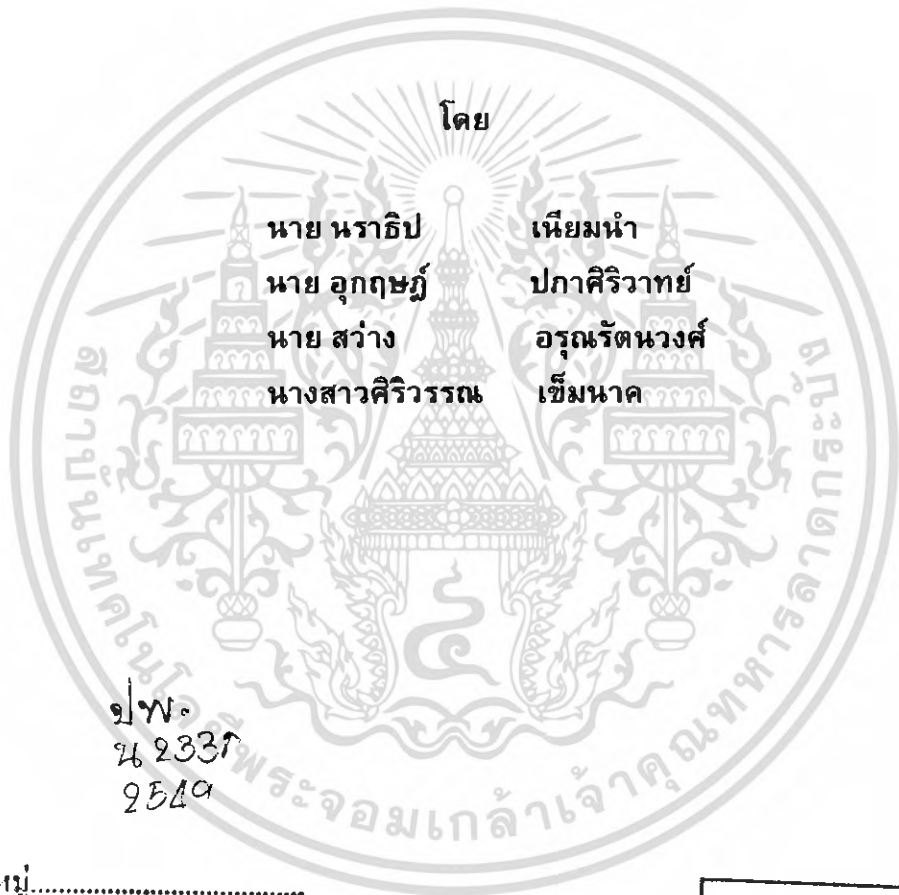


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ไอจีบีที
IGBT DC MOTOR DRIVES



รฟ.
น ๒๓๓
๒๕๕๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72678
วัน,เดือน,ปี..... 21 ส.ย. 2550

b..... 11๓๗๑๒๕๐
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ไอจีบีที
IGBT DC MOTOR DRIVES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ไอจีบีที

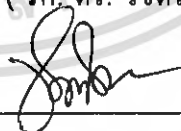
ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-----------|----------|---------------|----------|
| 1. นาย | นราธิป | เนียมนำ | 46010342 |
| 2. นาย | อุกฤษฏ์ | ปภาศิริวาทย์ | 46010979 |
| 3. นาย | สว่าง | อรุณรัตน์วงศ์ | 46012062 |
| 4. นางสาว | ศิริวรรณ | เข็มนาค | 46012060 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ไอจีบีที

นาย	นราธิป	เนียมนำ	46010342
นาย	อุกฤษฏ์	ปภาศิริวาทย์	46010979
นาย	สว่าง	อรุณรัตน์วงศ์	46012062
นางสาว	ศิริวรรณ	เข็มภาค	46012060

รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 อ. ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ทำงานได้ทั้งทิศทางไปข้างหน้าและย้อนกลับ มอเตอร์ที่นำมาทดลองมีความเร็วรอบสูงสุด 3000 รอบ/นาที่ พิกัดแรงดัน 90 v กระแส 9 แอมป์ซึ่งในการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์ที่ใช้ไอจีบีทีเป็นสวิตช์ ในโครงการนี้เป็นการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณ PWM ชนิด Unipolar เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงตามที่ต้องการและยังสามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้

IGBT DC MOTOR DRIVE

Narathip	Niamnum	46010342
Ukrit	Paparsiriwart	46010979
Sawang	Aroonratanawong	46012062
Siriwan	Khemnak	46012060

Assor. Prof. Dr. Vijit	Kinnares	Advisor
Lecturer Chaitut	maneein	Advisor
2006		

ABSTRACT

This thesis presents a study of construction of a DC motor drive, which can control the forward and reverse direction of a separately excited DC motor. The motor rating is 90 V, 9 A. , 3000 rpm. The method which controls motor is voltage control of armature winding by using a IGBT DC-DC full bridge converter. In this project, a microcontroller is used for generating Unipolar PWM in order to adjust the required motor speed. In addition, direction of the motor can be also controlled.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ และ อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้เป็นอย่างดี ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านเหล่านี้โครงงานนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ นอกจากนี้ ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณพี่ๆที่คอยให้คำแนะนำ อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือรวมทั้งยังให้ยืมอุปกรณ์ ธุรการที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนในการทำโครงงานครั้งนี้ รวมทั้งเพื่อนๆโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เพื่อนบาสที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้อย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณทีมงานในกลุ่มทุกคนที่ร่วมแรงร่วมใจกัน ถ้าทุกคนไม่ช่วยงานคงไม่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีแน่และผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสงเคราะห์ทำให้ผู้จัดทำศึกษาเล่าเรียนจนจบในครั้งนี้

นาย	นราธิป	เนียมนำ	46010342
นาย	อุกฤษฏ์	ปภาศิริวาทย์	46010979
นาย	สว่าง	อรุณรัตน์วงศ์	46012062
นางสาว	ศิริวรรณ	เข็มนาค	46012060

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1)
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1)
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1)
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1)
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2)
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2)
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3)
2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส	3)
2.2 วงจรคอนเวอเตอร์ หรือ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (converter)	7)
2.3 วงจรขับไอจีบีที	11)
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์	14)
2.5 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	29)
2.6 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	32)
2.7 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์	32)
2.8 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์	33)
2.9 ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	36)
2.10 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	37)
2.7 การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	41)
2.8 ระบบควบคุม	44)
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง.....	46)
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ	46)
3.2 อธิบายหลักการทำงานของโครงการ	47)
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	49)
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	49)
4.2 ขั้นตอนการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	49)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดลอง	50)
บทที่ 5 บทสรุปและเสนอแนะแนวทางที่จะดำเนินการ.....	69)
ภาคผนวก	
ส่วนของโปรแกรม	
เอกสารอ้างอิง	
กิตติกรรมประกาศ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงจรเรียงกระแส	3)
2.2	ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)	7)
2.3	ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)	4)
2.4	-push-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-pull Converter)	5)
2.5	ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-bridge Converter)	7)
2.6	ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge Converter)	9)
2.7	แสดงการขับไอจีบีทีด้วยไอซี TTL)	10)
2.8	แสดงการขับไอจีบีทีด้วยไอซี CMOS	11)
2.9	แสดงวงจรขับไอจีบีทีด้วยหม้อแปลง	12)
2.10	แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์	13)
2.11	แสดงส่วนประกอบหลักของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์	16)
2.12	แสดงกลไกการทำงานของสแต็ทอย่างง่าย	21)
2.13	โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพรีนซ์ตันหรือฟอน นิวแมน	22)
2.14	โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	23)
2.15	ไดอะแกรมการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด	25)
2.16	แสดงไดอะแกรมของกระบวนการไปป์ไลน์ที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	25)
2.17	แสดงไดอะแกรมของกระบวนการไปป์ไลน์เมื่อกระทำคำสั่งการกระโดด	26)
2.18	ไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานและการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628	27)
2.19ก	ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	30)
2.19ข	ส่วนประกอบภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	30)
2.19ค	โครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	31)
2.20	โครงสร้างโรเตอร์เมื่อเพิ่มตัวนำ	31)
2.21	วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดแยกกระตุ้น	33)
2.22	การนำมอเตอร์ไปขับ โหลด	36)
2.23	วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge dc-dc converter)	37)
2.24	ควอดแรนต์ของการทำงาน	38)
2.25	ลักษณะสัญญาณการขับมอเตอร์ในทิศทางforwardด้วยความเร็วสูงสุด	39)
2.26	ลักษณะสัญญาณการขับมอเตอร์ในทิศทางforwardด้วยความเร็วต่ำสุด	39)
2.27	ลักษณะสัญญาณการขับมอเตอร์ในทิศทางforwardด้วยความเร็วต่ำสุด	40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

2.28	ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทาง Reverse ด้วยความเร็วต่ำสุด	40)
2.29	ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทาง Reverse ด้วยความเร็วสูงสุด	41)
2.30	การปรับเปลี่ยนพิกัดแรงดันจากมอเตอร์กระแสตรง	42)
2.31	เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว และกำลังกับอัตราเร็ว	43)
2.32	การควบคุมระบบ	44)
2.33	ระบบควบคุมแบบเปิด	44)
2.34	ระบบควบคุมแบบปิด	45)
3.1	วงจรขับไอจีบีที	47)
3.2	บล็อกไดอะแกรมของการทำงาน	47)
4.1	กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์กับความเร็วรอบ	51)
4.2	กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันที่ขดลวดฟิลด์กับความเร็วรอบ	52)
4.3	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว1500rpm no load	53)
4.4	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว1100rpm no load	54)
4.5	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 750rpm no load	54)
4.6	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 400rpm no load	55)
4.7	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุต ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 100 rpm no load	55)
4.8	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะ Stop	56)
4.9	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 100 rpm no load	56)
4.10	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 400 rpm no load	57)
4.11	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 750 rpm no load	57)
4.12	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 1000rpm no load	58)
4.13	สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว1500rpm no load	58)
4.14	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนForwardที่ความเร็ว1500rpm no load	59)
4.15	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนForwardที่ความเร็ว1100rpm no load	59)
4.16	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนForwardที่ความเร็ว750rpm no load	60)
4.17	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนForward ที่ความเร็ว 400 rpm no load	60)
4.18	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนForwardที่ความเร็ว100rpm no load	61)
4.19	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ ขณะ Stop	62)
4.20	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว100rpm no load	62)
4.21	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนReverseที่ความเร็ว400rpm no load	62)
4.22	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนReverseที่ความเร็ว750rpm no load	63)

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนReverse ที่ความเร็ว1100rpm no load	63)
4.24	สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนReverseที่ความเร็ว1500rpm no load	64)
4.25	แสดงเตหใหม่จากชุดขับไอจีบีที	65)
4.26	แสดงเตหใหม่จากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	65)
4.27	สัญญาณของชุดขับไอจีบีที	66)
4.28	สัญญาณของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	66)
4.29	ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์และชุดรับสัญญาณจากสวิตช์	67)
4.30	ชุดวงจรบริดจ์เรกติไฟร์และวงจรคอนเวอเตอร์	67)
4.31	ชุดวงจรขับฟูลบริดจ์โดยออปโตคัปเปิลอร์	68)
4.32	ชุดวงจรรวม	68)



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์(Vt)	50)
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดันที่ขดลวดฟิลด์(Vf)	51)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีดำเนินไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะด้านอิเล็กทรอนิกส์ จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ในส่วนของการควบคุมมอเตอร์นั้นถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลักของอุตสาหกรรมเนื่องจากมีการใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในงานอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ในส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์กระแสสลับอย่างมาก เนื่องจากเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังพัฒนาไปมาก แต่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับตรงที่มีแรงบิดในขณะสตาร์ทสูงและยังสามารถควบคุมความเร็วได้ในย่านที่กว้างมาก ซ้ำยังควบคุมได้ง่ายอีกด้วย

ในการศึกษาหลักการทํางานและการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นพื้นฐานที่ดีในการนำไปสู่การศึกษามอเตอร์ชนิดอื่นที่ซับซ้อนต่อไปและยังสามารถนำไปใช้งานในโอกาสต่อไป

1.1 ความสำคัญของปัญหา

สำหรับโครงการนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีการทํางานคือ กรณีที่สนามแม่เหล็กของส่วนที่อยู่หนึ่งมีค่าคงที่ทำให้มอเตอร์หมุนไปได้ในทิศทางเดินหน้า และย้อนกลับได้รวมทั้ง 2 ทิศทาง และสามารถเพิ่มความเร็วและลดความเร็วในการควบคุมได้ตามคำสั่งการใช้งานโดยใช้เทคโนโลยีด้านไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทํางานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. ศึกษาการควบคุม DC-Motor โดยใช้วงจรฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter) ซึ่งใช้ IGBT เป็นสวิตช์
3. เพื่อศึกษาการทํางานเพื่อเป็นต้นแบบก่อนนำไปประยุกต์ใช้จริง
4. เพื่อพัฒนาแนวคิดและพัฒนาตัวเองของคณะผู้จัดทำ และนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการทํางานต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรกำลังและส่วนของวงจรควบคุม ซึ่งในส่วนของวงจรกำลังจะใช้ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ในการปรับตัดตาไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และในส่วนของวงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทํางานตั้งแต่สร้างสัญญาณในการปรับค่าการทํางาน(duty ratio) เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการป้อนกลับและไม่ป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์เริ่มจากการต่อชุดวงจรที่ใช้ในโครงการมีวงจร FULL BRIDGE CONVERTOR , วงจรขับ IGBT และพวงชุดแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจากนั้นก็เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อนำไปควบคุมมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางที่กำหนดและควบคุมความเร็วโดยกำหนดที่Ratio ได้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

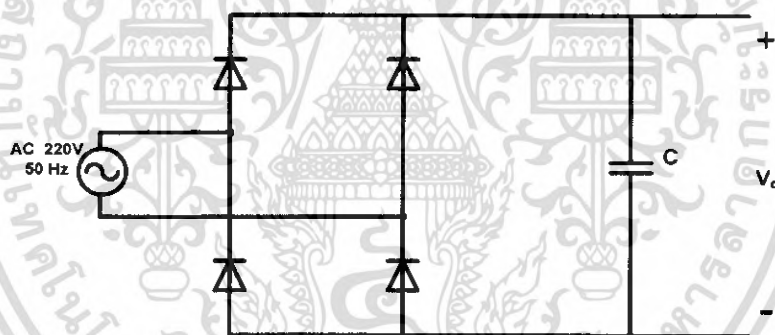
โครงการนี้จะสามารถเป็นต้นแบบในการนำไปสู่การพัฒนาในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่างๆได้อย่างสะดวก



บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส

วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสเป็นส่วนสำคัญของวงจรในส่วนอินพุตซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้แก่เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา โดยจะได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 220 โวลต์ $\pm 10\%$ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ มาเปลี่ยนให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดต่อแบบบริดจ์ (รูปที่ 3.2) แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของวงจรเรียงแสดนี้จะถูกกรองให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมน้อยลง และมีขนาดประมาณ 300 โวลต์ โดยมีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรอง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้นี้จะทำหน้าที่เป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป และวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสยังเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทดกระแสของฟิวส์และวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุด้วย



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแส

การต่อวงจรเรียงกระแสโดยตรงเข้ากับสายกำลังเช่นนี้ เป็นการเลี่ยงการใช้หม้อแปลงแรงดันความถี่ต่ำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักลงได้ ในกรณีวงจรกรอง 50 เฮิร์ตซ์ก็เช่นกัน การไม่ใช้ตัวเหนี่ยวนำ จะลดปัญหาเนื่องจากน้ำหนัก แต่มีข้อเสียคือ ตัวเก็บประจุของวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าวงจรกรองที่มีตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่การกระเพื่อมมีขนาดเท่ากันและกระแสที่ไหลในตัวไดโอดมีค่าขอดีสูง แต่ก็มีข้อดี คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเกือบเท่ากับค่าขอดีของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบจ่ายกระแส

การออกแบบค่าอุปกรณ์ต่างๆของวงจรจ่ายไฟตรงภาคกำลัง

2.1.1 ไคโอดเรียงกระแส

การเลือกใช้ไคโอดเรียงกระแสให้เหมาะกับการใช้งานควรมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1.) ค่ากระแสกระชาก; $I(fsm)$

กระแสกระชากสูงสุดที่ไหลผ่านไคโอดเรียงกระแสจะเกิดขึ้นในขณะที่เปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดคำนวณได้จาก

$$I_{fsm} = \frac{V_p}{R_s + ESR}$$

เมื่อ V_p คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุท

ERS คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

R_s คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไคโอดเรียงกระแสจะมีค่าอัตราทนกระแสกระชาก $I(fsm)$ ประมาณ 20 ถึง 30 เท่า ของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรงของมัน โดยไคโอดที่ใช้จะต้องมีอัตราทนกระแสกระชากมากกว่าค่ากระแสที่คำนวณได้จากสมการ ค่ากระแสการชากอาจลดลงได้โดยการเพิ่มค่าของ R_s แต่จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากเกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทาน

2.) ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง ; $I(frm)$

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุกรองกระแสมีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้ไหลค ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไคโอดเรียงกระแส สามารถหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุกรองกระแส

3.) ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง ; $I(fm)$

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไคโอดเรียงกระแสจะได้รับในขณะที่ทำงาน การพิจารณาค่ากระแสนี้ทำได้โดยใช้กราฟ ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด $I(fm)$ ของไคโอดไว้ที่ประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่าจากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอายุการใช้งาน

4.) อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด ; $V(rrm)$

โดยปกติวงจรเรียงกระแสจะต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบแอสกลับของไคโอด ควรต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ แต่ควรเผื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มีค่ามากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีที่อาจเกิดทรานเซียนต์ขึ้นในสายไฟสลับ

2.1.2 ตัวเก็บประจุกรองกระแส

ตัวเก็บประจุมีหน้าที่กรองแรงดัน ไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอดให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอดำรงที่วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการ การใช้งานจริงควรเลือกตัวเก็บประจุที่มีปัจจัยดังต่อไปนี้

a) อัตราทนกระแสระลอก (RMS Ripple Current Rating)

กระแสระลอกในตัวเก็บประจุกรองกระแสเกิดจากการชาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเอง ซึ่งค่ากระแสนี้เป็นผลให้ตัวเก็บประจุร้อนและอายุการใช้งานลดลง การเลือกใช้ใช้งานตัวเก็บประจุกรองกระแสจะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสระลอกมากกว่าค่ากระแสระลอกที่คำนวณได้ เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนกับตัวเก็บประจุขณะที่ทำงาน ในกรณีที่กระแสระลอกมีค่าสูงการใช้ตัวเก็บประจุนานกันหลายตัวจะช่วยเพิ่มอัตราทนกระแสระลอกให้ตัวเก็บประจุได้

b) แรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสจะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุตทำให้แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมนี้มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ลงไป ปกติการออกแบบวงจรเรียงกระแสจะยอมมีค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 10 % ของค่าแรงดันเอาต์พุต

ค่าของตัวเก็บประจุกรองกระแส C สามารถคำนวณได้จาก

$$(3.1) \quad C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta V_{ripple}}$$

- เมื่อ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส
- Δt คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ
- ΔV_{ripple} คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม

การคำนวณค่าความจุไฟฟ้า C สามารถคำนวณได้ดังนี้

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า	= 220	โวลต์
ค่ายอดคของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Vm)	= 220 × 1.414	โวลต์
	= 310	โวลต์
แรงดันกระเพื่อม (Vr)	= 0.10 × 310	โวลต์
	= 31	โวลต์
แรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย	= แรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด - (Vr/2)	โวลต์
	= 310 - (31/2)	โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 294.5

โวลต์

สำหรับข้อกำหนดของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมามีกำลังไฟฟ้าด้านเข้าประมาณ 5,000 วัตต์ ดังนั้น ค่าตัวเก็บประจุ C หาได้จากสมการ

$$C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta V_{ripple}}$$

โดยที่

I_e = กำลังไฟฟ้าด้านเข้าสูงสุด / แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย
= 5000 / 294.5
= 17 แอมป์

เวลา t \approx 1/2 ของคาบเวลาไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า
(ไฟกระแสสลับ 50 Hz, คาบเวลา 20 มิลลิวินาที)
 \approx 10 มิลลิวินาที

ดังนั้นค่า C ที่ต้องการคือ = 17 x 0.01 / 31
= 5483 ไมโครฟารัด

c) ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ (Holdup Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ เป็นช่วงเวลาที่ยังสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับมีค่าต่ำกว่ากำหนดและเพื่อให้วงจรสวิตชิ่งนี้มีค่าเวลาโฮลด์อัฟ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้กับคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

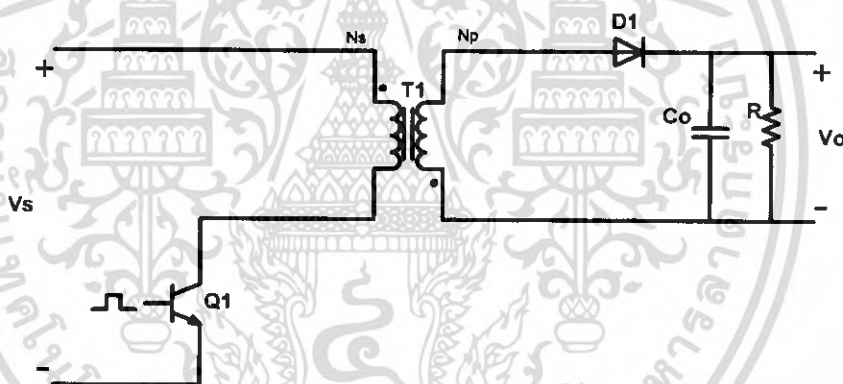
4.) อัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)

ตัวเก็บประจุกรองกระแสต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส แต่เพื่อความปลอดภัยควรเผื่ออัตราทนแรงดันไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของคอนเวอร์เตอร์ เช่น ถ้าแรงดันไฟสลับอินพุตมีค่าอยู่ในช่วง 187 ถึง 264 โวลต์ควรมีค่าอัตราทนแรงดันอย่างต่ำที่ 400 โวลต์

2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ หรือ วงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรง (Converter)

วงจรคอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุด ซึ่งมีหน้าที่แปลงผันระดับของกระแส หรือ แรงดันไฟฟ้าออกให้มีค่าเป็นไปตามสัญญาณควบคุม วงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรงมีหลายแบบ แต่ละแบบจะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันทั้งในแง่ของอัตราการผลิตผันแรงดัน (V_o/V_s) ความต่อเนื่องของกระแสด้านเข้าและด้านออก ความสามารถในการกลับทิศทางของแรงดันออก ตลอดจนความยากง่ายในการใช้วงจรดังกล่าว สำหรับทิศทางการไหลของกระแสและพลังงานนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะการทำงานของสวิตช์ที่ใช้ในวงจร ในปัจจุบันได้มีการค้นคิดรูปแบบของวงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่วงจรแปลงผันไฟตรง – ไฟตรงพื้นฐานที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายจะมีเพียงไม่กี่วงจร ซึ่งมีรูปแบบของวงจรและมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

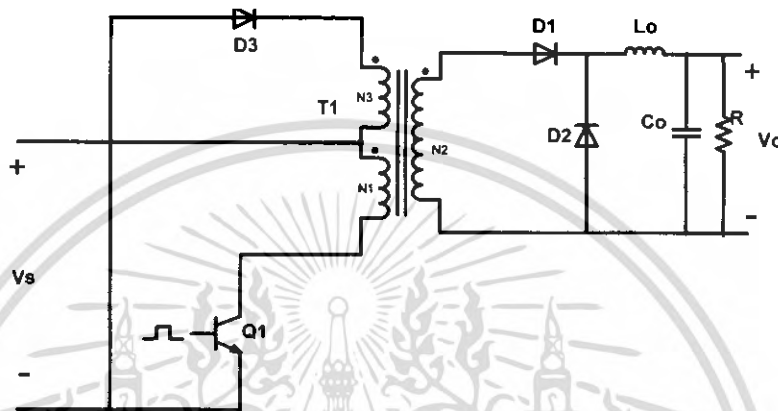


รูปที่ 2.2 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

จากรูปที่ 2.2 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T1 จะกำหนดขดไฟรมารี่ และเซคชั่นดาร์รี่ให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแสไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ขดไฟรมารี่ของหม้อแปลง T1 แทน เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไฟรมารี่และเซคชั่นดาร์รี่ D1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไฟรมารี่ของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคชั่นดาร์รี่ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาท์พุท Co เพื่อทำการสะสมประจุ

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RF / EMI ก่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

2.2.2 ฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)

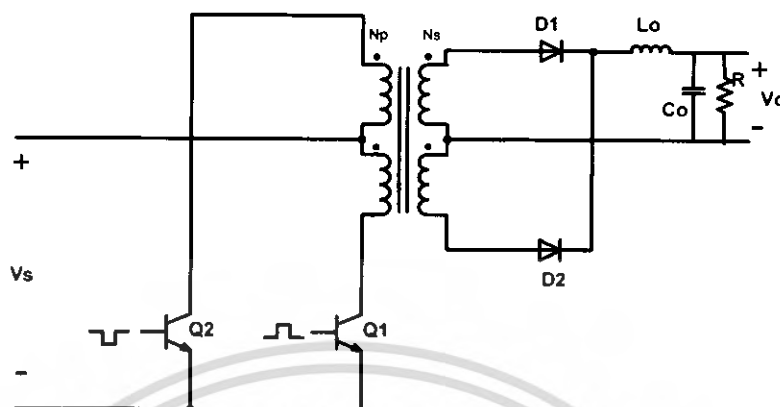


รูปที่ 2.3 ฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)

ในรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T1 ในฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดโพรมารีและชดเชกัณฑ์คาร์ให้มืเฟสตรงกันตั้งนั้นเมื่อ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด D1 และตัวเหนี่ยวนำ Lo ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต Co และโหลดได้ขณะที่มีกระแสไหลผ่าน Lo จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วยเมื่อ Q1 หยุดนำกระแสไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลจากชดเชกัณฑ์คาร์สนามแม่เหล็กใน Lo จะขุดตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ ทำให้กระแสไหลผ่านไดโอด D2 ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลผ่านโหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่ Q1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกันกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาสูงกว่า

2.2.3 พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-pull Converter)

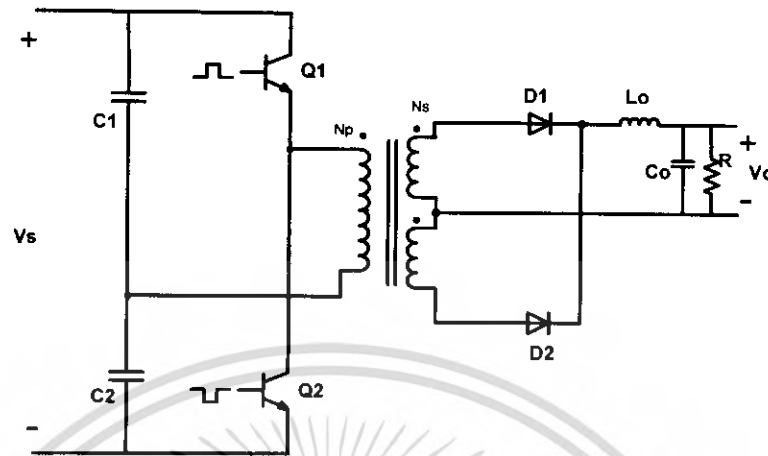


รูปที่ 2.4 พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-pull Converter)

พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไปแต่มีข้อเสียคือ มักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้น พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับวงจรสวิตช์ที่ต้องการกำลังงานสูงๆ

จากรูปที่ 2.4 Q1 และ Q2 จะกลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลาการทำงาน เมื่อ Q1 นำกระแส D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแสผ่าน L_o ไปยังโหลด แต่เมื่อ Q2 นำกระแส D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและนำกระแสผ่าน L_o ไปยังโหลดเช่นเดียวกัน ดังนั้น โหลดจึงมีกระแสไหลต่อเนื่องได้ตลอดเวลากระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างพูช-พูลคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน

2.2.4 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-bridge Converter)

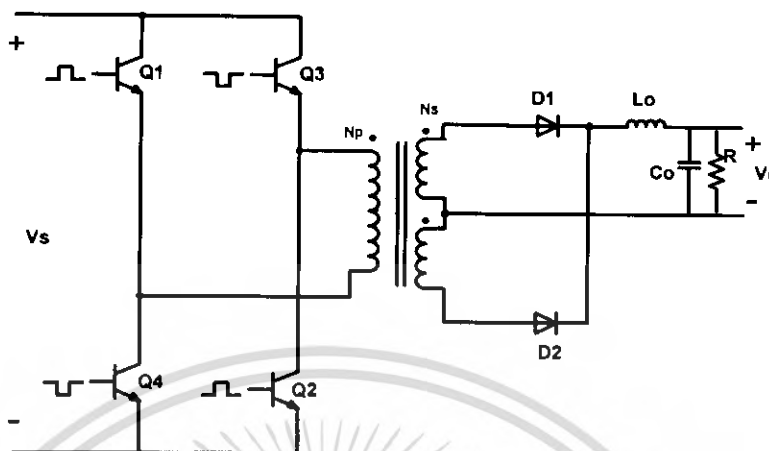


รูปที่ 2.5 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-bridge Converter)

ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพุก-พุลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว และลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ได้

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น เมื่อ Q1 และ Q2 สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการทำงานของพุก-พุลคอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดันตกคร่อมขณะทำงานของขดไฟรมารี่จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ C1 และ C2 เพื่อแบ่งครึ่งแรงดันกระแสที่ไหลผ่านขดไฟรมารี่จึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัดกำลังงานสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังสูงสุดที่ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

2.2.5 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge Converter)



รูปที่ 2.6 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-bridge Converter)

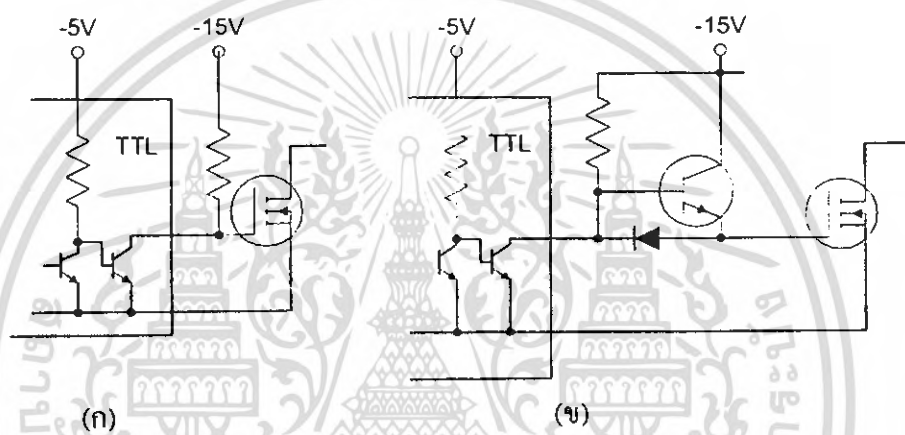
จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่ามีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมดถึง 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดย Q1 จะนำกระแสพร้อมกับ Q2 และ Q3 จะนำกระแสพร้อมกับ Q4 กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ ภาระงานที่ขดไพรมารีจะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับค่าแรงดันอินพุตกระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีจึงมีค่าต่ำกว่า ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังงาน ได้สูงกว่า ดังนั้นวงจรสวิตซ์ที่ต้องการกำลังงานสูงๆ มักนิยมใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฟูล-บริดจ์เป็นหลัก

2.3 วงจรขับไอจีบีที

การขับไอจีบีที ให้นำกระแสที่แตกต่างจากขับกระแสไบแอส ในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไบแอสไหลผ่านที่เบสและอิมิตเตอร์ แต่ไอจีบีทีจะมีกระแสไหลผ่านแคโรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) แต่ใช้กระแสต่ำ การขับไอจีบีที ให้นำกระแสจึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

2.3.1 วงจรขับไอจีบีทีด้วย TTL

การขับไอจีบีทีด้วย ไอซี TTL โดยตรงนั้นสามารถทำได้แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดในการจ่ายกระแสและรับกระแสที่เอาต์พุต ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของ ไอจีบีทีและทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรขับชนิดนี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะของ ไอจีบีทีเป็น ไปอย่างรวดเร็ว

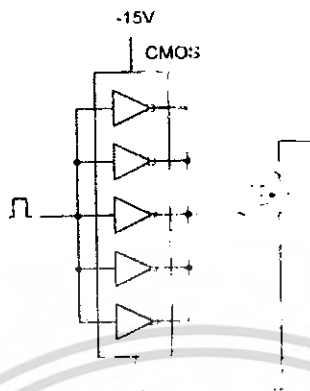


รูปที่ 2.7 แสดงการขับ ไอจีบีทีด้วย ไอซี TTL

รูปที่ 2.7 (ก) แสดงวงจรขับด้วย ไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด การต่อพูล์ฟริซิสเตอร์เข้าช่วย เพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับ ไอจีบีทีให้ทำงานและการหยุดนำกระแส ไอจีบีทีเป็นไปได้อย่างเร็วขึ้นแต่ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสยังมีค่าจำกัดอยู่เนื่องจากกระแสยังถูกจำกัดด้วยพูล์ฟริซิสเตอร์

รูปที่ 2.7 (ข) ทρανซิสเตอร์จะช่วยในการจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วในการนำกระแสของ ไอจีบีทีดีขึ้น และลดกำลังสูญเสียในตัว ไอซี TTL ด้วยและวงจรขับจะเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาอีกหนึ่งตัวเพื่อให้การคายประจุที่ขาเกตเป็นไปอย่างรวดเร็วและทำให้ความเร็วขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

2.3.2 วงจรขับไอจีบีทีด้วยไอซี CMOS

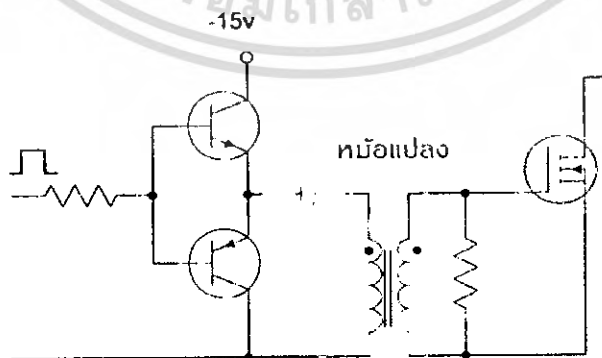


รูปที่ 2.8 แสดงการขับไอจีบีทีด้วยไอซี CMOS

ไอจีบีทีสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซี CMOS ได้ ในส่วนเอาต์พุตของไอซี COMS จะเป็นเฟสต่อกันในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์ โดยทั่วไปจะใช้ 12 ถึง 15 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมกับการขับไอจีบีที

สำหรับการขับ ไอจีบีทีที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกัน จะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาคัด และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของไอจีบีทีเป็นไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.3.3 วงจรขับไอจีบีทีด้วยหม้อแปลง



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรขับไอจีบีทีด้วยหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

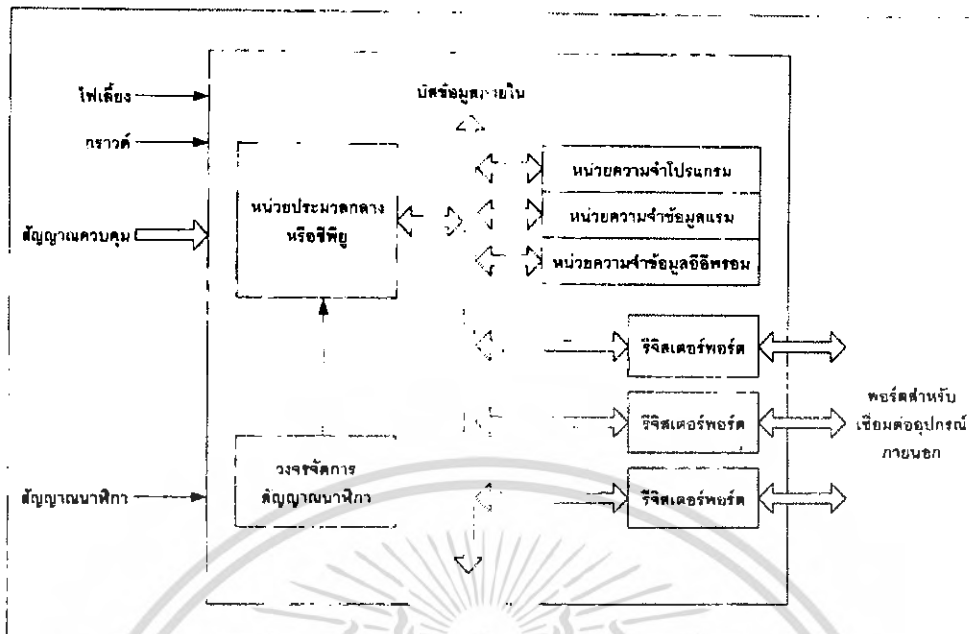
ในกรณีของคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ วงจรขับไอจีบีทีตัวบน ตัวล่างจะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกัน จึงจำเป็นต้องให้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ ต้องการขับไอจีบีที มากกว่า 1 ตัว พร้อมกันก็จากต้องใช้หม้อแปลงช่วย

การต่อหม้อแปลงฟลักซ์เข้ากับขาเกตและวงจรวางควบคุมโดยตรงอาจเกิดปัญหาการ เลื่อนระดับของแรงดันเอาต์พุตที่หม้อแปลง และอาจมีปัญหาในการทำงานของไอจีบีทีได้ การต่อวงจรขับไอจีบีทีด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังรูปที่ 2.9

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (micro) หมายถึง ขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึง ตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึง อุปกรณ์ขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้ บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่คน โดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู , หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของ ระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยบรรจุรวมกันอยู่ภายใต้ตัวถังเดียวกัน ในรูปที่ A-1 แสดง ส่วนประกอบหลักที่สำคัญและกลไกการทำงานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านคำสั่งที่ระบุไว้ โดยต้องทำการอ้าง ตำแหน่งของหน่วยความจำผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสแอดเดรส (Address bus) แล้วทำการอ่าน ข้อมูลคำสั่งออกมาจากหน่วยความจำโปรแกรมในแอดเดรสต่างๆ จากนั้นทำการประมวลผล โดยมี หน่วยความจำข้อมูลแรมเป็นที่พักของข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการประมวลผล หรืออาจมองว่า หน่วยความจำข้อมูลแรม



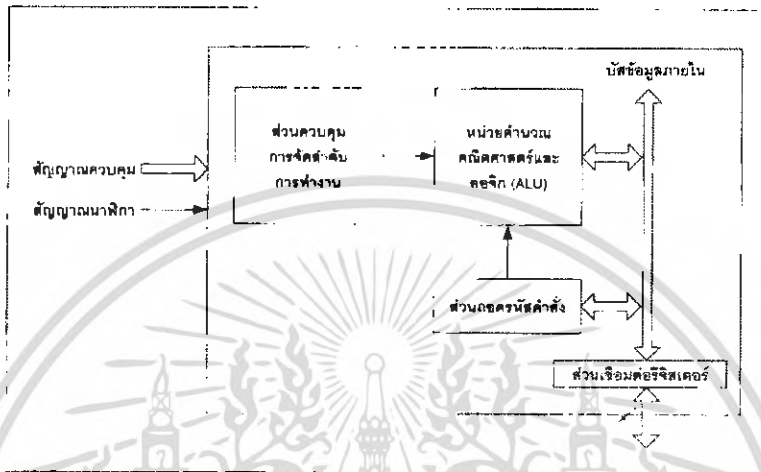
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นเสมือนกระดาดทอดในการคำนวณก็ได้ ข้อมูลในการประมวลผลจะส่งผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสข้อมูล (Data bus) แล้วส่งต่อไปยัง อุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)

เป็นเสมือนมันสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยซีพียูนี้ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่เข้ามาในระบบ แล้วทำการส่งต่อไปยังส่วนต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานต่อไป ในรูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไป จะเห็นได้ว่าจะเห็นได้ว่าหัวใจหลักของซีพียูคือหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic and logic unit) ซึ่งได้รับการกำหนดจังหวะการทำงานจากส่วนควบคุมลำดับการทำงาน โดยจังหวะการทำงานนั้นจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาเมื่อซีพียูทำการติดต่อหน่วยความจำ สิ่งที่ปรากฏขึ้นบนบัสข้อมูลภายในซีพียู คือ รหัสคำสั่ง (instruction code) ต้องผ่านการดำเนินงานของส่วนถอดรหัสคำสั่ง (instruction decoder) เสียก่อน จะได้เป็นข้อมูลคำสั่งที่ซีพียูเข้าใจและสามารถดำเนินการต่อได้ หลังจากทีหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกประมวลผลแล้วก็จะส่งข้อมูลมายังส่วนเชื่อมคอร์ริจิสเตอร์ภายในซีพียู เพื่อติดต่อกับส่วนอื่นๆ ต่อไป

การทำงานของซีพียูมีด้วยกัน 2 จังหวะคือ เฟตช์ (Fetch) และ เอ็กซีคิวต์ (executed) โดยการทำงานจะเริ่มจากการเฟตช์ ซึ่งก็คือการเรียกหรือการเข้าถึงคำสั่ง แล้วทำการถอดรหัสเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมประมวลผล จากนั้นจะเป็นจังหวะของการเอ็กซีคิวต์ ซึ่งก็คือการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดให้จนเสร็จสิ้น



รูปที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบหลักของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์

การที่จะระบุว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีขีดความสามารถในการประมวลผลเป็นอย่างไร จะพิจารณาที่ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของซีพียู หากซีพียูสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงสุด 8 บิต นั่นคือไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เป็นแบบ 8 บิต (8-bit core) แต่ในซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่บางตัวมีขนาด 8 บิตแต่สามารถประมวลผลกับข้อมูล 16 บิตได้ ทำให้ในบางครั้งผู้ผลิตจึงระบุออกมาว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตเทียม เพราะถ้าหากเป็นแบบ 16 บิตแท้ ซีพียูต้องรองรับข้อมูลได้เต็ม 16 บิต หรือถ้าอ่านในคำจำกัดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนั้นๆ จะต้องระบุว่าเป็น 16-bit core ดังนั้นจึงต้องพิจารณารายละเอียดตรงส่วนนี้ให้ดี

หน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 3 แบบ คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory), หน่วยความจำข้อมูลแรม (RAM data memory) และหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม (EEPROM data memory)

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำ โปรแกรมเป็นที่สำหรับเก็บข้อมูลคำสั่งของ โปรแกรมควบคุมที่ ผู้พัฒนาเขียนขึ้นหรือเรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor program) ซึ่พียูจะเข้ามา คิดต่อเพื่ออ่านข้อมูลรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำในส่วนนี้แล้วนำไปประมวลผลเพื่อ ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดต่อไปเรียกได้ว่ามีความสำคัญเท่าๆ กับซีพียูเลยทีเดียว หน่วยความจำโปรแกรมนี้มีกมีขนาดใหญ่ และถ้ายังมีขนาดใหญ่เท่าใด ก็จะสามารถบรรจุ โปรแกรมที่มีความซับซ้อนหรือสามารถเก็บตารางข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลได้มาก ตาม โดยทั่วไปมีความจุไม่น้อยกว่า 512 ไบต์ แต่จะให้ดีควรมีความจุ 1 กิโลไบต์ขึ้นไป จึงจะช่วยให้การเขียน โปรแกรมควบคุมมีอิสระเพิ่มมากขึ้น ขนาดของหน่วยความจำ โปรแกรมจะแปรความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี มีการพัฒนาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มี ความจุของหน่วยความจำโปรแกรมสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็น 4,8,16,32 และ 64 กิโลไบต์ และยัง ไม่สิ้นสุดเท่านี้ เชื่อแน่ว่าต้องมีการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความจุของ หน่วยความจำ โปรแกรมสูงเป็นหลักร้อยกิโลไบต์หรือหลักเมกะ ไบต์ในที่สุด

ชนิดของหน่วยความจำ โปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ (นับถึงปี 2002) มีอยู่ 3 แบบที่นิยมกันคือ แบบอีพรอม (EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory), แบบอีอีพรอม (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) และ แบบแฟลช (flash) ความแตกต่างอยู่ที่จำนวนครั้งในการลบและเขียนข้อมูลทับลงไปใหม่ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

แบบอีพรอม ยังแบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบโปรแกรม ได้หลายครั้ง และ แบบ โปรแกรม ได้ครั้งเดียว ถ้าหากเป็นแบบโปรแกรมได้หลายครั้งบนตัวถังของ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน้าต่างกระจกติดอยู่ สามารถมองเห็นชิปภายในได้ เวลาลบ ต้องลบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต จำนวนรอบในการ โปรแกรมใหม่อยู่ระหว่าง 10-100 ครั้ง แต่ถ้าเป็นแบบ โปรแกรมได้ครั้งเดียวหรือ OTP (One-time programmable) จะไม่สามารถ ลบได้ ตัวถังของมันจะปิดมิดชิดเหมือนกับไอซีธรรมดา

แบบอีอีพรอม หน่วยความจำแบบนี้จะลบและเขียนใหม่ได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า ในอดีตเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสามารถลบและเขียนใหม่ได้เป็นหลักร้อยรอบขึ้นไป ใน บางตระกูลถึง 1 ล้านครั้ง แต่ในปัจจุบันแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้ว เนื่องจากต้นทุนสูง

แบบแฟลช หน่วยความจำ โปรแกรมสามารถลบและเขียนได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า แตกต่างกับแบบอีอีพรอมในเชิงการใช้งานตรงที่กระบวนการลบข้อมูล หน่วยความจำ โปรแกรมแบบแฟลชจะไม่สามารถเลือกลบเฉพาะเจาะจงบางแอดเดรสบางตำแหน่งได้เมื่อ ทำการลบข้อมูลจะต้องลบทั้งหมด หน่วยความจำ โปรแกรมแบบนี้ได้รับความนิยมมาก

เนื่องจากราคาไม่สูง และสามารถโปรแกรมได้เป็นร้อยครั้งขึ้นไป แต่โดยปกติมักเริ่มที่ 1,000 ครั้ง ในบางรุ่นสูงเป็นหมื่นครั้งและเป็นแสนครั้งก็มี ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้ในการโปรแกรม

ขนาดข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมขึ้นอยู่กับผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่างในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 , 68HC05, 68HC11 ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 8 บิต ถ้าเป็นตระกูล PIC จะเป็น 12 และ 14 บิต ถ้าเป็นตระกูล AVR, 68HC12 จะเป็นขนาด 16 บิต แต่ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ได้เป็นตัวระบุความสามารถในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่าง PIC กับ AVR ต่างมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงกว่า 8 บิต แต่ทั้งคู่ต่างเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ทั้งนี้เพราะซีพียูเป็นแบบ 8 บิต ขนาดของหน่วยความจำจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการของหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆ ยกตัวอย่าง

ใน PIC16F628 มีหน่วยความจำโปรแกรมมีความจุ $2K * 14$ บิต หมายความว่า PIC16F628 มีหน่วยความจำขนาด 14 บิตอยู่ทั้งสิ้น 2,048 คำแหน่ง หรือเรียกว่ามีความจุ 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของหน่วยความจำ โปรแกรมสูงกว่า 8 บิต จึงเรียกว่าเป็น ไบต์ (byte) ไม่ได้ ขนาดของข้อมูลที่มากกว่า 8 บิตจึงมักถูกเรียกว่า เวิร์ด (word) สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ขนาดของข้อมูล 1 เวิร์ดคือ 14 บิต แต่ถ้าเป็นในตระกูล MCS-51 จะสามารถระบุเป็นหน่วยไบต์ได้ตรงๆ ส่วน AVR จะเหมือนกับ PIC ก็คือต้องระบุเป็นเวิร์ด

หน่วยความจำข้อมูลแรม

เป็นหน่วยความจำที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัว เพราะใช้เป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลทั้งในระหว่างและหลังจากการประมวลผล ซึ่งมีมากยิ่งช่วยให้งานสะดวก เพราะหน่วยความจำแรมมีอัตราเร็วในการอ่านเขียนสูง และไม่จำกัดจำนวนรอบในการอ่านเขียน ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของข้อมูลทั่วไปสำหรับเก็บค่าตัวแปร และส่วนของรีจิสเตอร์

โดยปกติแล้ว หน่วยความจำข้อมูลแรมจะมีความจุไม่มากเมื่อเทียบกับหน่วยความจำโปรแกรมในบางตัวอยู่ในหลักสิบบิต แต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสามารถสูงขึ้น ความจุของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะเพิ่มมากขึ้นตาม ทั้งนี้เพราะต้องเพิ่มในส่วนของรีจิสเตอร์ตามความสามารถที่สูงขึ้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

ทางด้านขนาดของหน่วยความจำข้อมูลแรม โดยส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต แต่สามารถต่อรวมกันเป็น 16 บิตได้ ส่วนการจัดสรรตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ

ข้อมูลจะขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากเป็นแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) จะได้รับการจัดสรรให้อยู่แยกจากหน่วยความจำโปรแกรม จึงทำให้มีค่าแอดเดรสเหมือนกันได้ นั่นคือผู้ใช้งานจะพบแอดเดรส 0000 ทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล แต่จริงๆ แล้วอยู่ต่างที่กัน จะพบในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 , PIC, AVR เป็นต้น แต่ถ้าเป็นแบบพริન્ซ์ตัน (Princeton) จะจัดสรรให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน ดังนั้นค่าแอดเดรสจะไม่มีทางตรงกัน จะพบในไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HCxxx ของ Motorola

หน่วยความจำข้อมูลอีพროม

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์ บางรุ่น บางตระกูล ไม่มีใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการรักษาไว้เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อกับเพื่ออ่านเขียนจะมีลักษณะเป็นพิเศษขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ ขนาดของหน่วยความจำแบบนี้มักเท่ากับ 8 บิต ส่วนความจุก็จะแตกต่างกันไป มีตั้งแต่ไม่กี่สิบบิตจนถึงเป็นกิโลไบต์

การอ่านเขียนหน่วยความจำแบบนี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้าทั้งหมด และสามารถรักษาข้อมูลล่าสุดไว้ แม้ว่าจะไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วตาม สำหรับจำนวนรอบในการเขียนโดยปกติอยู่ในหลักล้านครั้งขึ้นไป

รีจิสเตอร์ (Register)

เป็นหน่วยความจำพิเศษที่มีบทบาทสูงมากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถที่จะอ่านและเขียนข้อมูลได้ตลอดเวลา จนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าที่หลักคือ ใช้เก็บข้อมูลในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่เก็บนี้มีทั้งข้อมูลแสดงสถานการทำงาน ข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงาน โมดูลย่อยต่างๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลที่รับเข้ามาจากพอร์ตอินพุต ข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตเอาต์พุต โดยข้อมูลแต่ละประเภทก็จะถูกจัดเก็บลงในรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกันตามหน้าที่การทำงาน

หน่วยความจำที่นำมาใช้เป็นรีจิสเตอร์มีด้วยกัน 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากเป็นแบบพริન્ซ์ตัน รีจิสเตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน ส่วนแรกจะอยู่ร่วมกับซีพียู หรือเรียกว่า รีจิสเตอร์ซีพียู ส่วนที่สองจะอยู่แยกต่างหาก ซึ่งมักเป็น

รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอินพุต เอาต์พุตและรีจิสเตอร์แสดงสถานะ แต่ในสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด จะใช้บางส่วนในหน่วยความจำข้อมูลรวมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

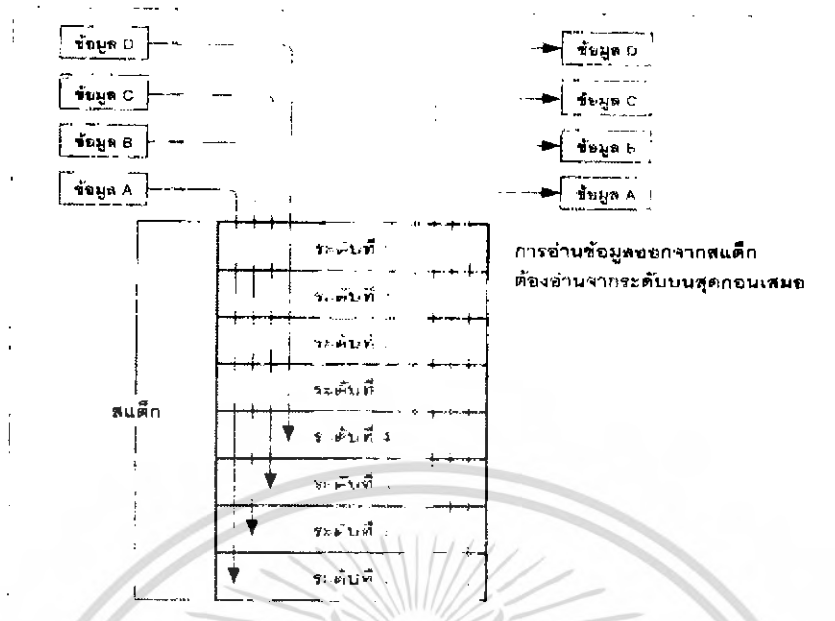
รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรมหรือโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

การที่ซีพียูสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งได้อย่างถูกต้องเป็นผลมาจากรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษตัวหนึ่งคือ รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรม หรือ PC (Program Counter) โดย PC จะเป็นตัวชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปกระทำในลำดับถัดไป โดยปกติแล้วค่าของ PC จะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับผลการทำงานที่เกิดขึ้น ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางตระกูลสามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์ PC เพื่อทำการอ่านเขียนได้ ในบางตระกูลก็ไม่สามารถทำได้

ขนาดของรีจิสเตอร์ PC ขึ้นอยู่กับความจุของหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ยกตัวอย่าง ใน MCS-51 สามารถมีหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ หรือ 65,536 ตำแหน่ง ขนาดของรีจิสเตอร์ PC จึงมีได้เท่ากับ 16 บิต ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อนุกรม 14 บิต มีหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 8 กิโลเวิร์ด หรือ 8,192 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ PC จึงมีขนาด 13 บิต เป็นต้น

สแต็กในไมโครคอนโทรลเลอร์

สแต็ก (Stack) เป็นหน่วยความจำส่วนพิเศษที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัวต้องมี โดยหน้าที่ของมันคือ เก็บข้อมูลที่ยังต้องการอยู่ของรีจิสเตอร์ และเมื่อข้อมูลนั้นถูกนำมาเก็บไว้ในสแต็กแล้วก็สามารถที่จะเปลี่ยนข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวนั้นๆ ได้ทันที หลังจากที่ทำงานเรียบร้อยจึงกลับมาอ่านข้อมูลเดิมกลับจากสแต็ก ดังมีกระบวนการทำงานแสดงในรูปที่ A-3 การเก็บข้อมูลของสแต็กจะมีลักษณะเป็นระดับหรือเป็นชั้น ข้อมูลที่เก็บเข้ามาก่อนจะต้องอ่านออกทีหลังหรือเป็นแบบ FILO (First In Last Out) และจำนวนระดับหรือจำนวนชั้นของสแต็กก็มีจำกัด



รูปที่ 2.12 แสดงกลไกการทำงานของสแต็กอย่างง่าย

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่จะมีความจุของสแต็กไม่น้อยกว่า 8 ระดับ การที่ยังมีขนาดของสแต็กมากหรือมีจำนวนระดับมาก ก็จะยิ่งช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น เพราะในการประมวลผลมีโอกาสมากที่ต้องพักข้อมูลในรีจิสเตอร์หลักที่สำคัญเพื่อไปทำงานอื่นก่อน หลังจากนั้นจึงจะกลับมาทำงานต่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานที่มีการอินเตอร์รัปต์หรือขัดจังหวะซีพียูบ่อยๆ รวมถึงงานที่มีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อยจำนวนมาก เพราะเมื่อต้องกระโดดออกจากโปรแกรมหลักไปทำงานที่โปรแกรมย่อย ก็ต้องเก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์หลักที่ทำงานค้างอยู่ลงในสแต็ก หลังจากนั้นกระโดดไปที่โปรแกรมย่อยที่มีความต้องการเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ตัวเดียวกันนี้ หลังจากทำงานแล้วจึงกลับมาที่โปรแกรมหลัก แล้วอ่านค่าเดิมก่อนหน้าก็กลับมาทำงานต่อ ทว่าในงานบางลักษณะมีการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยซ้อนกัน 2-3 ชั้น ทำให้ต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ในสแต็กมากขึ้นหากความจุของสแต็กมีน้อยก็อาจจะไม่สามารถรองรับการทำงานในลักษณะนี้ได้

ขนาดของสแต็กโดยปกติจะต้องเท่ากับขนาดของรีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรมหรือ PC เพราะมีโอกาสที่จะต้องเก็บค่าของ PC ไว้ในสแต็กด้วย

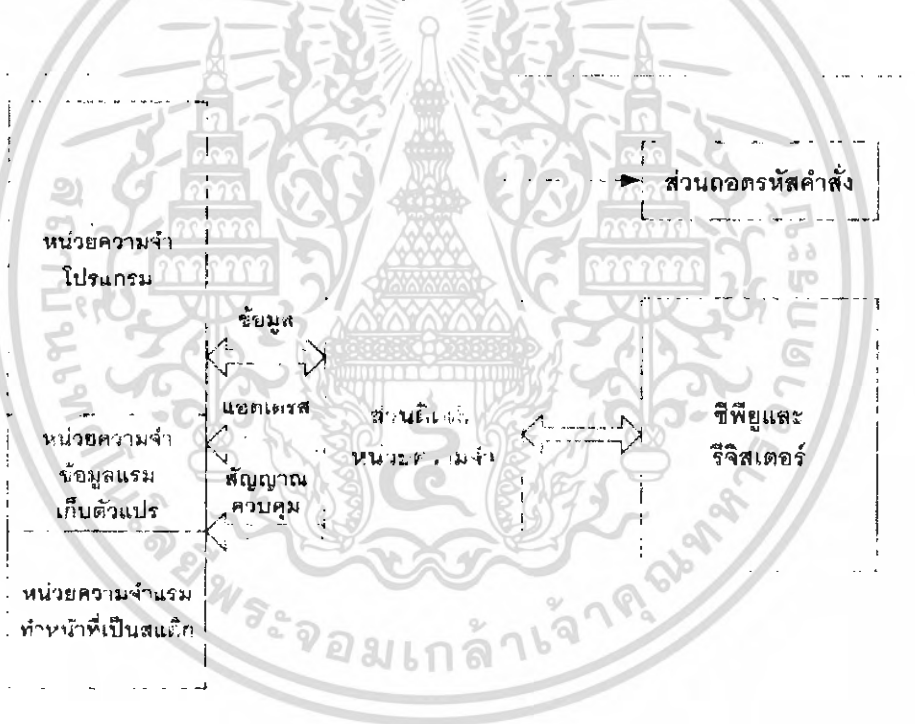
สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นที่ยอมรับกันว่าสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกัน 2 แบบ คือ **พริન્ซ์ตัน (Princeton)** หรือ **ฟอนนิวแมน (Von Neumann)** และ **ฮาร์วาร์ด (Harvard)** ใน

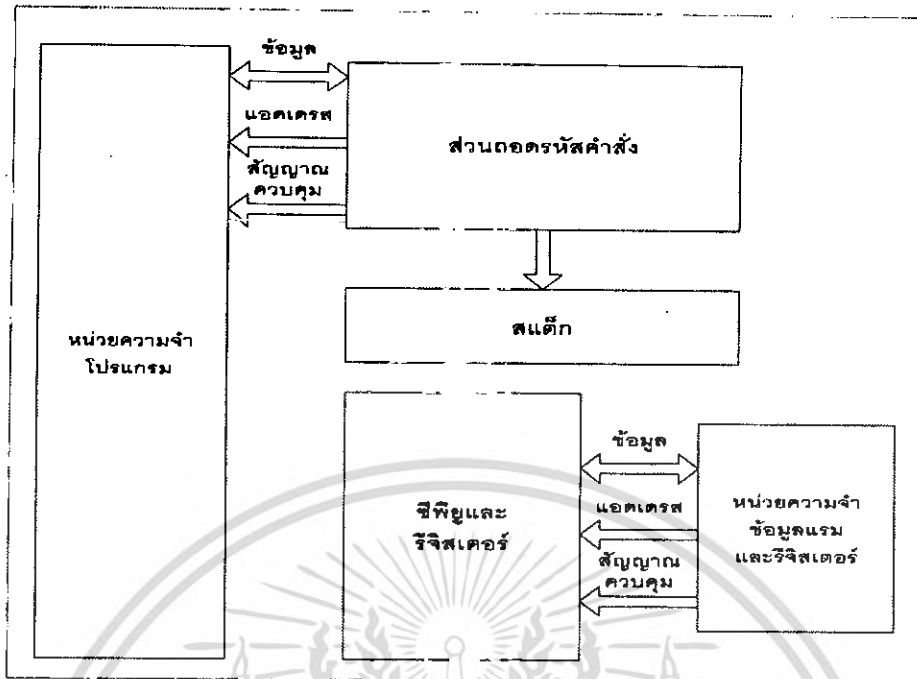
รูปที่ A-4 และ A-5 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำและรีจิสเตอร์ในสถาปัตยกรรมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองแบบพิจารณาในรูปที่ A-4 ก่อนเป็นการจัดสรรในสถาปัตยกรรมแบบพริ้นซ์ตัน จะเห็นได้ว่า มีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมกับหน่วยความจำข้อมูลจะได้รับการจัดสรรให้อยู่รวมกัน ติดต่อกับซีพียูผ่านส่วนจัดการเชื่อมต่อหน่วยความจำ และภายในซีพียูจะมีรีจิสเตอร์บรรจุอยู่ ข้อดีของสถาปัตยกรรมแบบนี้คือ ออกแบบง่าย เพราะหน่วยความจำทั้งหมดอยู่รวมกัน สามารถเข้าถึงได้ง่าย หน่วยความจำแรมหากมีขนาดใหญ่เพียงพอก็จะสามารถเก็บได้ทั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานและข้อมูลของตัวแปรในการประมวลผล ข้อดีของสถาปัตยกรรมแบบนี้คือ ความเร็วในการประมวลผล เนื่องจากหน่วยความจำอยู่รวมกัน จึงต้องติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมสลับกับหน่วยความจำข้อมูล ส่งผลซีพียูต้องใช้จำนวนไซเคิลในการทำงานมาก แต่ข้อดีนี้สามารถชดเชยได้หากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานกับสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงมากได้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพริ้นซ์ตันหรือฟอน นิวแมน



รูปที่ 2.14 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

ในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.14 จะแยกส่วนของหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ออกจากหน่วยความจำโปรแกรม ทำให้ไซเกิลการทำงานลดลง เนื่องจากสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้เร็วกว่า นั่นคือทำงานได้เร็วกว่าแบบพริ้นซ์ตัน นอกจากนี้ในสถาปัตยกรรมแบบนี้ในขณะที่ซีพียูกำลังเอ็กซิกิวต์คำสั่งในปัจจุบันอยู่สามารถที่จะเฟตซ์คำสั่งถัดไปได้ ยังเป็นการเพิ่มความเร็วในการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

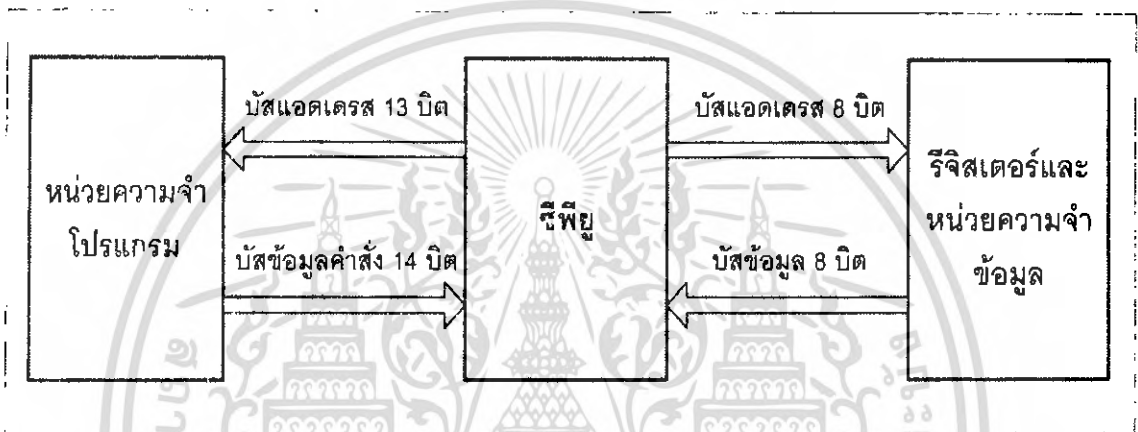
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำงานได้เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงและต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่มัน จากนั้นซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งแล้วทำงานตามคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม

นั่นหมายความว่า ต้องมีการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมก่อน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ก็จะมีรูปแบบของข้อมูลคำสั่งที่แตกต่างกัน ซึ่งจะต้องอาศัยกระบวนการเขียนโปรแกรม (Programming) ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสามารถแบ่งได้ 2 ระดับคือ ภาษาสูง (high language) และภาษาแอสเซมบลี (assembly language) โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี

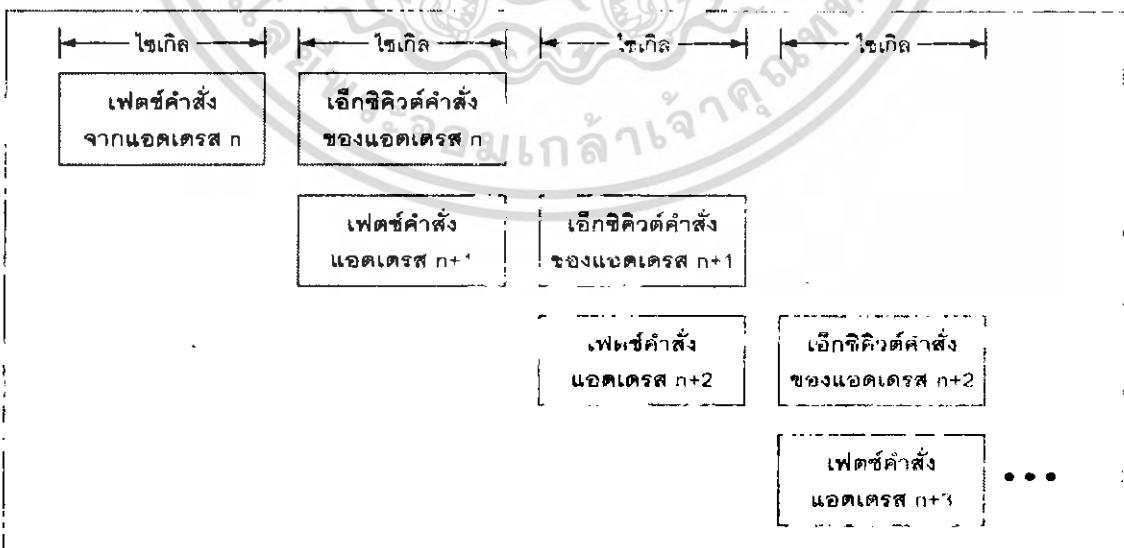
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้จัดทำเห็นประโยชน์ของการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิกวิต (execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆกำหนด) สำหรับกระบวนการไปป์ไลน์แสดงดังในรูปที่ 2.16

เมื่อเริ่มต้นกระทำคำสั่งที่ 1 ซีพียูจะเฟตซ์คำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมที่แอดเดรส n จากนั้นทำการเอ็กซิกวิตในไซเกิลต่อมา และที่ไซเกิลของการเอ็กซิกวิตคำสั่งที่แอดเดรส n นั้น ซีพียูก็จะเริ่มต้นเฟตซ์คำสั่งจากแอดเดรส $n+1$ ทันที เมื่อเอ็กซิกวิตคำสั่งที่แอดเดรส n เรียบร้อย ซีพียูก็จะสามารถเอ็กซิกวิตคำสั่งแอดเดรส $n+1$ ต่อเนื่องกันไปได้ในทันที และในทำนองเดียวกัน ขณะที่กำลังเอ็กซิกวิตคำสั่งแอดเดรส $n+1$ ซีพียูก็จะดำเนินการเฟตซ์คำสั่งที่แอดเดรส $n+2$ ต่อไป



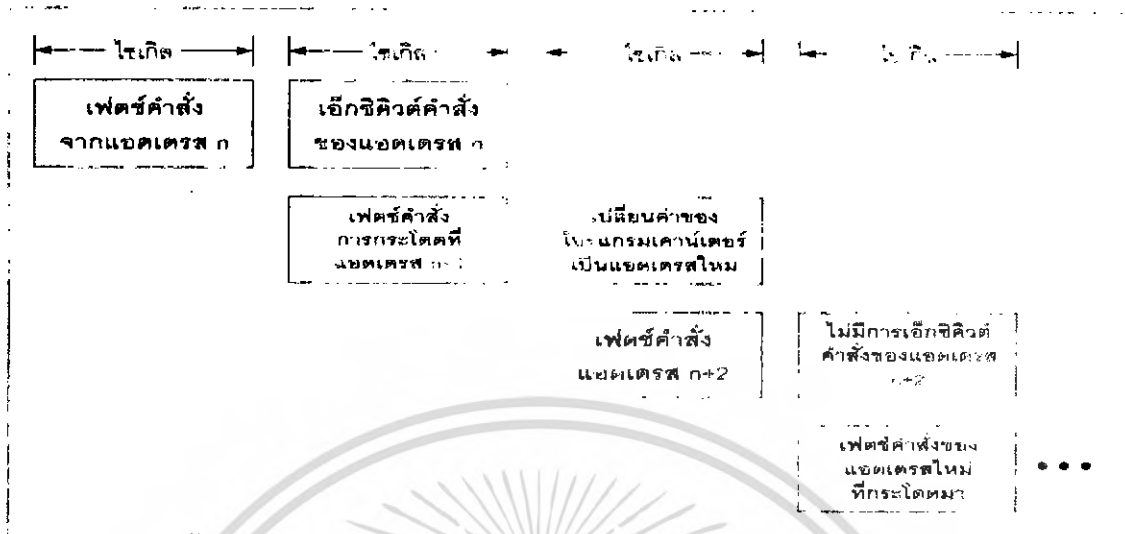
รูปที่ 2.15 โค้ดแอมการดำเนินงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด



รูปที่ 2.16 แสดงโค้ดแอมของกระบวนการไปป์ไลน์ที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงไคอะแกรมของกระบวนการ ไปป์ไลน์เมื่อกระทำคำสั่งการกระโดด

แต่ถ้าคำสั่งที่กระทำนั้นเป็นคำสั่งการกระโดด จะมีขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เมื่อทำการเอ็กซิวคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส n ซีพียูก็จะทำการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรส $n+1$ ปรากฏว่าคำสั่งที่แอดเดรส $n+1$ นั้นเป็นคำสั่งการกระโดด ดังนั้นในไซเกิลถัดไปจึงยังไม่เกิดการเอ็กซิวคิวต์ในทันที แต่จะเป็นการเปลี่ยนค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC : Program Counter) ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการระบุแอดเดรสถัดไปที่ซีพียูจะไปทำงาน ทำให้เกิดการกระโดดไปยังแอดเดรสใหม่ ในระหว่างที่เกิดการกระโดดไปยังแอดเดรสใหม่นั้น ซีพียูจะทำการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรส $n+2$ ต่อไปตามขั้นตอนปกติแต่ทว่าเมื่อการกระโดดสิ้นสุดลง แอดเดรสของการทำงานเปลี่ยนไป จึงไม่เกิดการเอ็กซิวคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส $n+2$ แต่จะเกิดการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรสใหม่กระโดดมาแทน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการทำงานตามปกติคือไป ดังนั้นคำสั่งการกระโดด จึงต้องใช้ขนาดของหน่วยความจำมากกว่า 1 ไบต์ ส่งผลให้ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาในการกระทำคำสั่งในกลุ่มนี้ 2 ลูก ซึ่งแตกต่างจากคำสั่งอื่นๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก

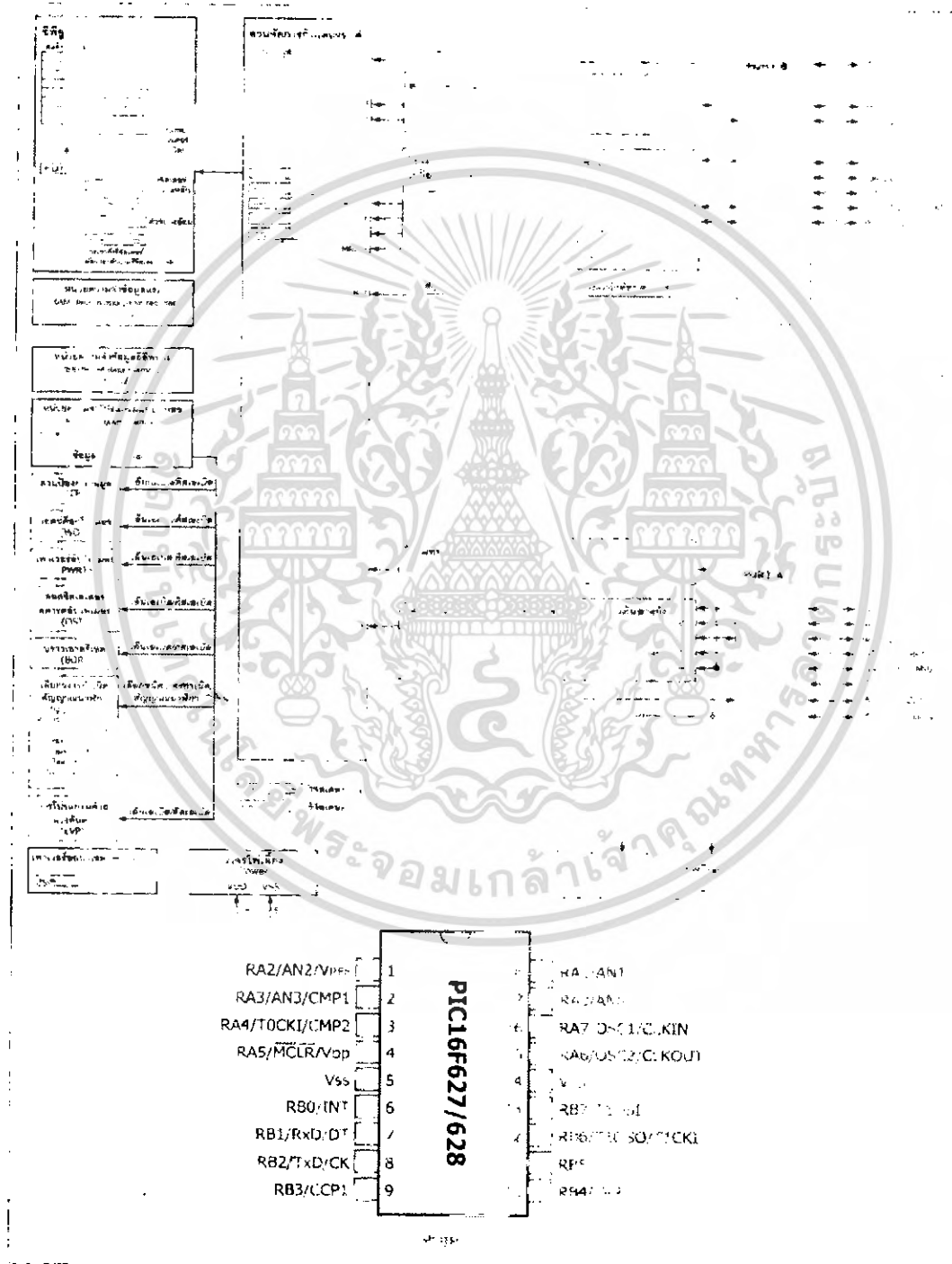
โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

แสดงดังในรูปที่ 3.39 ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาพอสมควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (brown-out reset) สำหรับสร้างสัญญาณรีเซตซีพียูเมื่อไฟเลี้ยงลดต่ำลงเกินกว่าที่กำหนด, วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (low-voltage programming), ไทเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว, โมดูลแรงดันเปรียบเทียบ (reference voltage module), โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก 2 ชุด (analog comparator), วงจรสื่อสารอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และ โมดูลตรวจจับ สัญญาณ-เปรียบเทียบข้อมูล-วงจรสร้างสัญญาณมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (CCP : Capture Compare Pulse-width modulation module)

นอกจากนั้นขนาดของหน่วยความจำทั้งส่วน โปรแกรม, ข้อมูล,รีจิสเตอร์ และหน่วยความจำ อีอีพรอมในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ก็มีเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.18 โค้ดโปรแกรมโครงสร้างการทำงานและการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F62X

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduce Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz (สูงสุด)
- ขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 1 กิโลไบต์ สำหรับ PIC16F627 และ 2 กิโลไบต์ สำหรับ PIC16F628
- หน่วยความจำแรมข้อมูล 224 ไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลอีพีรอม 128 ไบต์
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 10 แหล่ง
- มีสเตจ 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์อนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัพไทมเมอร์ (PWRT) และ ออสซิลเลเตอร์สคาร์ตอัพไทมเมอร์ (OST)
- มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
- เลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 6 โหมดหลัก
 1. โหมด EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
 2. โหมด ER ใช้ตัวต้านทานภายนอก
 3. โหมด INTRC ใช้วงจร RC ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์มี 2 ความถี่ให้เลือก
 4. โหมด LP ใช้คริสตัลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200kHz
 5. โหมด XT ใช้คริสตัล ความถี่ตั้งแต่ 100kHz สูงสุดไม่เกิน 4 MHz
 6. โหมด HS ใช้คริสตัลความถี่สูง สูงสุดไม่เกิน 20 MHz (ต้องใช้กับ รูนที่รองรับความถี่ 20 MHz ด้วย)
- สามารถโปรแกรมในวงจรได้
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 mA
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 V ได้
- ไฟเลี้ยง +3 ถึง +5.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาพอร์ตปกติ 15 บิต สูงสุด 16 บิต เมื่อทำงานในโหมด INTRC และกำหนดให้ MCLR เป็นพอร์ตอินพุต
- ไทมเมอร์ 3 ตัว (ไทมเมอร์ 0 , 1 , 2)
- มีโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) 1 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก 2 ชุด
- มีโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART
- มีโมดูลตรวจจับระดับแรงดัน ไฟเลี้ยงหรือบราวเอาต์ดีเทกชัน (Brown-out detection) เพื่อสร้างสัญญาณรีเซ็ตซีพียูหรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซ็ต(Brown-out reset :BOR)
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด
น้อยกว่า 2 mA ที่ +5V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz , 15uA ที่ +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz
น้อยกว่า 1 uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บายที่ไฟเลี้ยง

2.5 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

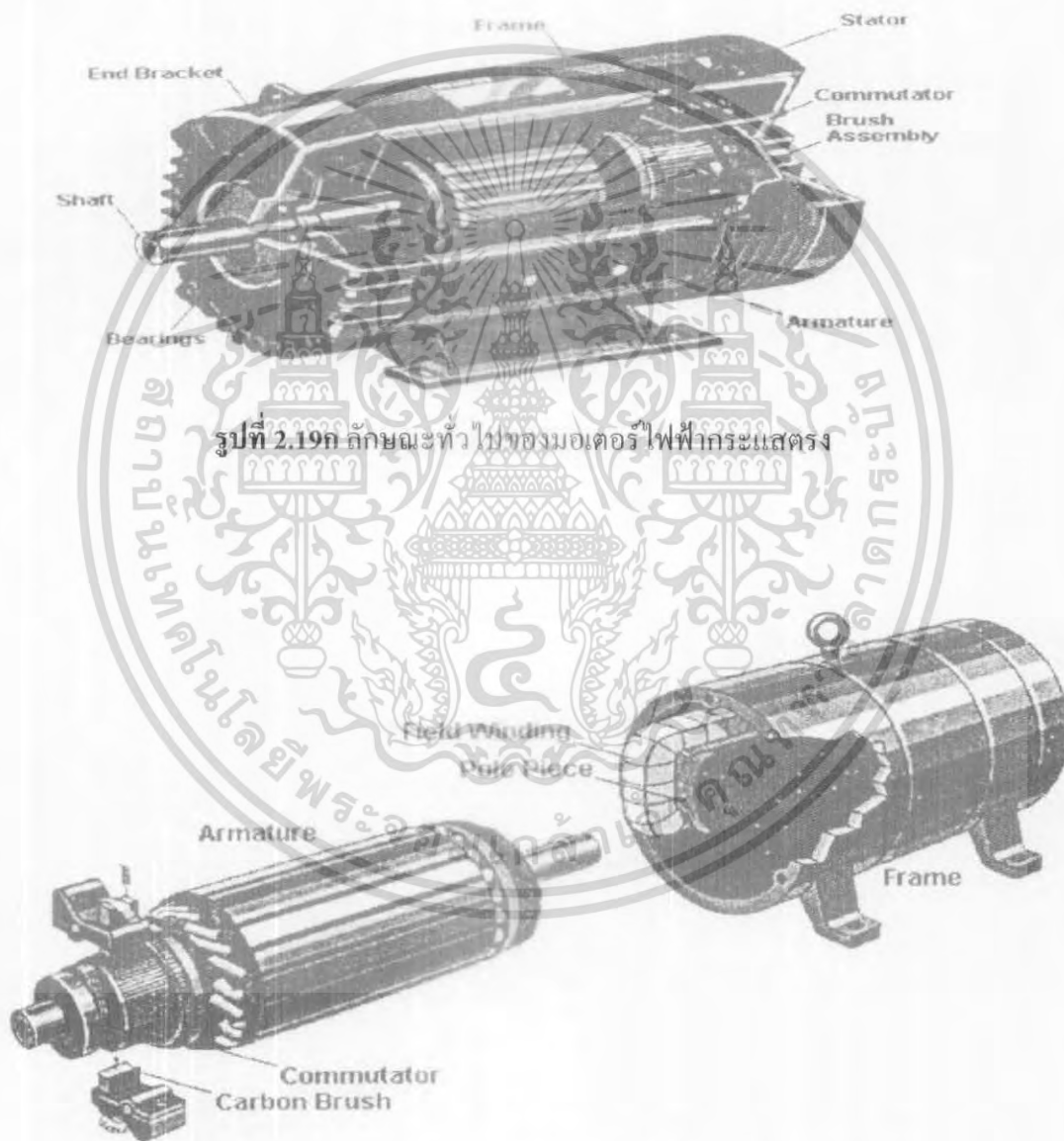
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรืออาจใช้คำว่าดีซีมอเตอร์ คือ จะมีสนามแม่เหล็กอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่บนสเตเตอร์ และส่วนที่อยู่บนอาร์เมเจอร์ โดยสนามแม่เหล็กที่อยู่บนสเตเตอร์นั้น เกิดจากการจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่าย v_s ทำให้เกิดกระแส i_s ไหลเข้าไปในขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กเหนือ-ใต้ขึ้นบนสเตเตอร์ และทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก วิ่งผ่านช่องว่างและโรเตอร์จากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

สนามแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งคือสนามแม่เหล็กที่อยู่บนอาร์เมเจอร์ซึ่งขดลวดที่สนามแม่เหล็กนี้จะพันอยู่บนโรเตอร์ สนามแม่เหล็กนี้เป็นสนามแม่เหล็กของเส้นแรงแท่งที่วนอยู่รอบตัวนำบนโรเตอร์ จากรูป 2.1 ถ้าเราพิจารณาเฉพาะขดลวดเพียงขดลวดที่รับไฟจากแปรงถ่าน ผ่านคอมมิวเตเตอร์ และสมมุติให้ขดลวดนั้นพันเพียงรอบเดียว เราจะได้รูปของขดลวดที่วางอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กดังรูป 2.2 เมื่อกระแส i_s ไหลผ่านแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์เข้าขดลวดทางตัวนำ a และกลับทางตัวนำ -a จึงทำให้มีกระแสแรงแม่เหล็กทิศตามเข็มนาฬิกา a และทิศทางทวนเข็มนาฬิกา -a (โดยใช้กฎมือขวา) เนื่องจากโดยธรรมชาติ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกันทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหลักบิดตัวอ้อมตัวนำ a และ -a ดังในรูป ผลก็คือทำให้เกิดการผลักกันระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหลักและเส้นแรงแม่เหล็กรอบ ตัวนำ a , -a ทำให้ขดลวด a , -a บนโรเตอร์ถูกผลักให้หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาตามรูปการหมุนดังกล่าวจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำหมุนมาแทนที่ตัวนำ และตัวนำ-a ก็จะหมุนไปแทนที่ตัวนำ a ในส่วนของกระแสก็จะกลายเป็นไหลเข้าตัวนำ -a และออกทาง a ทำให้เกิดแรงผลักให้หมุนอย่างต่อเนื่อง

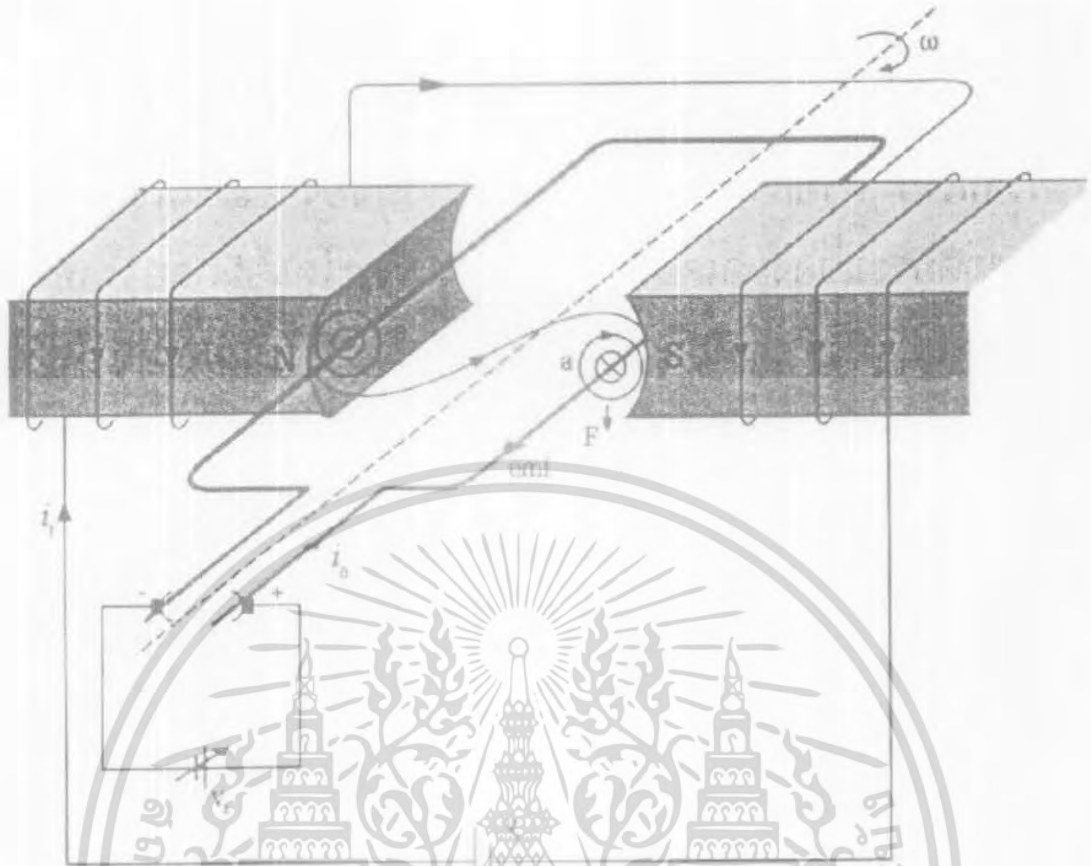
ถ้าเราต้องการให้หมุนกลับทางก็ทำได้โดยจ่ายไฟบวกเข้าทาง -a และลบเข้า a กระแสก็จะไหลกลับทางเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหลักก็จะถูกบิดให้อ้อมในทิศทางตรงกันข้าม การหมุนจะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม



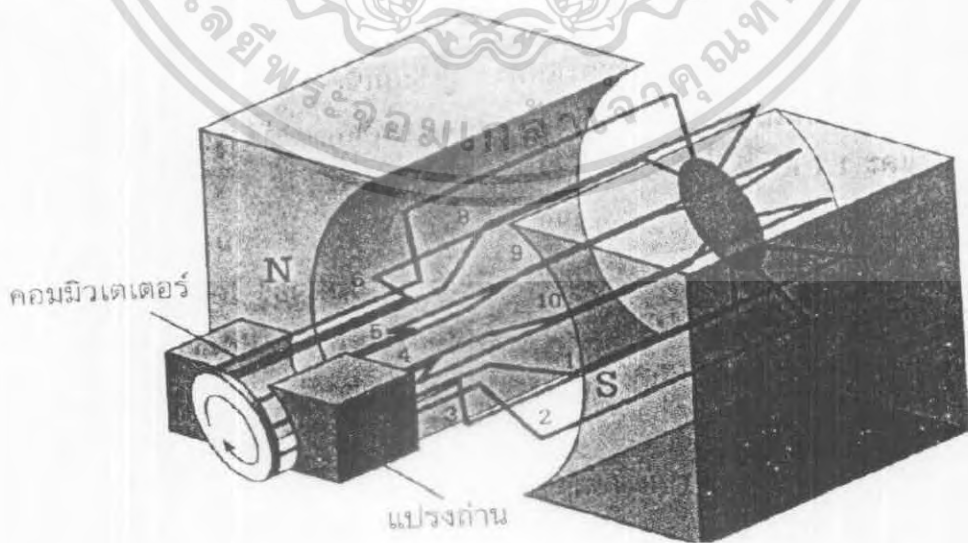
รูปที่ 2.19ก ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2.19ข ส่วนประกอบภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19ค โครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.20 โครงสร้าง โรเตอร์เมื่อเพิ่มตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่หลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการใช้งาน การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงส่วนมากจะแบ่งตามรูปแบบของการเกิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ ได้แก่

1. ชนิดที่ใช้ตัวนำต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ (Series field motor)
2. ชนิดที่ใช้ตัวนำต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ (Shunt field motor)
3. ชนิดที่ใช้ตัวนำต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์และอีกชุดหนึ่งต่อขนานกับอาร์เมเจอร์ (Compound motor)
4. ชนิดที่ใช้ตัวนำต่อแยกแหล่งจ่ายกับอาร์เมเจอร์ (Separately excited field motor)
5. ชนิดที่ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้ค่าของสนามแม่เหล็กคงที่ (Permanent magnets motor)

2.7 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานส์ดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลลาดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K\phi I \tag{2.1}$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์

I คือกระแสเป็นแอมแปร์

K คือตัวคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิด โวลต์เต็จตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เต็จนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลลาของมอเตอร์และด้านกร ไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เต็จย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลลาของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.2) คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ E คือ โวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็นโวลต์
- ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์
- ω คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

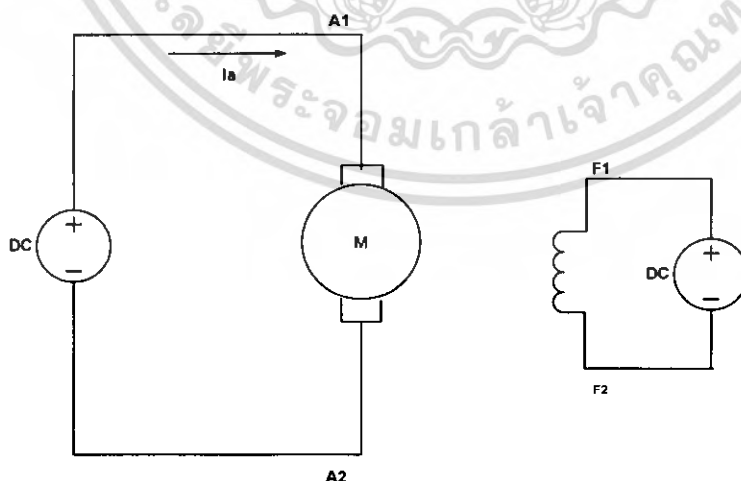
2.8 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งได้หลายประเภท เนื่องจากโครงงานนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดแยกกระตุ้น (Separately Excited DC Motor) ซึ่งเป็นการแบ่งตามการต่อขดลวดฟิลด์ ดังนั้นจะกล่าวรายละเอียดเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสนามแม่เหล็กเท่านั้น ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสนามแม่เหล็ก (DC separately Excited Motor) วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสนามแม่เหล็กแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้สามารถควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว ϕ_p ได้อิสระจากศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว V_f และกระแสไฟฟ้าป้อนเข้า I_f



รูปที่ 2.21 วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดแยกกระตุ้น

ขณะทำงานเป็นศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว V_t มีค่าสูงกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_a ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_t = E_a + I_a R_a \tag{2.3}$$

ซึ่งในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์อยู่ระหว่างศูนย์ถึงความเร็วที่พิกัดจะกำหนดกระแสเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กคงที่ (พิจารณาขณะคงที่กระแสฟิลด์) ซึ่งมีผลทำให้สนามแม่เหล็กต่อขั้วนั้นมีค่าคงที่ ซึ่งสาการที่ใช้ควบคุมความเร็วคือ

$$E_a = K_T \phi_p \omega \tag{2.4}$$

แทนลงในสมการ

$$\omega = \frac{1}{K_T \phi_p} (V_t - I_a R_a) \tag{2.5}$$

จะพบว่าความเร็วเชิงมุม ω จะเปลี่ยนแปลงตามโหลด โดยเมื่อกระแสอาร์เมเจอร์ I_a มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก T_e

สามารถคำนวณได้จาก

$$E_a = K_T \phi_p \omega \tag{2.6}$$

$$T_e = \frac{E_a I_a}{\omega} \tag{2.7}$$

$$T_e = \frac{1}{\omega} (V_t I_a - I_a^2 R_a) \tag{2.8}$$

จะพบว่าแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กแปรผันโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ โดยที่โหลดทางกลเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสอาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สมการที่ขับโหลดจะได้

$$T_L = T_e - T_{\text{mech.loss}} \omega_r \tag{2.9}$$

และเมื่อคูณด้วยความเร็วเชิงมุมของตัวหมุน ω_r จะทำให้สามารถหาค่ากำลังทางกลทางด้านเอาต์พุต $P_{o/p}$ ได้ว่า

$$P_{o/p} = T_L \omega_r \\ = T_e \omega_r - T_{\text{mech.loss}} \omega_r \tag{2.10}$$

ซึ่งเทอมของ $T_e \omega_r$ เป็นเทอมที่ใช้ในการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยที่

$$T_e \omega_r = E_a I_a \tag{2.11}$$

ในส่วนการแปลงรูปพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานสามารถใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทุกชนิด โดยไม่ขึ้นอยู่กับการทำงานของไฟฟ้า สมการข้างล่างเป็นการนำมอเตอร์ไปขับ โหลด ซึ่งสามารถค่าแรงบิดได้ดังนี้

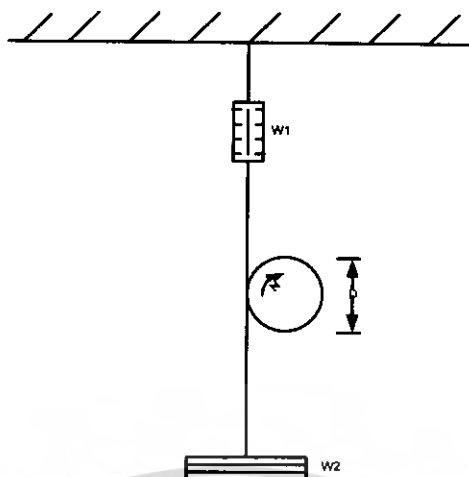
$$T_L = 9.8 (W2-W1)(D/2) \tag{2.12}$$

$$\omega = 2 \pi N/60 \tag{2.13}$$

$$P_o = T_L \cdot \omega \tag{2.14}$$

กำหนดให้

- W1 เป็นน้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่ง (Kg)
- W2 เป็นน้ำหนักของลูกตาชั่ง(Load) (Kg)
- D เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ (m)
- N เป็นความเร็วของมอเตอร์ (rpm)



รูปที่ 2.22 การนำมอเตอร์ไปขับโหลด

2.9 ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ข้อได้เปรียบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1. มอเตอร์กระแสตรงมีคุณสมบัติเหมาะสมในการควบคุมความเร็วของการขับเคลื่อน โดยมีพิสัยของอัตราเร็วมากกว่ามอเตอร์กระแสสลับซึ่งทำให้เราสามารถเพิ่มอัตราเร็วให้สูงหรือต่ำกว่าอัตราเร็วปกติ
2. มอเตอร์กระแสตรงมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงมากเหมาะสมกับงานในลักษณะที่ต้องยกจุด ลากและงานขับเคลื่อน
3. วิธีการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงง่ายและนุ่มนวลกว่ามอเตอร์กระแสสลับที่ทำงานในลักษณะเดียวกัน

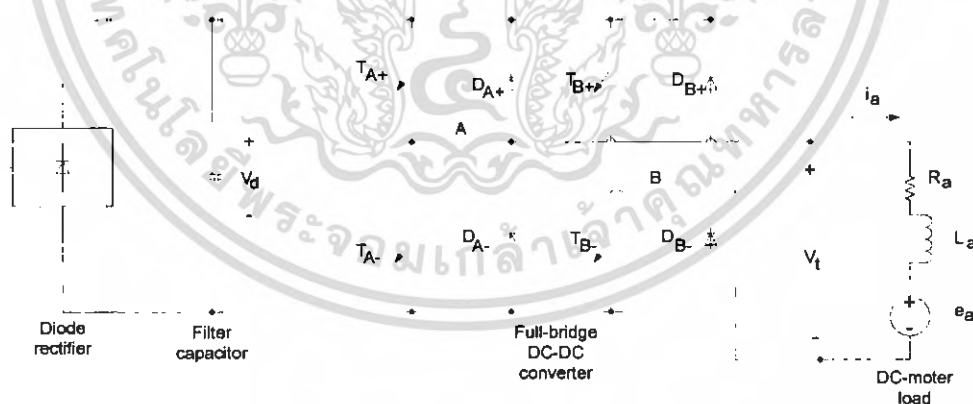
แต่ก็ยังพบว่ามอเตอร์กระแสตรงนั้นก็ยังมีข้อด้อยกว่ามอเตอร์กระแสสลับอยู่หลายประการ ได้แก่

1. ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟตรงไว้สำหรับใช้งานให้เป็นพิเศษ
2. สำหรับขนาดแรงม้าที่เท่ากัน มอเตอร์กระแสตรงจะมีขนาดใหญ่และมีราคาสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ
3. มีความยุ่งยากในการสตาร์ทมากกว่ามอเตอร์กระแสสลับ เว้นแต่ว่าเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่ไม่ต้องมีการสตาร์ทแบบพิเศษ
4. ต้องหมั่นซ่อมบำรุงเนื่องจากคอมมิวเตเตอร์(Commutator) มีการสึกหรออันเนื่องมาจากประกายไฟ การอาร์คและการสัระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์

2.10 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

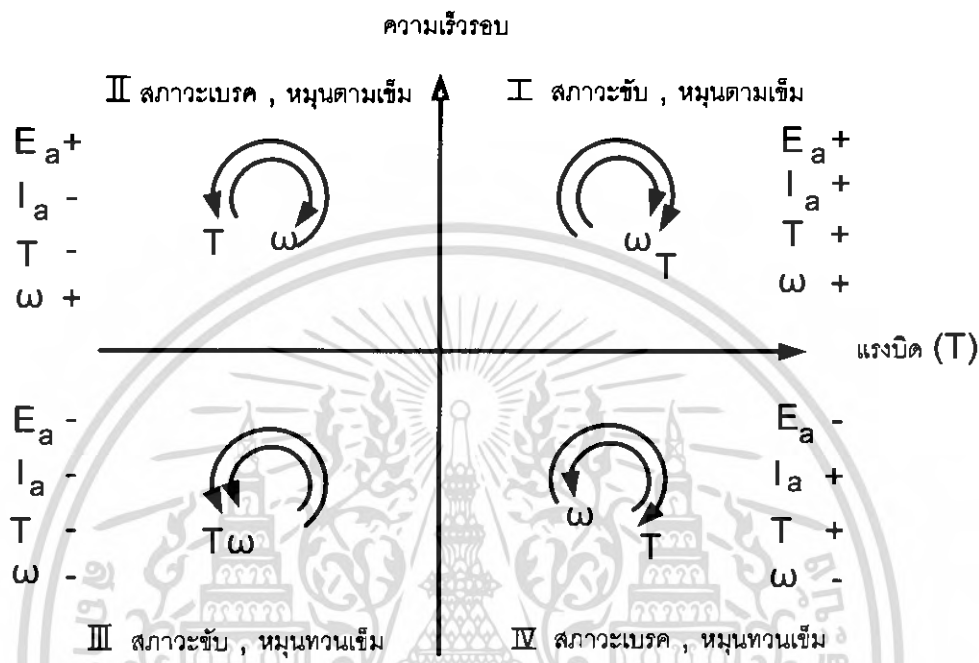
ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งนั้น ไม่เพียงแต่จะเป็นการป้อนพลังงานจลน์ในมอเตอร์เป็นพลังงานความร้อนที่ตัวมอเตอร์ เราก็หาหนทางให้มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วให้กระแสที่เกิดขึ้นไหลผ่านเข้าไปในตัวต้านทานภายนอกและวนกลับครบวงจรผ่านขดลวดของมอเตอร์ก็จะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นแล้วกระจายหายไปและพร้อมกันนั้นก็จะมีแรงหมุน หมุนกลับทิศทางของการหมุนมอเตอร์ วิธีนี้จะเห็นได้ง่ายถ้าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อต้องการเบรกมอเตอร์ ให้ยกสวิตช์วงจรอาร์เมเจอร์ให้เปิดออกและปิดสวิตช์ของวงจรตัวต้านทานภายนอกลง แต่ยังคงสวิตช์ในวงจรฟิลต์ไว้ตามเดิมมอเตอร์ก็ยังคงหมุนต่อไปด้วยความเฉื่อยจึงทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วจึงจ่ายกระแสผ่านความต้านทานภายนอก โดยมีทิศทางของกระแสกลับทิศทางของกระแสกลับกันกับกระแสเดิมจะทำให้เราเห็นว่าแรงหมุนที่เกิดขึ้นใหม่ในตัวมอเตอร์จะมีทิศทางกลับกับการหมุนของมอเตอร์และจะมีความร้อนเกิดขึ้นกระจายไป ทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว แล้วเราก็ยกสวิตช์ใหญ่่ออก การขับเคลื่อนมอเตอร์ก็จะเป็นไปได้ทั้ง 2 ทิศทาง

ตามโครงการนี้สิ่งที่ต้องการคือสามารถทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา จำเป็นต้องเพิ่มวงจรกำลังเข้าช่วยโดยในโครงการนี้ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge converter) มาใช้เพื่อทำให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.23 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full bridge dc-dc converter)

หากยึดแรงบิดและความเร็วของรอบมอเตอร์ เป็นตัวบอกสถานะการทำงานของมอเตอร์จะสามารถแบ่งการทำงานของมอเตอร์ตามทิศทางของแรงบิดและความเร็วรอบได้เป็น 4 รูปแบบซึ่งสามารถแสดงไว้ในควอดแดรนต์ต่างๆของบแผนที่มีแกนของแรงบิดและความเร็วรอบร่วมกันดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.24 ควอดแดรนต์ของการทำงาน

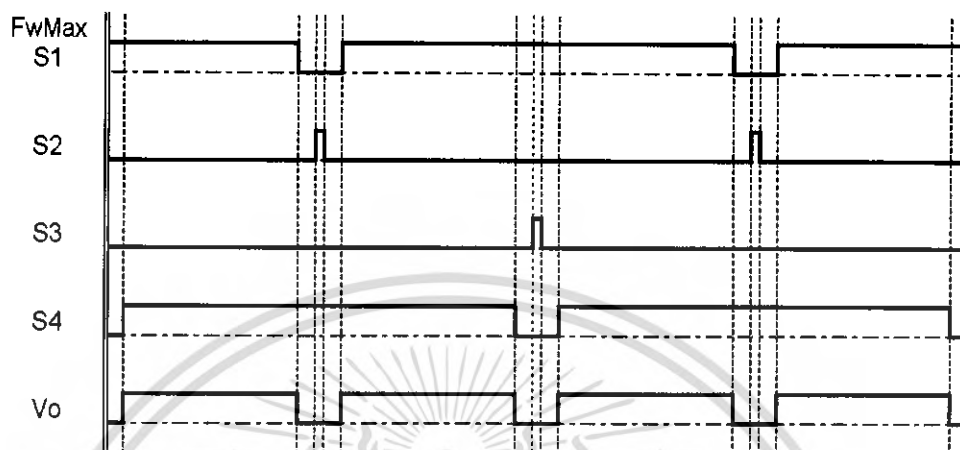
หลักการทำงานในแต่ละควอดแดรนต์ซึ่งในที่นี้จะยกการทำงานมา 2 ควอดแดรนต์ในสถานะต่างกันที่ทำให้ทิศทางการทำงานต่างกัน ส่วนในอีก 2 ควอดแดรนต์ทำงานในสถานะเบรกจึงได้ยกมาในการทำงานในโครงการนี้

ควอดแดรนต์ที่ 1 (Forward motoring) มอเตอร์ออกแรงบิดตามเข็มนาฬิกาทำให้มอเตอร์และโหลดทางกลหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาด้วยถ้าให้เครื่องหมายบวกแทนทิศทางตามเข็มนาฬิกา เราก็จะได้ว่ามอเตอร์จะจ่ายกำลังสุทธิ $P = (+T)(+\omega) = T\omega$ ไปให้กับโหลดทางการกลสถานะนี้จึงเป็นสถานะที่กำลังกำลังงานหรือพลังงานไหลผ่านมอเตอร์ไปยังโหลดทางกล

ควอดแดรนต์ที่ 3 (Reverse motoring) มอเตอร์ออกแรงบิดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ทำให้ทั้งมอเตอร์และโหลดทางกลหมุนทวนเข็มนาฬิกา ในสถานะนี้มอเตอร์นี้จะจ่ายกำลังสุทธิ $P = (-T)(-\omega) = T\omega$ ไปให้กับโหลดทางกล สถานะนี้จึงเป็นสถานะที่พลังงานไหลจากมอเตอร์ไปยังโหลดทางกลเช่นเดียวกับควอดแดรนต์ที่ 1 แต่การหมุนเป็นไปในทิศทางตรงข้าม

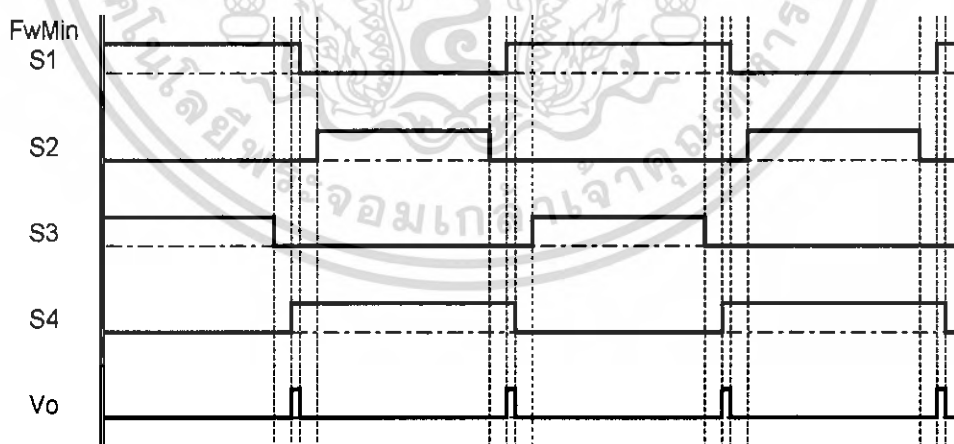
2.10.1 การควบคุมทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยการสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์

ถาร



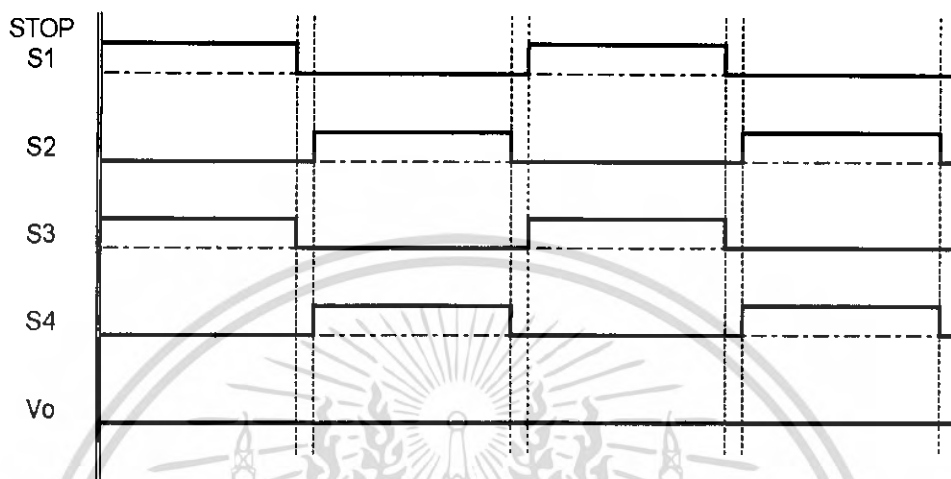
รูปที่ 2.25 ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางforwardด้วยความเร็วสูงสุด

จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าลักษณะของแรงดัน V_o จะมีส่วนที่เป็นแรงดันเป็นบวก ทำให้มีการหมุนมอเตอร์ในทิศทางฟอร์เวิร์ด โดยมีแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์มีค่าแรงดันมากกว่าในรูป จึงทำให้หมุนเร็วกว่า



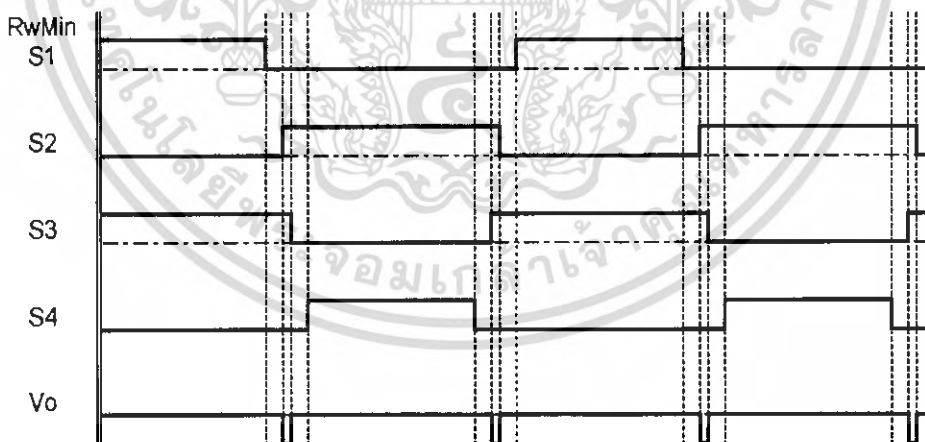
รูปที่ 2.26 ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางforwardด้วยความเร็วต่ำสุด

จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าลักษณะของแรงดัน V_o จะมีส่วนที่เป็นแรงดันเป็นบวก ทำให้มีการหมุนมอเตอร์ในทิศทางฟอร์เวิร์ดโดยมีแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมขดลวดอาร์มเจอร์ของมอเตอร์มีค่าแรงดันน้อยกว่าในรูป จึงทำให้หมุนช้ากว่า



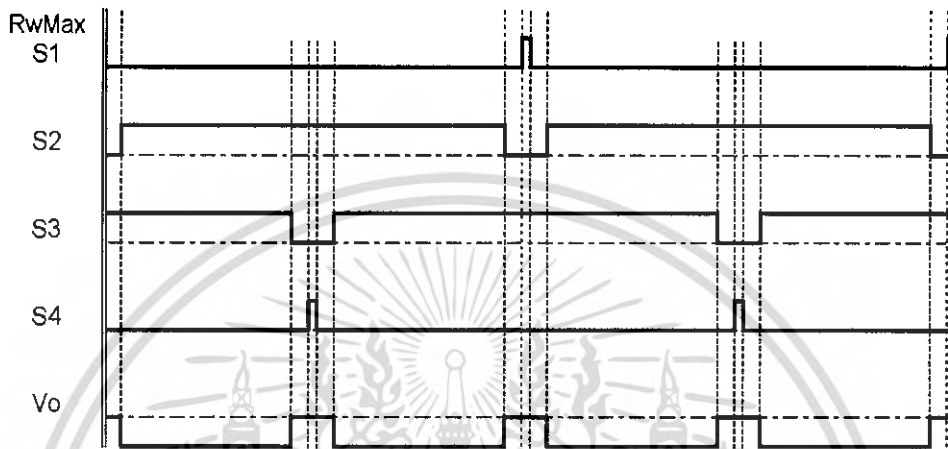
รูปที่ 2.27 ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางforwardด้วยความเร็วต่ำสุด

จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าลักษณะของแรงดัน V_o เป็น 0 ทำให้มอเตอร์หยุดหมุน



รูปที่ 2.28 ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทาง Reverse ด้วยความเร็วต่ำสุด

จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าลักษณะของแรงดัน V_o จะมีส่วนที่เป็นแรงดันเป็นลบ ทำให้มีการหมุนมอเตอร์ในทิศทางรีเวิร์ส โดยมีแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์มีค่าแรงดันน้อยกว่าในรูป จึงทำให้หมุนช้ากว่า



รูปที่ 2.29 ลักษณะสัญญาณการขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทาง Reverse ด้วยความเร็วสูงสุด

จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าลักษณะของแรงดัน V_o จะมีส่วนที่เป็นแรงดันเป็นลบ ทำให้มีการหมุนมอเตอร์ในทิศทางรีเวิร์ส โดยมีแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์มีค่าแรงดันมากกว่าในรูป จึงทำให้หมุนเร็วกว่า

2.11 การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง (Speed Control of DC Motor)

การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแทบทุกแบบจะทำคล้ายกัน โดยจากสมการข้างล่าง

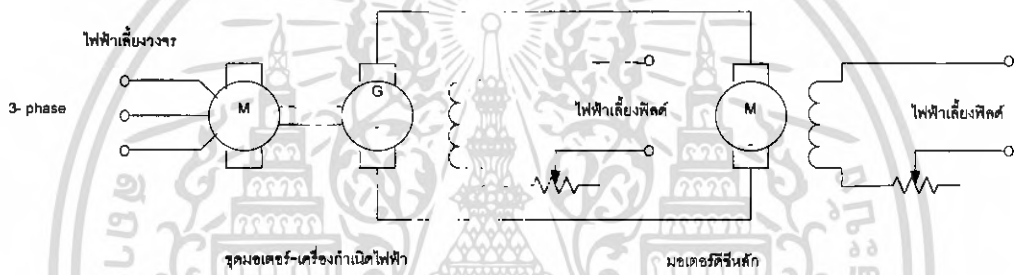
$$E = V - Ir \tag{2.15}$$

จะเห็นได้ว่า วิธีการควบคุมความเร็วมีด้วยกัน 3 วิธี

1. ควบคุมแรงดันเข้าที่ขั้วของมอเตอร์
2. ควบคุมจำนวนกระแสที่ไหลเข้าอาร์เมเจอร์
3. ควบคุมจำนวนกระแสที่ไหลเข้าฟิลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในงานที่มีแรงหมุนสูงและมีกำลังขนาดใหญ่ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ในเรือขุดแร่ เป็นต้น เรานิยมเรียกว่า “ระบบ Ward Leonard” ดังในรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นชุดของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งชุดใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้กับมอเตอร์กระแสตรงที่ต้องการควบคุม โดยการควบคุมจะทำได้โดยการปรับค่าแรงดันที่ป้อนเข้าขั้วอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งทำได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะทำให้เราสามารถควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์เป็นพิสัยที่กว้างมากโดยการควบคุมจะกระทำที่วงจรฟิลด์ที่มีขนาดกำลังต่ำ จึงสามารถควบคุมได้หลายอย่าง นอกจากอัตราเร็วแล้วยังสามารถควบคุมแรงหมุนและกำลังเอาต์พุตที่มีขนาดใหญ่ได้อีกด้วยการควบคุมเป็นไปได้อย่างราบเรียบและไม่มีการสะดุด แต่วิธีการนี้มีข้อเสียเมื่อเปรียบที่มองเห็นได้ชัด คือ ต้องการเครื่องกลไฟฟ้าขนาดใหญ่สามตัว ซึ่งได้แก่ มอเตอร์กระแสสลับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งต่างมีขนาด และราคาสูงทั้งยังมีราคาแพงในการติดตั้ง



รูปที่ 2.30 การปรับเปลี่ยนพิสัยแรงดันจากมอเตอร์กระแสตรง

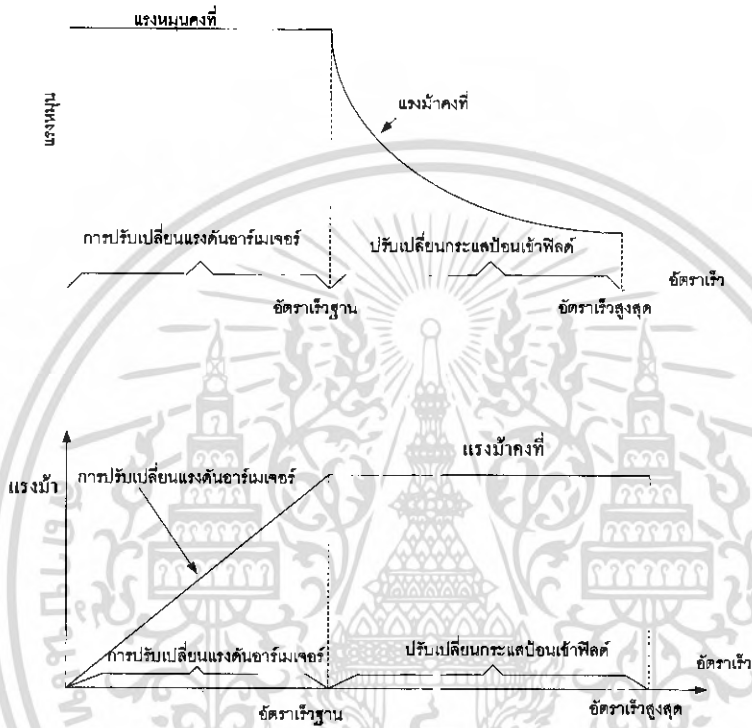
เพื่อที่จะได้พิสัยของอัตราเร็วกว้างที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วของระบบ Ward Leonard เราอาจจะปรับเปลี่ยนแรงดันเข้าขั้วอาร์เมเจอร์ ผสมกับการเปลี่ยนกระแสขั้วอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง โดยปรับเปลี่ยนด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ดังในรูปที่ 2.7

ที่พิสัยของอัตราเร็วสูงกว่าอัตราเร็วฐาน (Base Speed) ซึ่งนิยามว่าเป็นอัตราเร็วของมอเตอร์ที่แรงดันอาร์เมเจอร์ตามค่าอัตราปกติและที่ค่ากระแสผ่านฟิลด์สูงสุด ฟิลด์ฟลักซ์จะมีค่าลดลงแต่อัตราเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ(Back emf) มีค่าคงที่ และถ้ากระแสไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (I_a) มีค่าคงที่เท่ากับอัตราปกติที่ค่าพิกัด (Rated) จะทำให้มอเตอร์มีค่าเอาต์พุตคงที่ ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรฟิลด์ของมอเตอร์กระแสตรง เป็นผลทำให้มอเตอร์กระแสตรงมีกำลังขับเคลื่อนคงที่

ที่พิสัยของอัตราเร็วต่ำกว่าอัตราเร็วฐาน ฟิลด์ฟลักซ์มีค่าคงที่ที่ค่าสูงสุด แต่ลดแรงดันป้อนเข้าอาร์เมเจอร์ ทำให้อัตราเร็วลดลงและแรงเคลื่อนย้อนกลับไฟฟ้า(Back emf) มีค่าลดลงเป็นสัดส่วนกับแรงดันอาร์เมเจอร์ที่ลดลง เป็นผลทำให้กระแสไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (I_a) มีค่าคงที่ ดังนั้นในการ

ปรับเปลี่ยนค่าแรงดันป้อนเข้าอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง เป็นผลทำให้มอเตอร์กระแสตรงมีแรงหมุนคงที่

จากคำอธิบายข้างต้นนี้ทำให้สามารถเขียนเส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว และกำลังกับอัตราเร็ว ที่ได้จากการควบคุมอัตราเร็วโดยวิธีปรับเปลี่ยนแรงดันป้อนเข้าอาร์เมเจอร์และปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรถึงแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.31 เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว และกำลังกับอัตราเร็ว

วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์อย่างง่ายและมีราคาถูกยังสามารถใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์ได้ด้วยคือการใช้ตัวต้านทานต่อเข้าไปในวงจรอาร์เมเจอร์และวงจรถึงการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานจะเป็นการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันและค่ากระแสที่ป้อนเข้าวงจรอาร์เมเจอร์และวงจรถึงทำให้สามารถควบคุมความเร็วได้ตามต้องการและยังสามารถควบคุมกระแสตาร์ทให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัยและมีแรงหมุนตาร์ทสูงได้ เมื่อขณะมอเตอร์หมุนอยู่ยังสามารถใช้ตัวต้านทานเหล่านั้นควบคุมอัตราเร็วได้ด้วย แต่วิธีนี้มีข้อเสียเปรียบ คือ มีกำลังสูญเสียในตัวต้านทานเหล่านี้ ที่ให้มีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ขณะมอเตอร์กำลังหมุนที่คอมมิวเตเตอร์จะมีอาร์คทำให้เป็นหลุมเป็นบ่อที่หน้าสัมผัสและมีการสึกหรอเกิดขึ้นต้องทำการซ่อมบำรุงบ่อยๆ

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

ในโครงการชิ้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของวงจรกำลัง และวงจรควบคุม โดยวงจรกำลังจะใช้วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบดิซี-ดีซี 1 เฟส ซึ่งในส่วนของฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- วงจรกำเนิดสัญญาณและวงจรเคดท์ไทม์ซึ่งในที่นี้จะเขียนขึ้นมาจากPIC16f628A และ PIC 16f630
- วงจร Full-Bridge Converter ที่ใช้ IGBT
- ชุด opto-couple (ใช้ TLP250)

ไอจีบีที (Isulated Gate Bipolar Transistors : IGBT)

ไอจีบีทีจัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถควบคุมให้นำกระแส และควบคุมให้หยุดนำกระแสได้โดยการควบคุมจากแรงดัน ไฟฟ้าที่ขาเกต

ไอจีบีทีได้รวมข้อดีของมอสเฟตกำลัง ทรานซิสเตอร์กำลัง (บีเจที) และจีทีโอไทริสเตอร์ มารวมอยู่ด้วยกัน กล่าวคือ

ไอจีบีทีจะมีค่าของอิมพีแดนซ์ขาเกตที่มีค่าสูงคล้ายมอสเฟตกำลัง ซึ่งต้องการพลังงานน้อยมากในการควบคุมสวิตช์ ควบคุมการนำและหยุดนำกระแสด้วยแรงดัน ไฟฟ้าที่ขาเกต รวมทั้งสามารถใช้งานการสวิตช์ซึ่งที่ความถี่สูง

ไอจีบีทีจะมีค่าแรงดัน ไฟฟ้าตกร่วมขณะนำกระแสต่ำกว่าคล้ายทรานซิสเตอร์กำลัง ซึ่งมีค่า 2-3 โวลต์ สำหรับพิกัดแรงดัน ไฟฟ้า 1,000 โวลต์ นอกจากนั้น ไอจีบีทีจะออกแบบให้ทนแรงดัน ไฟฟ้าด้านลบได้คล้ายกับจีทีโอไทริสเตอร์

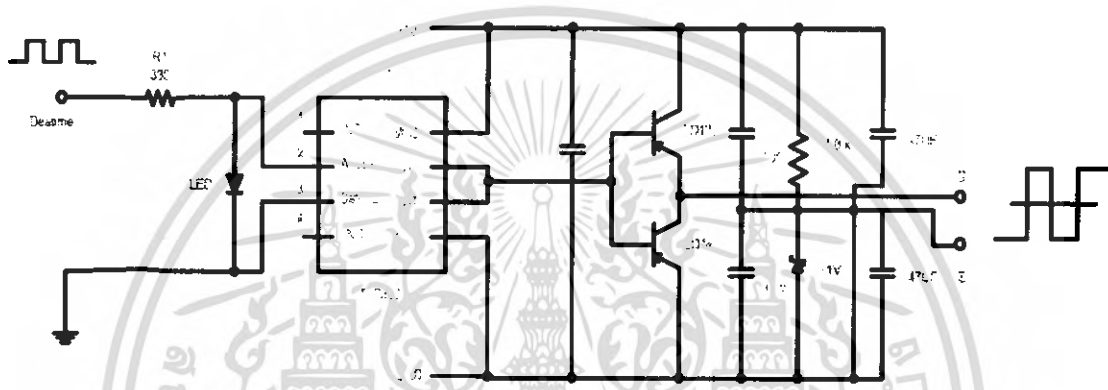
ไอจีบีทีจะมีช่วงเวลานำกระแสและหยุดนำกระแสมีค่าประมาณ 1 ไมโครวินาที มีขนาดพิกัดกระแส ไฟฟ้าถึง 2,000 แอมแปร์ และพิกัดแรงดัน ไฟฟ้าถึง 5,000 โวลต์

วงจรขับไอจีบีที

วงจรขับไอจีบีทีจะมีอยู่ 2 แบบ คือการใช้หม้อแปลงความถี่สูง (Pulse Transformer) และ ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto couple) ซึ่งทั้ง 2 แบบนี้จะเป็นการแยกส่วนแรงดันอ้างอิงของวงจรควบคุม ออกจากส่วนของวงจรกำลัง โดยไม่มีส่วนที่ต่อถึงกันทางไฟฟ้า โดย หม้อแปลงความถี่สูงนั้นจะส่งผ่านสัญญาณด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนออปโตคัปเปิลเลอร์ จะส่งผ่านวงจรโดยใช้แสงซึ่งเป็นหลักการของโฟโอดีสวิตช์ แต่ข้อเสียของหม้อแปลงความถี่สูง คือ ช่วงย่านความถี่ที่ใช้จะถูกจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

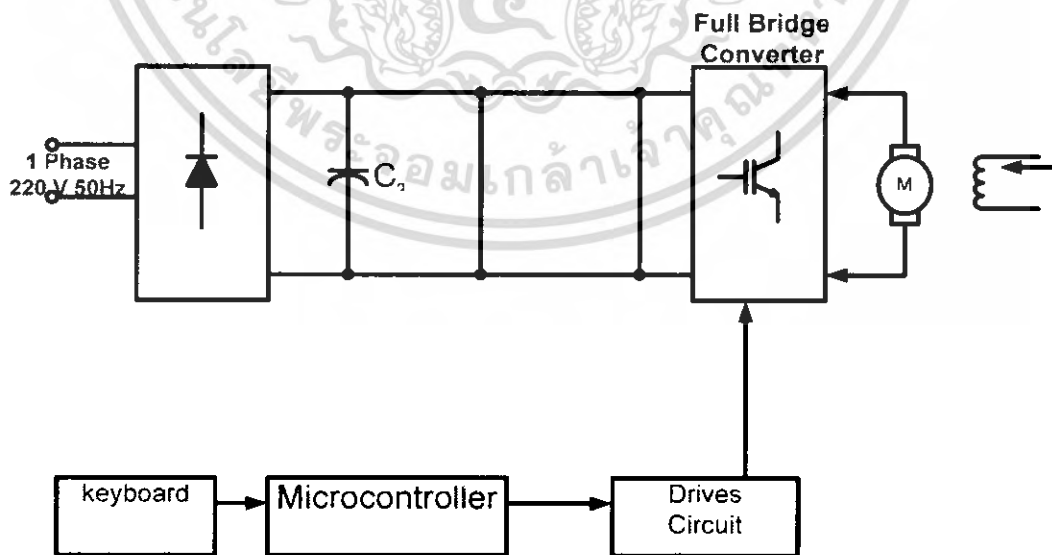
และเนื่องจากจะต้องใช้เวลาในการลดฟลักซ์ในแกนให้เป็นศูนย์ก่อนที่จะมีสัญญาณใหม่เข้ามา ทำให้ที่ควิตซ์ไชเกิดที่สูง การลดฟลักซ์ในแกนหม้อแปลงจะทำได้ไม่ดี จะเกิดการอิมตัวของแกน ทำให้เกิดความเสียหายได้ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เป็นออปโตคัปเปิลอร์แทน เพราะจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าควิตซ์ไชเกิดของสัญญาณตลอดเวลา จึงไม่เหมาะที่จะใช้หม้อแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ IC TLP250 ซึ่งเป็นออปโตคัปเปิลอร์ ซึ่งตอบสนองต่อความถี่ที่ใช้งานวิจัยได้ดี อีกทั้งสัญญาณเอาพุทที่ได้สามารถนำไปขับสัญญาณได้โดยไม่ต้องผ่านวงจรปรับแต่งสัญญาณ ซึ่งอาจทำให้สัญญาณในแต่ละเอาพุทที่ไปขับเกทไอจีบีทีไม่เท่ากัน ซึ่งวงจรเป็นดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดของวงจรขับ ไอจีบีที

3.2 อธิบายหลักการทำงานของโครงงาน

การทำงานโดยรวมของโครงงาน เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสัญญาณ PWM และการหน่วงเวลา (Dead Time) สร้างขึ้นจากการเขียนโปรแกรม แอสเซมบลี ผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้คือ PIC16f628A และ PIC 16f630 โดยการทำงานจะ เลือกใช้ทำงานในทิศทาง Forward หรือ Reverse โดย สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัญญาณที่ผ่าน วงจรDead time มาใน โปรแกรมแล้ว ซึ่งป้องกันการทำงานพร้อมกันของสวิตช์ โดยให้สวิตช์ไอจีบีทีทำงานพร้อมกันเป็นคู่เป็นการป้องกันปัญหาการShort Circuit ของสวิตช์ที่อยู่ในกิ่งเดียวกันแล้วสัญญาณที่ได้จะไปผ่านวงจรขั้วเกท เพื่อกระดัดแรงดันสัญญาณในส่วนนี้จะ เห็นว่ามีการแยกกราวด์โดยใน โครงการนี้ใช้ชิปไดคัปเปิลอร์เพื่อแยกกระดัดแรงดันที่สูงกับแรงดัน ที่ต่ำไม่ให้มีผลต่อกันได้ สัญญาณที่ได้จะนำไปขั้วเกทของสวิตช์ Q1 กับ Q4 ทำงานพร้อมกันและ Q2 กับ Q3 ทำงานพร้อมกัน ที่ทำงานสลับกันไปมาเพื่อขับให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุน โดยค่า เวลาในการON,OFFนั้นสามารถกำหนดได้จากDuty Cycle ที่เขียนจากPIC จะทำงานได้โดยการสั่ง Forwardด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น ถึงความเร็วสูงสุด การหยุดหมุนโดยจะจ่ายแรงดันด้านเข้าอีกซีก หนึ่งเพื่อให้แรงดันกลับมาที่ศูนย์หรือสั่งReverseด้วยความ เร็วฝั่งReverse ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น หรือลดถึงความเร็วสูงสุด ก็จะสามารถควบคุมทิศทางการทำงานของมอเตอร์ได้ทั้ง 2 ทิศทาง



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. DC motor separatory excited

ขนาดพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองจะมีพิกัดดังนี้

พิกัดแรงดันอาร์เมเจอร์ : 90 V

พิกัดกระแสอาร์เมเจอร์ : 9 A

พิกัดความเร็ว : 3000 rpm

พิกัดแรงต้นขดลวดฟิลด์ : 50 V

พิกัดกระแสขดลวดฟิลด์ : 0.5-0.6 A

2. DC VOLTMETER
3. DC AMPMETER
4. TACHOMETER
5. DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE
6. VARIAC
7. PROBE *1, PROBE*10
8. ชุดโครงการงาน

4.2 ขั้นตอนการทดลองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

1. ทำการป้อนแรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์(V_t)ค่าต่างๆ ให้กับมอเตอร์ วัดค่ากระแสอินพุต (I_{ac}) , ค่ากระแสที่อาร์เมเจอร์(I_a) และ ความเร็วรอบ(N_r) ในสภาวะที่มอเตอร์หมุน Forward , หยุด และหมุน Reverse ขณะไร้โหลด
2. นำค่าแรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์(V_t)ความเร็วรอบ(N_r) มา plot กราฟ โดยให้แรงดันที่เทอร์มินอลเป็นแกนนอน
3. ทำการป้อนแรงดันที่ขดลวดฟิลด์(V_f)ค่าต่างๆ ให้กับมอเตอร์วัดค่ากระแสอินพุต(I_{ac}) , ค่ากระแสที่ขดลวดฟิลด์(I_f) และ ความเร็วรอบ(N_r) ในสภาวะที่มอเตอร์หมุน Forward , หยุด และหมุน Reverse ขณะไร้โหลด
4. นำค่าแรงดันที่ขดลวดฟิลด์(V_f)กับค่าความเร็วรอบ(N_r) มา plot กราฟ โดยให้แรงดันที่ขดลวดฟิลด์เป็นแกนนอน

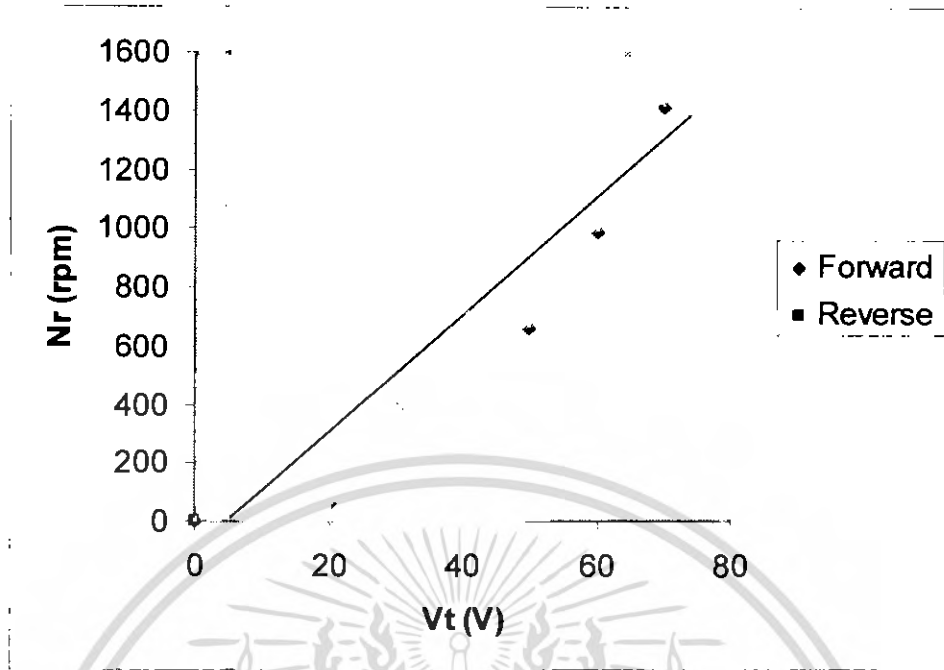
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

STATUS	V_t	I_a	I_{ac}	N_r
Forward	70 V	800 mA	1A	1410 rpm
Forward	60 V	750 mA	790 mA	988 rpm
Forward	50 V	700 mA	580 mA	660 rpm
Forward	40 V	680 mA	420 mA	494 rpm
Forward	30 V	650 mA	300 mA	385 rpm
Forward	20 V	620 mA	240 mA	63 rpm
STOP	0 V	101 mA	130 mA	0 rpm
Reverse	20 V	600 mA	220 mA	60 rpm
Reverse	30 V	630 mA	295 mA	379 rpm
Reverse	40 V	650 mA	430 mA	494 rpm
Reverse	50 V	700 mA	590 mA	680 rpm
Reverse	60 V	750 mA	800 mA	1004 rpm
Reverse	70 V	820 mA	1.3 A	1430 rpm

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดันคคร่อมอาร์เมเจอร์(V_t)แล้วทำการวัดค่าที่กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันตกคร่อมอาร์มเจอร์กับความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม V_t (V_f คงที่) ความเร็วจะเพิ่มขึ้นตามสมการ

$$\omega_r = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_a I_2}{(K\phi)^2}$$

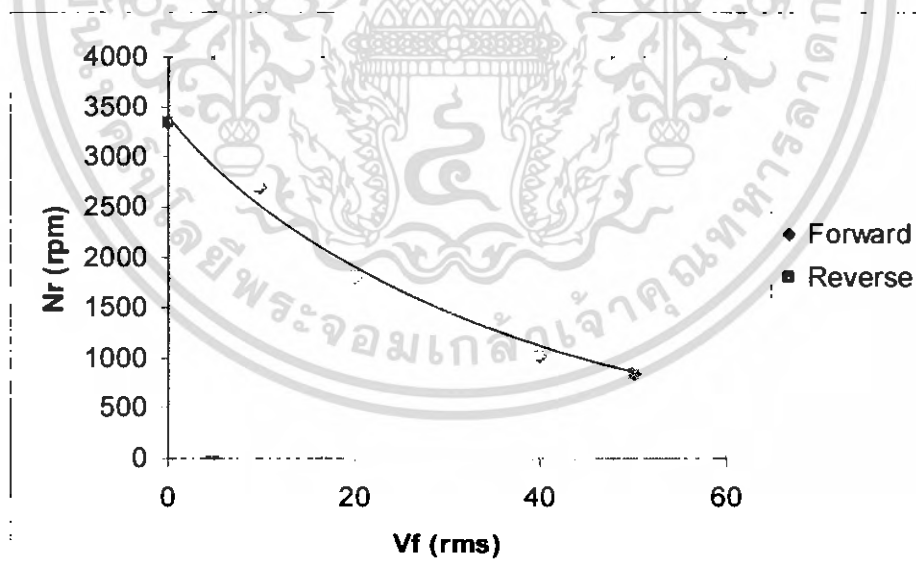
จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่ม V_t แล้ว จะทำให้ค่า ω_r เพิ่มขึ้น โดยที่ค่า K, ϕ, R_a, T_2 ยังเหมือนเดิม

STATUS	V_f (rms)	I_r	I_t	N_r
Forward	50 V	280 mA	750 mA	840 rpm
Forward	40 V	260 mA	890 mA	1024 rpm
Forward	30 V	240 mA	1A	1314 rpm
Forward	20 V	230 mA	1.6 A	1800 rpm
Forward	10 V	200 mA	2.8 A	2695 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STOP	0 V	80 mA	5 A	3339 rpm
STATUS	V _f (rms)	I _r	I _t	N _r
Reverse	10 V	200mA	2.8 A	2695rpm
Reverse	20 V	230 mA	1.6 A	1800rpm
Reverse	30 V	240 mA	1A	1314 rpm
Reverse	40 V	260mA	890 mA	1024 rpm
Reverse	50 V	280 mA	750mA	840rpm

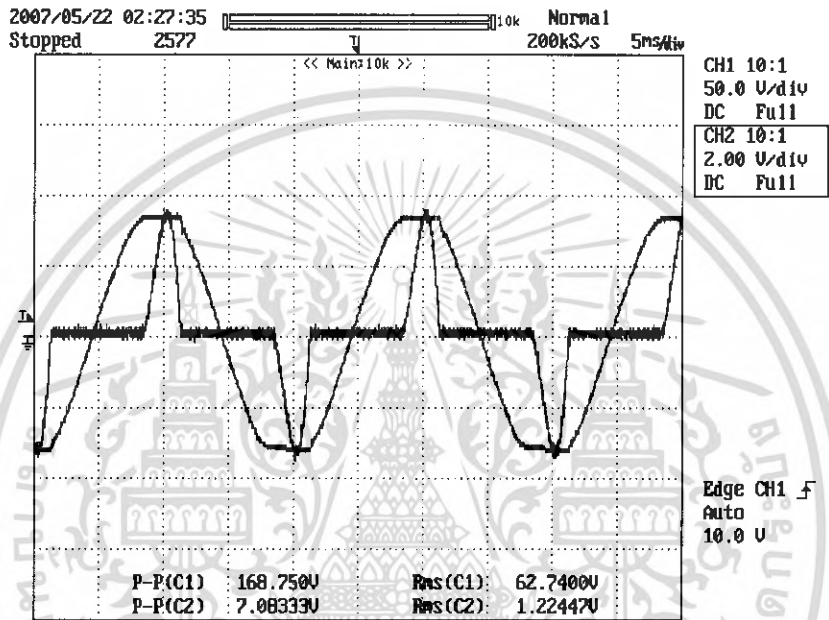
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดันที่ขดลวดฟิลด์(V_f) แล้วทำการวัดค่าที่กล่าวข้างต้น



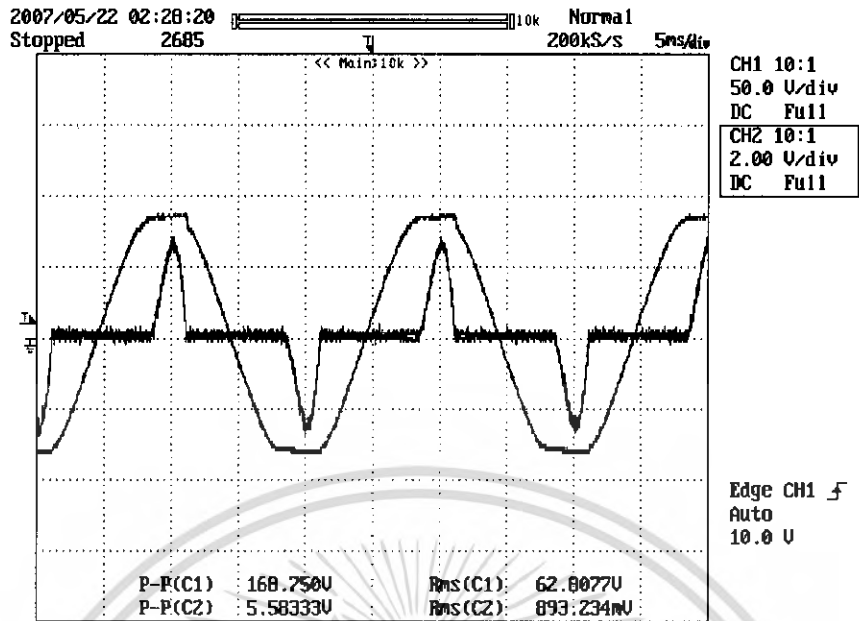
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันที่ขดลวดฟิลด์กับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

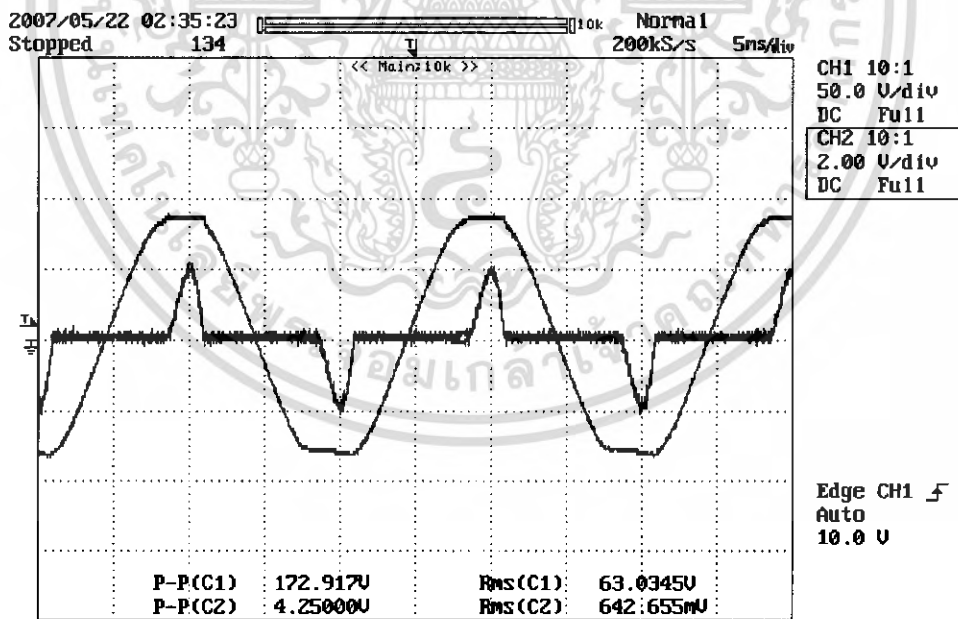
จากรูปที่ 4.2 ตามหลักการ Field weakening จะเห็นว่าเมื่อเปลี่ยน V_f (V_f คงที่) ฟลักซ์จะลดลงตามสมการ $\omega_r = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_a I_2}{(K\phi)^2}$ จากสมการจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่ม ϕ แล้ว ω_r จะลดลง



รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 1500rpm no load

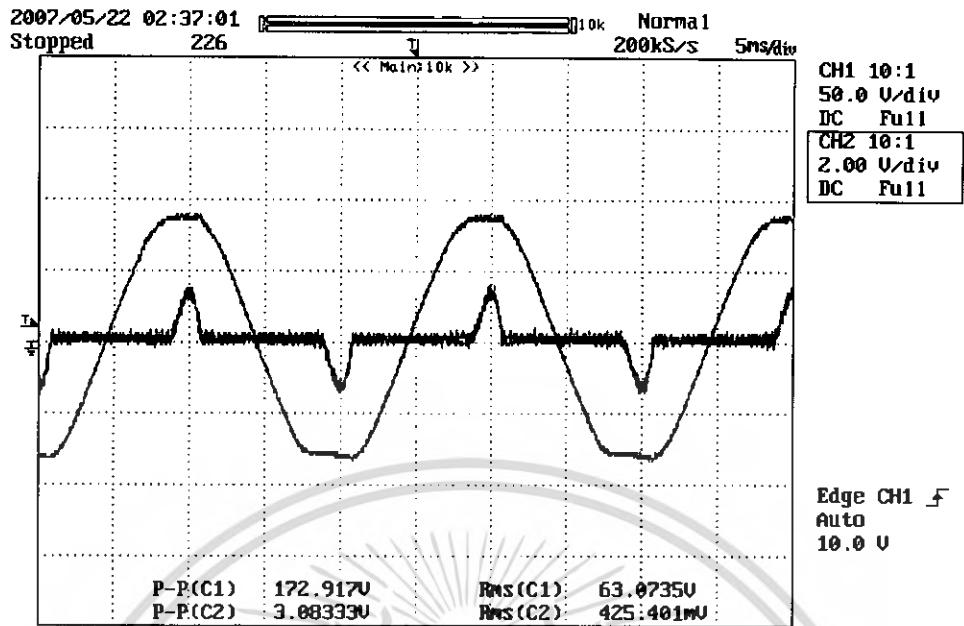


รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุต ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 1100rpm no load

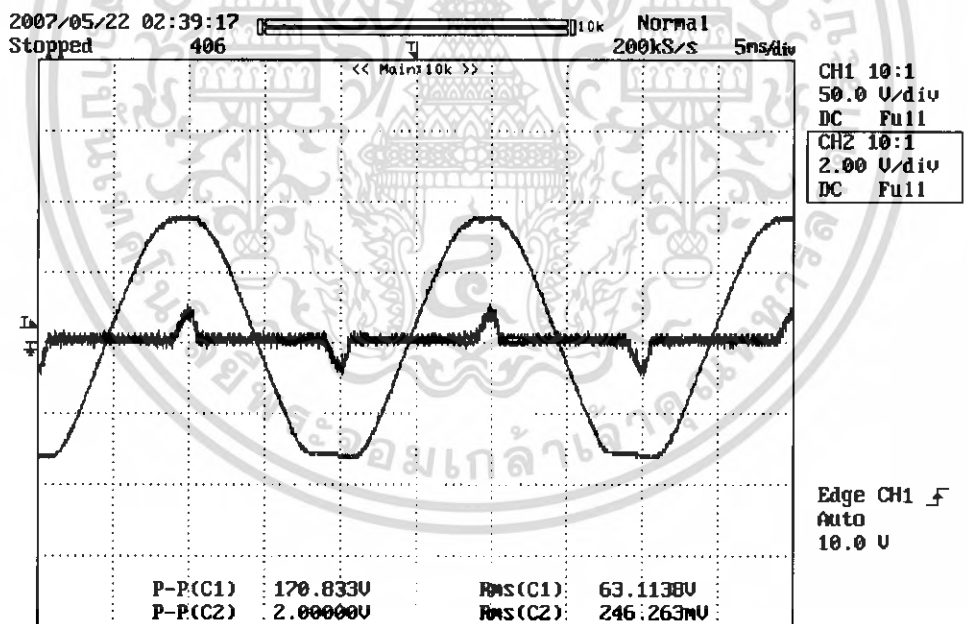


รูปที่ 4.5 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุนForward ที่ความเร็ว 750rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

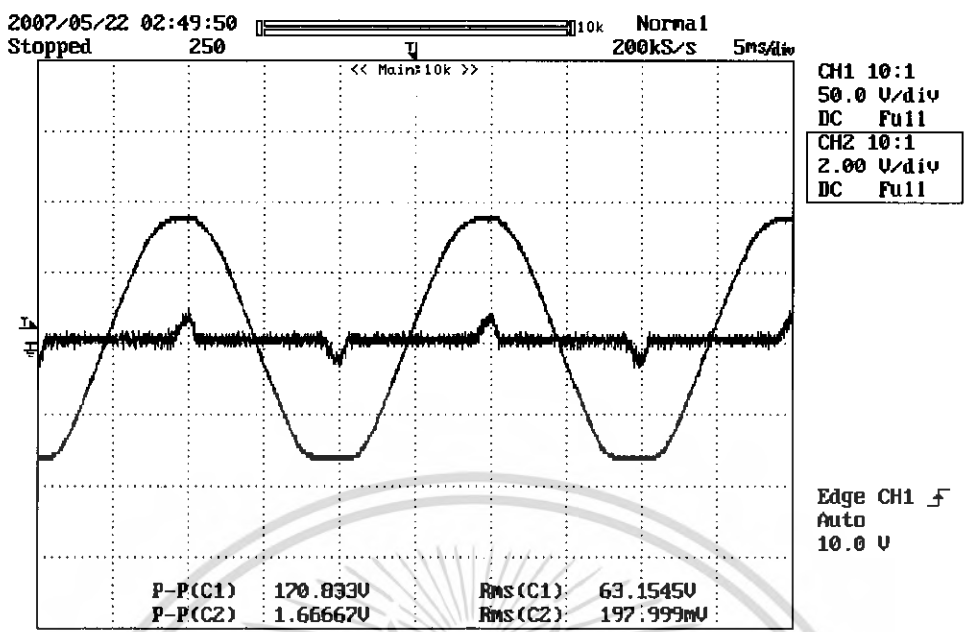


รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุต ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 400rpm no load

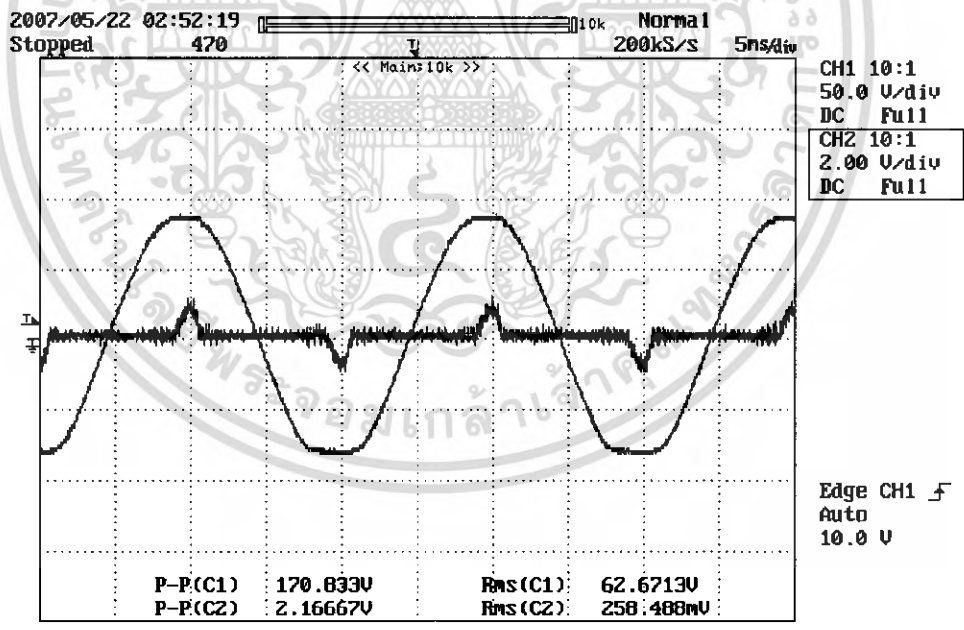


รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุต ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 100 rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

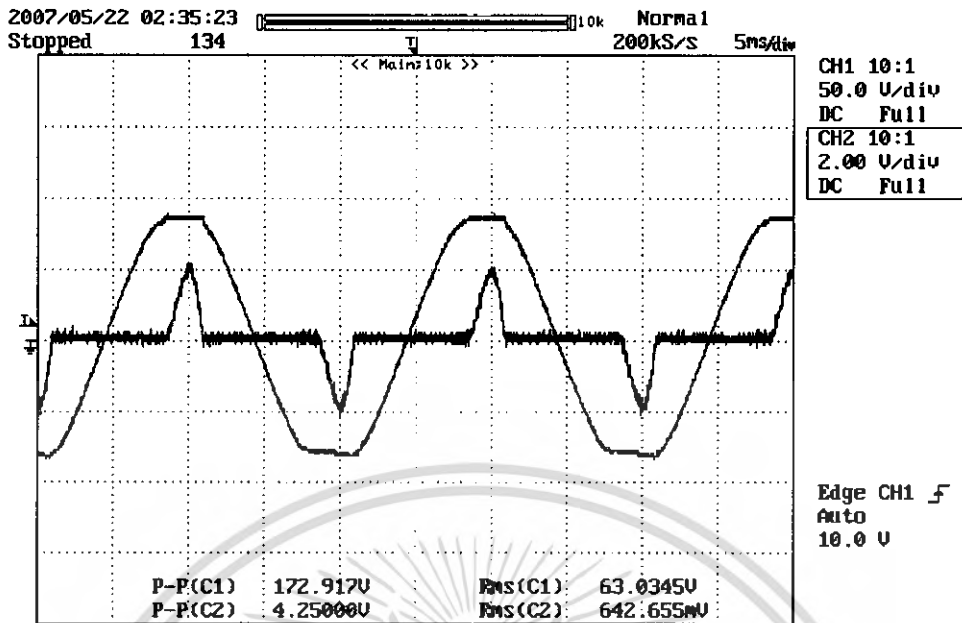


รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุต ขณะ Stop

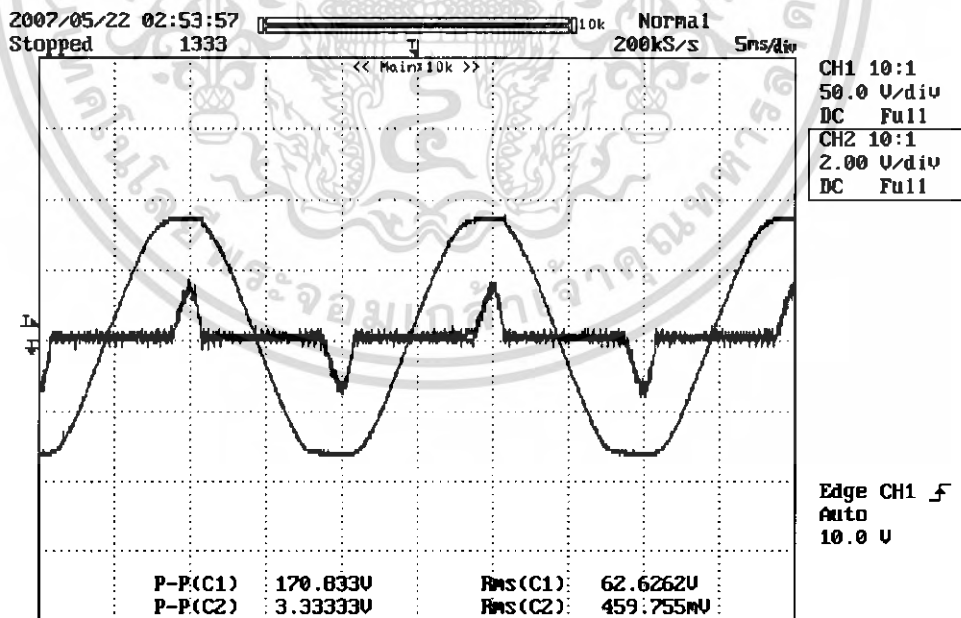


รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุต ขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 100 rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

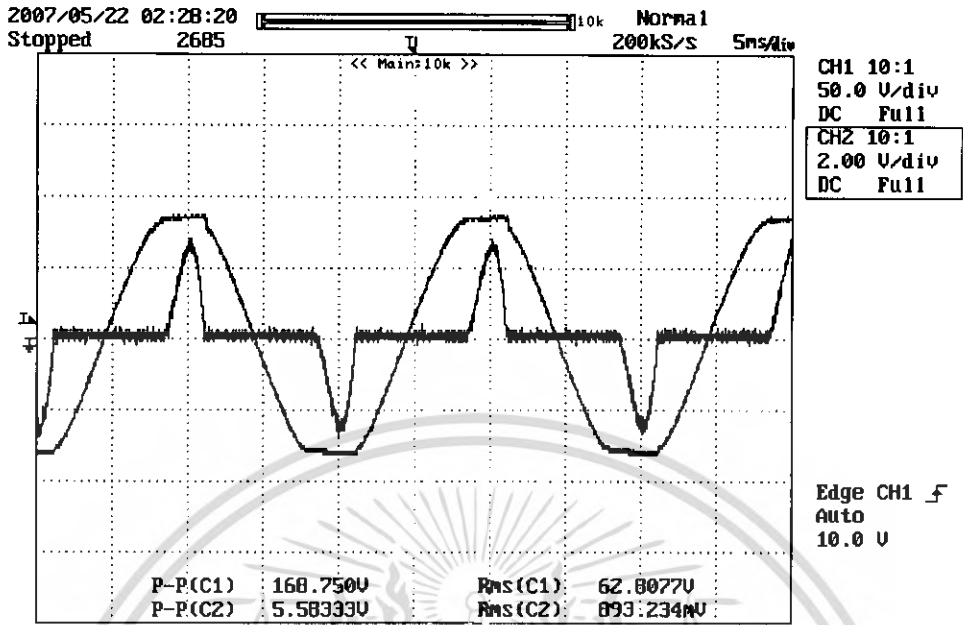


รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 400rpm no load

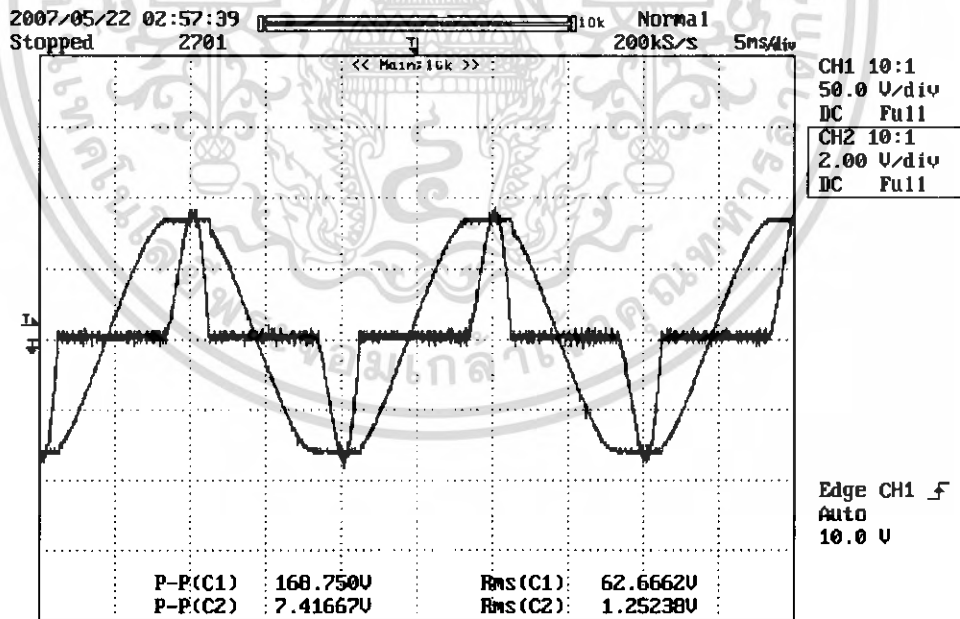


รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 75 rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



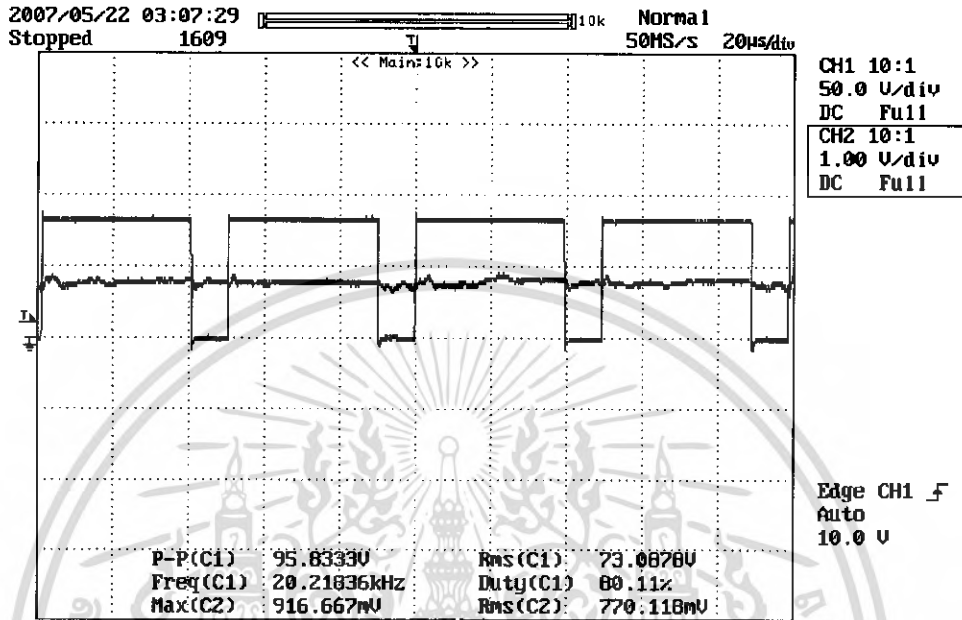
รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 1000rpm no load



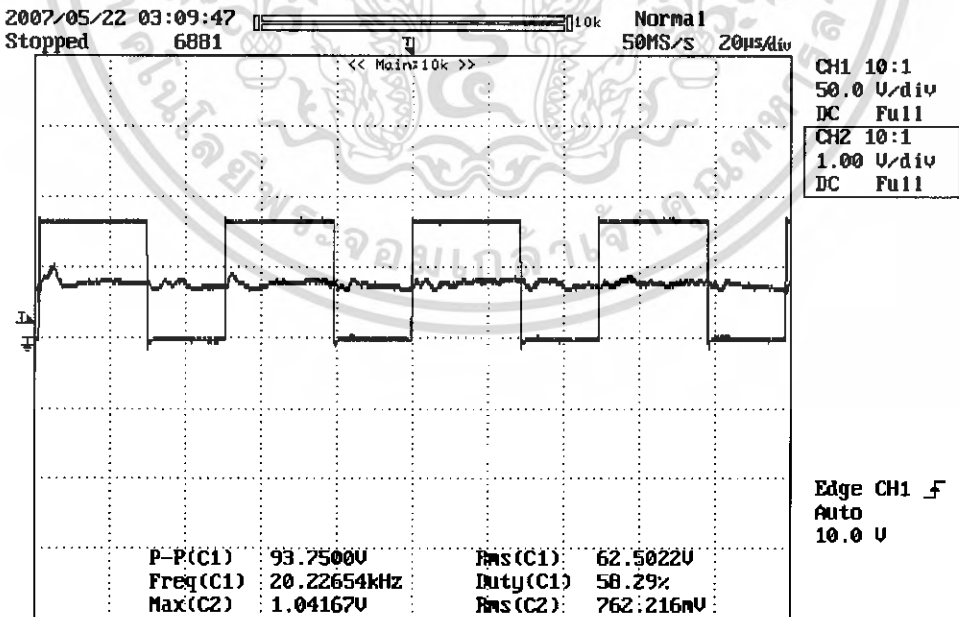
รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสที่อินพุตขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 1500 rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 – 4.13 จะสังเกตเห็นได้ว่า กระแสไม่เป็นกราฟรูปไซน์ที่สมบูรณ์ตามแรงดัน เนื่องจาก load เป็นชนิด Non-linear load ซึ่งก็คือ PWM คอนเวอเตอร์แบบต่างๆ

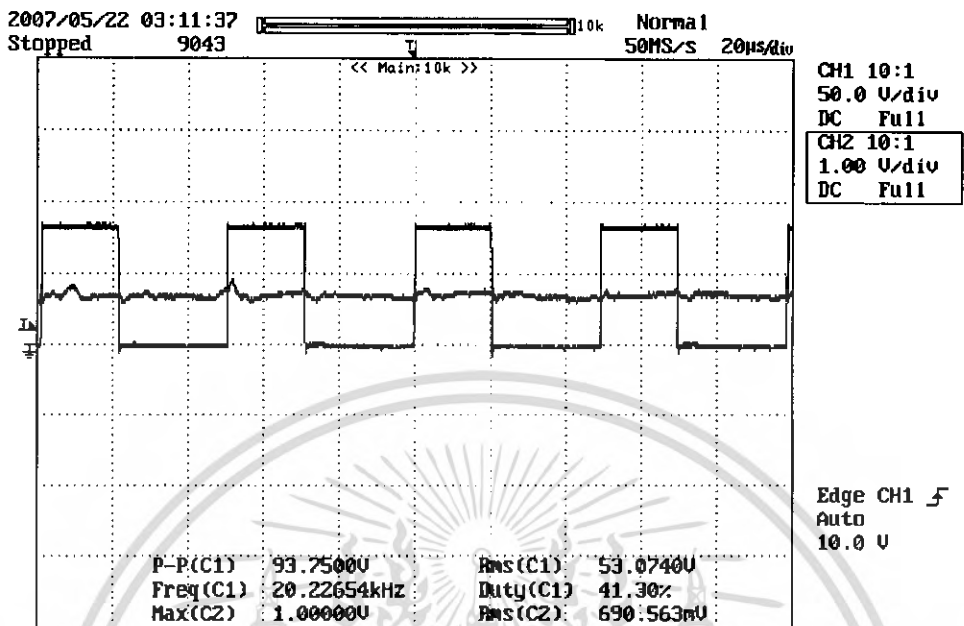


รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 1500rpm no load

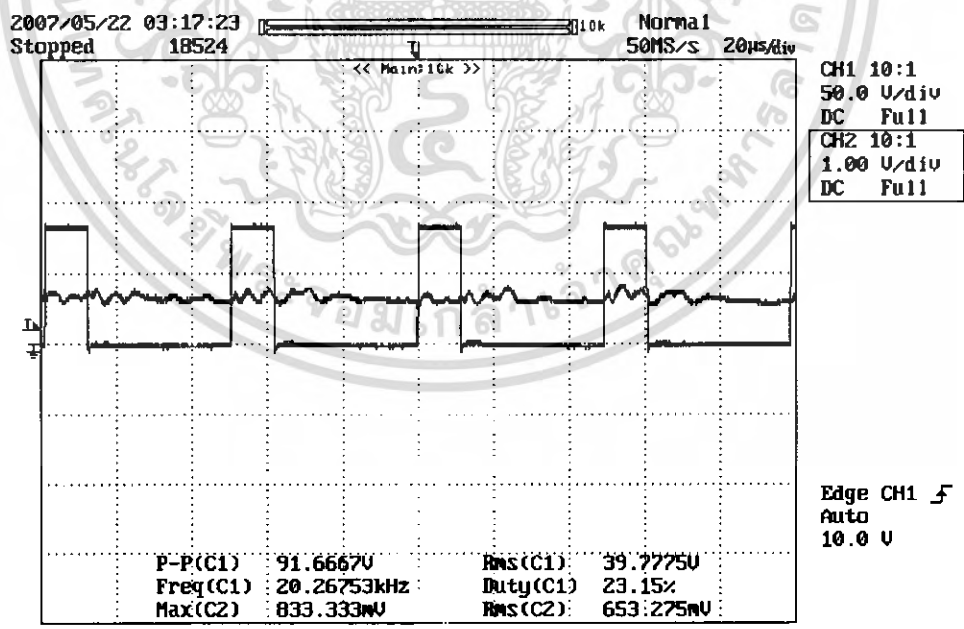


รูปที่ 4.15 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 1100rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

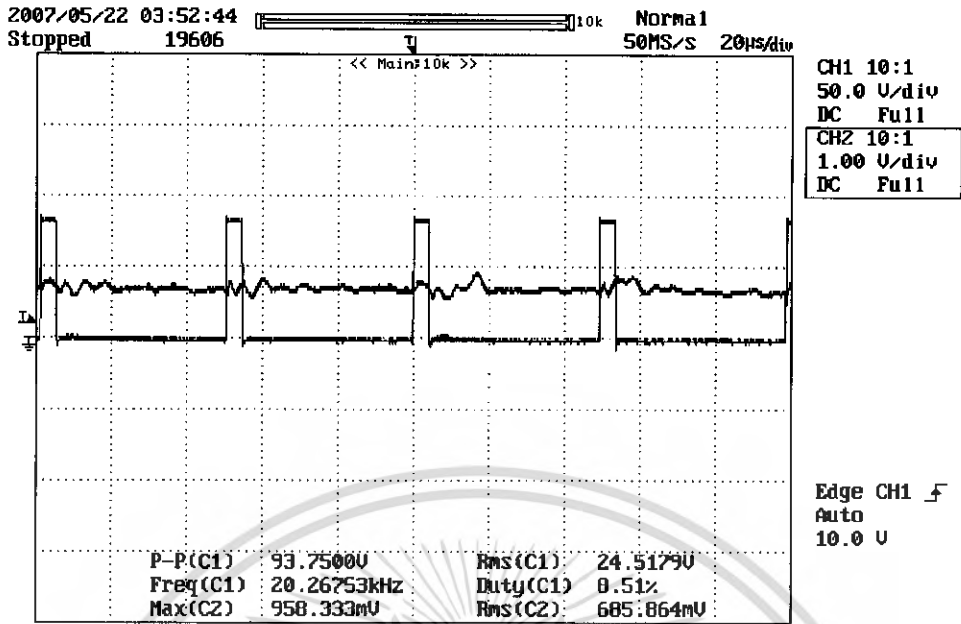


รูปที่ 4.16 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 750rpm no load

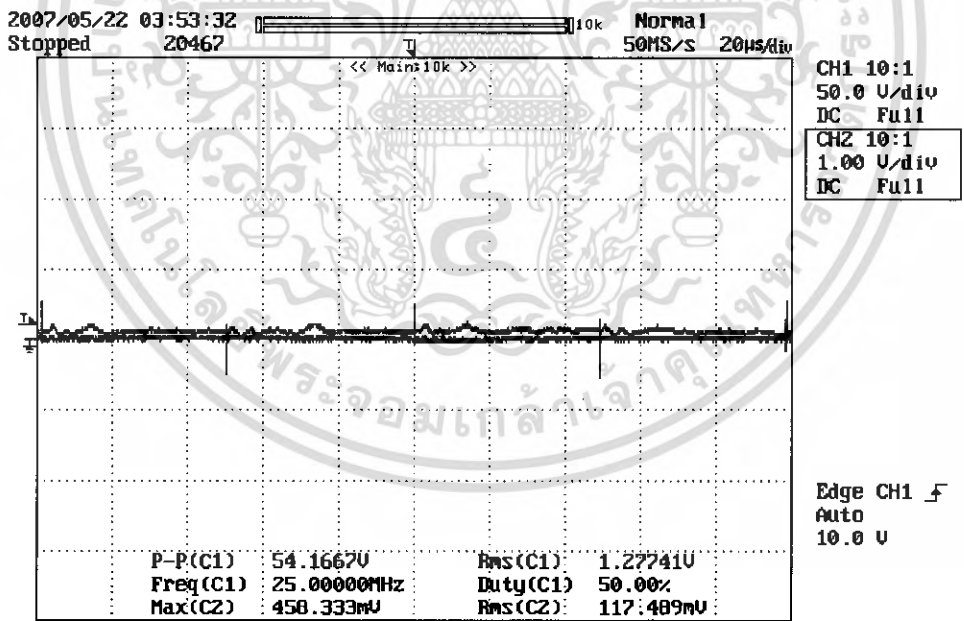


รูปที่ 4.17 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ ขณะหมุน Forward ที่ ความเร็ว 400 rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

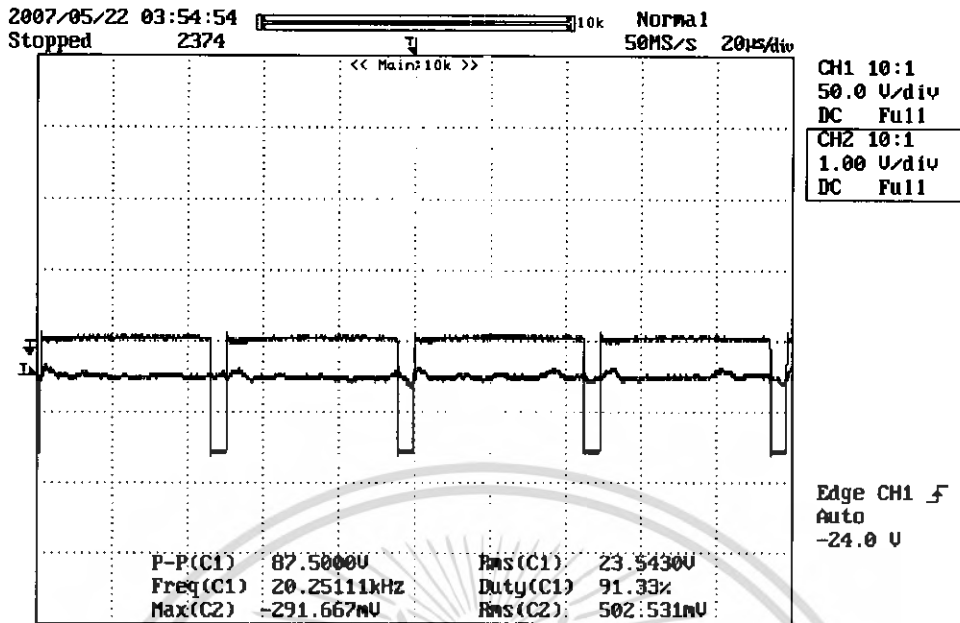


รูปที่ 4.18 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Forward ที่ความเร็ว 100rpm no load

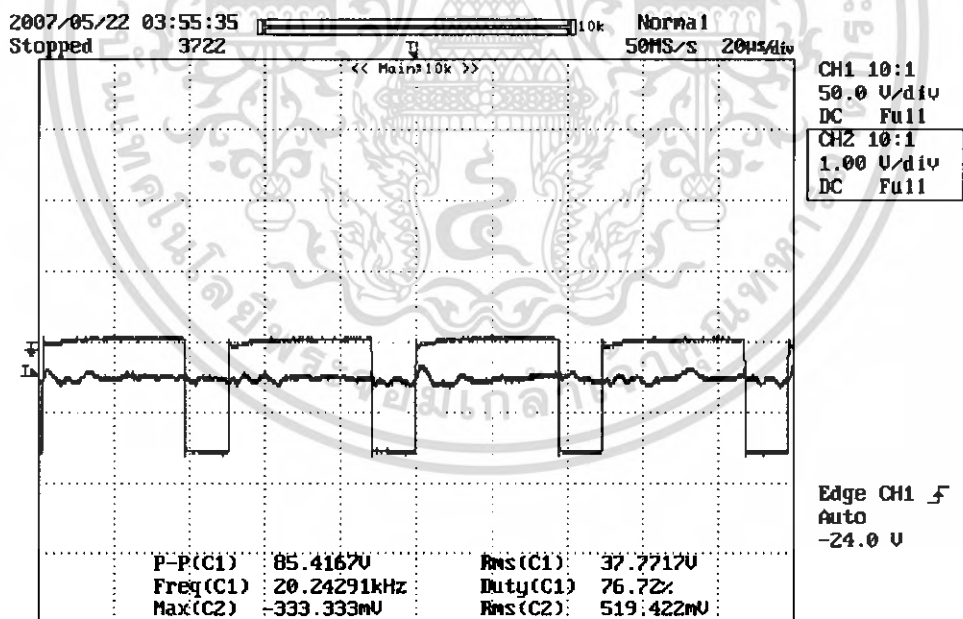


รูปที่ 4.19 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ ขณะ Stop

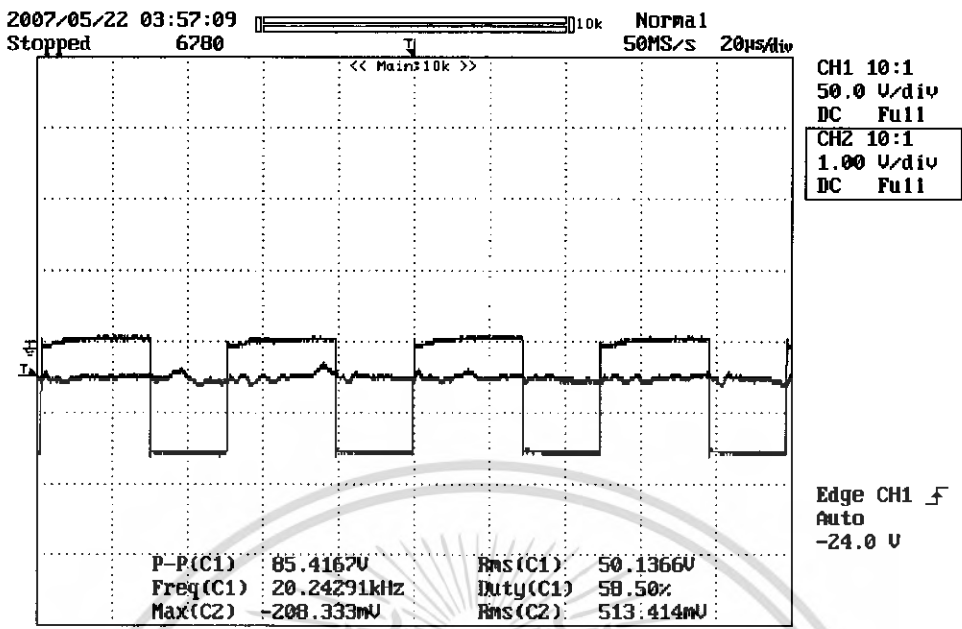
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



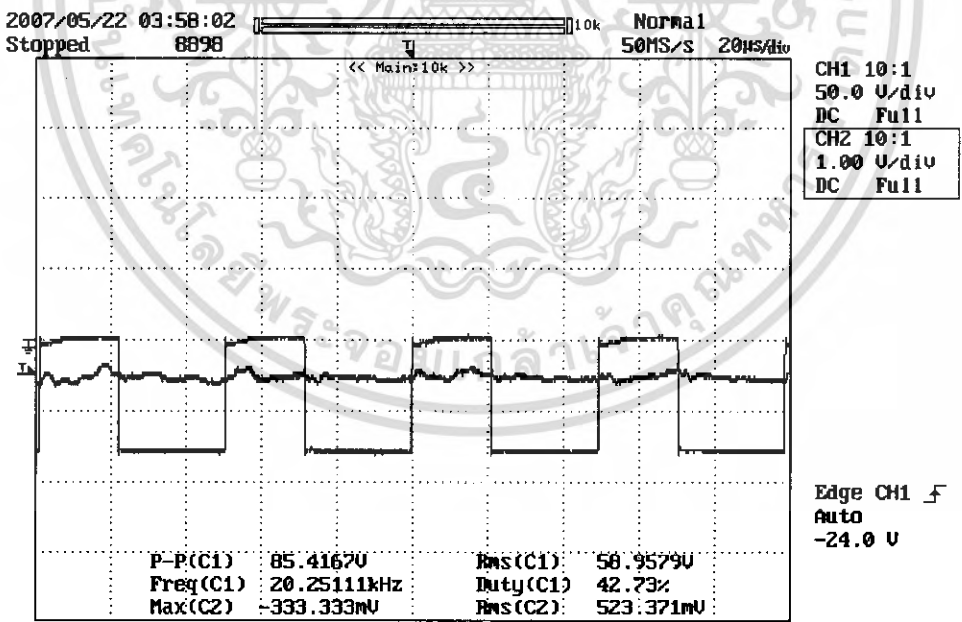
รูปที่4.20 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 100rpm no load



รูปที่4.21 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุนReverseที่ความเร็ว400rpm no load

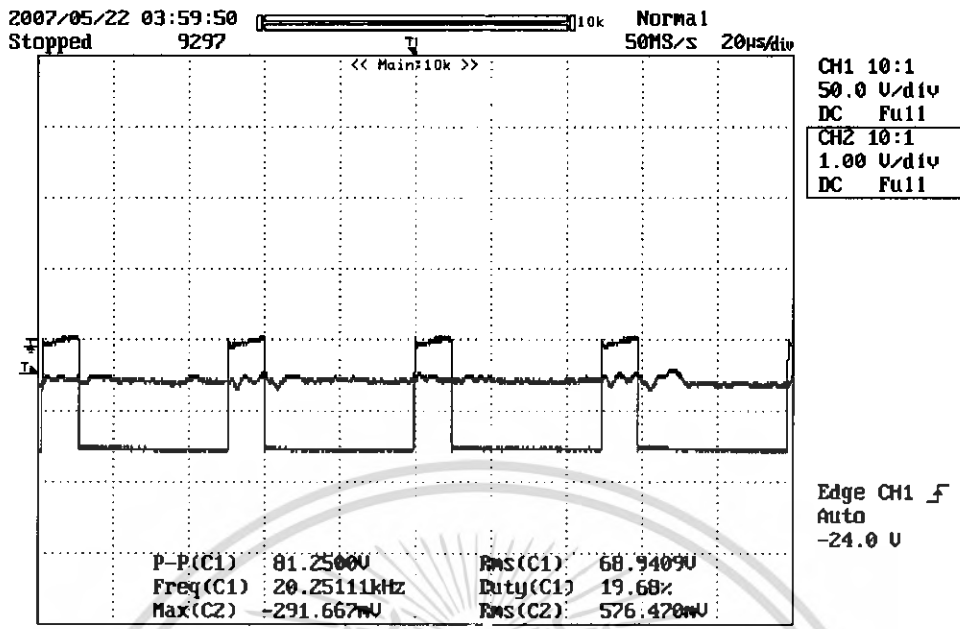


รูปที่ 4.22 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 750rpm no load



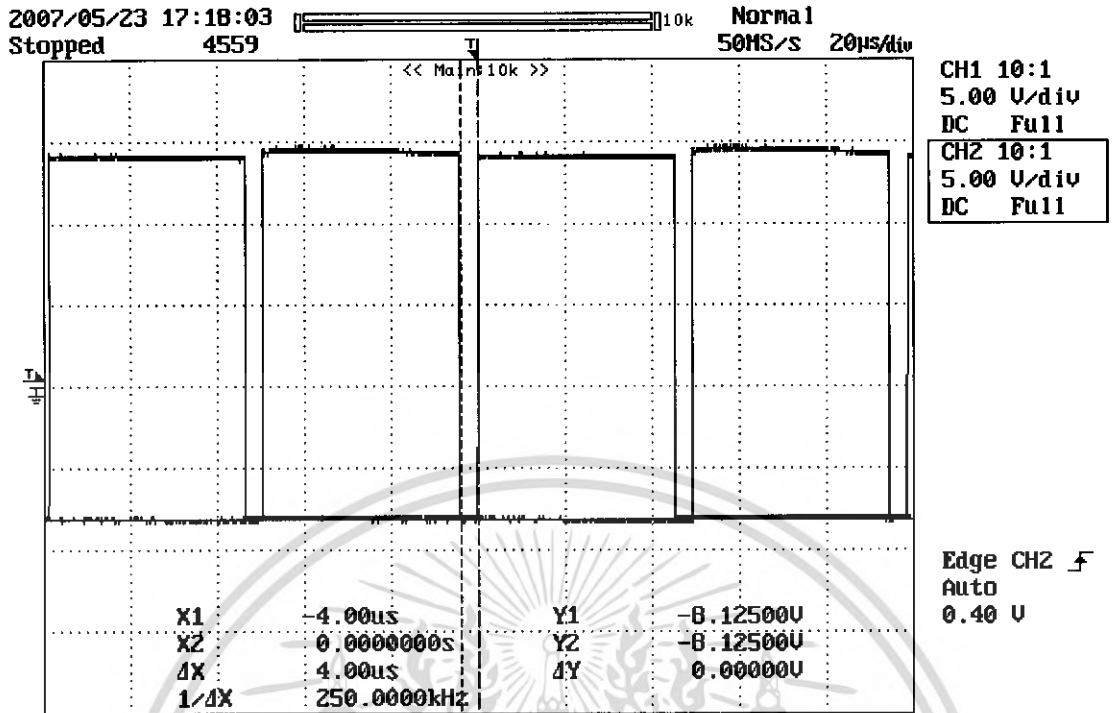
รูปที่ 4.23 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 1100 rpm no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

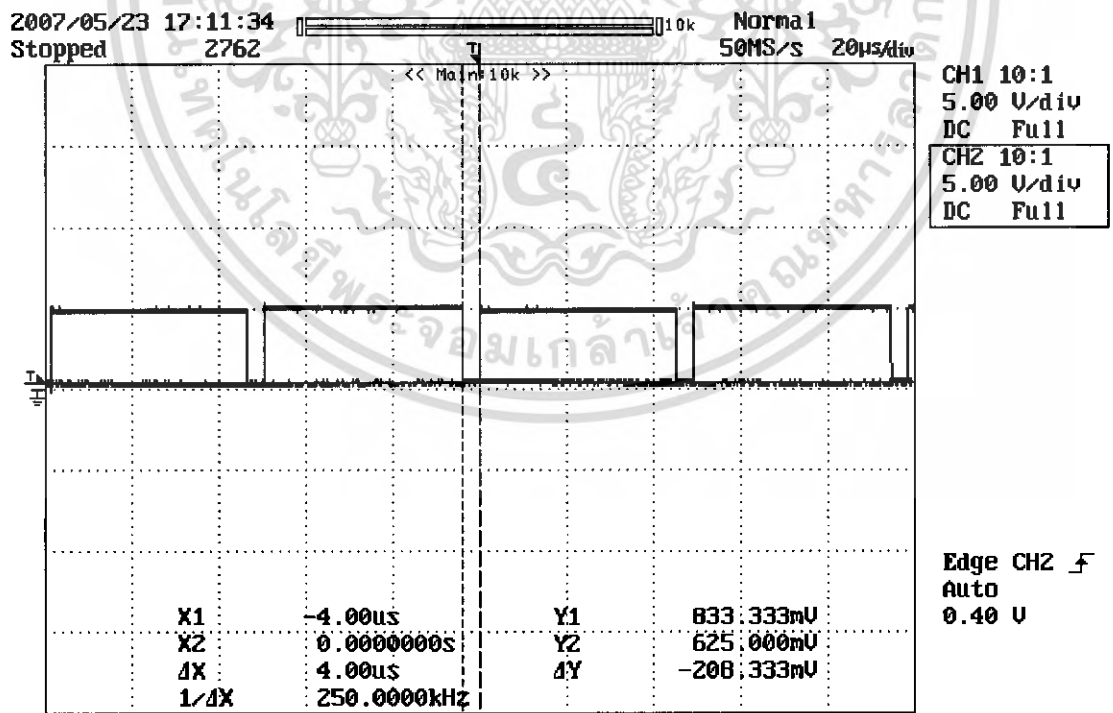


รูปที่ 4.24 สัญญาณแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะหมุน Reverse ที่ความเร็ว 1500 rpm no load

จากรูปที่ 4.14 - 4.24 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่แรงดันเฉลี่ยมีค่าเป็นบวก จะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทาง forward และ ถ้าค่าแรงดันเฉลี่ยมีค่าเป็นลบ มอเตอร์จะหมุนในทิศทาง Reverse ทั้งนี้การควบคุมให้แรงดันเฉลี่ยไปในทางใด ควบคุมโดยการกำหนดรูปแบบของการ switch ของ IGBT ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระแสเป็นเส้นตรงเกือบสมบูรณ์ เนื่องจาก load ที่ Converter ต่อ DC motor

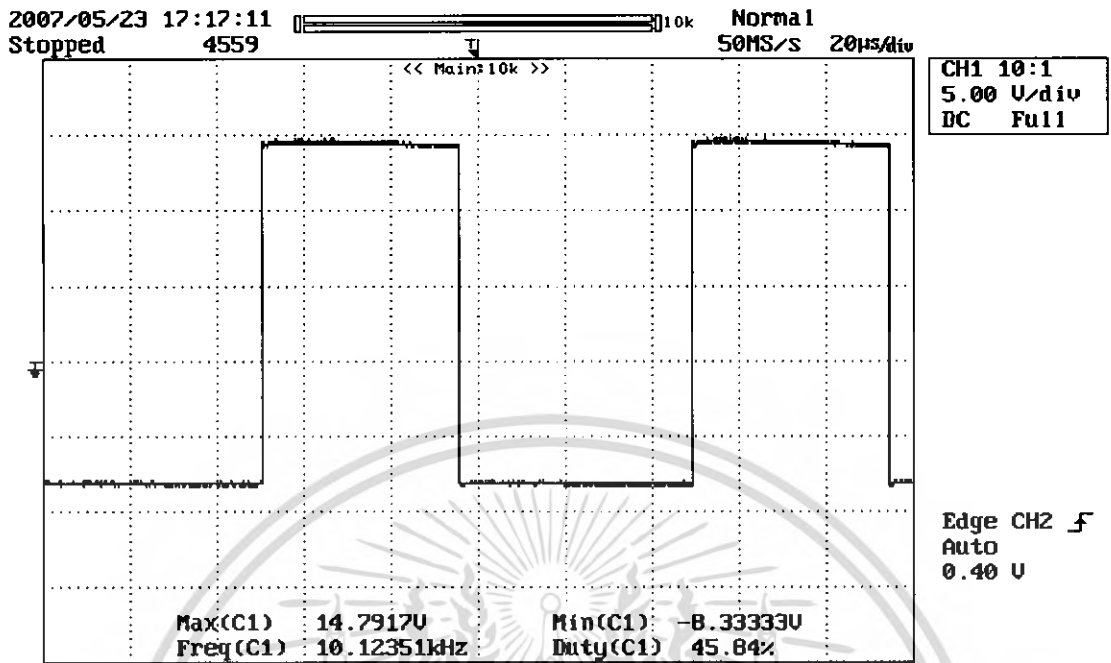


รูปที่ 4.25 แสดงเคาท์ใหม่จากชุดจับไอจีบีที

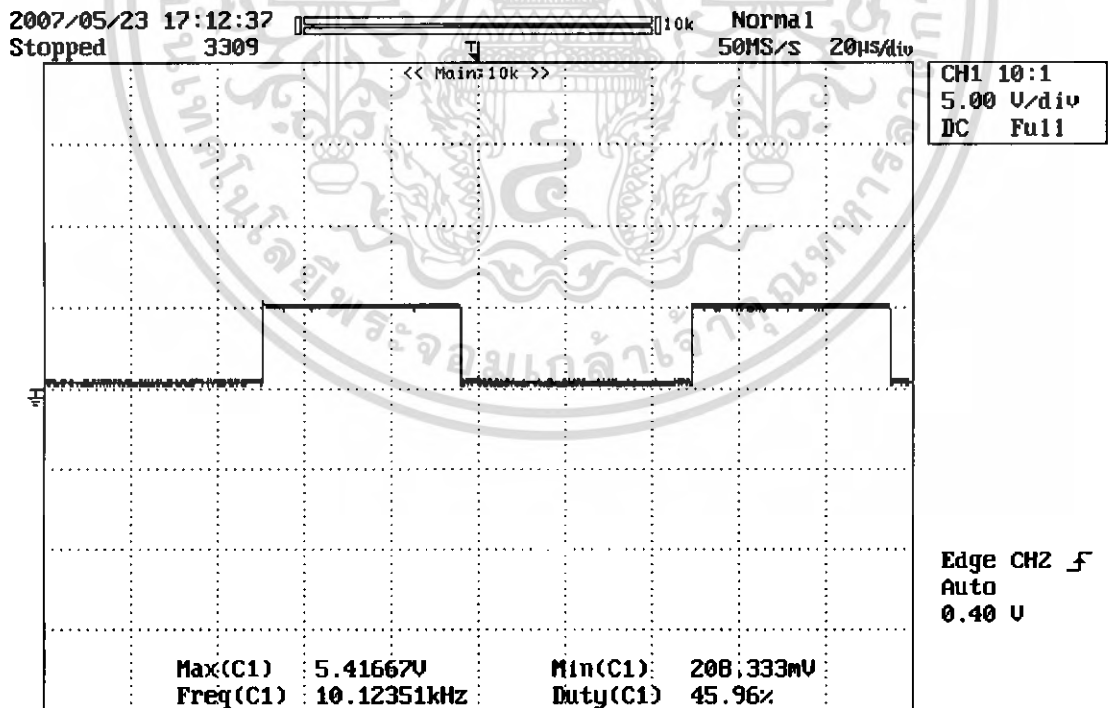


รูปที่ 4.26 แสดงเคาท์ใหม่จากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

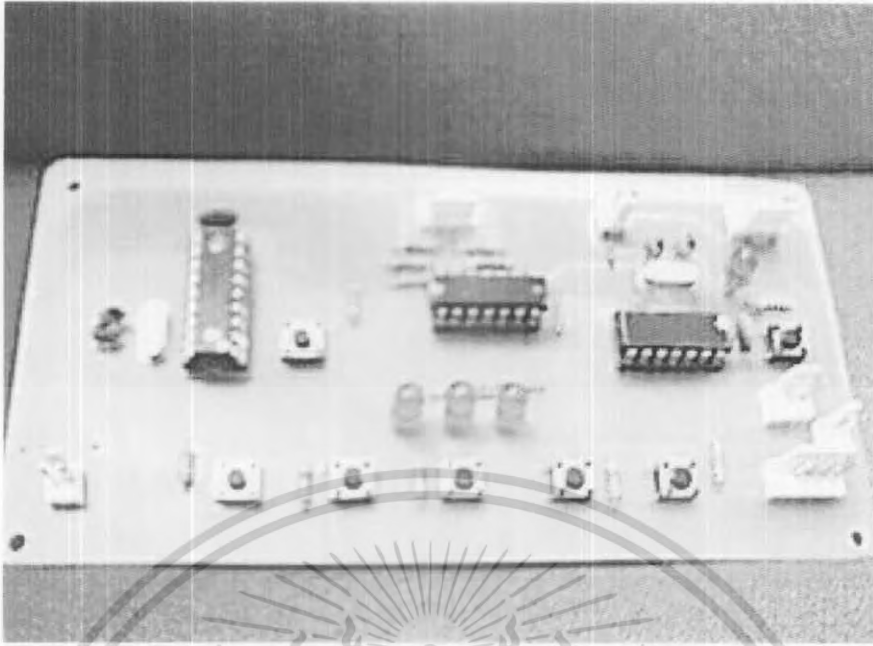


รูปที่ 4.27 สัญญาณของชุดขับ ไอจีบีที

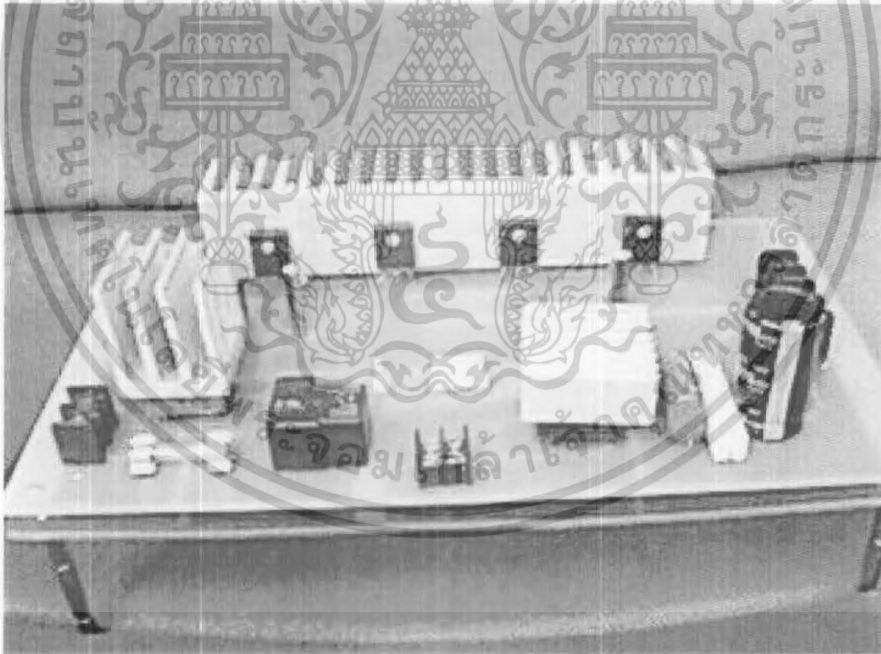


รูปที่ 4.28 สัญญาณของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

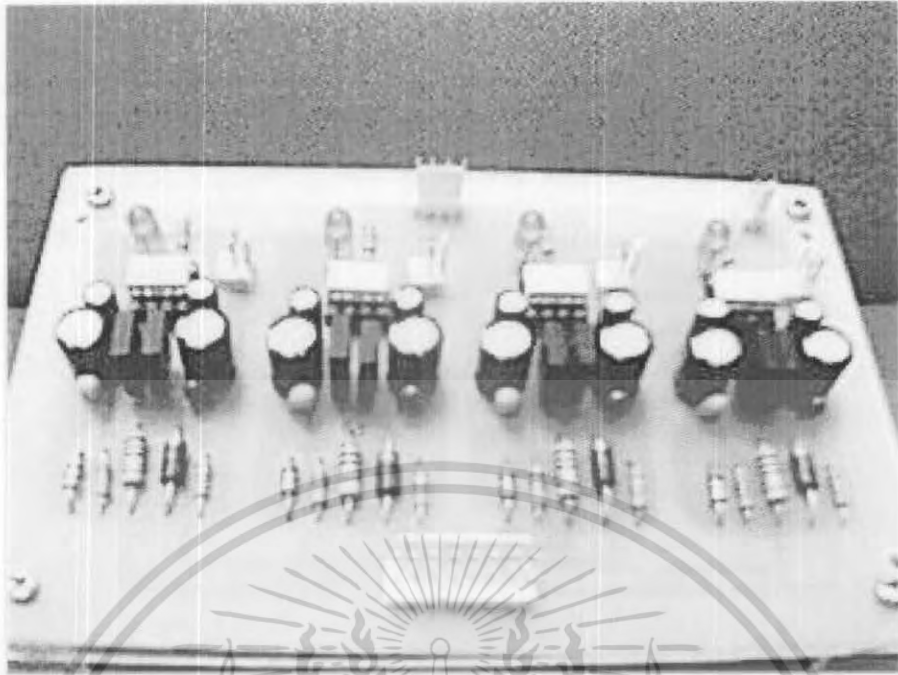


รูปที่ 4.29 ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์และชุดรับสัญญาณจากสวิตช์

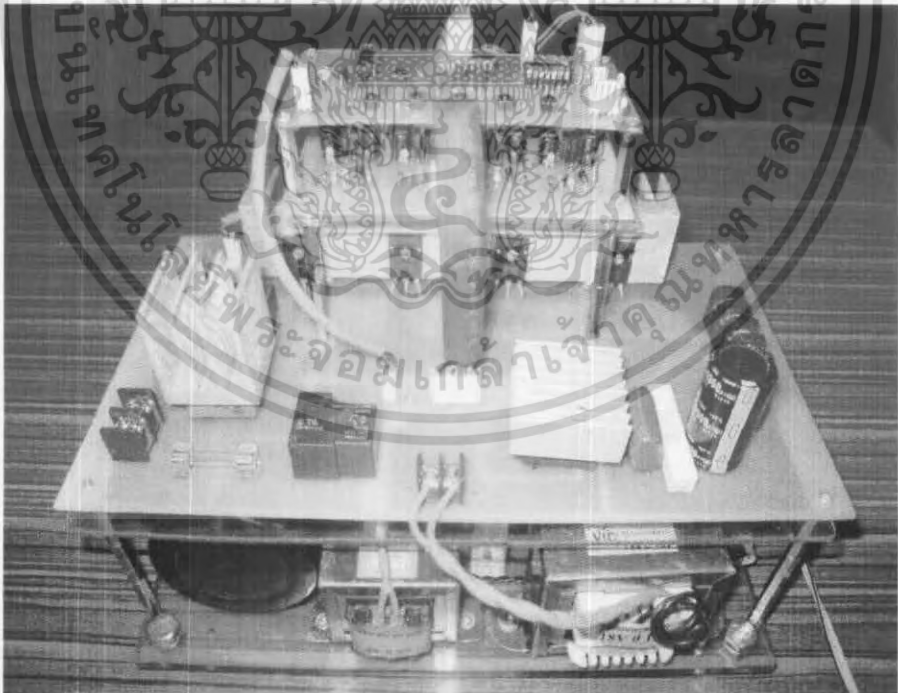


รูปที่ 4.30 ชุดวงจรบริดจ์เรกติไฟร์และวงจรคอนเวอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ชุดวงจรขับฟลูออริ่งค์โดยออปโตคัปเปลอร์



รูปที่ 4.32 ชุดวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะเห็นว่า เมื่อปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้กระแสที่อาร์เมเจอร์ และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ทั้งในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนในทิศทาง Forward และ Reverse

เมื่อพิจารณาโดยการปรับแรงดันที่ขดลวดฟิลด์ โดยให้แรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์คงที่ จะเห็นว่าเมื่อแรงดันที่ขดลวดฟิลด์เพิ่มมากขึ้น ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจะค่อยลดลง โดยเมื่อแรงดันที่ขดลวดฟิลด์เป็นศูนย์ จะได้ค่าความเร็วรอบที่มากที่สุด

เมื่อพิจารณาจากรูปสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนในทิศทางforward เมื่อปรับค่า Duty Cycle มากขึ้น ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เพราะแรงดันเฉลี่ยเป็นบวกมากขึ้น เมื่อค่า Duty Cycle เป็น 50% มอเตอร์ไฟฟ้าจะหยุดหมุน เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าหมุนในทิศทาง Reverse ปรับค่า Duty Cycle ลดลง ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะแรงดันเฉลี่ยเป็นลบมากขึ้น

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากการปรับค่าที่ Duty Cycle ในการทดลองจะเป็นการทดสอบในสภาวะ No-load ซึ่งรูปสัญญาณของกระแสที่อาร์เมเจอร์จะขึ้นมาได้น้อย รูปสัญญาณของกระแสอาร์เมเจอร์จึงไม่ชัดเจน ถ้ามีการต่อ load เข้าไปให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า จะทำให้เห็นรูปสัญญาณของกระแสที่อาร์เมเจอร์ชัดเจนมากขึ้น

ในการทดสอบไม่สามารถที่จะให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ได้ เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่มีการทำงานในส่วนป้อนกลับเลย ทำให้ไม่สามารถนำอนโค๊ดเคอร์มาจับสัญญาณได้

ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากโครงการจะเห็นได้ว่า มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถปรับค่าความเร็วรอบจาก Duty Cycle ได้ แต่ไม่สามารถหมุนที่ความเร็วคงที่ได้ ดังนั้นจึงควรที่จะมีส่วนป้อนกลับในไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการต่อ load เข้าไปให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อจะได้ทำการเปรียบเทียบค่าของระบบที่ไม่มีการป้อนกลับกับระบบที่มีการป้อนกลับได้อย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

ศุภชัย สุรินทร์วงศ์ , เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
พิชิต ล้ายอง, “เครื่องจักรกลไฟฟ้า1” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics).
พิมพ์ครั้งที่ 1,2547

Muhanammad H. Rashid, "Power Electronic" , Prentice-Hall, Inc., USA, 1998 .

N.Mohan, T.M.Undeland, W.P.Robbins, "Power electronic :DC Motor Drives", John
Wiley & Sons, 1995.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโปรแกรม Control Sequence Drive Motor and read switch

```

;*****
;      Program      :      Controll Sequence Work Drive Motor Project
;      Project       :      Drive Motor
;      Date          :      14-05-2007
;      Description   :      Send DEC or INC Signal to PIC16F630(FILE:PIC-SIGNAL-Pro1)follow case of
switch signal and protect bouce switch
;      Port          :      RB3-RC7          input          swich sw_forward , sw_reverse ,
sw_DEC , sw_stop , sw_INC (order)
;
;                  :      RB0-RB1          output          Sd_DEC , Sd_INC (order)
;                  :      RB2              input          Sd_Ready_Loop
;                  :      RA0              output
Sd_Ready_Check
;
;                  :      RA1              output          S_RelayMain
;                  :      RA2-RA4         output          L_Reverse , L_Stop ,
L_Forward
;      X'tal         :      20 MHz
;      Filename      :      Control-MoterDrive2.asm
;*****

```

LIST P=16F628,W=-302

```

;****BANK 0****
PORTA EQU 0X05
PORTB EQU 0X06
CMCON EQU 0X19
;****BANK 1****
TRISA EQU 0X85
TRISB EQU 0X86
CBLOCK 0X70
Z,Y,X,SPC,SP_POST
ENDC

#DEFINE SW_FW PORTB,3
#DEFINE SW_RW PORTB,4
#DEFINE SW_DEC PORTB,5
#DEFINE SW_STOP PORTB,6
#DEFINE SW_INC PORTB,7
#DEFINE SD_DEC PORTB,0
#DEFINE SD_INC PORTB,1
#DEFINE SD_READY_LOOP PORTB,2
#DEFINE SD_READY_CHECK PORTA,0
#DEFINE S_RELAYMAIN PORTA,1
#DEFINE L_RW PORTA,2
#DEFINE L_STOP PORTA,3
#DEFINE L_FW PORTA,4
#DEFINE SPC_STOP SPC,0
#DEFINE SPC_FW SPC,1

```



```

; CHECK SWITCH
; CHECK SWITCH
;*****
START_CHECK          BCF          SD_READY_CHECK
                    CALL          SET_LED

SW_STOP_CHECK       BTFSS        SW_STOP
                    GOTO        STOP_CASE

SW_FW_CHECK         BTFSS        SW_FW
                    GOTO        FW_CASE

SW_RW_CHECK         BTFSS        SW_RW
                    GOTO        RW_CASE

SW_INC_CHECK        BTFSS        SW_INC
                    GOTO        INC_CASE

SW_DEC_CHECK        BTFSS        SW_DEC
                    GOTO        DEC_CASE

PC_RW_CHECK         BTFSC        SPC_RW
                    GOTO        RW_CASE

SPC_FW_CHECK        BTFSC        SPC_FW
                    GOTO        FW_CASE

SPC_STOP_CHECK      BTFSC        SPC_STOP
                    GOTO        STOP_CASE
                    GOTO        START_CHECK

;wait for push switch
;*****END CHECK SWITCH*****END CHECK
SWITCH*****
;*****
; CASE SWITCH
; CASE SWITCH
;*****
; STOP CASE*****
;*****
STOP_CASE           MOVLW        .64
                    SUBWF        SP_POST,0
                    SKPNZ
                    ;Check SP_POST in stop case or not
                    GOTO        IN_STOP_CASE          ;in stop
case
                    SKPNC
                    GOTO        STOP_IN_FW
                    GOTO        STOP_IN_RW

STOP_IN_FW          CALL          DEC

```

```

STOP_IN_RW          GOTO          LOOP_TO_STOP
                    CALL          INC
                    GOTO          LOOP_TO_STOP

LOOP_TO_STOP        BSF
                    BCF          SPC_FW
                    BCF          SPC_RW
                    GOTO          END_CASE_SPEED
                    IN_STOP_CASE  BCF          SPC_STOP
                    GOTO          START_CHECK
;*****END STOP CASE*****

;*****
;
;   FW CASE*****
;*****
FW_CASE
                    MOVLW         .128
                    SUBWF         SP_POST,0
                    SKPNZ
                    GOTO          IN_FW_CASE
                    CALL          INC
LOOP_TO_FW          BSF          SPC_FW
                    BCF          SPC_RW
                    BCF          SPC_STOP
CHECK_SP_POST_FW   MOVLW         .64
                    SUBWF         SP_POST,0
                    SKPNZ
;Check SP_POST in stop case ornot
                    GOTO          END_CASE_SPEED
;in stop case
                    SKPNC
                    GOTO          END_CASE
;in forward case
                    GOTO          END_CASE_SPEED
;in reverse case
IN_FW_CASE         BCF          SPC_FW
;*****END FW CASE*****

;*****
;
;   RW CASE*****
;*****
RW_CASE
                    MOVLW         .0
                    SUBWF         SP_POST,0
                    SKPNZ
                    GOTO          IN_RW_CASE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL DEC
LOOP_TO_RW BSF SPC_RW
BCF SPC_FW
BCF SPC_STOP
CHECK_SP_POST_RW MOVLW .64
SUBWF SP_POST,0
SKPNZ
;Check SP_POST in stop case ornot
GOTO END_CASE_SPEED
;in stop case
SKPNC
GOTO END_CASE_SPEED
;in forward case
GOTO END_CASE
;in reverse case
IN_RW_CASE BCF SPC_RW
GOTO START_CHECK
;*****END FW CASE*****
;
; INC CASE*****
;
INC_CASE MOVLW .128
SUBWF SP_POST,0
SKPNZ
GOTO START_CHECK
CALL INC
CLRF SPC
GOTO END_CASE_SPEED
;*****END INC CASE*****
;
; DEC CASE*****
;
DEC_CASE MOVLW .0
SUBWF SP_POST,0
SKPNZ
GOTO START_CHECK
CALL DEC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CLRF                                SPC
                                GOTO                                END_CASE_SPEED
;*****END DEC CASE*****
;*****END CASE SWITCH*****END CASE SWITCH*****
;
;                                END EVERY CASE
;                                END EVERY CASE
;*****
END_CASE                                CALL                                DELAY_STEP
                                GOTO                                START_CHECK

END_CASE_SPEED                        CALL                                DELAY_STEP_SPEED
                                GOTO                                START_CHECK
;*****END EVERY CASE*****END EVERY CASE*****
;
;                                SUBROUTINE
;                                SUBROUTINE
;*****
;                                SET_LED*****
;*****
;                                ;CHECK SP_POST
SET_LED                                MOVLW                                .64
                                SUBWF                                SP_POST,0
                                SKPNZ
;Check SP_POST in stop case or not
                                GOTO                                SET_LED_STOP
;in stop case
                                SKPNC
                                GOTO                                SET_LED_FW
;in forward case
                                GOTO                                SET_LED_RW
;in reverse case

;SET_LED_STOP*****
SET_LED_STOP                        BCF                                L_FW
                                BCF                                L_RW
                                BSF                                L_STOP
                                CALL                                DELAY_LED
                                RETURN
;SET_LED_FW*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SET_LED_FW          BCF          L_RW
                    BCF          L_STOP
                    BSF          L_FW
                    CALL         DELAY_LED

                    RETURN

;SET_LED_RW*****
SET_LED_RW          BCF          L_FW
                    BCF          L_STOP
                    BSF          L_RW
                    CALL         DELAY_LED

                    RETURN

;***** END SET LED *****

;*****
;
;   DEC*****
;*****
DEC                  BSF          SD_DEC
                    BTFSS       SD_READY_LOOP
                    GOTO        $-1
                    BCF          SD_DEC
                    BSF          SD_READY_CHECK
                    DECF         SP_POST,1
                    RETURN

;***** END DEC *****

;*****
;
;   INC*****
;*****
INC                  BSF          SD_INC
                    BTFSS       SD_READY_LOOP
                    GOTO        $-1
                    BCF          SD_INC

                    BSF          SD_READY_CHECK
                    INCF         SP_POST,1
                    RETURN

;***** END INC *****

;*****
;
;   DELAY_STEP*****
;*****
DELAY_STEP          MOVLW       .25
                    MOVWF       Z

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLRF X
CLRF Y
DECFSZ X,1
GOTO $-1

DECFSZ Y,1
GOTO $-3

DECFSZ Z,1
GOTO $-5

```

RETURN

***** END DELAY STEP *****

```

*****
; DELAY_LED*****
*****

```

```

DELAY_LED MOVLW .5
MOVWF Z
CLRF X
CLRF Y
DECFSZ X,1
GOTO $-1

DECFSZ Y,1
GOTO $-3

DECFSZ Z,1
GOTO $-5

```

RETURN

***** END DELAY LED *****

```

*****
; DELAY_SPEED*****
*****

```

```

DELAY_STEP_SPEED MOVLW .25
MOVWF Z
CLRF X
CLRF Y
DECFSZ X,1
GOTO $-1

DECFSZ Y,1
GOTO $-3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DECFSZ Z,1
GOTO \$-5

RETURN

;***** END DELAY STEP_SPEED *****

;*****END SUBROUTINE*****END SUBROUTINE*****

; END PROGRAM GOOD LUCK

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของโปรแกรม Generate Pulse 10 kHz Unipolar Case and Deadtime 4 uS

```

;*****
;   Program       :   Generate Pulse 10 kHz Unipolar case
;   Project       :   Drive Motor
;   Date         :   14-05-2007
;   Description   :   Control Unipolar by PIC 16F628A (rec) send INC or DEC
;   Port         :   RC1-RC4           output           Signal for S1-S4 (order)
;                   :                   RA1             output           Sd_Ready
;                   :                   RC0             input            Sd_DEC
;                   :                   RC5             input            Sd_INC
;                   :                   RA0             output           L_MIC
;
;   X'tal        :   20 MHz
;   Filename    :   Signal_MotorDrive2.asm
;*****

```

```

;*****LIST P=16F630,W=-302*****
;*****BANK 0*****
TMR0      EQU      0X01
PORTA     EQU      0X05
PORTC     EQU      0X07
CMCON     EQU      0X19
INTCON    EQU      0X0B
;*****BANK 1*****
OPTION_REG EQU      0X81
TRISA     EQU      0X85
TRISC     EQU      0X87
OSCAL     EQU      0X90
;*****BIT*****
TOIF      EQU      2
;*****
CBLOCK 0X20
T_S1S4,T_S2S3,T_S1S3_S2S4
ENDC

#DEFINE   S1          PORTC,1
#DEFINE   S2          PORTC,2
#DEFINE   S3          PORTC,3
#DEFINE   S4          PORTC,4
#DEFINE   SD_DEC      PORTC,0
#DEFINE   SD_INC      PORTC,5
#DEFINE   L_MIC       PORTA,0
#DEFINE   SD_READY_LOOP PORTA,1      ;Change loop ready
#DEFINE   SD_READY_CHECK PORTA,2    ;Check sw ready

```

```

;*****START*****

```

```

    _CONFIG    0X31E2

```

```

    ORG        0X000

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INITIAL_WORK      MOVLW      .7
                  MOVWF      CMCON
                  ;RA0-RA2 as digital output
                  CLRF        PORTC
                  BANKSEL     TRISC
                  ;BANK 1
                  MOVLW      B'00100001'
                  MOVWF      TRISC
                  ;RC0,5 as input // RC1-RC4 as OUTPUT
                  MOVLW      B'00000100'
                  MOVWF      TRISA
                  MOVLW      B'00111111'
                  MOVWF      OSCAL
                  ;Maximum frequency Oscillator Calibration bits
TMR0_SETUP       MOVLW      B'11001000'
prescaler
                  MOVWF      OPTION_REG
                  BANKSEL     PORTA
                  CLRF        PORTA
                  CLRF        PORTC
                  BSF         L_MIC
                  GOTO        START_P_STOP
;*****
;*****FW CASE*****
;*****FW CASE*****
;*****
START_P_FW       CLRF        PORTC
                  MOVLW      .255
                  MOVWF      T_S1S4
                  MOVLW      .65
                  MOVWF      T_S1S3_S2S4
                  BSF         SD_READY_LOOP
                  CALL        DELAY_1START
;*****
;*****FW**STATE 1*****
P_FW            BSF         S3
                  ;S1,S3
                  BCF         INTCON,T0IF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVFW      T_S1S3_S2S4
MOVWF      TMR0
BTFFS      INTCON,T0IF
GOTO       $-1

; **FW**STATE 2*****

;DEADTIME
BCF        S3

;S1

BTFFS      SD_READY_CHECK

;Check switch ready

BCF        SD_READY_LOOP

;Clear select loop ready

BTFFS      SD_INC

;Check signal switch

GOTO       INC_T_S1S4

;Goto INC case

GOTO       NORMAL_ST2_FW

INC_T_S1S4
MOVLW     .254
SUBWF     T_S1S3_S2S4,0
BSF       SD_READY_LOOP
SKPNZ
GOTO      MAX_T_S1S4
DECF     T_S1S4,1
DECF     T_S1S4,1
DECF     T_S1S4,1
INCF     T_S1S3_S2S4,1
INCF     T_S1S3_S2S4,1
INCF     T_S1S3_S2S4,1
GOTO     INC_T_S1S4_DELAY

NORMAL_ST2_FW      CALL      NOP1
MAX_T_S1S4         CALL      NOP3
INC_T_S1S4_DELAY   NOP

; **FW**STATE 3*****

BSF        S4

;S1,S4

BCF        INTCON,T0IF
MOVFW     T_S1S4
MOVWF     TMR0
BTFFS     INTCON,T0IF
GOTO     $-1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;**FW**STATE 4*****

```
                                ;DEADTIME
                                BCF          S1
;S4
                                BTFSC      SD_READY_CHECK
;Check switch ready
                                BCF          SD_READY_LOOP
;Clear select loop ready
                                BTFSC      SD_DEC
;Check signal switch
                                GOTO       DEC_T_S1S4
                                GOTO       NORMAL_ST4_FW
```

DEC_T_S1S4

```
                                MOVLW     .255
                                SUBWF     T_S1S4,0
                                BSF        SD_READY_LOOP
                                SKPNZ
                                GOTO       START_P_STOP
                                INCF       T_S1S4,1
                                INCF       T_S1S4,1
                                INCF       T_S1S4,1
                                DECF       T_S1S3_S2S4,1
                                DECF       T_S1S3_S2S4,1
                                DECF       T_S1S3_S2S4,1
                                GOTO       DEC_T_S1S4_DELAY
```

NORMAL_ST4_FW

```
                                CALL      NOP8
```

DEC_T_S1S4_DELAY

```
                                NOP
```

;**FW**STATE 5*****

```
                                BSF        S2
;S2,S4
                                BCF        INTCON,T0IF
                                MOVFW     T_S1S3_S2S4
                                MOVWF     TMR0
                                BTFSS    INTCON,T0IF
                                GOTO      $-1
```

;**FW**STATE 6*****

```
                                ;DEADTIME
                                BCF        S2
;S4
                                CALL      NOP15
```

;**FW**STATE 7*****

```
                                BSF        S1
;S1,S4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                BCF          INTCON,T0IF
                                MOVFW       T_S1S4
                                MOVWF       TMR0
                                BTFSS      INTCON,T0IF
                                GOTO        $-1

```

```

; **FW**STATE 8*****

```

```

                                ;DEADTIME
                                BCF          S4
;S1
                                CALL        NOP13
                                GOTO        P_FW

```

```

;*****END FW1 STATE*****

```

```

;*****STOP CASE*****

```

```

STOP CASE

```

```

START_P_STOP      CLRF          PORTC
;Select loop ready
                                BSF          SD_READY_LOOP
                                CALL        DELAY_1START

```

```

; **STOP**STATE 1*****

```

```

P_STOP            MOVLW       B'00001010'
;S1,S3
                                MOVWF       PORTC
                                BCF          INTCON,T0IF
                                MOVLW       .38
                                MOVWF       TMR0
                                BTFSS      INTCON,T0IF
                                GOTO        $-1
                                NOP
                                NOP

```

```

; **STOP**STATE 2*****

```

```

                                CLRF          PORTC
                                BTFSC      SD_READY_CHECK
;Check switch ready
                                BCF          SD_READY_LOOP
;Clear select loop ready
                                BTFSC      SD_INC
;Check signal switch
                                GOTO        START_P_FW
;Goto INC case
                                CALL        NOP10

```

```

; **STOP**STATE 3*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                MOVLW          B'00010100'
;S2,S4
                                MOVWF          PORTC
                                BCF            INTCON,T0IF
                                MOVLW          .38
                                MOVWF          TMR0
                                BTFSS         INTCON,T0IF
                                GOTO           $-1
                                NOP
                                NOP

; **STOP** STATE 4*****
                                CLRF           PORTC
                                BTFSC         SD_READY_CHECK
;Check switch ready
                                BCF            SD_READY_LOOP
;Clear select loop ready
                                BTFSC         SD_DEC
;Check signal switch
                                GOTO           START_P_RW
;Goto DEC case
                                CALL          NOP8
                                GOTO           P_STOP
;*****END STOP STATE*****
;*****RW CASE*****
RW CASE
;*****
START_P_RW
                                CLRF           PORTC
                                MOVLW          .255
                                MOVWF          T_S2S3
                                MOVLW          .65
                                MOVWF          T_S1S3_S2S4
                                BSF            SD_READY_LOOP

                                CALL          DELAY_1START
;*****
; **RW** STATE 1*****
P_RW
                                BSF            S1
;S1,S3
                                BCF            INTCON,T0IF
                                MOVWF          T_S1S3_S2S4
                                MOVWF          TMR0
                                BTFSS         INTCON,T0IF
                                GOTO           $-1

; **RW** STATE 2*****
;DEADTIME

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;S3
BCF          S1

;Check switch ready
BTFSC       SD_READY_CHECK

;Clear select loop ready
BCF         SD_READY_LOOP

;Check signal switch
BTFSC       SD_INC

GOTO        DEC_T_S2S3
GOTO        NORMAL_ST2_RW

DEC_T_S2S3   MOVLW      .255
             SUBWF     T_S2S3,0
             BSF       SD_READY_LOOP
             SKPNZ
             GOTO      START_P_STOP
             INCF      T_S2S3,1
             INCF      T_S2S3,1
             INCF      T_S2S3,1
             DECF      T_S1S3_S2S4,1
             DECF      T_S1S3_S2S4,1
             DECF      T_S1S3_S2S4,1
             GOTO      DEC_T_S2S3_DELAY

NORMAL_ST2_RW CALL      NOP8
DEC_T_S2S3_DELAY NOP
; **RW**STATE 3*****
             BSF       S2
;S2,S3
             BCF      INTCON,T0IF
             MOVFW    T_S2S3
             MOVWF    TMR0
             BTFSS   INTCON,T0IF
             GOTO    $-1

; **RW**STATE 4*****
;DEADTIME
             BCF      S3
;S2
             BTFSC   SD_READY_CHECK
;Check switch ready
             BCF     SD_READY_LOOP
;Clear select loop ready
             BTFSC   SD_DEC
;Check signal switch
             GOTO    INC_T_S2S3
             GOTO    NORMAL_ST4_RW

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INC_T_S2S3                MOVLW        .254
                            SUBWF        T_S1S3_S2S4,0
                            BSF          SD_READY_LOOP

                            SKPNZ
                            GOTO         MAX_T_S2S3
                            DECF         T_S2S3,1
                            DECF         T_S2S3,1
                            DECF         T_S2S3,1
                            INCF         T_S1S3_S2S4,1
                            INCF         T_S1S3_S2S4,1
                            INCF         T_S1S3_S2S4,1
                            GOTO         INC_T_S2S3_DELAY

NORMAL_ST4_RW             CALL          NOP1
MAX_T_S2S3                CALL          NOP3
INC_T_S2S3_DELAY         NOP
; **RW**STATE 5*****
                            BSF          S4
                            BCF          S4
                            MOVFW       T_S1S3_S2S4
                            MOVWF       TMR0
                            BTFSS       INTCON,T0IF
                            GOTO         $-1
; **RW**STATE 6*****
                            BCF          S4
                            CALL         NOP15
; **RW**STATE 7*****
                            BSF          S3
                            BCF          INTCON,T0IF
                            MOVFW       T_S2S3
                            MOVWF       TMR0
                            BTFSS       INTCON,T0IF
                            GOTO         $-1
; **RW**STATE 8*****
                            BCF          S2
                            CALL         NOP13
                            GOTO         P_RW
; *****END RW STATE*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****
*****
*****SUB ROUTINE*****
*****

```

```

DELAY_1START      BCF          INTCON,T0IF
                   MOVFW      .255
                   MOVWF      TMR0
                   BTFSS      INTCON,T0IF
                   GOTO       $-1

                   RETURN

```

```

NOP15      NOP
NOP14      NOP
NOP13      NOP
NOP12      NOP
NOP11      NOP
NOP10      NOP
NOP9       NOP
NOP8       NOP
NOP7       NOP
NOP6       NOP
NOP5       NOP
NOP4       NOP
NOP3       NOP
NOP2       NOP
NOP1       RETURN

```

END





GBPC 40, 50 SERIES

High Current 40, 50 AMPS Single Phase Glass Passivated Bridge Rectifiers



Voltage Range
50 to 1000 Volts
Current
40, 50.0 Amperes

Features

- ◆ UL Recognized File # E-96005
- ◆ The plastic material used carries Underwriters Laboratory Flammability Recognition 94V-0
- ◆ Integrally molded heatsink provide very low thermal resistance for maximum heat dissipation
- ◆ Universal 4-way terminals; snap-on, wrap-around, solder or P.C. board mounting
- ◆ Surge overload ratings 400 amperes
- ◆ Terminals solderable per MIL-STD-202, Method 208
- ◆ Typical I_{FS} less than 0.2 uA
- ◆ High temperature soldering guaranteed: 260°C/ 10 seconds / .375" (9.5mm) lead lengths
- ◆ Isolated voltage from case to lead over 2500 volts

GBPC40

GBPC40-M



Dimensions in inches and (millimeters)

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	-005	-01	-02	-04	-06	-08	-10	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current @ $T_c = 55^\circ\text{C}$	GBPC40		40.0					A
	GBPC50		50.0					
Peak Forward Surge Current, Single Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)	GBPC40		400					A
	GBPC50		400					
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop Per Element at Specified Current	GBPC40 @20A		1.1					V
	GBPC50 @25A		1.1					
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage Per Element			10					uA
Typical Thermal Resistance (Note 1) R _{θJC}			1.5					°C/W
Operating and Storage Temperature Range T_j, T_s			-60 to +150					°C

Notes: 1. Thermal Resistance from Junction to Case.

2. Suffix "M" - Terminal Location Face to Face.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (GBPC40005 THRU GBPC4010)
GBPC50005 THRU GBPC5010

FIG 1- MAXIMUM FORWARD CURRENT DERATING CURVE

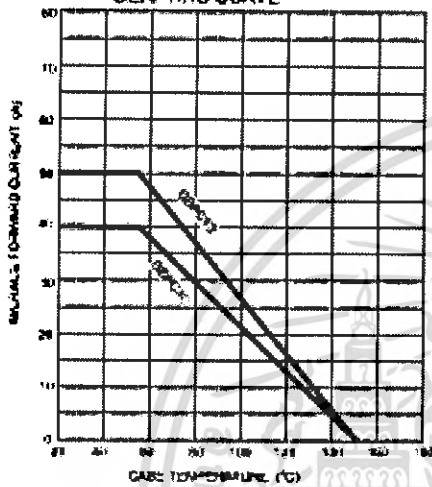


FIG 2- MAXIMUM NONREPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

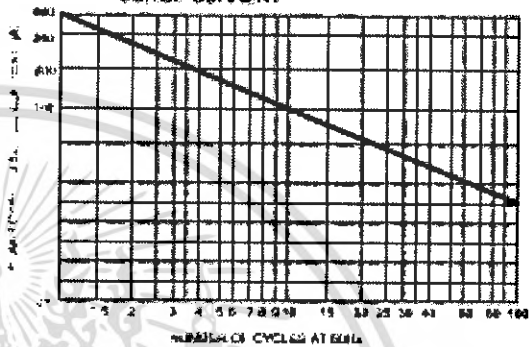


FIG 3- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

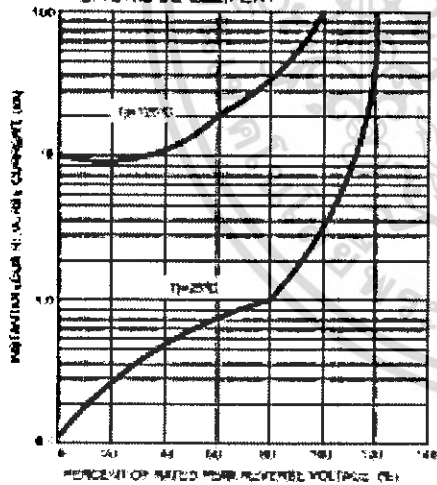
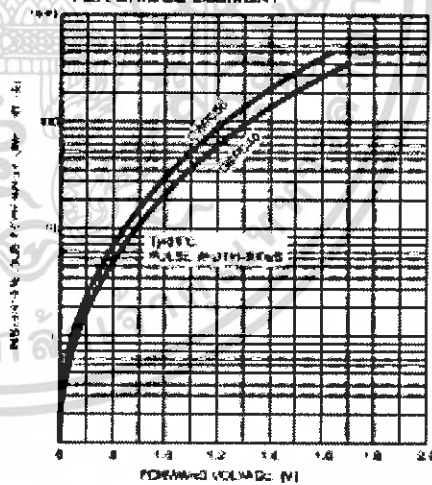


FIG 4- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT



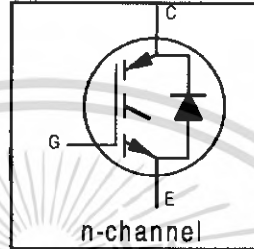
IRG4PH50KD

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR WITH
ULTRAFAST SOFT RECOVERY DIODE

Short Circuit Rated
UltraFast IGBT

Features

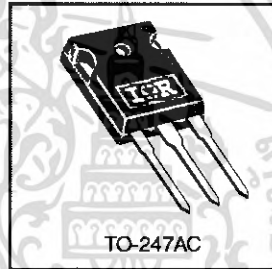
- High short circuit rating optimized for motor control, $t_{sc} = 10\mu s$, $V_{CC} = 720V$, $T_J = 125^\circ C$, $V_{GE} = 15V$
- Combines low conduction losses with high switching speed
- Tighter parameter distribution and higher efficiency than previous generations
- IGBT co-packaged with HEXFRED™ ultrafast, ultrasoft recovery antiparallel diodes



$V_{CES} = 1200V$
$V_{CE(on)} \text{ typ.} = 2.77V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 24A$

Benefits

- Latest generation 4 IGBT's offer highest power density motor controls possible
- HEXFRED™ diodes optimized for performance with IGBTs. Minimized recovery characteristics reduce noise, EMI and switching losses
- This part replaces the IRGPH50KD2 and IRGPH50MD2 products
- For hints see design tip 97003



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter 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 ①	90	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current ②	90	
$I_F @ T_C = 100^\circ C$	Diode Continuous Forward Current	16	
I_{FM}	Diode Maximum Forward Current	90	μs
t_{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	200	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	78	
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 Screw.	10 lbf•in (1.1 N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case - IGBT	—	—	0.64	$^\circ C/W$
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case - Diode	—	—	0.83	
$R_{\theta CS}$	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)

IRG4PH50KD

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 ^①	1200	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	—	0.91	—	V/°C	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$
$V_{CE(on)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	2.77	3.5	V	$I_C = 24A, V_{GE} = 15V$ $I_C = 45A, V_{GE} = 15V$ $I_C = 24A, T_J = 150^\circ\text{C}$ See Fig. 2, 5
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	6.0	V	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Threshold Voltage	—	-10	—	mV/°C	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
g_{fe}	Forward Transconductance ^②	13	19	—	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 24A$
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V$ $V_{GE} = 0V, V_{CE} = 1200V, T_J = 150^\circ\text{C}$
V_{FM}	Diode Forward Voltage Drop	—	2.5	3.5	V	$I_C = 16A, V_{GE} = 15V$ $I_C = 16A, T_J = 150^\circ\text{C}$ See Fig. 13
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)	—	180	270	nC	$I_C = 24A$ See Fig. 8
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	—	25	38	nC	$V_{CC} = 400V, V_{GE} = 15V$
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	—	70	110	nC	
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	87	—	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $I_C = 24A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
t_r	Rise Time	—	100	—	ns	
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	140	300	ns	
t_f	Fall Time	—	200	300	ns	
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	3.83	—	mJ	Energy losses include "tail" and diode reverse recovery
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	1.90	—	mJ	See Fig. 9, 10, 18
E_{TS}	Total Switching Loss	—	5.73	7.9	mJ	
t_{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	—	—	μs	$V_{CC} = 720V, T_J = 125^\circ\text{C}$ $V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	67	—	ns	$T_J = 150^\circ\text{C}$, See Fig. 10, 11, 18
t_r	Rise Time	—	72	—	ns	$I_C = 24A, V_{CC} = 800V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 5.0\Omega$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	310	—	ns	Energy losses include "tail" and diode reverse recovery
t_f	Fall Time	—	390	—	ns	
E_{TS}	Total Switching Loss	—	8.36	—	mJ	
L_E	Internal Emitter Inductance	—	13	—	nH	Measured 5mm from package
C_{ies}	Input Capacitance	—	2800	—	pF	$V_{GE} = 0V$
C_{oes}	Output Capacitance	—	140	—	pF	$V_{CC} = 30V$ See Fig. 7
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	53	—	pF	$f = 1.0MHz$
t_{rr}	Diode Reverse Recovery Time	—	90	135	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 14 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 14
I_{rr}	Diode Peak Reverse Recovery Current	—	5.8	10	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 15 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 15
Q_{rr}	Diode Reverse Recovery Charge	—	260	675	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 16 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 16
$di_{(rec)}/dt$	Diode Peak Rate of Fall of Recovery During t_b	—	120	—	A/ μs	$T_J = 25^\circ\text{C}$ See Fig. 17 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 17

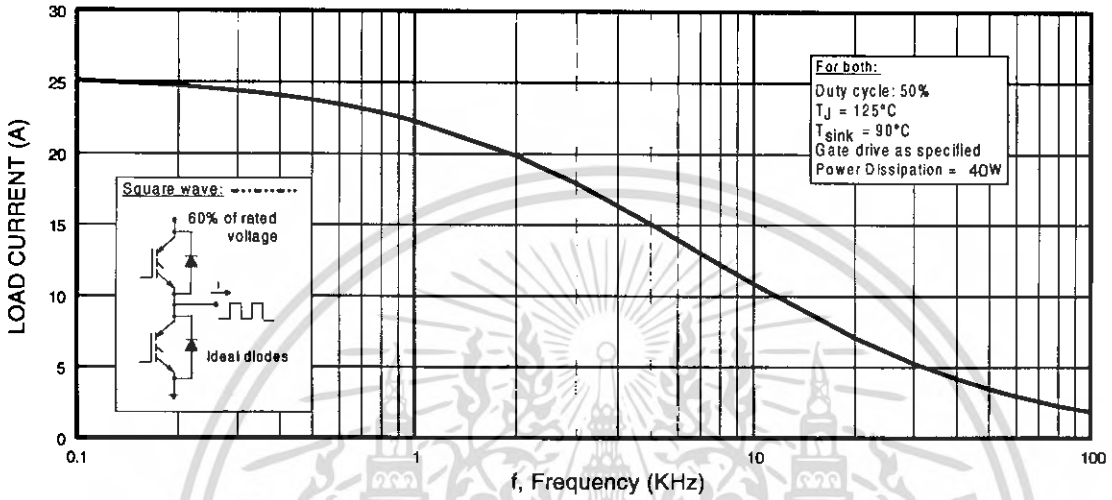


Fig. 1 - Typical Load Current vs. Frequency
 (Load Current = I_{RMS} of fundamental)

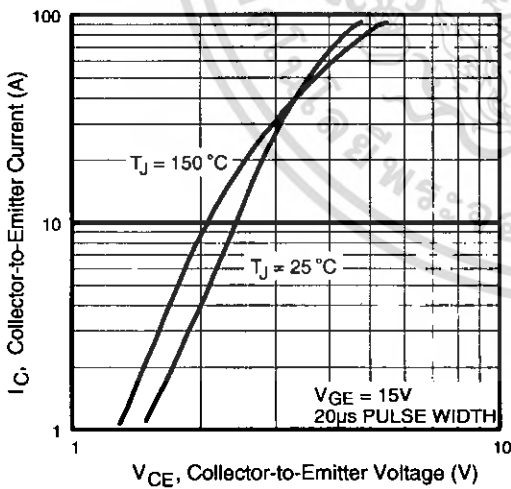


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

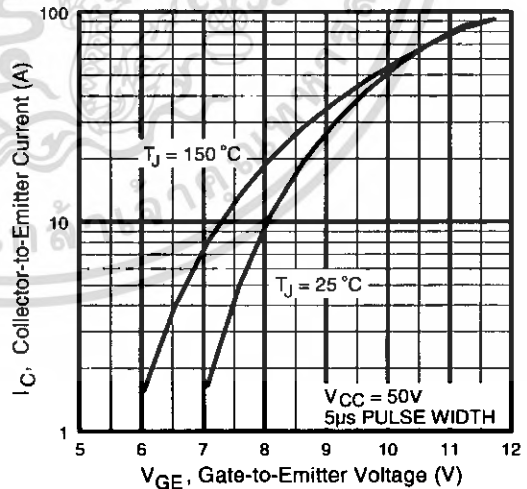


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

IRG4PH50KD

International
IR Rectifier

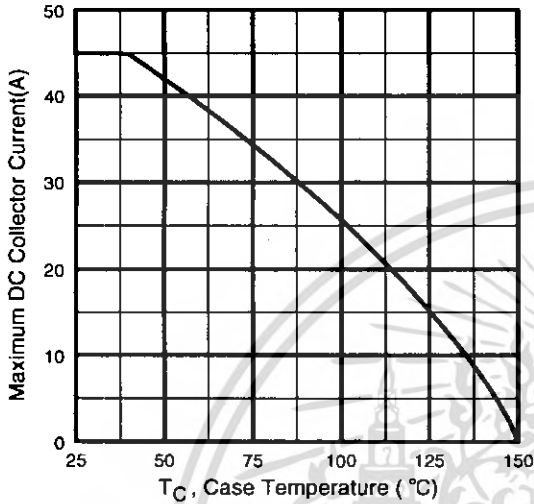


Fig. 4 - Maximum Collector Current vs. Case Temperature

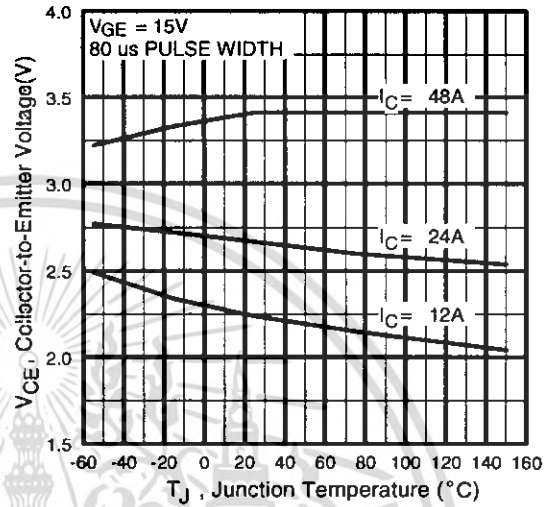


Fig. 5 - Typical Collector-to-Emitter Voltage vs. Junction Temperature

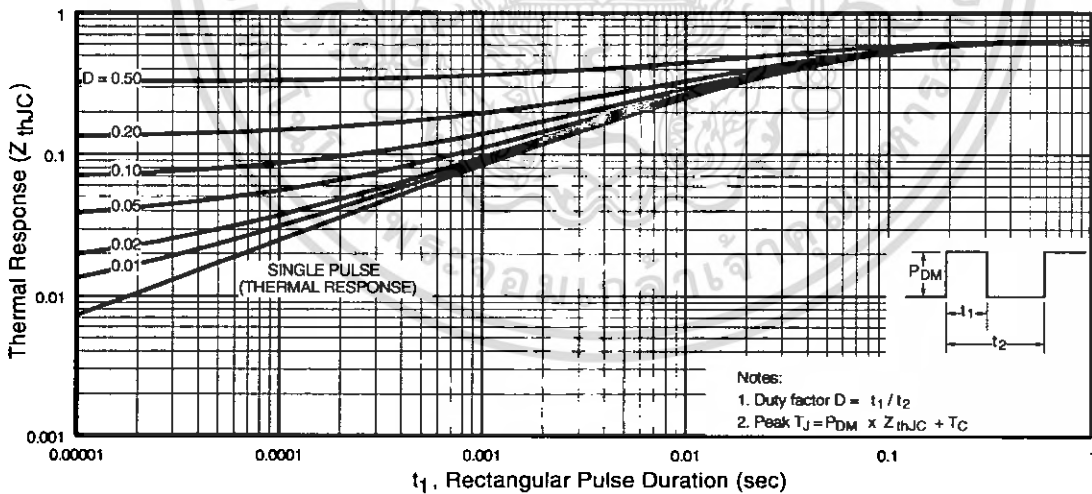


Fig. 6 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

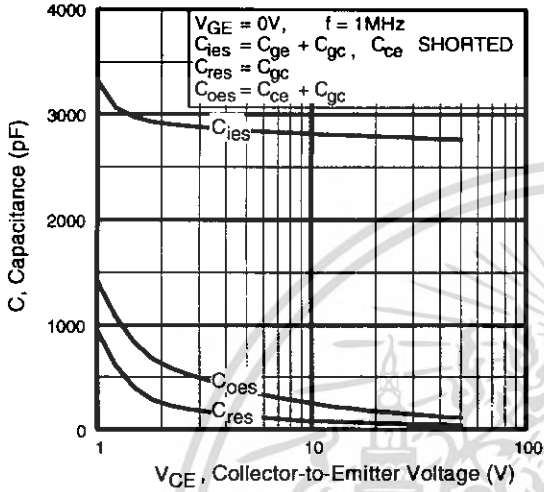


Fig. 7 - Typical Capacitance vs. Collector-to-Emitter Voltage

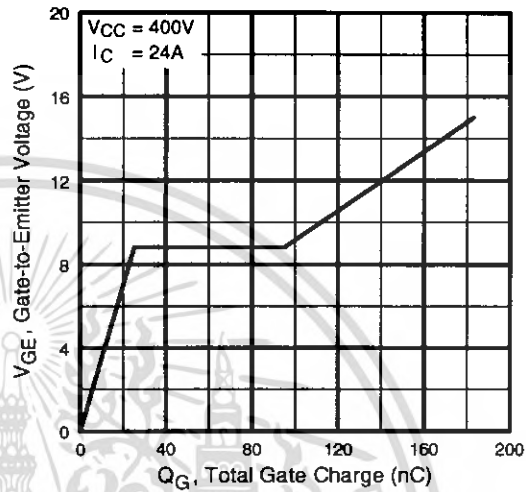


Fig. 8 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Emitter Voltage

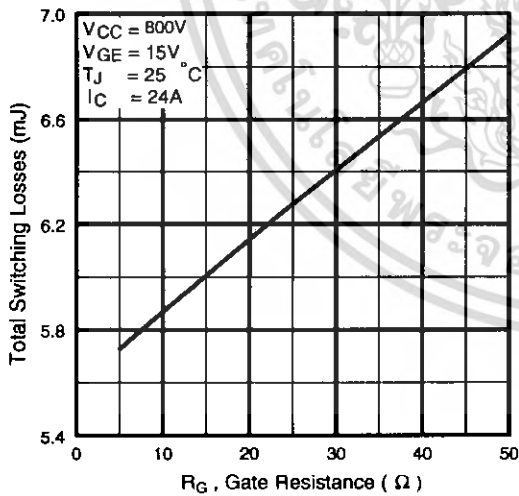


Fig. 9 - Typical Switching Losses vs. Gate Resistance

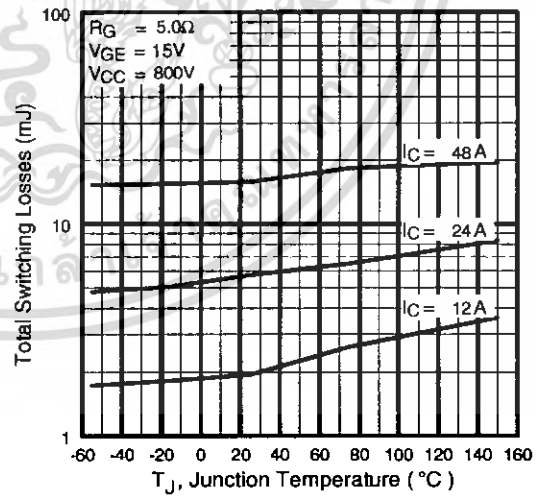


Fig. 10 - Typical Switching Losses vs. Junction Temperature

IRG4PH50KD

International
IR Rectifier

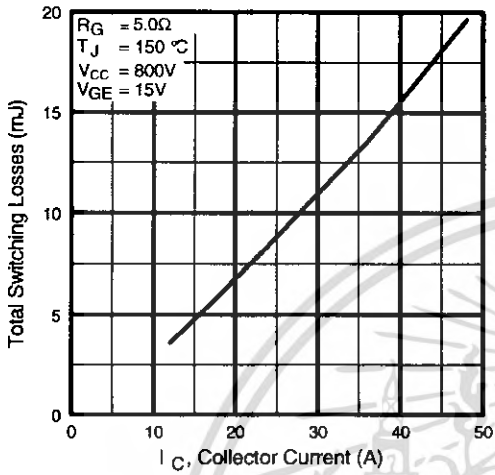


Fig. 11 - Typical Switching Losses vs. Collector Current

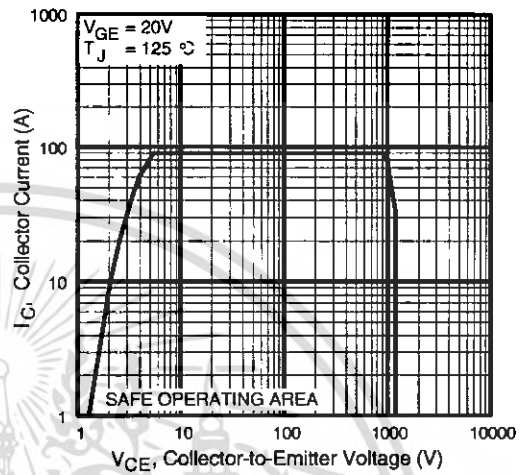


Fig. 12 - Turn-Off SOA

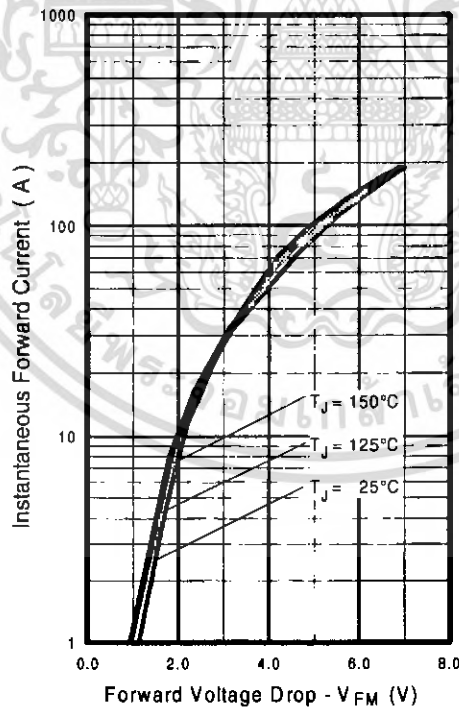


Fig. 13 - Typical Forward Voltage Drop vs. Instantaneous Forward Current

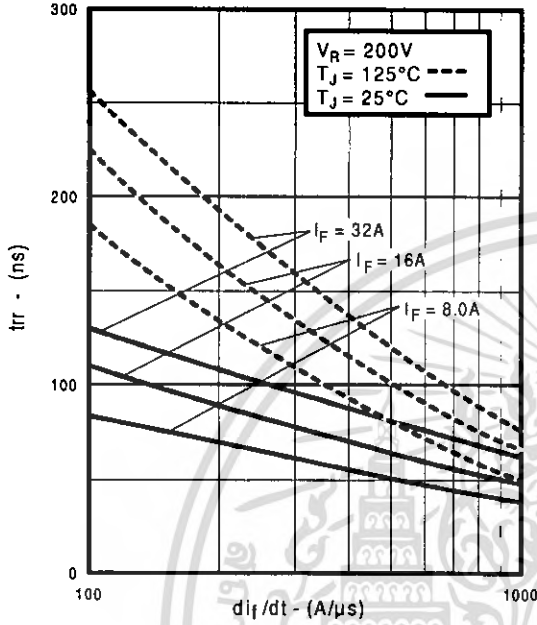


Fig. 14 - Typical Reverse Recovery vs. di/dt

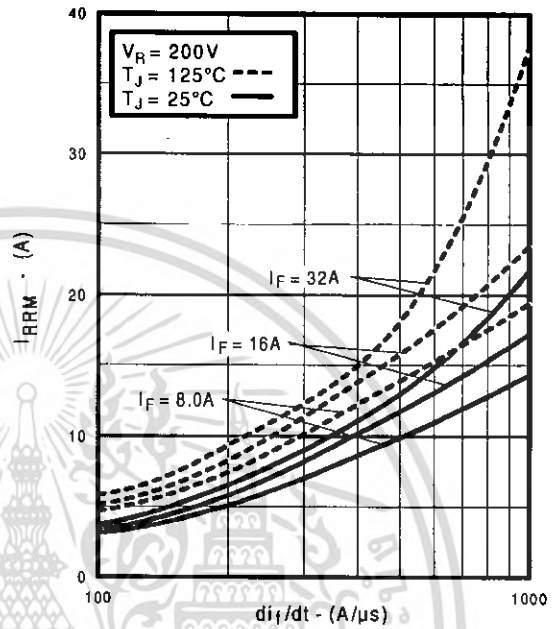


Fig. 15 - Typical Recovery Current vs. di/dt

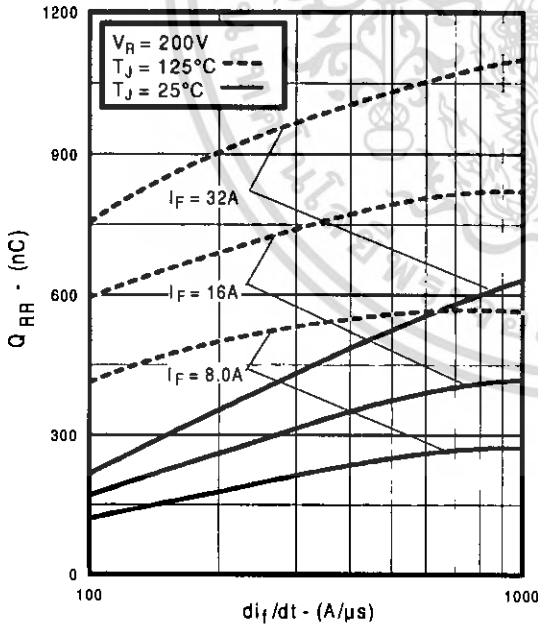


Fig. 16 - Typical Stored Charge vs. di/dt

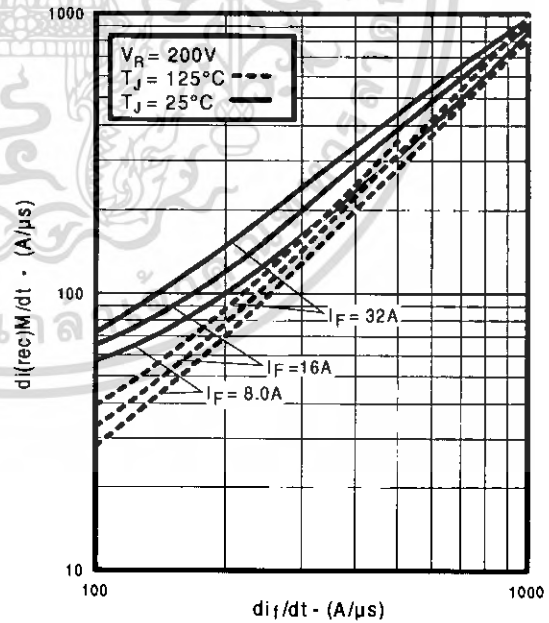


Fig. 17 - Typical $di_{(rec)M}/dt$ vs. di/dt

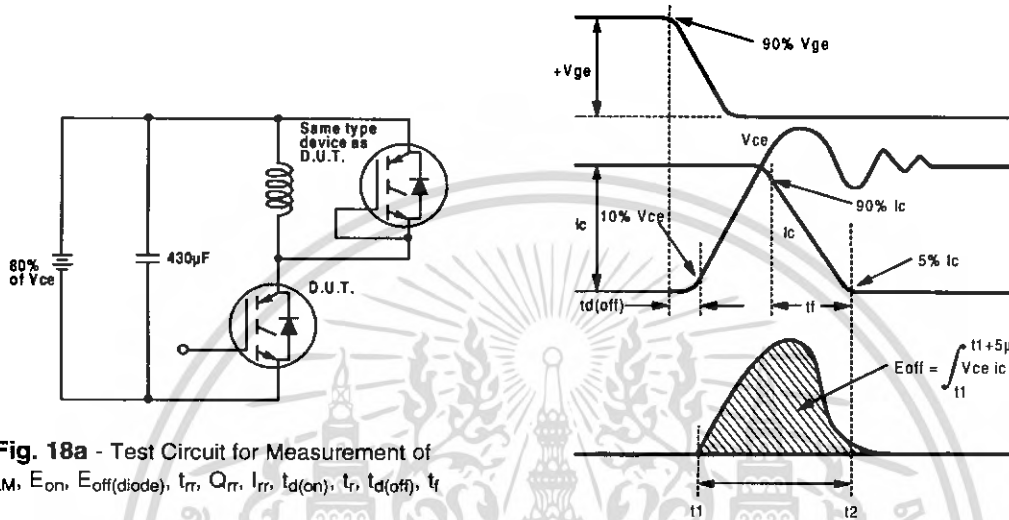


Fig. 18a - Test Circuit for Measurement of I_{LM} , E_{on} , $E_{off}(\text{diode})$, t_{rr} , Q_{rr} , I_{rr} , $t_d(\text{on})$, t_r , $t_d(\text{off})$, t_f

Fig. 18b - Test Waveforms for Circuit of Fig. 18a, Defining E_{off} , $t_d(\text{off})$, t_f

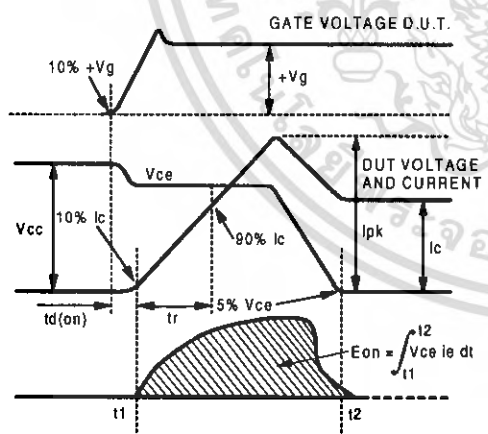


Fig. 18c - Test Waveforms for Circuit of Fig. 18a, Defining E_{on} , $t_d(\text{on})$, t_r

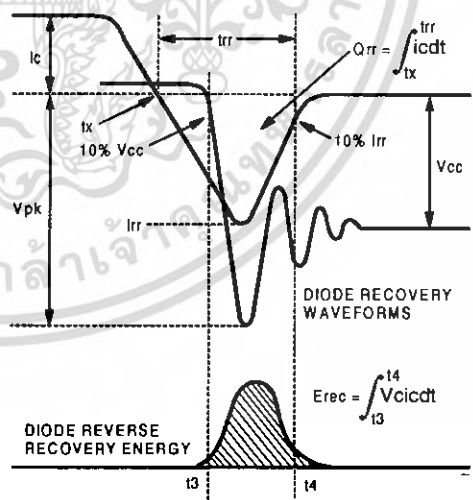


Fig. 18d - Test Waveforms for Circuit of Fig. 18a, Defining E_{rec} , t_{rr} , Q_{rr} , I_{rr}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

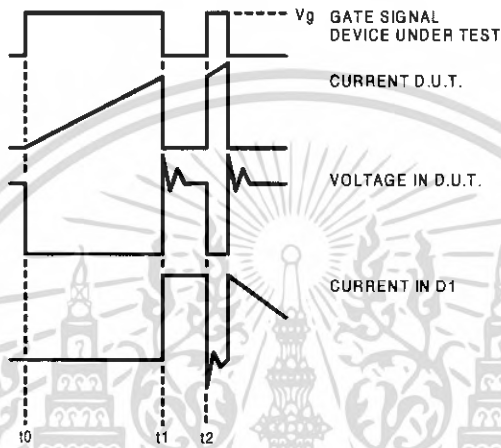


Figure 18e. Macro Waveforms for Figure 18a's Test Circuit

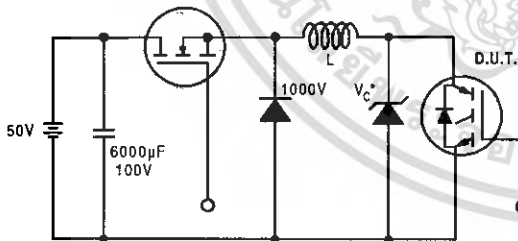


Figure 19. Clamped Inductive Load Test Circuit

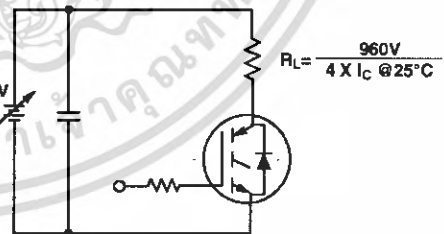


Figure 20. Pulsed Collector Current Test Circuit

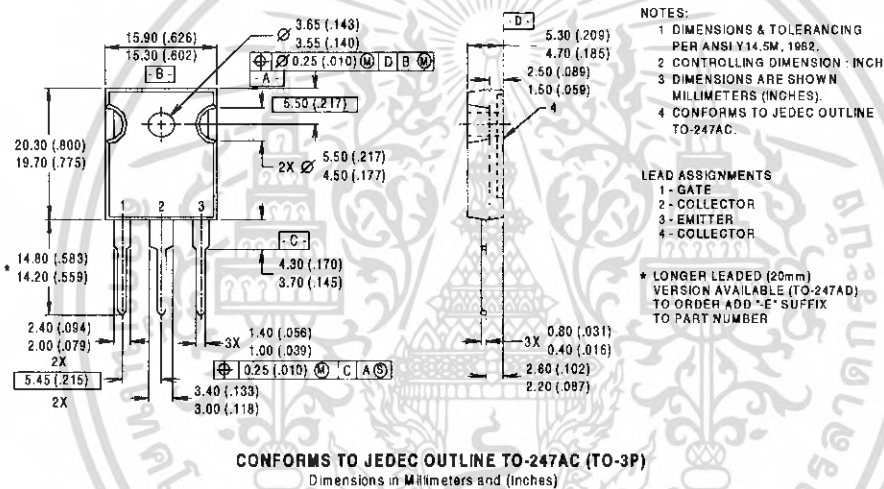
IRG4PH50KD

International
IR Rectifier

Notes:

- ① Repetitive rating: $V_{GE}=20V$; pulse width limited by maximum junction temperature (figure 20)
- ② $V_{CC}=80\%(V_{CES})$, $V_{GE}=20V$, $L=10\mu H$, $R_G=5.0\Omega$ (figure 19)
- ③ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.
- ④ Pulse width $5.0\mu s$, single shot.

Case Outline — TO-247AC



International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
IR EUROPEAN REGIONAL CENTRE: 439/445 Godstone Rd, Whyteleafe, Surrey CR3 0BL, UK Tel: ++ 44 (0)20 8645 8000
IR CANADA: 15 Lincoln Court, Brampton, Ontario L6T3Z2, Tel: (905) 453 2200
IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 (0) 6172 96590
IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 011 451 0111
IR JAPAN: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo 171 Tel: 81 (0)3 3983 0086
IR SOUTHEAST ASIA: 1 Kim Seng Promenade, Great World City West Tower, 13-11, Singapore 237994 Tel: ++ 65 (0)838 4630
IR TAIWAN: 16 Fl. Suite D. 207, Sec. 2, Tun Haw South Road, Taipei, 10673 Tel: 886-(0)2 2377 9936
Data and specifications subject to change without notice. 7/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้