

อินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์แบบอินดักชัน

Inverter for Induction Motor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....
รับเดือนปี.....

55453

- 9 พ.ค. 2548

.....
.....
.....

อินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์แบบอินดักชัน

Inverter for Induction Motor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการ ประจำปีภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์แบบอินดักชัน (Inverter for Induction Motor)

ผู้จัดทำ

นายศักดิ์สิทธิ์ จังแจ่มประดิษฐ์ 43010426

นางสาวศิริพรรณ อัมฤตโชติ 43010431



ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พลผดุง ผดุงกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์แบบอินдукชัน

นายศักดิ์สิทธิ์ จังแจ่มประดิษฐ์ 43010426

นางสาวศิริพรรณ อำนวยโชติ 43010431

ผศ.พลผดุง ผดุงกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้ กล่าวถึงการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ด้วยวิธี PWM ซึ่งสามารถเปลี่ยนความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้ โดยการสร้างสัญญาณให้มีเฟสต่างกัน 3 สัญญาณ แล้วใช้ความต่างของสัญญาณ ในการจ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อให้ได้ขนาดและมุมของขดลวด Run และขดลวด Start การสร้างสัญญาณต่าง ๆ ดังกล่าวนี้ กระทำโดยการใช้โปรแกรม MATLAB ในการ Simulate เพื่อหาความกว้างของพัลส์แบบ PWM แล้วนำค่าที่ได้มาใส่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 เพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณเพื่อไปขับอุปกรณ์สวิตช์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 ซึ่งสามารถปรับความถี่ของสัญญาณ PWM ได้ตั้งแต่ 15 - 55 Hz โดยปรับครั้งละ 2.5 Hz และจากการวัดพบว่า ได้ขนาดแรงดันและค่าความต่างเฟสตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter for Induction Motor

Mr. Saksit Jangjampradit 43010426

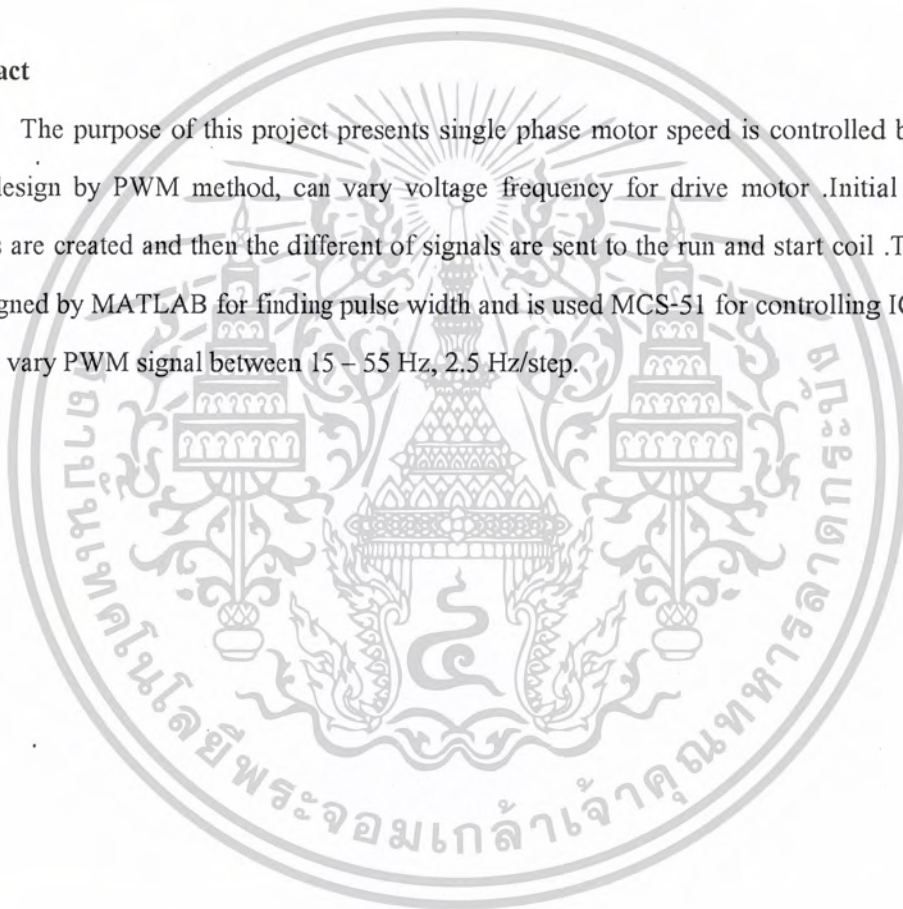
Miss. Siriphun Ameritachot 43010431

Assist.Prof. Polpadung Padungkul

Semester 2 th Academic 2003

Abstract

The purpose of this project presents single phase motor speed is controlled by inverter. That design by PWM method, can vary voltage frequency for drive motor .Initial 3 – Phase signals are created and then the different of signals are sent to the run and start coil .This project is designed by MATLAB for finding pulse width and is used MCS-51 for controlling IGBT. There able to vary PWM signal between 15 – 55 Hz, 2.5 Hz/step.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	2
2.1.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	2
2.1.2 คุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่พิกัดความถี่และพิกัดแรงดัน	4
2.1.3 การควบคุมความเร็ว โดยการเปลี่ยนความถี่และแรงดัน	5
2.1.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ความเร็วสูงและต่ำกว่าพิกัด	8
2.2 การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า	11
2.2.1 ชนิดของอินเวอร์เตอร์	11
2.2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์	12
2.2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดท์มอดูเลชัน	14
2.2.4 การสร้างรูปคลื่นแบบเทอร์อลแชนบ์ลิง	16
2.2.5 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แชนบ์ลิง	17
2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)	17
2.3.1 คุณลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้า	18
2.3.2 ลักษณะการทำงาน	19
2.3.3 วงจรสมมูลของ ไอจีบีที	19
บทที่ 3 วงจรและหลักการทำงาน	
3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	22
3.2 วงจรควบคุม	23
3.3 วงจรขับเคลื่อน	25
3.4 โปรแกรม MATLAB	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ	A
บรรณานุกรม	B
ภาคผนวก	
Flow Chart การทำงานของ 80C51 Scan Switch	D
Flow Chart การทำงานของ 80C51	E
โปรแกรมการทำงานของ 80C51 Scan Switch	F
โปรแกรมการทำงานของ 80C2051	L
Datasheet	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

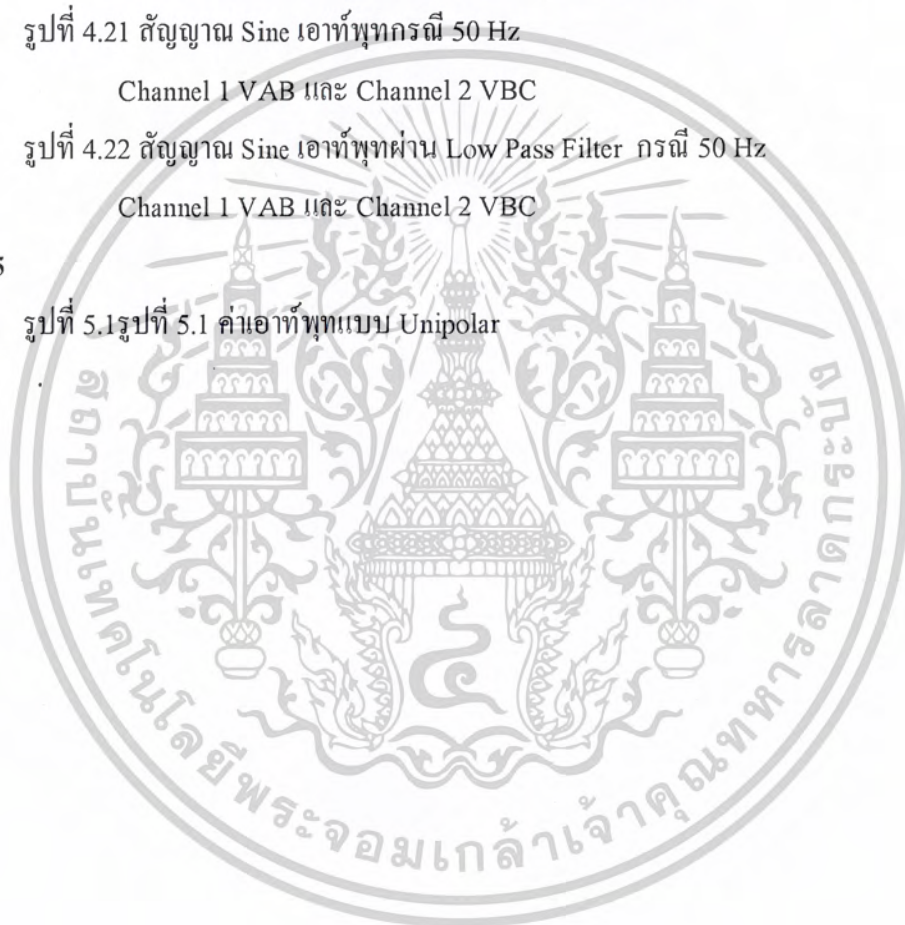
	หน้า
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่พิจารณาด้าน Stator	2
รูปที่ 2.2 Torque – Speed Characteristic ที่พิกัดแรงดันและความถี่	4
รูปที่ 2.3 $I_r - Sf$ ที่พิกัดแรงดันและความถี่	5
รูปที่ 2.4 Torque – Speed Characteristic เมื่อ ϕ_{ag} คงที่และ Sf มีค่าต่ำ	6
รูปที่ 2.5 แผนภาพเฟสเซอร์เมื่อค่า Sf มีค่าน้อย	7
รูปที่ 2.6 แสดง Voltage Boost ที่ต้องการเพื่อให้ ϕ_{ag} คงที่	7
รูปที่ 2.7 แสดงคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำและประสิทธิภาพ	9
รูปที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตแบบต่าง ๆ ของวงจรงอินเวอร์เตอร์	12
รูปที่ 2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบพหุผล	13
รูปที่ 2.10 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบฮาร์ฟบริดจ์	13
รูปที่ 2.11 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบฟูลบริดจ์	13
รูปที่ 2.12 (a) แสดงรูปคลื่น PWM แบบ 2 ระดับ	14
รูปที่ 2.12 (b) แสดงรูปคลื่น PWM แบบ 3 ระดับ	14
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการสร้างรูปคลื่น PWM โดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ	15
รูปที่ 2.14 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอร์อดแซมปลิง แบบ 2 ระดับ	16
รูปที่ 2.15 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอร์อดแซมปลิง แบบ 3 ระดับ	16
รูปที่ 2.16 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมปลิง แบบ 3 ระดับ	17
รูปที่ 2.17 (a) แสดงกราฟระหว่างกระแสและแรงดันที่ตกคร่อม ไอจีบีที	18
รูปที่ 2.17 (b) แสดงกราฟเอาต์พุต	18
รูปที่ 2.17 (c) และ (d) แสดงสัญญาณลักษณะของ ไอจีบีทีชนิดเอ็นแซนแนล	18
รูปที่ 2.18 (a) แสดงวงจรสมมูลของ ไอจีบีที ขณะทำงานในสภาวะปกติ	19
รูปที่ 2.18 (b) แสดงวงจรสมมูลของ ไอจีบีที ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ต่ออยู่ภายใน	19
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 โครงสร้างสมมูลของมอเตอร์	21
รูปที่ 3.2 ค่าแรงดันใน Coil Run และ Start	21
รูปที่ 3.3 แผนภาพเฟสเซอร์ของกรรสวิช 3 เฟส	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4	โครงสร้างของอุปกรณ์ในการสวิตช์ 3 เฟส	22
รูปที่ 3.5	วงจรแหล่งจ่ายไฟ 15 V	23
รูปที่ 3.6	วงจรแหล่งจ่ายไฟ 15 V	23
รูปที่ 3.7	วงจรควบคุม	24
รูปที่ 3.8	วงจร And Gate	24
รูปที่ 3.9	วงจรจับเกท	25
รูปที่ 3.10	กราฟที่ได้จาก Simulate MATLAB กรณีความถี่ Triangle เป็น 3 เท่าของ Sine	26
รูปที่ 3.11	กราฟที่ได้จาก Simulate MATLAB กรณีความถี่ Triangle เป็น 3 เท่าของ Sine	26
รูปที่ 3.12	กราฟที่ได้จากการ Simulate MATLAB	27
รูปที่ 3.13	กราฟ PWM ที่ได้จากโปรแกรม MATLAB	27
บทที่ 4		
รูปที่ 4.1	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 15 Hz	28
รูปที่ 4.2	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 17.5 Hz	29
รูปที่ 4.3	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 20 Hz	29
รูปที่ 4.4	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 22.5 Hz	30
รูปที่ 4.5	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 25 Hz	30
รูปที่ 4.6	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 27.5 Hz	31
รูปที่ 4.7	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 30 Hz	31
รูปที่ 4.8	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 32.5 Hz	32
รูปที่ 4.9	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 35 Hz	32
รูปที่ 4.10	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 37.5 Hz	33
รูปที่ 4.11	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 40 Hz	33
รูปที่ 4.12	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 42.5 Hz	34
รูปที่ 4.13	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 45 Hz	34
รูปที่ 4.14	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 47.5 Hz	35
รูปที่ 4.15	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 50 Hz	35
รูปที่ 4.16	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 52.5 Hz	36
รูปที่ 4.17	จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 55 Hz	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18	สัญญาณ PWM จากขาเอาต์พุต 89C51	
	Channel 1 จากขา P2.6 และ Channel 2 จากขา P 2.2 กรณี 50 Hz	37
รูปที่ 4.19	สัญญาณ จากขาเอาต์พุต 89C51	
	Channel 1 จากขา P 2.0 และ Channel 2 จากขา P 2.7	37
รูปที่ 4.20	ค่า Deadtime จากขา Opto isolator	
	Channel 1 จากสวิทช์ E และ Channel 2 จากสวิทช์ F	38
รูปที่ 4.21	สัญญาณ Sine เอาต์พุตกรณี 50 Hz	
	Channel 1 VAB และ Channel 2 VBC	38
รูปที่ 4.22	สัญญาณ Sine เอาต์พุตผ่าน Low Pass Filter กรณี 50 Hz	
	Channel 1 VAB และ Channel 2 VBC	39
บทที่ 5		
รูปที่ 5.1	รูปที่ 5.1 ค่าเอาต์พุตแบบ Unipolar	40



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในวงการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะแปรผันตามความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป และจะแปรผันแบบผกผันจำนวนขั้วแม่เหล็ก เราจึงเลือกที่จะปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนความถี่นั้นได้ถูกเรียกว่า อินเวอร์เตอร์ โดยการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้านั้นต้องกำหนดให้ขนาดของสัญญาณ Sine ต่อความถี่ของสัญญาณ Sine มีค่าคงที่เราจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมการสวิตช์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

อินเวอร์เตอร์มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ จึงเลือกใช้แบบแหล่งจ่ายแรงดันโดยใช้การควบคุมแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) ซึ่งเป็นแบบที่กำเนิดสัญญาณรูปคลื่นคล้ายคลื่นซายน์มากที่สุด แต่จะมีการสวิตช์ของอุปกรณ์สูง ซึ่งเราได้เลือกการสวิตช์แบบฮาฟบริดจ์ (Half Bridge) โดยมีข้อดีคือ ประหยัดอุปกรณ์สวิตช์ และได้ทำการ Simulate สัญญาณของ PWM ผ่านโปรแกรม MATLAB แล้วนำค่าความกว้างพัลส์เก็บไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 แต่เนื่องจากความเร็วสูงสุดที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำได้คือ 1 Machine Cycle เท่ากับ 0.5 ไมโครวินาที จึงทำให้การสวิตช์ไอจีบีทีนั้นมีค่าได้แค่ใกล้เคียงความจริง

สาเหตุการเลือกไอจีบีทีมาใช้งาน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ได้ง่าย และใช้กระแสในการสวิตช์น้อย

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

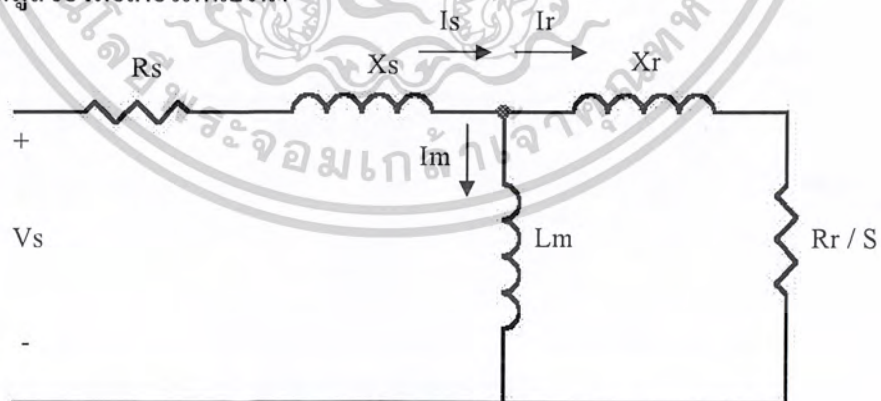
ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และ 3 เฟส เมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสลับ ที่สมมูล 3 เฟส (กรณีมอเตอร์ 3 เฟส) ที่มีความถี่ (f) จะมีผลให้กระแสไหลอย่างสมมูลในแต่ละเฟส ซึ่งสร้างแรงแม่เหล็กขึ้น ที่ช่องอากาศ ที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ ที่เรียกว่า Synchronous Speed ดังต่อไปนี้

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ (rpm)} \quad [2.1]$$

ซึ่งสนามแม่เหล็กหมุน หรือ Rotating Field จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและกระแสไหล ใน Rotor ทำให้มีแรงบิดพาให้ Rotor หมุนด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง แต่จะต่ำกว่าความเร็ว Synchronous เล็กน้อย ค่า $N_s - N_r$ เรียกว่า Slip Speed มักแสดงในรูปของ Slip ดังนี้

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad [2.2]$$

2.1.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่พิจารณาด้าน Stator

จากรูปที่ 2.1 จะไม่พิจารณา RC เนื่องจากมีค่าสูง ทำให้กระแสผ่านได้น้อย แต่กระแส I_m (Magnetizing current) มาก ซึ่งกระแส I_m เป็นองค์ประกอบของกระแส I_s (Stator current) ใช้สร้าง Resultant Airgap Flux หรือ ϕ_{ag}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลที่ได้ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตได้ดังนี้

$$V_s = E_{ag} + I_s(R_s + jX_s) \quad [2.3]$$

จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีแรงบิดที่เกิดที่มอเตอร์ คือ

$$T_{em} = k_1 I_r \phi_{ag} \sin \delta \quad [2.4]$$

เมื่อ δ คือ มุมต่างเฟส ระหว่าง Rotor mmf หรือ Resultant Airgap Flux สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ Stator เป็นดังนี้

$$E_{ag} = k_2 f \phi_{ag} \quad [2.5]$$

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ Rotor เมื่อพิจารณาทาง Stator

$$E_r = R_r I_r + S X_r I_r \quad [2.6]$$

และในสภาวะที่มอเตอร์หมุนในย่านปกติ และพิจารณาทางด้านวงจร ทาง Rotor พบว่า Rotor Leakage Reactance จะมีค่าน้อยกว่า Rotor Resistance ณ ที่ค่า Slip Frequency นั้นมาก ๆ และยังทำให้มุม δ ใกล้เคียงศูนย์

ดังนั้นความสัมพันธ์ของกระแส I_r เมื่อพิจารณาที่มอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วปกติ

$$I_r \approx k_3 \phi_{ag} S f \quad [2.7]$$

และ

$$T_{em} = k_4 \phi_{ag}^2 S f \quad [2.8]$$

และในกรณี ความถี่ (f) มีค่าพิกัด และไม่คิดผลของ Series Impedance ทาง Stator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

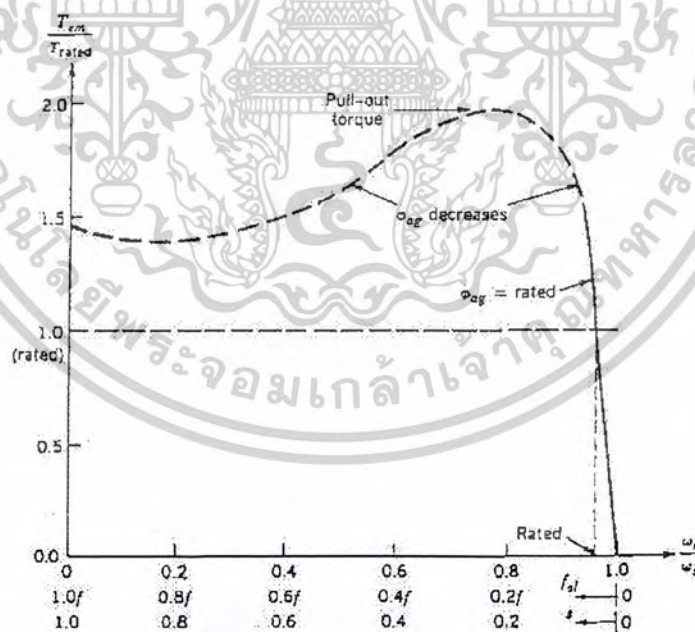
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการต่าง ๆ ข้างต้น ทำให้เกิดข้อสังเกตดังนี้

1. ความเร็ว Synchronous สามารถเปลี่ยนแปลงตามความถี่ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า
2. ที่ค่า Slip ต่ำ ๆ ความเร็วมอเตอร์แปรผันโดยประมาณกับความถี่ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า ยกเว้นที่ความถี่คงต่ำ
3. เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางแรงบิดเท่าพิกัด ควรรักษา ϕ_{ag} ให้คงที่เท่าพิกัดซึ่งต้องทำให้ V_s แปรผันตรงตามความถี่
4. เนื่องจาก I_r แปรตาม Sf (Slip Frequency) เพื่อจำกัดมิให้กระแส I_s สูงเกินกว่าพิกัด ค่า Sf ไม่ควรเกินค่าพิกัด

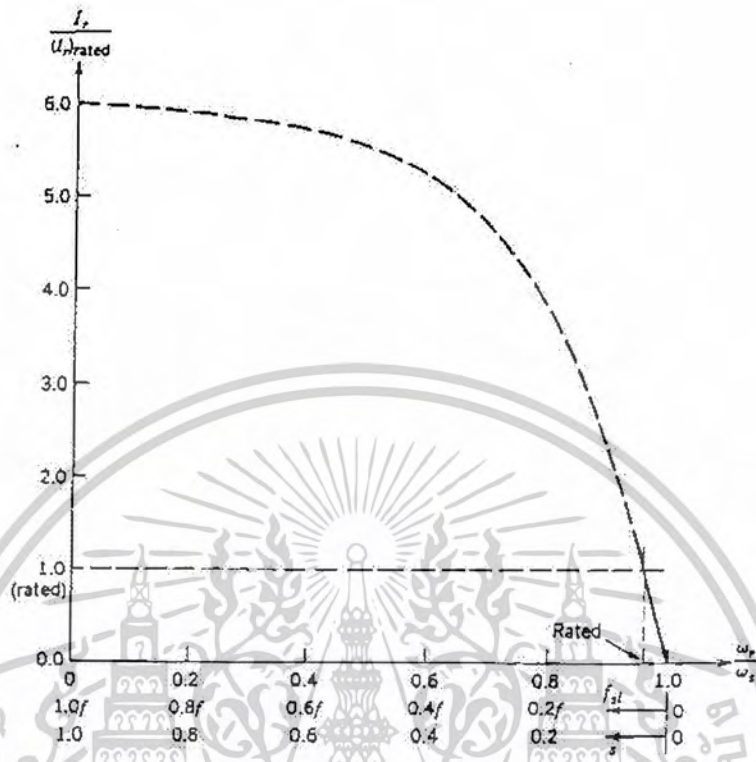
สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วมอเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการควบคุมความถี่ป้อนเข้า และควรทำ Airgap Flux มีค่าคงที่เท่ากับพิกัด โดยการควบคุมให้ขนาดของแรงดันแปรผันตามความถี่ โดยที่ค่า Sf, I_r , I_s และค่า%การสูญเสียในวงจร Rotor จะอยู่ภายใต้ค่าที่พิกัดไว้

2.1.2 คุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่พิกัดความถี่และพิกัดแรงดัน



รูปที่ 2.2 Torque – Speed Characteristic ที่พิกัดแรงดันและความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 $I_r - sf$ ที่พิกัดแรงดันและความถี่

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.2 และ 2.3 พบว่า เมื่อ sf มีค่าต่ำ I_r และ T_{cm} จะแปรผันตาม sf อย่างเป็นเชิงเส้น แต่ถ้า sf มีค่ามากขึ้น ทั้ง I_r และ T_{cm} จะไม่แปรผันตาม sf อย่างเป็นเชิงเส้น เพราะ Rotor Reactance ที่ค่าความถี่ Slip มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับ R_r (เมื่อพิจารณาทางวงจร Rotor) ทำให้มุม δ เพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงบิดในสมการ [2.4] มีค่าลดลง และ I_r มีค่าสูงขึ้น เป็นเหตุให้ I_s สูงตาม จึงเกิดแรงดันตกคร่อม Impedance ทาง Stator ทำให้ E_{ag} มีค่าลดลง ส่งผลถึง ϕ_{ag} มีค่าลดลง ดังนั้นจะพิจารณาจากสมการ [2.7] และ [2.8] ได้ว่าเนื่องจาก ϕ_{ag} ลดลง ทำให้ I_r และ T_{cm} ไม่แปรผันตรงกับ sf อีกต่อไป ผลกระทบทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับ I_s, I_r, T_{cm} และ ϕ_{ag} จะเกิดพร้อม ๆ กันและจากรูปที่ 2.2 จุดที่มีค่าแรงบิดสูงสุด เรียก Pull Out Torque

ในการใช้งานทั่วไป การข้ามมอเตอร์เหนี่ยวนำที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะรักษา sf มีค่าต่ำ หรือมีค่าสูงสุดได้ไม่เกินพิกัด ดังนั้นส่วนที่เป็นเส้นประในรูปที่ 2.2 และ 2.3 จะไม่ได้นำมาพิจารณา

2.1.3 การควบคุมความเร็ว โดยการเปลี่ยนความถี่และแรงดัน

จากหลักการการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้ทราบว่ามอเตอร์สามารถปรับความเร็วได้

ซึ่งจะควบคุมความเร็ว Synchronous หรือความเร็วมอเตอร์ ถ้าเรากำหนดค่า sf ให้มีค่าน้อยและรักษาให้ เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ นี้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

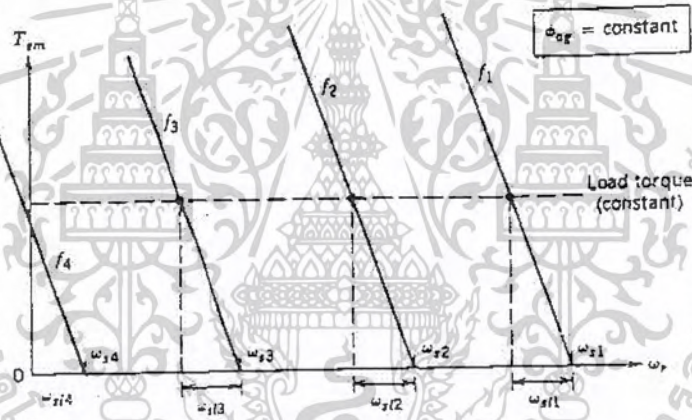
ค่า Φ_{ag} คงที่ โดยการปรับ V_s แปรผันตรงกับความเร็ว ซึ่งก็ยังมีวิธีอื่น ๆ ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ ไม่ว่าจะปรับลด V_s หรือการควบคุมความเร็วโดย Static Slip Power Recovery แต่ การปรับความเร็ว โดยการควบคุมความถี่และแรงดันได้รับความนิยมมากกว่าวิธีอื่น ๆ

1. ลักษณะของแรงบิดกับความเร็ว

จากความสัมพันธ์ในสมการที่ [2.3] ถึง [2.9] เมื่อควบคุมให้ Φ_{ag} คงที่และรักษาให้ Sf มีค่าต่ำแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ของแรงบิดต่อ Sf ที่ทุก ๆ ค่าความถี่ (f) คือ

$$T_{em} = k_s Sf \quad [2.10]$$

ซึ่งแรงบิดในช่วงที่ Sf มีค่าน้อยอยู่จากเส้นทึบ ในรูปที่ 2.2 และเมื่อพิจารณารูปที่ 2.4



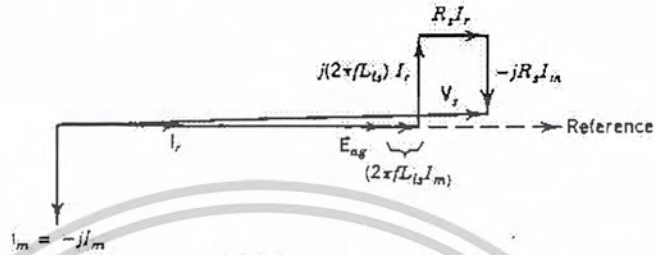
รูปที่ 2.4 Torque – Speed Characteristic เมื่อ Φ_{ag} คงที่และ Sf มีค่าต่ำ

จากรูปที่ 2.4 เมื่อพิจารณา Sf ในรูปของ ω_{sl} ซึ่ง ω_{sl} เท่ากับ $S\omega_s$ เมื่อขับมอเตอร์ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ป้อนเข้า และเมื่อ Load Torque คงที่แล้ว จะได้เส้น Curve แสดงคุณลักษณะของแต่ละความถี่ขนานกันไป เมื่อ Load Torque และ ความเร็ว Slip ω_{sl} มีค่าคงที่ และจะสังเกตได้ว่าเมื่อ Load Torque คงที่ Sf ซึ่งเป็นความถี่ของแรงดันเหนี่ยวนำ และกระแสในวงจร Rotor จะคงที่ด้วย อย่างไรก็ตาม ในขณะที่ความถี่เพิ่มค่าขึ้น ค่า Slip (S) จะลดลง

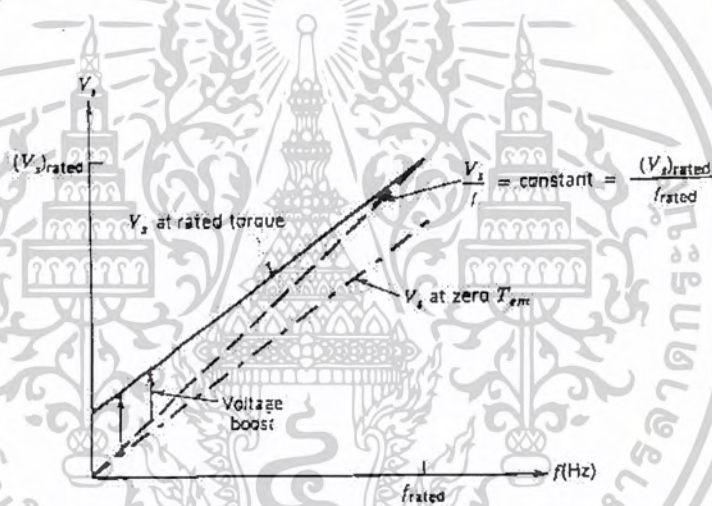
2. Voltage Boost ที่ต้องการเมื่อขับที่ความถี่ต่ำ

ในการทำงานที่ความถี่ต่ำ ผลกระทบของ R_s ไม่สามารถจะละเลยได้ แม้จะรักษา Sf มีค่าต่ำหรือคงที่ก็ตาม ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ออกแบบมาตามปกติ นั้น X_r จะมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถนำมาคิดได้ เมื่อไปเทียบกับ R_r/S ซึ่งจะเห็นได้จากวงจรสมมูลรูปที่ 2.1 ดังนั้นกระแส I_r จะ Inphase กับ E_{ag} เมื่อเป็นเช่นนี้ ประกอบกับ R_s ที่มีค่าน้อย เมื่อนำมาเขียนแผนภาพเฟสเซอร์จะได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 แผนภาพเฟสเซอร์เมื่อค่า Sf มีค่าน้อย



รูปที่ 2.6 แสดง Voltage Boost ที่ต้องการเพื่อให้ ϕ_{ag} คงที่

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า ส่วนของเฟสเซอร์ที่ตั้งฉากกับ V_s นั้นแทบจะไม่มีผลต่อขนาดของ V_s เลย เราจึงสามารถตัดทิ้งไม่นำมาพิจารณาได้ จึงได้สมการ

$$V_s = E_{ag} + X_s I_m + R_s I_r \quad [2.11]$$

ถ้า ϕ_{ag} มีค่าคงที่ จะทำให้ E_{ag} แปรผันตรงกับความเร็ว รวมทั้ง I_m ก็คงที่ด้วย ดังนั้น Voltage Boost ที่ต้องการ อันเกิดจากผลกระทบของ X_c ในสมการที่ [2.11] ยังจะแปรผันตามความเร็วที่ใช้งาน ดังนั้นที่ ϕ_{ag} คงที่ สมการที่ [2.11] สามารถเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_s = k_6 f + R_s I_r \quad [2.12]$$

สมการที่ [2.12] แสดงให้เห็นว่า แรงดันที่ต้องการเพิ่มเพื่อชดเชยแรงดันตกคร่อม R_s เพื่อรักษา ϕ_{ag} ให้คงที่ นั้นไม่ได้ขึ้นกับค่าความถี่เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นกับ I_r อีกด้วย และจากที่ทราบว่าคุณค่า I_r จะแปรผันตรงกับ T_{em} ในกรณีที่ ϕ_{ag} คงที่

จากรูปที่ 2.6 แสดง Voltage Boost ที่ต้องการเพื่อให้ ϕ_{ag} คงที่ โดยแรงดันพิกัด V_s ที่ต้องการเพื่อให้ ϕ_{ag} คงที่ที่แรงบิดพิกัด แสดงโดยเส้นทึบ แรงดันที่แปรผันตรงกับค่าความถี่ที่ค่าแรงดันและความถี่ที่พิกัด แสดงโดยเส้นประ ซึ่ง Voltage Boost ที่ต้องการ ที่ความถี่ต่ำจะมีค่ามาก เนื่องจาก แรงดันตกคร่อม R_s แต่กรณีที่ความถี่สูง แรงดันตกคร่อม R_s สามารถไม่นำมาคิดได้ เมื่อเทียบกับ E_{ag} ซึ่งจะมีค่าสูงกว่า ส่วนแรงดันที่ต้องการในขณะที่ไม่มีโหลด จะแสดงเป็นเส้น Dashed Line

2.1.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ความเร็วสูงและต่ำกว่าพิกัด

การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความถี่และแรงดัน ยังช่วยให้มอเตอร์ทำงานได้ไม่เพียงแต่ที่ความเร็วต่ำกว่าพิกัดเท่านั้น แต่ยังสามารถทำงานได้ที่ความเร็วสูงกว่าพิกัด ซึ่งในโครงการนี้ สร้างตัวควบคุมความเร็วอยู่ในย่านความเร็วต่ำเท่านั้น แต่ยังสามารถทำงานที่ความเร็วสูงนี้เป็นที่น่าสนใจมาก สำหรับการใช้งานโดยส่วนมาก เพราะเหตุที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีโครงสร้างที่แข็งแรงสามารถทำงานที่ความเร็วสูงเป็น 2 เท่า ของความเร็วพิกัด โดยไม่มีปัญหา อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องรู้ประสิทธิภาพทางแรงบิดและกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังกล่าว ที่เป็นฟังก์ชันของความเร็ว Rotor อย่างชัดเจน

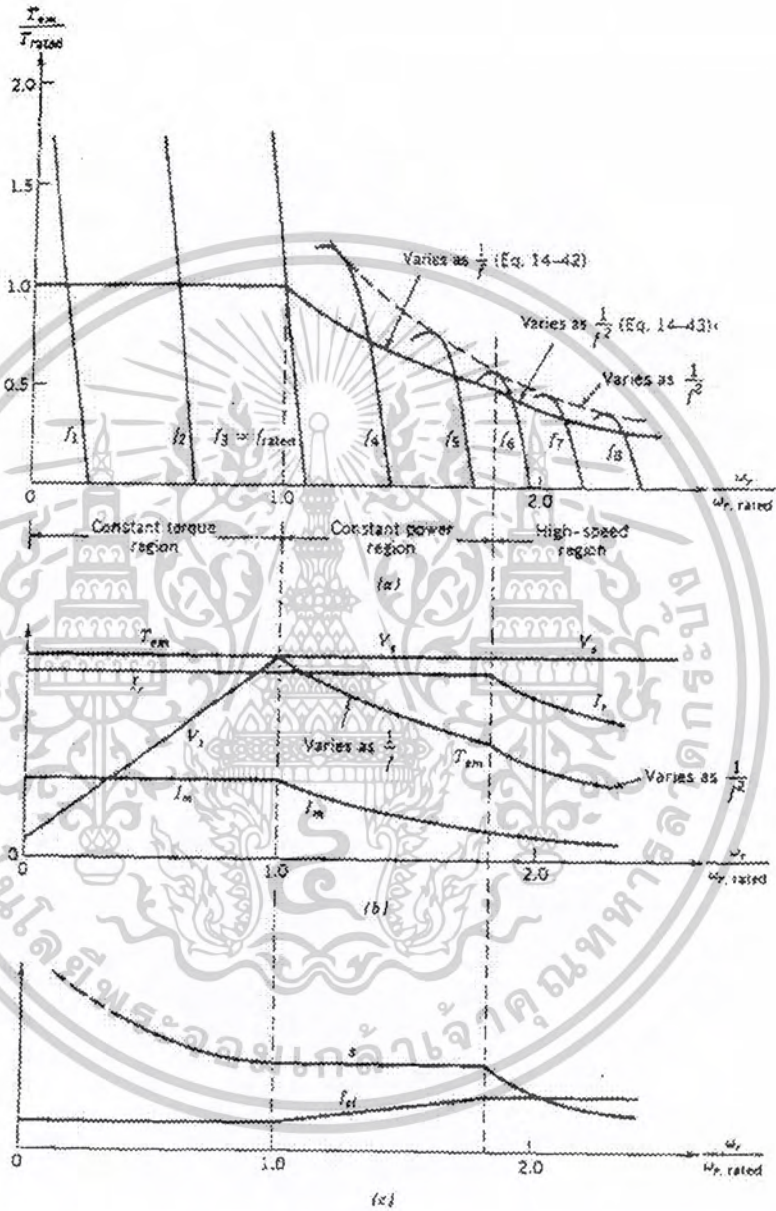
จากรูปที่ 2.7a แสดงคุณลักษณะของแรงบิดกับความเร็วมอเตอร์ และ V_s , I_r , I_m และ T_{em} เป็นฟังก์ชันของความเร็ว Rotor ได้แสดงไว้ในจากรูปที่ 2.7b ส่วนรูปที่ 2.7c แสดง Sf และ S ควรทราบได้ว่าในมอเตอร์ขนาดใหญ่ เมื่อมอเตอร์ทำงานเต็มสมรรถนะแล้ว $I_s \approx I_r$ ดังนั้นผลของ I_m ที่รวมอยู่กับ I_r มีค่าน้อยมาก

1. ช่วงความเร็วต่ำ หรือช่วงที่แรงบิดคงที่ (Constant Torque Region)

ในช่วงที่ความเร็วต่ำกว่าพิกัดแสดงโดยเส้นทึบในรูปที่ 2.7a ซึ่งเป็นช่วงที่ Sf มีค่าน้อยและ ϕ_{ag} ถูกรักษาให้คงที่ ด้วยการควบคุม V_s / f ให้คงที่ แรงดันไฟฟ้าของ Stator จะถูกปรับลดลงตามความถี่จากค่าพิกัดลงไป ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7a ถ้า ϕ_{ag} ยังคงคงที่ มอเตอร์สามารถจ่ายแรงบิดได้ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด โดยการใช้กระแสที่พิกัดที่ s_f คงที่ ดังนั้นในช่วงความถี่ต่ำกว่าความเร็วพิกัดนี้จึงถูกเรียกว่า Constant Power Region



จากรูปที่ 2.7 แสดงคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำและประสิทธิภาพ

2. ช่วงความเร็วสูงกว่าพิกัด หรือช่วงกำลังคงที่ (Constant Power Region)

ด้วยการเพิ่มความถี่ที่ป้อนเข้าให้สูงกว่าพิกัด สามารถทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงกว่าพิกัดได้ ในการขับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความเร็วได้นั้น ส่วนใหญ่แรงดันไฟฟ้าจะไม่ได้ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายให้สูงกว่าพิกัด การเพิ่มขึ้นของความถี่มีผลทำให้ V_s/f ลดลง สิ่งที่ตามมาคือ ϕ_{ag} ลดลง ในขณะที่ V_s คงที่ นั้นสามารถแสดงฟังก์ชันแรงบิดได้ดังสมการ

$$T_{em} = \frac{k_7}{f^2} \omega_{sl} \quad [2.13]$$

แสดงให้เห็นว่าความชันของเส้นแรงบิดแปรผกผันกับความถี่กำลังสอง ดังรูปที่ 2.7(a) ในช่วงสูงกว่าความเร็วพิกัด ณ ที่ประสิทธิภาพสูงสุดที่พิกัด I_r จะมีค่าคงที่เท่าพิกัดเหมือนกับ ช่วงความเร็วต่ำกว่าพิกัด ซึ่งเป็นไปตาม $S = Sf/f$ ซึ่งมีค่าคงที่อยู่ในช่วงนี้ สามารถดูได้จากสมการ

$$I_r = k_5 S = \text{ค่าคงที่} \quad [2.14]$$

เมื่อ V_s และ S คงที่ตลอดช่วงนี้ แรงบิดสูงสุดสามารถหาได้จากสมการ

$$T_{em,max} = \frac{f_{rated}}{f} T_{rated} \quad [2.15]$$

เนื่องจาก และ แต่ S คงที่ $P_{em,max} = \omega_r T_{em,max}$ และ $\omega_r = (1-S)\omega_s$ แต่ S คงที่ ω_r จึงแปรผันตรงกับความถี่เท่านั้น ดังนั้นในทางปฏิบัติมอเตอร์สามารถที่จะให้กำลังสูงกว่าพิกัดได้ โดยถ้า I_m ลดลง เพราะ ϕ_{ag} ลดลง ดังนั้นทำให้ I_r จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นมอเตอร์จึงกำเนิดแรงบิดและกำลังที่สูงขึ้น และเนื่องจาก I_m ลดลง ทำให้ Core Loss ลดลงด้วย ในทำนองเดียวกันการระบายความร้อนก็สามารถทำได้ดีกว่าในขณะที่ทำงานที่ความเร็วสูง ทำให้ Core Loss ลดลง

3. ช่วงความเร็วสูง หรือช่วงที่ Sf คงที่

เมื่อ V_s มีค่าคงที่ที่พิกัด ซึ่งตามการออกแบบมอเตอร์ ช่วงที่ทำงานความเร็วสูงนั้นอาจอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2 เท่าของความเร็วพิกัด ช่วงนี้ ϕ_{ag} จะลดลงอย่างมาก ทำให้จุดทำงานของมอเตอร์เกือบเข้าใกล้ Pull Out Torque ดังที่แสดงในจากรูปที่ 2.7(a) ในช่วงนี้เอง มอเตอร์จะสามารถจ่ายแรงบิดอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะต่ำกว่าค่า Pull Out Torque คงที่ มีผลทำให้ Sf คงที่

2.2 การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ามี 3 วิธี คือ

1. ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์
สามารถทำได้โดยใช้วงจรตัดไฟ (Rectifier) ที่สามารถควบคุมระดับแรงดันได้ หรือใช้ วงจร ช้อปเปอร์ (Chopper)
2. ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าภายในวงจรอินเวอร์เตอร์
ใช้พัลส์มอดูเลชัน มีหลายแบบ เช่น พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ซึ่งก็เกิดพัลส์มอดูเลชัน (Single Modulation) ทำให้เอาท์พุทมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป
3. ควบคุมระดับแรงดันเอาท์พุทโดยใช้ Stepping Transformer
วิธีการควบคุมแบบนี้ให้การตอบสนองช้า จึงไม่เป็นที่นิยม
การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าภายในวงจรอินเวอร์เตอร์ ก็กับการควบคุมแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์ ทั้ง 2 วิธีนิยมใช้กันมาก โดยมีลักษณะข้อดีและข้อเสียดังนี้

ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าภายใน	ควบคุมแรงดันไฟฟ้าตรงที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์
1. การตอบสนองรวดเร็ว	1. ตอบสนองช้าเพราะ Filtering ในแหล่งจ่าย
2. เหมาะกับโหลดสูง ๆ	2. ไม่เหมาะกับโหลดสูง ๆ
3. ฮาร์โมนิคเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงฮาร์โมนิค	3. ฮาร์โมนิคเอาท์พุทคงที่
4. Filter ยากกว่า	4. Filter ง่าย

ซึ่งในโครงการนี้จะใช้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้าภายในอินเวอร์เตอร์ ซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่ใช้นั้นมีหลายแบบ โดยแต่ละแบบจะมีข้อดีและเสียแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะใช้โหลดชนิดใด และต้องการสัญญาณแบบใด

2.2.1 ชนิดของอินเวอร์เตอร์

1. แบบคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)
เป็นอินเวอร์เตอร์แบบที่ใช้สัญญาณเอาท์พุทเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม เป็นชนิดที่สร้างได้ไม่ยาก แต่เอาท์พุทที่ได้ไม่เป็นคลื่นไซน์
2. แบบคลื่นสี่เหลี่ยมควอซี (Quasi Square Wave)
แบบนี้ได้รับการปรับปรุงมาจากแบบแรก ซึ่งจะกรองเอาสัญญาณชาน์ออกมาได้ง่ายขึ้น และแบบนี้สามารถใช้ได้เฉพาะโหลดเท่านั้น เพราะว่าเป็นเอาท์พุทแบบนี้จะมีฮาร์โมนิคปะปนอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบ 6 ชั้น และแบบ 12 ชั้น (6 Step , 12 Step)

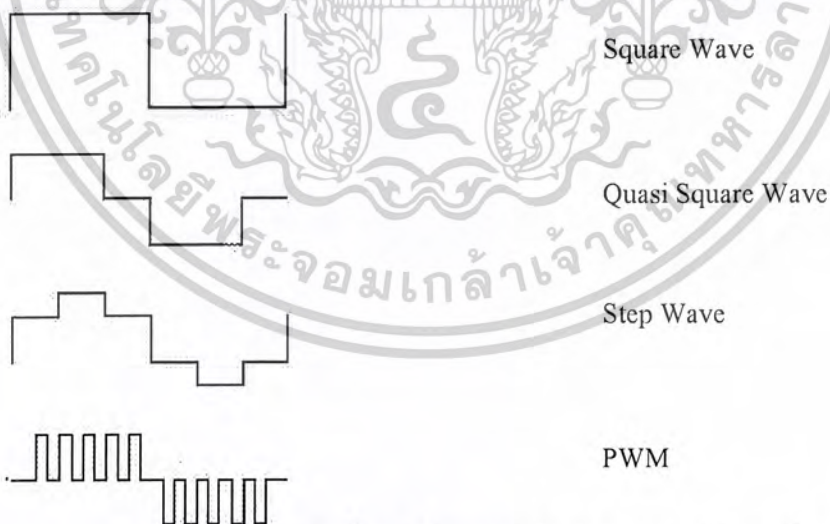
ทั้ง 2 ชนิดนี้ใช้สัญญาณควอซีมารวมกันโดยผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์ จึงสามารถลดอุปกรณ์กรองความถี่ได้ เพราะฮาร์โมนิคลดลง แต่การสร้างอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เพราะต้องใช้ควอซีหลาย ๆ ตัวมาต่อขนานกัน และยังต้องใช้หม้อแปลงเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้มีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก ซึ่งวิธีการแบบนี้ใช้กับอินเวอร์เตอร์ที่มีพิกัดสูง

4. แบบพัลส์สวิตช์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation : PWM)

แบบนี้จะให้เอาต์พุตไม่เหมือนกับแบบอื่น โดยลักษณะสัญญาณเอาต์พุตเกิดขึ้นจากการมอดูเลท ระหว่างคลื่นไซน์กับคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งผลที่ได้จะมีฮาร์โมนิคลำดับที่ต่ำน้อยมาก อุปกรณ์กรองความถี่ที่ใช้ จึงมีขนาดเล็ก แต่สัญญาณแบบนี้มีความยุ่งยากในการสร้างรูปแบบ (Pattern) และแบบนี้มีความเหมาะสมเฉพาะอินเวอร์เตอร์ที่มีพิกัดกำลังไม่มากนัก

2.2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์นั้น เอาต์พุตที่ได้จากวงจร จะยังไม่ใช่คลื่นไซน์ ถ้าหากยังไม่ได้มีการกรองความถี่รูปคลื่นที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะที่ประกอบด้วย ผลรวมระหว่างคลื่นความถี่หลัก กับองค์ประกอบฮาร์โมนิค ที่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่หลัก

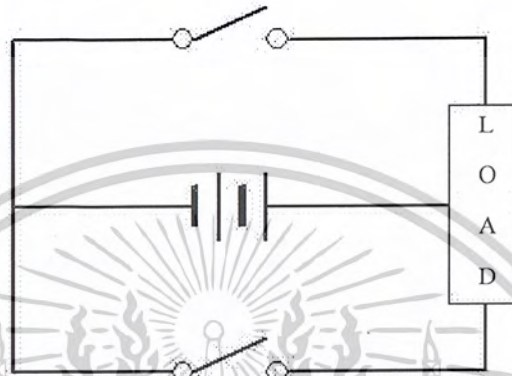


รูปที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตแบบต่าง ๆ ของวงจรอินเวอร์เตอร์

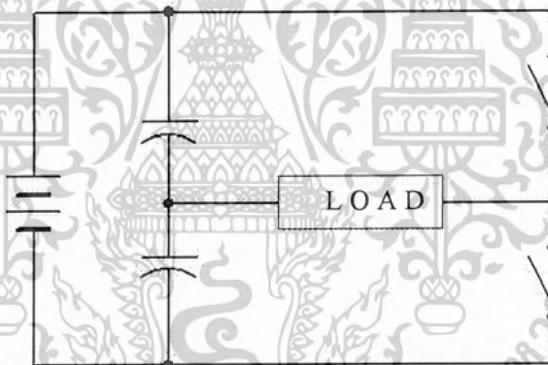
วงจรอินเวอร์เตอร์ เมื่อพิจารณาตามลักษณะตามรูปคลื่นเอาต์พุต จะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

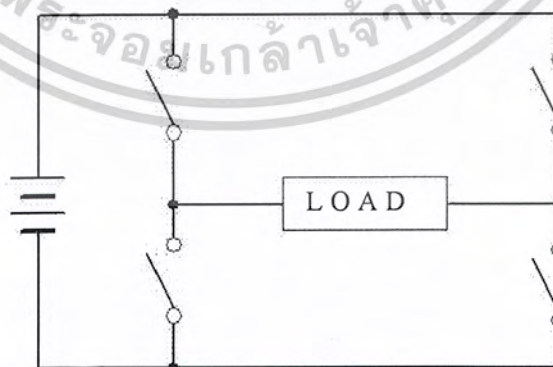
วงจรสวิชชิงอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันมีหลายแบบ แต่ละแบบจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมทั้งคุณสมบัติของอุปกรณ์ในแต่ละวงจร และขนาดของอุปกรณ์ก็จะแตกต่างกันไป วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ วงจรพุทพุท (Push Pull) วงจรฮาร์ฟบริดจ์ (Half Bridge) วงจรฟูลบริดจ์ (Full Bridge)



รูปที่ 2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบพุทพุท



รูปที่ 2.10 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบฮาร์ฟบริดจ์

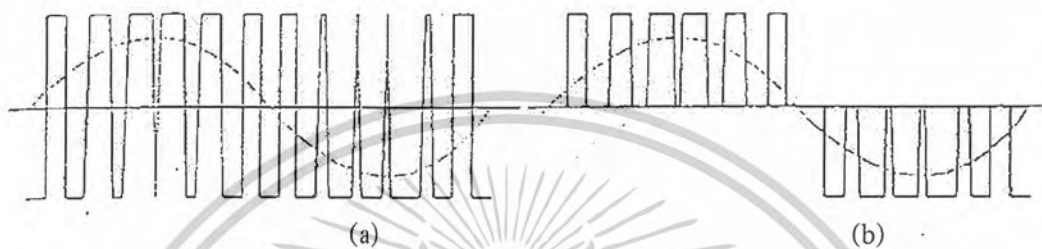


รูปที่ 2.11 วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบฟูลบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดท์มอดูเลชัน

การมอดูเลทความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) เป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์ย่อย หลาย ๆ พัลส์ โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างพัลส์ไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงรูปคลื่น PWM ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งเทคนิคในการสร้างรูปคลื่น PWM ในแนวความคิดต่าง ๆ



รูปที่ 2.12 แสดงรูปคลื่น PWM (a) แบบ 2 ระดับ (b) แบบ 3 ระดับ

1. รูปคลื่น PWM แบบ 2 ระดับ และ 3 ระดับ

รูปคลื่น PWM มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ชนิดที่นำมาใช้มากที่สุด และเป็นชนิดพื้นฐานที่สุดได้แก่ แบบ 2 ระดับ และแบบ 3 ระดับ

- PWM 2 Level เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิตช์ ระดับอ้างอิง 2 ระดับ คือ E, - E
- PWM 3 Level เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิตช์ ระดับอ้างอิง 3 ระดับ คือ E, Q, - E

ในรูปที่ 2.13 เป็นการแสดงรูปคลื่น PWM เปรียบเทียบกับคลื่นความถี่หลัก (Fundamental) ของรูปคลื่น PWM นั้น

2. การสร้างรูปคลื่น PWM

รูปคลื่น PWM สามารถสร้างขึ้นมาได้โดยวิธีต่าง ๆ ได้แก่

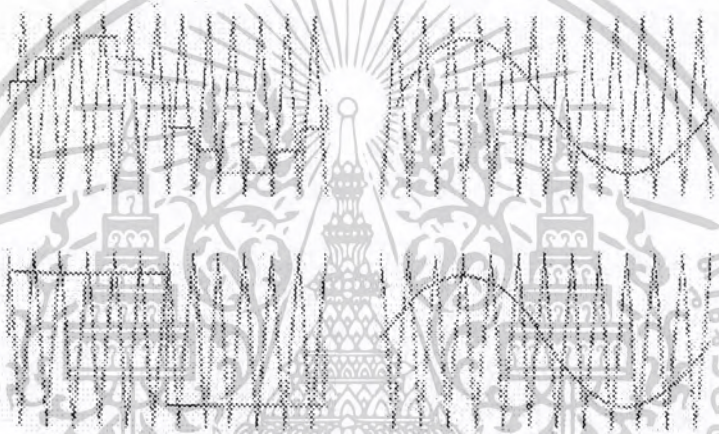
- โดยการใช่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ การสร้าง PWM จากวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ วิธีที่สะดวกที่สุดคือ ใช่วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เช่น ใช้ ICเบอร์ LM339 ,LM311 เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยป้อนสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ เข้าสู่ วงจรเปรียบเทียบ คือสัญญาณอ้างอิง (Reference Signal) กับสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) สัญญาณอ้างอิงจะมีความถี่เท่ากับรูปคลื่น PWM ส่วนสัญญาณพาหะจะมีความถี่สูงกว่า

- การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการโปรแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งสัญญาณซึ่งสอดคล้องกับมุมสวิทช์ผ่านทางพอร์ทเอาต์พุต ซึ่งวิธีนี้จะต้องมีการคำนวณหรือกำหนดค่ามุมสวิทช์มุมต่าง ๆ ออกมาเสียก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโปรเซสเซอร์จะอาศัยข้อมูลเหล่านั้นเพื่อสร้างรูปแบบ (Pattern) สัญญาณ PWM ขึ้นมาแล้ว จึงส่งผ่านพอร์ตเอาต์พุตออกมา

ในโครงการนี้ ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ โดยจะทำการคำนวณมุมสวิทช์ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB แล้วทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ลงบนหน่วยความจำของไมโครโปรเซสเซอร์



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการสร้างรูปคลื่น PWM โดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ

3. การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเทอเรลและแบบเรกูลาร์

การสร้างรูปคลื่น PWM โดยการใช้วงจรเปรียบเทียบ จะมีองค์ประกอบ 2 ประการที่จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปคลื่น PWM ได้แก่

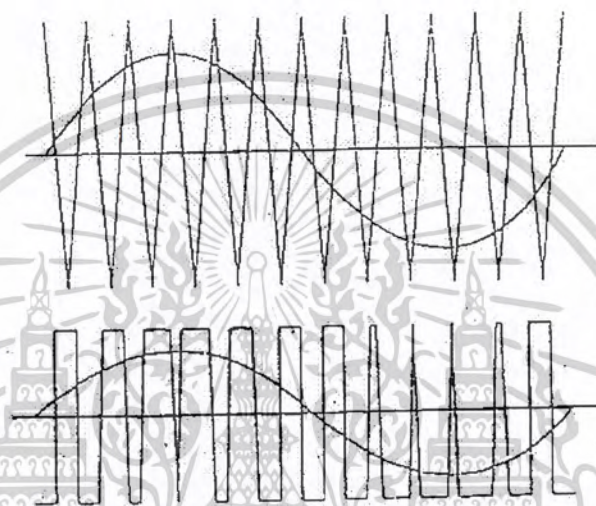
- อัตราส่วนความถี่ของสัญญาณพาหะ ต่อสัญญาณอ้างอิง (Frequency ratio : N)
- อัตราส่วนแอมปริจูดของสัญญาณอ้างอิงต่อสัญญาณพาหะ หรืออัตราส่วนมอดูเลชัน (Modulation ratio : K)

จากทฤษฎีและข้อมูลเก่าที่มีการคำนวณและศึกษามา ได้นำค่า K, N ไปวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิค จะได้ว่า โดยปกติแล้วค่า K จะใช้ค่าที่อยู่ในช่วง ไม่เกิน 1 ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวกำหนดความกว้างพัลส์แต่ละพัลส์ โดยค่า K จะแปรผันตรงกับความกว้างพัลส์ ส่วนค่า N จะเป็นตัวกำหนดจำนวนพัลส์ ให้มีจำนวนเท่ากับค่า N และจำนวนมุมสวิทช์ซึ่งจะมีจำนวน 2N มุม ทั้งนี้ต้องอยู่ในกรณีค่า N ไม่เกิน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

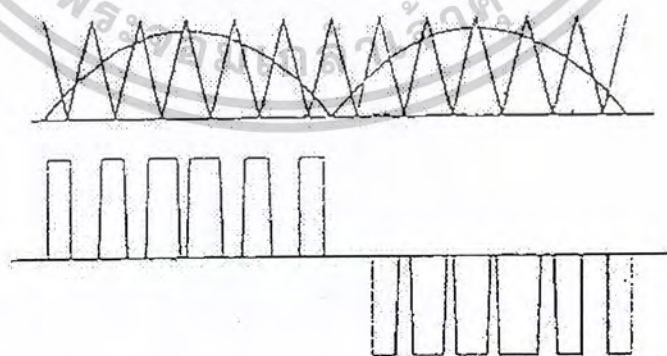
2.2.4 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอร์อลแซมปลิง

การสร้างแบบนี้จะใช้คลื่นไซน์เป็นสัญญาณอ้างอิง และคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณพาหะ โดยสามารถสร้างได้ทั้งแบบ 2 ระดับ และแบบ 3 ระดับ การสร้างแบบ 2 ระดับ จะใช้คลื่นไซน์และคลื่นสามเหลี่ยมแบบเต็มรูปคลื่น ช่วงที่คลื่นไซน์มากกว่าสามเหลี่ยมจะเป็นบวก และช่วงที่คลื่นไซน์น้อยกว่าจะเป็นลบ วิธีนี้ในส่วนวงจรบริคจ์อินเวอร์เตอร์ของโครงการที่ทดลอง



รูปที่ 2.14 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอร์อลแซมปลิง แบบ 2 ระดับ

สำหรับการเปรียบเทียบ 3 ระดับนั้น จะใช้คลื่นไซน์ที่เรดิฟายขึ้นไปเป็นคลื่น พูลเวฟ เปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยมที่ถูกยกระดับขึ้นไปอยู่เหนือกราวด์ ช่วงที่คลื่นพูลเวฟมีขนาดมากกว่าในครึ่งคาบแรก การสวิตช์จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15

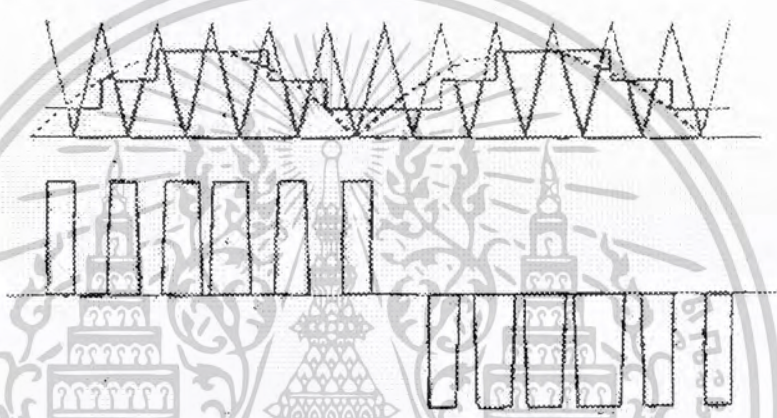


รูปที่ 2.15 การสร้างรูปคลื่นแบบเนเทอร์อลแซมปลิง แบบ 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมปลิง

การสร้างแบบนี้ใช้หลักการแบบการเดียวกันกับเนเทอร์อด โดยดัดแปลงจากแบบเนเทอร์อด เนื่องจากการเปรียบเทียบแบบเนเทอร์อดนั้น ระหว่างการเปรียบเทียบแต่ละครั้ง ส่วนชาวนั้นจะไม่เป็นเชิงเส้น การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์จะนำคลื่นชาวนั้นผ่านวงจรแซมปลิงและโฮลด์ (Sampling and Hold) ที่มีความถี่การแซมปลิงเท่ากับความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบแต่ละช่วงจะเป็นเชิงเส้น การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์สามารถทำได้ แบบ 2 ระดับ และ 3 ระดับ เช่นเดียวกับแบบเนเทอร์อด



รูปที่ 2.16 การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมปลิง แบบ 3 ระดับ

ในโครงการนี้ไม่ได้ใช้วิธีการนี้ในการสร้างคลื่น PWM แต่เลือกใช้วิธีเนเทอร์อดแซมปลิงแบบ 2 ระดับ และนำเอาไอจีบีที มาเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ ซึ่งเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น เราจะทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีของไอจีบีทีอย่างคร่าว ๆ

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)

อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลที่พอจะคุ้นเคย และใช้งานกันอย่างกว้างขวางในขณะนี้ได้แก่ เอสซีอาร์, ไตรแอก, ทรานซิสเตอร์, มอสเฟต โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ ทรานซิสเตอร์ขณะที่อยู่ในสถานะนำกระแสจะอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำ มีอัตราแรงดันและขยายกระแสได้สูง แต่ความเร็วในการสวิตซ์ยังต่ำอยู่ โดยเฉพาะช่วงหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่ยาว คุณสมบัติทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับมอสเฟต ที่มีความเร็วในการสวิตซ์สูง นำและหยุดนำกระแสได้เร็วมาก แต่ก็มีอัตราการสูญเสียกำลังงานสูง จากเหตุผลที่กล่าวมาจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ประเภทนี้ จนได้อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลชนิดใหม่ เรียกว่า ไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

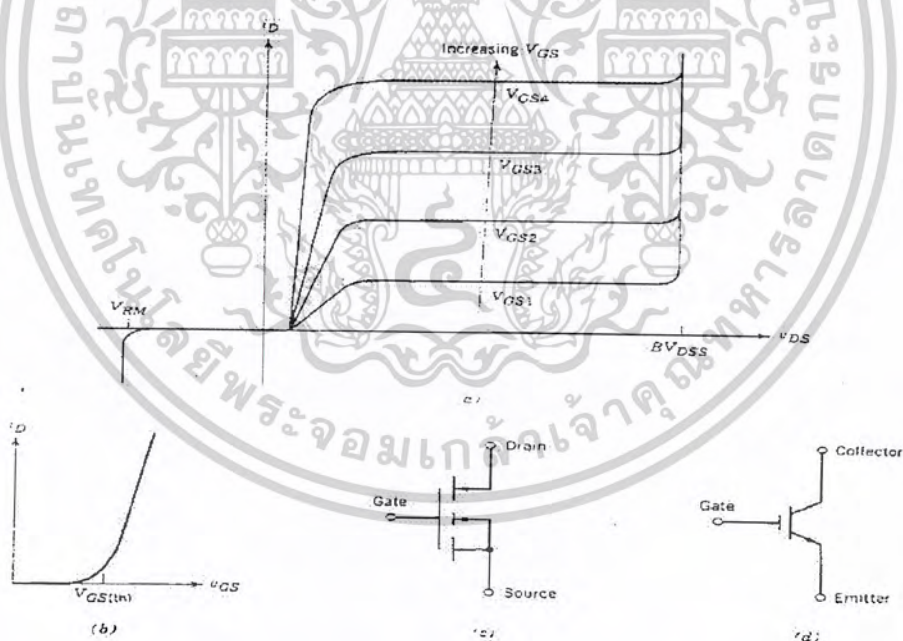
2.3.1 คุณลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้า

ลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้าของไอจีบีทีชนิดเอ็นแซนแนล ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (a) ในทิศฟอร์เวิร์ด (Forward) จะเหมือนกับของไบโพลาร์ ที่ใช้ในลอจิกเซอร์กิต แตกต่างกันเพียงควบคุมการทำงานด้วยความต่างศักย์ แทนที่จะควบคุมด้วยกระแสเหมือนทรานซิสเตอร์ คุณสมบัติของไอจีบีทีชนิดพีแซนแนล จะเหมือนกัน แต่ขั้วของความต่างศักย์และทิศทางของกระแสจะกลับกัน

ในรูปที่ 2.17 (b) จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_D และ V_{GS} ลักษณะเหมือนกับของมอสเฟต คือ เส้นกราฟจะเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงของกระแสเดรน และไม่เป็นเชิงเส้น ณ จุดที่กระแสเดรนมีค่าต่ำเมื่อ V_{GS} มีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่ง เรียกค่านี้ว่า $V_{GS(th)}$ (Threshold Voltage)

ไอจีบีทีที่อยู่ในสภาวะหยุดการนำกระแส V_{GS} สูงสุดที่ยอมให้ใช้ได้อยู่ ค่ากระแสเดรนสูงสุดที่ยอมให้ไหลในตัวไอจีบีที

สัญลักษณ์ของไอจีบีทีชนิดเอ็นแซนแนลแสดง ไว้ในรูปที่ 2.17 (c) และ (d) ทิศทางของลูกศรจะกลับทิศในกรณีของไอจีบีทีชนิดพีแซนแนล



รูปที่ 2.17 (a) แสดงกราฟระหว่างกระแสและแรงดันที่ตกคร่อม ไอจีบีที (b) แสดงกราฟเอาท์พุท (c) และ (d) แสดงสัญลักษณ์ของ ไอจีบีทีชนิดเอ็นแซนแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

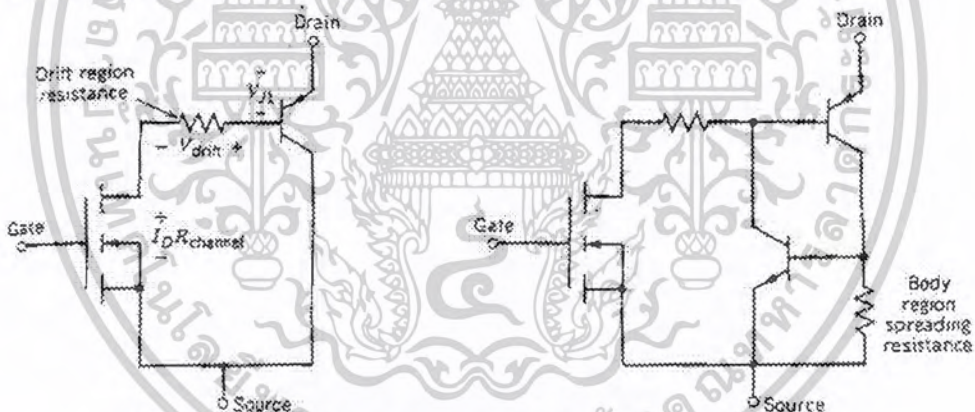
2.3.2 ลักษณะการทำงาน

สภาวะนำกระแส เมื่อขาเดรนได้รับแรงดันฟอร์เวิร์ด คือ V_{GS} มีค่าเกิน $V_{GS(th)}$ ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกต จะดึงอิเล็กตรอนทำให้ไอจีบีบีอยู่ในสภาวะนำกระแส นั่นคือเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากเดรนไปซอร์สได้

สภาวะหยุดนำกระแส เมื่อ V_{GS} ลดลงต่ำกว่า $V_{GS(th)}$ จะทำให้มีแรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้ พี เป็น เอ็น ได้ ทำให้บริเวณขาเดรนไม่ต่อกับบริเวณซอร์ส ไอจีบีบีจึงอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส ในสภาวะนี้แรงดันไบแอสกลับจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.3.3 วงจรสมมูลของไอจีบีบี

วงจรสมมูลของไอจีบีบี จะคล้ายกับทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี โดยแทนได้ด้วยขาคอลเลกเตอร์ (Collector) เบส (Base) และอีมิเตอร์ (Emitter) ตามลำดับ และบริเวณภายในเกต ก็ จะแทนได้ด้วยมอสเฟต ซึ่งจะมีความต้านทานบริเวณที่เชื่อมขาเบสของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี เข้ากับขาเดรนของมอสเฟต ซึ่งเมื่อเขียนวงจรสมมูลออกมา จะได้ดังรูปที่ 2.19 (a)



รูปที่ 2.18 (a) แสดงวงจรสมมูลของไอจีบีบี ขณะทำงานในสภาวะปกติ

(b) แสดงวงจรสมมูลของ ไอจีบีบี ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ต่ออยู่ภายใน

จากรูปที่ 2.18 (a) จะเห็นว่าป็นวงจรคาร์ลิ่งคัตตัน โดยมีมอสเฟตเป็นตัวขับทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี แต่จะมีจุดพิเศษที่แตกต่างจากวงจรทั่วไป คือ กระแสเดรน ส่วนใหญ่จะไหลจากอีมิเตอร์มายังเบส และผ่านขาเดรนของมอสเฟตมาจบลงที่ขาซอร์ส จะมีกระแสส่วนน้อยเท่านั้นที่ไหลจากอีมิเตอร์มายังคอลเลกเตอร์และขาซอร์ส

สำหรับวงจรสมมูลรูปที่ 2.18 (b) จะแสดงให้เห็นว่า ภายในไอจีบีบีมีไทรสเตอร์แฝงอยู่ด้วย โดยดูจากการที่ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น และชนิดพีเอ็นพี ต่อเข้าด้วยกัน ในลักษณะที่มีการ

ป้อนกลับ โดยถ้ากระแสส่วนน้อยที่ไหลผ่าน จากอีมิเตอร์มายังคอลเลกเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดพีเอ็นพี ผ่านความต้านทานข้างเคียง แล้วทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานสูงกว่า 0.7 โวลต์ ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีจะนำกระแส สำหรับ V_{GS} ของไอจีบีที ขณะนำกระแส ($V_{DS(on)}$) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

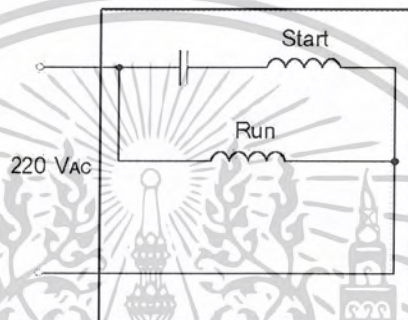
$$V_{DS(on)} = V_{j1} + V_{drift} + I_D R_{channel} \quad [2.16]$$

- เมื่อ V_{j1} เป็นแรงดันฟอร์เวิร์ดไบแอส ที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็นพี จึงมีค่าค่อนข้างคงที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างก็เพียงเล็กน้อย เพราะมีความสัมพันธ์โดยตรงในลักษณะเอ็กโพเนนเชียล กับกระแส ทำให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 – 1 โวลต์
- V_{drain} เป็นแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานบริเวณลอยเลื่อน ซึ่งความต้านทานนี้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเทียบกับค่าแรงดันในมอสเฟตแล้ว จะมีค่าน้อยกว่า เพราะผลของการมอดูเลตสภาพนำที่เกิดขึ้นใน ไอจีบีที
- $R_{channel}$ เป็นค่าความต้านทานในย่าน 1 – 1000 โอห์ม มีค่าค่อนข้างคงที่
- $I_D R_{channel}$ เป็นแรงดันตกคร่อมมอสเฟต

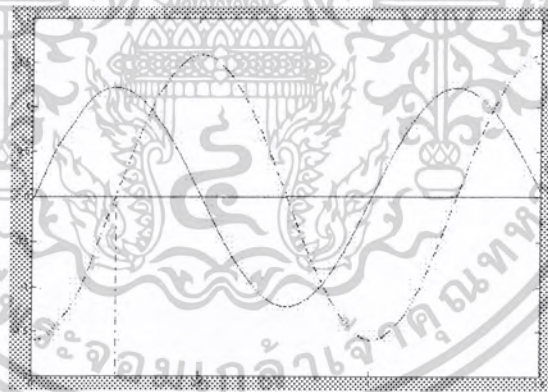
บทที่ 3

วงจรและหลักการทำงาน

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของมอเตอร์จะประกอบด้วย Coil หลัก 2 Coil ด้วยกัน คือ Coil Run และ Start ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก็จะมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่กับ Coil Start ทำให้มุมระหว่าง 2 สัญญาณมีเฟสต่างกัน 90° ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนค่าแรงดันที่ Coil Start มีค่า 290 V เป็นค่าที่ได้จากการวัดจริง



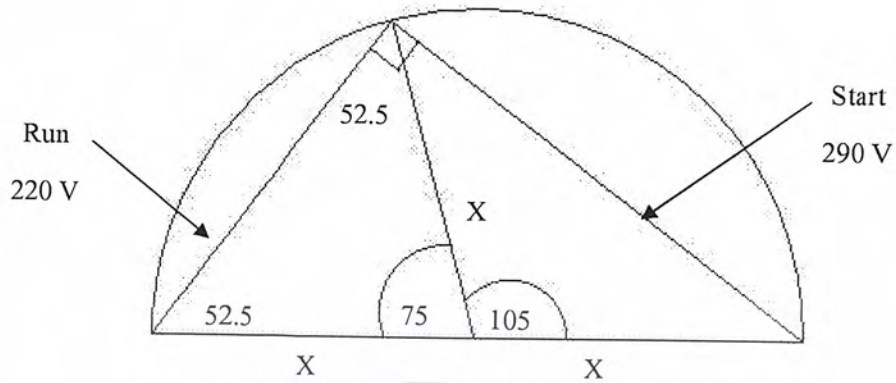
รูปที่ 3.1 โครงสร้างสมมุติของมอเตอร์



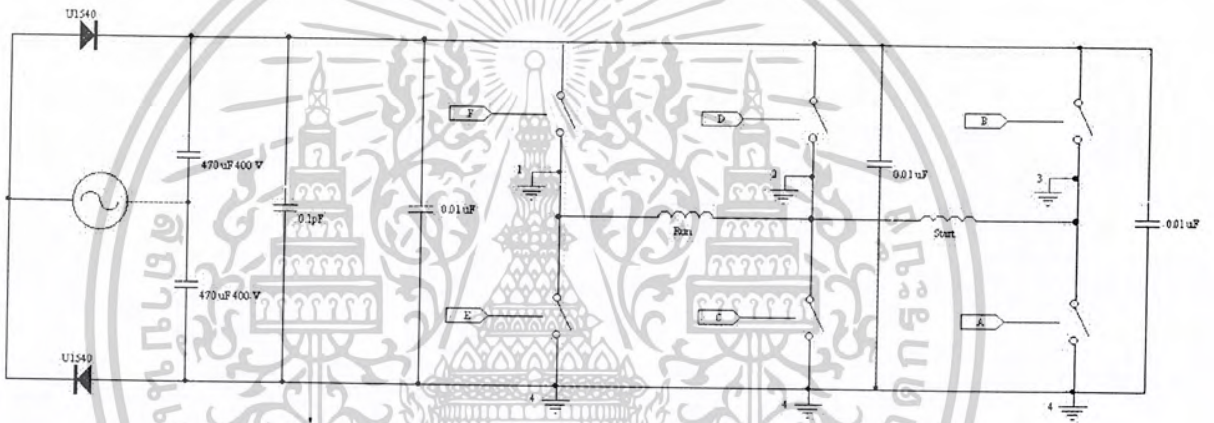
รูปที่ 3.2 ค่าแรงดันใน Coil Run และ Start

จากรูปที่ 4.2 โครงสร้างจึงต้องจ่ายแรงดันที่ค่าต่างเฟสกัน 90° และแรงดันตามที่ Motor ต้องการ จึงสามารถโครงสร้างไฟ 3 เฟส ในการสร้างสัญญาณคลื่น Sine เป็นดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพเฟสเซอร์ของการสวิตซ์ 3 เฟส



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ในการสวิตซ์ 3 เฟส

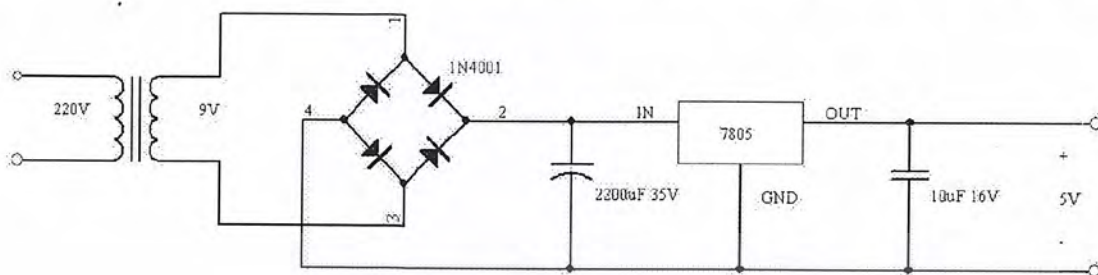
ในโครงงานนี้เริ่มต้นโดยการทดลองในส่วนของ PWM โดยจะ Simulate ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาความเหมาะสมของความถี่ modulate ของเปอร์เซ็นต์การ modulate ที่สามารถนำไปเลือกใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความเร็วที่เหมาะสมกันได้

3.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

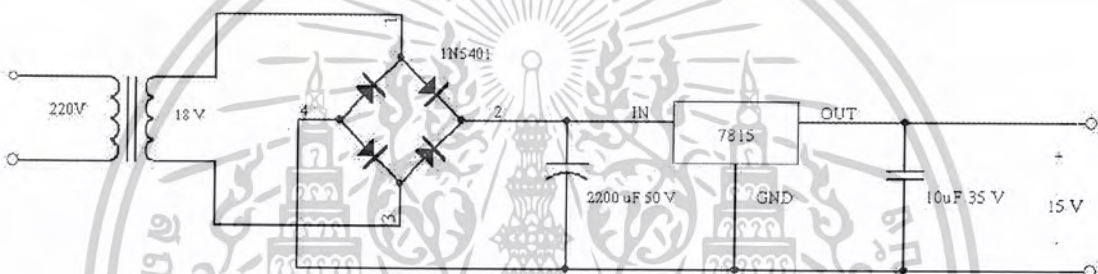
ในที่นี้เราจะต้องสร้างแหล่งจ่ายไฟ 5 ชุด ประกอบด้วย แรงดันไฟตรง 5 V 1 ชุด และแรงดันไฟ 15 V 4 ชุด โดยแรงดันไฟ 5 V ใช้เลี้ยงวงจรควบคุม ส่วน 15 V ใช้เลี้ยงวงจรขับเคลื่อน ส่วนของ Opto - insulator ทั้ง 4 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั้งสองวงจรจะอาศัยวงจร Full Wave Bridge และ regulator 7805 และ 7815 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ 5 V



รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟ 15 V

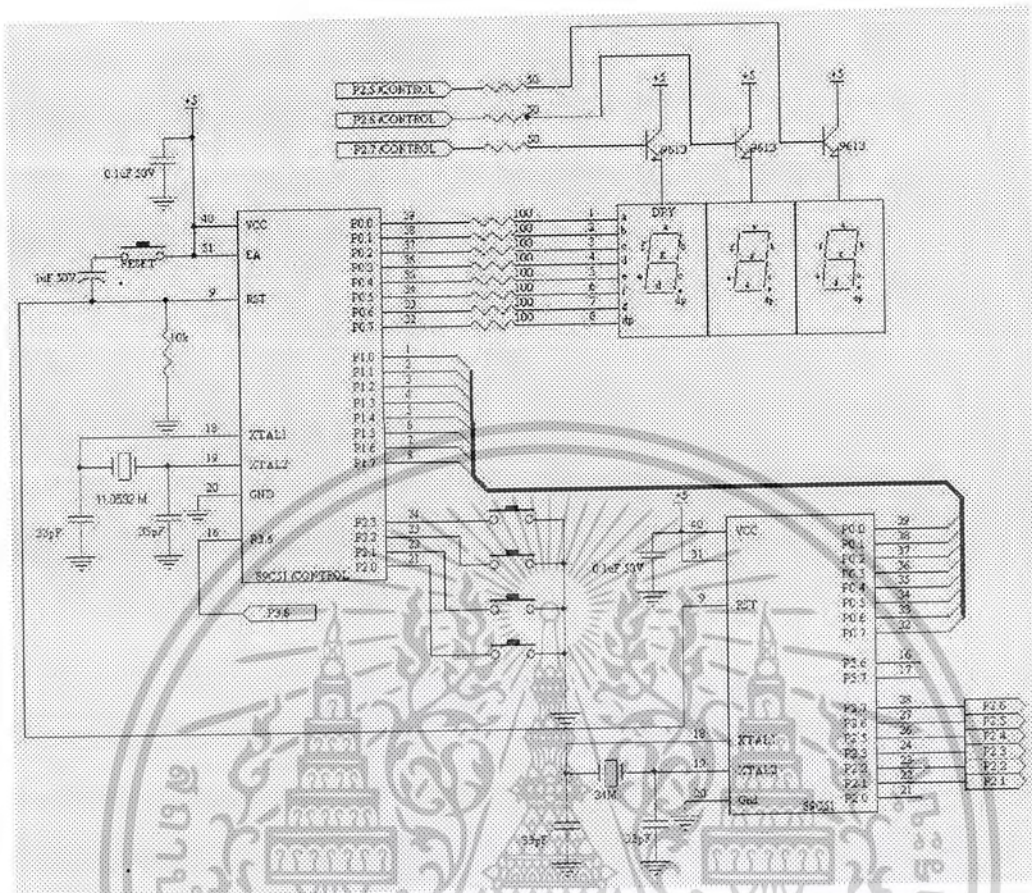
3.2 วงจรควบคุม

ในส่วนของวงจรควบคุมนั้นเราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวด้วยกัน คือ 89C51 2 ตัว โดยตัวแรกนั้นจะทำหน้าที่รับคำสั่งจากปุ่มกดที่ต่อกับขา P 2.0 ,2.1 ,2.2 และ 2.3 ที่ใช้ปรับความถี่และแสดงค่าความถี่ออกมาในรูปของ 7 Segment 3 หลัก เมื่อปุ่มกดรับคำสั่งให้ปรับเปลี่ยนความถี่จะส่งค่าไปยัง 89C51 อีกตัวโดยใช้ขา P 1 ไปยัง P 0

และใน 89C51 ที่ทำการเก็บข้อมูลตารางค่าที่ได้จาก MATLAB และจะจ่ายแรงดันเป็น Pulse ให้แก่ส่วนวงจรขับเกท ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้เองที่จะต้องมีความเร็วสูงกว่าปกติเพื่อให้เพียงพอในการขับเกท ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณเดคิโคม์ประมาณ 2 ไมโครวินาที ดังนั้นจึงเลือกใช้คริสตอลความถี่ 24 MHz ซึ่งจะได้ Machine Cycle 0.5 ไมโครวินาที ซึ่งสามารถทำได้ เมื่อได้รับคำสั่งจาก 89C51 เข้าที่ขา P 0 จะถูก Interrupt ทำให้เปลี่ยนค่าตารางชุดข้อมูลที่เก็บไว้แล้วจะทำการจ่ายแรงดัน Pulse ที่ขา P 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 และ 2.6

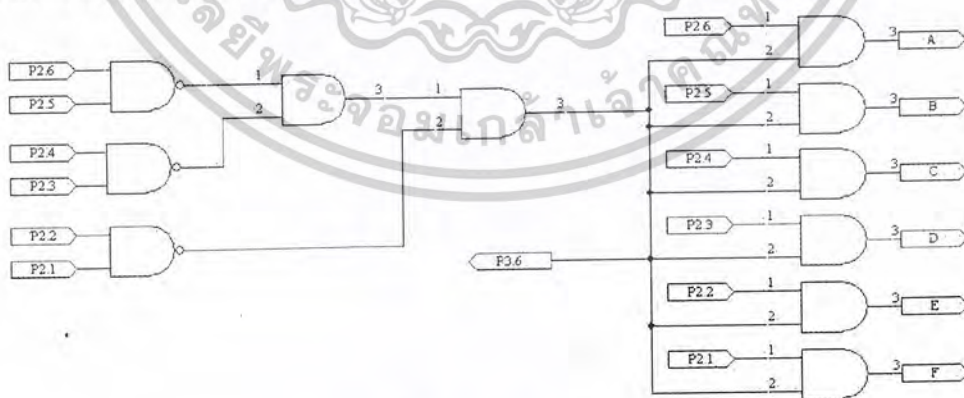
การกดปุ่มรีเซ็ตนั้นจะทำการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองตัวพร้อม ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และในส่วนของโปรแกรมสามารถศึกษาได้เพิ่มเติมจากภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุม

ถ่วง Pulse ที่ออกจาก 89C51 จะผ่านวงจร And Gate ตามรูปที่ 3.8 เพื่อตรวจสอบค่าว่ามีค่า 1 พร้อมกันหมดหรือไม่ ซึ่งจะช่วยป้องกันการ On Switch พร้อมกันทั้งหมด



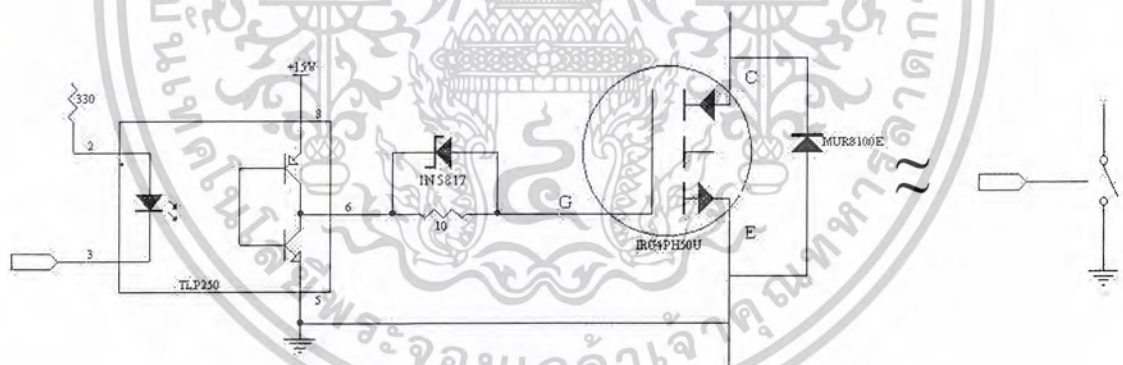
รูปที่ 3.8 วงจร And Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรขับเกท

ในสภาวะสวิตช์ On เริ่มจาก A ซึ่งจะทำการ sink กระแสจากแหล่งจ่าย 5 V ผ่านทางหลอดอินฟราเรดภายในตัว Opto - insulator ผ่านตัวต้านทานขนาด 330 โอห์มเพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดประมาณ 10 mA จากนั้นตัว Opto - insulator จะทำการจ่ายกระแส โดยผ่านตัวต้านทาน 10 โอห์มเพื่อทำการลด Transient ที่เกิดจากการสวิตช์ On - Off ของไอจีบีที จากนั้นกระแสจะไหลไปที่ขาเกทของไอจีบีที เพื่อทำการสวิตช์ไอจีบีทีให้อยู่ในสถานะ On จากนั้นกระแสก็จะไหลจากขั้วบวกเข้าขา C ของไอจีบีทีแล้วออกทางขา E เพื่อเข้าไปสู่ Coil ของมอเตอร์และลง Ground โดยจะมีตัวเก็บประจุร้อมแหล่งจ่ายต่อไว้ใกล้อุปกรณ์ เนื่องจากตัวเก็บประจุดังกล่าวจะทำให้หน้าที่ไม่ให้แรงดันลดลงอย่างรวดเร็วขณะทำการสวิตช์

ในสภาวะสวิตช์ Off เริ่มจาก A มีแรงดัน 5 V จึงส่งผลให้กระแสไม่สามารถไหลผ่าน Opto - insulator ได้ จึงทำให้ไม่มีกระแสไหลออกจาก Opto - insulator แล้วทำให้ไม่มีกระแสไหลเข้าขาเกท ไอจีบีทีจึง Off ในขณะนั้นเองเนื่องจากมอเตอร์เป็นขดลวดเหนี่ยวนำ กระแสจึงต้องไหลในทิศทางเดิมต่อไป ถึงแม้ว่าไอจีบีทีจะ Off แล้วก็ตาม จึงต้องมีไดโอด ทำหน้าที่นำกระแสที่ค้างที่ขดลวดออก นอกจากนี้ยังมี Schottky Diode ช่วยเพิ่มความเร็วในการคายประจุจากขา G



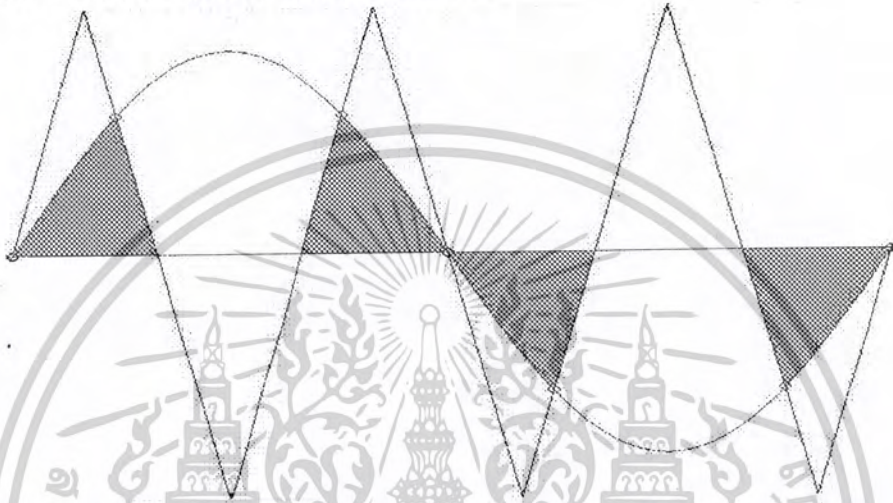
รูปที่ 3.9 วงจรขับเกท

จากวงจรเราจึงการอธิบายการทำงาน Cycle บวกและลบของ Coil Run เมื่อสวิตช์ชุดที่ 1 On และสวิตช์ชุดที่ 2 Off จึงส่งผลทำให้กระแสไหลจากขั้วบวกผ่านชุดที่ 1 เข้าสู่ Coil Run และลง Ground จึงส่งผลทำให้เกิด Cycle บวก หลังจากนั้นจะเห็นว่า สวิตช์ชุดที่ 2 On และสวิตช์ชุดที่ 1 Off จึงส่งผลทำให้กระแสไหลจาก Ground ผ่าน Coil Run และเข้าสู่ ชุดที่ 2 และลงขั้วลบ จึงส่งผลทำให้เกิด Cycle ลบ เช่นเดียวกับกับ Coil Start และ Coil Start จะเริ่มต้นสัญญาณ Sinusoid หลัง Coil Run 90 องศา

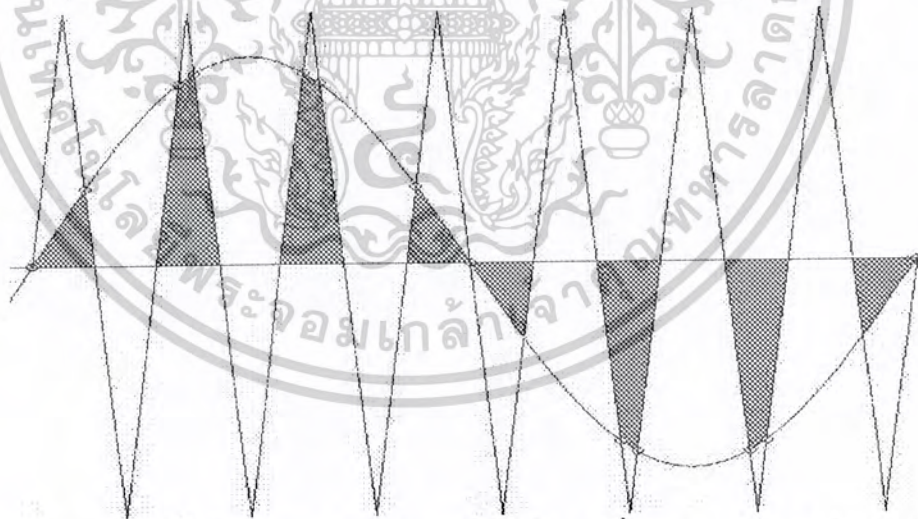
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โปรแกรม MATLAB

ในส่วนของโปรแกรม MATLAB จะทำที่ความถี่ Sine 15 ถึง 55 Hz โดยปรับขึ้นลงทีละ 2.5 Hz และความถี่ของ Triangle นั้นใช้ความถี่ เป็นค่า $4N - 1$ โดยค่า N เป็นจำนวนเต็มบวก ซึ่งจะกำหนดค่าประมาณ 2 KHz เหตุผลที่ใช้ค่า $4N - 1$ นั้นเพื่อให้ค่าที่ได้มีความสมมาตรกันทั้ง 4 Quadrants ทำให้สามารถลดพื้นที่ใน 89C51 ได้ถึง 4 เท่า

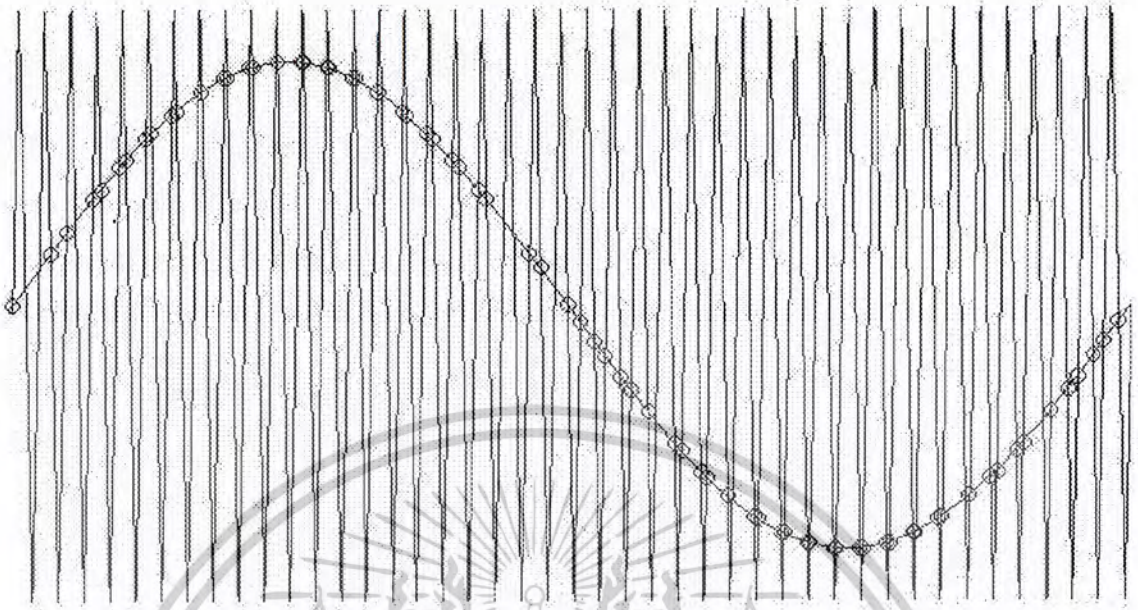


รูปที่ 3.10 กราฟที่ได้จากSimulate MATLAB กรณีความถี่ Triangle เป็น 3 เท่าของ Sine



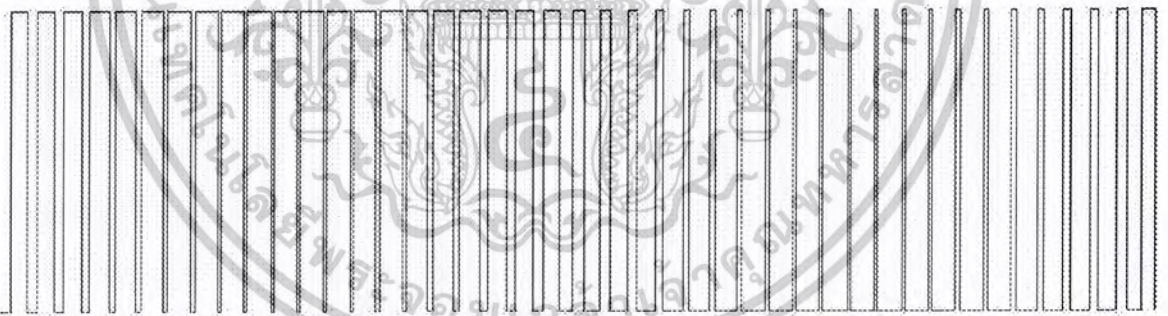
รูปที่ 3.11 กราฟที่ได้จากSimulate MATLAB กรณีความถี่ Triangle เป็น 7 เท่าของ Sine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กราฟที่ได้จากการ Simulate MATLAB

นอกจากนี้ยังสามารถให้โปรแกรม MATLAB plot ค่าเวลาที่ได้ออกมาในรูปของกราฟ PWM อีกด้วย



รูปที่ 3.13 กราฟ PWM ที่ได้จากโปรแกรม MATLAB

ในส่วนของโปรแกรมสามารถศึกษาได้เพิ่มเติมจากภาคผนวกและผลที่ได้จากโปรแกรมจะได้ค่าของเวลาที่เป็นจุดตัดของรูปคลื่นทั้งสอง ซึ่งจะนำไปบันทึกลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

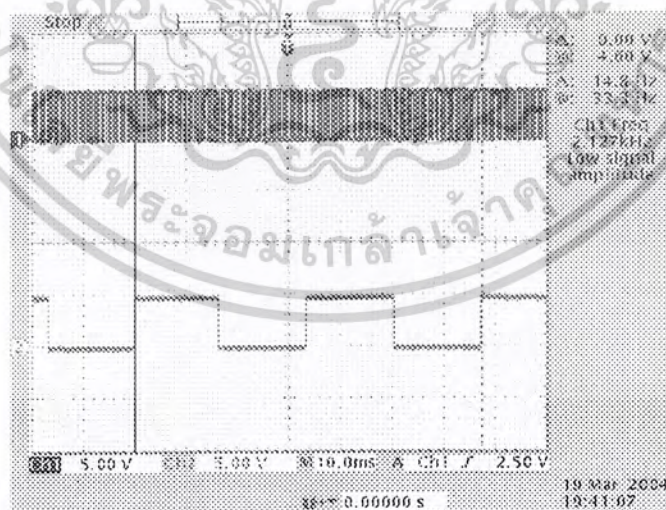
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในโครงการนี้ อินเวอร์เตอร์ที่ได้สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ตั้งแต่ 15 Hz จนถึง 55 Hz โดยปรับได้ที่ละ 2.5 Hz ซึ่งผลที่ได้จากการวัดโดยสัญญาณจาก Channel 1 คือสัญญาณ PWM ที่ออกจากขาเอาต์พุต 89C51 ส่วน Channel เป็นสัญญาณที่สร้างขึ้นจาก 89C51 เพื่อตรวจสอบความถี่ของสัญญาณ PWM และความถี่ที่ได้สรุปเป็นดังตารางที่ 4.1

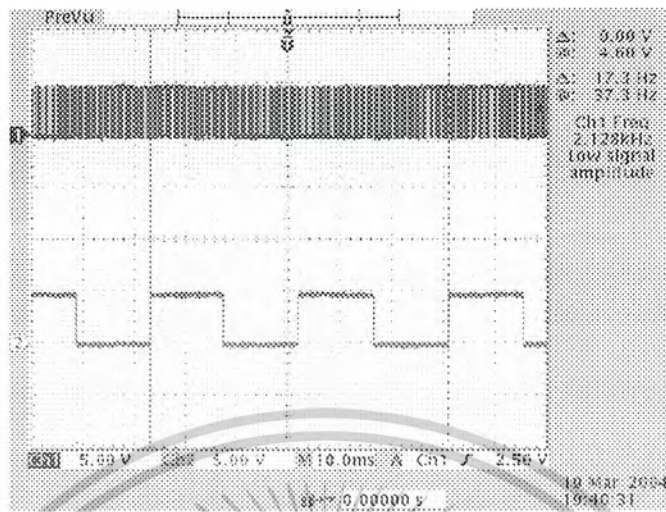
ความถี่จริง	15	17.5	20	22.5	25	27.5
ความถี่ที่วัดได้	14.7	17.2	19.7	22.1	24.6	27
ความถี่จริง	30	32.5	35	37.5	40	42.5
ความถี่ที่วัดได้	29.5	32.1	34.4	37	39.3	41.8
ความถี่จริง	45	47.5	50	52.5	55	
ความถี่ที่วัดได้	44.3	46.8	49.2	51.8	54	

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปความถี่ที่วัดได้จากขาเอาต์พุต 89C2051

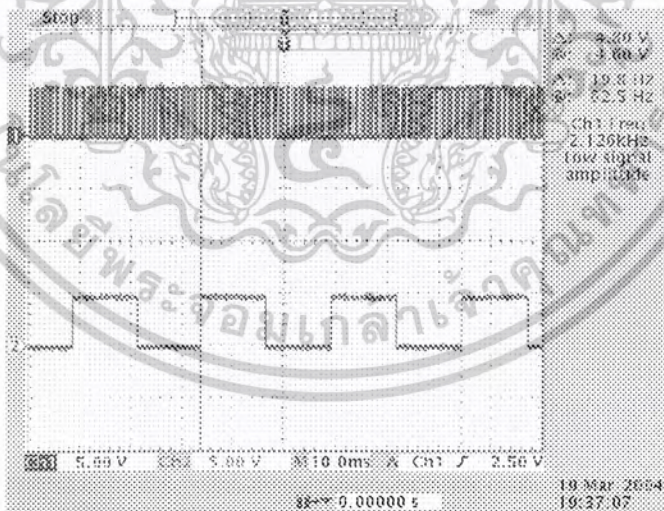


รูปที่ 4.1 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 15 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

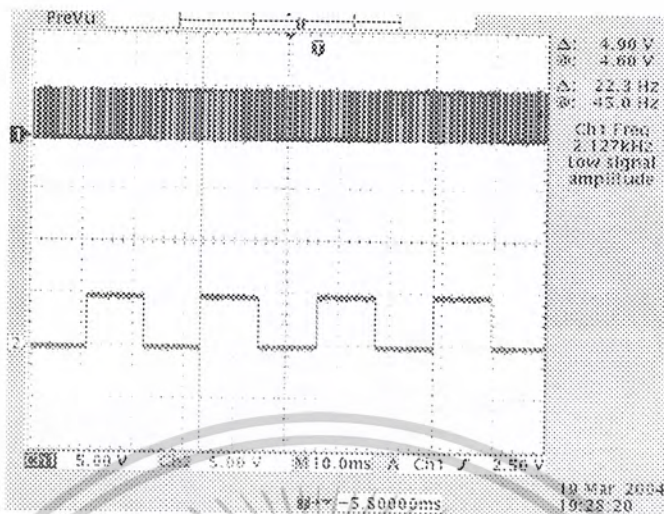


รูปที่ 4.2 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 17.5 Hz

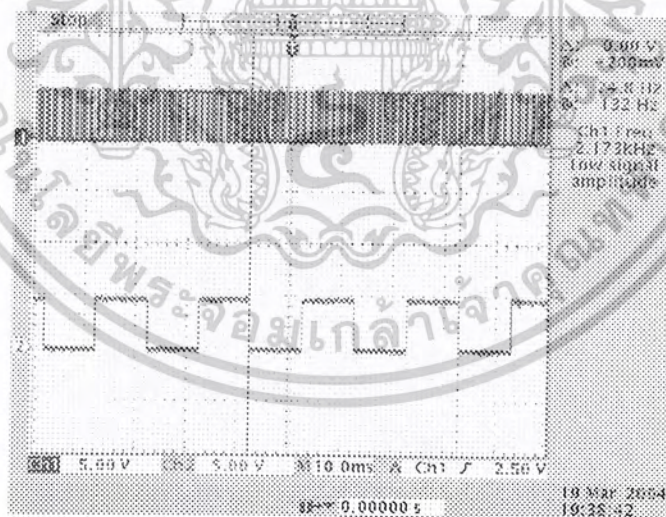


รูปที่ 4.3 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 20 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

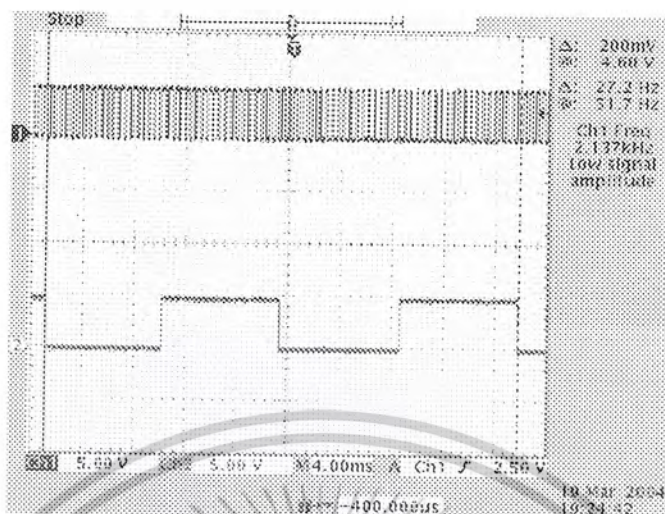


รูปที่ 4.4 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 22.5 Hz

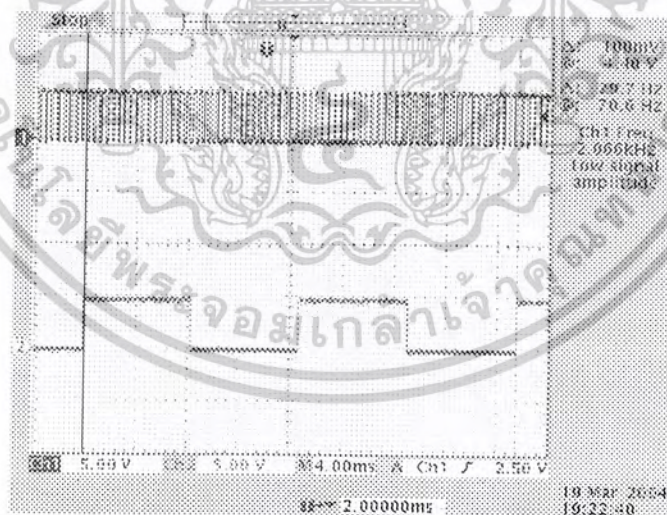


รูปที่ 4.5 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

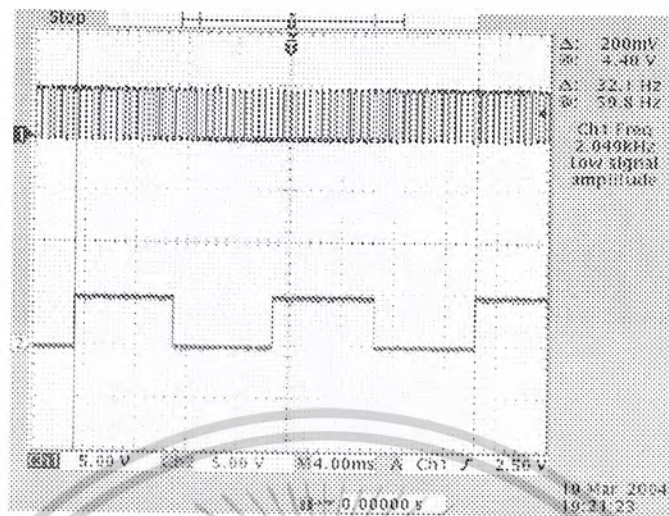


รูปที่ 4.6 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 27.5 Hz

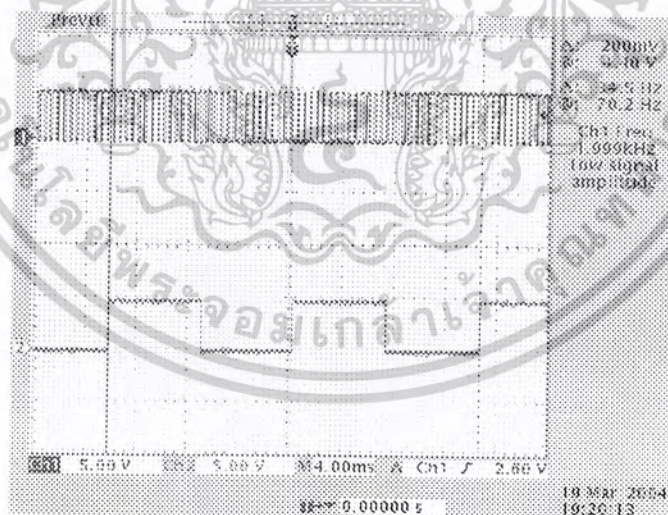


รูปที่ 4.7 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 30 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

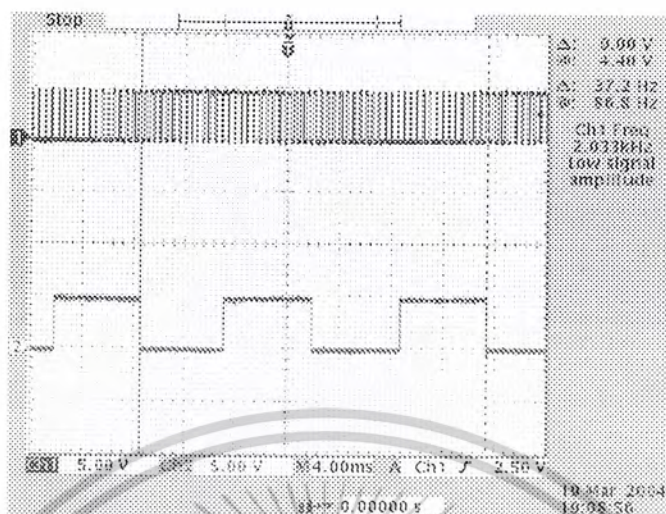


รูปที่ 4.8 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 32.5 Hz

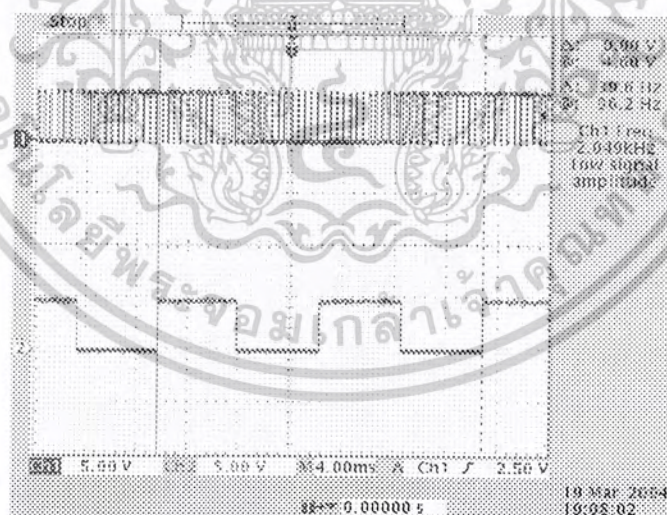


รูปที่ 4.9 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 35 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

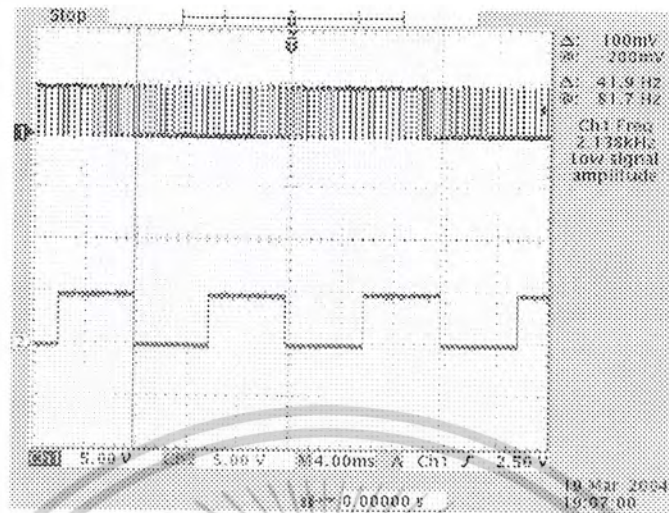


รูปที่ 4.10 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 37.5 Hz

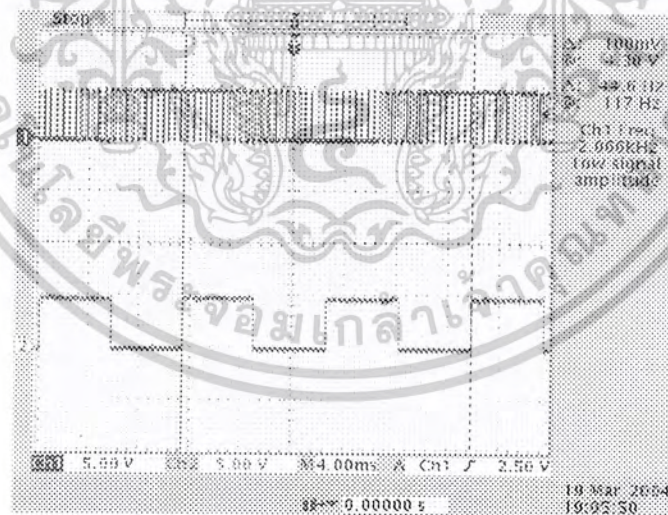


รูปที่ 4.11 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 40 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



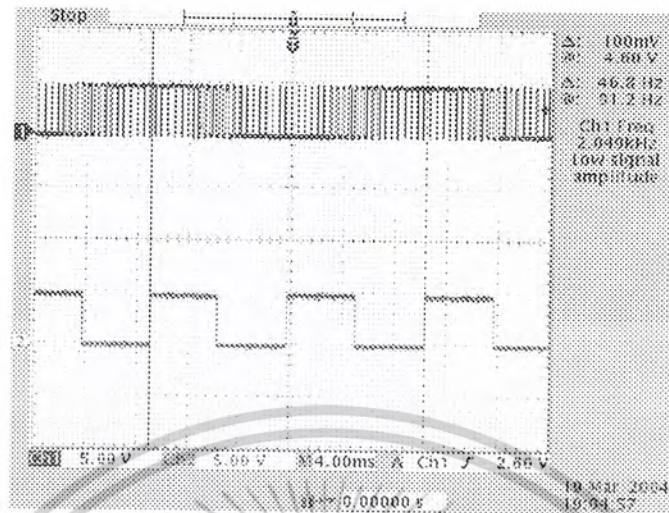
รูปที่ 4.12 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 42.5 Hz



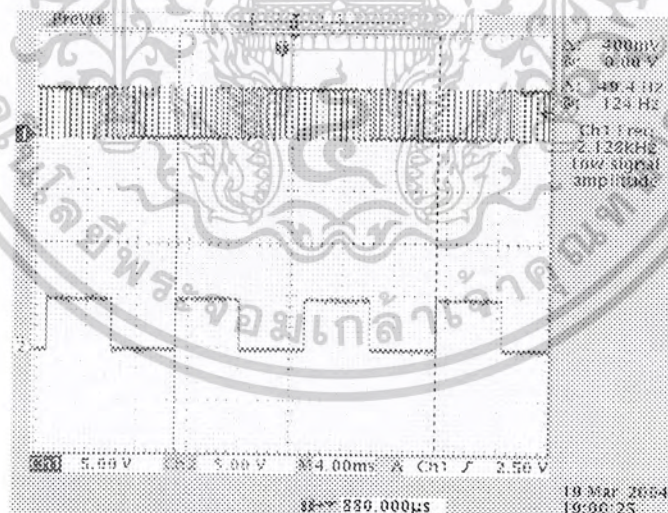
รูปที่ 4.13 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 45 Hz

;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

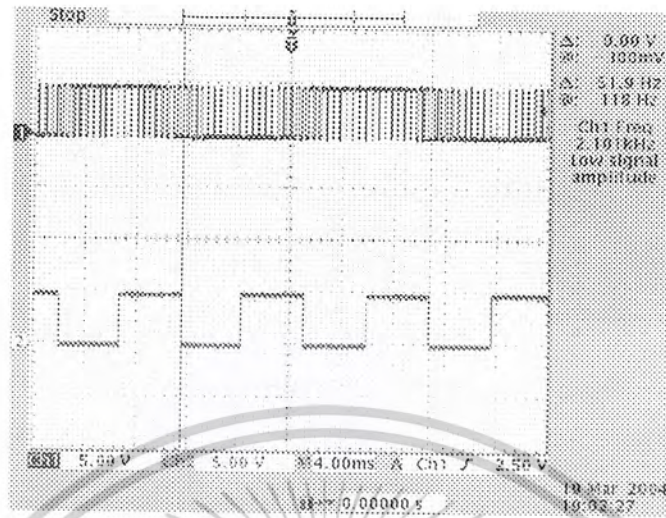


รูปที่ 4.14 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 47.5 Hz

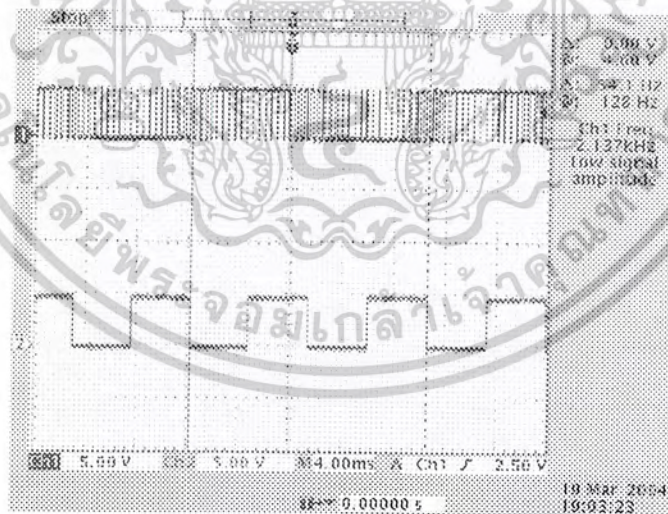


รูปที่ 4.15 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

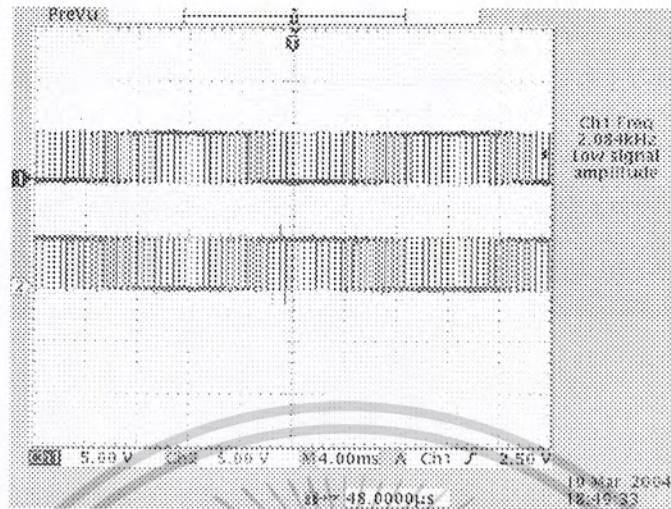


รูปที่ 4.16 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 52.5 Hz

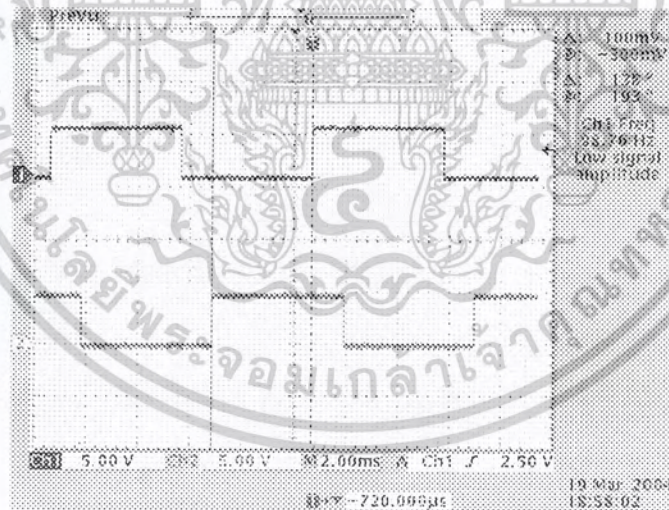


รูปที่ 4.17 จากขาเอาต์พุต 89C51 กรณี 55 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณ PWM จากขาเอาต์พุต 89C51
Channel 1 จากขา P2.6 และ Channel 2 จากขา P 2.2 กรณี 50 Hz



รูปที่ 4.19 สัญญาณ จากขาเอาต์พุต 89C51
Channel 1 จากขา P 2.0 และ Channel 2 จากขา P 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสร้างคลื่น Sine ที่มีขนาดและเฟสใกล้เคียงที่ต้องการ และจากวิธีการสวิตช์แบบ 3 เฟส ทำให้สามารถลด % Modulation ลงได้ ส่งผลต่อการปรับแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่าการสวิตช์แบบปกติ นอกจากนี้ความถี่ใน Modulation ยังเพิ่มขึ้นอีกด้วย

จากรูปที่ 4.20 พบว่าค่า Deadtime จะมีค่าประมาณ 4.6 ไมโครวินาที ซึ่งค่าที่ได้เกิดจากการเขียนโปรแกรมเพื่อป้องกันจังหวะการ ON Switch พร้อมกันของทั้งสองกิ่ง คาดว่าค่า Dead time ที่ใช้จะมีค่าเหมาะสม แต่การเพิ่ม Deadtime จะส่งผลให้เอาต์พุตมีสัญญาณผิดเพี้ยนไปบางส่วน

ข้อดีของการเก็บข้อมูลเพียง 1/4 ส่วน คือสามารถปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ได้มากขึ้น ดังที่ให้เห็นในอินเวอร์เตอร์นี้สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งสิ้น 17 ความถี่ โดยใช้หน่วยความจำเพียง 1 KByte

เมื่อนำเอาต์พุตที่ได้ผ่าน Low Pass Filter พบว่าสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณ Sine ดังรูปที่ 4.22 ค่าความถี่ที่ได้ใกล้เคียงกันค่าที่ต้องการเช่นกัน

ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ เมื่อสัญญาณ PWM จาก 89C51 ผ่านอุปกรณ์สวิตช์ค่าเอาต์พุตที่ได้ไม่เป็นค่าแบบ Unipolar ตามที่แสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ค่าเอาต์พุตแบบ Unipolar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการเก็บค่าแบบ $\frac{1}{4}$ ส่วน ทำให้ค่าในจาก สวิตช์ C และ D ที่ต้องเลื่อนเฟสไป 75 องศา ไม่ได้ค่า 75 องศาที่แน่นอน เพราะการเก็บค่าแบบ $\frac{1}{4}$ ส่วน จะต้องมีการปิดค่าของเวลาไป ซึ่งแนวทางการแก้ไข คือ สร้างค่า PWM จาก สัญญาณ 3 สัญญาณที่มีการเลื่อนเฟสไปตามต้องการ จากนั้นนำค่าที่ได้จากทั้ง 3 สัญญาณ มาแบ่งเป็นส่วน ๆ แล้วค่อยเก็บค่าลงใน 89C51 แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ จำนวนข้อมูลจะมีมาก ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ปรับได้ก็จะมีจำนวนลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการอินเวอร์เตอร์จีนี่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์พลผดุง ผดุงกุล ที่ให้คำปรึกษา แนะนำอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน และตอบข้อสงสัย ให้มากมาย และอาจารย์สมศักดิ์ เขียวศิริกุล ที่แนะนำการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในบางส่วน ทำให้นักศึกษามีความรู้เพิ่มเติมในโครงการนี้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจารย์ยังมีเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือทั้ง เพื่อนภาคอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้หยิบยืมอุปกรณ์ และยังให้คำปรึกษา เพื่อนภาคโทรคมนาคม ที่ตอบ ข้อสงสัยเกี่ยวกับ PWM เพื่อนภาคควบคุมที่ให้คำปรึกษาโปรแกรม MATLAB เพื่อนภาค คอมพิวเตอร์ที่หยิบยืมเครื่องสแกนเนอร์ที่ใช้ในการทำรายงาน ยังมีรุ่นพี่ที่จบแล้วให้กำลังใจและ คำแนะนำ คนข้างบ้านที่หยิบยืมส่วงานเจาะ และอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวใน ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ เป็นอย่างยิ่ง

ที่จะลืมมิได้คือ ขอรอบของพระคุณบิดามารดาที่อุทิศกำลังกายและทรัพย์เพื่อช่วยเหลือให้ งานจีนี่สำเร็จไปด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทั้งหลายที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งหลายแก่พวกเรา ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

นายศักดิ์สิทธิ์ จังแจ่มประดิษฐ์
นางสาวศิริพรรณ อ่วมฤตโชติ

17 มีนาคม 2546



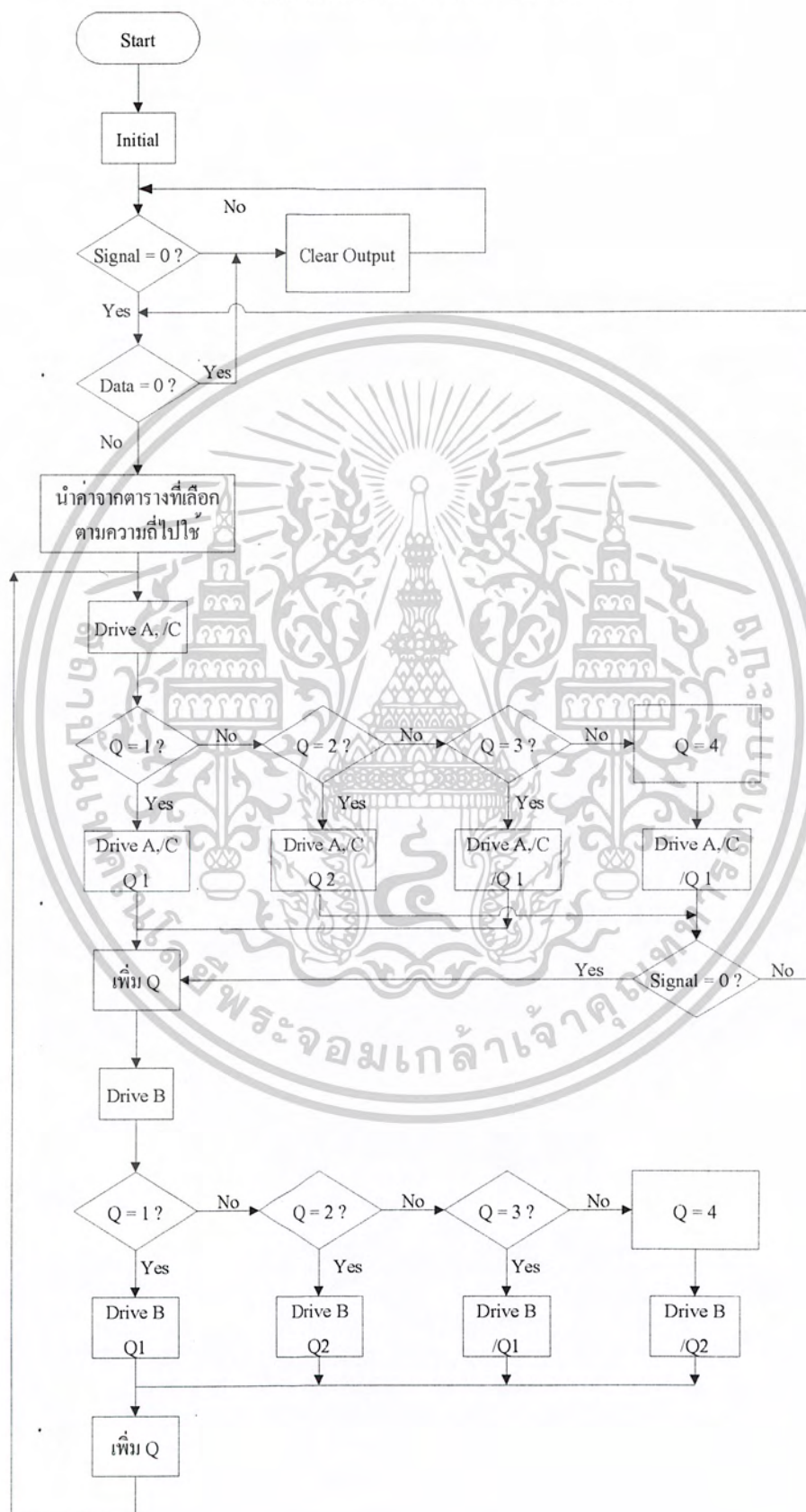
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart แสดงการทำงานของ 89 C 51 Scan Switch



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart แสดงการทำงานของ 89 C 51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงานของ 80C51 Scan Switch

OUTPUT:	IGBTP EQU P2	DB	46,27,46,27,46
TESTAC BIT	P2.0	DB	27,23
PA1 BIT	P2.1	DATA175Hz:DB	0,36,37,36,37,35
PA2 BIT	P2.2	DB	38,35,39,35,39
PB1 BIT	P2.3	DB	33,40,33,40,32
PB2 BIT	P2.4	DB	41,32,41,31,42
PC1 BIT	P2.5	DB	31,42,30,43,30
PC2 BIT	P2.6	DB	43,29,44,29,44
TESTB BIT	P2.7	DB	29,44,28,45,28
INPUT: DATAP EQU	P0	DB	45,27,46,27,46
SIGNALP	BIT P3.2	DB	27,46,26,46,26
DECLARE:MAXDATA	EQU 030H	DB	47,26,47,26,47
NUMA EQU	031H	DB	26,47,26,47,25
NUMB EQU	032H	DB	47,25,48,25,48
VALA EQU	033H	DB	25,24
VALB EQU	034H	DATA20Hz:DB	0,36,37,36,38,35
FREQ EQU	035H	DB	40,33,40,33,40
AQUAD EQU	02FH.7	DB	33,41,32,42,31
BQUAD EQU	02FH.6	DB	42,31,43,30,44
CHANGE_F	EQU 02FH.5	DB	29,44,29,45,28
ORG 0000H		DB	46,28,46,27,46
JMP BEGIN		DB	27,47,26,47,26
DATA15Hz:DB	0,36,37,36,37,36	DB	47,25,48,25,48
DB	38,35,38,35,38	DB	25,49,24,49,24
DB	34,39,34,39,33	DB	49,24,49,24,49
DB	40,33,40,33,41	DB	24,49,24,25
DB	32,41,32,41,32	DATA225Hz:DB	0,36,37,35,38,35
DB	42,31,42,31,42	DB	39,34,40,33,41
DB	30,43,30,43,30	DB	32,42,31,43,30
DB	43,30,44,29,44	DB	44,29,45,28,45
DB	29,44,29,44,29	DB	28,46,27,47,26
DB	44,28,45,28,45	DB	47,26,48,25,49
DB	28,45,28,45,27	DB	24,49,24,50,23
DB	46,27,46,27,46	DB	50,23,50,23,51
DB	27,46,27,46,27	DB	23,51,22,51,22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB	51,22,26	DB	61,15,61,15 ,31
DATA25Hz:DB	0,36,37,35,38,33	DATA375Hz:DB	0,37,40,35,43,32
DB	39,32,40,31,41	DB	46,29,48,26,51
DB	30,42,29,43,28	DB	24,53,22,55,20
DB	44,27,45,26,46	DB	57,18,59,16,60
DB	25,47,24,48,24	DB	15,62,14,62,13
DB	49,25,49,22,50	DB	63,13,32
DB	22,50,21,51,21	DATA40Hz:DB	0,38,41,34,44,31
DB	51,21,51,21,52	DB	47,28,51,25,53
DB	20,52,20,26	DB	22,56,20,58,18
DATA275Hz:DB	0,36,37,34,38,33	DB	61,16,62,14,64
DB	40,32,41,30,42	DB	13,65,12,65,12
DB	29,44,28,45,27	DB	33
DB	46,25,47,24,48	DATA425Hz:DB	0,35,39,32,42,29
DB	23,49,22,50,22	DB	45,26,48,23,51
DB	51,21,51,20,52	DB	20,54,17,56,15
DB	20,53,19,53,19	DB	58,13,60,12,61
DB	53,19,53,19,27	DB	10,62,10,63,9
DATA30Hz:DB	0,36,38,35,40,33	DB	32
DB	41,31,43,30,45	DATA45Hz:DB	0,36,40,32,44,28
DB	28,46,27,48,25	DB	48,25,51,21,54
DB	49,24,50,23,51	DB	18,57,15,60,13
DB	22,53,21,53,20	DB	62,11,64,10,65
DB	54,19,55,18,56	DB	8,66,8,33
DB	18,56,18,56,17	DATA475Hz:DB	0,37,42,33,47,28
DB	28	DB	51,24,55,20,59
DATA325Hz:DB	0,38,40,36,42,34	DB	16,62,13,65,11
DB	44,31,46,29,48	DB	67,9,69,7,70
DB	27,50,26,52,24	DB	7,35
DB	54,22,55,21,56	DATA50Hz:DB	0,35,40,31,45,26
DB	20,58,19,58,18	DB	49,22,53,18,57
DB	59,17,60,17,60	DB	14,60,11,63,9
DB	16,30	DB	65,7,67,5,68
DATA35Hz:DB	0,37,40,35,42,33	DB	4,34
DB	45,30,47,28,49	DATA525Hz:DB	0,37,43,31,48,26
DB	26,51,24,53,22	DB	53,21,58,16,63
DB	55,20,57,19,58	DB	12,66,9,69,6
DB	17,59,16,60,16	DB	72,4,73,3,37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA55Hz:DB	0,35,41,30,46,24	CON20: CJNE	A,#3,CON22
DB	52,19,57,14,61	MOV	NUMB,#41
DB	10,65,7,68,4	MOV	MAXDATA,#55
DB	70,2,71,1,36	MOV	DPTR,#DATA20Hz
DELAY50ms:MOV	R7,#050	JMP	CON0A
	DELAY 50 ms	CON22: CJNE	A,#4,CON25
DLY50ms1:MOV	R6,#0E6H	MOV	NUMB,#37
DLY50ms2:NOP		MOV	MAXDATA,#49
NOP		MOV	DPTR,#DATA225Hz
DJNZ	R6,DLY50ms2	JMP	CON0A
DJNZ	R7,DLY50ms1	CON25: CJNE	A,#5,CON27
RET		MOV	NUMB,#33
BEGIN: MOV	IGBTP,#00H	MOV	MAXDATA,#45
SETB	SIGNALP	MOV	DPTR,#DATA25Hz
MOV	DATAP,#0FFH		
MOV	FREQ,#00	JMP	CON0A
CLR	CHANGE_F	CON27: CJNE	A,#6,CON30
CALL	DELAY50ms	MOV	NUMB,#31
CHKDATA:JB	SIGNALP,S	MOV	MAXDATA,#41
SETFREQ:MOV	IGBTP,#00H	MOV	DPTR,#DATA275Hz
MOV	FREQ,DATAP	JMP	CON0A
MOV	NUMA,#01	CON30: CJNE	A,#7,CON32
CLR	AQUAD	MOV	NUMB,#27
CLR	BQUAD	MOV	MAXDATA,#37
MOV	A,FREQ	MOV	DPTR,#DATA30Hz
CJNE	A,#00,CON15	JMP	CON0A
JMP	BEGIN	CON32: CJNE	A,#8,CON35
CON15: CJNE	A,#1,CON17	MOV	NUMB,#25
MOV	NUMB,#55	MOV	MAXDATA,#33
MOV	MAXDATA,#73	MOV	DPTR,#DATA325Hz
MOV	DPTR,#DATA15Hz	JMP	CON0A
		CON35: CJNE	A,#9,CON37
JMP	CON0A	MOV	NUMB,#23
CON17: CJNE	A,#2,CON20	MOV	MAXDATA,#31
MOV	NUMB,#47	MOV	DPTR,#DATA35Hz
MOV	MAXDATA,#63	JMP	CON0A
MOV	DPTR,#DATA175Hz	CON37: CJNE	A,#10,CON40
JMP	CON0A	MOV	NUMB,#21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    MAXDATA,#29
MOV    DPTR,#DATA375Hz
JMP    CON0A
CON40: CJNE  A,#11,CON42
MOV    NUMB,#21
MOV    MAXDATA,#27
MOV    DPTR,#DATA40Hz
JMP    CON0A
CON42: CJNE  A,#12,CON45
MOV    NUMB,#21
MOV    MAXDATA,#27
MOV    DPTR,#DATA425Hz
JMP    CON0A
CON45: CJNE  A,#13,CON47
MOV    NUMB,#19
MOV    MAXDATA,#25
MOV    DPTR,#DATA45Hz
JMP    CON0A
CON47: CJNE  A,#14,CON50
MOV    NUMB,#17
MOV    MAXDATA,#23
MOV    DPTR,#DATA475Hz
JMP    CON0A
CON50: CJNE  A,#15,CON52
MOV    NUMB,#17
MOV    MAXDATA,#23
MOV    DPTR,#DATA50Hz
JMP    CON0A
CON52: CJNE  A,#16,CON55
MOV    NUMB,#15
MOV    MAXDATA,#21
MOV    DPTR,#DATA525Hz
JMP    CON0A
CON55: CJNE  A,#17,CON0A
MOV    NUMB,#15
MOV    MAXDATA,#21
MOV    DPTR,#DATA55Hz

CON0A: MOV    A,NUMA
MOV    VALA,A
MOV    A,NUMB
MOV    VALB,A
MOV    IGBTP,#00110100B
DRIVE: JB    AQUAD,AC2
DJNZ  VALA,CONT_01
INC   NUMA
MOV   A,NUMA
CJNE  A,030H,CONT_AC10
CPL   TESTAC
SETB  AQUAD
MOV   NUMA,MAXDATA
DEC   NUMA
MOV   A,NUMA
MOVC  A,@A+DPTR
MOV   VALA,A
JMP   CONT_01
CONT_AC10:JNB PA1,CONT_A1
CLR   PA1
CLR   PC2
MOVC  A,@A+DPTR
MOV   VALA,A
NOP   NOP
NOP   NOP
NOP   NOP
NOP   NOP
NOP   NOP
SETB  PA2
SETB  PC1
JMP   CONT_01
CONT_A1:CLR  PA2
CLR   PC1
MOVC  A,@A+DPTR
MOV   VALA,A
NOP   NOP
NOP   NOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOP	NOP	CONT_01:JB	BQUAD,B2
NOP	NOP	DJNZ	VALB,CONT_02
SETB	PA1	INC	NUMB
SETB	PC2	MOV	A,NUMB
JMP	CONT_01	CJNE	A,030H,CONT_B10
AC2: DJNZ	VALA,CONT_01	SETB	BQUAD
DEC	NUMA	MOV	NUMB,MAXDATA
MOV	A,NUMA	DEC	NUMB
CJNE	A,#00,CONT_AC20	MOV	A,NUMB
JNB	CHANGE_F,CTTT	MOVC	A,@A+DPTR
CLR	CHANGE_F	MOV	VALB,A
JMP	SETFREQ	JMP	CONT_02
CTTT: CPL	TESTAC	CONT_B10: JNB	PB1,CONT_B1
CLR	AQUAD	CLR	PB1
MOV	NUMA,#01	MOVC	A,@A+DPTR
MOV	A,NUMA	MOV	VALB,A
CONT_AC20:JNB	PA1,CONT_AC21	NOP	NOP
CLR	PA1	NOP	NOP
CLR	PC2	NOP	NOP
MOVC	A,@A+DPTR	NOP	NOP
MOV	VALA,A	SETB	PB2
NOP	NOP	JMP	CONT_02
NOP	NOP	CONT_B1:CLR	PB2
NOP	NOP	MOVC	A,@A+DPTR
NOP	NOP	MOV	VALB,A
SETB	PA2	NOP	NOP
SETB	PC1	NOP	NOP
JMP	CONT_01	NOP	NOP
CONT_AC21:CLR	PA2	NOP	NOP
CLR	PC1	SETB	PB1
MOVC	A,@A+DPTR	JMP	CONT_02
MOV	VALA,A	B2: DJNZ	VALB,CONT_02
NOP	NOP	DEC	NUMB
NOP	NOP	MOV	A,NUMB
NOP	NOP	CJNE	A,#00,CONT_B20
NOP	NOP	CPL	TESTB
SETB	PA1	CLR	BQUAD
SETB	PC2	MOV	NUMB,#01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,NUMB                                MOV VALB,A
CONT_B20:JNB PBI,CONT_B21                 NOP NOP
CLR PBI                                    NOP NOP
MOVC A,@A+DPTR                            NOP NOP
MOV VALB,A                                NOP NOP
NOP NOP                                    SETB PB1
NOP NOP                                    CONT_02: JB SIGNALP,DRIVEX
NOP NOP                                    SETB CHANGE_F
NOP NOP                                    DRIVEX: JMP DRIVE
SETB PB2
JMP CONT_02                                END
CONT_B21:CLR PB2
MOVC A,@A+DPTR

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงานของ 80C51

```

ORG 0000H
MOV DISP3,#05
JMP START
JMP CON0B
PSTSP BIT P2.0
CONZ17: CJNE A,#2,CONZ20
PUP BIT P2.1
MOV DISP2,#01
PDN BIT P2.2
MOV DISP3,#07
PXX BIT P2.3
JMP CON0B
SIGNALP BIT P3.7
CONZ20: CJNE A,#3,CONZ22
DATAP EQU P1
MOV DISP2,#02
DISPP EQU P0
MOV DISP3,#00
DISP1P BIT P2.7
JMP CON0B
DISP2P BIT P2.6
CONZ22: CJNE A,#4,CONZ25
DISP3P BIT P2.5
MOV DISP2,#02
SECUR BIT P3.6
MOV DISP3,#02
TABLE: DB 0C0H,0F9H,0A4H,0B0H,099H
JMP CON0B
DB 092H,082H,0F8H,080H,090H
CONZ25: CJNE A,#5,CONZ27
DB 0A3H,0FBH
MOV DISP2,#02
DELAY5ms: MOV R7,#05
MOV DISP3,#05
DLY5ms1: MOV R6,#0E6H
JMP CON0B
DLY5ms2: NOP
CONZ27: CJNE A,#6,CONZ30
NOP
MOV DISP2,#02
DJNZ R6,DLY5ms2
MOV DISP3,#07
DJNZ R7,DLY5ms1
JMP CON0B
RET
CONZ30: CJNE A,#7,CONZ32
SIGNAL:XSTSP EQU 020H
MOV DISP2,#03
STSP BIT XSTSP.0
MOV DISP3,#00
DISP1 EQU 031H
JMP CON0B
DISP2 EQU 032H
CONZ32: CJNE A,#8,CONZ35
DISP3 EQU 033H
MOV DISP2,#03
FREQ EQU 034H
MOV DISP3,#02
DISPLY:MOV A,FREQ
JMP CON0B
CJNE A,#00,CONZ15
CONZ35: CJNE A,#9,CONZ37
MOV DISP2,#00
MOV DISP2,#03
MOV DISP3,#00
MOV DISP3,#05
JMP CON0B
JMP CON0B
CONZ15: CJNE A,#1,CONZ17
CONZ37: CJNE A,#10,CONZ40
MOV DISP2,#01
MOV DISP2,#03

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    DISP3,#07                MOV    A,@A+DPTR
JMP    CON0B                    MOV    DISPP,A
CONZ40: CJNE  A,#11,CONZ42      MOV    R7,#0FFH
MOV    DISP2,#04                DJNZ  R7,$
MOV    DISP3,#00                CLR   DISP2P
JMP    CON0B                    SETB  DISP3P
CONZ42: CJNE  A,#12,CONZ45      MOV    A,DISP3
MOV    DISP2,#04                MOV    A,@A+DPTR
MOV    DISP3,#02                MOV    DISPP,A
JMP    CON0B                    MOV    R7,#0FFH
CONZ45: CJNE  A,#13,CONZ47      DJNZ  R7,$
MOV    DISP2,#04                CLR   DISP3P
MOV    DISP3,#05                RET
JMP    CON0B                    START: MOV  DATAP,#00
CONZ47: CJNE  A,#14,CONZ50      SETB  SIGNALP
MOV    DISP2,#04                SETB  PSTSP
MOV    DISP3,#07                SETB  PUP
JMP    CON0B                    SETB  PDN
CONZ50: CJNE  A,#15,CONZ52      SETB  PXX
MOV    DISP2,#05                MOV    DPTR,#TABLE
MOV    DISP3,#00                MOV    FREQ,#00
JMP    CON0B                    MOV    DISP1,#0AH
CONZ52: CJNE  A,#16,CONZ55      MOV    DISP2,#00
MOV    DISP2,#05                MOV    DISP3,#00
MOV    DISP3,#02                CLR   STSP
JMP    CON0B                    SCAN_STSP: CALL  DISPLY
CONZ55: CJNE  A,#17,CON0B      JB    PSTSP,SCAN_UP
MOV    DISP2,#05                CPL   STSP
MOV    DISP3,#05                JB    STSP,ON
CON0B: SETB  DISP1P            OFF:  MOV  DATAP,#00
MOV    A,DISP1                MOV  DISP1,#0AH
MOVC  A,@A+DPTR              JMP  COON
MOV    DISPP,A                ON:   MOV  DATAP,FREQ
MOV    R7,#0FFH              MOV  DISP1,#0BH
DJNZ  R7,$                    COON: CALL DISPLY
CLR   DISP1P                  CLR  SIGNALP
SETB  DISP2P                  CALL  DELAY5ms
MOV    A,DISP2                SETB  SIGNALP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CON00: CALL DISPLY                SETB  SIGNALP
      JNB  PSTSP,CON00              CON0A: CALL  DISPLY
SCAN_UP: CALL  DISPLY                JNB   PDN,CON0A
      JB   PUP,SCAN_DN              CALL  DELAY5ms
      INC  FREQ                      SCAN_XX: JB   PXX,SCAN_STSPX
      MOV  A,FREQ                    SCAN_STSPX: JMP  SCAN_STSP
      CJNE A,#18,CON02               END
      MOV  FREQ,#17

CON02: MOV  DATAP,#00
      MOV  DISP1,#0AH
      CALL DISPLY
      CLR  SIGNALP
      CALL DELAY5ms
      SETB SIGNALP
CON0C: CALL DISPLY
      JNB  PUP,CON0C
      CALL DELAY5ms
SCAN_DN: CALL  DISPLY
      JB   PDN,SCAN_XX
      MOV  A,FREQ
      CJNE A,#00,CON03
      MOV  DISP1,#0AH
      CALL DISPLY
      CLR  SIGNALP
      CALL DELAY5ms
      SETB SIGNALP
      JMP  SCAN_XX

CON03: DEC  FREQ
      JB   STSP,00N
      MOV  DATAP,#00
      MOV  DISP1,#0AH
      JMP  000N
00N:    MOV  DATAP,FREQ
      MOV  DISP1,#0BH
000N:   CALL DISPLY
      CLR  SIGNALP
      CALL DELAY5ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

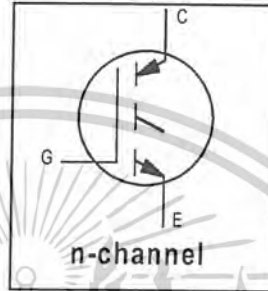
IRG4PH50U

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

Ultra Fast Speed IGBT

Features

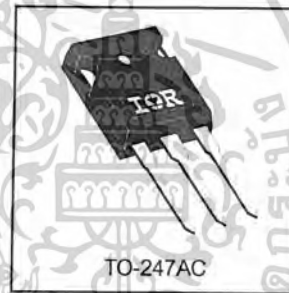
- UltraFast: Optimized for high operating frequencies up to 40 kHz in hard switching, >200 kHz in resonant mode
- New IGBT design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than previous generations
- Optimized for power conversion; SMPS, UPS and welding
- Industry standard TO-247AC package



$V_{CES} = 1200V$
$V_{CE(on) typ.} = 2.78V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 24A$

Benefits

- Higher switching frequency capability than competitive IGBTs
- Highest efficiency available
- Much lower conduction losses than MOSFETs
- More efficient than short circuit rated IGBTs



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	1200	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	45	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	24	
I_{CM}	Pulsed Collector Current $\text{\textcircled{D}}$	180	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current $\text{\textcircled{D}}$	180	
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
E_{ARV}	Reverse Voltage Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	170	mJ
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	200	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	78	
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ C$
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.64	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount	—	40	
Wt	Weight	6 (0.21)	—	g (oz)

www.irf.com

1

01/14/02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRG4PH50U

International
IR Rectifier

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	1200	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$
$V_{(BR)ECS}$	Emitter-to-Collector Breakdown Voltage ①	18	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0A$
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	—	1.20	—	V/°C	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$
$V_{CE(ON)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	2.56	3.5	V	$V_{GE} = 15V$ See Fig.2, 5
		—	2.78	3.7		
		—	3.20	—		
		—	2.54	—		
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	6.0		$I_C = 20A$ $I_C = 24A$ $I_C = 45A$ $I_C = 24A, T_J = 150^\circ\text{C}$
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Threshold Voltage	—	-13	—	mV/°C	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
g_{fe}	Forward Transconductance ②	23	35	—	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 24A$
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V$
		—	—	2.0		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 24V, T_J = 25^\circ\text{C}$
		—	—	5000		$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Q_g	Total Gate Charge (turn-on)	—	160	250	nC	$I_C = 24A$ $V_{CC} = 400V$ $V_{GE} = 15V$ See Fig. 8
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	—	27	40		
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	—	53	83		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	35	—	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_C = 24A, V_{CC} = 960V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
t_r	Rise Time	—	15	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	200	350		
t_f	Fall Time	—	290	500		
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	0.53	—		
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	1.41	—	mJ	Energy losses include "tail" See Fig. 9, 10, 14
E_{ts}	Total Switching Loss	—	1.94	2.6		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	31	—	ns	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $I_C = 24A, V_{CC} = 960V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
t_r	Rise Time	—	18	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	320	—		
t_f	Fall Time	—	280	—		
E_{ts}	Total Switching Loss	—	5.40	—	mJ	Energy losses include "tail" See Fig. 11, 14
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	0.35	—		
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	1.43	—	mJ	$T_J = 25^\circ\text{C}, V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$ $I_C = 20A, V_{CC} = 960V$ Energy losses include "tail" See Fig. 9, 10, 11, 14, $T_J = 150^\circ\text{C}$
E_{ts}	Total Switching Loss	—	1.78	2.9		
L_E	Internal Emitter Inductance	—	13	—	nH	Measured 5mm from package
C_{ies}	Input Capacitance	—	3600	—	pF	$V_{GE} = 0V$ $V_{CC} = 30V$ See Fig. 7
C_{oes}	Output Capacitance	—	160	—		
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	31	—		

Notes:

- ① Repetitive rating; $V_{GE} = 20V$, pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 13b)
- ② $V_{CC} = 80\%(V_{CES}), V_{GE} = 20V, L = 10\mu H, R_G = 5.0\Omega$, (See fig. 13a)
- ③ Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.
- ④ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.
- ⑤ Pulse width $5.0\mu s$, single shot.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

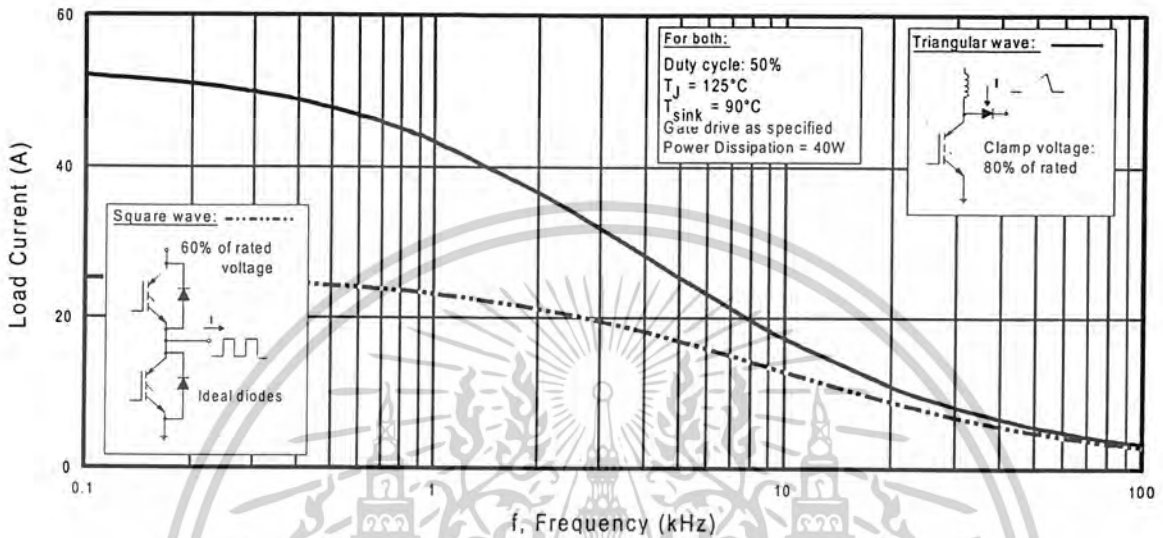


Fig. 1 - Typical Load Current vs. Frequency
(Load Current = I_{RMS} of fundamental)

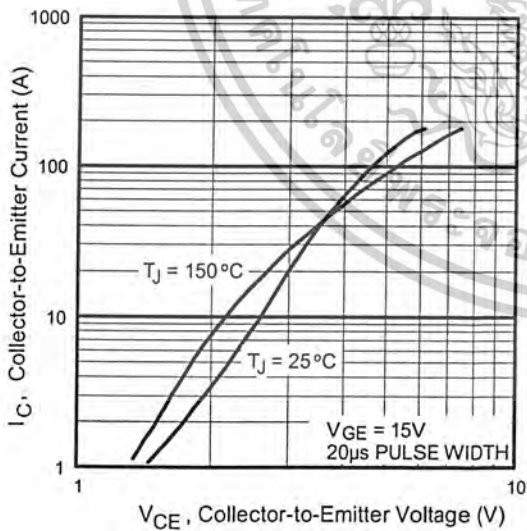


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

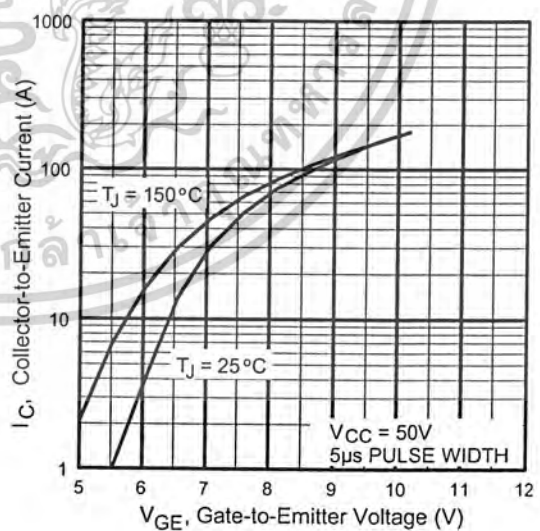


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

IRG4PH50U

International
IR Rectifier

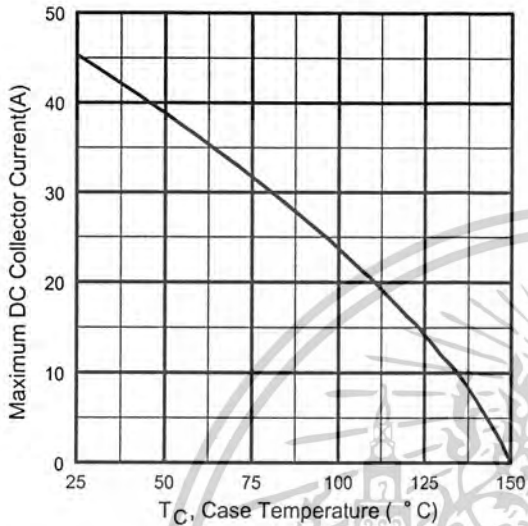


Fig. 4 - Maximum Collector Current vs. Case Temperature

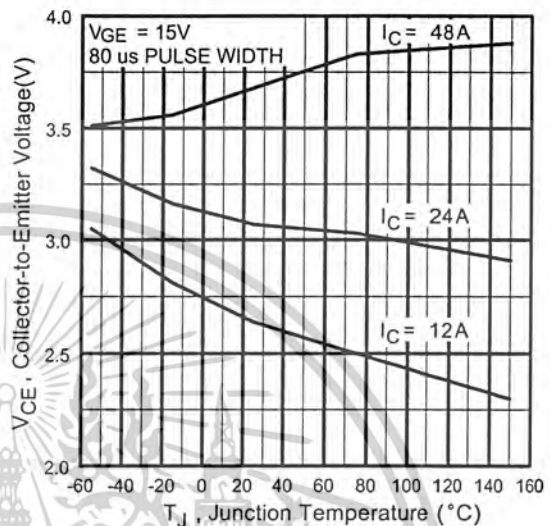


Fig. 5 - Typical Collector-to-Emitter Voltage vs. Junction Temperature

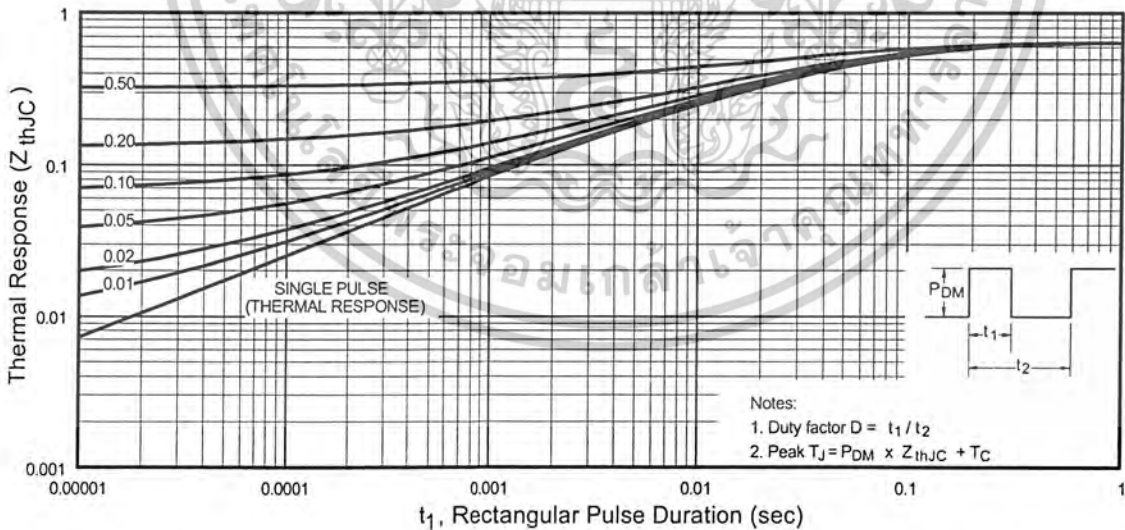


Fig. 6 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

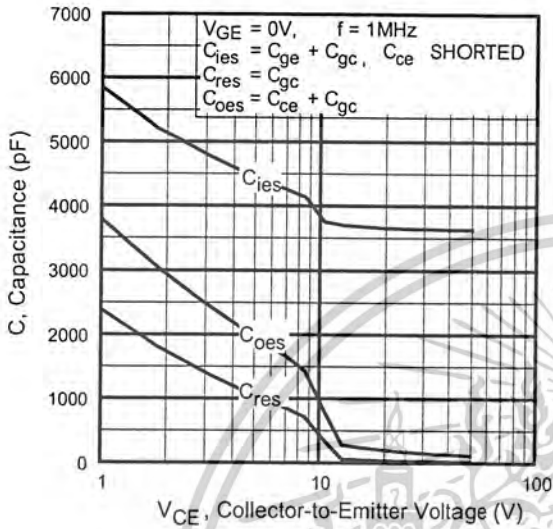


Fig. 7 - Typical Capacitance vs. Collector-to-Emitter Voltage

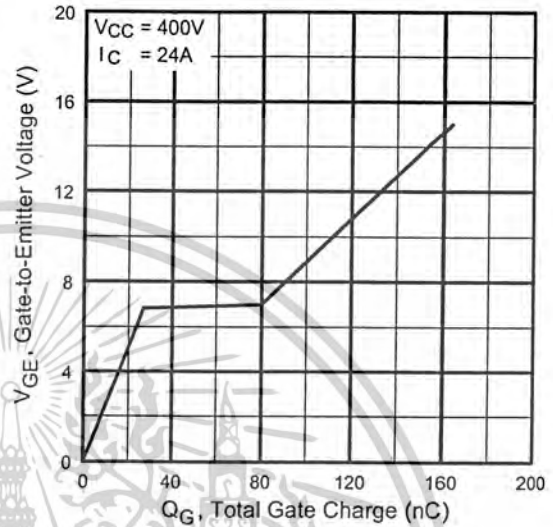


Fig. 8 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Emitter Voltage

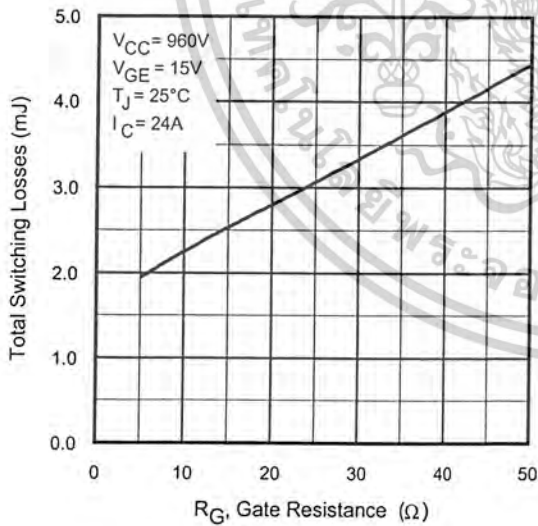


Fig. 9 - Typical Switching Losses vs. Gate Resistance

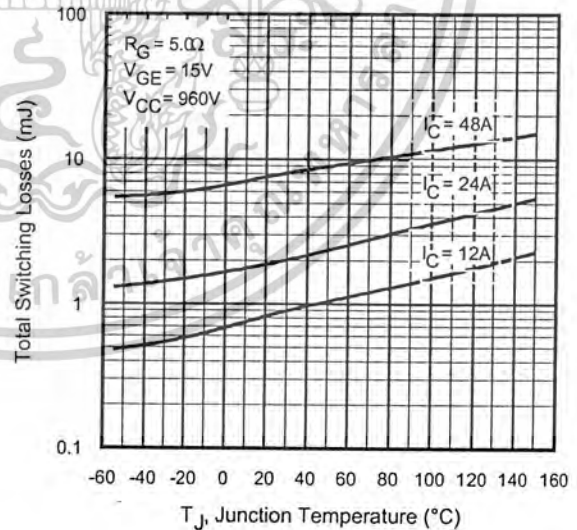


Fig. 10 - Typical Switching Losses vs. Junction Temperature

IRG4PH50U

International
IR Rectifier

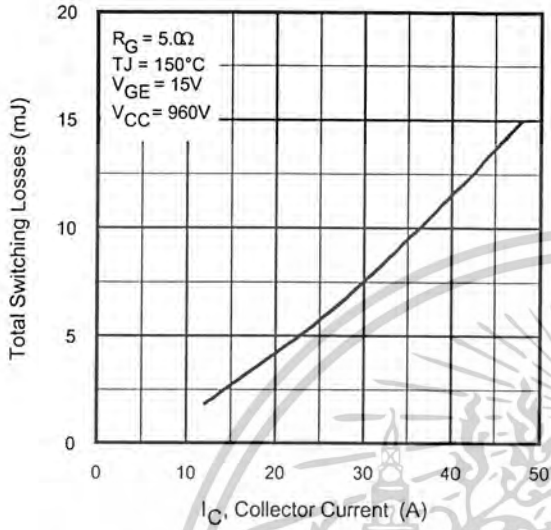


Fig. 11 - Typical Switching Losses vs. Collector-to-Emitter Current

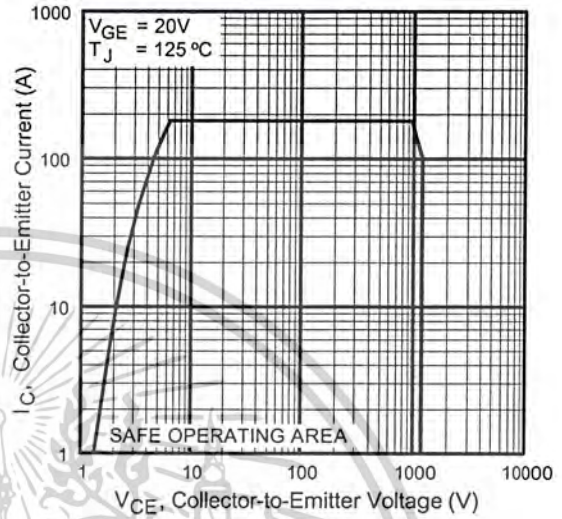


Fig. 12 - Turn-Off SOA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

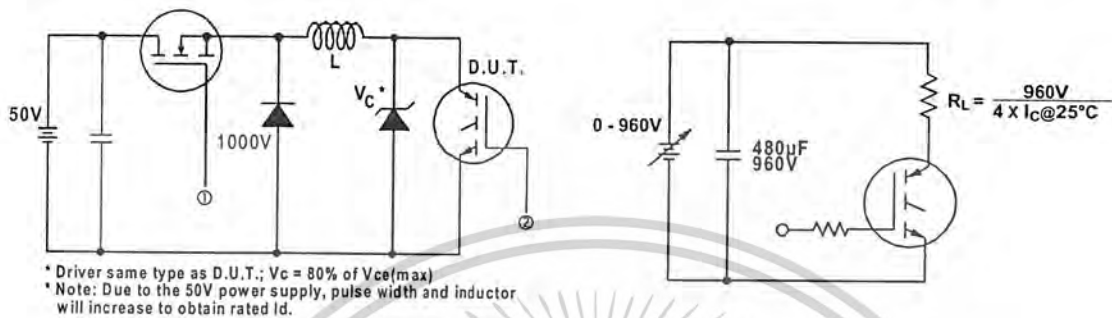


Fig. 13a - Clamped Inductive Load Test Circuit

Fig. 13b - Pulsed Collector Current Test Circuit

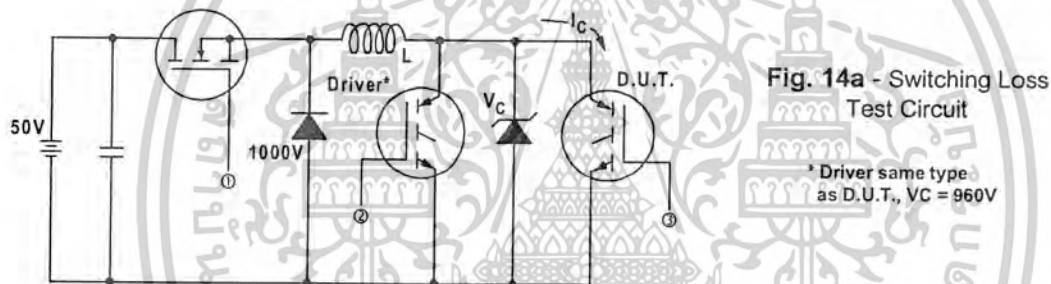


Fig. 14a - Switching Loss Test Circuit

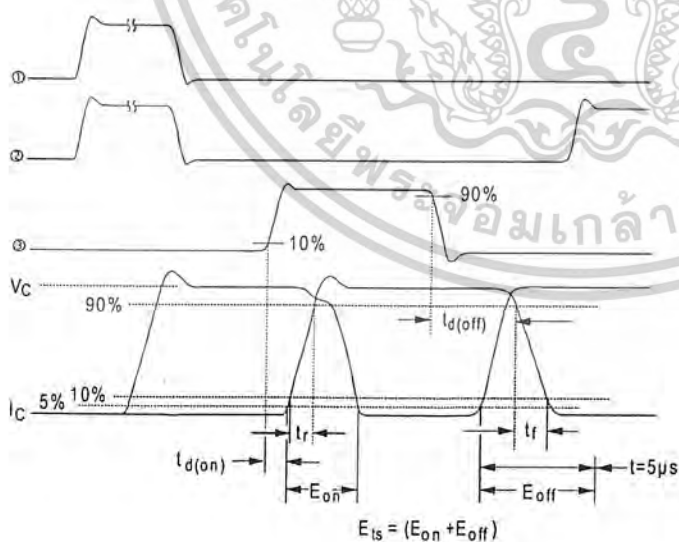
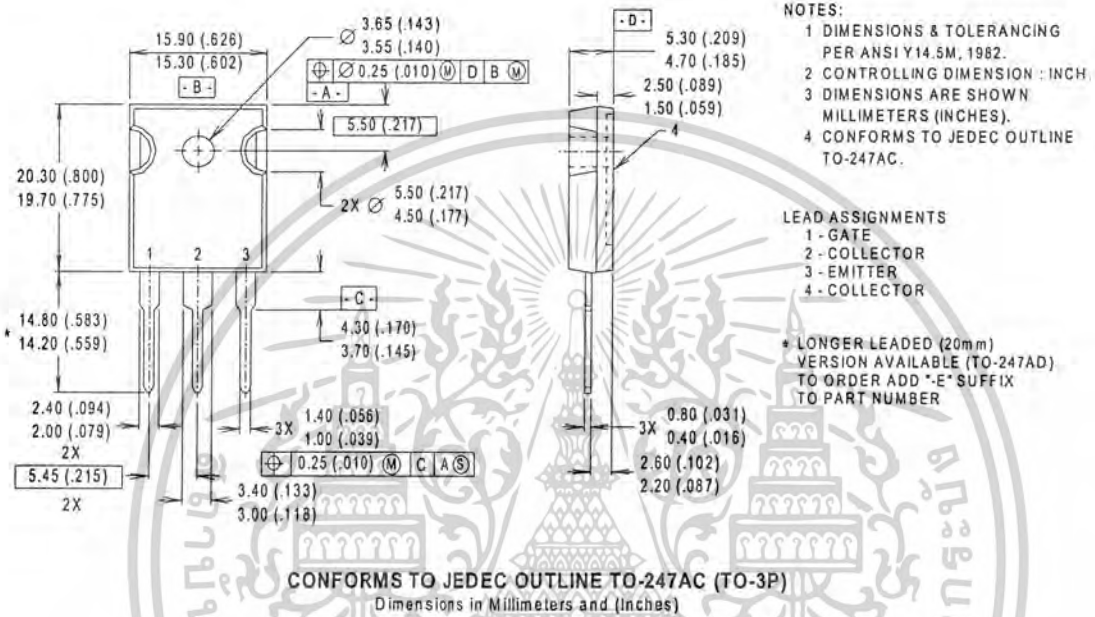


Fig. 14b - Switching Loss Waveforms

IRG4PH50U

International
IOR Rectifier

Case Outline and Dimensions — TO-247AC



International
IOR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331

IR GREAT BRITAIN: Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020

IR CANADA: 15 Lincoln Court, Brampton, Ontario L6T3Z2, Tel: (905) 453 2200

IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590

IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111

IR JAPAN: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086

IR SOUTHEAST ASIA: 1 Kim Seng Promenade, Great World City West Tower, 13-11, Singapore 237994 Tel: ++ 65 838 4630

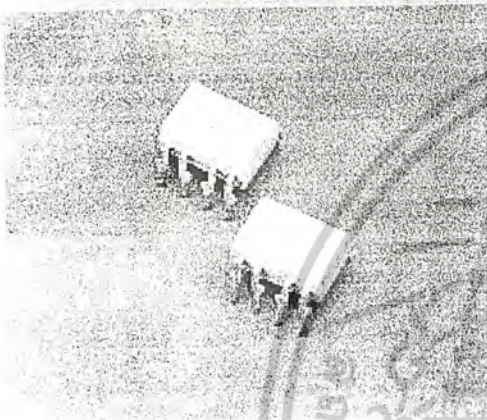
IR TAIWAN: 16 Fl. Suite D. 207, Sec. 2, Tun Haw South Road, Taipei, 10673, Taiwan Tel: 886-2-2377-9936

<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 01/02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IGBT / POWER MOSFET GATE DRIVE PHOTO-IC COUPLERS

TLP250 (INV) / TLP250F (INV)



The Toshiba TLP250 (INV) and TLP250F (INV) are 8-pin photocouplers designed exclusively for use in IGBT (isolated-gate bipolar transistor) drive applications. These photocouplers are capable of driving the gates of IGBTs and power MOSFETs directly (for which the addition of a gate resistor is necessary). The photo-IC couplers are housed in compact packages. This, combined with their ability to drive IGBTs and power MOSFETs directly, makes system design easier, allows simpler circuit configurations and improves system reliability.

Applications

- IGBT gate drive
- Power MOSFET gate drive
- Inverter
- Servo motor control
- UPS
- Induction heater

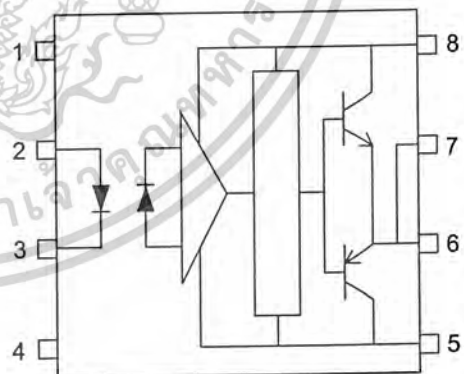
Features

- Input threshold current: $I_F = 5 \text{ mA (max)}$
- Supply voltage: $10 \text{ V} \sim 35 \text{ V}$
- Output peak current: 2.0 A (max)
- Response speed: $0.5 \mu\text{s (max)}$
- $|t_{pHL} - t_{pLH}|: 0.4 \mu\text{s (max)}$
- Isolation voltage: $2500 \text{ V}_{\text{rms (min)}}$
- UL-recognized
- D4 option type: VDE-approved

Note:

If a VDE0884-approved device is required, please specify option D4.

Pin Configuration



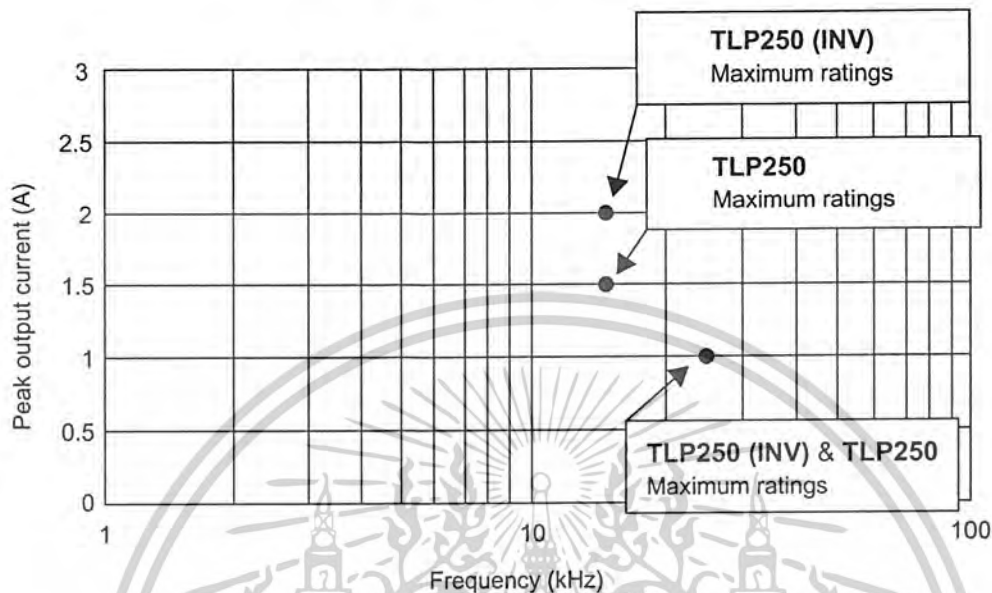
- 1: NC
- 2: LED ANODE
- 3: LED CATHODE
- 4: NC
- 5: GND
- 6: V_O (output)
- 7: V_O
- 8: V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak output current — frequency



● TLP250 (INV) vs. TLP250

Parameter	Symbol	Conditions	TLP250 (INV)	TLP250	Unit
H-level Output Current	I_{OPH}	$I_F = 10 \text{ mA}$, $V_{8-6} = 4 \text{ V}$ $V_{CC} = 30 \text{ V}$	1.0 (min)	0.5 (min)	A
L-Level Output Current	I_{OPL}	$I_F = 0$, $V_{6-5} = -2.5 \text{ V}$ $V_{CC} = 30 \text{ V}$	1.0 (min)	0.5 (min)	A
Switching Time Dispersion between ON and OFF	$ t_{pHL} - t_{pLH} $	$R_L = 20 \Omega$, $C_L = 10 \text{ nF}$	0.45 (max)	— (max)	μs
Common Mode Transient Immunity for High-Level Output	CMH	$V_{CM} = 1000 \text{ V}_{p-p}$, $I_F = 8 \text{ mA}$, $V_{CC} = 30 \text{ V}$, $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	15,000 (min)	5,000 (min)	$\text{V}/\mu\text{s}$
Common Mode Transient Immunity for Low-Level Output	CM _L	$V_{CM} = 1000 \text{ V}_{p-p}$, $I_F = 0 \text{ mA}$, $V_{CC} = 30 \text{ V}$, $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	15,000 (min)	5,000 (min)	$\text{V}/\mu\text{s}$

● UL-recognized: UL1577, File No. E67349

● Option (D4) type

VDE-approved: DIN VDE0884/16.92, Certificate No. 76823

	TLP250	TLP250F*
Maximum Operating Insulation Voltage	630 Vpk	840 Vpk
Highest Permissible Over Voltage	4000 Vpk	6000 Vpk

	TLP250	TLP250F*
Creepage distance	6.4 mm	8.0 mm
Clearance	6.4 mm	8.0 mm

Note:

When a VDE0884-approved device is required, please specify option D4.

* Making an application inเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum ratings

(Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward Current	I _F	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI _F /ΔTa	-0.36	mA/°C	
	Reverse Voltage	V _R	5	V	
Detector	H Peak Output Current	I _{OPH}	(PW ≤ 2.5 μs, f = 15 kHz) (Note 2)	-1.5	A
			(PW ≤ 1 μs, f = 15 kHz) (Note 2)	-2.0	
	L Peak Output Current	I _{OPL}	(PW ≤ 2.5 μs, f = 15 kHz) (Note 2)	+1.5	A
			(PW ≤ 1 μs, f = 15 kHz) (Note 2)	+2.0	
	Output Voltage	V _O	35	V	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _O /ΔTa	-0.73	V/°C	
	Supply Voltage	V _{CC}	35	V	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _{CC} /ΔTa	-0.73	V/°C	
Operating Frequency	(Note 3)	f	25	kHz	
Operating Temperature Range		T _{opr}	-20 ~ 85	°C	
Storage Temperature Range		T _{stg}	-55 ~ 125	°C	
Isolation Voltage (AC, 1 minute, R/H ≤ 60%, Ta = 25°C)		BVs	2500	V _{rms}	

Note 2: Exponential Waveform

Note 3: Exponential Waveform, I_{OPH} ≤ -1.0 A (≤ 2.5 μs), I_{OPL} ≤ +1.0 A (≤ 2.5 μs)

Note 5: A ceramic capacitor (0.1 μF) should be connected between pin 8 and pin 5 to stabilize the operation of the high-gain linear amplifier. Failure to provide this bypass may impair the switching properties. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1 cm.

Electrical Characteristics

(Ta = -20° ~ 70°C unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions	Min	Typ.	Max	Unit	
Input Forward Voltage		V _F	I _F = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.6	1.8	V	
Temperature Coefficient of Forward Voltage		ΔV _F /ΔTa	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV/°C	
Input Reverse Voltage		I _R	V _R = 5 V, Ta = 25°C	—	—	10	μA	
Output Current	H Level	I _{OPH}	I _F = 10 mA, V ₈₋₆ = 4 V	-0.5	-1.5	—	A	
			V _{CC} = 30 V (*)	TLP250 (INV)	-1.0	-1.5		—
	L Level	I _{OPL}	I _F = 0, V ₆₋₅ = -2.5 V	0.5	2	—		
			TLP250 (INV)	1.0	2	—		
Output Voltage	H Level	V _{OH}	V _{CC} = 15 V V _{EE} = -15 V R _L = 200 Ω	I _F = 5 mA	11	12.8	V	
	L Level	V _{OL}		V _F = 0.8 V	—	-14.2		-12.5
Supply Current	H Level	I _{CC}	V _{CC} = 30 V	I _F = 10 mA	—	7	11	mA
	L Level	I _{CC}		V _F = 0.8 V	—	7.5	11	
Threshold Input Current	Output L → H	I _{FLH}	V _{CC1} = +15 V, V _{EE1} = -15 V R _L = 200 Ω, V _O > 0 V	—	1.2	5	mA	
Threshold Input Voltage	Output H → L	V _{FHL}	V _{CC1} = +15 V, V _{EE1} = -15 V R _L = 200 Ω, V _O < 0 V	0.8	—	—	V	
Supply Voltage		V _{CC}		10	—	35	V	

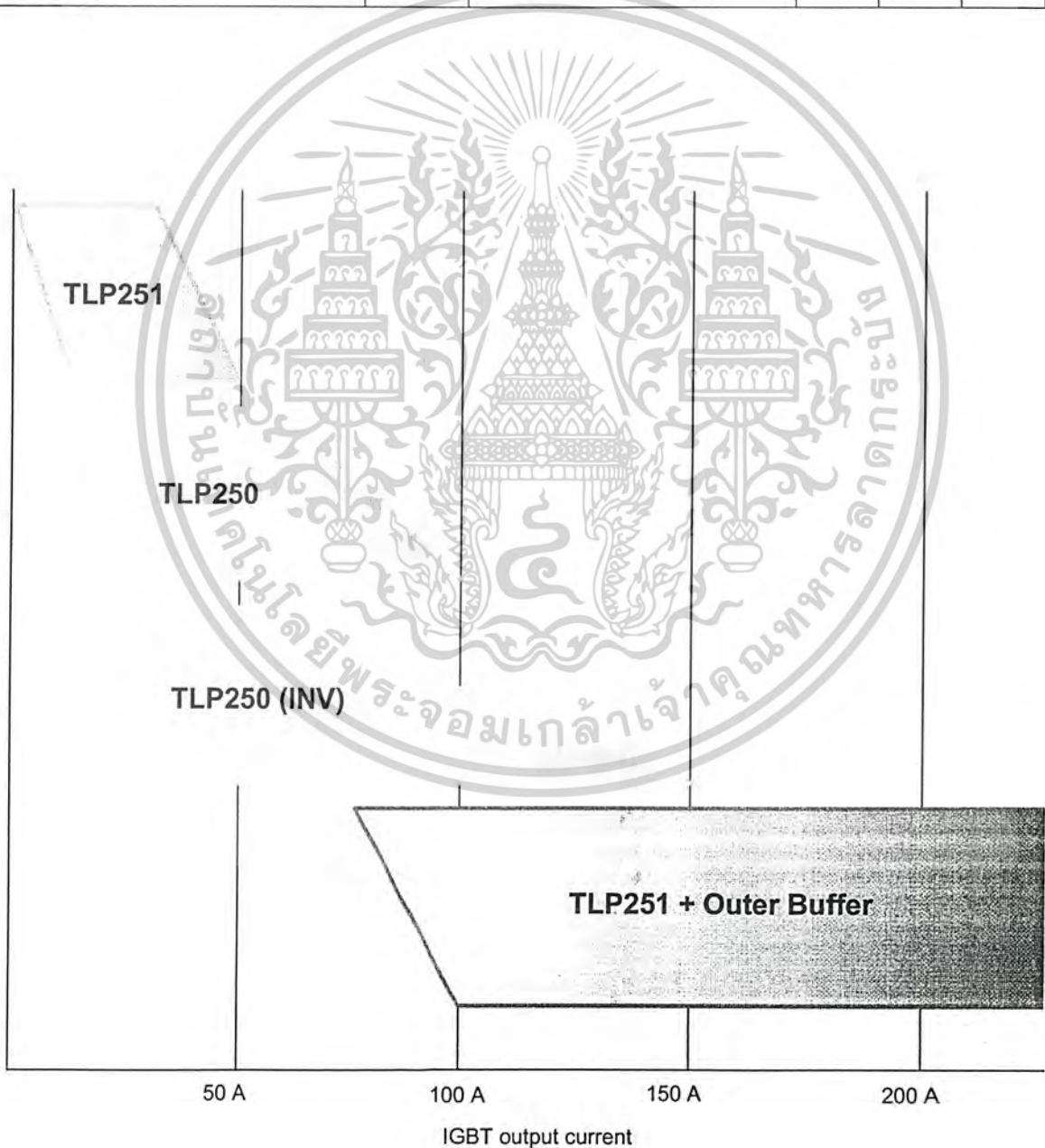
* All typical values are at Ta = 25°C. (*1): Duration of I/O time ≤ 50 μs

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Characteristics

($T_a = -20^\circ \sim 70^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

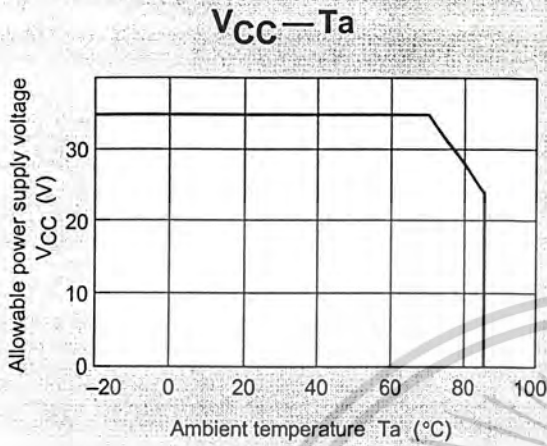
Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ.	Max	Unit
Propagation Delay Time	L → H	$I_F = 8 \text{ mA}$ $V_{CC} = 15 \text{ V}, V_{EE} = -15 \text{ V},$ $R_L = 20 \Omega, C_L = 10 \text{ nF}$	0.05	0.15	0.5	μs
	H → L		0.05	0.15	0.5	
Switching Time Dispersion between ON and OFF	$ \text{t}_{pHL} - \text{t}_{pLH} $		—	—	0.45	
Common Mode Transient Immunity for High-Level Output	CM_H	$V_{CM} = 1000 \text{ V}_{p-p}, I_F = 8 \text{ mA},$ $V_{CC} = 30 \text{ V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	15,000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
Common Mode Transient Immunity for Low-Level Output	CM_L	$V_{CM} = 1000 \text{ V}_{p-p}, I_F = 0 \text{ mA},$ $V_{CC} = 30 \text{ V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	15,000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$



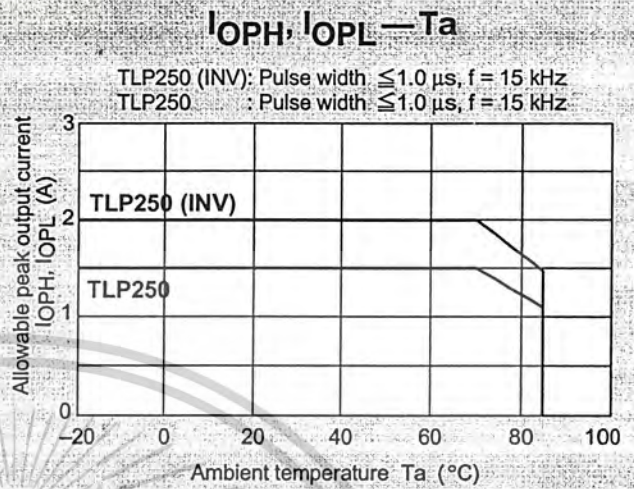
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ใช้ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

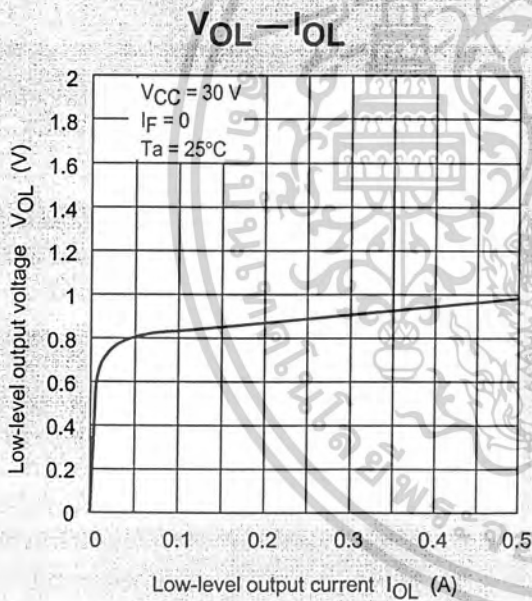
TLP250



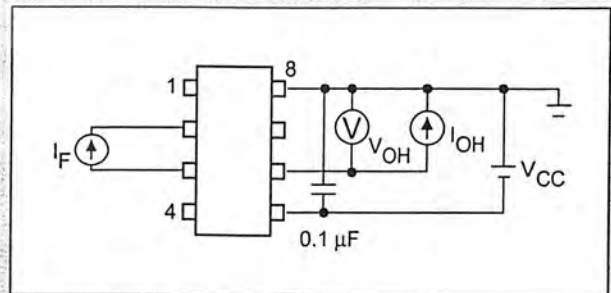
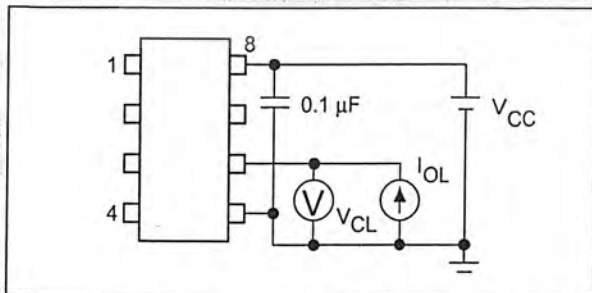
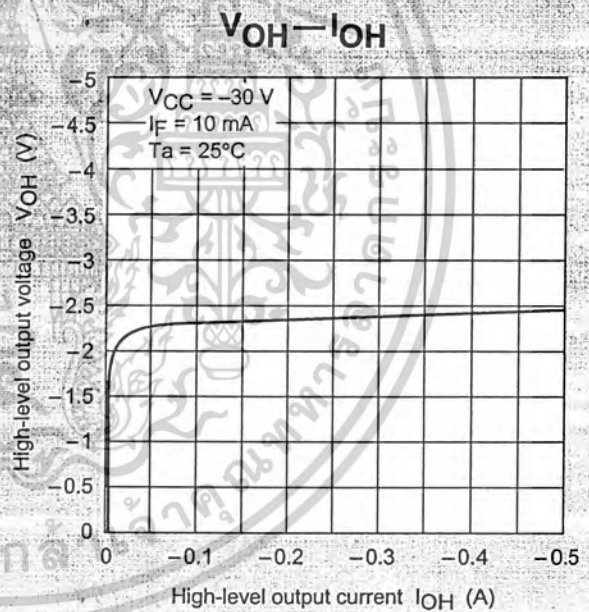
TLP250, TLP250 (INV)



TLP250, TLP250 (INV)



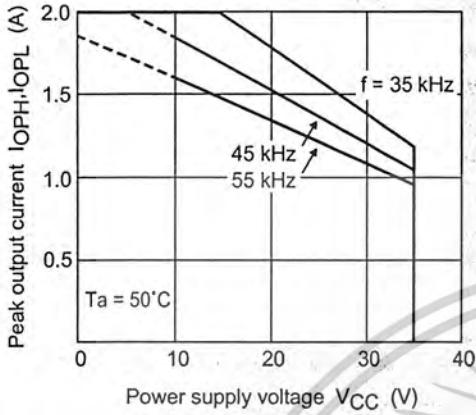
TLP250, TLP250 (INV)



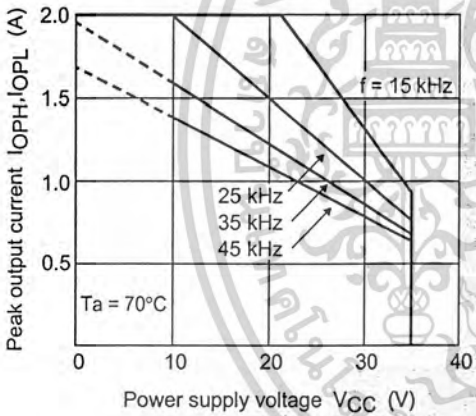
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250 (INV)

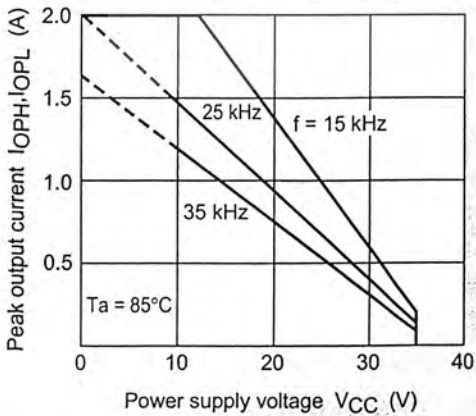
$I_{OPH}, I_{OPL} - V_{CC}$



$I_{OPH}, I_{OPL} - V_{CC}$

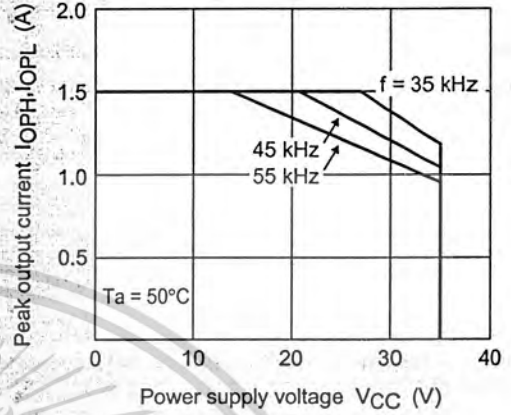


$I_{OPH}, I_{OPL} - V_{CC}$

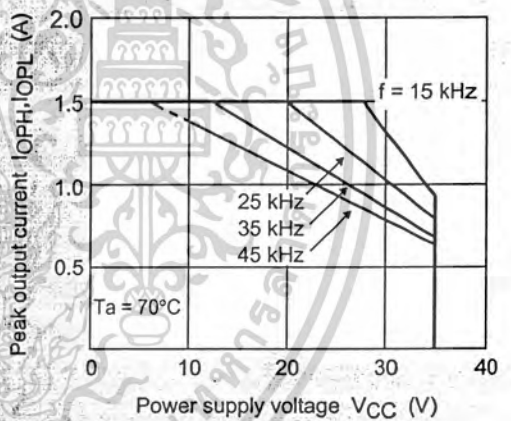


TLP250

$I_{OPH}, I_{OPL} - V_{CC}$



$I_{OPH}, I_{OPL} - V_{CC}$



$I_{OPH}, I_{OPL} - V_{CC}$

