เพื่อใช้งาน ยังมีการจองเป็น word, long-word และ byte

3). การคำนวณค่า cosine เนื่องจาก มีค่าเป็น -1 ถึง 1 นั่นคือเป็นค่าทศนิยมทั้งสิ้น อาจารย์ที่ปรึกษาแนะนำให้เอาตัวเลขมาคูณทศนิยมดังกล่าวแล้ว ตอนคำนวณจึงมาหารกลับ ยังมีปัญหาเรื่องการเก็บค่า cosine ที่เป็นลบอีก ต้องทดลองเก็บค่าและนำออกมาใช้ ปรากฏว่าต้องมีการจองพื้นที่ในการเก็บเป็นค่าเพื่อใช้ในการบอกว่าเป็นจำนวนบวกหรือลบ

4). ในขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเก็บค่าตำแหน่งที่จะทำการ set หรือ reset นั้นจะเก็บอยู่ในหน่วยความจำในรูปของ word ซึ่งค่า set หรือ reset หนึ่งค่าจะจองหน่วยความจำ 2 address ดังนั้น ในการคำนวณค่า ค่าแอดเดรสเปลี่ยนไป 2 ค่า แต่ค่าของ ตำแหน่ง เซ็ต หรือ รีเซ็ตจะเปลี่ยนไปเพียงค่าเดียว ทำให้ค่อนข้างยุ่งยากในการคำนวณ และการอ้างอิงแอดเดรสของค่าดังกล่าว

5). เมื่อสามารถ set-reset pulse เบื้องต้นได้ตามต้องการ กล่าวคือมีคาบที่คงที่แล้ว แต่เมื่อวนลูปปรับค่าจากตารางที่เก็บไว้ กลายเป็นว่าเกิดเพียง cycle เดียวแล้วหายไปเลย จากนั้นจึงตั้งสมมติฐานไว้ว่าน่าจะเกิดจากการนับจำนวนลูปในแต่ละ period ของ fundamental จึงลองไม่วนลูป set-reset เพียงลูปเดียวของ fundamental แต่ไม่สามารถมองเห็นพัลส์ที่เกิดได้ เนื่องจากเกิดเร็วมากมองไม่ทัน สมมติฐานต่อไปน่าจะเกิดจากการวนลูปปรับค่าของตำแหน่ง set-reset แต่เมื่อลองเขียนโปรแกรมที่รับค่าต่างหากสามารถรับค่าได้ จากนั้นได้ลองเขียนโปรแกรมโดยไม่วนลูปแต่เป็นการ copy โปรแกรมรับค่าและ set ค่า ที่เดียวกัน และ copy ทั้งหมดเท่ากับจำนวนพัลส์ในหนึ่งคาบของ fundamental ผลที่ได้คือสามารถสร้าง PWM ได้ ดังนั้นจึงตรวจทานโปรแกรมอีกครั้งพบว่าไม่ได้ใส่ค่าใหม่ให้กับตัวนับ loop เมื่อมีการลดค่าวนลูปในหนึ่ง period ของ fundamental จึงแก้ไขแล้วผลที่ได้คือสร้าง PWM ได้

6). การ set และ reset pulse ที่จะส่งออกที่หน่วยส่งออกความเร็วสูง ไม่สามารถหาหนังสืออ่านเพิ่มเติมได้เนื่องจากได้ลองทดสอบโปรแกรมแล้วแต่ไม่สามารถ set และ reset ได้ตามต้องการสำหรับค่าความถี่บางค่าที่ต่ำมาก กล่าวคือจุดประสงค์ในการเขียนโปรแกรมคือ การสร้างสัญญาณ PWM 1 เฟส ที่เป็น complementary กันส่งออกที่หน่วยส่งออกความเร็วสูง เพื่อที่จะไปทริก IGBT ซึ่งสัญญาณ PWM ดังกล่าวจะค่อนข้างสมบูรณ์ และอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แต่ถ้าป้อนค่าความถี่ที่ต่ำมาก ๆ สัญญาณ PWM จะขาดหายเป็นช่วง ๆ ไม่สามารถจะนำไปขับมอเตอร์ได้ ซึ่งสามารถที่จะพัฒนาแก้ไขต่อไปได้ในอนาคต

7). ในการทำโครงงานลักษณะนี้ นักศึกษาควรจะมีควมรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเคยใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ อาจเป็นการเขียนโปรแกรมต่างๆ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มากกว่านี้ ใจรักอย่างเดียวไม่ได้ เนื่องจากจะทำให้เสียเวลาในการเริ่มต้นมาก

ปัญหา

ด้านฮาร์ดแวร์

1) แรงดันอินพุทของสัญญาณที่จ่ายให้ IR 2130 มีไม่ถึง 15 โวลท์ จึงทำการแก้โดยลองตรวจสอบ วงจรใหม่ในส่วนของ 7406 พบว่าใช้ไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ 7406 มายกระดับแรงดันที่ก่อนเข้า IR 2130 ด้วย จึงทำให้ไฟที่เข้า IR 2130 ไม่ถึงระดับ 15 โวลท์ และกราวด์ของแหล่งจ่ายแรงดัน + 15 โวลท์ ไม่ได้เชื่อมกับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง + 5 โวลท์

2) ยังมีปัญหาทางด้านเอาท์พุทของ IR 2130 สืบเนื่องมาจากเทอมที่แล้วคือเกิดการ on พร้อมกันในสัญญาณ Hout และ Lout โดยได้พยายามแก้ไขปัญหานี้หลายวิธีด้วยกันดังต่อไปนี้

2.1) ลองเปลี่ยนค่าความจุของตัว C_{coupling} โดยเปลี่ยนไปหลายๆค่า ทั้งที่เพิ่มขึ้นและลดลง

2.2) ลองเปลี่ยนค่าแรงดันที่ตัว C สามารถทนได้ให้สูงขึ้นเป็น 50 โวลท์

2.3) ลองปรับค่าอัตราส่วนระหว่าง R_5 กับ R_6

2.4) ลองปรับ dead time ของ TL 494

2.5) ส่ง E-mail ไปยังบริษัทผู้ผลิตตัวไดรฟ์ IR 2130 เพื่อขอข้อมูลและวิธีแก้ปัญหที่เกิดขึ้นดังกล่าว

2.6) ทดลองจ่ายอินพุทของ IR 2130 จาก TL 494 โดยไม่ผ่าน optoisolator แล้วผ่าน 7406 1 ตัว และทดลองจ่ายอินพุทของ IR 2130 จาก TL 494 โดยไม่ผ่าน optoisolator แต่ผ่าน 7406 2 ตัว ทั้งนี้เพื่อลองเปลี่ยนลักษณะของอินพุทที่จ่ายให้ IR 2130 ผลที่ได้จากการลองเปลี่ยนอินพุทของ IR 2130 ในแต่ละแบบนี้ ได้ผลการทดลองออกมาเหมือนกับผลจากการแก้ปัญหตามข้อ 2.1 และ 2.2 นั่นคือเอาท์พุทของ IR 2130 ยังมีการ on พร้อมกันอยู่ในสัญญาณ Hout และ Lout

2.7) เนื่องจาก output IR2130 จะเป็นอินเวอร์สกับ input จึงทดลองต่อ inverse ที่ input ก่อนเข้า IR2130

จากการทดลองแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น ก็พบว่ายังไม่สามารถแก้ปัญหาด้านเอาท์พุทของ IR 2130 ได้

2.8) ลองต่อวงจรใหม่ทั้งหมดในส่วนของ driver และอินเวอร์เตอร์ รวมทั้งเปลี่ยนค่า C ที่คร่อมทางด้านเอาท์พุทของ DC Link ให้สูงขึ้นมากกว่าใน datasheet และเปลี่ยน diode ในวงจรให้เป็นเบอร์ที่ใกล้เคียงกับ datasheet มากขึ้น ซึ่งปรากฏว่าเอาท์พุทที่เป็น complementary กัน

สามารถปรับให้มี dead time ตามที่ต้องการได้ และสามารถที่จะรับสัญญาณ SPWM เพื่อนำไปขับมอเตอร์ได้

3) ส่วน DC Link ที่สร้างมายังไม่สามารถนำมาทดสอบกับวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ เนื่องจากปัญหาเรื่อง dead time ของสัญญาณเอาท์พุทจาก IR 2130 ดังได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อทดสอบ DC Link นั้น ขณะจ่ายไฟเข้าไปแล้วทดสอบ ปรากฏว่าเกิดการสปาร์คทางด้านเอาท์พุทของ DC Link เนื่องจากตัวเก็บประจุขนาด $1,000 \mu\text{F}$ 400 Vdc เกิดการคายประจุ (discharge) จึงทำการแก้ไขโดยต่อโหลด R ขนาดเข้าไปทางด้านเอาท์พุท

4) สืบเนื่องมาจากภาคเรียนที่ 1 ใช้ TL 494 จำลองสัญญาณพัลส์ที่ใช้ทริก IGBT แทนการใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ฉะนั้นจึงสามารถทำการทดสอบเพียงแค่วงจรอินเวอร์เตอร์ที่มี IGBT เป็นตัวสวิตช์นี้ สามารถจะทำงานเปิดหรือปิดได้จริง ส่วนในภาคเรียนที่สองสามารถสร้างสัญญาณ SPWM แทนสัญญาณจาก TL494 เพื่อทริก IGBT เพื่อคู่สัญญาณแรงดันเอาท์พุท ปรากฏว่าเอาท์พุทที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณ SPWM ที่มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากับค่า DC link ที่ป้อน ซึ่งสัญญาณดังกล่าวสามารถนำไปป้อนมอเตอร์เพื่อปรับความเร็วตามต้องการได้

หัวข้อเสนอแนะ

สำหรับโครงการอินเวอร์เตอร์ชนิด PWM ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ยังมีส่วนที่จะสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก อันเนื่องมาจากว่าระบบดังกล่าวยังเป็นระบบเปิด ความเที่ยงตรงของอินเวอร์เตอร์ยังไม่ดีนัก แต่สามารถที่จะพัฒนาให้เป็นระบบปิดได้ เพื่อที่จะได้ความเร็วรอบของมอเตอร์แม่นยำขึ้น โดยในส่วนของโปรแกรมที่สร้างสัญญาณ PWM นั้นควรที่จะสามารถสร้างได้ทั้ง 3 เฟส เพื่อที่จะนำไปขับภาระที่พิกัดสูงๆขึ้นไปได้ และในโปรแกรมควรจะสามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ ไม่จำเป็นต้อง reset โปรแกรมทุกครั้งที่ต้องการเปลี่ยนความเร็วรอบ นอกจากนี้ค่าของ modulation index ควรที่จะสามารถปรับให้ได้ในช่วงกว้างขึ้น ควรจะมีการสร้าง PWM ในช่วง over modulation ได้ ส่วนในช่วงย่านความถี่ที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบสามารถที่จะพัฒนาให้อยู่ในช่วงกว้างกว่านี้ได้อีก สำหรับการพัฒนาโปรแกรมในขั้นสูงสามารถที่จะเพิ่มฮาร์โมนิกค่าที่สามเข้าไปรวมกับแรงดันควบคุม(Control Voltage) แล้วนำไปสร้างสัญญาณ PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสชนิด PWM เพื่อเพิ่มค่าแรงดันที่เอาท์พุทให้สูงขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาให้ประสิทธิภาพของการขับมอเตอร์ให้สูงขึ้นได้ต่อไป

ภาคผนวก ก

เรื่อง ไมโครคอนโทรลเลอร์

เบอร์ 80C196KB

ภาคผนวก ก.

โครงสร้าง การทำงานของซีพียู และส่วนควบคุมที่สำคัญ ของ 80c196kb

- ส่วนประมวลผลกลาง (CPU) ประกอบด้วย รีจิสเตอร์ไฟล์ และ หน่วยเลขคณิตรีจิสเตอร์ (RALU) ทั้งนี้การติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทำงานได้โดยตรงผ่านรีจิสเตอร์เฉพาะ (SFR) หรือผ่านชุดควบคุม หน่วยความจำ
- RALU ไม่ใช่แอคคิวมูลเตอร์ การคำนวณต่างๆสามารถใช้รีจิสเตอร์ไฟล์ และรีจิสเตอร์เฉพาะเป็นตัวแปรในชุดคำสั่งได้โดยตรง การที่ไม่ต้องอ้างอิงข้อมูลผ่านตัวกลาง ทำให้การเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลทำได้ทันทีส่งผลให้ การออกแบบโปรแกรม การเขียนโปรแกรม จะง่ายขึ้น การติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น อุปกรณ์ต่อพ่วง ที่มีอยู่บนโปรเซสเซอร์ หรืออุปกรณ์ที่ต่อเพิ่มเติมภายนอก จะทำได้สะดวก รวดเร็ว เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมโดยอัตโนมัติ
- CPU ของ 80c196kb ใช้บิตภายในขนาด 16 บิตในการติดต่อกับส่วนควบคุมหน่วยความจำ และหน่วยควบคุมอินเทอร์รัปต์ รวมถึง อุปกรณ์ภายใน โดยมีบิตขนาด 8 บิต สำหรับ การอ่านข้อมูลชุดคำสั่งจากหน่วยความจำ

ส่วนควบคุมหน่วยความจำ (Memory Controller)

- RALU จะติดต่อกับหน่วยความจำผ่านชุดควบคุมหน่วยความจำ (RALU ติดต่อรีจิสเตอร์ไฟล์ และรีจิสเตอร์เฉพาะได้โดยตรง)
- ภายในส่วนควบคุมหน่วยความจำจะประกอบด้วย ชุดควบคุมบัส ชุดอ่านคำสั่งล่วงหน้า 4 ไบต์ (คิว) และตัวนับโปรแกรมชุดสอง (slave program counter : SPC)
- หน่วยความจำ ROM/EPROM ที่อยู่ภายใน หรือหน่วยความจำที่อยู่ภายนอก จะถูกควบคุมจากชุดควบคุมบัส การขอติดต่อกับหน่วยความจำอาจจะมาจาก RALU หรือ คิว ก็ได้ โดยที่การขอจาก คิว จะมีอันดับความสำคัญ (priority) สูงกว่า การขอติดต่อกับส่วนควบคุมหน่วยความจำจาก คิว จะอ้างอิงตำแหน่งของโปรแกรมกับ SPCเท่านั้น
- การอ่านชุดคำสั่งของซีพียู จะทำงานผ่าน SPC เท่านั้น ซึ่งโครงสร้างนี้ช่วยให้ซีพียูประหยัดเวลาและทำงานเร็วขึ้น ทั้งนี้ คิว จะอ่านคำสั่ง เข้ามาคอยไว้ล่วงหน้าก่อน 4 ไบต์ การติดต่อกันเองภายในชิป จะ รวดเร็วกว่า การติดต่อกับส่วนควบคุมหน่วยความจำ ที่อาจจะติดต่อกับอ่านข้อมูลจากภายใน หรือภายนอกก็ได้ และโดยเฉพาะการทำงาน กระโดด ตำแหน่งไม่ว่าจะเป็น Jump

Interrupt Call หรือ Return ตัวนับโปรแกรมชุดสอง จะเก็บค่าตำแหน่งใหม่ ข้อมูลใน คิว จะเปลี่ยนเป็นข้อมูลล่วงหน้า จากตำแหน่งใหม่นั้น โปรแกรมจะต่อเนื่องได้ทันที

- เนื่องจากผลของคิว การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมจึง ต้องทำความเข้าใจให้ดีว่าชุดคำสั่งนั้นทำงานจริงหรือไม่ เพราะการถูกอ่านเข้าไปเป็นการอ่านล่วงหน้า ซึ่งอาจจะไม่ได้ถูกอ่าน หากซีพียูไปทำงานเพราะผลของเงื่อนไขของคำสั่งก่อน ทำให้ คิว ต้องอ่านคำสั่งใหม่

การควบคุมในซีพียู

- ชุด Micro Code Engine เป็นชุดที่ควบคุมการทำงานของ ววซีพียู ซึ่งสามารถจัดรูปแบบการทำงานของซีพียู เป็น 8/16 หรือ 32 บิต ได้จากพื้นที่ของ รีจิสเตอร์ไฟล์ (000-0FFH) โปรเซสเซอร์ มีความจำข้อมูลภายใน 512 ไบต์ พื้นที่ส่วนบน (100-1FFH) เป็นได้ทั้งความจำข้อมูล และ จัดรูปแบบเป็น รีจิสเตอร์ไฟล์ ทำได้ด้วยวินโดว์ทางตั้ง จะทำให้ มีรีจิสเตอร์เป็นฐานในการทำงานของ ชุดคำสั่ง รวมทั้งหมด 488 ไบต์
- ชุดคำสั่งที่ซีพียูอ่านมาจาก คิว จะถูกเก็บไว้ชั่วคราวที่รีจิสเตอร์คำสั่ง หลังจากนั้นจะเป็นหน้าที่ของชุด Micro Code Engine ที่จะถอดรหัส และ สร้างขั้นตอน การทำงานที่ถูกต้องแก่ RALU

หน่วยเลขคณิตรีจิสเตอร์ (RALU)

- การทำงานของคำสั่งงานส่วนใหญ่ จะทำงานที่ RALU หน่วยเลขคณิตด้วยรีจิสเตอร์ ประกอบด้วย หน่วยเลขคณิตขนาด 17 บิต สถานะของโปรแกรม (Program Status Word : PSW) ตัวนับโปรแกรม (Program Counter : PC) ตัวนับรอบ (Loop Counter) และรีจิสเตอร์ชั่วคราว 3 ตัว รีจิสเตอร์ทุกตัว จะมีขนาด 16 บิต หรือ เป็น 17 บิต เมื่อมีเครื่องหมาย และ รีจิสเตอร์ บางตัวยังสามารถทำงานง่าย ๆ ได้เองเป็นการลดภาระงานที่ ALU และทำให้เพิ่มประสิทธิภาพทางเวลาได้มากขึ้น
- ตัวเพิ่มค่า (Incrementor) ที่แยกออกมาต่างหากนั้น ใช้งานเฉพาะกับตัวนับโปรแกรม (PC) ที่มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่อ่านตัวแปร (Operands) แต่การเปลี่ยนแปลงข้อมูลของ PC เนื่องจากการทำงานกระโดด จะต้องผ่าน ALU เท่านั้น
- รีจิสเตอร์ชั่วคราวที่มีนั้น มี 2 ตัวที่มีระบบการเลื่อน (Shift Logic) ข้อมูลในตัวเอง ซึ่งจะใช้ในการทำงานของตัวแปรที่ต้องเลื่อนข้อมูล รวมถึง การทำงาน คูณ หาร และ การปรับค่า (Normalize : MORML instruction)

- สำหรับ คำล่าง (Lower word) และคำบน (Upper word) ใช้ประกอบกัน เพื่อการทำงานขนาด 32 บิต ในกรณีอื่น ให้เป็นรีจิสเตอร์ชั่วคราวของหลายๆคำสั่ง ตัวนับรอบขนาด 6 บิต (Loop Counter) มีไว้เพื่อการใช้งานเฉพาะกับการเลื่อน ข้อมูลที่ซ้ำๆกัน
- รีจิสเตอร์ชั่วคราว ตัวที่ 3 จะใช้เป็นที่เก็บ ตัวแปรตัวที่ 2 (second operand) ของคำสั่งที่มี 2 ตัวแปรรวมถึงเป็นที่เก็บ ตัวคูณ ของการคูณ เก็บตัวหาร ระหว่างการด้วย และในการทำงาน การลบ ข้อมูลที่รีจิสเตอร์ยังสามารถ สลับเลข (complement) ได้ก่อนที่จะเข้าส่วน Bของหน่วย เลข ค ฅ
- นอกจากนี้ยังมีค่าคงที่ ที่ต้องใช้บ่อยๆ หลาย ๆตัว เช่น 0, 1, 2 ถูกเก็บไว้ ที่หน่วยเลขคณิต เพื่อ เพิ่ม ความเร็วในการทำงาน
- การทำงานตรวจสอบบิตนั้น จะทำงานภายในรีจิสเตอร์ค่าคงที่ โดยอาศัย รีจิสเตอร์ขนาด 3 บิต เพื่อการเลือก

เวลาอ้างอิงภายใน (Internal Timing)

- โปรเซสเซอร์ 80c196kb มี ON - Chip Oscillator จึงต้องการอุปกรณ์ภายนอก เพียง 3 ตัว ในการสร้าง สัญญาณเวลาอ้างอิง คือ ตัวผลิตความถี่ (Crystal) และคาแพซิเตอร์อีก 2 ตัว
- วงจรการทำงานภายในของโปรเซสเซอร์ 1 รอบ จะใช้การเปลี่ยนแปลงสัญญาณของความถี่ สัญญาณ เวลาอ้างอิง นั้น 4 ขอบ (Edge) (ขึ้น 2 ลง 2) หรือเท่ากับ 2 คาบเวลา ซึ่งต่อไปจะ เรียกค่า 2 คาบเวลาอ้างอิง นี้ว่า 1 ช่วงนับ(1 State Time)
- ที่ ความถี่ 16 เมกกะเฮิร์ต 1 ช่วงนับจะมีค่า เท่ากับ 125 นาโนวินาที
- สัญญาณออก ที่ขาสัญญาณ CLKOUT เป็นสัญญาณที่ตรงกันกับช่วงนับของการทำงานภายใน ใช้เป็นตัวบ่งชี้ ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้

พื้นที่หน่วยความจำ (MEMORY SPACE)

- หน่วยความจำมาตรฐานของ 80c196kb ใช้แอดเดรส 16 เส้น ทำให้อ้างอิงตำแหน่งข้อมูลได้ 64 กิโลไบต์ ทั้งนี้สามารถใช้งานเป็นโปรแกรม หรือเก็บข้อมูลได้เกือบทั้งหมด
- ตำแหน่งที่เป็นพื้นที่เฉพาะ คือ 0000h - 00FFh , 1FFEh - 1FFFh และ 2000h - 207FH ตำแหน่งนอกเหนือจากนี้ สามารถใช้งานได้ทั้งหมด
- การจัดโครงสร้างพื้นที่ หน่วยความจำ แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6000H-FFFFH	พื้นที่หน่วยความจำภายนอก
2080H-5FFFH	พื้นที่หน่วยความจำภายใน (ROM/EPROM) หรือ ภายนอก
205EH-207FH	พื้นที่สงวนให้ใส่ข้อมูล 0FFH
2040H-205DH	PTS Vector
2030H-203FH	อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ ส่วนบน (Upper Interupt Vectors)
2020H-202FH	ROM/EPROM Security key
201AH-201FH	0FFH
2019H	20H
2018H	CCB : Chip Configuration Byte สำหรับกำหนดโครงสร้างของโปรเซสเซอร์
2014H-2017H	0FFH
2000H-2013H	อินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ ส่วนล่าง (Lower Interupt Vectors)
1FFEh-1FFFH	พอร์ต 3-4
0200H-1FFDH	หน่วยความจำภายนอก
0100H-01FFH	พื้นที่เก็บข้อมูลภายใน (Intenal RAM)
0000H-00FFH	รีจิสเตอร์ไฟล์

ตารางแสดงการจัดโครงสร้างพื้นที่ หน่วยความจำ

ชุดคำสั่ง 80c196kb (Instruction Set)

- ชุดคำสั่งที่มี 112 คำสั่ง ครอบคลุมไปด้วย คำสั่งพื้นฐานที่จำเป็น สำหรับการคำนวณตัวเลขและ การตัดสินใจ ขนาด 8-16 และ 32 บิต
- แม้ว่าจะไม่มีคำสั่งเลขจำนวนจริง สนับสนุนโดยตรง การประกอบกันของคำสั่งที่มี และเทคนิค การเขียนโปรแกรมอีกเล็กน้อย สามารถสร้างการคำนวณ จำนวนจริง ได้โดยง่าย

Mnemonic	Operands	Operation (Note 1)	Flags						Notes
			Z	N	C	V	VT	ST	
ADD/ADDB	2	$D \leftarrow D + A$	✓	✓	✓	✓	↑	-	
ADD/ADDB	3	$D \leftarrow B + A$	✓	✓	✓	✓	↑	-	
ADDC/ADDCB	2	$D \leftarrow D + A + C$	↓	✓	✓	✓	↑	-	
SUB/SUBB	2	$D \leftarrow D - A$	✓	✓	✓	✓	↑	-	
SUB/SUBB	3	$D \leftarrow B - A$	✓	✓	✓	✓	↑	-	
SUBC/SUBCB	2	$D \leftarrow D - A + C - 1$	↓	✓	✓	✓	↑	-	
CMP/CMPB	2	$D - A$	✓	✓	✓	✓	↑	-	
MUL/MULU	2	$D, D + 2 \leftarrow D \times A$	-	-	-	-	-	-	2
MUL/MULU	3	$D, D + 2 \leftarrow B \times A$	-	-	-	-	-	-	2
MULB/MULUB	2	$D, D + 1 \leftarrow D \times A$	-	-	-	-	-	-	3
MULB/MULUB	3	$D, D + 1 \leftarrow B \times A$	-	-	-	-	-	-	3
DIVU	2	$D \leftarrow (D, D + 2) / A, D + 2 \leftarrow \text{remainder}$	-	-	-	✓	↑	-	2
DIVUB	2	$D \leftarrow (D, D + 1) / A, D + 1 \leftarrow \text{remainder}$	-	-	-	✓	↑	-	3
DIV	2	$D \leftarrow (D, D + 2) / A, D + 2 \leftarrow \text{remainder}$	-	-	-	✓	↑	-	
DIVB	2	$D \leftarrow (D, D + 1) / A, D + 1 \leftarrow \text{remainder}$	-	-	-	✓	↑	-	
AND/ANDB	2	$D \leftarrow D \text{ AND } A$	✓	✓	0	0	-	-	
AND/ANDB	3	$D \leftarrow B \text{ AND } A$	✓	✓	0	0	-	-	
OR/ORB	2	$D \leftarrow D \text{ OR } A$	✓	✓	0	0	-	-	
XOR/XORB	2	$D \leftarrow D \text{ (excl. or) } A$	✓	✓	0	0	-	-	
LD/LDB	2	$D \leftarrow A$	-	-	-	-	-	-	
ST/STB	2	$A \leftarrow D$	-	-	-	-	-	-	
XCH/XCHB	2	$D \leftarrow A, A \leftarrow D$	-	-	-	-	-	-	
LDBSE	2	$D \leftarrow A; D + 1 \leftarrow \text{SIGN}(A)$	-	-	-	-	-	-	3,4
LDBZE	2	$D \leftarrow A; D + 1 \leftarrow 0$	-	-	-	-	-	-	3,4
PUSH	1	$SP \leftarrow SP - 2; (SP) \leftarrow A$	-	-	-	-	-	-	
POP	1	$A \leftarrow (SP); SP + 2$	-	-	-	-	-	-	
PUSHF	0	$SP \leftarrow SP - 2; (SP) \leftarrow \text{PSW};$ $\text{PSW} \leftarrow 0000\text{H}; I \leftarrow 0$	0	0	0	0	0	0	
POPF	0	$\text{PSW} \leftarrow (SP); SP \leftarrow SP + 2; I \leftarrow \checkmark$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
SJMP	1	$PC \leftarrow PC + 11\text{-bit offset}$	-	-	-	-	-	-	5
LJMP	1	$PC \leftarrow PC + 16\text{-bit offset}$	-	-	-	-	-	-	5
BR[indirect]	1	$PC \leftarrow (A)$	-	-	-	-	-	-	
TIJMP	3	$PC \leftarrow [A] + 2 * ([B] \text{ AND } C)$	-	-	-	-	-	-	
SCALL	1	$SP \leftarrow SP - 2;$ $(SP) \leftarrow PC; PC \leftarrow PC + 11\text{-bit offset}$	-	-	-	-	-	-	5
LCALL	1	$SP \leftarrow SP - 2; (SP) \leftarrow PC;$ $PC \leftarrow PC + 16\text{-bit offset}$	-	-	-	-	-	-	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mnemonic	Operands	Operation (Note 1)	Flags						Notes
			Z	N	C	V	VT	ST	
RET	0	PC ← (SP); SP ← SP + 2	-	-	-	-	-	-	
J (conditional)	1	PC ← PC + 8-bit offset (if taken)	-	-	-	-	-	-	5
JC	1	Jump if C = 1	-	-	-	-	-	-	5
JNC	1	Jump if C = 0	-	-	-	-	-	-	5
JE	1	Jump if Z = 1	-	-	-	-	-	-	5
JNE	1	Jump if Z = 0	-	-	-	-	-	-	5
JGE	1	Jump if N = 0	-	-	-	-	-	-	5
JLT	1	Jump if N = 1	-	-	-	-	-	-	5
JGT	1	Jump if N = 0 and Z = 0	-	-	-	-	-	-	5
JLE	1	Jump if N = 1 or Z = 1	-	-	-	-	-	-	5
JH	1	Jump if C = 1 and Z = 0	-	-	-	-	-	-	5
JNH	1	Jump if C = 0 or Z = 1	-	-	-	-	-	-	5
JV	1	Jump if V = 0	-	-	-	-	-	-	5
JNV	1	Jump if V = 1	-	-	-	-	-	-	5
JVT	1	Jump if VT = 1; Clear VT	-	-	-	-	0	-	5
JNVT	1	Jump if VT = 0; Clear VT	-	-	-	-	0	-	5
JST	1	Jump if ST = 1	-	-	-	-	-	-	5
JNST	1	Jump if ST = 0	-	-	-	-	-	-	5
JBS	3	Jump if Specified Bit = 1	-	-	-	-	-	-	5,6
JBC	3	Jump if Specified Bit = 0	-	-	-	-	-	-	5,6
DJNZ/ DJNZW	1	D ← D - 1; If D = 0 then PC ← PC + 8-bit offset	-	-	-	-	-	-	5
DEC/DECB	1	D ← D - 1	✓	✓	✓	✓	↑	-	
NEG/NEGB	1	D ← 0 - D	✓	✓	✓	✓	↑	-	
INC/INCB	1	D ← D + 1	✓	✓	✓	✓	↑	-	
EXT	1	D ← D; D + 2 ← Sign (D)	✓	✓	0	0	-	-	2
EXTB	1	D ← D; D + 1 ← Sign (D)	✓	✓	0	0	-	-	3
NOT/NOTB	1	D ← Logical Not (D)	✓	✓	0	0	-	-	
CLR/CLRB	1	D ← 0	1	0	0	0	-	-	
SHL/SHLB/SHLL	2	C ← msb lsb ← 0	✓	✓	✓	✓	↑	-	7
SHR/SHRB/SHRL	2	0 → msb lsb → C	✓	✓	✓	0	-	✓	7
SHRA/SHRAB/SHRAL	2	msb → msb lsb → C	✓	✓	✓	0	-	✓	7
SETC	0	C ← 1	-	-	1	-	-	-	
CLRC	0	C ← 0	-	-	0	-	-	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mnemonic	Operands	Operation (Note 1)	Flags						Notes
			Z	N	C	V	VT	ST	
CLRVT	0	VT ← 0	-	-	-	-	0	-	
RST	0	PC ← 2080H	0	0	0	0	0	0	8
DI	0	Disable All Interupts (I ← 0)	-	-	-	-	-	-	
EI	0	Enable All Interupts (I ← 1)	-	-	-	-	-	-	
DPTS	0	Disable all PTS Cycles (PSE = 0)	-	-	-	-	-	-	
EPTS	0	Enable all PTS Cycles (PSE = 1)	-	-	-	-	-	-	
NOP	0	PC ← PC + 1	-	-	-	-	-	-	
SKIP	0	PC ← PC + 2	-	-	-	-	-	-	
NORML	2	Left shift till msb = 1; D ← shift count	✓	✓	0	-	-	-	7
TRAP	0	SP ← SP - 2; (SP) ← PC; PC ← (2010H)	-	-	-	-	-	-	9
PUSHA	1	SP ← SP-2; (SP) ← PSW; PSW ← 0000H; SP ← SP-2; (SP) ← IMASK1/WSR; IMASK1 ← 00H	0	0	0	0	0	0	
POPA	1	IMASK1/WSR ← (SP); SP ← SP + 2 PSW ← (SP); SP ← SP + 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
IDLPD	1	IDLE MODE IF KEY = 1; POWERDOWN MODE IF KEY = 2; CHIP RESET OTHERWISE	-	-	-	-	-	-	
CMPL	2	D-A	✓	✓	✓	✓	↑	-	
BMOV, BMOVI	2	[PTR_HI] + ← [PTR_LOW] + ; UNTIL COUNT = 0	-	-	-	-	-	-	

NOTES:

1. If the mnemonic ends in "B" a byte operation is performed, otherwise a word operation is done. Operands D, B, and A must conform to the alignment rules for the required operand type. D and B are locations in the Register File; A can be located anywhere in memory.
2. D,D + 2 are consecutive WORDS in memory; D is DOUBLE-WORD aligned.
3. D,D + 1 are consecutive BYTES in memory; D is WORD aligned.
4. Changes a byte to word.
5. Offset is a 2's complement number.
6. Specified bit is one of the 2048 bits in the register file.
7. The "L" (Long) suffix indicates double-word operation.
8. Initiates a Reset by pulling RESET low. Software should re-initialize all the necessary registers with code starting at 2080H.
9. The assembler will not accept this mnemonic.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Speed Optocouplers

Technical Data

6N135
6N136
HCPL-2502
HCPL-4502
HCPL-4503

Features

- Very High Common Mode Transient Immunity: 15000 V/ μ s at $V_{CM} = 1500$ V Guaranteed (HCPL-4503)
- High Speed: 1 Mb/s
- TTL Compatible
- Guaranteed ac and dc Performance Over Temperature: 0°C to 70°C
- Open Collector Output
- Recognized under the Component Program of U.L. (File No. E55361) for Dielectric Withstand Proof Test Voltages of 2500 Vac, 1 Minute and 5000 Vac, 1 Minute (Option 020).
- CSA Approved under Component Acceptance Notice No. 5 (File No. LR 88324)

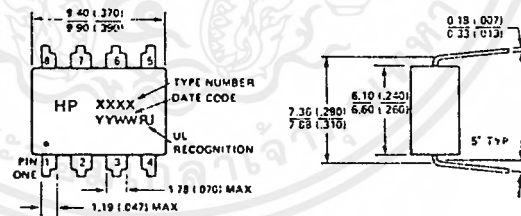
transistor collector increase the speed up to a hundred times over that of a conventional photo-transistor coupler by reducing the base-collector capacitance.

The 6N135 is for use in TTL/CMOS, TTL/LSTTL or wide bandwidth analog applications. Current transfer ratio (CTR) for

the 6N135 is 7% minimum at $I_F = 16$ mA.

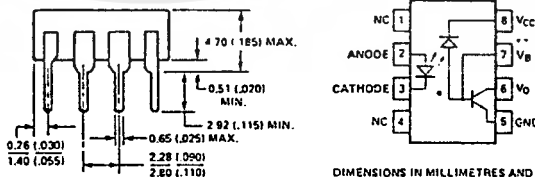
The 6N136 is designed for high speed TTL/TTL applications. A standard 16 mA TTL sink current through the input LED will provide enough output current for 1 TTL load and a 5.6 k Ω pull-up resistor. CTR of the 6N136 is 19% minimum at $I_F = 16$ mA.

Outline Drawing



Description

These diode-transistor optocouplers use an insulating layer between the light emitting diode and an integrated photon detector to provide electrical insulation between input and output. Separate connections for the photodiode bias and output



DIMENSIONS IN MILLIMETRES AND (INCHES).

*See notes, following page.

CAUTION: The small junction sizes inherent to the design of this bipolar component increases the component's susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The HCPL-2502 is suitable for use in applications where matched or known CTR is desired such as in the feedback path of switch-mode power supplies. CTR is 15 to 22% at $I_F = 16\text{mA}$.

The HCPL-4502 provides the electrical and switching performance of the 6N136 with increased ESD protection.

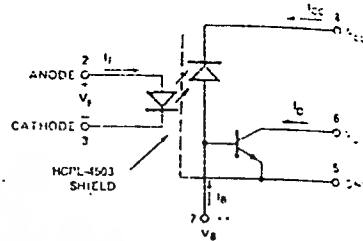
The HCPL-4503 is an HCPL-4502 with increased common mode transient immunity of 15000 V/ μs minimum at $V_{CM} = 1500$ guaranteed.

The HCPL-4504 is recommended for IPM (Intelligent Power Module) interfacing. The HCPL-4504 is similar to the HCPL-4503, but with increased speed and CTR (See HP sales representatives for details).

Applications

- Video Signal Isolation
- Line Receivers – High common mode transient immunity ($>1000\text{ V}/\mu\text{s}$) and low input-output capacitance (0.6 pF).
- High Speed Logic Ground Isolation – TTL/TTL, TTL/LTTL, TTL/CMOS, TTL/LSTTL.
- Replace Slow Phototransistor Isolators – Pins 2-7 of the 6N135/6 series conform to pins 1-6 of 6 pin phototransistor couplers. Pin 8 can be tied to any available bias voltage of 1.5 V to 30 V for high speed operation.
- Replace Pulse Transformers – Save board space and weight
- Analog Signal Ground Isolation – Integrated photon detector provides improved linearity over phototransistor type.

Schematic



NOTE: FOR HCPL-4502/3, PIN 7 IS NOT CONNECTED

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature*	-55°C to +125°C
Operating Temperature*	-55°C to 100°C
Lead Solder Temperature*	260°C for 10s (1.6 mm below seating plane)
Average Input Current – I_F *	25 mA ⁽¹⁾
Peak Input Current – I_F *	50 mA ⁽²⁾ (50% duty cycle, 1 ms pulse width)
Peak Transient Input Current – I_F *	1.0 A ($\leq 1\ \mu\text{s}$ pulse width, 300 pps)
Reverse Input Voltage – V_R * (Pin 3-2)	5 V
Input Power Dissipation*	45 mW ⁽³⁾
Average Output Current – I_O * (Pin 6)	8 mA
Peak Output Current*	16 mA
Emitter-Base Reverse Voltage*	5 V (Pin 5-7, except HCPL-4502/3)
Output Voltage* – V_O (Pin 6-5)	-0.5 V to 15 V
Supply Voltage* – V_{CC} (Pin 8-5)	-0.5 V to 15 V
Output Voltage – V_O (Pin 6-5)	-0.5 V to 20 V
Supply Voltage – V_{CC} (Pin 8-5)	-0.5 V to 30 V
Base Current – I_B * (Pin 7, except HCPL-4502/3)	5 mA
Output Power Dissipation*	100 mW ⁽⁴⁾

*JEDEC Registered Data (The HCPL-2502 and HCPL-4502/3 are not registered.)

Electrical Specifications

Over recommended temperature ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C) unless otherwise specified. See note 13.

Parameter	Symbol	Device	Min.	Typ.**	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note	
Current Transfer Ratio	CTR*	6N135	7	18	50	%	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$	$I_F = 16\text{ mA}$ $V_{CC} = 4.5\text{ V}$	1, 2 4	5, 11
			5	19			$V_O = 0.5\text{ V}$			
		6N136 HCPL4502 HCPL4503	19	24	50	%	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = 0.4\text{ V}$			
			15	25			$V_O = 0.5\text{ V}$			
Logic Low Output Voltage	V_{OL}	6N135		0.1	0.4	V	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 1.1\text{ mA}$	$I_F = 16\text{ mA}$ $V_{CC} = 4.5\text{ V}$		
					0.5		$I_O = 0.8\text{ mA}$			
		6N136 HCPL-2502 HCPL-4502 HCPL-4503		0.1	0.4	V	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_O = 3.0\text{ mA}$			
					0.5		$I_O = 2.4\text{ mA}$			
Logic High Output Current	I_{OH} *			0.003	0.5	μA	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = V_{CC} = 5.5\text{ V}$	$I_F = 0\text{ mA}$	6	
				0.01	1		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = V_{CC} = 15.0\text{ V}$			
					50					
Logic Low Supply Current	I_{CCL}			50	200	μA	$I_F = 16\text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$			13
Logic High Supply Current	I_{CCH} *			0.02	1 2	μA	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 0\text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$			13
Input Forward Voltage	V_F *		1.5		1.7	V	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 16\text{ mA}$	3	
					1.8					
Input Reverse Breakdown Voltage	BV_R *		5			V	$I_R = 10\text{ mA}$			
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\frac{\Delta V_F}{\Delta T_A}$			-1.6		mV/ $^\circ\text{C}$	$I_F = 16\text{ mA}$			
Input Capacitance	C_{IN}			60		pF	$f = 1\text{ MHz}$, $V_F = 0\text{ V}$			
Input-Output Isolation Voltage	I_{LO}					μA	45% RH, $t = 5\text{ s}$, $V_{LO} = 3\text{ kVdc}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$			6, 16
							V_{RMS}			RH < 50%, $t = 1\text{ min.}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$
	V_{ISO}	OPT. 020	5000	V_{RMS}						
Resistance (Input-Output)	R_{LO}				10^{12}	Ω	$V_{LO} = 500\text{ Vdc}$			6
Capacitance (Input-Output)	C_{LO}				0.6	pF	$f = 1\text{ MHz}$			6
Transistor DC Current Gain	h_{FE}			150			$V_O = 5\text{ V}$, $I_O = 3\text{ mA}$			
				130			$V_O = 0.4\text{ V}$, $I_b = 20\text{ }\mu\text{A}$			

*For JEDEC registered parts. **All typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Switching Specifications

Over recommended temperature ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C), $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = 16\text{ mA}$ unless otherwise specified.

Parameter	Sym.	Device	Min.	Typ.**	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Propagation Delay Time to Logic Low at Output	t_{PLL} *	6N135		0.2	1.5	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = 4.1\text{ k}\Omega$	5, 9, 11	8, 9
				2.0					
		6N136 HCPL-2502 HCPL-4502 HCPL-4503		0.2	0.8	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$		
				1.0					
Propagation Delay Time to Logic High at Output	t_{PLH} *	6N135		1.3	1.5	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = 4.1\text{ k}\Omega$	11	5, 9, 8, 9
				2.0					
		6N136 HCPL-2502 HCPL-4502 HCPL-4503		0.6	0.8	μs	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = 1.9\text{ k}\Omega$		
				1.0					
Common Mode Transient Immunity at Logic High Level Output	$ ICM_{IH} $	6N135		1		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$R_L = 4.1\text{ k}\Omega$ $I_F = 0\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 10\text{ V}_{P-P}$ $C_L = 15\text{ pF}$	10	7, 8, 9
		6N136 HCPL-2502 HCPL-4502		1					
		HCPL-4503	15	30					
Common Mode Transient Immunity at Logic Low Level Output	$ ICM_{IL} $	6N135		1		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$R_L = 4.1\text{ k}\Omega$ $I_F = 16\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 10\text{ V}_{P-P}$ $C_L = 15\text{ pF}$	10	7, 8, 9
		6N136 HCPL-2502 HCPL-4502		1					
		HCPL-4503	15	30					
Bandwidth	BW	6N135/6 HCPL-2502		9		MHz	See Test Circuit	7, 8	10

*JEDEC registered specification for 6N135/6.

**All typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Notes:

- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of $0.8\text{ mA}/^\circ\text{C}$.
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of $1.6\text{ mA}/^\circ\text{C}$.
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of $0.9\text{ mW}/^\circ\text{C}$.
- Derate linearly above 70°C free-air temperature at a rate of $2.0\text{ mW}/^\circ\text{C}$.
- CURRENT TRANSFER RATIO in percent is defined as the ratio of output collector current, I_O , to the forward LED input current, I_F , times 100.
- Device considered a two-terminal device: Pins 1, 2, 3, and 4 shorted together and Pins 5, 6, 7, and 8 shorted together.
- Common mode transient immunity in a Logic High level is the maximum tolerable (positive) dV_{CM}/dt on the leading edge of the common mode pulse, V_{CM} , to assure that the output will remain in a Logic High state (i.e., $V_O > 2.0\text{ V}$). Common mode transient immunity in a Logic Low level is the maximum tolerable (negative) dV_{CM}/dt on the trailing edge of the common mode pulse signal, V_{CM} , to assure that the output will remain in a Logic Low state (i.e., $V_O < 0.8\text{ V}$).
- The $1.9\text{ k}\Omega$ load represents 1 TTL unit load of 1.6 mA and the $5.6\text{ k}\Omega$ pull-up resistor.
- The $4.1\text{ k}\Omega$ load represents 1 LSTTL unit load of 0.36 mA and $6.1\text{ k}\Omega$ pull-up resistor.
- The frequency at which the ac output voltage is 3 dB below its mid-frequency value.
- The JEDEC registration for the 6N136 specifies a minimum CTR of 15%. HP guarantees a minimum CTR of 19%.
- See Option 020 data sheet for more information.
- Use of a $0.1\text{ }\mu\text{F}$ bypass capacitor connected between pins 5 and 8 is recommended.
- In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage $\geq 3000\text{ V}_{rms}$ for 1 second (leakage detection current limit, $I_{L+} \leq 5\text{ }\mu\text{A}$).
- In accordance with UL 1577, each optocoupler is proof tested by applying an insulation test voltage $\geq 6000\text{ V}_{rms}$ for 1 second (leakage detection current limit, $I_{L+} \leq 5\text{ }\mu\text{A}$).
- This rating is equally validated by an equivalent ac proof test.

Insulation Related Specifications

Parameter	Symbol	Value	Units	Conditions
Min. External Air Gap (Clearance)	L(I01)	> 7	mm	Measured from input terminals to output terminals
Min. External Tracking Path (Creepage)	L(I02)	> 7	mm	Measured from input terminals to output terminals
Min. Internal Plastic Gap (Clearance)		0.03	mm	Insulation thickness between emitter and detector
Tracking Resistance	CTI	175	Volts	DIN IEC 112/VDE 0303 Part 1
Isolation Group (Per DIN VDE 0109)		IIIa		Material Group DIN VDE 0109

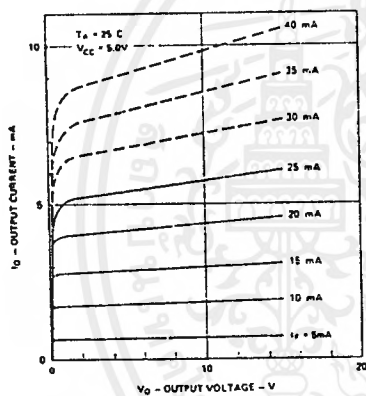


Figure 1. DC and Pulsed Transfer Characteristics.

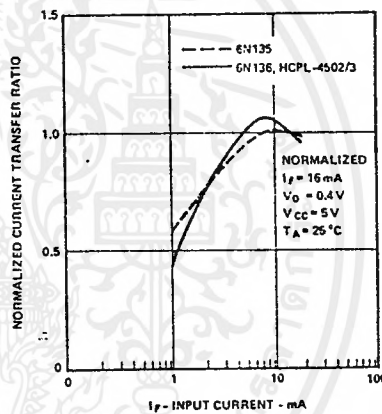


Figure 2. Current Transfer Ratio vs. Input Current.

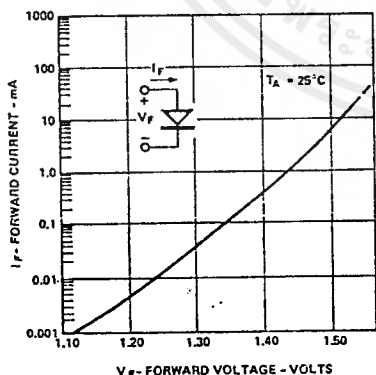


Figure 3. Input Current vs. Forward Voltage.

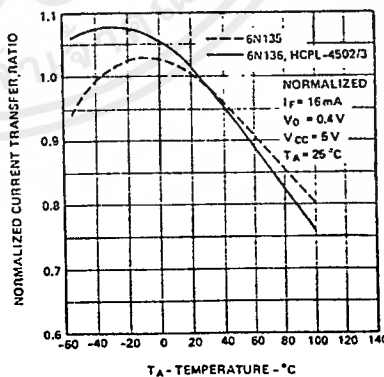


Figure 4. Current Transfer Ratio vs. Temperature.

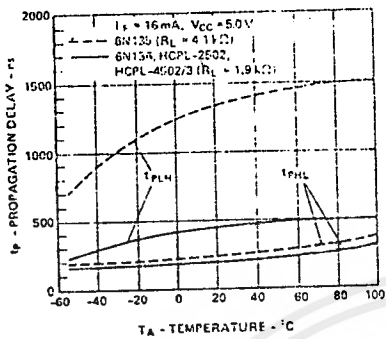


Figure 5. Propagation Delay vs. Temperature.

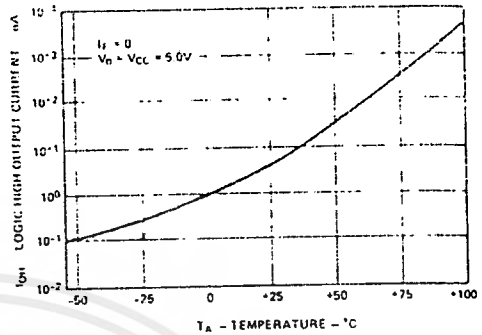


Figure 6. Logic High Output Current vs. Temperature.

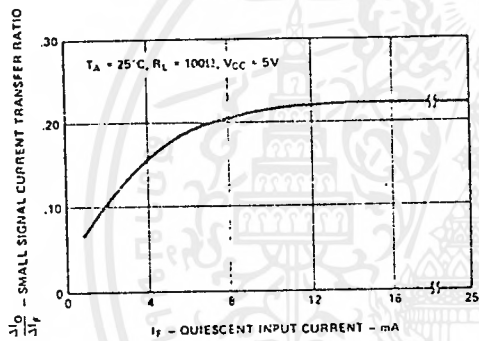


Figure 7. Small-Signal Current Transfer Ratio vs. Quiescent Input Current.

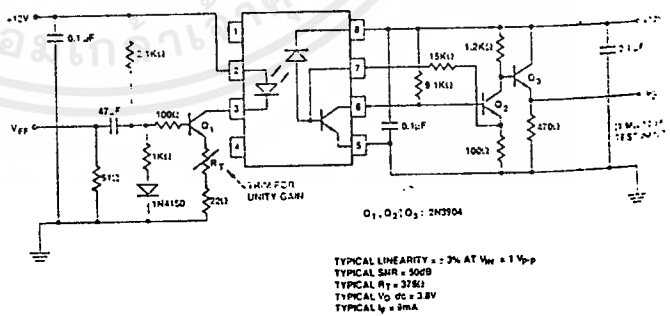
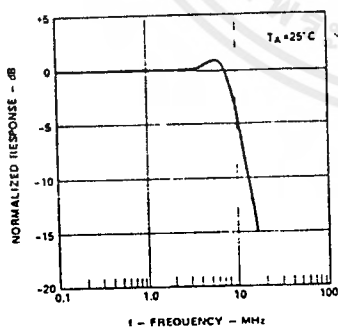


Figure 8. Frequency Response.

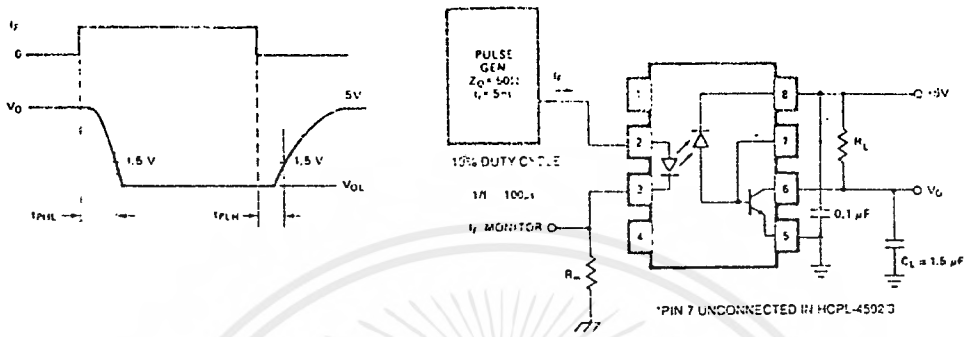


Figure 9. Switching Test Circuit.*

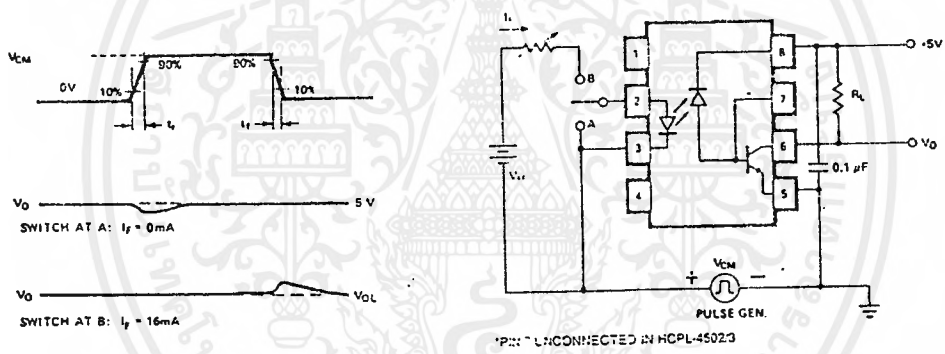


Figure 10. Test Circuit for Transient Immunity and Typical Waveforms.

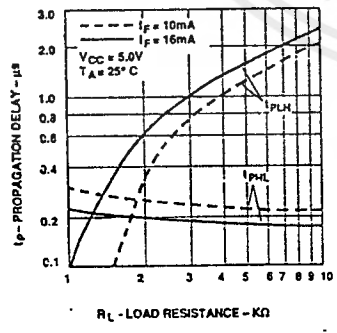


Figure 11. Propagation Delay Time vs. Load Resistance.
*JEDEC Registered Data

IR2130

3-PHASE BRIDGE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to +600V Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for all channels
- Over-current shutdown turns off all six drivers
- Independent half-bridge drivers
- Matched propagation delay for all channels
- Outputs out of phase with inputs

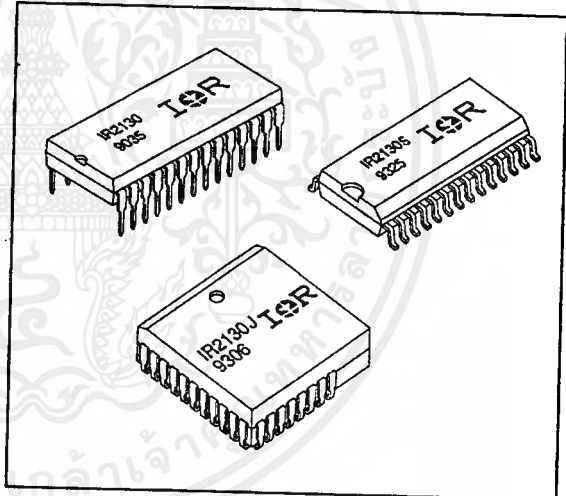
Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
$I_{O+/-}$	200 mA / 420 mA
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off} (typ.)$	675 & 425 ns
Deadtime (typ.)	2.5 μ s

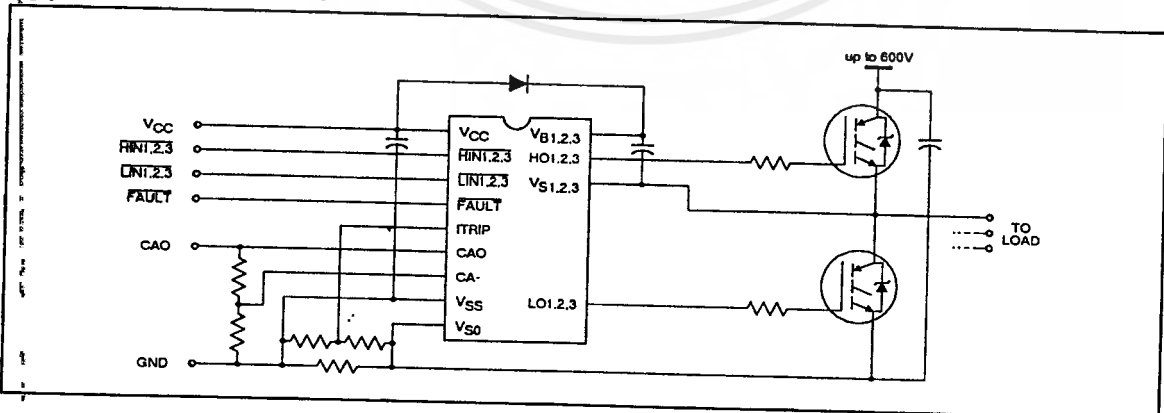
Description

The IR2130 is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with three independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC technology enables ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with 5V CMOS or LSTTL outputs. A ground-referenced operational amplifier provides analog feedback of bridge current via an external current sense resistor. A current trip function which terminates all six outputs is also derived from this resistor. An open drain FAULT signal indicates if an over-current or undervoltage shutdown has occurred. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use at high frequencies. The floating channels can be used to drive N-channel power MOSFETs or IGBTs in the high side configuration which operate up to 600 volts.

Packages



Typical Connection



Maximum Ratings

These ratings are absolute maximum ratings. Exceeding these ratings may damage the device. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is furnished in the package outline drawing.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V_{IH2S3}	High Side Floating Input Voltage	-0.5	5.2	V
$V_{I1,2S3}$	High Side Floating Offset Voltage	$V_{S1,2,3} - 1.23$	$+B_{0,3,1} + 1.3$	
$V_{HO1,2,3}$	High Side Floating Output Voltage	$-S_{1,3,1} + 1.2,3$	$+B_{0,3,1} + C_{,3}$	
V_{CD}	Low Side Input Voltage	-0.5	2.0	
V_{S}	Logic Ground	0	0	
$V_{LO1,2,3}$	Low Side Output Voltage	$V_{CC} - 2.5$	$V_{IC} + 0.3$	
V_{IN}	Logic Input Voltage (HIN1,2,3, LIN1,2,3 & ITRIP)	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	
V_{FLT}	FAULT Output Voltage	$V_{SS} - 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	
V_{CAO}	Operational Amplifier Output Voltage	$3V_{CC} + 0$	$3C_{,1} V_{A,3}$	
V_{CA-}	Operational Amplifier Inverting Input Voltage	$V_{SS} - 0.3$	$V_{IC} + A_{0,3}$	
T_J	Junction Temperature	-55	150	°C
T_S	Storage Temperature	-55	150	
T_L	Lead Temperature (soldering)	-55	150	°C
P_D	Power Dissipation	50	1.5	
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction to Ambient	—	1.0	°C/W
	(28 Lead DIP)	—	2.0	
	(28 Lead SOIC)	—	83	
	(44 Lead PLCC)	—	78	°C/W
	(44 Lead PLCC)	—	63	

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. All voltage parameters are absolute voltages referenced to V_{S0} . The V_S offset rating is tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figure 54.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
$V_{B1,2,3}$	High Side Floating Supply Voltage	$V_{S1,2,3} + 10$	$V_{S1,2,3} + 20$	V
$V_{S1,2,3}$	High Side Floating Offset Voltage	Note 1	600	
$V_{HO1,2,3}$	High Side Floating Output Voltage	$V_{S1,2,3}$	$V_{B1,2,3}$	
V_{CC}	Low Side and Logic Fixed Supply Voltage	10	20	
V_{SS}	Logic Ground	-5	5	
$V_{LO1,2,3}$	Low Side Output Voltage	0	V_{CC}	
V_{IN}	Logic Input Voltage (HIN1,2,3, LIN1,2,3 & ITRIP)	V_{SS}	$V_{SS} + 5$	
V_{FLT}	FAULT Output Voltage	V_{SS}	V_{CC}	
V_{CAO}	Operational Amplifier Output Voltage	V_{SS}	5	
V_{CA-}	Operational Amplifier Inverting Input Voltage	V_{SS}	5	
T_A	Ambient Temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of ($V_{S0} - 5V$) to ($V_{S0} + 600V$). Logic state held for V_S of ($V_{S0} - 5V$) to ($V_{S0} - V_{BS}$).

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS1,2,3}) = 15V, V_{S0,1,2,3} = V_{SS}, C_L = 1000 pF and T_A = 25°C unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are defined in Figures 3 through 5.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
t _{on}	Turn-On Propagation Delay	11	500	675	850	ns	V _{IN} = 0 & 5V V _{S1,2,3} = 0 to 600V
t _{off}	Turn-Off Propagation Delay	12	300	425	550		
t _r	Turn-On Rise Time	13	—	80	125		
t _f	Turn-Off Fall Time	14	—	35	55		
t _{ITrip}	ITRIP to Output Shutdown Prop. Delay	15	400	660	920		
t _{ITrip}	ITRIP Blanking Time	—	—	400	—		
t _{ITrip}	ITRIP to FAULT Indication Delay	16	335	590	845		
t _{filin}	Input Filter Time (All Six Inputs)	—	—	310	—	μs	V _{IN} , V _{ITRIP} = 0 & 5V V _{IN} = 0 & 5V
t _{filcr}	LIN1,2,3 to FAULT Clear Time	17	6.0	9.0	12.0		
DT	Deadtime	18	1.3	2.5	3.7		
SR+	Operational Amplifier Slew Rate (+)	19	4.4	6.2	—		
SR-	Operational Amplifier Slew Rate (-)	20	2.4	3.2	—		

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS1,2,3}) = 15V, V_{S0,1,2,3} = V_{SS} and T_A = 25°C unless otherwise specified. The V_{IN}, V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all six logic input leads: HIN1,2,3 & LIN1,2,3. The V_O and I_O parameters are referenced to V_{S0,1,2,3} and are applicable to the respective output leads: HO1,2,3 or LO1,2,3.

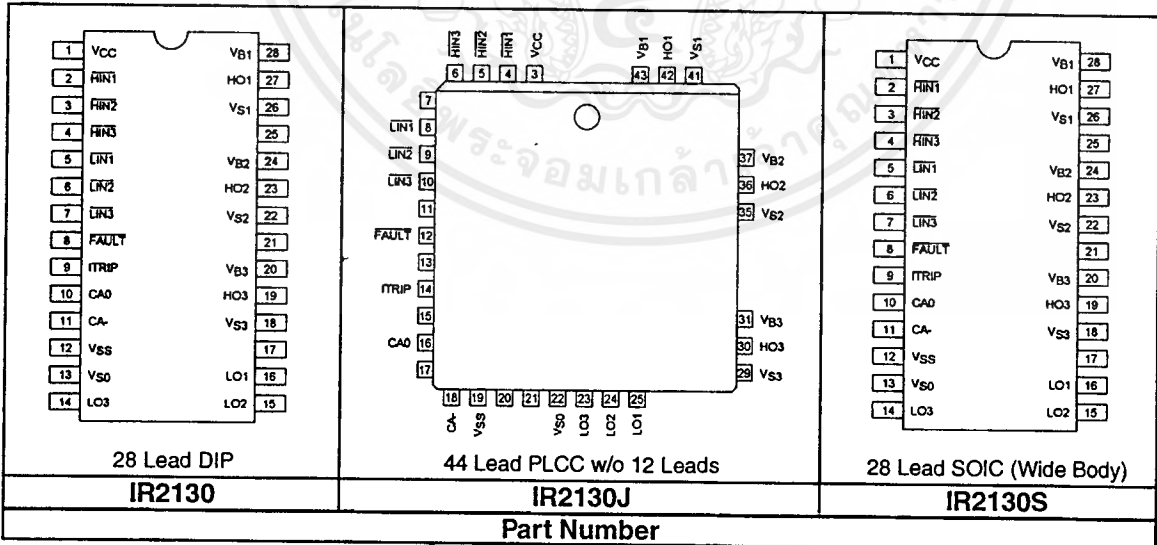
Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
V _{IH}	Logic "0" Input Voltage (OUT = LO)	21	2.2	—	—	V	
V _{IL}	Logic "1" Input Voltage (OUT = HI)	22	—	—	0.8		
V _{IT,TH+}	ITRIP Input Positive Going Threshold	23	400	490	580	mV	V _{IN} = 0V, I _O = 0A V _{IN} = 5V, I _O = 0A
V _{OH}	High Level Output Voltage, V _{BIAS} - V _O	24	—	—	100		
V _{OL}	Low Level Output Voltage, V _O	25	—	—	100	μA	V _B = V _S = 600V V _{IN} = 0V or 5V
I _{LK}	Offset Supply Leakage Current	26	—	—	50		
I _{QBS}	Quiescent V _{BS} Supply Current	27	—	15	30	mA	V _{IN} = 0V or 5V
I _{QCC}	Quiescent V _{CC} Supply Current	28	—	3.0	4.0		
I _{IN+}	Logic "1" Input Bias Current (OUT = HI)	29	—	450	650	μA	V _{IN} = 0V V _{IN} = 5V
I _{IN-}	Logic "0" Input Bias Current (OUT = LO)	30	—	225	400		
I _{ITRIP+}	"High" ITRIP Bias Current	31	—	75	150	nA	ITRIP = 5V ITRIP = 0V
I _{ITRIP-}	"Low" ITRIP Bias Current	32	—	—	100		
V _{BSUV+}	V _{BS} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	33	7.5	8.35	9.2	V	
V _{BSUV-}	V _{BS} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	34	7.1	7.95	8.8		
V _{CCUV+}	V _{CC} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	35	8.3	9.0	9.7		
V _{CCUV-}	V _{CC} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	36	8.0	8.7	9.4		
R _{on,FLT}	FAULT Low On-Resistance	37	—	55	75	Ω	

Static Electrical Characteristics -- Continued

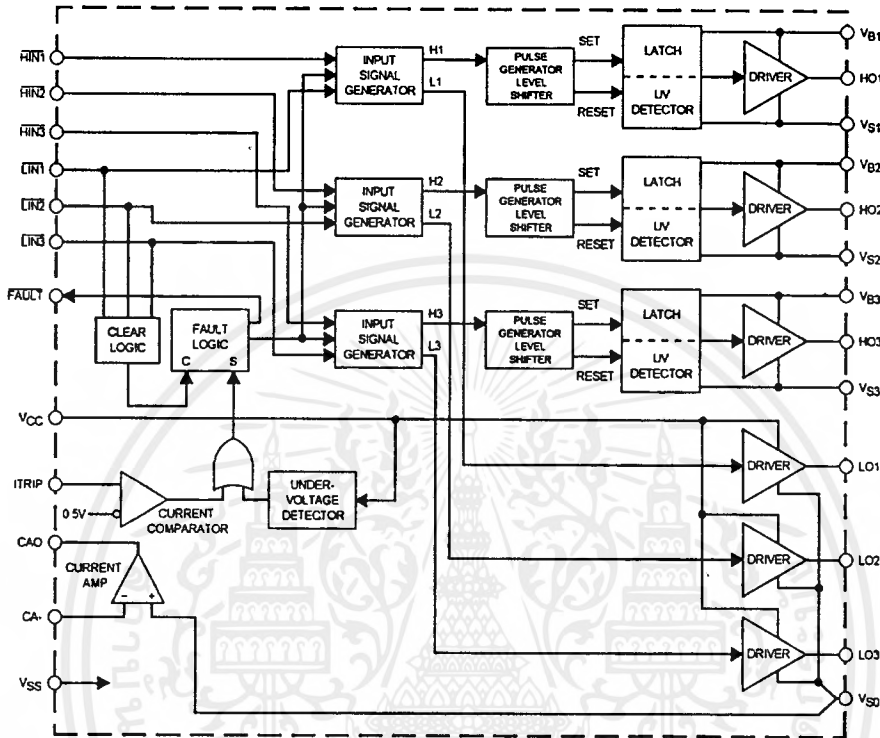
$V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS1,2,3}) = 15V$, $V_{S0,1,2,3} = V_{SS}$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all six logic input leads: $HIN1,2,3$ & $LIN1,2,3$. The V_O and I_O parameters are referenced to $V_{S0,1,2,3}$ and are applicable to the respective output leads: $HO1,2,3$ or $LO1,2,3$.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
I_{O+}	Output High Short Circuit Pulsed Current	38	200	250	—	mA	$V_O = 0V, V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output Low Short Circuit Pulsed Current	39	420	500	—		$V_O = 15V, V_{IN} = 5V$ $PW \leq 10 \mu s$
V_{OS}	Operational Amplifier Input Offset Voltage	40	—	—	30	mV	$V_{S0} = V_{CA-} = 0.2V$
I_{CA-}	CA- Input Bias Current	41	—	—	4.0	nA	$V_{CA-} = 2.5V$
CMRR	Op. Amp. Common Mode Rejection Ratio	42	60	80	—	dB	$V_{S0} = V_{CA-} = 0.1V$ & $5V$
PSRR	Op. Amp. Power Supply Rejection Ratio	43	55	75	—		$V_{S0} = V_{CA-} = 0.2V$ $V_{CC} = 10V$ & $20V$
$V_{OH,AMP}$	Op. Amp. High Level Output Voltage	44	5.0	5.2	5.4	V	$V_{CA-} = 0V, V_{S0} = 1V$
$V_{OL,AMP}$	Op. Amp. Low Level Output Voltage	45	—	—	20	mV	$V_{CA-} = 1V, V_{S0} = 0V$
$I_{SRC,AMP}$	Op. Amp. Output Source Current	46	2.3	4.0	—	mA	$V_{CA-} = 0V, V_{S0} = 1V$ $V_{CAO} = 4V$
$I_{SRK,AMP}$	Op. Amp. Output Sink Current	47	1.0	2.1	—		$V_{CA-} = 1V, V_{S0} = 0V$ $V_{CAO} = 2V$
$I_{O+,AMP}$	Operational Amplifier Output High Short Circuit Current	48	—	4.5	6.5	mA	$V_{CA-} = 0V, V_{S0} = 5V$ $V_{CAO} = 0V$
$I_{O-,AMP}$	Operational Amplifier Output Low Short Circuit Current	49	—	3.2	5.2		$V_{CA-} = 5V, V_{S0} = 0V$ $V_{CAO} = 5V$

Lead Assignments



Functional Block Diagram



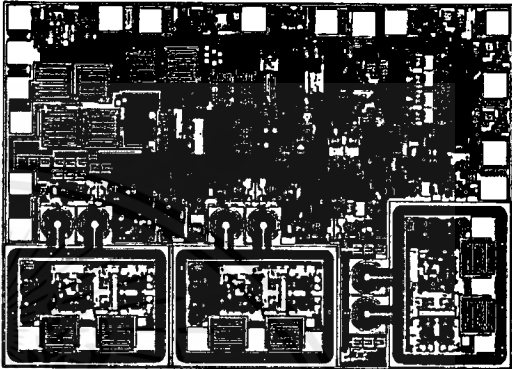
Lead Definitions

Lead	Symbol	Description
	HIN1,2,3	Logic inputs for high side gate driver outputs (HO1,2,3), out of phase
	LIN1,2,3	Logic inputs for low side gate driver output (LO1,2,3), out of phase
	FAULT	Indicates over-current or undervoltage lockout (low side) has occurred, negative logic
	VCC	Low side and logic fixed supply
	ITRIP	Input for over-current shutdown
	CAO	Output of current amplifier
	CA-	Negative input of current amplifier
	VSS	Logic ground
	VB1,2,3	High side floating supplies
	HO1,2,3	High side gate drive outputs
	VS1,2,3	High side floating supply returns
	LO1,2,3	Low side gate drive outputs
	VS0	Low side return and positive input of current amplifier

IR2130

International
IR Rectifier

Device Information

Process & Design Rule	HVDCMOS 4.0 μm	
Transistor Count	700	
Die Size	126 X 175 X 26 (mil)	
Die Outline		
Thickness of Gate Oxide	800Å	
Connections	Material	Poly Silicon
	First Layer	
	Width	4 μm
	Spacing	6 μm
	Thickness	5000Å
Second Layer	Material	Al - Si (Si: 1.0% \pm 0.1%)
	Width	6 μm
	Spacing	9 μm
	Thickness	20,000Å
Contact Hole Dimension	8 μm X 8 μm	
Insulation Layer	Material	PSG (SiO_2)
	Thickness	1.5 μm
Passivation (1)	Material	PSG (SiO_2)
	Thickness	1.5 μm
Passivation (2)	Material	Proprietary*
	Thickness	Proprietary*
Method of Saw	Full Cut	
Method of Die Bond	Ablebond 84 - 1	
Wire Bond	Method	Thermo Sonic
	Material	Au (1.0 mil / 1.3 mil)
Leadframe	Material	Cu
	Die Area	Ag
	Lead Plating	Pb : Sn (37 : 63)
Package	Types	28 Lead PDIP & SOIC / 44 Lead PLCC
	Materials	EME6300 / MP150 / MP190
Remarks:	* Patent Pending	

B-140 CONTROL INTEGRATED CIRCUIT DESIGNERS' MANUAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

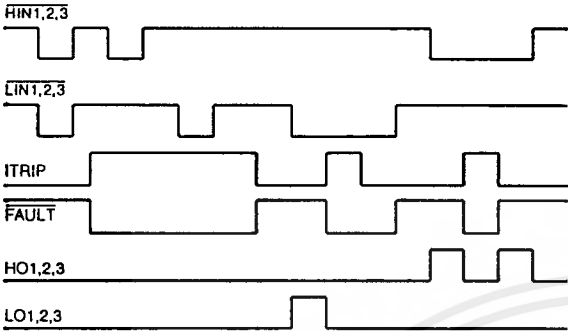


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

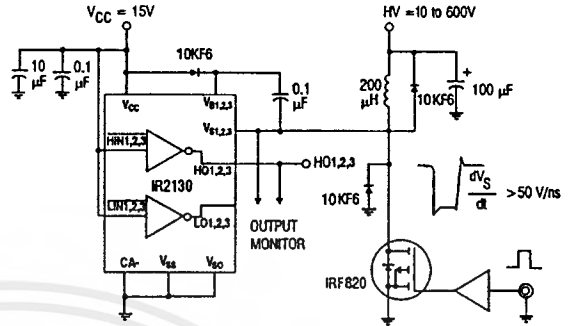


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

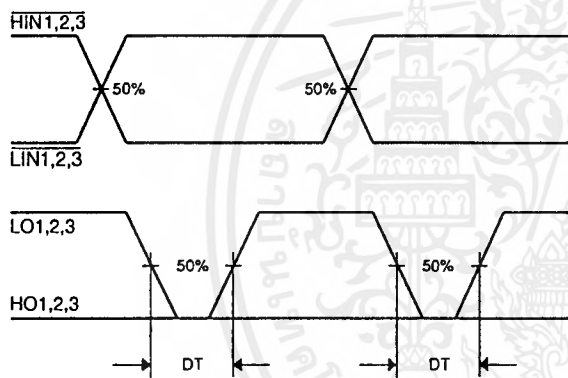


Figure 3. Deadtime Waveform Definitions

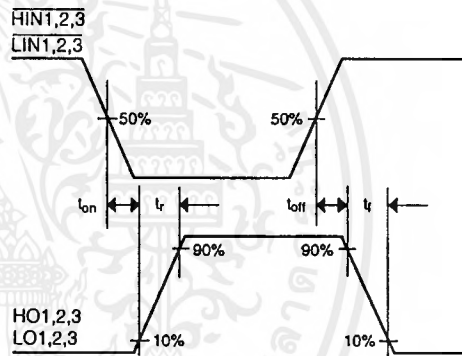


Figure 4. Input/Output Switching Time Waveform Definitions

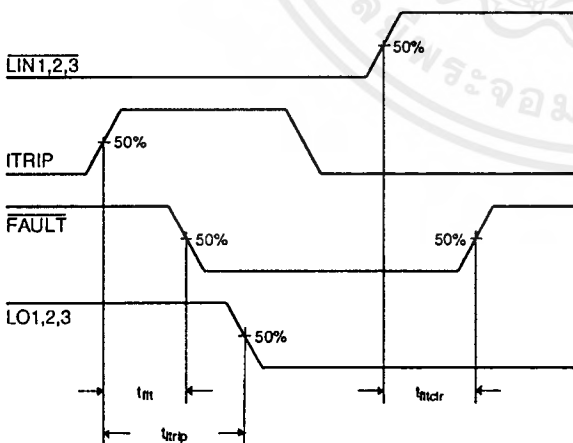


Figure 5. Overcurrent Shutdown Switching Time Waveform Definitions

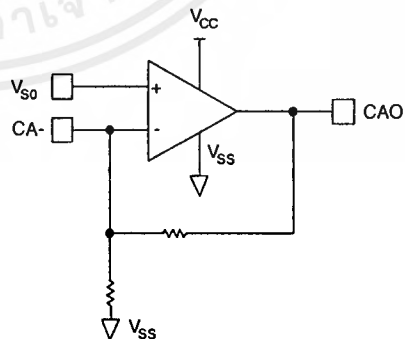


Figure 6. Diagnostic Feedback Operational Amplifier Circuit

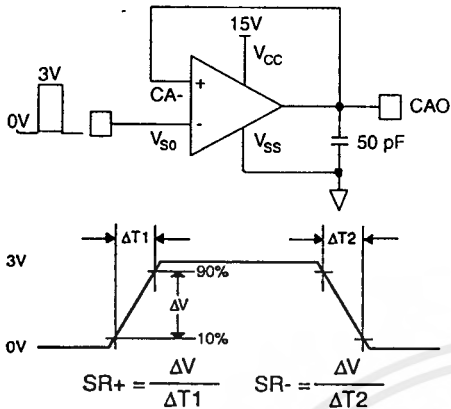


Figure 7. Operational Amplifier Slew Rate Measurement

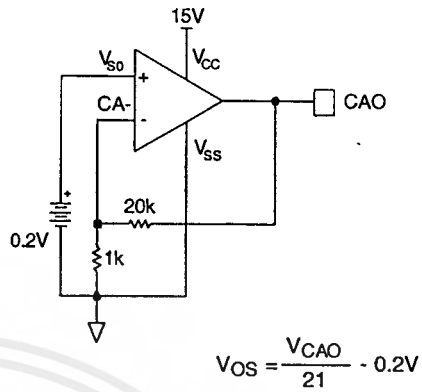
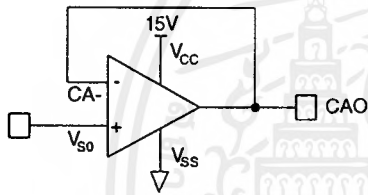
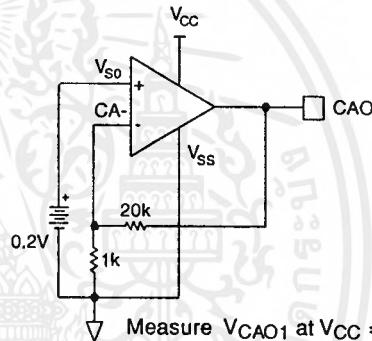


Figure 8. Operational Amplifier Input Offset Voltage Measurement



Measure V_{CAO1} at $V_{S0} = 0.1V$
 V_{CAO2} at $V_{S0} = 5V$
 $CMRR = -20 \cdot \text{LOG} \left| \frac{(V_{CAO1} - 0.1V) - (V_{CAO2} - 5V)}{4.9V} \right| \text{ (dB)}$

Figure 9. Operational Amplifier Common Mode Rejection Ratio Measurements



Measure V_{CAO1} at $V_{CC} = 10V$
 V_{CAO2} at $V_{CC} = 20V$
 $PSRR = -20 \cdot \text{LOG} \left| \frac{V_{CAO1} - V_{CAO2}}{(10V)(21)} \right|$

Figure 10. Operational Amplifier Power Supply Rejection Ratio Measurements

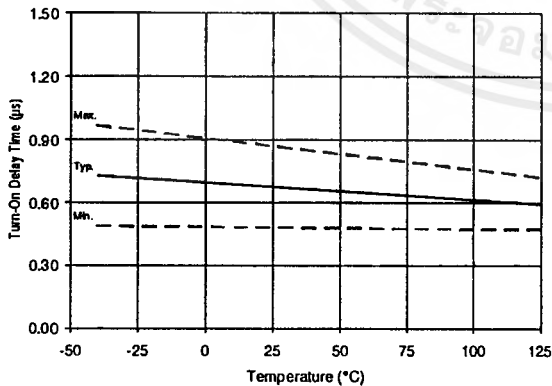


Figure 11A. Turn-On Time vs. Temperature

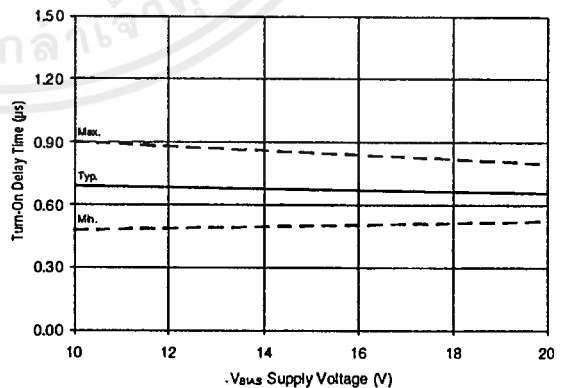


Figure 11B. Turn-On Time vs. Voltage

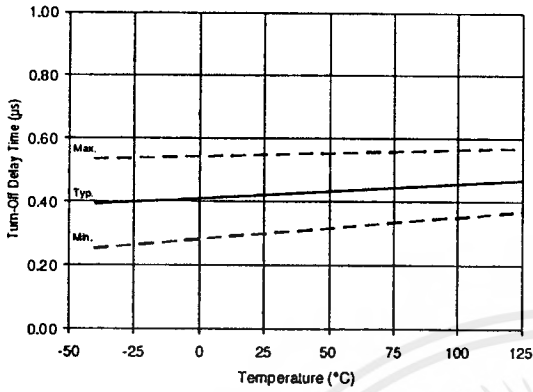


Figure 12A. Turn-Off Time vs. Temperature

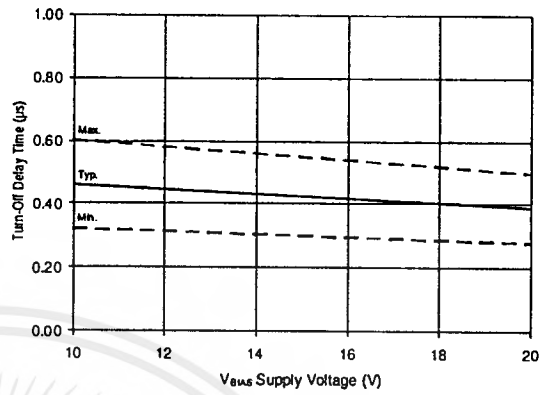


Figure 12B. Turn-Off Time vs. Voltage

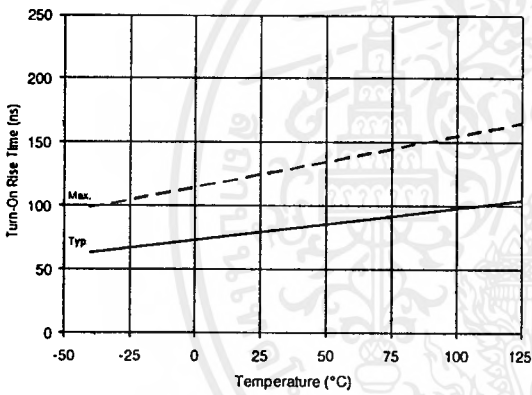


Figure 13A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

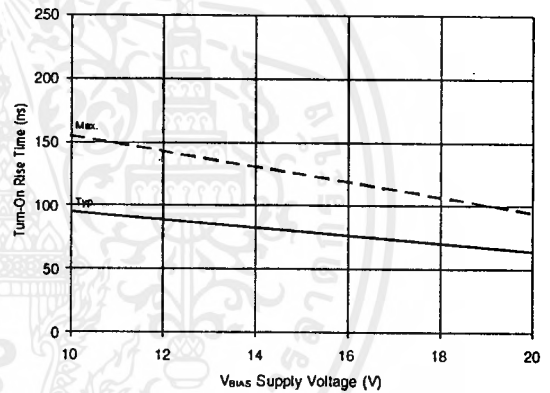


Figure 13B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

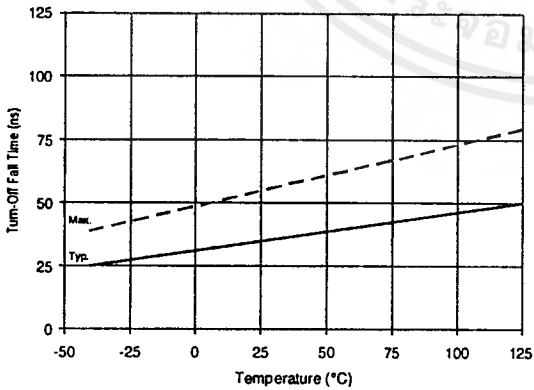


Figure 14A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

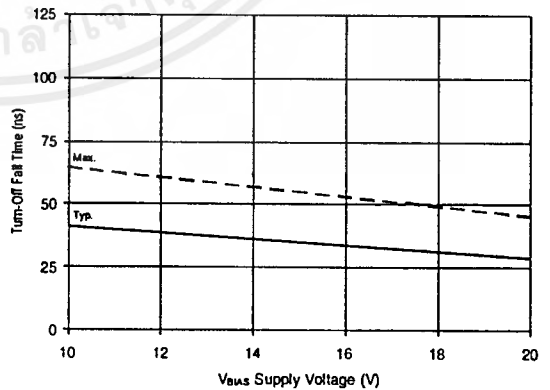


Figure 14B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

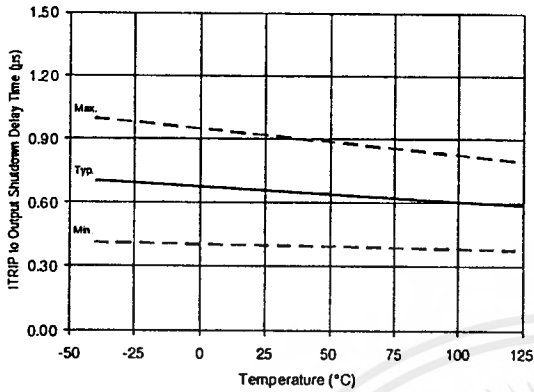


Figure 15A. ITRIP to Output Shutdown Time vs. Temperature

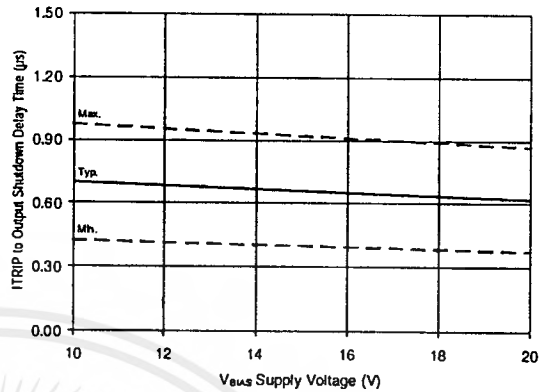


Figure 15B. ITRIP to Output Shutdown Time vs. Voltage

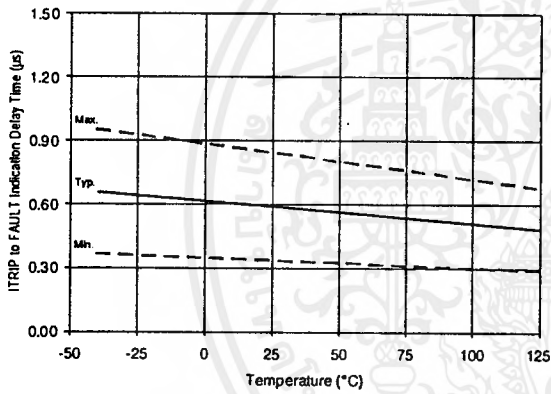


Figure 16A. ITRIP to FAULT Indication Time vs. Temperature

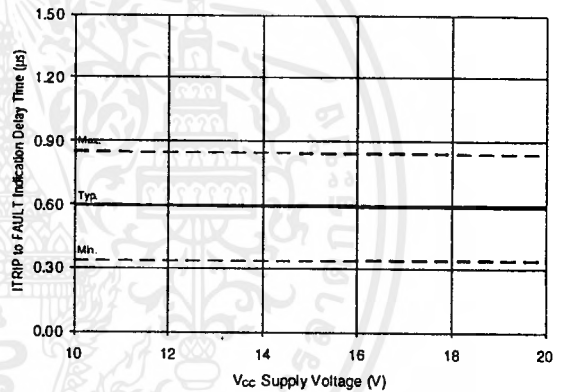


Figure 16B. ITRIP to FAULT Indication Time vs. Voltage

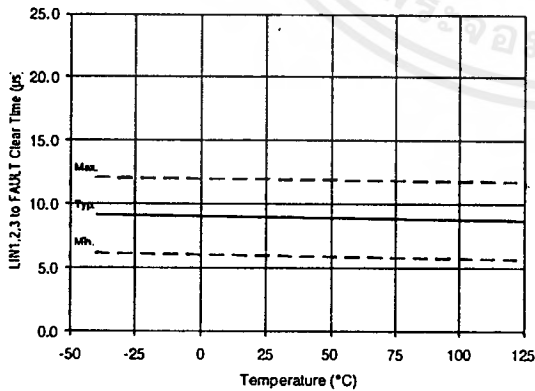


Figure 17A. LIN1,2,3 to FAULT Clear Time vs. Temperature

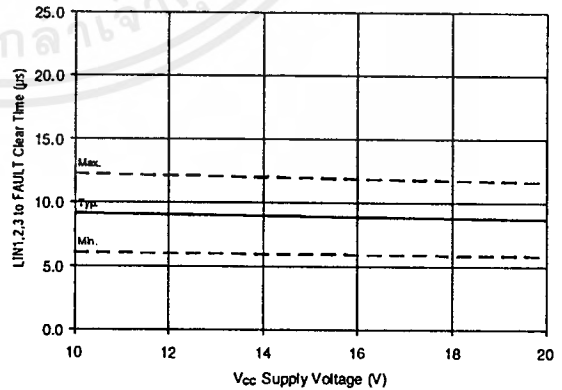


Figure 17B. LIN1,2,3 to FAULT Clear Time vs. Voltage

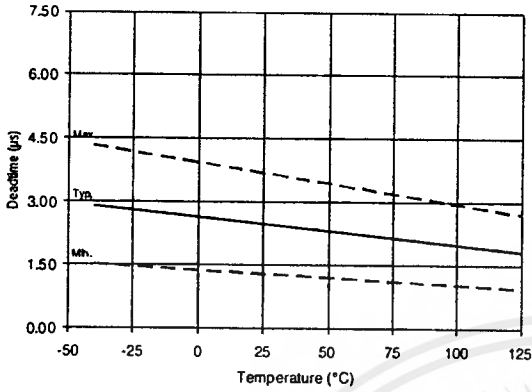


Figure 18A. Deadtime vs. Temperature

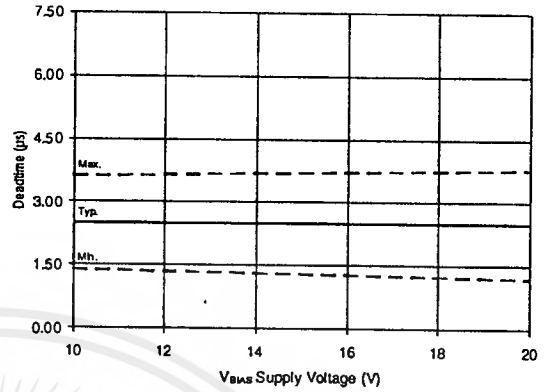


Figure 18B. Deadtime vs. Voltage

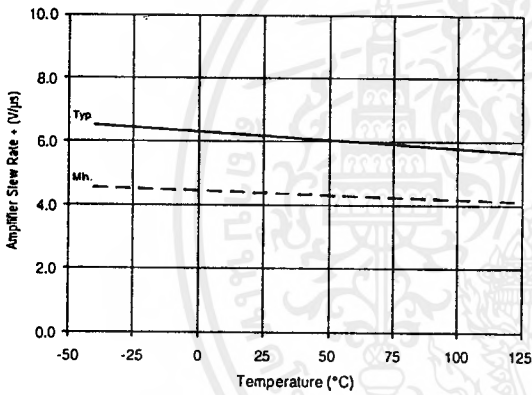


Figure 19A. Amplifier Slew Rate (+) vs. Temperature

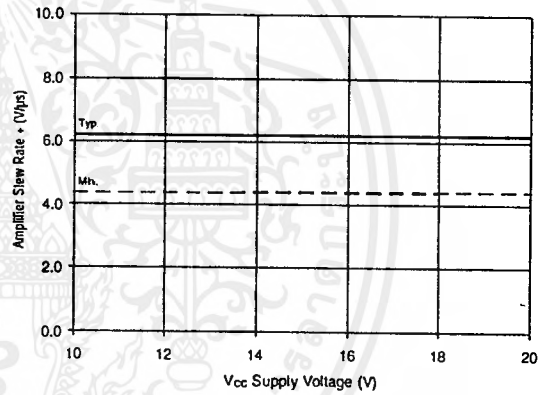


Figure 19B. Amplifier Slew Rate (+) vs. Voltage

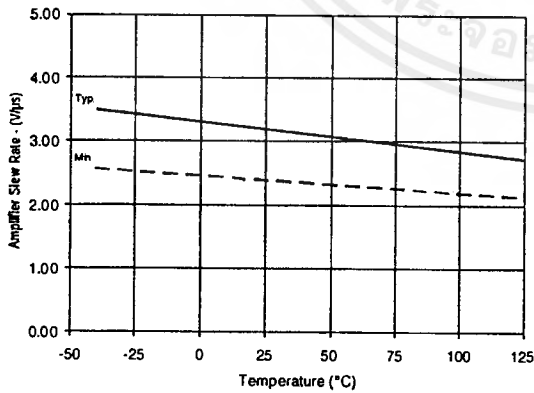


Figure 20A. Amplifier Slew Rate (-) vs. Temperature

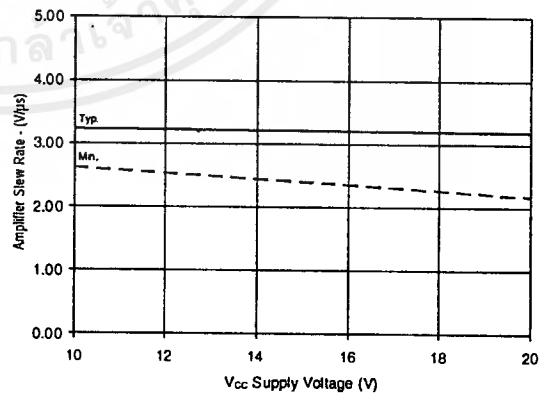


Figure 20B. Amplifier Slew Rate (-) vs. Voltage

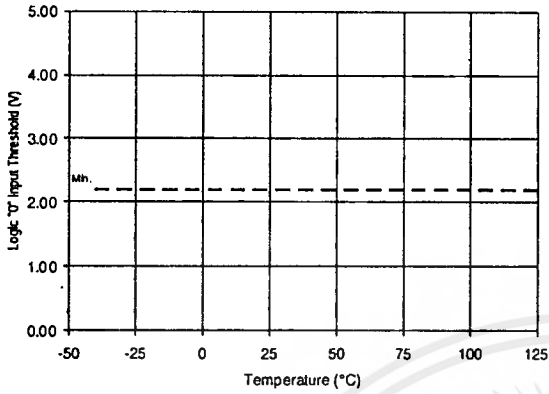


Figure 21A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

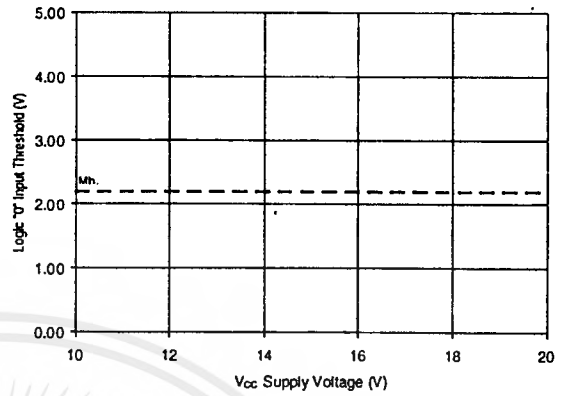


Figure 20B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

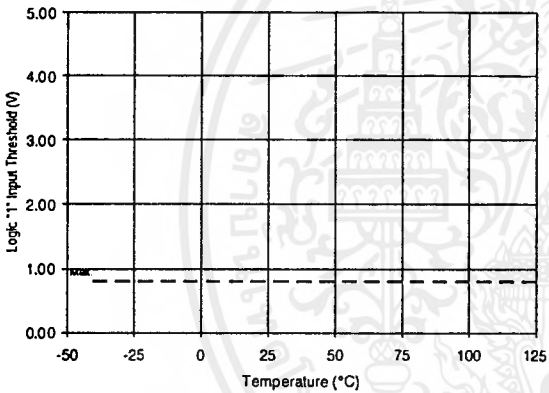


Figure 22A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

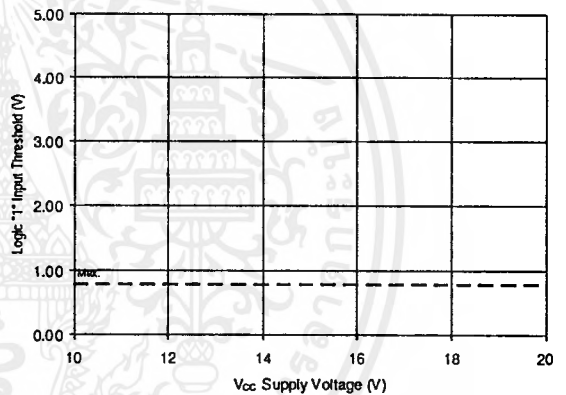


Figure 22B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

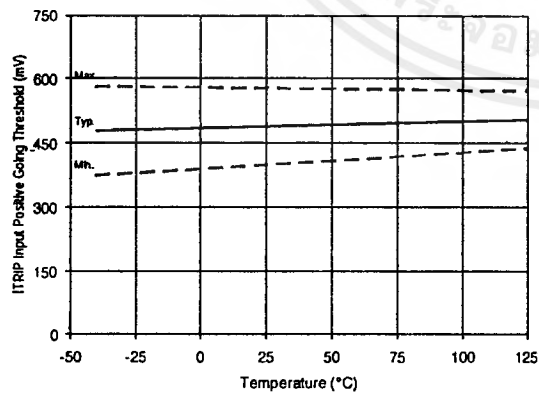


Figure 23A. ITRIP Input Positive Going Threshold vs. Temperature

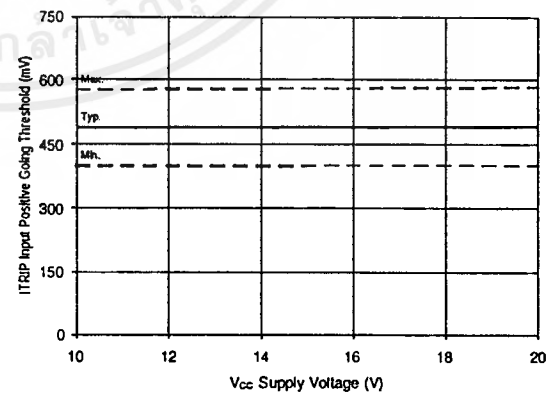


Figure 23B. ITRIP Input Positive Going Threshold vs. Voltage

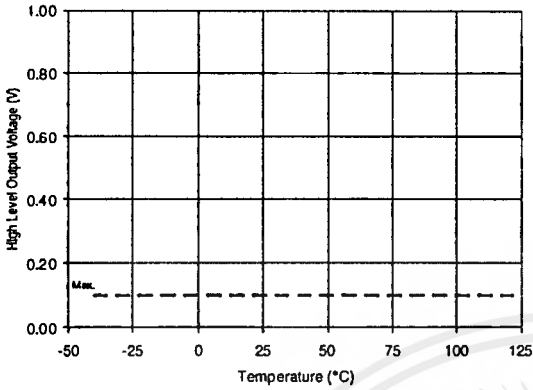


Figure 24A. High Level Output vs. Temperature

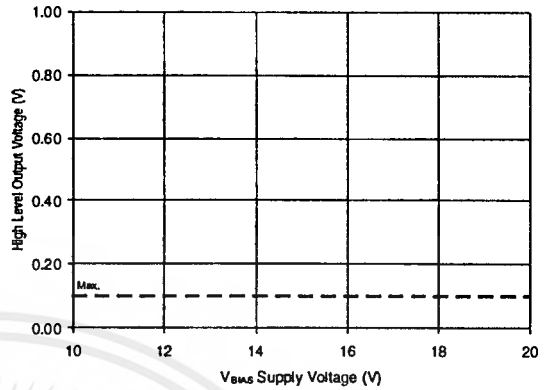


Figure 24B. High Level Output vs. Voltage

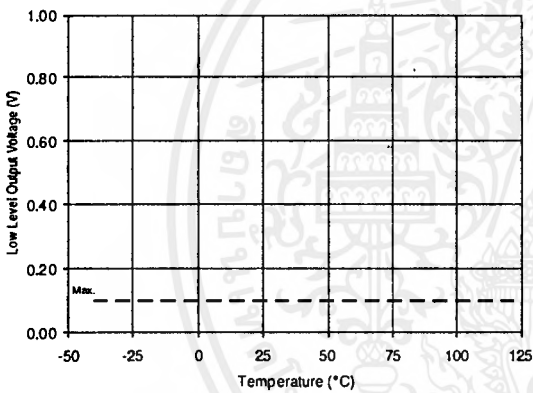


Figure 25A. Low Level Output vs. Temperature

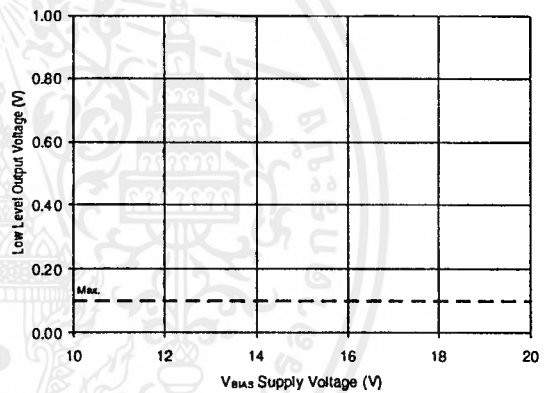


Figure 25B. Low Level Output vs. Voltage

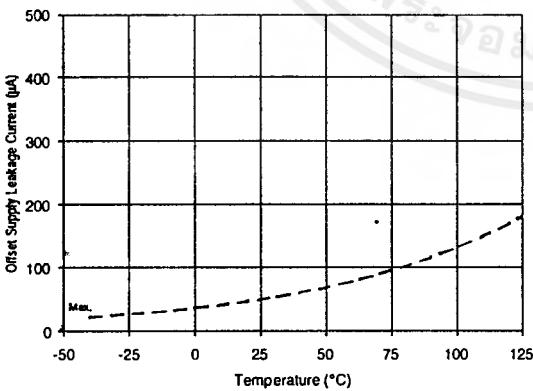


Figure 26A. Offset Supply Leakage Current vs. Temperature

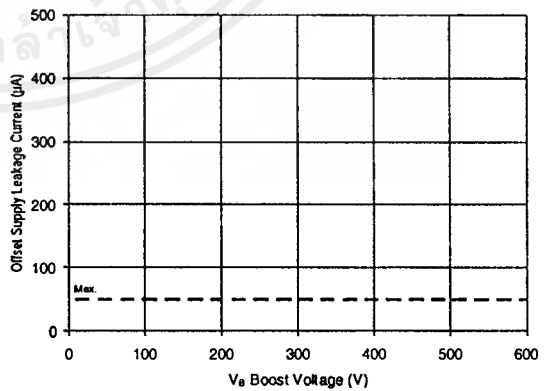


Figure 26B. Offset Supply Leakage Current vs. Voltage

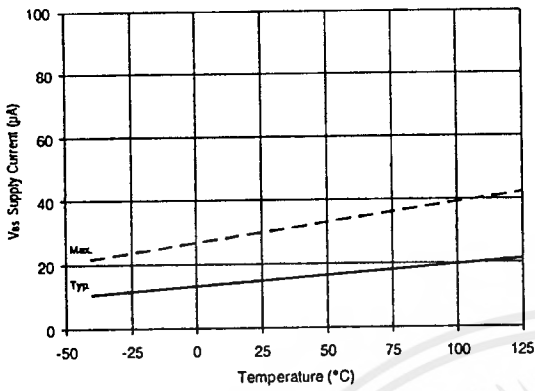


Figure 27A. V_{BS} Supply Current vs. Temperature

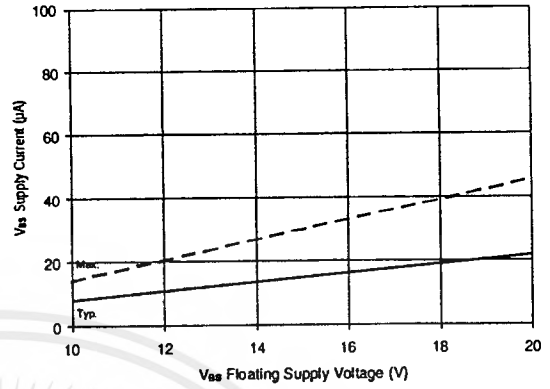


Figure 27B. V_{BS} Supply Current vs. Voltage

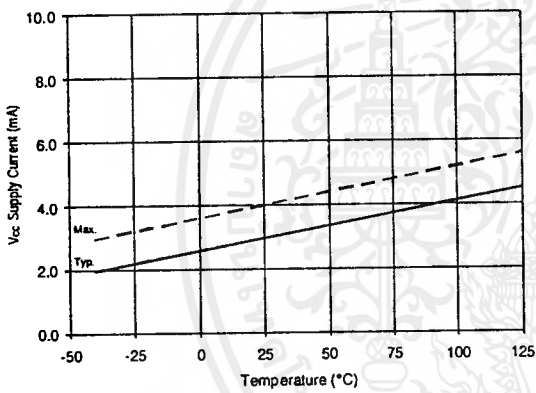


Figure 28A. V_{CC} Supply Current vs. Temperature

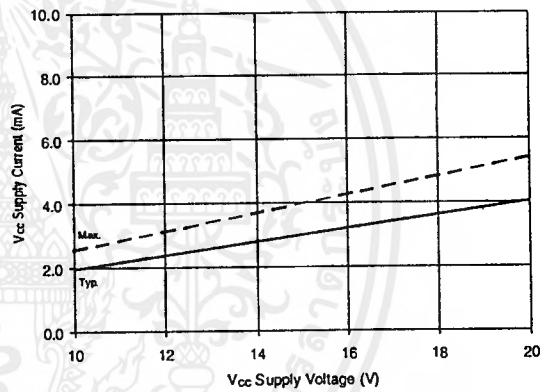


Figure 28B. V_{CC} Supply Current vs. Voltage

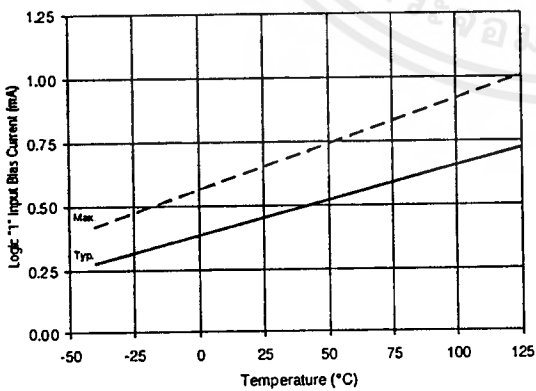


Figure 29A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

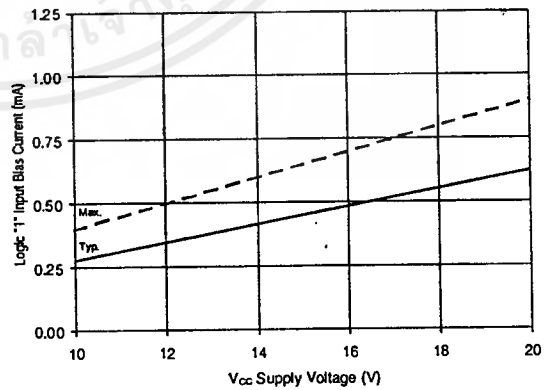


Figure 29A. Logic "1" Input Current vs. Voltage

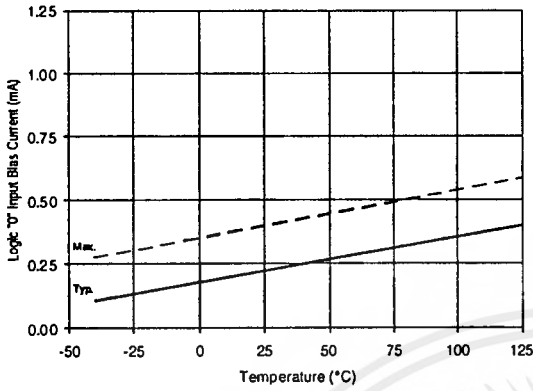


Figure 30A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

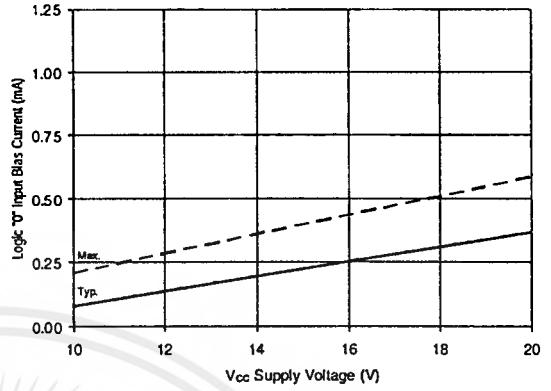


Figure 30B. Logic "0" Input Current vs. Voltage

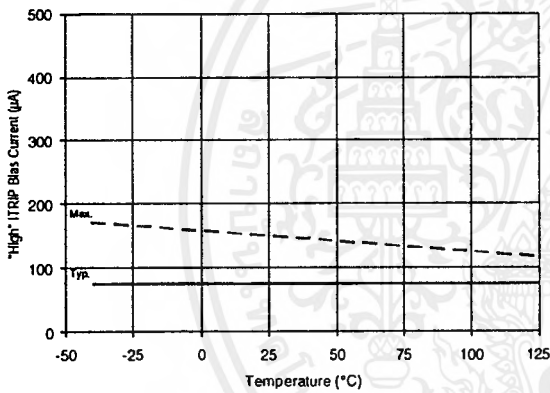


Figure 31A. "High" ITRIP Current vs. Temperature

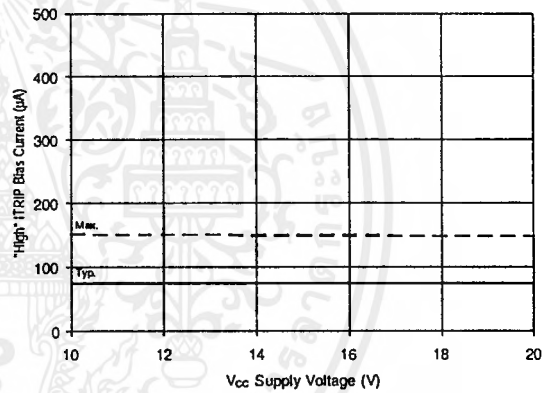


Figure 31B. "High" ITRIP Current vs. Voltage

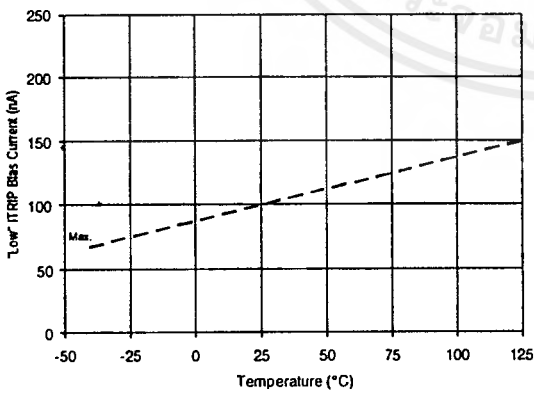


Figure 32A. "Low" ITRIP Current vs. Temperature

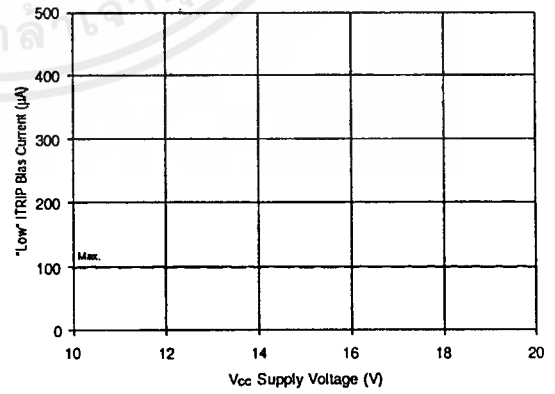


Figure 32B. "Low" ITRIP Current vs. Voltage

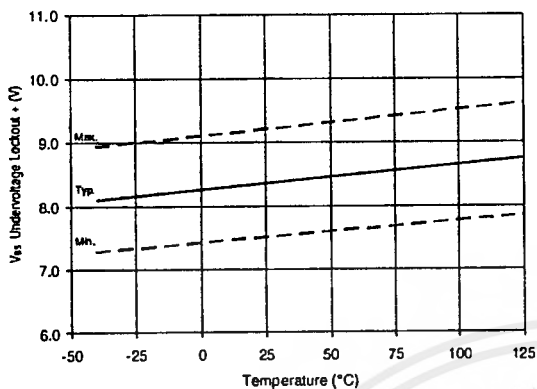


Figure 33. V_{BS} Undervoltage (+) vs. Temperature

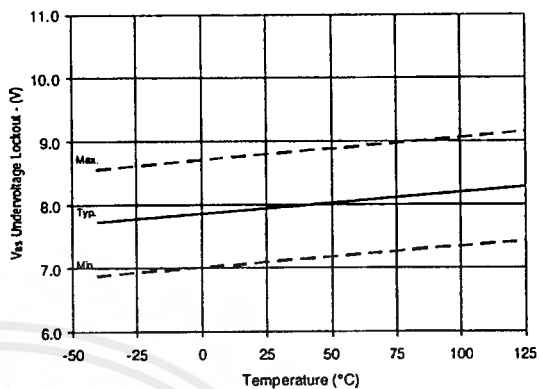


Figure 34. V_{BS} Undervoltage (-) vs. Temperature

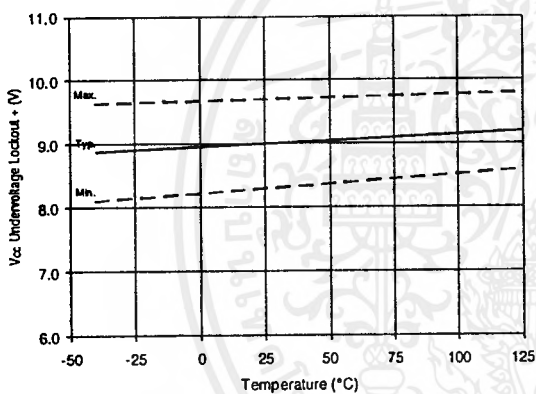


Figure 35. V_{CC} Undervoltage (+) vs. Temperature

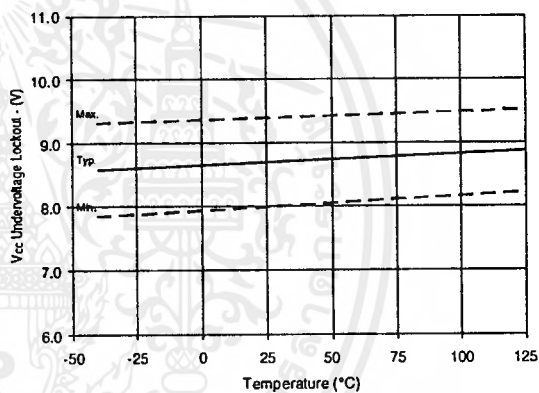


Figure 36. V_{CC} Undervoltage (-) vs. Temperature

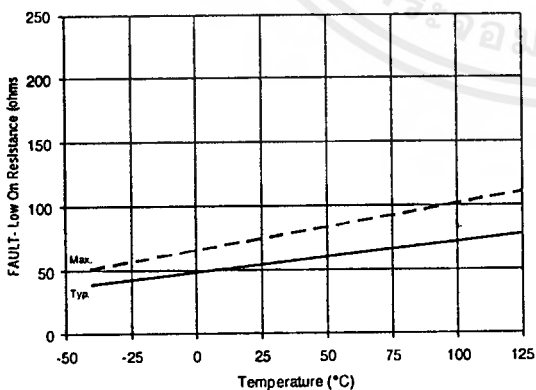


Figure 37A. $\overline{\text{FAULT}}$ Low On Resistance vs. Temperature

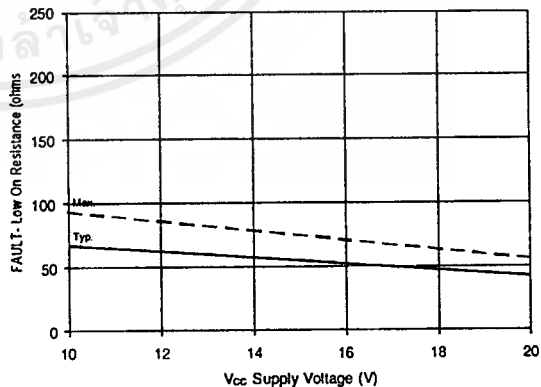


Figure 37B. $\overline{\text{FAULT}}$ Low On Resistance vs. Voltage

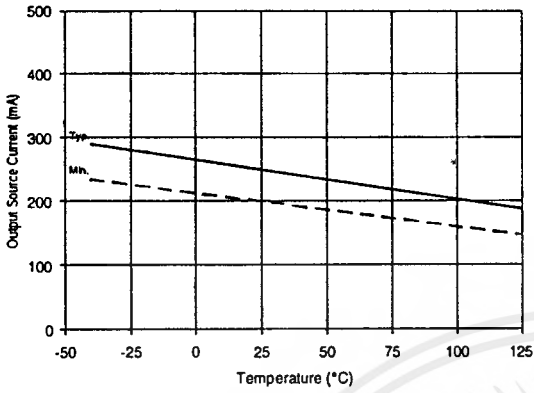


Figure 38A. Output Source Current vs. Temperature

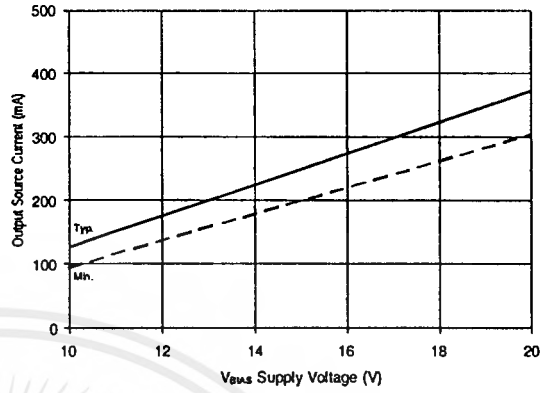


Figure 38B. Output Source Current vs. Voltage

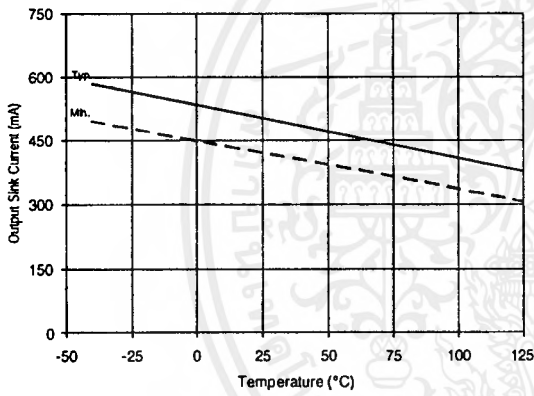


Figure 39A. Output Sink Current vs. Temperature

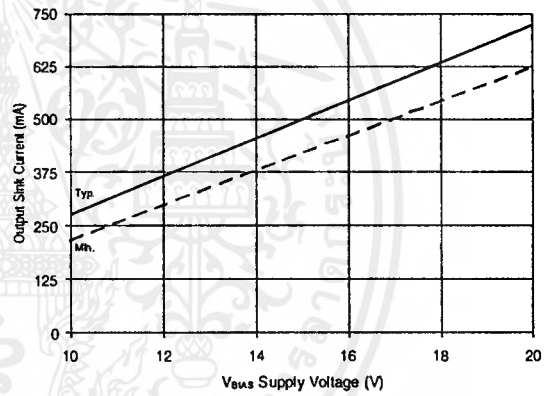


Figure 39B. Output Sink Current vs. Voltage

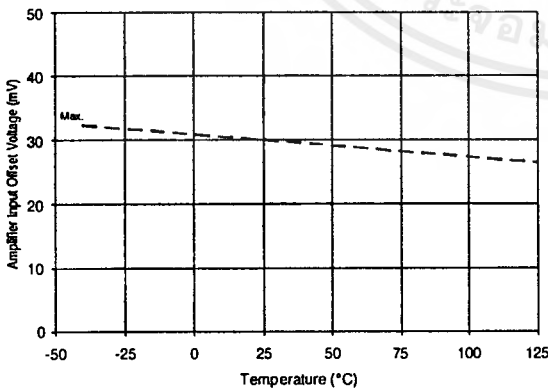


Figure 40A. Amplifier Input Offset vs. Temperature

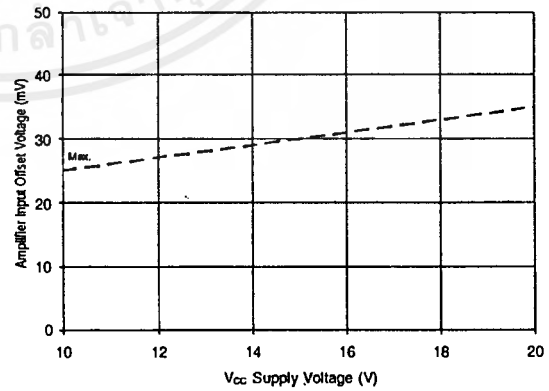


Figure 40B. Amplifier Input Offset vs. Voltage

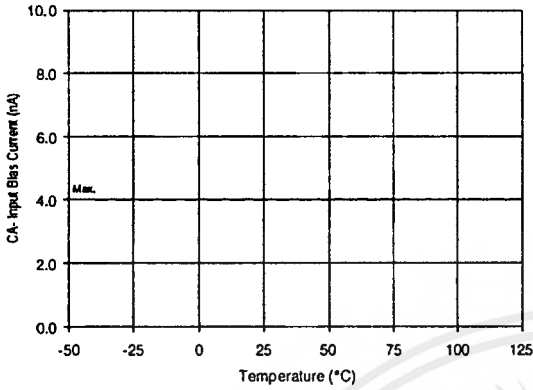


Figure 41A. CA- Input Current vs. Temperature

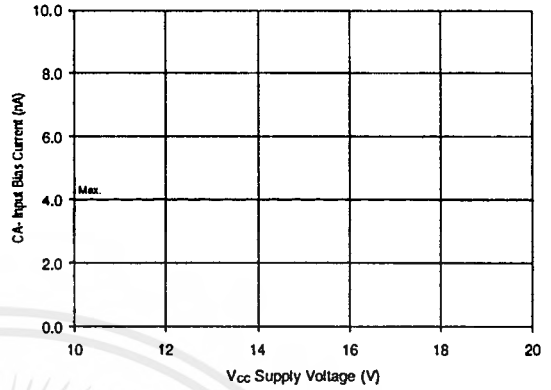


Figure 41B. CA- Input Current vs. Voltage

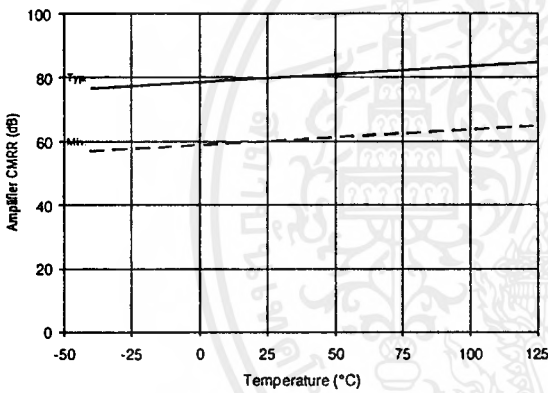


Figure 42A. Amplifier CMRR vs. Temperature

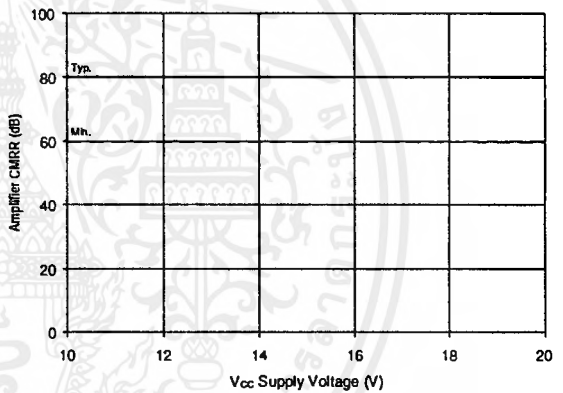


Figure 42B. Amplifier CMRR vs. Voltage

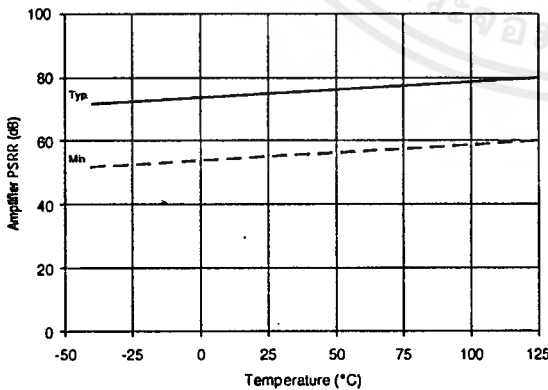


Figure 43A. Amplifier PSRR vs. Temperature

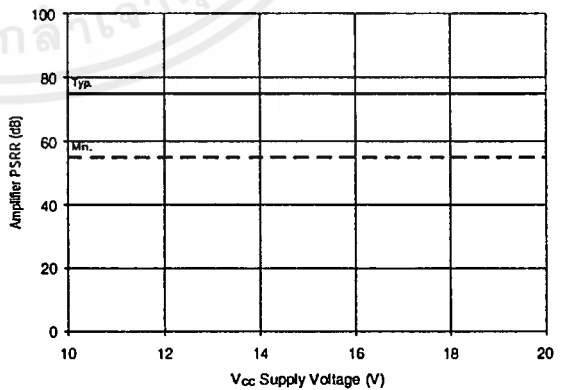


Figure 43B. Amplifier PSRR vs. Voltage

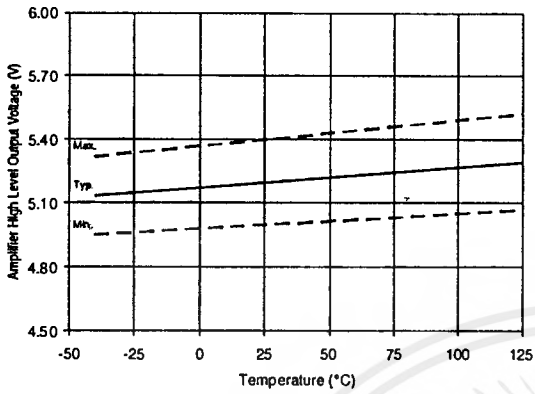


Figure 44A. Amplifier High Level Output vs. Temperature

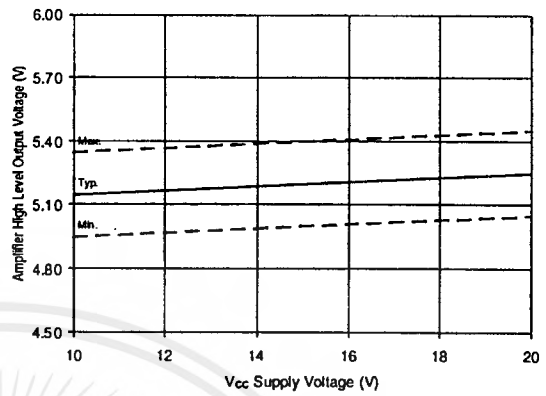


Figure 44B. Amplifier High Level Output vs. Voltage

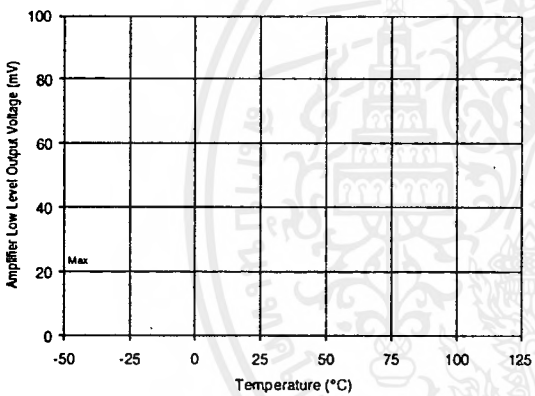


Figure 45A. Amplifier Low Level Output vs. Temperature

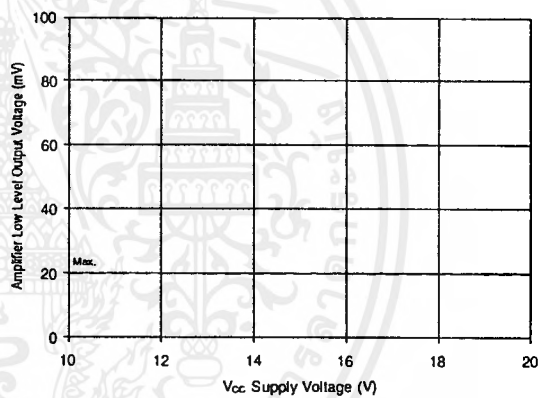


Figure 45B. Amplifier Low Level Output vs. Voltage

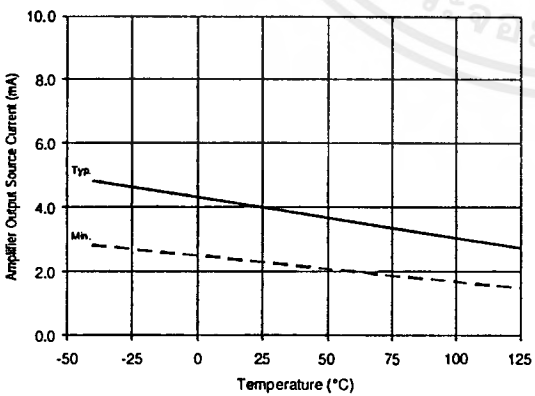


Figure 46A. Amplifier Output Source Current vs. Temperature

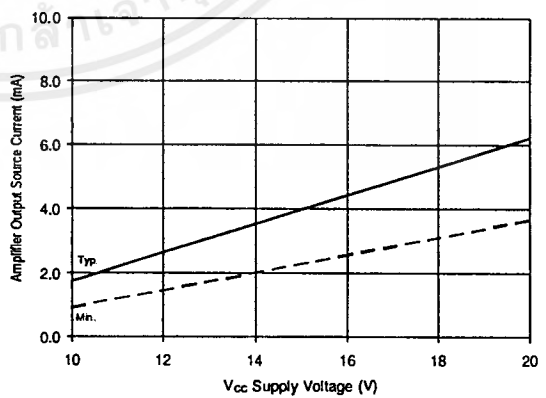


Figure 46B. Amplifier Output Source Current vs. Voltage

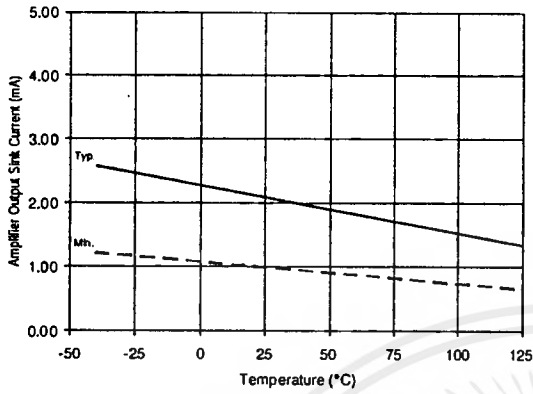


Figure 47A. Amplifier Output Sink Current vs. Temperature

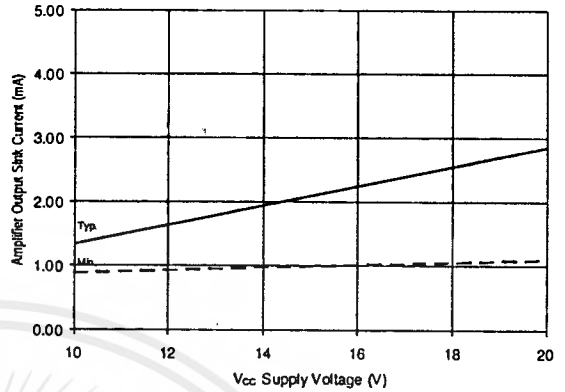


Figure 47B. Amplifier Output Sink Current vs. Voltage

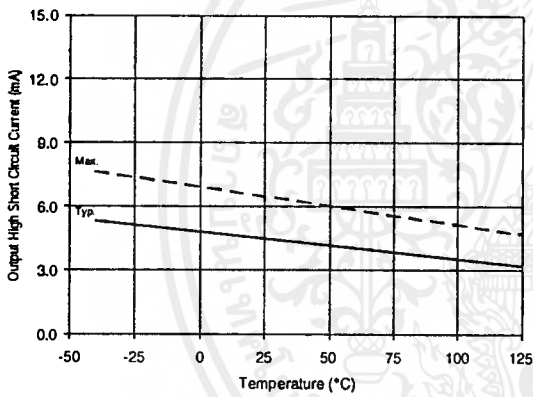


Figure 48A. Amplifier Output High Short Circuit Current vs. Temperature

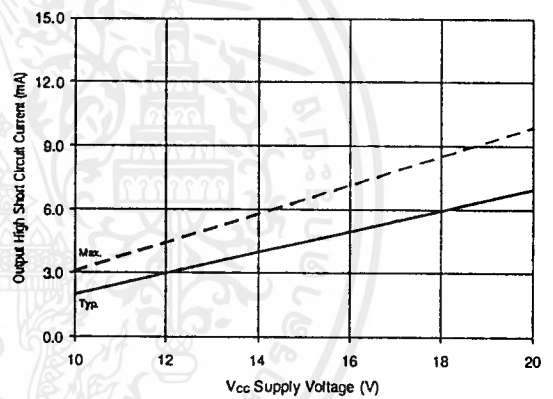


Figure 48B. Amplifier Output High Short Circuit Current vs. Voltage

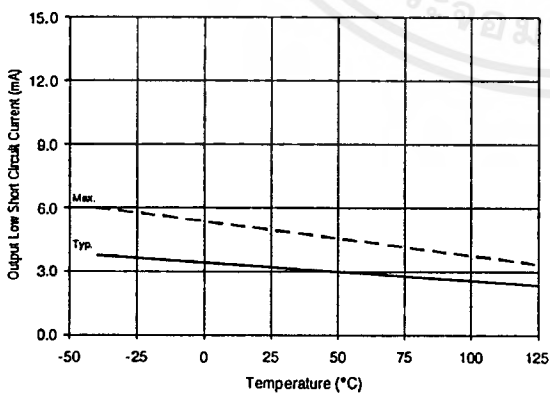


Figure 49A. Amplifier Output Low Short Circuit Current vs. Temperature

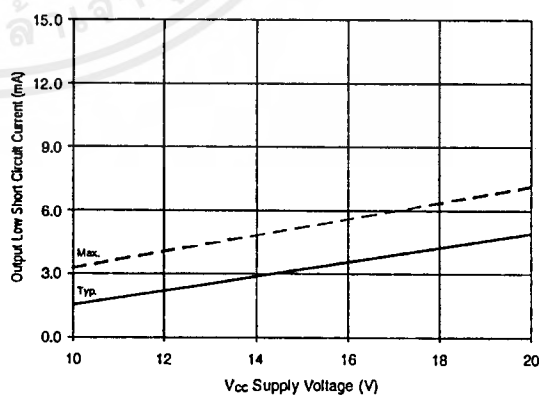


Figure 49B. Amplifier Output Low Short Circuit Current vs. Voltage

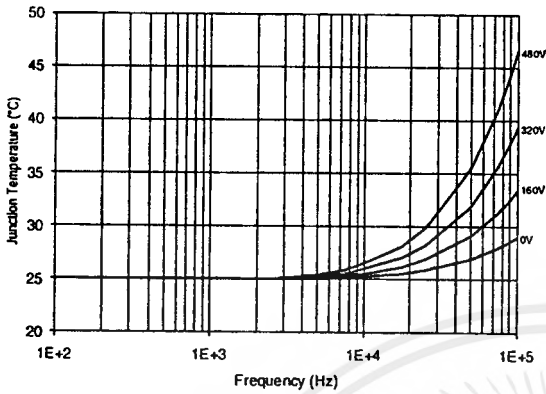


Figure 50. IR2130 T_J vs. Frequency (IRF820)
 $R_{GATE} = 33\Omega, V_{CC} = 15V$

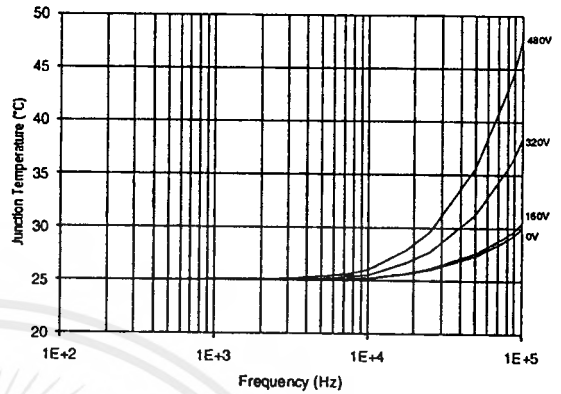


Figure 51. IR2130 T_J vs. Frequency (IRF830)
 $R_{GATE} = 20\Omega, V_{CC} = 15V$

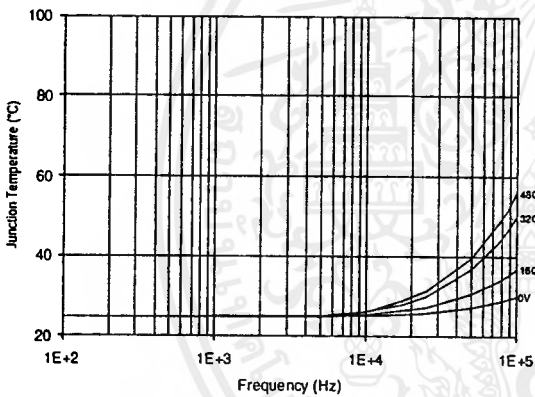


Figure 52. IR2130 T_J vs. Frequency (IRF840)
 $R_{GATE} = 15\Omega, V_{CC} = 15V$

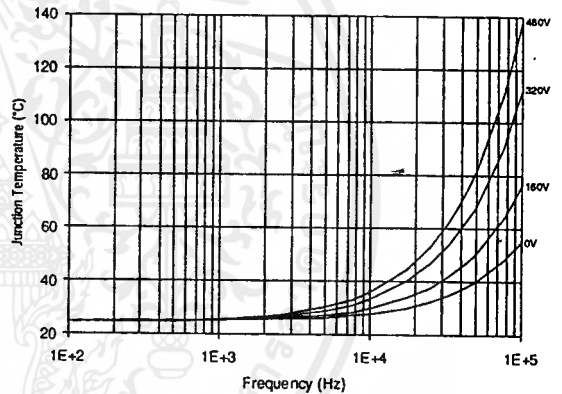


Figure 53. IR2130 T_J vs. Frequency (IRF450)
 $R_{GATE} = 10\Omega, V_{CC} = 15V$

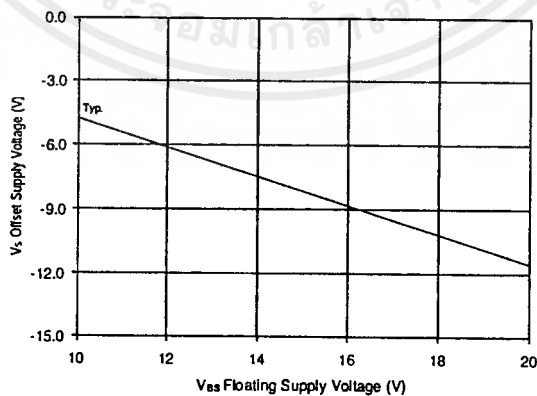


Figure 54. Maximum V_S Negative Offset vs. V_{BS} Supply Voltage

Designer's™ Data Sheet

Insulated Gate Bipolar Transistor with Anti-Parallel Diode

N-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate

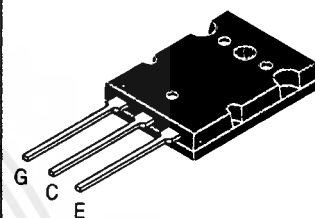
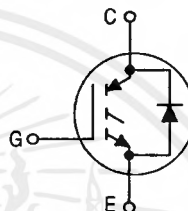
MGY30N60D

Motorola Preferred Device

IGBT & DIODE IN TO-264
30 A @ 90°C
50 A @ 25°C
600 VOLTS
SHORT CIRCUIT RATED

This Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) is co-packaged with a soft recovery ultra-fast rectifier and uses an advanced termination scheme to provide an enhanced and reliable high voltage-blocking capability. Short circuit rated IGBT's are specifically suited for applications requiring a guaranteed short circuit withstand time such as Motor Control Drives. Fast switching characteristics result in efficient operations at high frequencies. Co-packaged IGBT's save space, reduce assembly time and cost.

- Industry Standard High Power TO-264 Package (TO-3PBL)
- High Speed E_{off} : 60 μ J per Amp typical at 125°C
- High Short Circuit Capability – 10 μ s minimum
- Soft Recovery Free Wheeling Diode is included in the package
- Robust High Voltage Termination
- Robust RBSOA



CASE 340G-02, Style 5
TO-264

MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	600	Vdc
Collector-Gate Voltage ($R_{GE} = 1.0 \text{ M}\Omega$)	V_{CGR}	600	Vdc
Gate-Emitter Voltage — Continuous	V_{GE}	± 20	Vdc
Collector Current — Continuous @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ — Continuous @ $T_C = 90^\circ\text{C}$ — Repetitive Pulsed Current (1)	I_{C25} I_{C90} I_{CM}	50 30 100	Adc Apk
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	202 1.61	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150	°C
Short Circuit Withstand Time ($V_{CC} = 360 \text{ Vdc}$, $V_{GE} = 15 \text{ Vdc}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $R_G = 20 \Omega$)	t_{sc}	10	μ s
Thermal Resistance — Junction to Case — IGBT — Junction to Case — Diode — Junction to Ambient	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta Jc}$ $R_{\theta JA}$	0.62 1.41 35	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds	T_L	260	°C
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw		10 lbf•in (1.13 N•m)	

(1) Pulse width is limited by maximum junction temperature.

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. SOA Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า



MGY30N60D

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit				
OFF CHARACTERISTICS									
Collector-to-Emitter Breakdown Voltage (V _{GE} = 0 Vdc, I _C = 250 μAdc) Temperature Coefficient (Positive)	BV _{CES}	600 —	— 870	— —	Vdc mV/°C				
Zero Gate Voltage Collector Current (V _{CE} = 600 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc) (V _{CE} = 600 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, T _J = 125°C)	I _{CES}	— —	— —	100 2500	μAdc				
Gate-Body Leakage Current (V _{GE} = ± 20 Vdc, V _{CE} = 0 Vdc)	I _{GES}	—	—	250	nAdc				
ON CHARACTERISTICS (1)									
Collector-to-Emitter On-State Voltage (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 15 Adc) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 15 Adc, T _J = 125°C) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 30 Adc)	V _{CE(on)}	— — —	2.20 2.10 2.60	2.90 — 3.45	Vdc				
Gate Threshold Voltage (V _{CE} = V _{GE} , I _C = 1 mAdc) Threshold Temperature Coefficient (Negative)	V _{GE(th)}	4.0 —	6.0 10	8.0 —	Vdc mV/°C				
Forward Transconductance (V _{CE} = 10 Vdc, I _C = 30 Adc)	g _{fe}	—	15	—	Mhos				
DYNAMIC CHARACTERISTICS									
Input Capacitance	C _{ies}	—	4280	—	pF				
Output Capacitance						C _{oes}	—	225	—
Transfer Capacitance						C _{res}	—	19	—
(V _{CE} = 25 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, f = 1.0 MHz)									
SWITCHING CHARACTERISTICS (1)									
Turn-On Delay Time	(V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 30 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μH R _G = 20 Ω, T _J = 25°C) Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	76	ns				
Rise Time		t _r	—	80					
Turn-Off Delay Time		t _{d(off)}	—	348					
Fall Time		t _f	—	188					
Turn-Off Switching Loss		E _{off}	—	0.98	1.28	mJ			
Turn-On Switching Loss		E _{on}	—	2.00	—				
Total Switching Loss		E _{ts}	—	2.98	—				
Turn-On Delay Time		(V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 30 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μH R _G = 20 Ω, T _J = 125°C) Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	73	ns			
Rise Time			t _r	—	95				
Turn-Off Delay Time			t _{d(off)}	—	394				
Fall Time	t _f		—	418					
Turn-Off Switching Loss	E _{off}		—	1.90	—	mJ			
Turn-On Switching Loss	E _{on}		—	3.10	—				
Total Switching Loss	E _{ts}		—	5.00	—				
Gate Charge	(V _{CC} = 360 Vdc, I _C = 30 Adc, V _{GE} = 15 Vdc)		Q _T	—	150	nC			
			Q ₁	—	30				
			Q ₂	—	45				
DIODE CHARACTERISTICS									
Diode Forward Voltage Drop (I _{EC} = 15 Adc) (I _{EC} = 15 Adc, T _J = 125°C) (I _{EC} = 30 Adc)	V _{FEC}	— — —	1.30 1.10 1.45	1.80 — 2.05	Vdc				

(1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.

(continued)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — continued ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

DIODE CHARACTERISTICS — continued

Reverse Recovery Time	$(I_F = 30 \text{ A dc}, V_R = 360 \text{ V dc}, di/dt = 200 \text{ A}/\mu\text{s})$	t_{rr}	—	153	—	ns
		t_a	—	82	—	
		t_b	—	71	—	
Reverse Recovery Stored Charge		Q_{RR}	—	2.3	—	μC
Reverse Recovery Time	$(I_F = 30 \text{ A dc}, V_R = 360 \text{ V dc}, di/dt = 200 \text{ A}/\mu\text{s}, T_J = 125^\circ\text{C})$	t_{rr}	—	208	—	ns
		t_a	—	117	—	
		t_b	—	91	—	
Reverse Recovery Stored Charge		Q_{RR}	—	3.8	—	μC

INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE

Internal Emitter Inductance (Measured from the emitter lead 0.25" from package to emitter bond pad)	L_E	—	13	—	nH
--	-------	---	----	---	----

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

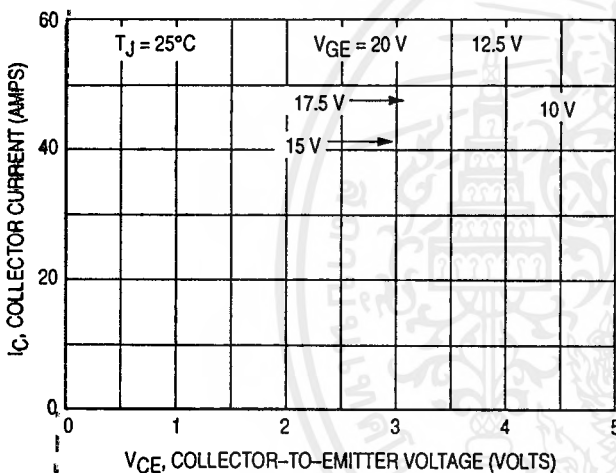


Figure 1. Output Characteristics, $T_J = 25^\circ\text{C}$

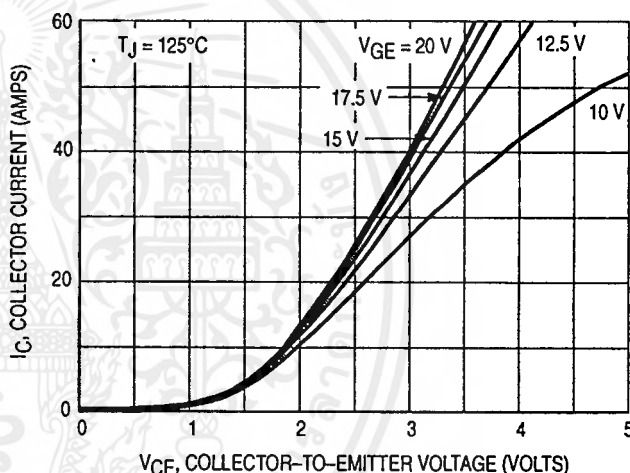


Figure 2. Output Characteristics, $T_J = 125^\circ\text{C}$

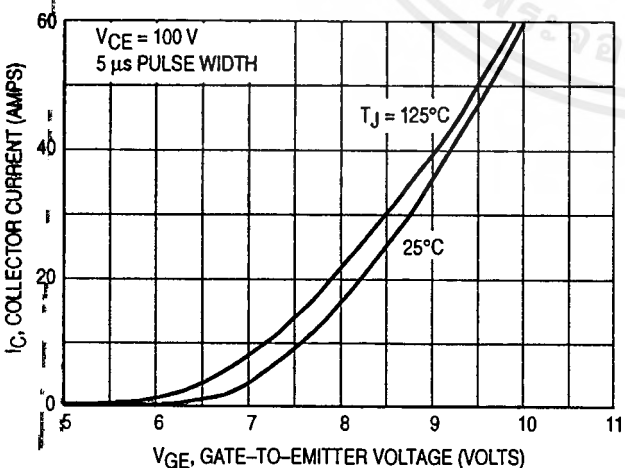


Figure 3. Transfer Characteristics

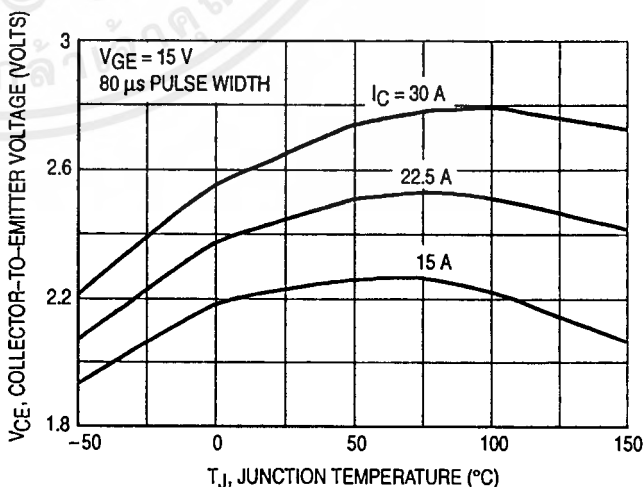


Figure 4. Collector-to-Emitter Saturation Voltage versus Junction Temperature

MGY30N60D

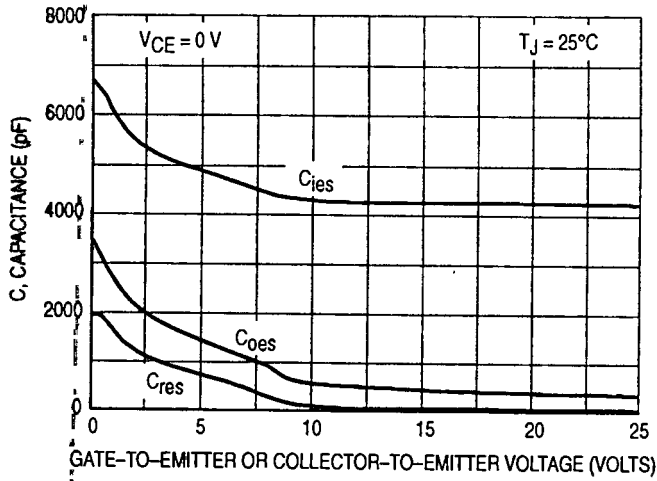


Figure 5. Capacitance Variation

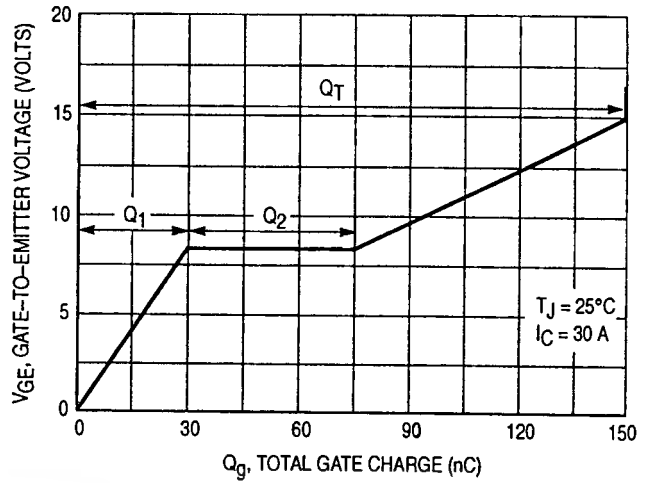


Figure 6. Gate-to-Emitter Voltage versus Total Charge

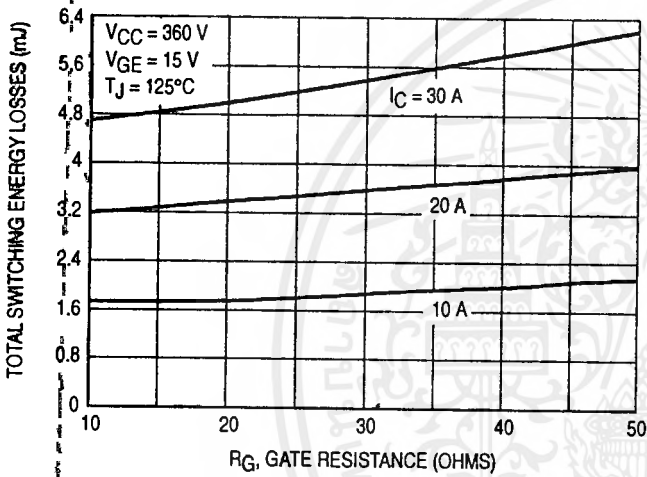


Figure 7. Total Switching Losses versus Gate Resistance

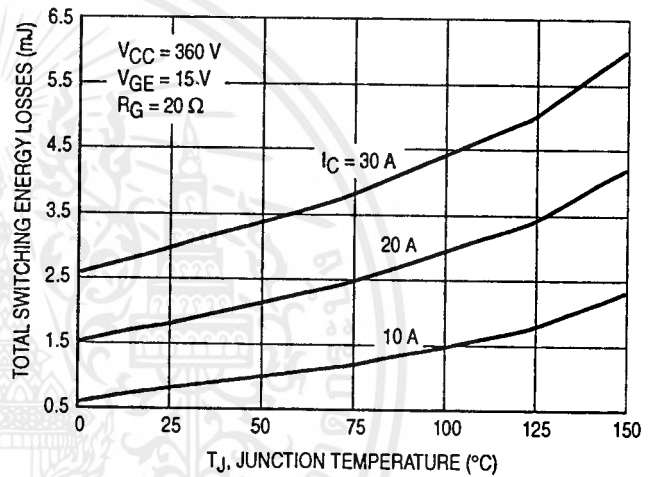


Figure 8. Total Switching Losses versus Junction Temperature

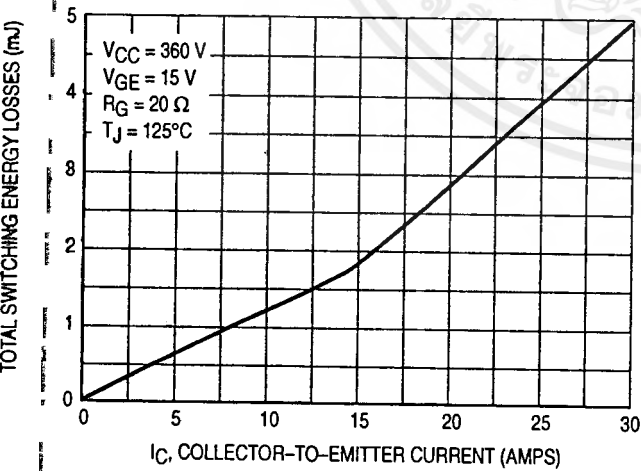


Figure 9. Total Switching Losses versus Collector-to-Emitter Current

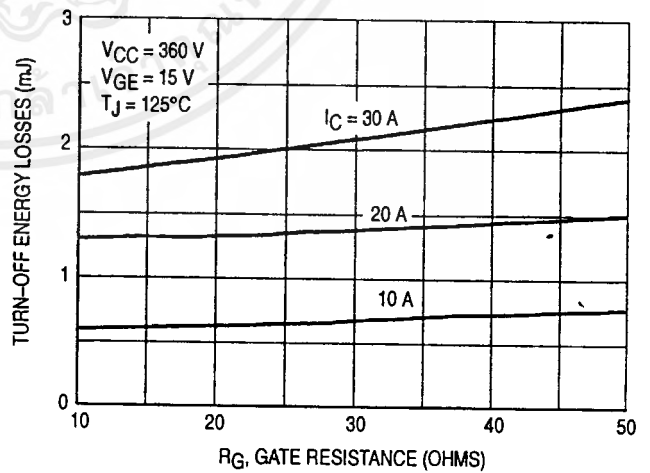


Figure 10. Turn-Off Losses versus Gate Resistance

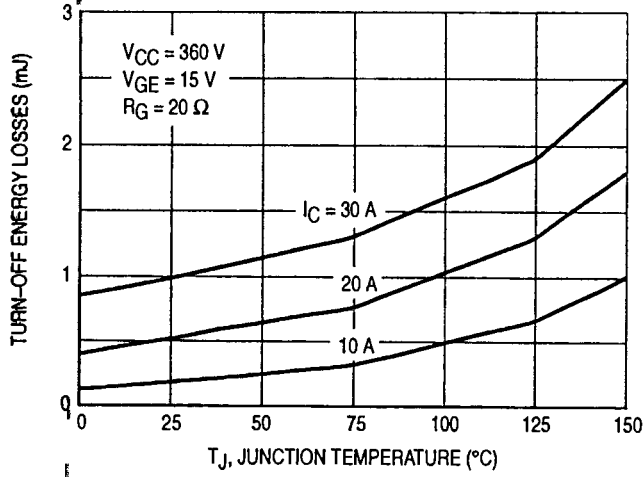


Figure 11. Turn-Off Losses versus Junction Temperature

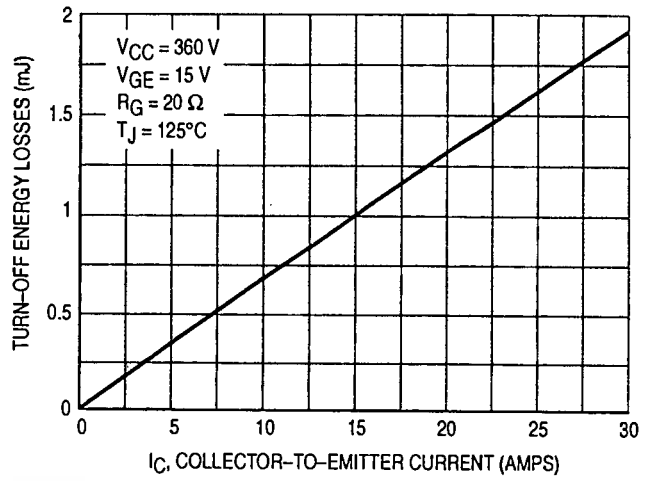


Figure 12. Turn-Off Losses versus Collector-to-Emitter Current

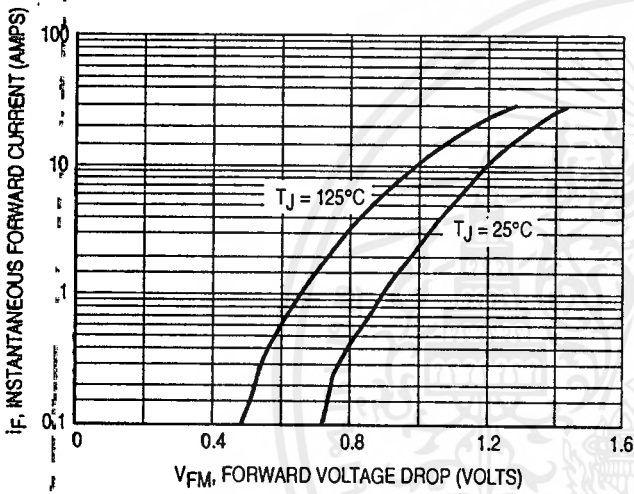


Figure 13. Typical Diode Forward Drop versus Instantaneous Forward Current

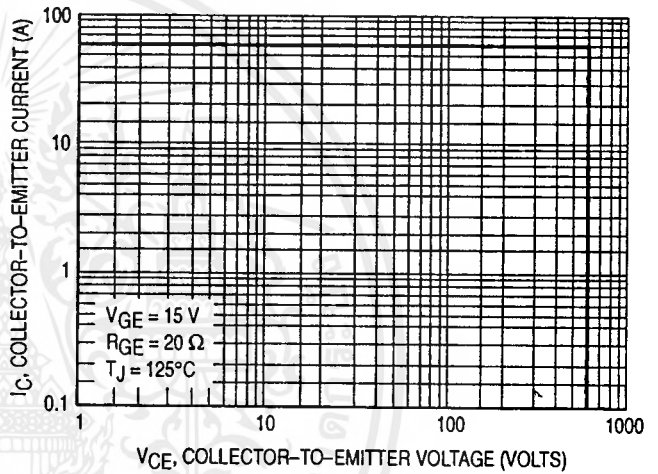
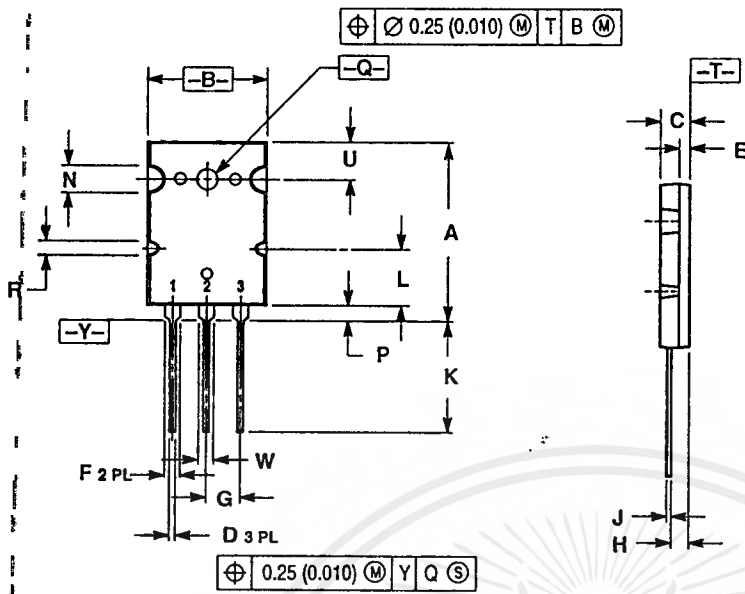


Figure 14. Reverse Biased Safe Operating Area

PACKAGE DIMENSIONS

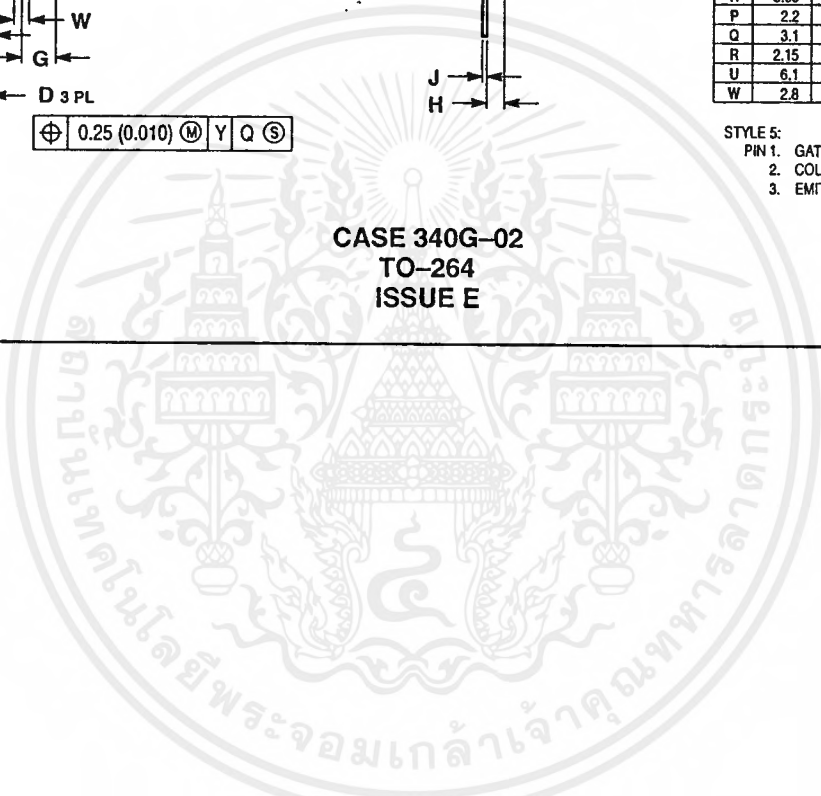


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	2.8	2.9	1.102	1.142
B	19.3	20.3	0.760	0.800
C	4.7	5.3	0.185	0.209
D	0.93	1.48	0.037	0.058
E	1.9	2.1	0.075	0.083
F	2.2	2.4	0.087	0.102
G	5.45 BSC		0.215 BSC	
H	2.6	3.0	0.102	0.118
J	0.43	0.78	0.017	0.031
K	17.6	18.8	0.693	0.740
L	11.0	11.4	0.433	0.449
N	3.95	4.75	0.156	0.187
P	2.2	2.6	0.087	0.102
Q	3.1	3.5	0.122	0.137
R	2.15	2.35	0.085	0.093
U	6.1	6.5	0.240	0.256
W	2.8	3.2	0.110	0.125

- STYLE 5:
1. GATE
 2. COLLECTOR
 3. EMITTER

CASE 340G-02
TO-264
ISSUE E



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

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SP equ 18h:word
IOC2 Equ 0BH
timer1 equ 0AH
timer2 equ 0CH
hso_command equ 06h
hso_time equ 04h
ios0 equ 15h
IOC1 EQU 16H
Rseg at 40H
Ns      : dsw 1      ;synchronous speed
f       : dsw 1      ;synchronous frequency
v       : dsw 1      ;voltage
mf      : dsw 1      ;modulation frequency
mf1     : dsw 1      ;modulation frequency 1 ( to count loops in calculating W of pulses)
mf2     : dsw 1      ;modulation frequency 2 ( to count loops in calculating W of pulses)
period  : dsw 1      ;the total numbers of the set and reset position in one cycle
spa1    : dsw 1      ;the starting address of phase A for copying to others
spam    : dsw 1      ;the final address of the first block of phase A to move to phase B
spac    : dsw 1      ;the final address of the first block of phase A to move to phase C
spa2    : dsw 1      ;the final address of phase A
spb1    : dsw 1      ;the starting address of phase B
spbm    : dsw 1      ;the middle address of phase B
spb2    : dsw 1      ;the final address of phase B
spc1    : dsw 1      ;the starting address of phase C
spcm    : dsw 1      ;the middle address of phase C
spc2    : dsw 1      ;the final address of phase C
count_loop : dsw 1      ;the counter of loop to set pulse in a cycle
count1    : dsw 1      ;the number of pulses in the first block to be copied from A to others
count2    : dsw 1      ;the number of pulses in the second block to be copied from A to
others
cocheck  : dsb 1      ;to make sure that the copying address is the multiplicity of four
L        : dsw 1      ;the period of each pulse
LS       : dsw 1      ;the remainder of the dividing L
s        : dsw 1      ;the half of period of each pulse
s1       : dsw 1      ;the setting position

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

s2 : dsw 1 ;the resetting position
w : dsw 1 ;the width of pulse
pt : dsl 1 ;address to jump in look up table of cosine
pti : dsw 1 ;to check whether pt is even or not
check : dsw 1 ;to check whether table[pt] is negative or not
cal : dsw 1 ;the value of cosine to calculate W
b : dsb 1 ;the bit to indicate the value whether it is negative or not
A : dsw 1 ;the setting position of phase A
SB : dsw 1 ; the setting position of phase B
SC : dsw 1 ;the setting position of phase C
AI : dsw 1 ;the setting position of phase A complementary
BI : dsw 1 ;the setting position of phase B complementary
CI : dsw 1 ;the setting position of phase C complementary
RA : dsw 1 ;the resetting position of phase A
RB : dsw 1 ;the resetting position of phase B
RC : dsw 1 ;the resetting position of phase C
RAI : dsw 1 ;the resetting position of phase A complementary
RBI : dsw 1 ;the resetting position of phase B complementary
RCI : dsw 1 ;the resetting position of phase C complementary
X : dsw 1 ;the index for counting down the address to get the position of set and
reset
poit : dsl 1 ;double word of multiplicity of v peak and cosine
poit2 : dsl 1 ;double word of multiplicity of v peak and cosine
poit3 : dsl 1 ;double word of multiplicity of v peak and cosine
poit4 : dsl 1 ;double word of multiplicity of v peak and cosine
jjj : dsl 1 ;double word which can do everything for us ha ha ha!!!
co : dsw 1
coi : dsw 1
tmp : dsw 1
cseg at 2080h
br begin
CSEG AT 2100H
TABLE:
dcw 255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,254,254
dcw 254,254,254,254,253,253,253,252,252,252,252,251,251,251,251

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dcw 250,250,250,249,249,249,248,248,247,247,247,246,246,245,245,244
dcw 244,244,243,243,242,242,241,241,240,239,239,238,238,237,237,236
dcw 235,235,234,234,233,232,232,231,230,230,229,228,227,227,226,225
dcw 225,224,223,222,221,221,220,219,218,217,217,216,215,214,213,212
dcw 211,211,210,209,208,207,206,205,204,203,202,201,200,199,198,197
dcw 196,195,194,193,192,191,190,189,188,187,186,185,184,183,182,181
dcw 179,178,177,176,175,174,173,171,170,169,168,167,166,164,163,162
dcw 161,159,158,157,156,155,153,152,151,149,148,147,146,144,143,142
dcw 140,139,138,136,135,134,132,131,130,128,127,126,124,123,122,120
dcw 119,117,116,115,113,112,110,109,108,106,105,103,102,100,99,97
dcw 96,95,93,92,90,89,87,86,84,83,81,80,78,77,75,74
dcw 72,71,69,68,66,65,63,62,60,59,57,56,54,53,51,49
dcw 48,46,45,43,42,40,39,37,36,34,32,31,29,28,26,25
dcw 23,21,20,18,17,15,14,12,10,9,7,6,4,3,1,0
dcw -1,-3,-4,-6,-7,-9,-10,-12,-14,-15,-17,-18,-20,-21,-23,-25
dcw -26,-28,-29,-31,-32,-34,-36,-37,-39,-40,-42,-43,-45,-46,-48,-49
dcw -51,-53,-54,-56,-57,-59,-60,-62,-63,-65,-66,-68,-69,-71,-72,-74
dcw -75,-77,-78,-80,-81,-83,-84,-86,-87,-89,-90,-92,-93,-95,-96,-97
dcw -99,-100,-102,-103,-105,-106,-108,-109,-110,-112,-113,-115,-116,-117,-119,-120
dcw -122,-123,-124,-126,-127,-128,-130,-131,-132,-134,-135,-136,-138,-139,-140,-142
dcw -143,-144,-146,-147,-148,-149,-151,-152,-153,-155,-156,-157,-158,-159,-161,-162
dcw -163,-164,-166,-167,-168,-169,-170,-171,-173,-174,-175,-176,-177,-178,-179,-181
dcw -182,-183,-184,-185,-186,-187,-188,-189,-190,-191,-192,-193,-194,-195,-196,-197
dcw -198,-199,-200,-201,-202,-203,-204,-205,-206,-207,-208,-209,-210,-211,-211,-212
dcw -213,-214,-215,-216,-217,-217,-218,-219,-220,-221,-221,-222,-223,-224,-225,-225
dcw -226,-227,-227,-228,-229,-230,-230,-231,-232,-232,-233,-234,-234,-235,-235,-236
dcw -237,-237,-238,-238,-239,-239,-240,-241,-241,-242,-242,-243,-243,-244,-244,-244
dcw -245,-245,-246,-246,-247,-247,-247,-248,-248,-249,-249,-250,-250,-250,-251
dcw -251,-251,-251,-252,-252,-252,-252,-253,-253,-253,-253,-254,-254,-254,-254,-254
dcw -254,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255
dcw -255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-255,-254,-254
dcw -254,-254,-254,-254,-253,-253,-253,-253,-252,-252,-252,-252,-251,-251,-251,-251
dcw -250,-250,-250,-249,-249,-249,-248,-248,-247,-247,-247,-246,-246,-245,-245,-244
dcw -244,-244,-243,-243,-242,-242,-241,-241,-240,-239,-239,-238,-238,-237,-237,-236
dcw -235,-235,-234,-234,-233,-232,-232,-231,-230,-230,-229,-228,-227,-227,-226,-225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dcw -225,-224,-223,-222,-221,-221,-220,-219,-218,-217,-217,-216,-215,-214,-213,-212
dcw -211,-211,-210,-209,-208,-207,-206,-205,-204,-203,-202,-201,-200,-199,-198,-197
dcw -196,-195,-194,-193,-192,-191,-190,-189,-188,-187,-186,-185,-184,-183,-182,-181
dcw -179,-178,-177,-176,-175,-174,-173,-171,-170,-169,-168,-167,-166,-164,-163,-162
dcw -161,-159,-158,-157,-156,-155,-153,-152,-151,-149,-148,-147,-146,-144,-143,-142
dcw -140,-139,-138,-136,-135,-134,-132,-131,-130,-128,-127,-126,-124,-123,-122,-120
dcw -119,-117,-116,-115,-113,-112,-110,-109,-108,-106,-105,-103,-102,-100,-99,-97
dcw -96,-95,-93,-92,-90,-89,-87,-86,-84,-83,-81,-80,-78,-77,-75,-74
dcw -72,-71,-69,-68,-66,-65,-63,-62,-60,-59,-57,-56,-54,-53,-51,-49
dcw -48,-46,-45,-43,-42,-40,-39,-37,-35,-34,-32,-31,-29,-28,-26,-25
dcw -23,-21,-20,-18,-17,-15,-14,-12,-10,-9,-7,-6,-4,-3,-1,0
dcw 1,3,4,6,7,9,11,12,14,15,17,18,20,21,23,25
dcw 26,28,29,31,32,34,36,37,39,40,42,43,45,46,48,49
dcw 51,53,54,56,57,59,60,62,63,65,66,68,69,71,72,74
dcw 75,77,78,80,81,83,84,86,87,89,90,92,93,95,96,97
dcw 99,100,102,103,105,106,108,109,110,112,113,115,116,117,119,120
dcw 122,123,124,126,127,128,130,131,132,134,135,136,138,139,140,142
dcw 143,144,146,147,148,149,151,152,153,155,156,157,158,159,161,162
dcw 163,164,166,167,168,169,170,171,173,174,175,176,177,178,179,181
dcw 182,183,184,185,186,187,188,189,190,191,192,193,194,195,196,197
dcw 198,199,200,201,202,203,204,205,206,207,208,209,210,211,211,212
dcw 213,214,215,216,217,217,218,219,220,221,221,222,223,224,225,225
dcw 226,227,227,228,229,230,230,231,232,232,233,234,234,235,235,236
dcw 237,237,238,238,239,239,240,241,241,242,242,243,243,244,244,244
dcw 245,245,246,246,247,247,247,248,248,249,249,249,250,250,250,251
dcw 251,251,251,252,252,252,252,253,253,253,253,254,254,254,254,254
dcw 254,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255
dcw 255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,254,254
dcw 254,254,254,254,253,253,253,253,252,252,252,252,251,251,251,251
dcw 250,250,250,249,249,249,248,248,247,247,247,246,246,245,245,244
dcw 244,244,243,243,242,242,241,241,240,239,239,238,238,237,237,236
dcw 235,235,234,234,233,232,232,231,230,230,229,228,227,227,226,225
dcw 225,224,223,222,221,221,220,219,218,217,217,216,215,214,213,212

begin:

ld sp,#5EF2H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
divb Ns,#30 ;FIND SYNCHRONOUS FREQUENCY
and Ns,#00ffh
ld f,Ns
mulb Ns,#22 ;FIND RMS VOLTAGE
divub Ns,#5
and Ns,#00ffh
clr v
ld v,Ns
mulu v,#141 ;FIND AMPLITUDE VOLTAGE
divu v,#100
clr mf
ld jj,#0
ld jj,#3200 ;FIND NUMBERS OF PULSES
divu jj,f
shll jj,#8
shll jj,#8
shrl jj,#8
shrl jj,#8
ld mf,jj
ld mf1,mf
ld mf2,mf
LD CO,MF
LD COI,mf
clr L
ld jj,#0
ld jj,#15000 ;FIND L AND S
divu jj,f
shll jj,#8
shll jj,#8
shrl jj,#8
shrl jj,#8
mulu jj,#50
divu jj,mf
shll jj,#8
shll jj,#8
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

shrl jj,#8
shrl jj,#8
ld l,jj
and l,#00ffh
clr s
ld s,L
LD LS,L
shr s,#1
and s,#00ffh
ld pt,#2048 ;find pt
divu pt,mf
shll pt,#8
shll pt,#8
shrl pt,#8
shrl pt,#8
ld pt,pt
divb pt,#2
shr pt,#6
and pt,#00FFh
je berger; jump if zero flag =1
sub pt,#1
berger:
clr pt
ld pt,pt
cai_w:
clr check
clr jj
clr cal
clr b
clr s1
clr s2
ld check,table[pt] ; check wheater table[pt] is negative or not
ld cal,check
shr check,#8 ;check sign of table
ld b,check

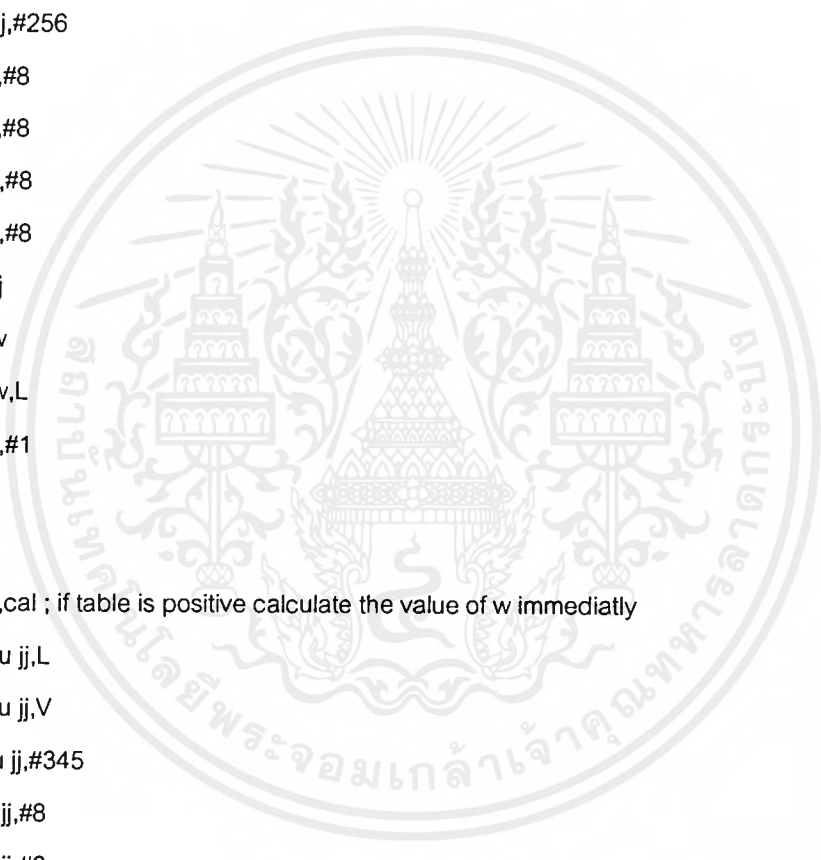
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

jbc b,7,add1 ; go 'add1' if check is positive
neg cal ;if table is negative neg it before calculating w
ld jj,cal
mulu jj,L
mulu jj,v
divu jj,#345
shll jj,#8
shll jj,#8
shrl jj,#8
shrl jj,#8
divu jj,#256
shll jj,#8
shll jj,#8
shrl jj,#8
shrl jj,#8
ld w,jj
neg w
add w,L
shr w,#1
br go
add1:
ld jj,cal ; if table is positive calculate the value of w immediatly
mulu jj,L
mulu jj,V
divu jj,#345
shll jj,#8
shll jj,#8
shrl jj,#8
shrl jj,#8
divu jj,#256
shll jj,#8
shll jj,#8
shrl jj,#8
shrl jj,#8
add jj,L

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

shr jj,#1
ld w,jj
br go
hi:
br cal_w
go:
shr w,#1 ;divide w by 2 to find s1 and s2 for setting pulses
sub s1,s,w ; lob kvar
add s2,s,w ; buarg sai
CMP S2,S1
JE EQUAL
BR NEXT
EQUAL:
SUB S1,#3
NEXT:
push s1
push s2
add pt,pti
dec mf
jne hi
Clr x
Clr Timer2
Ldb IOC2,#10000000b
LDB IOC1,#01010000B
LDB HSO_COMMAND,#01001100B
keep_loop:
clr x
ld co,coi
keep:
sub x,#2
ld a,5ef2h[x]
ld sb,5402h[x]
ld sc,4a02h[x]
sub x,#2
ld ra,5ef2h[x]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ld rb,5402h[x]
ld rc,4a02h[x]
temp:
add tmp,L
set_A:
jbs ios0,7,set_A
ldb hso_command,#20H
ADD A,#0003H
add hso_time,tmp,a
.reset_A:
jbs ios0,7,reset_A
ldb hso_command,#00H
add hso_time,tmp,ra
reset_AI:
jbs ios0,7,reset_AI
ldb hso_command,#01H
SUB A,#0003H
add hso_time,tmp,a
set_AI:
jbs ios0,7,set_AI
ldb hso_command,#21H
add RA,#0003H
add hso_time,tmp,ra
dec cu
jne keep
or keep_loop
end

```

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

พ่อและแม่ ที่คอยให้กำลังใจในการทำงาน

ดร.วีรเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือให้รายละเอียด และข้อมูล
ต่างๆในการทำโครงการ และให้ยืมบอร์ดคอนโทรลเลอร์ส่วนตัวในการทำโครงการ

อาจารย์ชัยยา ตันตีสุขารมย์ ผู้เอื้อเฟื้อเวลา ช่วยให้คำปรึกษา และแนะนำในการเขียน
โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

อาจารย์ดลิต สุขสวัสดิ์ ผู้ทำให้ตั้งใจถึงน้ำใจที่ต่อเนื่องๆ

นิสิทธิ์ สมินทร์สมบุญ ผู้ช่วยเหลือด้านโปรแกรมยามเกิดปัญหา

นธิ สิริมงคลกิตติ ฝ่ายเสียบียง

ภาณุพงศ์ สัมมาวรกิจ เรียกใช้งานได้ตลอดเวลา

พิษณุ จันทรประภาพร เรียกใช้งานได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1].Vithayathil Joseph , Power Electronics : principle and applications , New York , Mc Graw-Hill , 1995 , [293-365]
- [2].Dubey Gopal k. , Power Semiconductor controlled drives , Eaglewood Cliffs , NJ:Prentice-Hall International , 1989
- [3].N.Mohan , T.Undeland , W.Robbins , Power Electronics : Converter , Applications and Design , John Wiley&Son 2nd Edition ,1995, [309-434]
- [4].กฤษดา วิศวีรานนท์ , หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งานอินเวอร์เตอร์ , โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , [22-27] , 2538
- [5].ชัยยา ดันติสุขารมย์ , คู่มือการใช้ 80C196KB , หจก.ลำลองดีไซน์ แอนด์ เทคโนโลยี