

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนท์
โดยใช้ไทรสเตอร์คอนเวอร์เตอร์ร่วมกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์
A 4 QUADRANT DC MOTOR DRIVES USING A THYRISTOR
CONVERTER WITH MAGNETIC CONTACTORS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72936
วันเดือนปี... 2.6.55

b ๑๑๖๖๕๑๒๗
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนท์
โดยใช้ไทรสเตอร์คอนเวอร์เตอร์ร่วมกับแมกเนติกคอนแทคเตอร์
A 4 QUADRANT DC MOTOR DRIVES USING A THYRISTOR
CONVERTER WITH MAGNETIC CONTACTORS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร วิจิตร กิณเรศ
อ.ชัยทัต มณีอินทร์
อ.เฉลิมชาติ มานพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์โดยใช้
ไทรสเตอร์คอนเวอร์เตอร์ร่วมกับแมคเนติกคอนแทคเตอร์

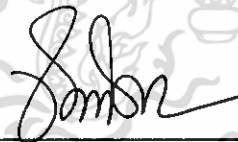
ผู้จัดทำ

- | | |
|----------------------------|----------|
| 1. นาย จักรไชย ปุยะโท | 47015085 |
| 2. นาย ไชยุดิน ยามา | 47015087 |
| 3. นาย ณรงค์ เอี่ยมสำอางค์ | 47015127 |



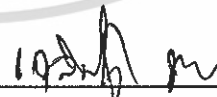
อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. ชัยทัต มณีอินทร์)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. เฉลิมชาติ มานพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนท์ โดยใช้ไทรสเตอร์คอนเวอร์เตอร์ร่วมกับแมคเนติกคอนแทคเตอร์

นาย ฉัตรไชย ปุยะโท

นาย ไชยรัตน์ ยามา

นาย ณรงค์ เอี่ยมสำอางค์

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนท์โดยใช้เทคนิคแมคเนติกคอนแทคเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วโดยการปรับมุมจุดชนวนชุด SCR และสามารถควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ได้เมื่อมีโหลดโดยอาศัยชุดตรวจจับความเร็วเอ็นโค้ดเดอร์ ในส่วนวงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Pic เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งระบบและทำการเบรคมอเตอร์โดยใช้การเบรคแบบ Plugging

A 4 QUADRANT DC MOTOR DRIVES USING A THYRISTOR CONNECTER WITH MAGNETIC CONTACTORS

Chatchai Puyato

Narong Aremsamang

Sainudeen Yama

Assoc. Prof .Dr vijit ginnares Advisor

Chaitat manee-in Advisor

Chalermchat Manop Advisor

2006

ABSTRACT

This project presents a 4-quadrant dc motor drive using a thyristor convertor with magnetic contactors which is capable of controlling speed by varying trigger angle of thyristors and the motor is kept constant under load conditions through encoder speed transducer for closed loop speed control. A Microcontroller Pic in use to control the whole system. motor breaking in plugging technique.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor).....	3
2.1.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	3
2.1.2 สมการหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	9
2.1.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	12
2.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก.....	12
2.1.5 การเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
บทที่ 3 หลักการทำงานและการควบคุมความเร็ว แบบ 4 ควอดแรนต์.....	15
โดยใช้เทคนิคแมคเนติกคอนแทคเตอร์	
3.1 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	15
บทที่ 4 เอสซีอาร์.....	17
4.1 ลักษณะคุณสมบัติ.....	17
4.2 แบบทดลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว.....	19
4.3 การนำกระแสของเอสซีอาร์.....	22
4.4 การป้องกัน dv/dt	22
4.5 การป้องกัน di/dt	24

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	บล็อกไดอะแกรมของโครงการ.....2
2.1	โครงมอเตอร์.....3
2.2	ขั้วแม่เหล็ก.....3
2.3	ขดลวดสนามแม่เหล็ก.....5
2.4	การตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์.....5
2.5	แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน.....6
2.6	แกนเหล็กอาร์เมเจอร์.....6
2.7	ขดลวดอาร์เมเจอร์.....7
2.8	ลักษณะของคอมมิวเตเตอร์.....7
2.9	รูปตัดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....8
2.10	ส่วนต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....8
3.1	ทิศทางการแสอาร์เมเจอร์และการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 1 และ 3.....15
3.2	ทิศทางการแสอาร์เมเจอร์และการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 2 และ 4.....16
3.3	แสดงควอดแดรนต์การทำงาน.....16
4.1	แสดงสัญลักษณ์และรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามของเอสซีอาร์.....17
4.2	แสดงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์.....18
4.3	แสดงแบบจำลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว.....19
4.4	แสดงรูปแบบของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในช่วง.....21
4.5	ผลของกระแสเกตต่อแรงดันบล็อกกิงไบแอสตรง.....21
4.6	แสดงรูปวงจรป้องกัน dv/dt ด้วยสแน็บเบอร์.....23
4.7	วงจรสับไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำจำกัดค่า di/dt24
5.1	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4-Quadrant.....25
5.2	แสดงวงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดกระตุ้น.....27
5.3	บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....28
5.4	บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....29
5.5	บล็อกของระบบควบคุมพีไอ.....30
6.1	วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง +5และ+15.....31
6.2	วงจร ZERO COSSZING.....32
6.3	แสดงชุดขั้วขาเกตของ SCR.....33
7.1	แสดงวงจรการ simulation ในโปรแกรม matlab.....34
7.2	แสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันinput,แรงดัน output,กระแส armature.....35
7.3	แสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันinput,แรงดัน output,กระแส armature.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
8.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
8.2 แสดงส่วนประกอบหลักของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	37
8.3 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ตใน PIC18F458.....	38
9.1 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_a	42
9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์.....	42
9.3 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_f	43
9.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสฟิลด์.....	44
9.5 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขนะไ้ภาระ.....	45
9.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันที่ป้อนเข้า.....	45
9.7 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	46
9.8 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 1 เทียบกับตัวที่ 6.....	46
9.9 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 2 เทียบกับตัวที่ 4.....	47
9.10 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 3 เทียบกับตัวที่ 5.....	47
9.11 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 4 เทียบกับตัวที่ 3.....	48
9.12 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 5 เทียบกับตัวที่ 1.....	48
9.13 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 6 เทียบกับตัวที่ 2.....	49
9.14 ภาพขยายสัญญาณขับ SCR (Pulse Tran).....	49
9.15 สัญญาณเอาต์พุตที่มุมจุดฉนวน 0 องศา.....	50
9.16 สัญญาณเอาต์พุตที่มุมจุดฉนวน 30 องศา.....	50
9.17 สัญญาณเอาต์พุตที่มุมจุดฉนวน 45 องศา.....	51
9.18 สัญญาณเอาต์พุตที่มุมจุดฉนวน 90 องศา.....	51
9.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(500rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	52
9.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(600rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	53
9.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(800rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	54
9.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(1000rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	54
9.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(1100rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	55
9.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(1200rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	56
9.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(500rpm)ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	57
9.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(800rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	57
9.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(1000rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	58
9.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(1200rpm) ต่อค่ากระแสอาร์เมเจอร์.....	59
9.29 แรงดันเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุตในควอดแรนต์ที่ 1.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
9.30 แรงดันเอาต์พุทและกระแสเอาต์พุทในควอดแดรนต์ที่ 2	60
9.31 แรงดันเอาต์พุทและกระแสเอาต์พุทในควอดแดรนต์ที่ 3	61
9.32 แรงดันเอาต์พุทและกระแสเอาต์พุทในควอดแดรนต์ที่ 4	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
การทดลองหาค่า R_a , R_f โดยวิธี V-I Method	
9.1 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์.....	42
9.2 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสฟิลด์.....	43
9.3 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบๆ.....	45
การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบรูปเปิดที่โหลดค่าต่างๆ	
9.4 ผลการทดลองที่ความเร็ว 500 rpm.....	52
9.5 ผลการทดลองที่ความเร็ว 600 rpm.....	53
9.6 ผลการทดลองที่ความเร็ว 800 rpm.....	54
9.7 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1000 rpm.....	54
9.8 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1100 rpm.....	55
9.9 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1200 rpm.....	56
การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบรูปปิดที่โหลดค่าต่างๆ	
9.10 ผลการทดลองที่ความเร็ว 500 rpm.....	57
9.11 ผลการทดลองที่ความเร็ว 800 rpm.....	57
9.12 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1000 rpm.....	58
9.13 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1200 rpm.....	59

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและจุดเริ่มต้น

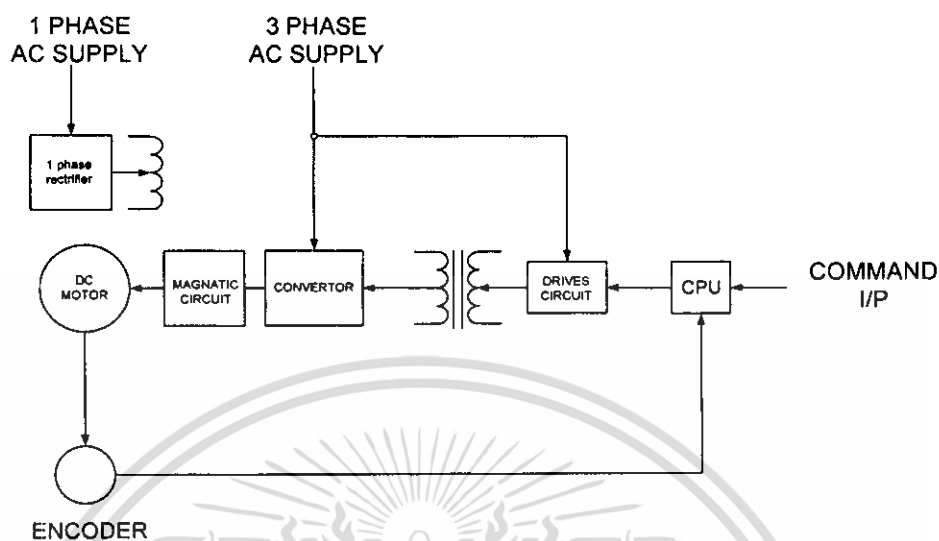
การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในยุคแรกๆ ได้มีการใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีการต่อวงจรที่ยุ่งยากและมีขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีผู้คิดค้นพบอุปกรณ์ Power Electronic เข้ามาควบคุมทำให้มีขนาดลดลงและมีความยุ่งยากในการต่อใช้งานลดลง โดยการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโครงงานนี้จะเป็นแนวทางในการประยุกต์และเป็นแนวทางในการศึกษามอเตอร์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีการควบคุมความเร็วหรือตำแหน่งได้ง่าย ความซับซ้อนในการต่อวงจรน้อยกว่า การควบคุมความเร็วทำได้ในช่วงกว้างโดยการศึกษาถึงการควบคุมความเร็วของชุด Convertor ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วตลอดจนสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมชุด Convertor ด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
3. เพื่อศึกษาหลักการป้อนกลับของสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. เพื่อศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. เพื่อเป็นการศึกษาและเป็นต้นแบบชิ้นงานก่อนนำไปพัฒนาจริง
6. เพื่อเป็นการศึกษาขั้นตอนหรือเป็นต้นแบบก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง
7. เพื่อพัฒนาแนวคิดและพัฒนาตัวเองของคณะผู้จัดทำ และนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

ขอบเขตของโครงการ

โครงงานนี้จะแบ่งเป็นส่วนประกอบอยู่สองส่วนคือ ส่วนของวงจรกำลังและส่วนของวงจรควบคุม ส่วนของวงจรกำลังจะใช้วงจร 3 เฟสฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ใช้ไทรสเตอร์ในการปรับศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในส่วนของการควบคุมจะใส่สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F458 และมีการจำลองระบบด้วยส่วนของ Simulink บนโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

บล็อกไดอะแกรมของโครงการสามารถแบ่งการทำงานของส่วนต่างๆ ในโครงการได้สองส่วนหลักๆ

1. ส่วนชุด Convertor เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ SCR ทำหน้าที่ในการเป็นชุดแปลงกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์
2. ส่วนควบคุม เป็นส่วนที่สร้างสัญญาณเพื่อควบคุมชุด Convertor ส่วน Feedback ทำหน้าที่วัดความเร็วรอบขณะนั้นมาควบคุมเพื่อส่งไปประมวลผลในชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการควบคุมให้ได้ผลตามที่เราต้องการ

บทที่ 10

สรุปผลและวิจารณ์

จากการทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนท์ และทำการจำลองการทดสอบมอเตอร์สามารถสรุปแนวทางการทำงาน ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนาได้ดังนี้

10.1 สรุปผลการทดลอง

1. ในการพัฒนาการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในงานอุตสาหกรรมที่มีพิกัดกำลังสูงๆสามารถนำ SCR มาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ได้ โดยการควบคุมสามารถควบคุมความเร็วได้ตามต้องการจากการปรับมุมจุดชนวนจากชุดกำลังโดยมีการ Close loop speed เพื่อรักษาแรงดันให้คงที่เมื่อมีการขับโหลด

2. จากการศึกษาการจำลองการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้โปรแกรม Matlab ทำให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมการทำงานของมอเตอร์ได้ และสามารถที่จะนำข้อมูลไปช่วยในการออกแบบวงจรการทดลองจริงได้

3. ในการออกแบบวงจรการทดลองนี้ศึกษาและพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางให้สามารถที่จะออกแบบและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีพิกัดกำลังที่สูงกว่าและขนาดที่ใหญ่กว่าได้

10.2 ปัญหาที่พบในโครงการ

1. ข้อมูลและทฤษฎีของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิคแมคเนติกมีข้อมูลค่อนข้างน้อยเนื่องจากไม่เป็นที่นิยมในงานอุตสาหกรรมจริงซึ่งต้องค้นคว้าจากการสอบถามตัวอาจารย์เองหรือไม่ก็นำข้อมูลจากโครงการที่ใกล้เคียงมาประยุกต์ใช้

2. เนื่องจากโครงการนี้มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองค่อนข้างเยอะแต่สถานที่ที่มีพื้นที่ที่จำกัดทำให้ประสบปัญหาเวลาที่จะทำการทดลองบางครั้งส่งผลให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์

3. เนื่องจากเป็นโครงการที่ต้องมีการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งบางครั้งมีข้อผิดพลาดในการทำ ทำให้เกิดการเสียหายของอุปกรณ์และส่งผลกระทบต่อความล่าช้า

4. เป็นโครงการที่มีต้นทุนค่อนข้างสูงทำให้บางครั้งงานต้องหยุดเพราะขาดทุนที่จะดำเนินงานต่อส่งผลให้เกิดความล่าช้าของงาน

บทที่ 2

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการขับเคลื่อนในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถให้แรงบิดออกตัว (starting torque) ที่สูง และนอกจากนั้นยังสามารถควบคุมอัตราเร็วในย่านที่กว้างอีกด้วย วิธีควบคุมอัตราเร็วก็เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายและมีการควบคุมซับซ้อนน้อยกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ อย่างไรก็ตามมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอาจจะไม่เหมาะกับการใช้งานที่อัตราเร็วสูงมาก ๆ ทั้งนี้เนื่องจากต้องมีการดูแลและบำรุงรักษาที่มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

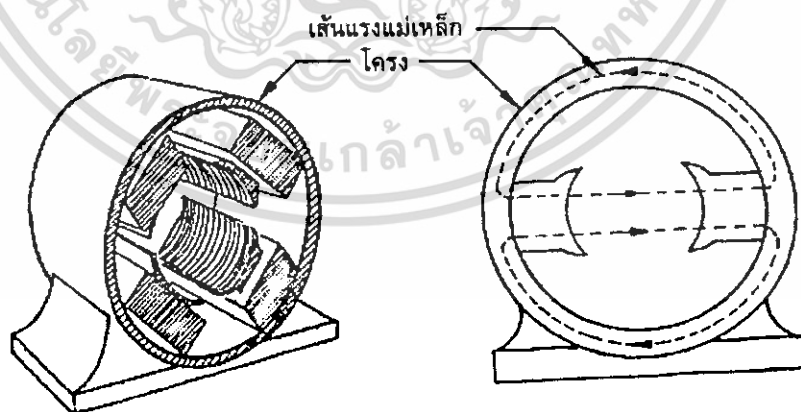
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โดยโครงสร้างจะมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ อยู่ 2 ส่วน คือส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่

2.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator Part) ประกอบด้วย

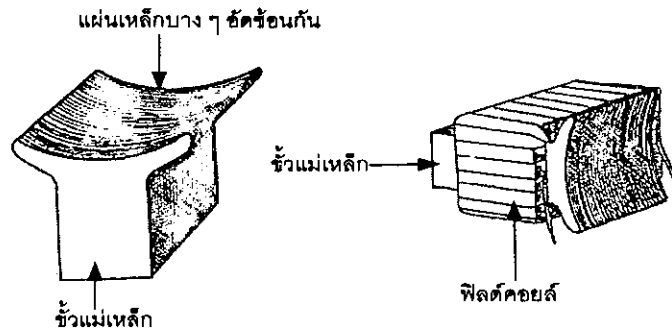
1) เปลือกหรือโครง (Frame or York) ทำมาจากเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่คือ ยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมด เป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็ก

2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ (Laminate Sheet Steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกันโดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ขั้วแม่เหล็กจะยื่นออกมาจากโครงโดยขั้วแม่เหล็กนี้จะถูกยึดเข้ากับโครงด้วยสกรู



รูปที่ 2.1 แสดงรูปเปลือกหรือโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงรูปขั้วแม่เหล็ก

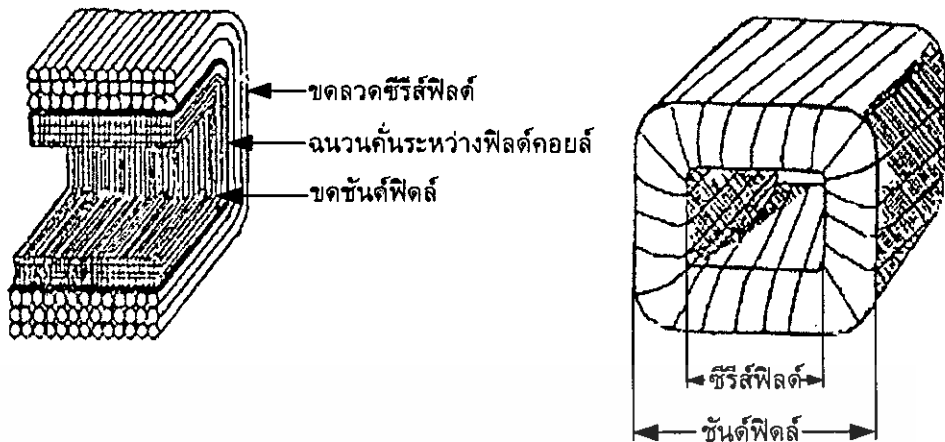
ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or field winding) หรือเรียกว่าขดลวดฟิลต์คอยล์ เป็นลวดตัวนำที่พันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันจากแบบภายนอก แล้วสวมเข้ากับขั้วแม่เหล็กซึ่งขั้วแม่เหล็กนั้นสามารถถอดออกได้ ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้จะต้องมีขนาดพอดีคือไม่แน่นหรือหลวมจนเกินไป เพราะถ้าแน่นจนเกินไปขณะประกอบอาจทำให้ขดลวดเกิดการรั่วลงดินได้ และในขณะเดียวกันถ้าหลวมจนเกินไปก็อาจทำให้เกิดการสั่นของขดลวดขณะใช้งาน และทำให้ปิดฝาครอบหัวท้ายไม่ได้อีกด้วย ขดลวดสนามแม่เหล็กทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดฟิลต์คอยล์มี 2 ชนิดคือ

ขดลวดชันฟิลต์ (shunt field or shunt winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยขดลวดเล็ก ดังนั้นความต้านทานจะสูง

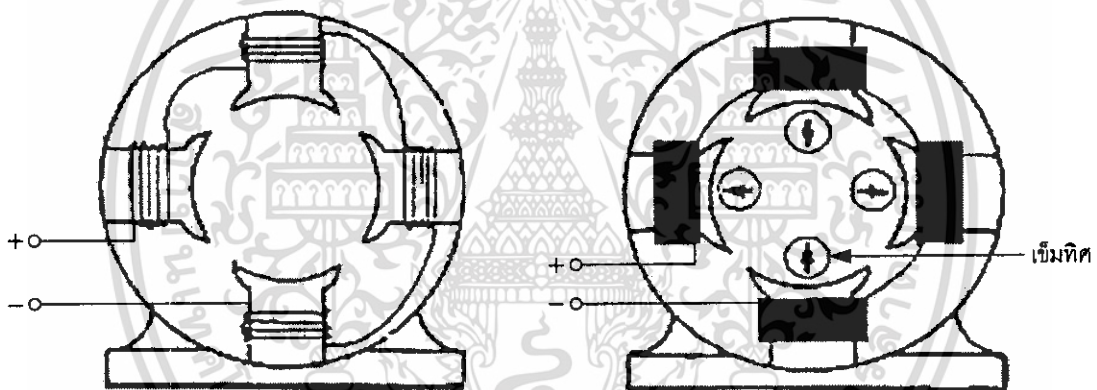
ขดลวดซีรีส์ฟิลต์ (series field or series winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยลวดเส้นใหญ่ ดังนั้นจึงมีความต้านทานต่ำ

ขดลวดทั้งสองชุดนี้พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกันโดยขดลวดชันฟิลต์จะพันอยู่ด้านในสุด ส่วนซีรีส์ฟิลต์จะพันไว้ด้านนอกสุดและจะมีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยจะต้องมีฉนวนคั่นระหว่างขดลวดชันฟิลต์กับขดลวดซีรีส์ฟิลต์ด้วย ขดลวดทั้งสองชุดนี้จะต้องพันในทิศทางเดียวกัน และขดลวดในแต่ละชุดนั้นจะต้องต่ออนุกรมเข้าด้วยกันระหว่างขั้วแม่เหล็กให้ถูกต้องด้วย เพราะจะทำให้ขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป

การตรวจสอบว่าการต่อถูกต้องหรือไม่นั้นเราสามารถตรวจสอบได้ด้วยการใช้เข็มทิศหรือใช้แท่งแม่เหล็กถาวรตรวจสอบ โดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฟิลต์คอยล์ และใช้เข็มทิศหรือแท่งแม่เหล็กถาวรสอดเข้าไปด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะต้องสลับกันไป เมื่อทำการตรวจสอบขดลวดชันฟิลต์ ก็ให้ทำการตรวจสอบขดซีรีส์ฟิลต์ในทำนองเดียวกัน และขั้วแม่เหล็กที่แสดงออกเนื่องจากขดซีรีส์ฟิลต์นั้นจะต้องเหมือนกันกับขั้วแม่เหล็กที่ได้จากขดชันฟิลต์



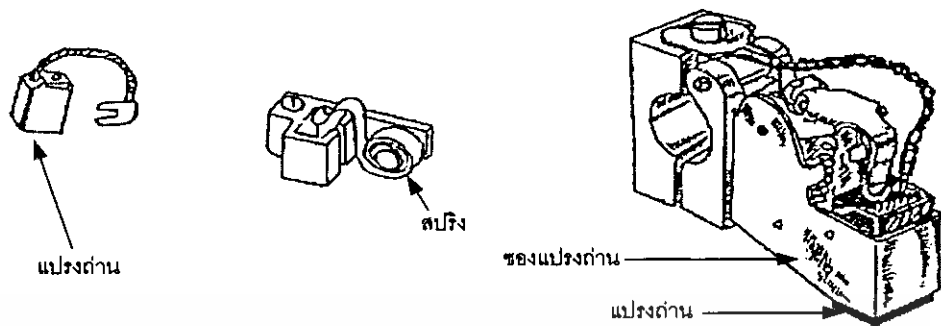
รูปที่ 2.3 แสดงรูปขดลวดสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.4 แสดงรูปการตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลต์คอยล์

แปรงถ่านและแบร็ริง (Brushes and bearing) แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรรภายนอก แปรงถ่านนี้จะทำมาจากคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่าน โดยที่ถ่านนี้จะมีขดลวดทองแดงถักติดอยู่ด้วยเพื่อต่อไฟออกไปใช้งาน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และช่องถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบ ส่วนแบร็ริงหรือลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุนและช่วยลดแรงเสียดทานลงเพราะขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนปกติ แบร็ริงจะยึดติดกับฝาครอบทั้ง 2 ด้านของเครื่อง ในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะต้องมีแปรงถ่านอย่างน้อย 2 แปรงและแปรงถ่านทั้งสองต้องสามารถหมุนปรับตำแหน่งได้พร้อมกัน ดังนั้นช่องแปรงถ่านทั้งสองจะต้องอยู่บนตัวปรับอันเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

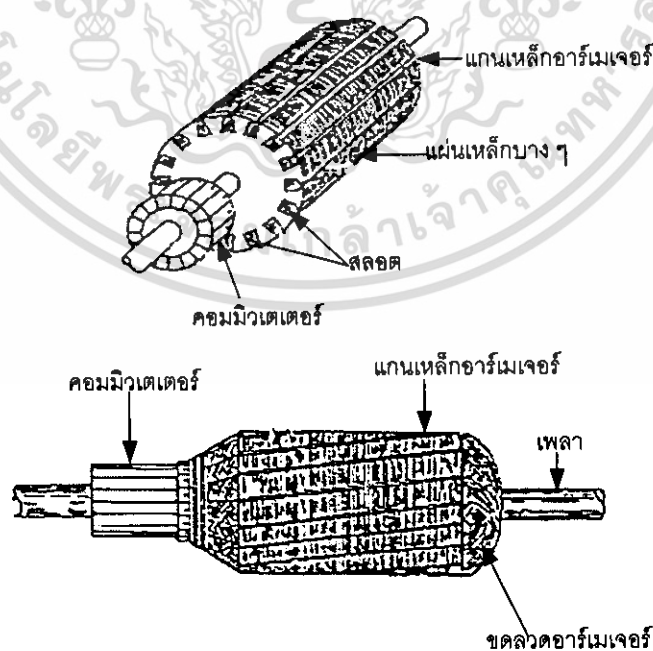


รูปที่ 2.5 แสดงรูปแปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน

ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End plate) ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง ทำหน้าที่รองรับเพลลาของส่วนหมุน และยึดช่องถ่าน

1.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor Part) ประกอบด้วย

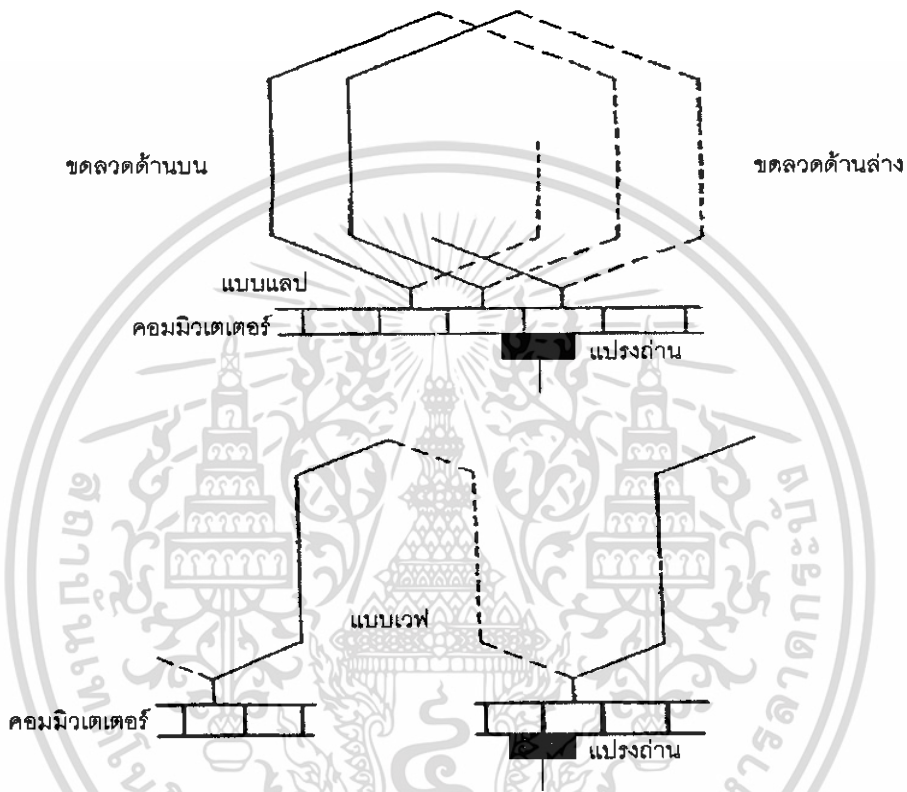
1) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) ทำมาจากแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจาก hysteresis และกระแสไหลวนในแกนเหล็ก แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วย เพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องจากการสูญเสีย



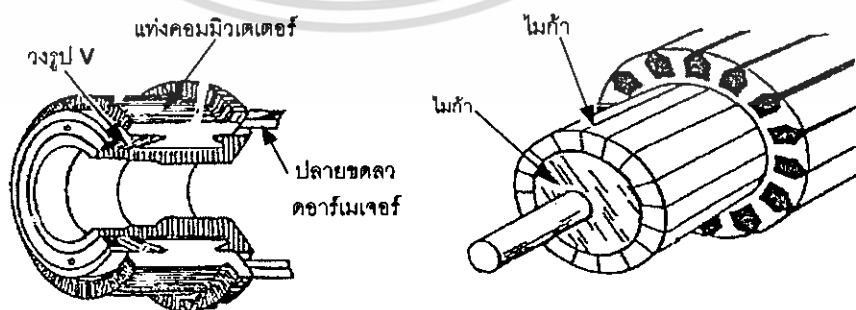
รูปที่ 2.6 แสดงรูปแกนเหล็กอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil or Armature winding) คือขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลอตของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์โดยขดลวดนั้นทำมาจากขดลวดอาบทองแดง ขดลวดอาร์เมเจอร์จะนิยมพันจากแบบภายนอกแล้วจึงนำไปบรรจุลงในสลอต เพราะจะทำให้ขดลวดแต่ละขดมีความยาวและมีน้ำหนักสมดุลไม่เกิดการแกว่งขณะหมุน ขดลวดอาร์เมเจอร์มีการพันเป็นแบบแลป (Lap) หรือเวฟ (Wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำมาต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์



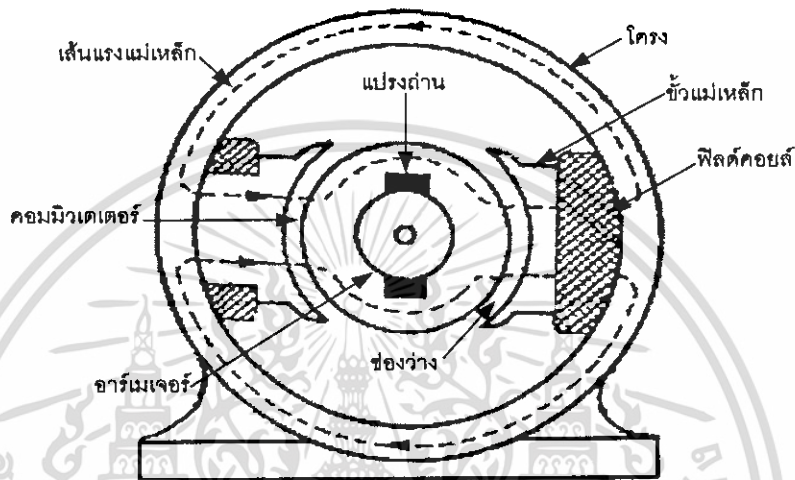
รูปที่ 2.7 แสดงรูปขดลวดอาร์เมเจอร์



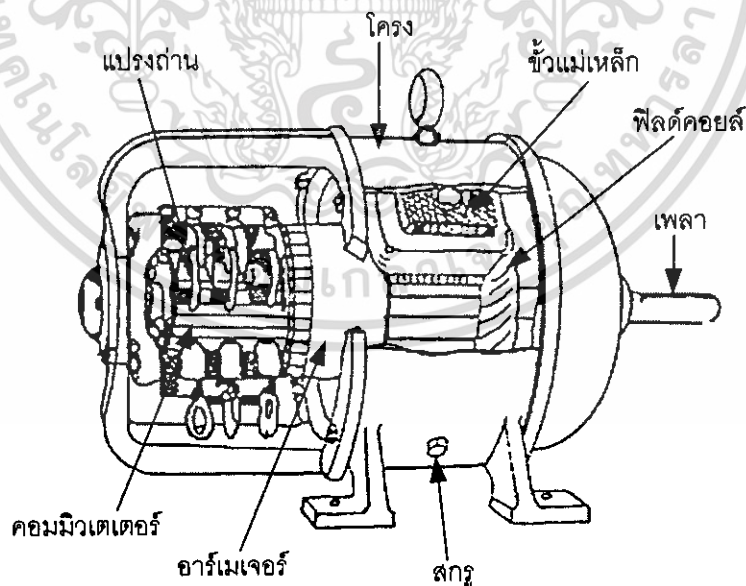
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำมาจากแท่งทองแดงที่มีลักษณะคล้ายลิ้ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก คอมมิวเตเตอร์แต่ละอันนั้นเรียกว่าซี่ และในระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่จะคั่นไว้ด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรง และคอมมิวเตเตอร์นี้จะยึดติดไว้บนเพลลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์



รูปที่ 2.9 แสดงรูปตัดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมการหลักของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 สมการศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแปรงถ่าน

ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแปรงถ่านสามารถหาค่าได้จากสมการหลัก เมื่อแรงแท่งความยาว l เคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กอันเกิดจากอิทธิพลของขั้วแม่เหล็กภายในวงจร จะเกิดศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ความเร็วที่เคลื่อนที่เป็น N รอบต่อนาทีและรัศมีของตัวอาเมเจอร์เท่ากับ r_a เมตร ดังนั้นความเร็วของแรงแท่งตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะมีขนาดเท่ากับ

$$U = \frac{N \times 2\pi r_a}{60} \quad (2.1)$$

ขนาดของสนามแม่เหล็กภายใต้ขั้วแม่เหล็กจะเป็นค่าของเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของแม่เหล็กนั้น

$$B = \frac{\phi_d}{r_a \theta_a} = A \quad (2.2)$$

เมื่อ $r_a \theta$ เป็นความกว้างของขั้วแม่เหล็ก

ความหนาของตัวโรเตอร์จะเท่ากับความยาวของแรงแท่งตัวนำเท่ากับ l_a

ในเครื่องจักรขนาดเท่าๆ กันค่าของ B โดยประมาณแสดงไว้ในตารางที่ 1 ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแรงแท่งตัวนำอย่างนี้ ขณะอยู่ใต้อิทธิพลของขั้วแม่เหล็ก จะมีค่าเท่ากับ $\frac{N2\pi\phi_d}{60\theta}$ โวลต์ ภายใน 1 รอบ มุม θ ที่หมุนไปเป็นมุม 2π และแรงแท่งตัวนำจะตัดผ่านขั้วแม่เหล็กทั้งหมด P ขั้ว ดังนั้นศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนแรงแท่งตัวนำเดียวจะมีค่าเท่ากับ

$$e = \frac{\phi_d NP}{60} \quad (2.3)$$

เมื่อ ϕ_d เป็นจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วมีหน่วยเป็น Wb

ดังนั้นศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแปรงถ่านของเครื่องจักรไฟฟ้า อันหนึ่งอันใดจะมีขนาดเท่ากับ

$$E_a = \frac{\phi_d PNZ_a}{60a} \quad (2.4)$$

เมื่อ Z_a เป็นจำนวนแรงแท่งตัวนำทั้งหมดที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของขั้วแม่เหล็ก

a เป็นจำนวนวงจรขนานที่เกิดขึ้นในตัวโรเตอร์ระหว่างแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.1) นี้เมื่อเครื่องไฟฟ้าสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ก็มีแต่เพียงค่าของความเร็ว N และค่าของเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_d เท่านั้น ดังสมการ (2.4) สามารถเขียนรวบรัดอย่างง่ายเป็น

$$E_a = KN\phi_d \quad (2.5)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงตัวของเครื่องจักรที่สร้างขึ้น

2.2.2 สมการความเร็วรอบของตัวมอเตอร์ไฟฟ้า

เราสามารถจัดรูปของสมการ (2.4) เสียใหม่เราสามารถหาค่าความเร็วรอบในค่าของตัวแปรอื่น ๆ ได้ดังนี้

$$N = \frac{60aE_a}{PZ_a\phi_d} \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.6) นี้จะเห็นได้ว่าถ้าเราต้องการควบคุมความเร็วของเครื่องจักรที่มีอยู่ตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้คงมีแต่ค่าศักดาไฟฟ้าระหว่างตัวแปรถ่าน E_a และค่าเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_d เท่านั้น ดังนั้นสมการ (2.6) สามารถเขียนรวบรัดได้เป็น

$$N = \frac{E_a}{K\phi_d} \quad (2.7)$$

2.2.3 สมการแรงบิดของเครื่องจักรไฟฟ้า T

เมื่อแท่งตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ในสนามแม่เหล็กซึ่งตั้งฉากกันจะมีแรงเกิดขึ้นบนแท่งตัวนำเท่ากับผลคูณของสนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าและความยาวของแท่งตัวนำในเครื่องจักรไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน แรงที่กระทำบนแท่งตัวนำตัวใดตัวหนึ่ง อยู่ภายใต้อิทธิพลของขั้วแม่เหล็ก ซึ่งให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเท่ากับ B แต่ในเครื่องจักรไฟฟ้าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B นี้จะมีเฉพาะช่วงตรงเป็นขั้วแม่เหล็กอยู่เท่านั้นส่วนอื่นจะมีน้อยมาก ดังนั้นเราจึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B_{mean} ภายในเครื่องจักรซึ่งจะหาได้จากอัตราส่วนของความกว้างขั้วแม่เหล็ก $r_a\theta$ และระยะพิชท์อันเป็นระยะความกว้างตามเส้นรอบวงของโรเตอร์ เครื่องจักรจากจุดกึ่งกลางขั้วแม่เหล็กอันหนึ่งถึงจุดกึ่งกลางขั้วแม่เหล็กอันต่อไปคือจากขั้วเหนือไปขั้วใต้อันถัดไปดังนี้

$$B_{mean} = B \frac{r_a\theta}{P} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B_{mean} ในรูปสมการของเส้นแรงแม่เหล็กภายในขั้วแม่เหล็กรวมตลอดเส้นรอบวงจะมีค่าเฉลี่ยหาได้จาก

$$B_{mean} = \frac{\phi_a P}{2\pi r_a l_a} \quad (2.9)$$

ให้ I_c เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในแท่งตัวนำแต่ละตัว ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นบนแท่งตัวนำแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ

$$F = \frac{\phi_a P I_c l_a}{2\pi r_a l_a} \quad (2.10)$$

$$F = \frac{\phi_a P I_c}{2\pi r_a} \quad (2.11)$$

ให้ I_a เป็นกระแสที่ไหลผ่านแปรงถ่าน ดังนั้น I_a จะมีค่าเท่ากับ aI_c และจำนวนตัวนำทั้งหมด Z_a ดังนั้นแรงทั้งหมดที่กระทำบนแท่งตัวนำเหล่านั้นเท่ากับ

$$F_{total} = \frac{Z_a \phi_a I_a}{2\pi r_a a} \quad (2.12)$$

แรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับแรงที่กระทำรอบ F_{total} คูณกับแขนของแรงดันเป็นรัศมีของตัวโรเตอร์เอง ดังนั้นแรงบิด (Torque) จะมีค่าเท่ากับ

$$T = \frac{Z_a \phi_a I_a P}{2\pi a} \quad (2.13)$$

เมื่อ Z_a เป็นจำนวนแท่งตัวนำได้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก

ϕ_a เป็นจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็กจากเครื่องจักร

I_a เป็นกระแสที่ไหลระหว่างแปรงถ่าน

a เป็นจำนวนวงจรรวนที่เกิดขึ้นในตัวโรเตอร์ระหว่างขั้วแปรงถ่าน

แรงบิดอันเกิดจากอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ยังไม่ใช่แรงบิดที่วัดได้จากหัวเพลลา เพราะมีการสูญเสียจากความฝืดและแรงเสียดทานอีกหลายชนิด ซึ่งในการคำนวณจะต้องนำมาลบออกจากสมการ (2.13) ก่อนที่จะได้ค่าแรงบิดที่หัวเพลลาโดยตรง

ในการหาค่าแรงบิดทางไฟฟ้านี้ ถ้าเราตัดค่าการสูญเสียจากความฝืดและแรงเสียดทานออกเราสามารถประมาณหาค่าของแรงบิดของเครื่องจักรขณะหมุนด้วยความเร็วคงตัวได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยหลักการคงค่าพลังงาน โดยคิดกำลังไฟฟ้าที่ขั้วของแปรงถ่านและกำลังงานกลที่หัวเพลลาที่ขนาดเท่ากัน ดังนั้นเราสามารถคิดค่าแรงบิดได้จากสมการ

$$E_a I_a = T \omega_m \quad (2.14)$$

เมื่อ ω_m เป็นความเร็วเชิงมุมของเครื่องจักรมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

2.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งเป็น 4 ชนิดดังนี้

- 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น (Separately Excited DC Motor)
- 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor)
- 3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor)
- 4) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Motor)

ในโครงการนี้จะนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น (Separately Excited DC Motor) มาใช้ ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นเท่านั้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น (Separately Excited DC Motor) จะแยกการควบคุมตักดาที่ตักคร่อมอาร์เมเจอร์และขดลวด (field) นั้นอิสระต่อกัน ขณะที่การทำงานเป็นมอเตอร์ตักดาไฟฟ้าที่ขั้ว (V_t) จะมีความมากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_a) ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_t = E_a + I_a R_a$$

เมื่อ I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (armature current), A

V_t คือ ตักดาไฟฟ้ตักคร่อมอาร์เมเจอร์ (armature voltage), V

R_a คือ ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (resistance of the armature current), Ω

2.4 การควบคุมความเร็ว

ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเขียนแสดงได้ดังสมการ

$$\frac{E}{K\phi} = \frac{V - I_a R_a}{K\phi} \quad (1.15)$$

ดังนั้นในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์จึงสามารถทำได้โดยการปรับ V , $I_a R_a$ หรือ ϕ อย่างใดอย่างหนึ่ง การปรับความเร็วรอบจึงสามารถแบ่งคร่าวๆ ออกได้ 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การปรับวงจรถนนาม เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับกระแสสนามหรือสนามแม่เหล็ก ϕ

2) การปรับความต้านทาน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับค่า R ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับอาร์เมเจอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตกคร่อม $I_a R$

3) การปรับแรงดัน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับแรงดันแหล่งจ่าย V การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละแบบสามารถอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไป

2.5 การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นและแบบชัณฑ์

1) การปรับวงจรถนนาม เป็นวิธีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยการปรับฟิลต์รีโอสตัทหรือกระแสกระตุ้นเพื่อให้ ϕ เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้แรงดันแหล่งจ่ายซึ่งป้อนที่ขั้วต้องรักษาให้มีความคงที่เท่ากับค่าปรังดันพิกัดเสมอ ฟิลต์รีโอสตัทจะต่ออนุกรมกับชุดขดลวดสนาม โครงสร้างของฟิลต์รีโอสตัทจะเหมือนกับในกรณีของเครื่องกำเนิดแบบชัณฑ์

2) การปรับความต้านทาน เป็นวิธีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการปรับค่าความต้านซึ่งต่ออนุกรมอยู่ในวงจรรอาร์เมเจอร์เพื่อให้แรงดันคร่อมมีค่ามากหรือน้อยเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน V_b ระหว่างแปลงถ่าน

เนื่องจากแรงดันแหล่งจ่ายที่ป้อนให้มอเตอร์ที่ค่าคงที่ตลอด ϕ ในสมการจึงมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น

$$n \propto V_b - I_a (R + r_a)$$

2.6 การเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

2.6.1 ปลั๊กกิง (Plugging) เป็นการเบรกมอเตอร์โดยพยายามหมุนมอเตอร์กลับทางอย่างทันทีทันใด พลังงานจลน์ในมอเตอร์จะกลายเป็นความร้อนไปในตัวของมอเตอร์ แล้วกระจายสูญหายไป ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเราจะทำการกลับทิศทางของกระแสฟิลต์หรือกลับทิศทางของแรงดันที่ป้อนเข้าอาร์เมเจอร์อย่างทันทีทันใด ซึ่งทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้กลับ (back emf) ของมอเตอร์กลับทิศและจะช่วยให้กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ มีขนาดมากกว่ากระแสที่ไหลอยู่เดิมทำให้มีแรงหมุนที่กลับทิศสวนทางกับทิศการหมุนเดิมและจะมีความร้อนเกิดขึ้นและสูญหายไป ในมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว

ข้อดีของการเบรกแบบปลั๊กกิงทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนิ่งอย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือเกิดความร้อนที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อมีการกลับทางหมุน ดังนั้นถ้าความร้อนเกิดขึ้นมากจะส่งผลต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจนเกิดความเสียหายได้

2.6.2 ไดนามิคเบรกกิง (Dynamic Breaking) เป็นวิธีการเบรกมอเตอร์ด้วยการทำให้พลังงานจลน์ในมอเตอร์กลายเป็นความร้อนที่ตัวของมอเตอร์เอง หรือในตัวความต้านทาน

ภายนอกแล้วกระจายหายไป ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีปลั๊กกิ่งตรงที่ทำการเบรกมอเตอร์โดยการทำให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วให้กระแสที่เกิดขึ้นไหลผ่านเข้าไปในตัวต้านทานภายนอกแล้ววนกลับครบวงจรผ่านขดลวดของมอเตอร์ ก็จะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นแล้วกระจายหายไปและพร้อมกันนั้นจะมีแรงหมุน หมุนกลับทิศการหมุนของมอเตอร์

ข้อดีการเบรกไดนามิกคือการนำพลังงานที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชั่วขณะหนึ่งนั้นมาถ่ายเทให้ตัวต้านทานภายนอก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความร้อนภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ข้อเสียคือแรงบิดที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลดลงเนื่องจากผลของการกลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.6.3 รีเจนเนอเรทีฟเบรกกิง (Regenerative Breaking) เป็นวิธีการเบรกมอเตอร์โดยอาศัยหลักการป้อนกลับค่าบวก คือทำให้พลังงานจลน์ของมอเตอร์ไฟฟ้าที่กำลังวิ่งอยู่ให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยการเพิ่มฟิลต์ให้มีค่าสูงขึ้นซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ก็จะเป็นเหตุให้มอเตอร์ซึ่งขณะนั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งกระแสไฟฟ้ากลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งเท่ากับเป็นการคืนพลังงานจลน์ที่มอเตอร์ให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแล้วมอเตอร์ก็จะหมุนช้าลงหรือหยุดหมุน

ข้อดีการเบรกกริเจนเนอเรทีฟสามารถคืนพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเบรกมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้การเบรกแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ข้อเสียคือความยุ่งยากของวงจรคอนเวอร์เตอร์ (converter circuit) ที่ต้องสามารถส่งผ่านพลังงานกลับคืนได้ซึ่งทำให้วงจรมีราคาสูง

บทที่ 3

หลักการทํางานและการควบคุมความเร็ว แบบ 4 ควอดแรนต์ โดยใช้เทคนิคแมคเนติกคอนแทคเตอร์

การควบคุมการทํางาน 4 ควอดแรนต์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือการนำเอาการควบคุมการหมุนซ้าย หมุนขวา การเบรกซ้ายและการเบรกขวาเข้าไว้ด้วยกัน สามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งจะพบว่ากรับแบบ 4 ควอดแรนต์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยคอนเวอร์เตอร์นั้นอาจใช้การสลับกระแสด้วยคอนแทคเตอร์หรือคอนเวอร์เตอร์ก็ได้ ในโครงการนี้จะใช้คอนแทคเตอร์ในการเปลี่ยนทิศทางกระแส

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

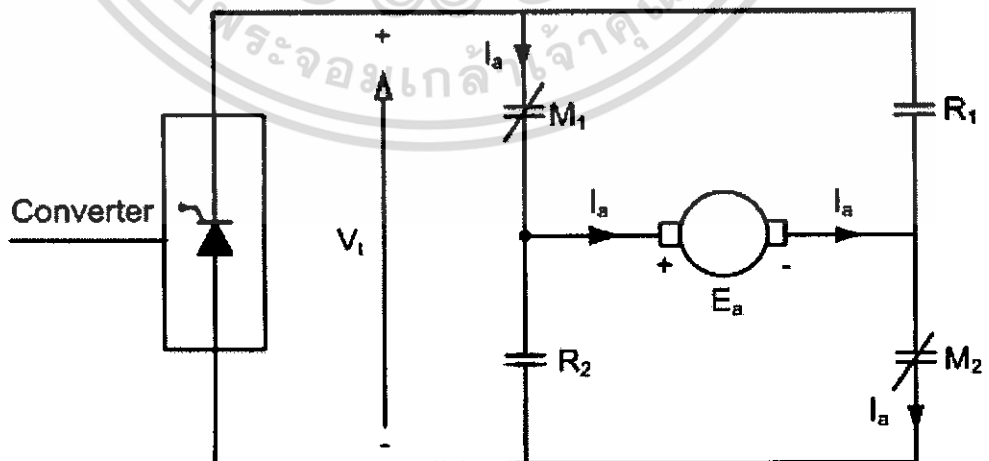
ลักษณะการควบคุมแบบ 4 ควอดแรนต์

1 การทํางานในควอดแรนต์ที่ 1 (forward motoring)

การทํางานในควอดแรนต์นี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายมาจากชุดคอนเวอร์เตอร์จะไม่กลับขั้วและได้แรงดันที่ขั้วเป็นบวก (V_t) ทิศทางกระแสไหลผ่านคู่คอนแทคเตอร์ M ทำให้ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และกระแสอาเมเจอร์มีทิศทางเป็นบวก

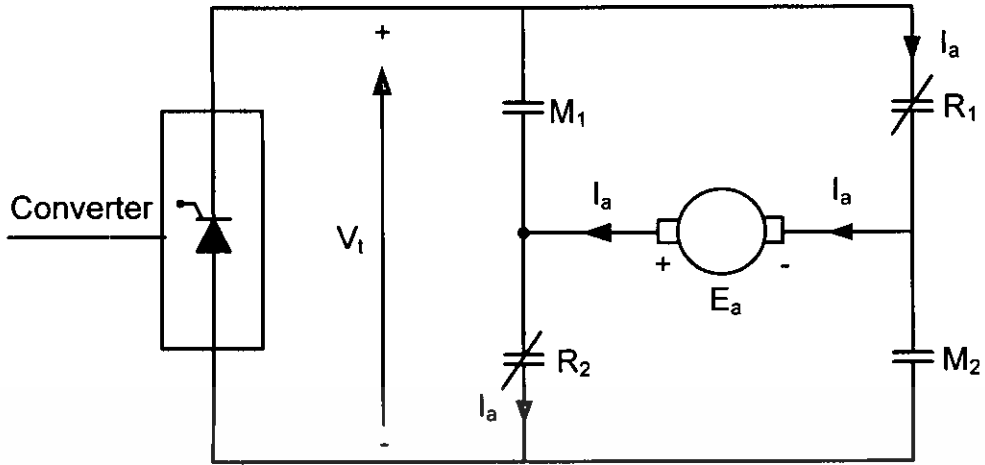
2 การทํางานในควอดแรนต์ที่ 2 (forward braking)

ทำการควบคุมกระแสอาเมเจอร์ให้กลับทิศทางจากทิศทางเดิมโดยปลดหน้าคอนแทคของ M จากนั้นทำการต่อหน้าคอนแทค R จะได้ทิศทางของกระแสตรงข้ามทิศทางเดิมเป็นผลให้เกิดแรงบิดเหนี่ยวนำในทิศทางที่เป็นลบด้านทิศแรงบิดที่เป็นบวกทำให้เกิดการเบรกเกิดขึ้น สภาวะการเบรกแบบนี้ว่า Plugging



รูปที่ 3.1 ทิศทางกระแสอาเมเจอร์และการทํางานในควอดแรนต์ที่ 1 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



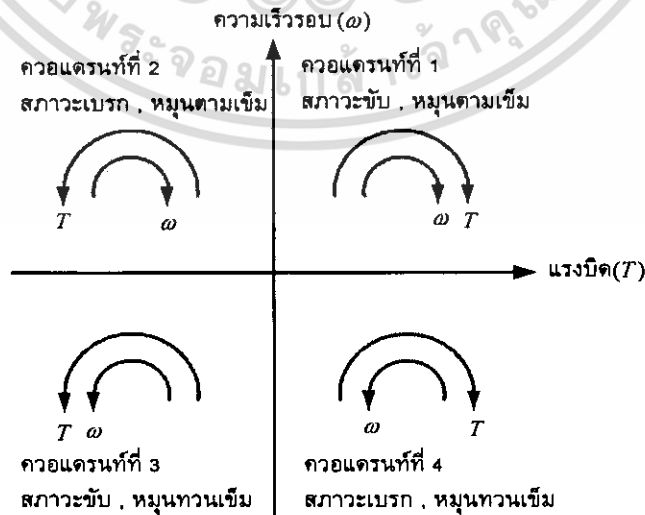
รูปที่ 3.2 ทิศทางกระแสอาร์เมเจอร์และกาทำงานในควอดแดรนท์ที่ 2 และ 3

3 การทำงานในควอดแดรนท์ที่ 3 (reverse motoring)

ทำการควบคุมกระแสในอาร์เมเจอร์ให้ไหลในทิศทางลบเหมือนเดิมโดยหน้าคอนแทคเตอร์ M ต้องปลดวงจร และคอนแทคเตอร์ R ต้องวงจรตลอดโดยในการทำงานในควอดแดรนท์นี้ ทิศทางของกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) และทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_b) มีทิศทางลบทั้งคู่ทำให้เกิดการหมุนกลับทิศเกิดขึ้น

4 การทำงานในควอดแดรนท์ที่ 4 (reverse braking)

ทำการควบคุมให้กระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) ไหลกลับทิศจากทิศทางเดิมโดยปลดหน้าคอนแทค R และทำการต่อหน้าคอนแทค M จะทำให้เกิดแรงบิดเหนี่ยวนำด้านแรงบิดของมอเตอร์ในทิศทางลบทำให้เกิดการเบรกเกิดขึ้น



รูปที่ 3.3 แสดงควอดแดรนท์การทำงาน

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4

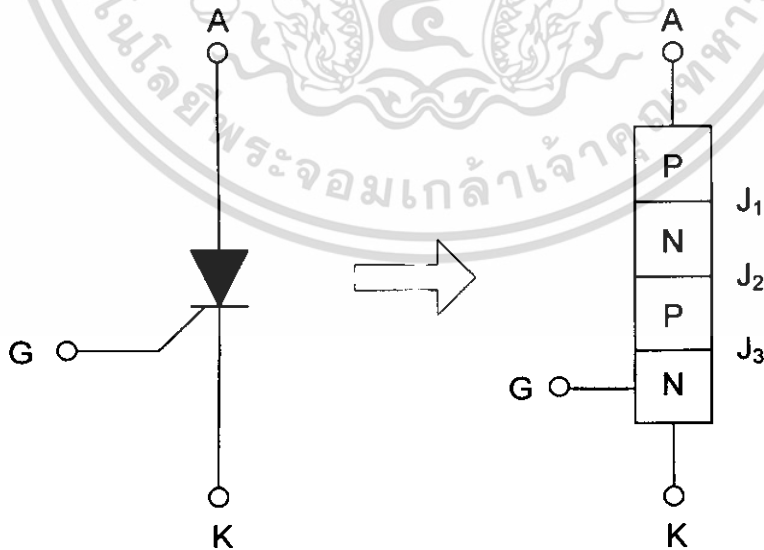
เอสซีอาร์

เอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งอยู่ในกลุ่มไทรสเตอร์ ซึ่งใช้มากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เอสซีอาร์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นโซลิตสแตตสวิตช์ซึ่งมีหลักการทํางานเหมือนสวิตช์ 2 สถานะ คือนำกระแสกับไม่นำกระแสซึ่งสามารถนำไปใช้ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์หรือวงจรได้ทั้งแบบไฟฟ้าสลับและไฟฟ้าตรงซึ่งยังมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ

2.1 ลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์เป็นคำย่อมาจากคำว่า Silicon Controlled Rectifier ภายในของเอสซีอาร์ประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้นที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น คือ P-N-P-N จึงมีรอยต่อพี-เอ็นอยู่ 3 รอยต่อ เอสซีอาร์มีขาใช้งาน 3 ขา คือแอโนด (Anode) แคโทด (Cathode) และเกต (Gate) ดังรูปที่ 4.1 แสดงสัญลักษณ์ และภาพตัดแสดงรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามรอยต่อ เอสซีอาร์สร้างมาจากกระบวนการดิฟฟิวส์ชั้น(Diffusion)

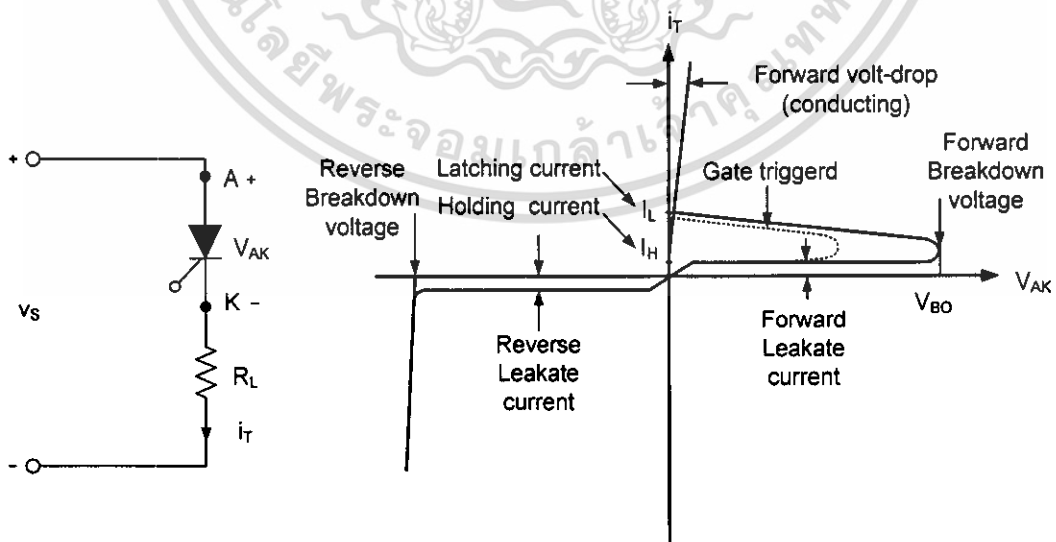
เมื่อแรงดันที่ขาแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทดรอยต่อ J_1 และ J_3 จะถูกไบแอสตรง และ J_2 จะเป็นไบแอสกลับ โดยมีกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากแอโนดไปแคโทดเอสซีอาร์ที่มีสถานะนี้เรียกได้ว่าสถานะบล็อกกิง (Forward Blocking หรือ Off-State) ขณะไบแอสตรงหรือสถานะออฟและเรียกกระแสรั่วไหลว่ากระแสออฟสแตต (Off-State Current, I_0) ถ้า



รูปที่ 4.1 แสดงสัญลักษณ์และรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามของเอสซีอาร์

แรงดันที่แอโนดเทียบกับโทด (V_{AK}) มีค่าสูงขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งจนทำให้รอยต่อ J_2 พัง เราเรียกว่า การพังแบบอะวาลานซ์ ละเรียกแรงดันขณะนั้นว่าแรงดันพังทลายขณะไบแอสตรง (V_{Bo}) เนื่องจากรอยต่อ J_1 และ J_3 มีการไบแอสตรงอยู่แล้วจึงมีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อทั้งสาม ส่งผลให้มีกระแสแอโนดไหลเป็นจำนวนมาก เอสซีอาร์จะอยู่ในสถานะนำกระแสหรือ ON แรงดันตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานในชั้นทั้ง 4 ชั้นที่มีค่าน้อยประมาณ 1 โวลต์ สถานะนำกระแส แอโนดจะถูกจำกัดโดยความต้านทานภายนอก R_L ดังรูปที่ 4.2 กระแสแอโนดต้องมีค่ามากกว่า ค่า ๆ หนึ่งคือกระแสแลตซิ่งหรือกระแสค้าง (Latching Current, I_L) เพื่อที่จะรักษาปริมาณประจุที่ ไหลผ่านรอยต่อให้เพียงพอ นอกจากนี้เอสซีอาร์จะกลับไปสถานะบล็อกกิง เมื่อแรงดันระหว่าง แอโนดและแคโทดมีค่าลดลง กระแสแลตซิ่ง (I_L) คือกระแสแอโนดต่ำสุดที่ยังทำให้เอสซีอาร์อยู่ ในสถานะนำกระแสทันทีภายหลังที่เอสซีอาร์นำกระแสเมื่อได้รับสัญญาณทริกที่ขาเกตลักษณะ ทั่วไปทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์แสดงในรูปที่ 4.2

ครั้งแรกที่เอสซีอาร์นำกระแส มันจะมีลักษณะเหมือนการนำกระแสของไดโอดและไม่ สามารถควบคุมได้ จะยังคงนำกระแสต่อไป เพราะไม่มีชั้นของดีฟลิชันบนรอยต่อ J_2 เนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุอิสระ อย่างไม่ก็ตาม ถ้ากระแสแอโนดเมื่อได้รับไบแอสตรงลดลงจนต่ำกว่า ระดับหนึ่งที่เราเรียกว่า กระแสโฮลดิ้งหรือกระแสยึด (Holding Current, I_H) กระแสโฮลดิ้งจะเกิดช่วง ดีฟลิชันรอบรอยต่อ J_2 เนื่องจากการลดจำนวนลงของประจุและเอสซีอาร์ จะอยู่ในสถานะการ บล็อกกิงกระแสโฮลดิ้งอยู่ในหน่วยมิลลิแอมแปร์และน้อยกว่ากระแสแลตซิ่ง (I_L) นั่นคือ $I_L > I_H$ กระแสโฮลดิ้ง (I_H) คือกระแสแอโนดที่น้อยที่สุด ที่ยังทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะนำกระแสปกติ ค่ากระแสโฮลดิ้งน้อยกว่ากระแสแลตซิ่ง



รูปที่ 4.2 แสดงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์

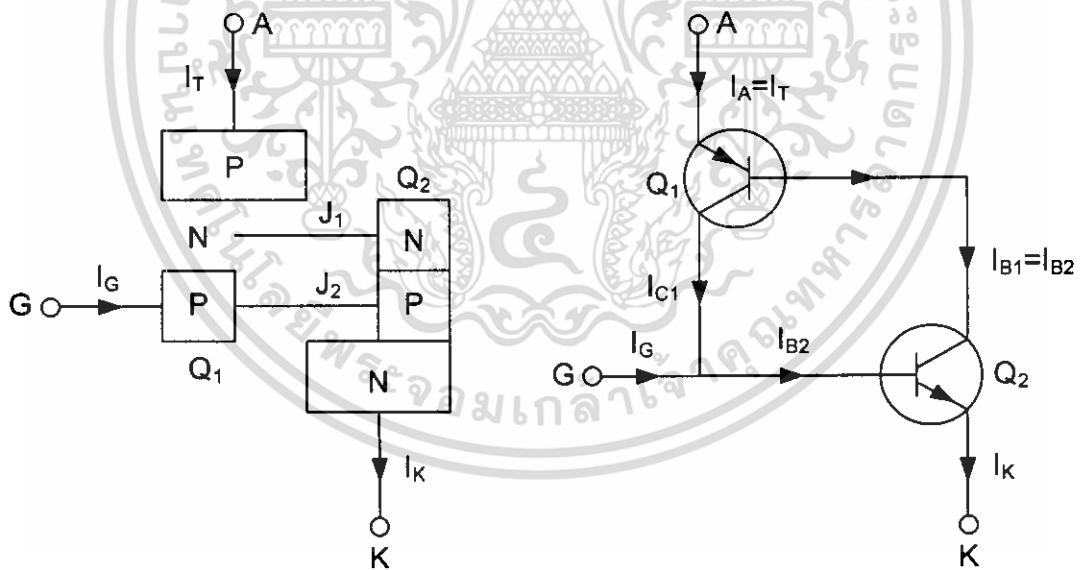
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันแคโทดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแอโนดรอยต่อ J_2 เป็นไบแอสตรง แต่ J_1, J_3 เป็นไบแอสกลับ เหมือนกับไดโอด 2 ตัวต่ออนุกรมกัน มีแรงดันกลับตกคร่อมอยู่ ทำให้เอสซีอาร์ อยู่ในสถานะบล็อกกิง และกระแสรั่วไหลย้อนกลับเรียกว่า กระแสย้อนกลับ (I_R) ไหลผ่านเอสซีอาร์

เอสซีอาร์สามารถจะนำกระแสโดยการเพิ่มแรงดันไบแอสตรง V_{AK} ให้มากกว่า V_{BO} แต่สถานะนี้อาจทำให้เอสซีอาร์ถูกทำลายได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นแรงดันไบแอสตรงจะต้องต่ำกว่า V_{BO} เอสซีอาร์จะนำกระแสได้โดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแคโทด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เป็นเส้นประครั้งแรกที่เอสซีอาร์นำกระแส โดยมีสัญญาณทริกที่ขาเกตและกระแสแอโนดมากกว่ากระแสโสดัง เอสซีอาร์ยังคงนำกระแสเนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก แม้ว่าจะนำสัญญาณเกตออกไปแล้วก็ตาม

4.2 แบบจำลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

ปรากฏการณ์รีเจนเนอเรทีฟหรือแลตซิง เนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก สามารถอธิบายได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาเป็นแบบจำลอง เอสซีอาร์สามารถพิจารณาได้ว่ามีคอมพลีเมนทารีทรานซิสเตอร์ 2 ตัว คือ Q_1 เป็นแบบ PNP และ Q_2 เป็นแบบ NPN แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงแบบจำลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ของเอสซีอาร์สัมพันธ์กับกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) และกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลคเตอร์กับกระแสเบส (I_{CBO}) คือ

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (4.1)$$

และอัตราขยายกระแส นิยามว่า $\alpha \cong I_C / I_E$ สำหรับทรานซิสเตอร์ Q_1 กระแสอิมิตเตอร์ คือ กระแสแอนโอด (I_A) และกระแสคอลเลคเตอร์ (I_{C1}) สามารถหาได้จากสมการที่(4.2)

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} \quad (4.2)$$

เมื่อ α_1 คืออัตราขยายกระแส และ I_{CBO1} คือกระแสรั่วไหลของ Q_1 และในทำนองเดียวกันกับ Q_2 ค่า I_{C2} หาได้จากสมการที่(4.3)

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \quad (4.3)$$

เมื่อ α_2 คืออัตราขยายกระแส และ I_{CBO2} คือกระแสรั่วไหลของ Q_2 โดยการรวม I_{C1} กับ I_{C2} จะได้

$$I_A = I_{C1} + I_{C2}$$

$$I_A = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \quad (4.4)$$

แต่สำหรับกระแสเกต $I_G, I_K = I_A + I_G$ และแก้สมการที่(4.4) จะได้ I_A เท่ากับ

$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBO2} + I_{GBO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (4.5)$$

อัตราขยายกระแส α_1 แปรผันตามกระแสอิมิตเตอร์ $I_A + I_E$ และ α_2 แปรผันกับ $I_K = I_A + I_G$ โดยทั่วไปการแปรผันของอัตราขยายกระแส α กับกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) คือถ้ากระแสเกต (I_G) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้กระแสแอนโอด (I_A) เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด ซึ่งจะทำให้ α_1 และ α_2 เพิ่มขึ้นด้วย α_2 ขึ้นอยู่กับ I_A, I_G การเพิ่มขึ้นของ α_1 และ α_2 จะทำให้ I_A เพิ่มขึ้นมาก นี่คือผลกระทบของเงินแอมเพอร์หรือการป้อนกลับแบบบวก ถ้า $\alpha_1 + \alpha_2$ มีค่าเท่ากับหนึ่ง ตัวหารของสมการที่ (4.5) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้ I_A เพิ่มขึ้นมากมายและเอสซีอาร์จะนำกระแสด้วยกระแสเกตเพียงเล็กน้อย

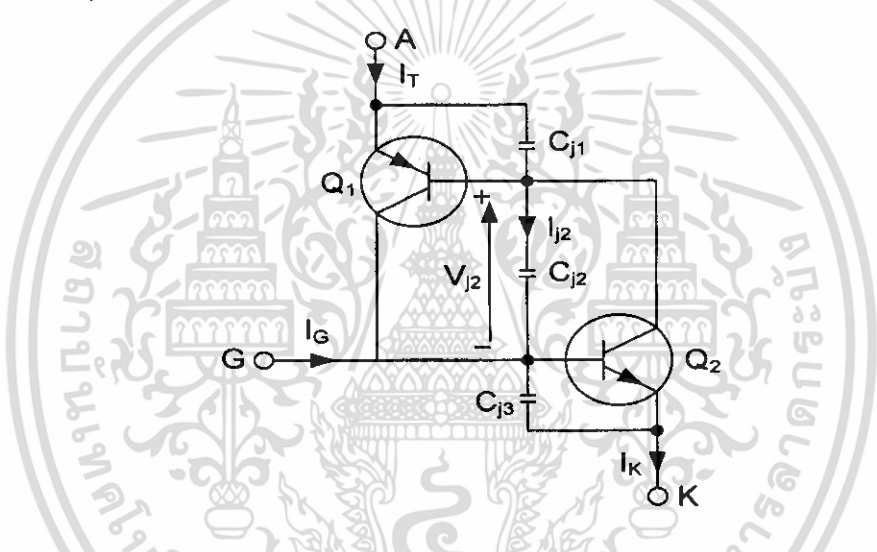
ภายใต้สภาวะชั่วคราว ค่าความจุของรอยต่อพี-เอ็น แสดงในรูปที่4.4 มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเอสซีอาร์ ถ้าเอสซีอาร์อยู่ในสถานะบล็อกกิงแล้วให้แรงดันคร่อมเอสซีอาร์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

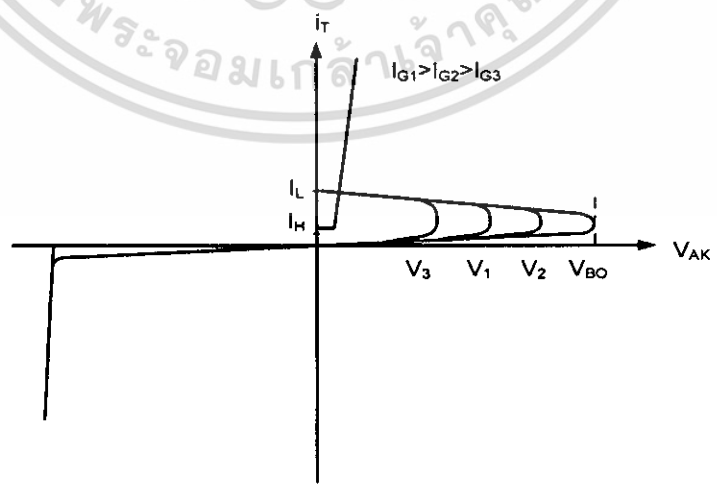
อย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านตัวเก็บประจุที่รอยต่อ ซึ่งกระแสผ่าน C_{j2} สามารถแสดงได้ว่า

$$I_{j2} = \frac{d(q_{j2})}{dt} = \frac{d(C_{j2}V_{j2})}{dt} \tag{4.6}$$

เมื่อ C_{j2} และ V_{j2} เป็นค่าความจุและแรงดันของรอยต่อ J_2 ตามลำดับ q_{j2} คือประจุของรอยต่อ ถ้าอัตราการเพิ่มของแรงดัน dV/dt มีค่ามากแล้ว I_{j2} จะมีค่ามากขึ้น และจะทำให้กระแสรั่วไหล I_{CBO1} และ I_{CBO2} มีค่าสูงขึ้น ถ้าค่าของและมีค่ามีค่าสูงพออาจทำให้ค่า $()$ มีค่าใกล้เคียงหนึ่งและทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยไม่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามกระแสจำนวนมากที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุที่รอยต่ออาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้



รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในช่วงขณะ



รูปที่ 4.5 ผลของกระแสเกิดต่อแรงดันบล็อกกิงไบแอสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การนำกระแสของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์อาจจะนำกระแสโดยการเพิ่มกระแสแอโนด ซึ่งจะสำเร็จได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

1. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของเอสซีอาร์สูงขึ้นจะทำให้จะทำให้จำนวนอิเล็กตรอน-โฮล สูงขึ้น จะทำให้กระแสรั่วไหลมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ α_1 และ α_2 เพิ่มขึ้น และจะส่งผลเนื่องจากปรากฏการณ์ รีเจนเนอเรทีฟ ($\alpha_1 + \alpha_2$) มีแนวโน้มเท่ากับหนึ่งและเอสซีอาร์นำกระแสเนื่องจากอุณหภูมินี้ ทำให้เกิดความร้อนสูงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด

2. แสง ถ้ามีแสงตกกระทบบนรอยต่อของเอสซีอาร์ ทำให้คู่อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เอสซีอาร์ อาจนำกระแสได้ ซึ่งเกิดจากแสงตกกระทบบนชั้นซิลิกอนของเอสซีอาร์

3. แรงดันสูง ถ้าแรงดันไบแอสตรงที่จ่ายให้กับแอโนด-แคโทด มีค่าสูงกว่าแรงดัน พังทลาย (V_{Bo}) ค่ากระแสรั่วไหลจะกระตุ้นให้เกิดการนำกระแสแบบรีเจนเนอเรทีฟ การนำกระแสแบบนี้อาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายควรหลีกเลี่ยง

4. dv/dt คืออัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์ (V_{AK}) มีค่าสูงกระแสซาร์จ ของตัวเก็บประจุที่รอยต่ออาจมีค่าสูงจนทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และอาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ ผู้ผลิตควรระบุค่า dv/dt ของเอสซีอาร์สูงสุดที่ยอมรับได้

5. กระแสเกต ถ้าเอสซีอาร์มีการไบแอสตรง และมีกระแสเกตไหลโดยการป้อนแรงดัน บวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแอโนด จะเป็นการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสที่กระแสเกตเพิ่มขึ้นกระแส บล็อกกิงไบแอสตรงจะลดลง

2.5 การป้องกัน dv/dt

dv/dt หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์ต่อเวลา ถ้าสวิตช์ S_1 ดังรูปที่ 4.6(a) ปิดที่เวลา $t=0$ จะมีแรงดันสแตปป้อนคร่อมเอสซีอาร์ T_1 และ dv/dt อาจมีค่าสูง เพียงพอจะทำให้หน้ากระแสได้ dv/dt จะถูกจำกัดโดยการต่อ C_S ดังรูปที่ 4.6(a) เมื่อเอสซีอาร์ T_1 นำกระแสการดิสชาร์จของ C_S จะถูกจำกัดโดย R_S ดังรูปที่ 4.6(b) การต่อ R_S และ C_S เข้าไปขนาน กับเอสซีอาร์นี้เรียกว่า วงจรสแนบเบอร์ (Snubber circuit)

เมื่อนาวจร RC ที่รู้จักในชื่อวงจรสแนบเบอร์เพิ่มเข้าไปป้องกันเอสซีอาร์ แรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลดังรูปที่ 4.6(c) และวงจร dv/dt หาได้จาก

$$\frac{dV}{dt} = \frac{0.632V_S}{\tau} = \frac{0.632V_S}{R_S C_S} \quad (4.7)$$

ค่าคงที่เวลาสแนบเบอร์ $\tau = R_S C_S$ สำหรับ dv/dt ค่า R_S จะหาได้จากกระแสดิสชาร์จ (I_{TD})

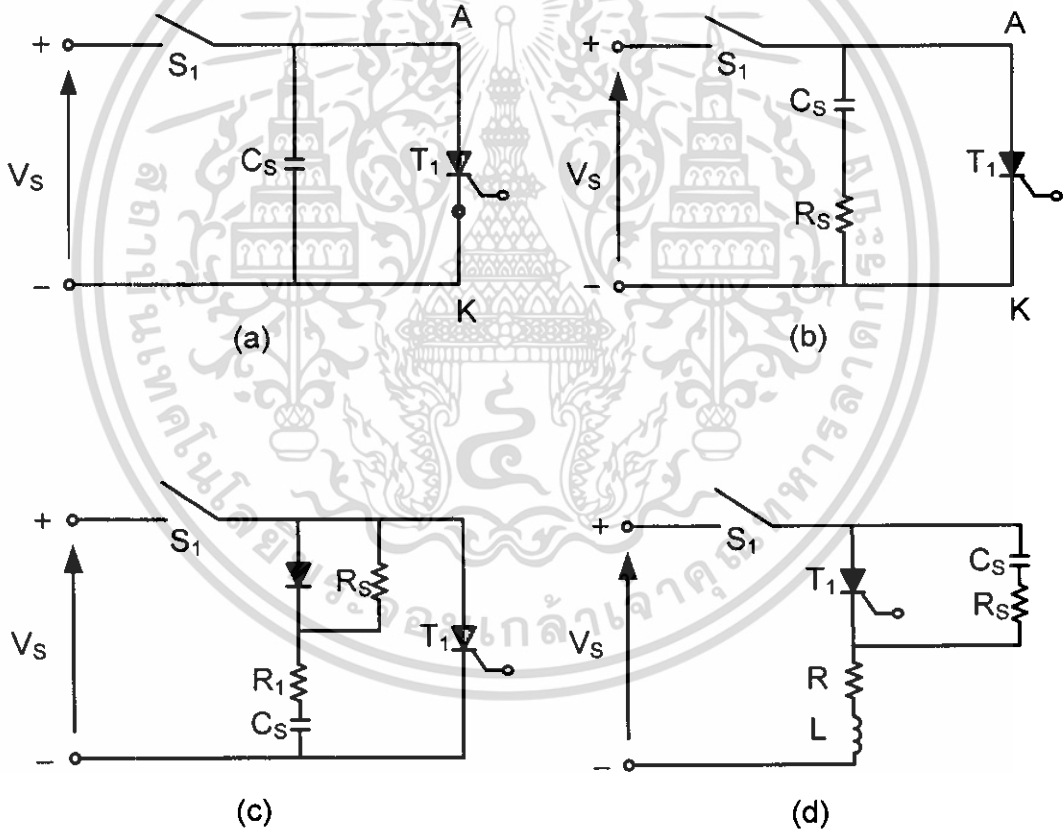
$$R_S = \frac{V_S}{I_{TD}} \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปได้ที่จะต้องใช้ความต้านทานมากกว่า 1 ตัว สำหรับ dv/dt และดิสชาร์จ ดังรูป 4.6(c) ค่า dv/dt จำกัดโดยค่า $C_s(R_1 + R_s)$ จำกัดกระแสดิสชาร์จ เพื่อให้โหลดสามารถต่ออนุกรมกับวงจรสับเบอร์ดังรูป 4.6(d) ค่า I_{TD} หาได้จากสมการที่ (4.9) และอัตราการหน่วง (δ) ของสมการอันดับสองคือสมการที่(4.10) เมื่อ L_s คือตัวเหนี่ยวนำรวมและ L คือตัวเหนี่ยวนำโหลด

$$I_{TD} = \frac{V_s}{R_1 + R_2} \quad (4.9)$$

$$\delta = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{R_s + R}{2} = \sqrt{\frac{C_s}{L_s + L}} \quad (4.10)$$



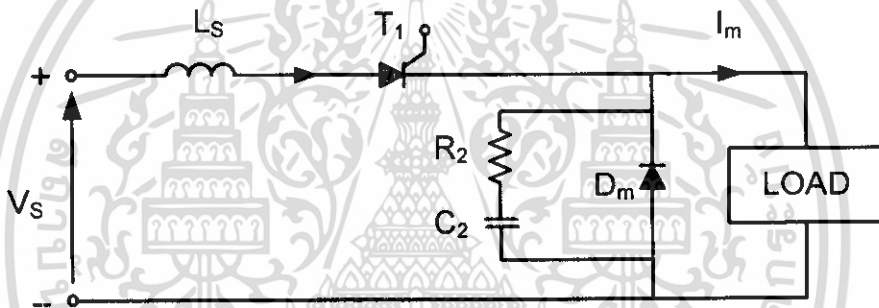
รูปที่ 4.6 แสดงรูปวงจรป้องกัน dv/dt ด้วยสับเบอร์ด

2.4 การป้องกัน di/dt

เอสซีอาร์ใช้เวลาน้อยที่สุดในการแพร่กระแสไฟฟ้าให้ทั่วทั้งรอยต่อถ้าอัตราการเพิ่มของกระแสแอโนดเร็วมาก เมื่อเทียบกับความเร็วในการแพร่ในกระบวนการนำกระแส จะเกิดจุดความร้อน (Hot-Spot) ความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของกระแสที่มีมาก เอสซีอาร์อาจเสียหายได้ เราแก้ไขปัญหามาของการเกิด di/dt ในทางปฏิบัติโดยการต่ออนุกรมตัวเหนี่ยวนำ L_S ดังรูปที่ 4.7

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_S}{L_S}$$

เมื่อ L_S คือตัวเหนี่ยวนำรวม



รูปที่ 4.7 วงจรสับไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำจำกัดค่า di/dt

บทที่ 5

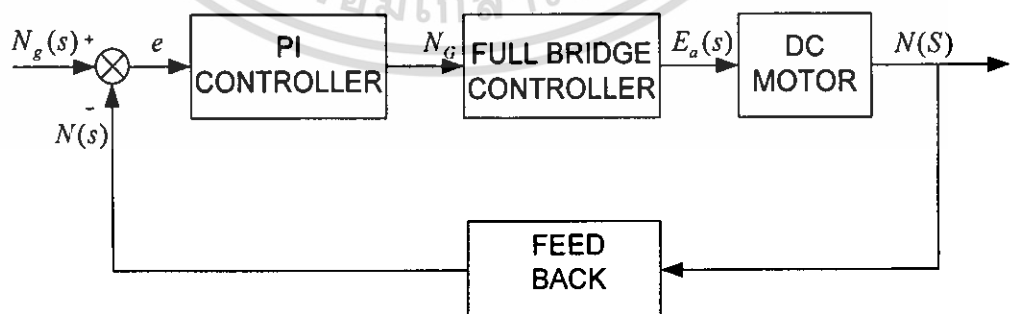
ระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor Control System)

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนิยมแบบลูปปิด(Close Loop) เนื่องจากมีข้อดีมากคือผลตอบสนองของความเร็วรอบมอเตอร์ที่สูงค่าความผิดพลาดของสภาวะคงตัวน้อยและระบบควบคุมมอเตอร์นั้นมีเสถียรภาพสูงซึ่งดีกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด นอกจากนี้การควบคุมมอเตอร์แบบลูปปิดเป็นที่นิยมใช้มากในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ทั้งแรงบิดคงที่ ความเร็วรอบคงที่ หรือควบคุมได้ทั้งความเร็วรอบและตำแหน่งตามต้องการที่เรียกว่า เซอร์โว(Servo)

แต่การควบคุมนั้นเป็นการควบคุมที่ต้องวิเคราะห์ผลตอบสนองทางไดนามิก ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมมอเตอร์ทุกประเภท สมควรจะมีระบบชดเชยป้อนกลับเพื่อให้ผลตอบสนองไดนามิกของระบบอยู่ในระดับที่ดีที่สุด และระบบชดเชยป้อนกลับที่เหมาะสมกับมอเตอร์คือ ระบบชดเชยแบบพีไอหรือระบบควบคุมแบบพีไอ(PI Controller)

สำหรับโครงการนี้สนใจการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบดังรูปที่ 5.1

จากบล็อกไดอะแกรมอธิบายการทำงานคือ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปความเร็วรอบย่อมเปลี่ยนแปลงในทิศทางผกผันกัน จากนั้นเอนโค้ดเดอร์(Encoder) แปลงความเร็วรอบที่ได้เป็นสัญญาณแรงดันเพื่อป้อนกลับเข้าสู่ระบบควบคุมพีไอ ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณชดเชยที่สามารถควบคุมวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์(Full Bridge Converter) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดันป้อนเข้ามอเตอร์มากขึ้น เพื่อให้มอเตอร์นั้นกลับเข้าสู่ความเร็วรอบคงเดิมได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพ



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4-Quadrant

การหาผลตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่นั้น ต้องทำการถ่ายโอนฟังก์ชันของระบบ ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็นฟังก์ชันของความถี่โดยใช้วิธี ลาลาส (Laplace Transform) ดังนั้นส่วนที่เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและระบบชดเชยชนิดพีโอ ในส่วนของวงจรถูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และ ระบบป้อนกลับ (Feed back) นั้นจะให้ค่าเป็นหนึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

5.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดกระตุ้น

จากรูปที่ 5.2 ได้สมการแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าดังนี้

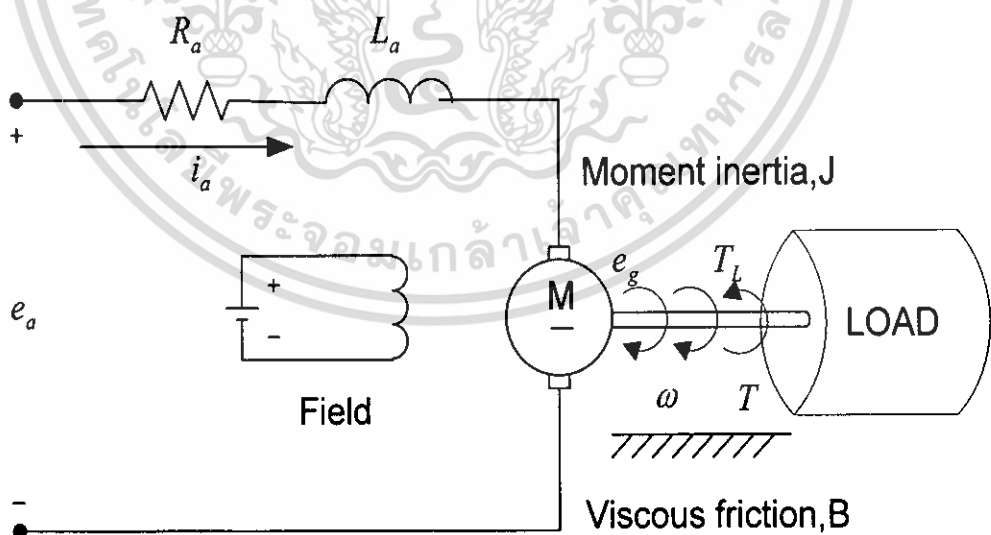
$$e_a = e_g + Ri_a + L \frac{di_a}{dt} \quad (5.1)$$

$$e_g = K_t \omega \quad (5.2)$$

ได้สมการแรงบิดดังนี้

$$T = T_L + B\omega + J \frac{d\omega}{dt} \quad (5.3)$$

$$T = K_t i_a \quad (5.4)$$



รูปที่ 5.2 แสดงวงจรสมมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ e_a = แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์(Armature voltage)
 e_g = แรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับ(Back EMF)
 R_a = ความต้านทานในขดลวดอาร์เมเจอร์(Armature resistance)
 i_a = ค่ากระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์(Armature current)
 L_a = ค่าความเหนี่ยวนำขดลวดอาร์เมเจอร์(Armature inductance)
 K_t = ค่าคงที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic field constant)
 ω = ความเร็วรอบของมอเตอร์(Motor speed)
 T = แรงบิดของมอเตอร์(Motor torque)
 J = โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์(Moment of inertia at motor)
 B = ค่าความเสียดทานของมอเตอร์และโหลด(Viscous friction of motor)
 T_L = แรงบิดของโหลด(Load torque)

จากสมการที่ (5.1) , (5.2) , (5.3) และ (5.4) ใช้วิธีแปลงลาปลาซเป็นฟังก์ชันความถี่ได้ดังนี้

$$E_a(s) = E_g(s) + RI_a(s) + LsI(s) \quad (5.5)$$

$$E_g(s) = K_t \omega(s) \quad (5.6)$$

จากสมการที่(5.5) จัดอยู่ในรูปกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์

$$I_a = \frac{E_a - E_g}{R_a + sL_a} = \frac{[E_a - E_g] / R_a}{1 + s\tau_a} \quad (5.7)$$

เมื่อ $\tau_a = \frac{L_a}{R_a}$ คือค่าคงที่ของเวลาทางไฟฟ้า

ได้สมการแรงบิดดังนี้

$$T(s) = T_L + B\omega(s) + Js\omega(s) \quad (5.8)$$

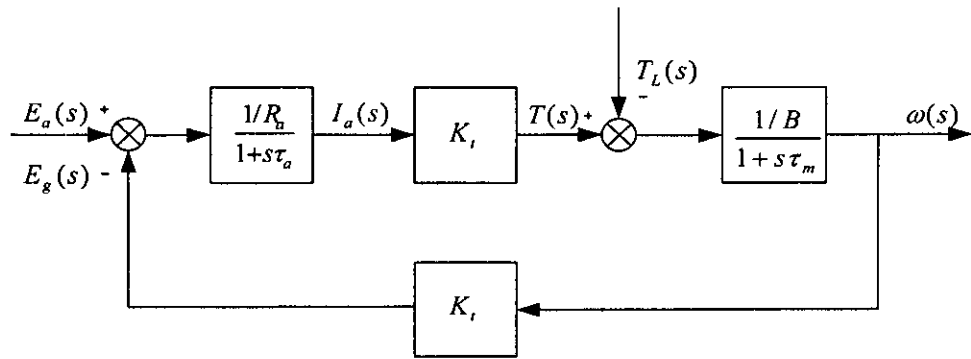
$$T(s) = K_t I_a(s) \quad (5.9)$$

จากสมการที่(5.8) จัดอยู่ในรูปความเร็วรอบของมอเตอร์

$$\omega = \frac{T - T_L}{B + sJ} = \frac{[T - T_L] / B}{1 + s\tau_m} \quad (5.10)$$

เมื่อ $\tau_m = \frac{J}{B}$ คือค่าคงที่ของเวลาทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากความสัมพันธ์ของสมการ (5.7),(5.10),(5.7) และ (5.9) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังรูปที่ 5.3

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5.3 $\omega(s)$ เป็นสัญญาณเอาต์พุต $E_a(s)$ เป็นสัญญาณอินพุตและ $T_L(s)$ เป็นสัญญาณรบกวน ดังนั้นการหาผลตอบสนองรวมของ $\omega(s)$ ต้องหาผลตอบสนองของแต่ละอินพุตซึ่งต้องใช้ทฤษฎีซ้อนทับ (Superposition) ได้สมการดังนี้

$$\omega(s) = \frac{G_1(s)}{1 + G_1(s)H_1(s)} E_a(s) - \frac{G_2(s)}{1 + G_2(s)H_2(s)} T_L(s) \quad (5.11)$$

ดังนั้น

$$G_1 = \frac{1/R_a}{1 + s\tau_a} K_t \frac{1/B}{1 + s\tau_m}$$

$$H_1 = K_t$$

$$G_2 = \frac{1/B}{1 + s\tau_m}$$

$$H_2 = \frac{K_t^2 / R_a}{1 + s\tau_a}$$

จากสมการ $\tau_m \gg \tau_a$ ดังนั้น $\tau_a \cong 0$ เนื่องจากค่า τ_m จะมีผลตอบสนองต่อความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลง ($\Delta\omega_m$) และค่า τ_a จะมีผลตอบสนองต่อกระแสไหลในอาร์เมเจอร์ที่เปลี่ยนแปลง (Δi_a) เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มหมุนจากหยุดจนกระทั่งมีความเร็วรอบคงที่ค่าหนึ่ง $\Delta\omega_m$ มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งคงที่ค่าหนึ่ง ดังนั้น τ_m จะมีค่าอยู่ค่าหนึ่ง แต่ในทางกลับกันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δi_a มีค่าเพิ่มขึ้นสูงระดับหนึ่งแล้วกลับมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าน้อยมาก ดังนั้น τ_a จึงมีค่าน้อยมากด้วย

$$\omega = \frac{K_t}{R_a B(1 + \tau_m) + K_t^2} E_a - \frac{R_a}{R_a B(1 + \tau_m) + K_t^2} T_L \quad (5.12)$$

เมื่อ $T_L = K_t I_a$

$$\omega = \frac{K_t E_a - K_t R_a I_a}{R_a B(1 + \tau_m) + K_t^2} \quad (5.13)$$

แต่ค่า $K_t R_a I_a \ll K_t E_a$ จึงประมาณได้ว่า $K_t R_a I_a = 0$ จะได้

$$\omega = \frac{K_t E_a}{R_a B(1 + \tau_m) + K_t^2} \quad (5.14)$$

จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\omega = \frac{K_m E_a}{1 + s\tau_{m1}}$$

$$\frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{1 + s\tau_{m1}} (G)$$

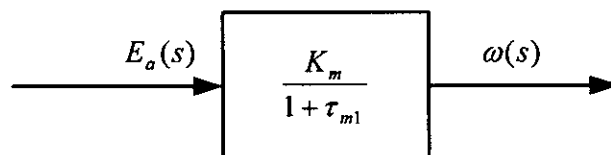
(5.15)

เมื่อ

$$K_m = \frac{K_t}{R_a B + K_t^2}$$

$$\tau_{m1} = \frac{R_a B}{R_a B + K_t^2}$$

จากสมการ (5.15) เขียนอยู่ในรูปบล็อกได้ดังรูป



รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรรวมควบคุมพีไอ

ระบบควบคุมแบบพีไอ (PI:Proportional plus integral controller) เป็นการรวมระบบควบคุมแบบพี (Proportional controller) และระบบควบคุมแบบไอ (Integral controller) เข้าด้วยกัน

ระบบควบคุมพี (Proportional controller) ในสภาวะทรานเซียนท์ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด และในสภาวะคงที่ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าคงที่ ซึ่งอาจจะมีค่ามากกว่า เท่ากับหรือต่ำกว่าสัญญาณผิดพลาดที่เข้ามา

ระบบควบคุมแบบไอ (Integral controller) ในสภาวะทรานเซียนท์ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เป็นไปตามค่าเวลาอินทิกรัลของสัญญาณค่าความผิดพลาด และในสภาวะคงที่ผลตอบสนองของสัญญาณค่าความผิดพลาดต้องมีค่าเป็นศูนย์เสมอจึงจะทำให้อินทิกรัลหยุด

ดังนั้นระบบควบคุมพีไอ ในสภาวะทรานเซียนท์ผลตอบสนองเป็นไปตามระบบควบคุมแบบพี และในสภาวะคงที่เป็นไปตามระบบควบคุมแบบไอ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ (5.20)

$$e_o = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt \tag{5.20}$$

แปลงเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน

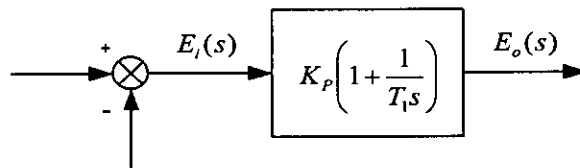
$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = K_p + \frac{K_i}{s} \tag{5.21}$$

โดยที่ K_p เป็นอัตราขยายของการควบคุมแบบพี

T_i เรียกว่าช่วงเวลาอินทิกรัล

$\frac{1}{T_i}$ เป็นค่า Reset rate คือจำนวนครั้งต่อหน้าที่ที่สัญญาณควบคุมมีค่าเป็น 2 เท่า

การควบคุมมอเตอร์โดยทั่วไปใช้ระบบควบคุมแบบพีไอ เนื่องจากการควบคุมแบบพีนั้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัว ซึ่งในฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์จำเป็นต้องมีส่วนอินทิเกรเตอร์ (1/s) เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น จึงต้องใช้ระบบการควบคุมแบบไอร่วม



รูปที่ 5.5 บล็อกของระบบควบคุมพีไอ

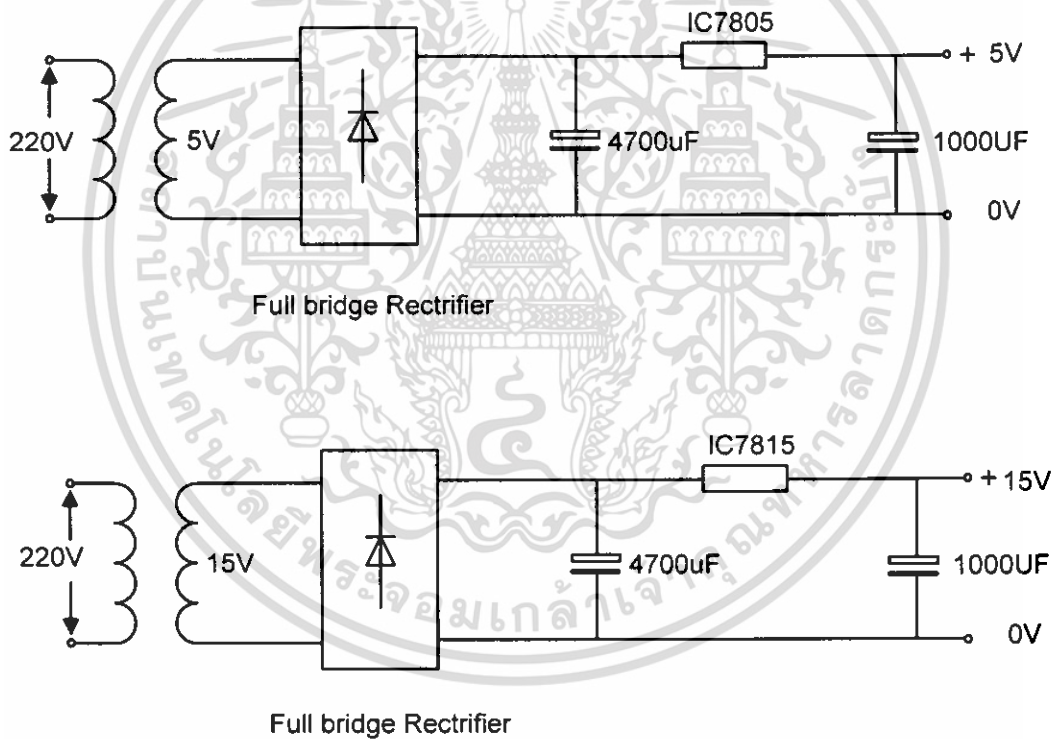
บทที่ 6

วงจรที่ใช้ในโครงการ

6.1 วงจร Supply

อุปกรณ์มีดังนี้

- 1.หม้อแปลง 220/5 V 1A
 - 2.หม้อแปลง 220/15 V 1A
 - 3.ชุด Rectrifier
 - 4.ชุด regulator IC7805 ,IC7815
- Capacitor ชนิดอิเล็กโทรไลต์
ขนาด 4700 ไมโครฟารัด 1000ไมโครฟารัด

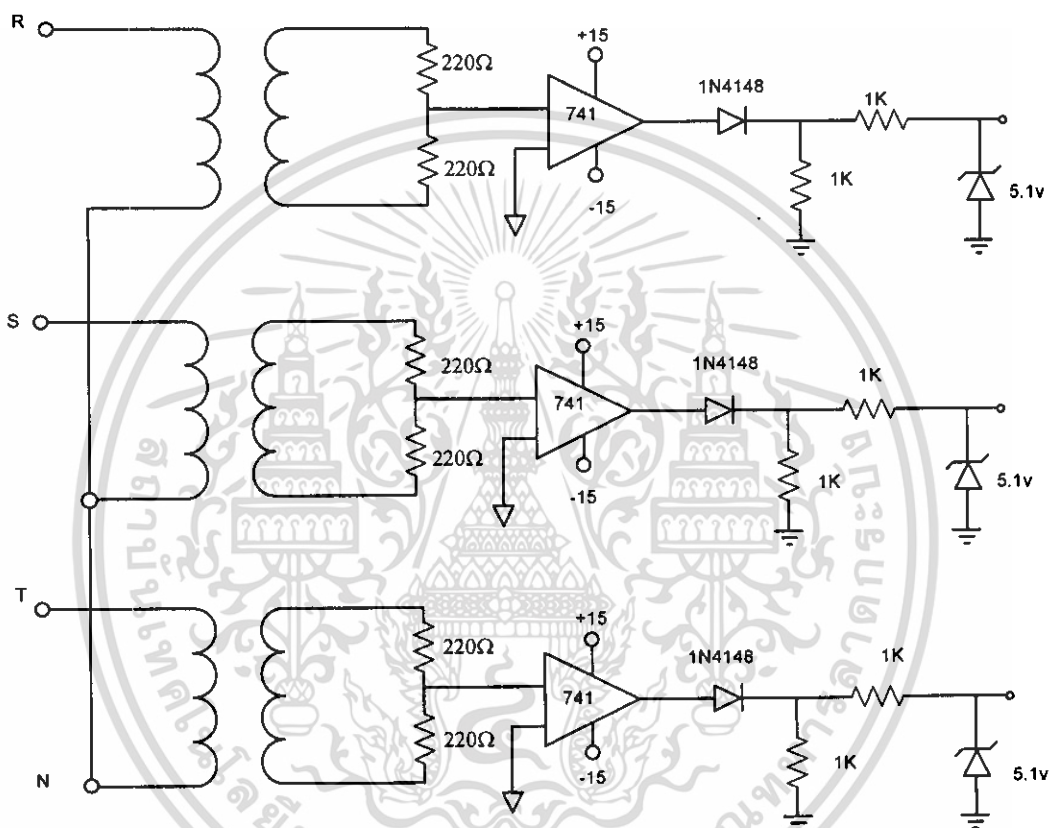


รูปที่ 6.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง +5 และ +15

หลักการทำงาน เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ไฟเลี้ยงขนาด +5 โวลท์และเป็นไฟเลี้ยงให้กับชุด drives และชุด zerocrossing

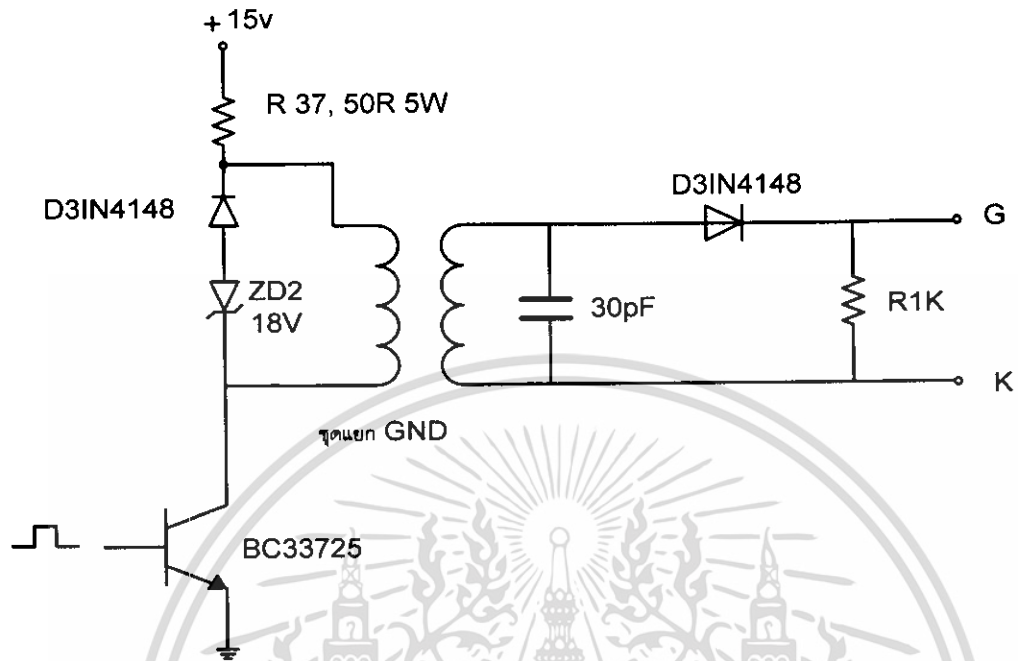
6.2 วงจร ZERO CROSSING

วงจรซีโรครอสซิงในการทดลองจะประกอบไปด้วย ออปแอมป์เบอร์ 741 ที่ทำงานเป็น วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (operation of comparator) ดังแสดงรูป 6.2 ขาไฟเลี้ยงทั้งสอง ขา 7 ต่อกับไฟเลี้ยง +15 v, ขา 4 ต่อกับไฟเลี้ยง -15 v ขา Inverting input (ขา2,+) ต่อเป็นจุดต่อร่วม วงจร(Circuit common) และขา Noninverting input (ขา3,+) ต่อเข้ากับแหล่งสัญญาณ input รูปคลื่น sine ที่มาจากหม้อแปลง



รูปที่6.2 วงจร ZERO CROSSING

6.3 ชุดขับขาเกตของ SCR



รูปที่ 6.3 แสดงชุดขับขาเกตของ SCR

รายการอุปกรณ์

- 1.ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ BC33725
- 2.zener
- 3.diode ชนิดพื้นตัวเร็ว เบอร์ D3IN4148
- 4.ตัวต้านทาน R37,50R 5w
- 5.Puse transformer 1:1
6. ตัวต้านทาน 1K
- 7.capicitor ชนิดเซรามิก

หลักการของจรขับ

วงจรถับชนิดหม้อแปลงความถี่สูงจะรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ทรานซิสเตอร์เพื่อ on และ off โดยขณะที่ทรานซิสเตอร์ on กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 15 โวลต์จะไหลผ่านหม้อแปลงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดสัญญาณ ไปขับขาเกตของ SCR เมื่อทรานซิสเตอร์ off จะไม่มีกระแสไหลผ่านและหม้อแปลงสนามแม่เหล็กที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและจะเกิดการอิมิตัวทำให้ไม่เกิดสัญญาณ ขาลงทางด้านวงจรถับเกตจึงต้องมีชุดไดโอดและซีเนอร์ไดโอดคล้ายกระแสที่เหนี่ยวนำจากตัวหม้อแปลงและไม่ทำให้เกิดการอิมิตัว

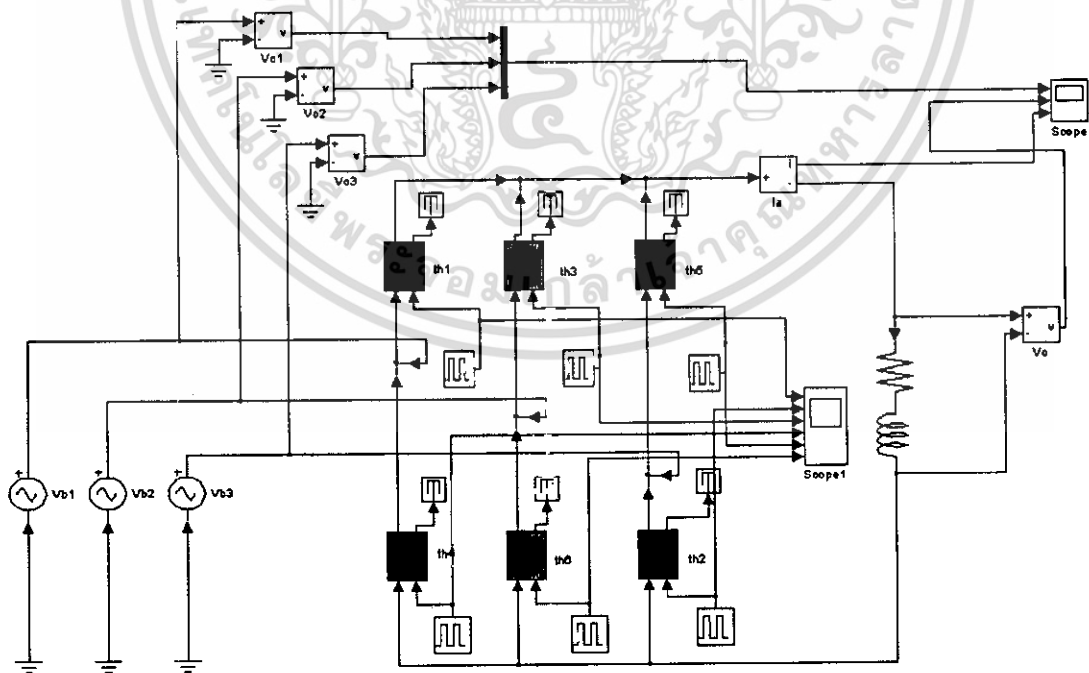
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การใช้งาน Simulink ของโปรแกรม MATLAB การจำลอง,ทดสอบ และวิเคราะห์ระบบด้วย Simulink

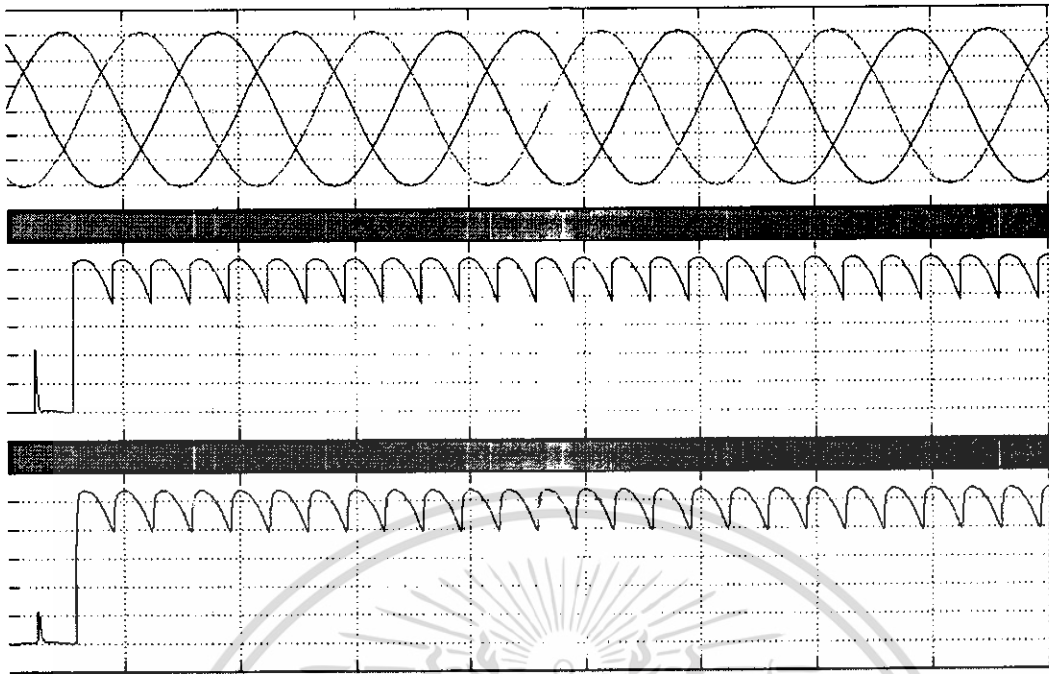
Simulink คือ เครื่องมือ(toolbox) ที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB โดย Simulink จะทำงานภายใต้หน้าต่างที่เป็นการเชื่อมต่อทางด้านรูปภาพ (GUI) ของ Simulink เท่านั้น ซึ่ง Simulink มาจากคำสองคำคือ Simulation และ Link การใช้งาน Simulink จะกระทำโดยนำ block diagram ของแต่ละ block ในหน้าต่าง Library simulink มาต่อตามที่ต้องการ โดย Simulink สามารถจำลอง ทดสอบวิเคราะห์การทำงานของระบบพลศาสตร์ในเชิงเวลาได้ทั้งระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ระบบเวลาต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง การจำลองระบบสามารถกระทำได้โดยการป้อนอินพุตให้กับระบบที่สร้างไว้แล้วดูผลเอาต์พุตของระบบเนื่องจากอินพุตที่ป้อนเข้าไป

การทดลองในโครงงาน 4-Quadrant DC drivers นี้จะนำ Simulink มาช่วยในการวิเคราะห์ระบบ การควบคุมมอเตอร์โดยการวิเคราะห์จะนำเอาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์มาวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบและทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นตัวแปร ในระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลอง แล้วพิจารณาว่าค่าใดที่เหมาะสมต่อการออกแบบระบบควบคุมเพื่อที่จะนำไปสร้างวงจรควบคุมมอเตอร์ที่ทดสอบให้มีเสถียรภาพมากที่สุดทำให้เราสามารถที่จะออกแบบงานที่ใช้ได้อย่างเหมาะสม โดยโครงงานนี้จะใช้วงจรควบคุมในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

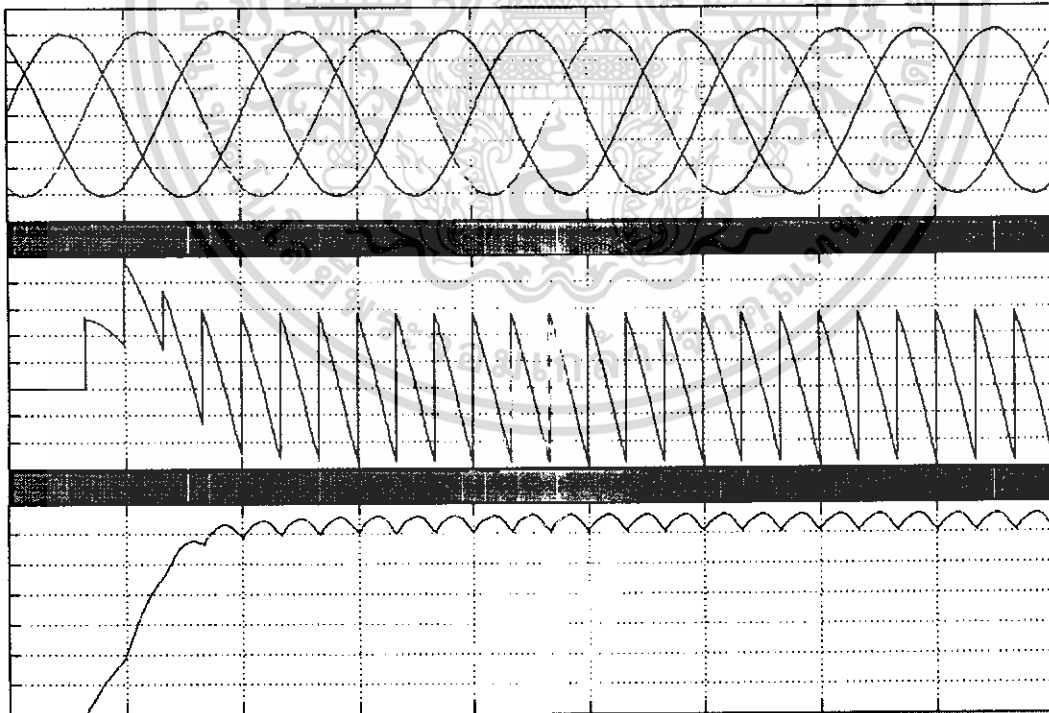


รูปที่ 7.1 แสดงวงจรการ simulation ในโปรแกรม matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ของ แรงดัน input,แรงดัน output ,กระแส armature



รูปที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ของ แรงดัน input,แรงดัน output ,กระแส armature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

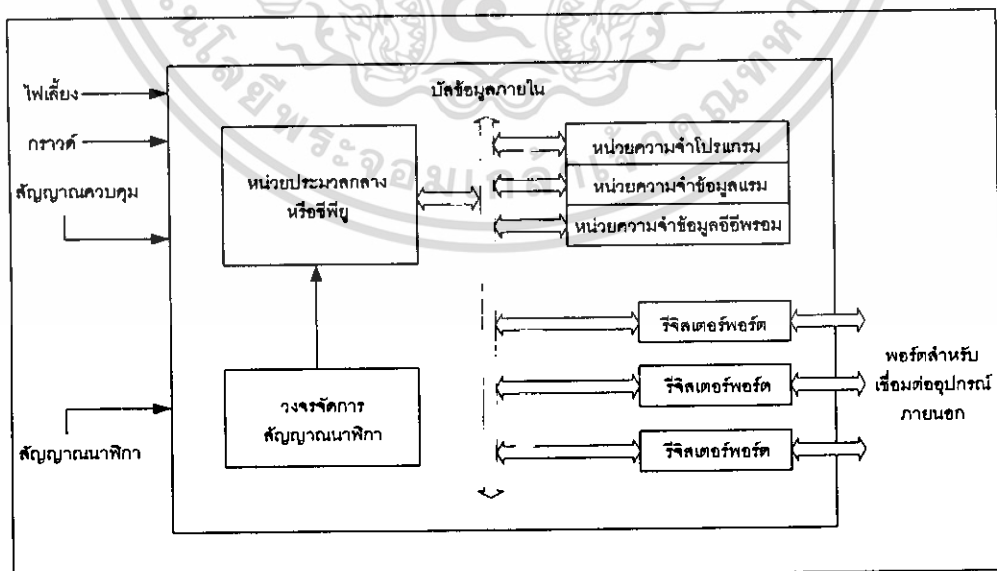
บทที่ 8

โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC18F458

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีอุปกรณ์หลักๆเหมือนคอมพิวเตอร์ประกอบอยู่ภายใน

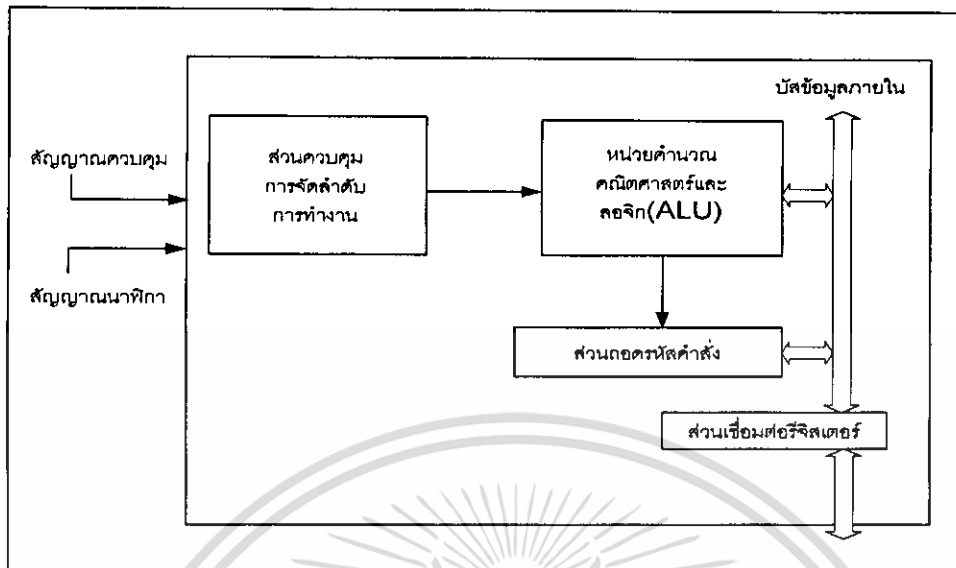
หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้เข้ามาในระบบ แล้วทำการส่งต่อไปยังส่วนต่างๆเพื่อควบคุมการทำงานต่อไป หัวใจหลักของซีพียูคือหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic and logic unit) ซึ่งได้รับการกำหนดจังหวะการทำงานจากส่วนควบคุมลำดับการทำงาน โดยจะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาเมื่อซีพียูทำการติดต่อหน่วยความจำสิ่งที่ปรากฏบนบัสข้อมูลภายในซีพียูคือรหัสคำสั่ง(instruction code) ต้องผ่านการทำงานของส่วนถอดรหัสคำสั่ง(instruction decoder) เสียก่อนจะได้เป็นข้อมูลคำสั่งที่ซีพียูเข้าใจและสามารถดำเนินการต่อได้ หลังจากที่หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกประมวลผลแล้วก็จะส่งข้อมูลมายังส่วนเชื่อมต่อรีจิสเตอร์ภายในซีพียู เพื่อติดต่อกับส่วนอื่นๆต่อไป

การทำงานของซีพียูมีด้วยกัน 2 จังหวะคือ เฟตช์ (fetch) และเอ็กซีคิวต์ (executed) โดยการทำงานจะเริ่มจากเฟตช์ ซึ่งก็คือการเรียกหรือการเข้าถึงคำสั่ง แล้วทำการถอดรหัสเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมประมวลผล จากนั้นจะเป็นจังหวะของการเอ็กซีคิวต์ ซึ่งก็คือการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดให้จนเสร็จสิ้น ซึ่งความสามารถในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ pic18F นี้เป็นแบบ 8 บิต



รูปที่ 8.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



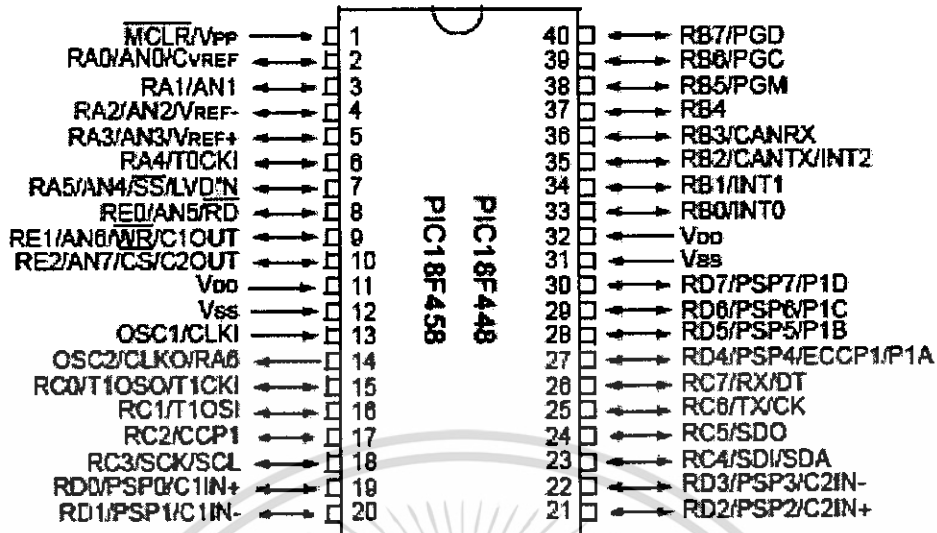
รูปที่ 8.2 แสดงส่วนประกอบหลักของชิพพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์

หน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 3 แบบ คือ flash memory ซึ่งจะเป็นหน่วยความจำภายในตัวเอาไว้เก็บในส่วนของโปรแกรมมีขนาด 32 k byte Rom ซึ่งจะเป็นส่วนเก็บข้อมูลชั่วคราวในการประมวลผลมีหน่วยความจำ 1536 byte EEPROM เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลซึ่งสามารถลบและเขียนได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้าซึ่งในส่วนนี้ไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงข้อมูลที่เก็บไว้ก็ไม่หาย มีหน่วยความจำข้อมูล 256 byte ทำงานที่ clock สูงสุด 40MHz หรือ $(10\text{MHz} \times 4)$ ซึ่งที่这样做เพราะความถี่สูงจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากกว่าความถี่ต่ำ ดังนั้นจึงใช้เป็น 10MHz แล้วเอาไปผ่านวงจรคูณภายใน รีจิสเตอร์ (register)

เป็นหน่วยความจำพิเศษที่มีบทบาทสูงมากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถจะอ่านและเขียนข้อมูลได้ตลอดเวลา จนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าที่หลักคือ ใช้เก็บข้อมูลในการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่เก็บนี้มีทั้งข้อมูลแสดงสถานการณ์ทำงาน ข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ข้อมูลที่รับเข้ามาจากพอร์ตอินพุต ข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตเอาต์พุต โดยข้อมูลแต่ละประเภทก็จะถูกจัดเก็บลงในรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกันตามหน้าที่การทำงาน

โครงสร้างและการทำงานของพอร์ตใน PIC18F458



รูปที่ 8.3 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ตใน PIC18F458

จากโครงสร้างพอร์ตใน Pic18F458 จะมีทั้งหมด 40 ขาเป็นชนิดที่โปรแกรมได้โดยใช้เครื่อง IDC Program โดยขา 1 เป็นขา Reset ขา 11 และขา 32 เป็นขาที่รับไฟ +5v และขา 12 และ 31 เป็นขาที่ต่อลงกราวด์ ขา13 และ 14 เป็นขาที่รับสัญญาณ clock ขา 39 และ 40 เป็นขาที่ต่อไปเข้า IDC Program และจากรูป พอร์ตของ pic18F458 ประกอบด้วย port ทั้งหมด 5 port คือ A,B,C,D,E โดย

พอร์ต A จะมี 7 บิตคือ 0-6 จะมีส่วนประกอบแต่ละขา ดังนี้

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0/CVREF	bit 0	TTL	Input/output, analog input or analog comparator voltage reference output.
RA1/AN1	bit 1	TTL	Input/output or analog input.
RA2/AN2/VREF-	bit 2	TTL	Input/output, analog input or VREF-.
RA3/AN3/VREF+	bit 3	TTL	Input/output, analog input or VREF+.
RA4/T0CKI	bit 4	ST/OD	Input/output, external clock input for Timer0, output is open-drain type.
RA5/AN4/SS/LVDIN	bit 5	TTL	Input/output, analog input, slave select input for synchronous serial port or Low-Voltage Detect input.
OSC2/CLKO/RA6	bit 6	TTL	Oscillator clock output or input/output.

พอร์ต B จะมี 8 บิตคือ 0-7 จะมีส่วนประกอบแต่ละขาดังนี้

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT0	bit 0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt 0 input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1/INT1	bit 1	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt 1 input. Internal software programmable weak pull-up.
RB2/CANTX/ INT2	bit 2	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin, CAN bus transmit pin or external interrupt 2 input. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/CANRX	bit 3	TTL	Input/output pin or CAN bus receive pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit 4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5/PGM	bit 5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up. Low-voltage serial programming enable.
RB6/PGC	bit 6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit 7	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

พอร์ต C จะมี 8 บิตคือ 0-7 จะมีส่วนประกอบแต่ละขาดังนี้

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit 0	ST	Input/output port pin, Timer1 oscillator output or Timer1/Timer3 clock input.
RC1/T1OSI	bit 1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input.
RC2/CCP1	bit 2	ST	Input/output port pin or Capture 1 input/Compare 1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	bit 3	ST	Input/output port pin or synchronous serial clock for SPI™/I ² C™.
RC4/SDI/SDA	bit 4	ST	Input/output port pin or SPI data in (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	bit 5	ST	Input/output port pin or synchronous serial port data output.
RC6/TX/CK	bit 6	ST	Input/output port pin, addressable USART asynchronous transmit or addressable USART synchronous clock.
RC7/RX/DT	bit 7	ST	Input/output port pin, addressable USART asynchronous receive or addressable USART synchronous data.

พอร์ต D จะมี 8 บิตคือ 0-7 จะมีส่วนประกอบแต่ละขาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RD0/PSP0/C1IN+	bit 0	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 0 or C1IN+ comparator input.
RD1/PSP1/C1IN-	bit 1	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 1 or C1IN- comparator input.
RD2/PSP2/C2IN+	bit 2	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 2 or C2IN+ comparator input.
RD3/PSP3/C2IN-	bit 3	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 3 or C2IN- comparator input.
RD4/PSP4/ECCP1/P1A	bit 4	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 4 or ECCP1/P1A pin.
RD5/PSP5/P1B	bit 5	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 5 or P1B pin.
RD6/PSP6/P1C	bit 6	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 6 or P1C pin.
RD7/PSP7/P1D	bit 7	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, Parallel Slave Port bit 7 or P1D pin.

พอร์ต E จะมี 3 บิต จะมีส่วนประกอบแต่ละขา ดังนี้

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RE0/AN5/RD	bit 0	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, analog input or read control input in Parallel Slave Port mode.
RE1/AN6/WR/C1OUT	bit 1	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, analog input, write control input in Parallel Slave Port mode or Comparator 1 output.
RE2/AN7/CS/C2OUT	bit 2	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin, analog input, chip select control input in Parallel Slave Port mode or Comparator 2 output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างวงจรครบทุกส่วนแล้ว ก็จะทำทดลองเพื่อเก็บผลแล้วนำมาวิเคราะห์ ซึ่งจะทำการทดลองในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- การทดลองหาค่า R_a , R_f โดยวิธี V-I Method
- การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า
- การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสฟลด์
- การทดสอบการทำงานและวัดสัญญาณเออร์พุดของวงจรทั้งระบบ
- การทดลองนำวงจรไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิด
- การทดลองนำวงจรไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด
- การเปรียบเทียบการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดและลูปเปิด
- การทดลองจำลองการขับมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Matlab

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดแยกกระตุ้น(DC Motor FUJI ELECTRIC) ซึ่งมีพิกัดดังนี้

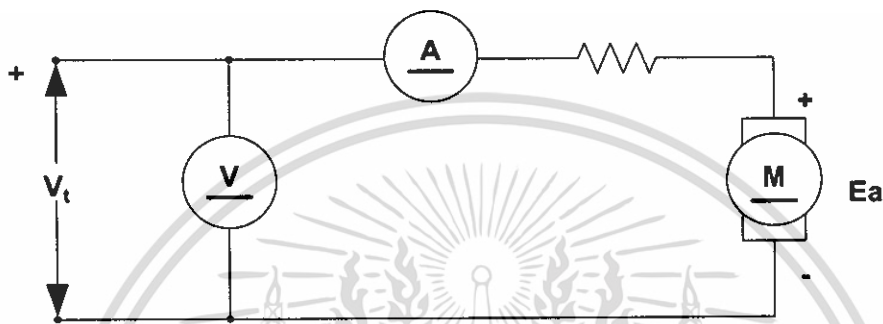
พิกัดแรงดันอาร์เมเจอร์:	220 V
พิกัดกระแสอาร์เมเจอร์:	13.5 A
พิกัดกำลังไฟฟ้า:	2.2 kW
พิกัดความเร็ว:	1150/2500 rpm
พิกัดแรงกัณฑ์ขดลวดฟลด์:	150 V
2. Digital Storage Oscilloscope YOGOGAWA DL1520
3. 1- Φ Variac 0-240 V 5 A
4. Multimeter SANWA YX361-TR
5. DC Voltmeter
6. DC Ammeter
7. Ecoder
8. Tacho-meter
9. ชุดทดสอบภาระ ประกอบด้วย Torque-meter ,แผงหลอดไฟ , สายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.1 การทดลองหาค่า R_a , R_f โดยวิธี V-I Method

9.1.1 ขั้นตอนการทดลองหาค่า R_a

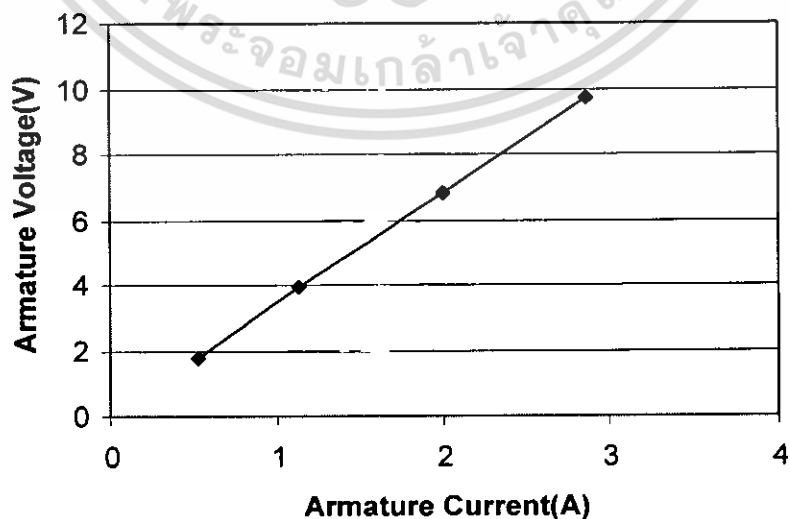
1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 8.1 ซึ่งจะป้อนแรงดันให้เฉพาะในส่วนของขดอาร์เมเจอร์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับขดฟิลด์จะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเพิ่มแรงดันที่ป้อนเข้าจนถึงค่าที่ตั้งไว้
3. ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 9.1 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_a

ตารางที่ 9.1 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์

$V_t(V)$	1.8	3.98	6.8	9.7
$I_a(A)$	0.53	1.13	2	2.86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์

ทำการคำนวณหาค่า R_a จาก

$$R_a = \frac{\Delta V_t}{\Delta I_a} \quad (9.1)$$

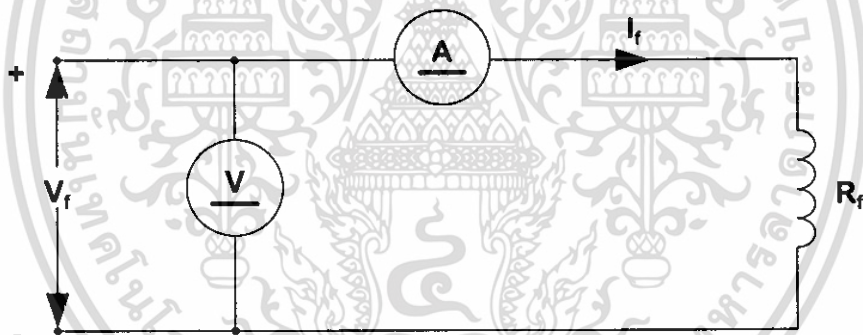
จะได้

$$R_a = \frac{6.8 - 3.95}{2 - 1.13}$$

$$R_a = 3.27 \ \Omega$$

9.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาค่า R_f

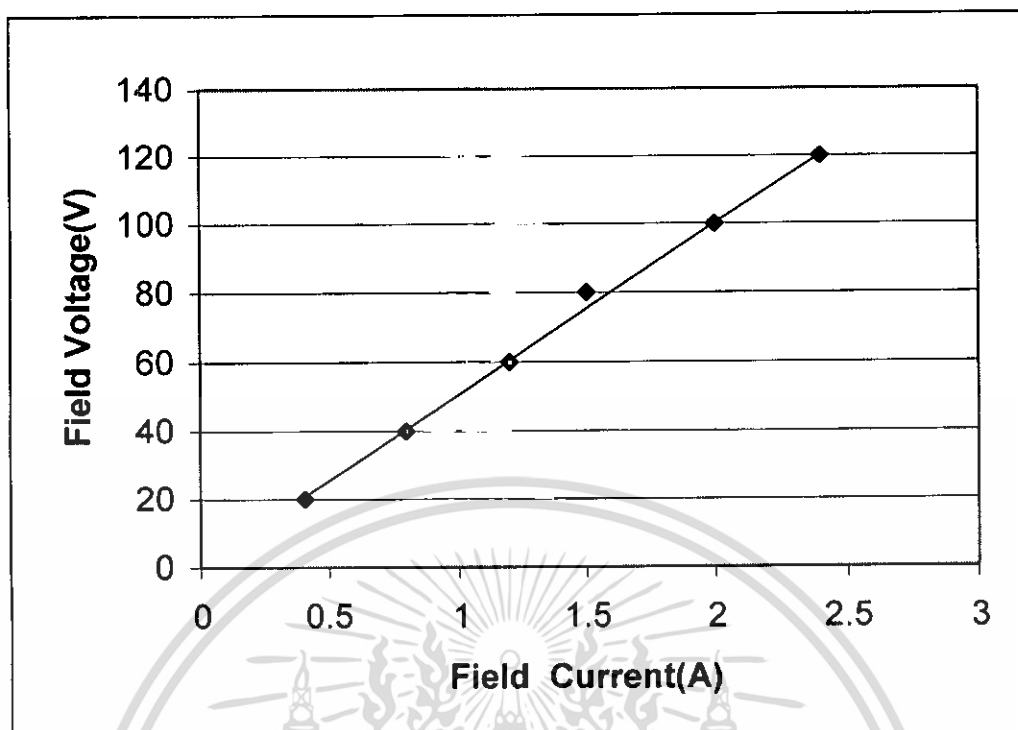
1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูป 8.3 ซึ่งจะป้อนแรงดันให้เฉพาะในส่วนของขดฟิลต์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเพิ่มแรงดันที่ป้อนเข้าจนถึงค่าที่ตั้งไว้
3. ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และกระแสฟิลต์



รูปที่ 9.3 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_f

ตารางที่ 9.2 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสฟิลต์

$V_f(V)$	20	40	60	80	100	120
$I_f(A)$	0.4	0.8	1.2	1.5	2	2.4



รูปที่ 9.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสฟิลด์

ทำการคำนวณหาค่า R_f จาก

$$R_f = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} \quad (9.2)$$

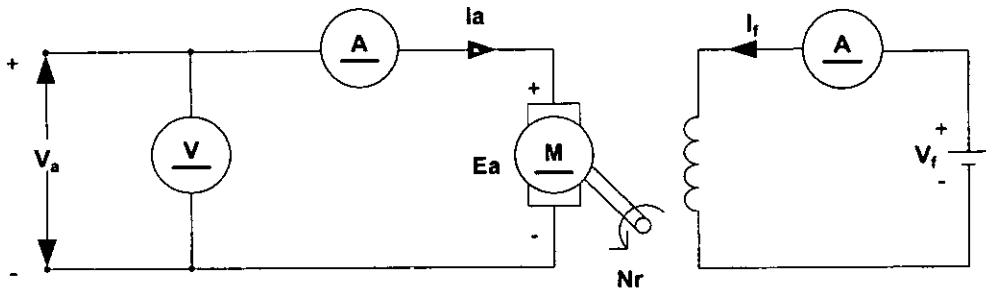
จะได้

$$R_f = \frac{80 - 60}{1.5 - 1.2}$$

$$R_f = 66.67 \quad \Omega$$

9.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขั้นตอนการทดลอง

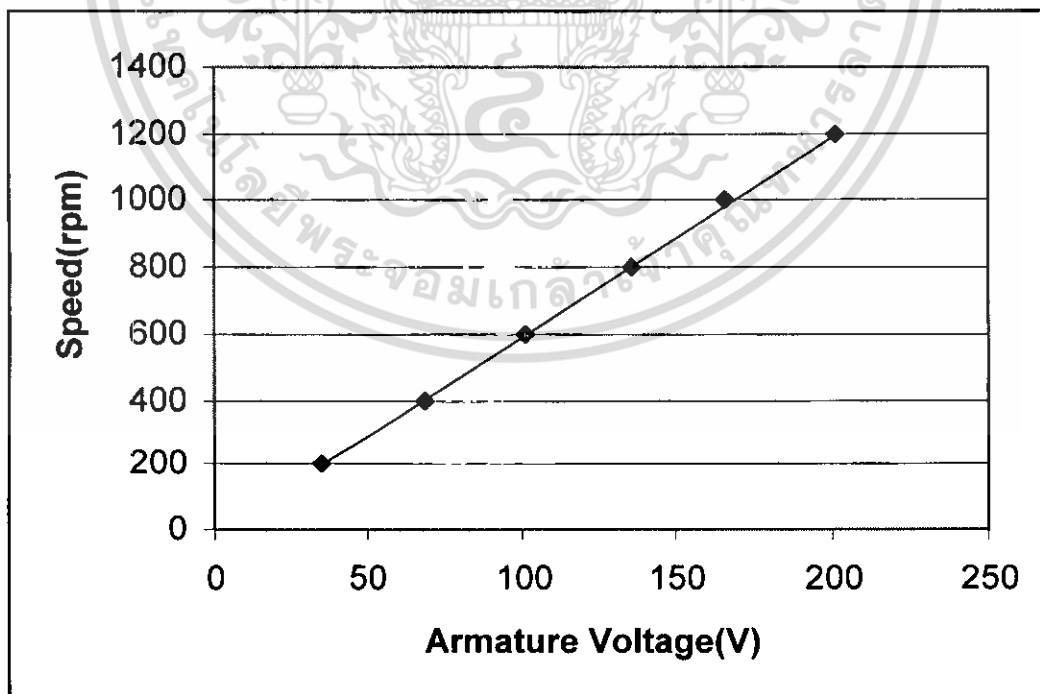
1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูป 8.5 โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดฟิลด์คงที่ที่ค่าพิกัด 150 V
2. ทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่กำหนด
3. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าและค่ากระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 9.5 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขั้วไคร้

ตารางที่ 9.3 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบๆ

$N_r(\text{rpm})$	200	400	600	800	1000	1200
$V_t(\text{V})$	34.5	68.7	101.4	135.4	165.7	201.3
$I_a(\text{A})$	1.14	1.16	1.18	1.22	1.24	1.28



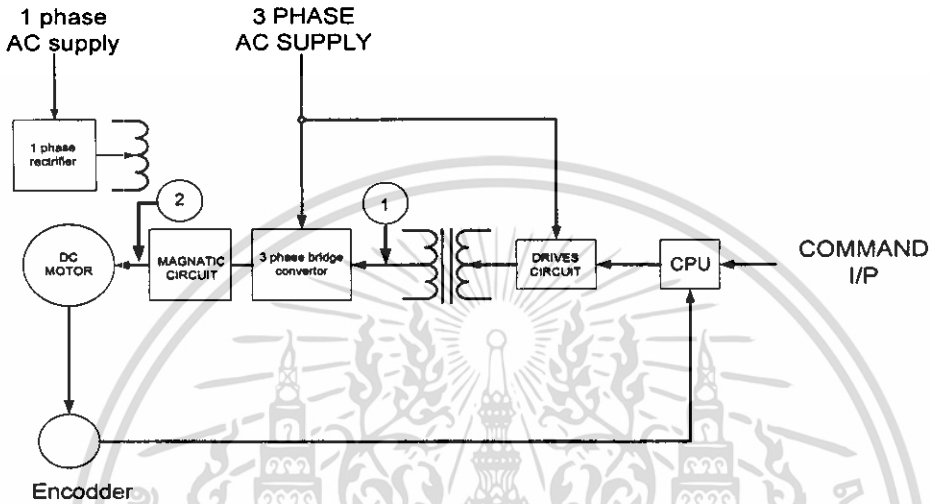
รูปที่ 9.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันที่ป้อนเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3 การทดสอบการทำงาน และวัดสัญญาณเอาต์พุตทั้งระบบ

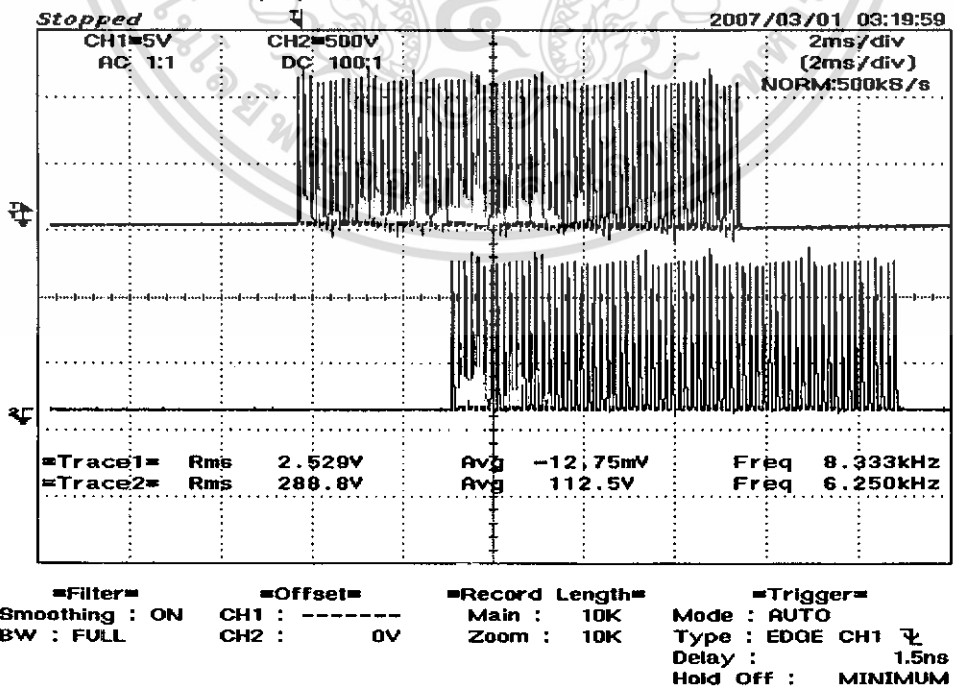
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการจัดวงจรการทดลองทั้งระบบตามรูปบล็อกไดอะแกรม
2. ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตจุดที่ 1 และจุดที่ 2 และบันทึกค่าสัญญาณตามลำดับ



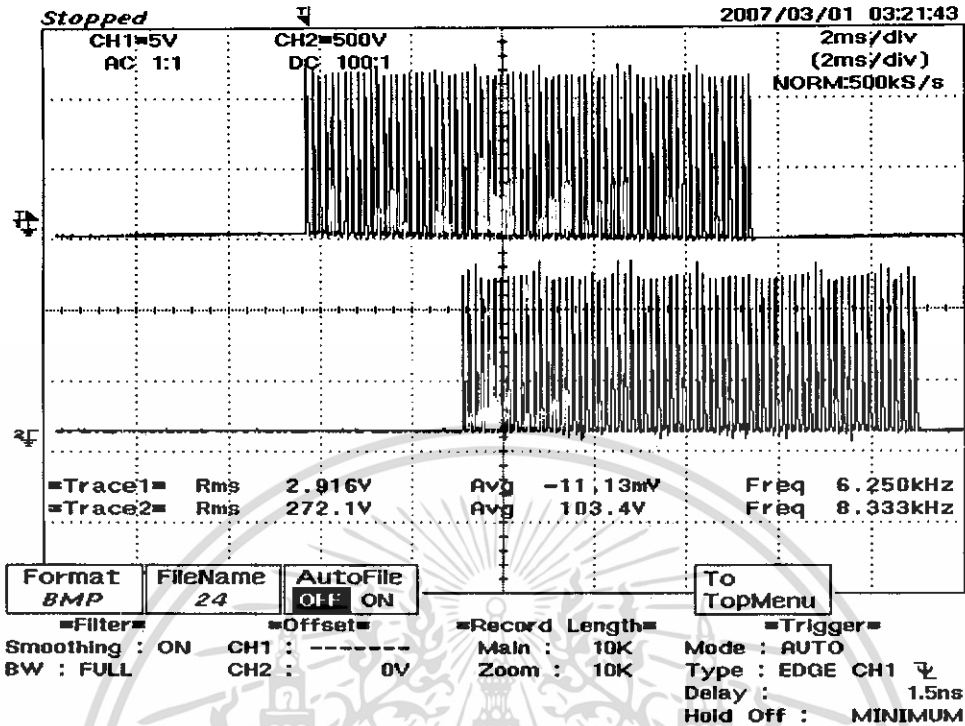
รูปที่ 9.7 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตจุดที่ 1

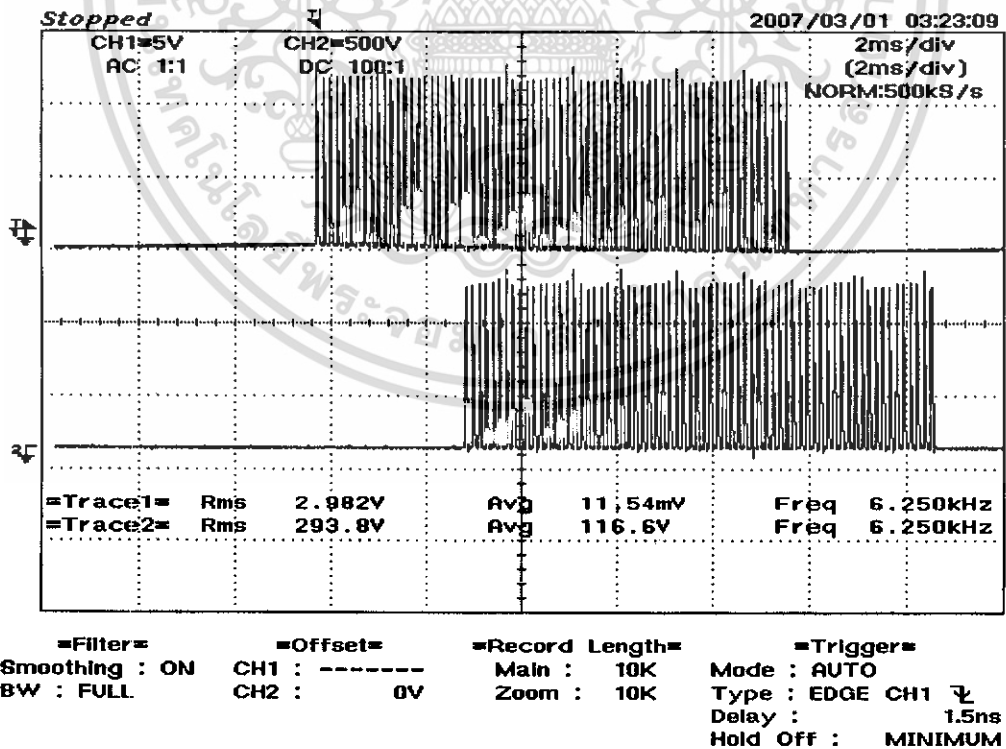


รูปที่ 9.8 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR คิวที่ 1 เทียบกับคิวที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

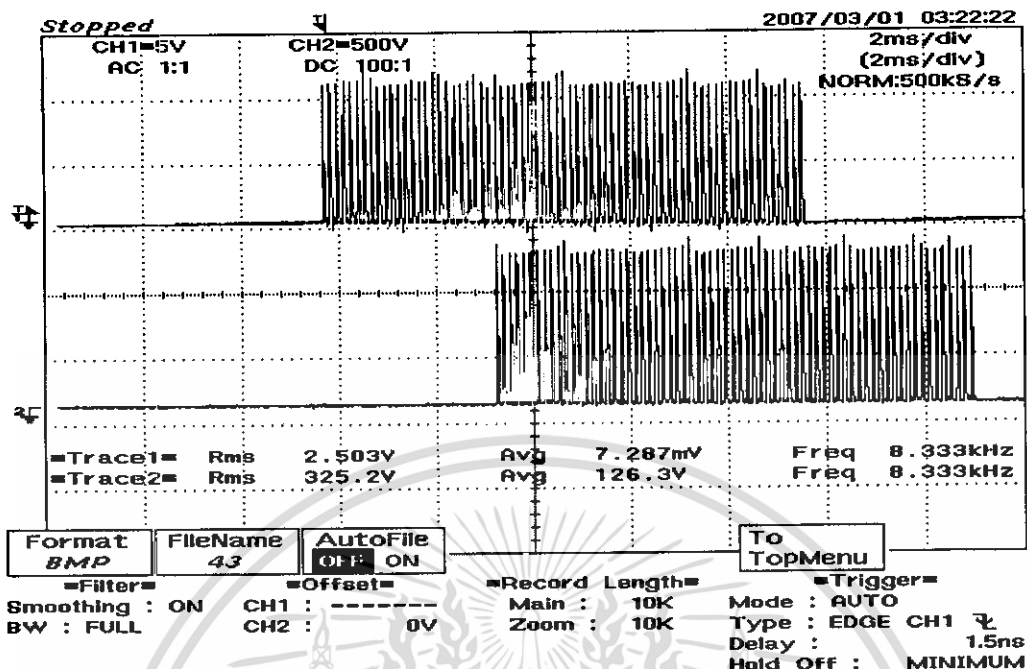


รูปที่ 9.9 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 2 เทียบกับตัวที่ 4

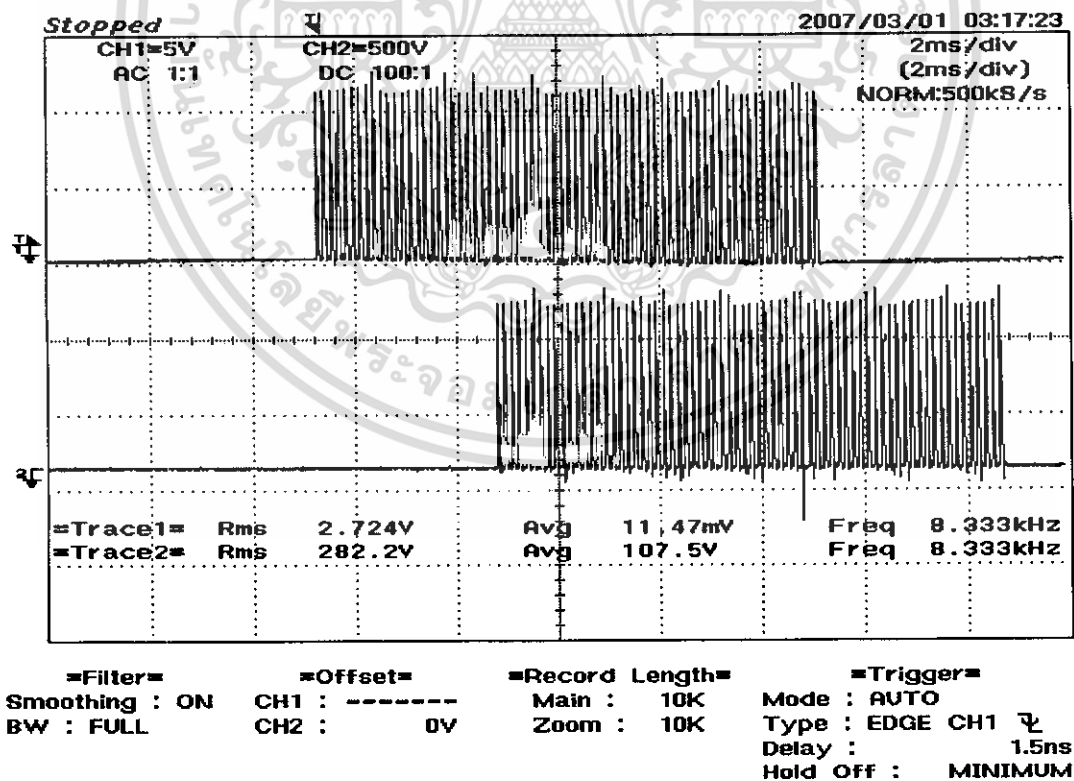


รูปที่ 9.10 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 3 เทียบกับตัวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

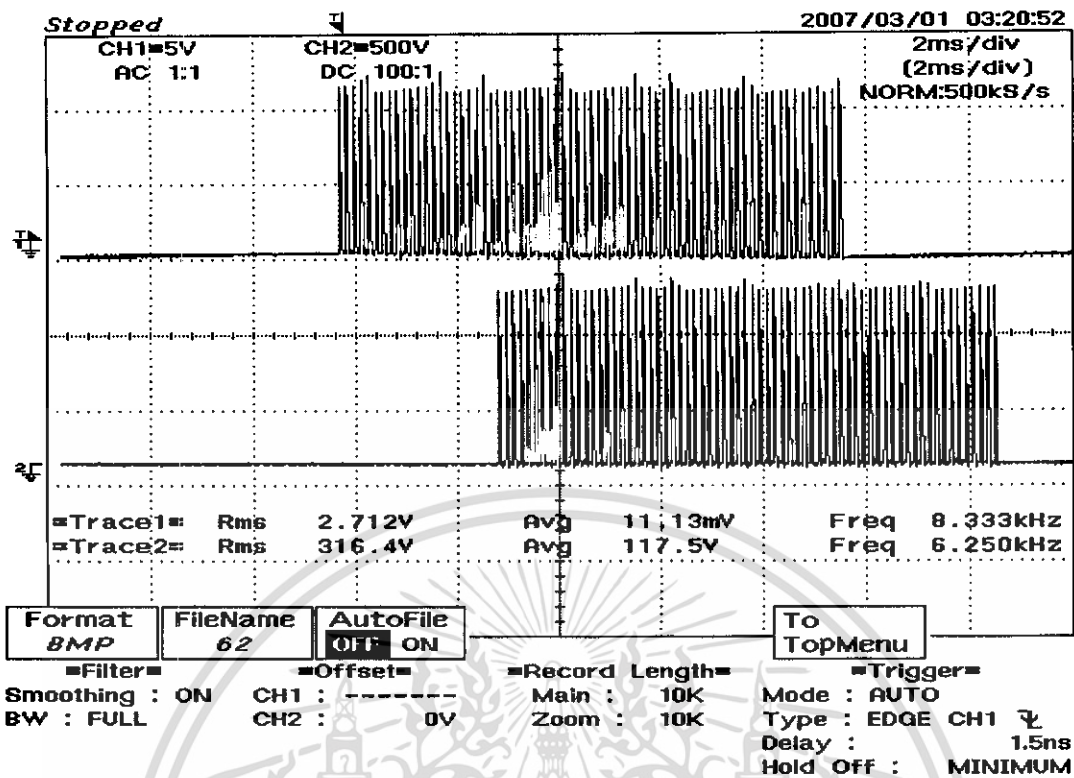


รูปที่ 9.11 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 4 เทียบกับตัวที่ 3

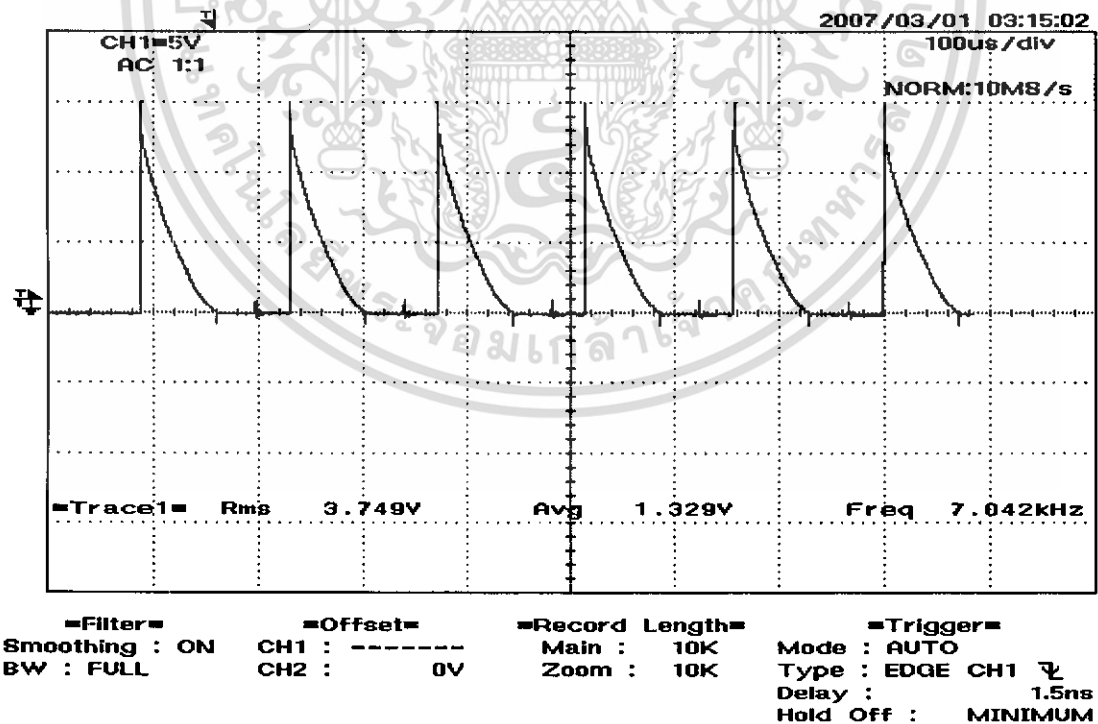


รูปที่ 9.12 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 5 เทียบกับตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



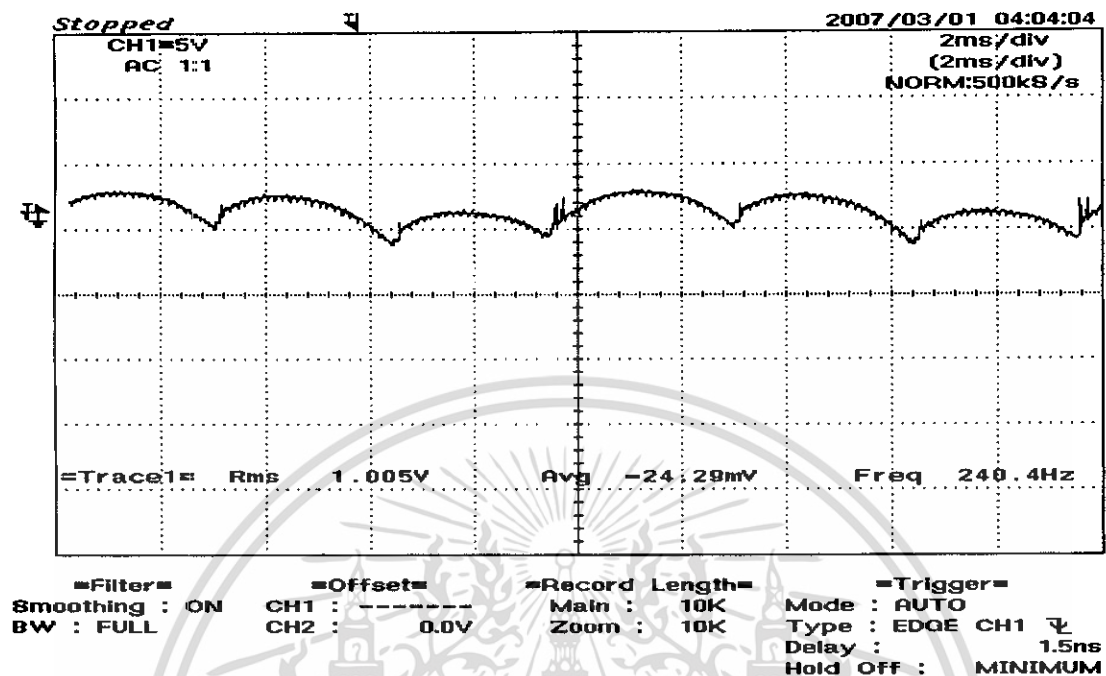
รูปที่ 9.13 รูปสัญญาณการ Trig ของ SCR ตัวที่ 6 เทียบกับตัวที่ 2



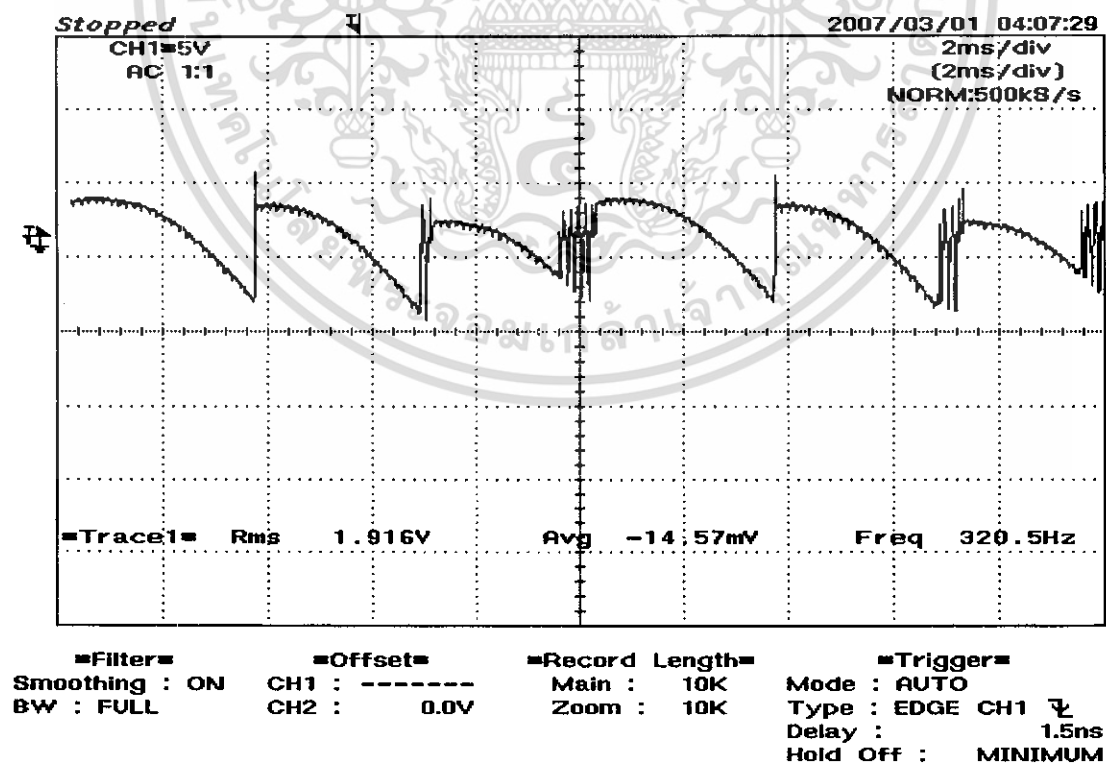
รูปที่ 9.14 ภาพขยายสัญญาณขับ SCR (Pulse Tran)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณเอาร์ทพุตจุดที่ 2

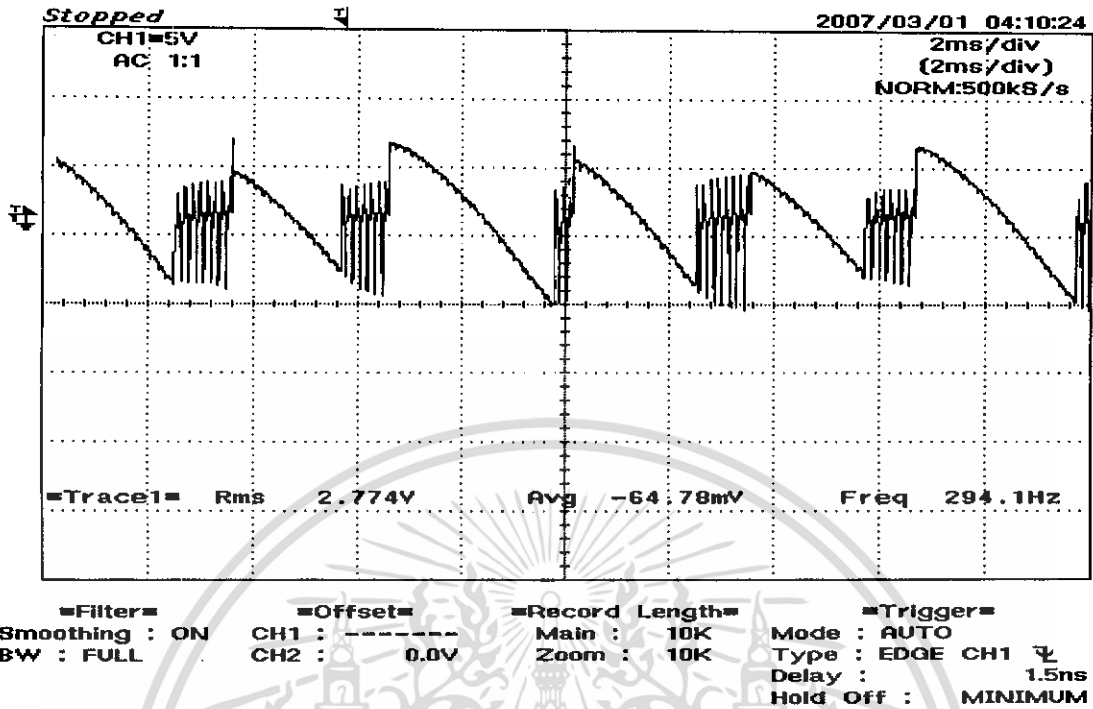


รูปที่ 9.15 สัญญาณเอาร์ทพุตที่มุมจุดจนวน 0 องศา

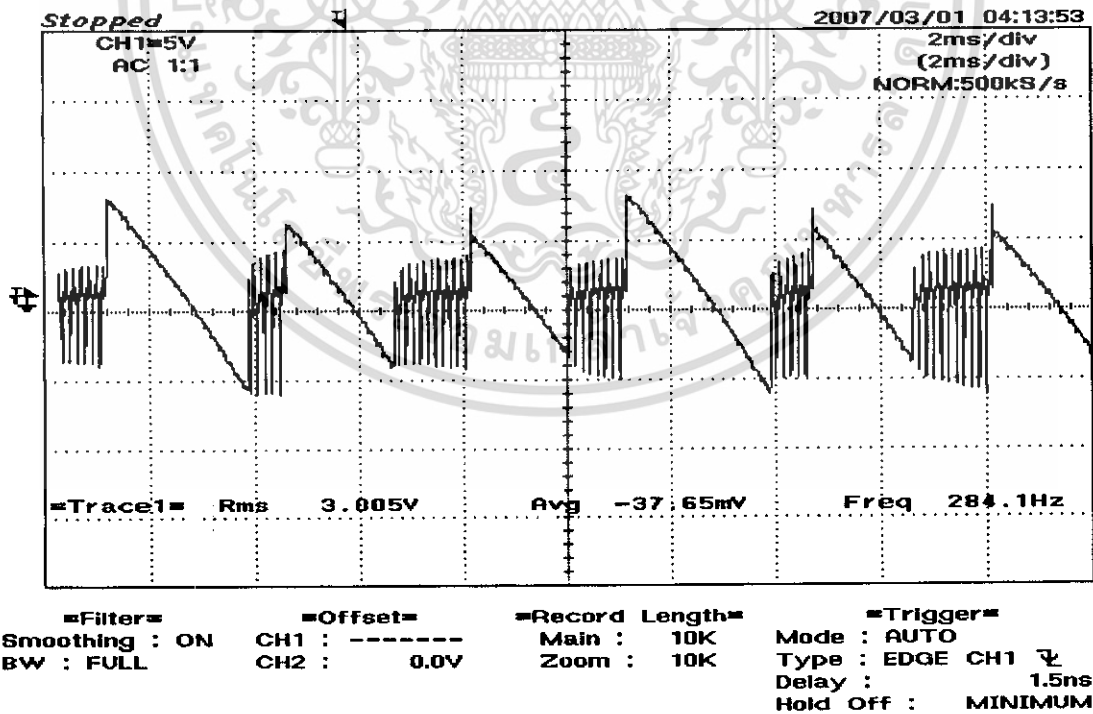


รูปที่ 9.16 สัญญาณเอาร์ทพุตที่มุมจุดจนวน 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.17 สัญญาณเอาร์ทพุตที่มุมจุดฉนวน 45 องศา



รูปที่ 9.18 สัญญาณเอาร์ทพุตที่มุมจุดฉนวน 90 องศา

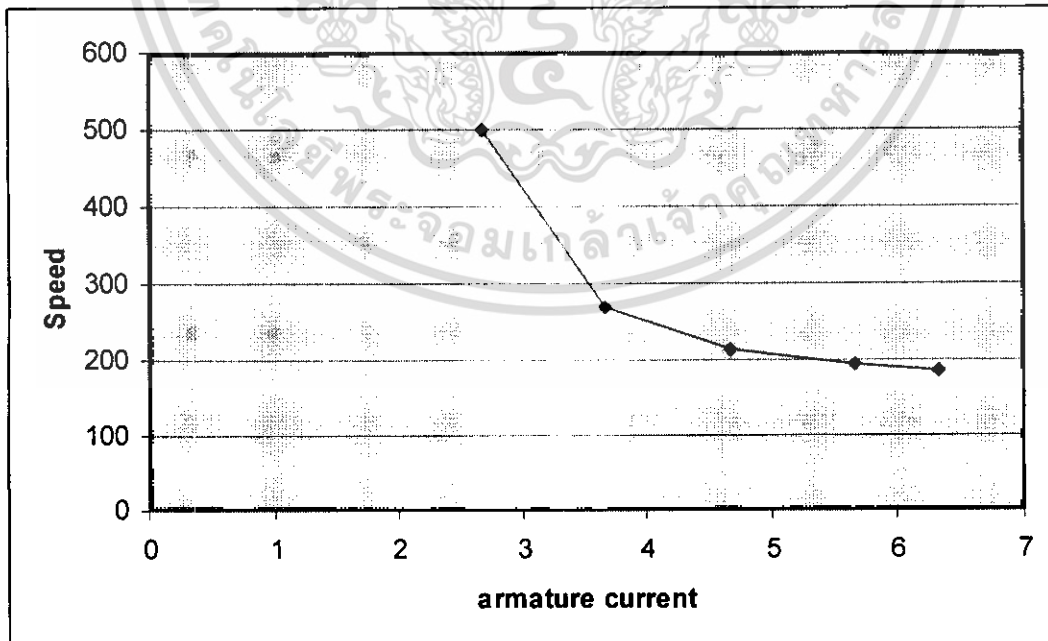
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4 การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบลูเปิดที่โหลดค่าต่าง ๆ ขั้นตอนการทดลอง

1. นำวงจรชุดขับมอเตอร์แบบลูเปิดที่ความเร็วที่ความเร็ว 500,600,800,1000,1100,1200 รอบต่อนาทีตามลำดับ
2. ขณะมอเตอร์หมุนทำการจ่ายโหลดที่ 0%(0watt),25%(500watt),50% (1100watt),75%(1600 watt),100%(2200 watt)
3. ขณะใส่โหลดที่ค่าต่าง ๆทำการใส่โหลดที่ค่าต่าง ๆทำการบันทึกความเร็ว,แรงดันอาเมเจอร์และกระแสอาเมเจอร์
4. ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.4 ผลการทดลองที่ความเร็ว 500 rpm , $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = 86.73 \text{ V}$, $I_a = 2.667 \text{ A}$

การ โหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75%(1600W)	100% (2200W)
N (rpm)	500	270	213	195	185
V_a (V)	83.52	47.7	45.5	38.7	33.44
I_a (A)	2.667	3.667	4.667	5.667	6.33

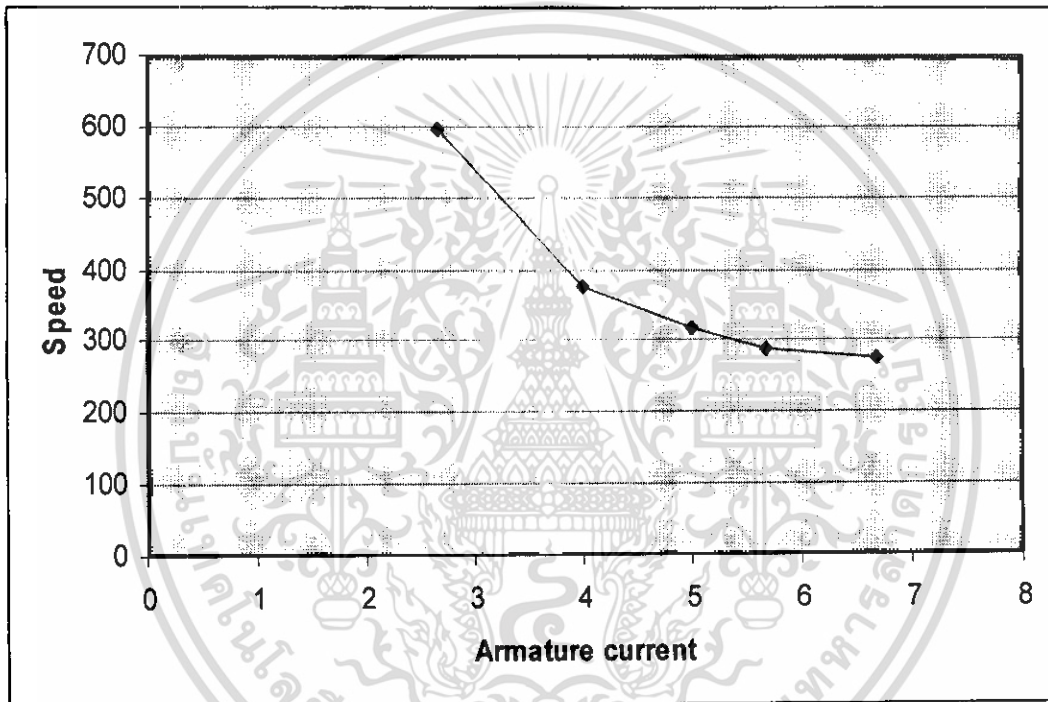


รูปที่ 9.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (500rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.5 ผลการทดลองที่ความเร็ว 600 rpm , $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = 102.94 \text{ V}$, $I_a = 2.667 \text{ A}$

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600W)	100% (2200W)
N (rpm)	595	375	317	289	275
V_a (V)	102.04	48.6	44.39	41.7	38.8
I_a (A)	2.667	4	5	5.67	6.67

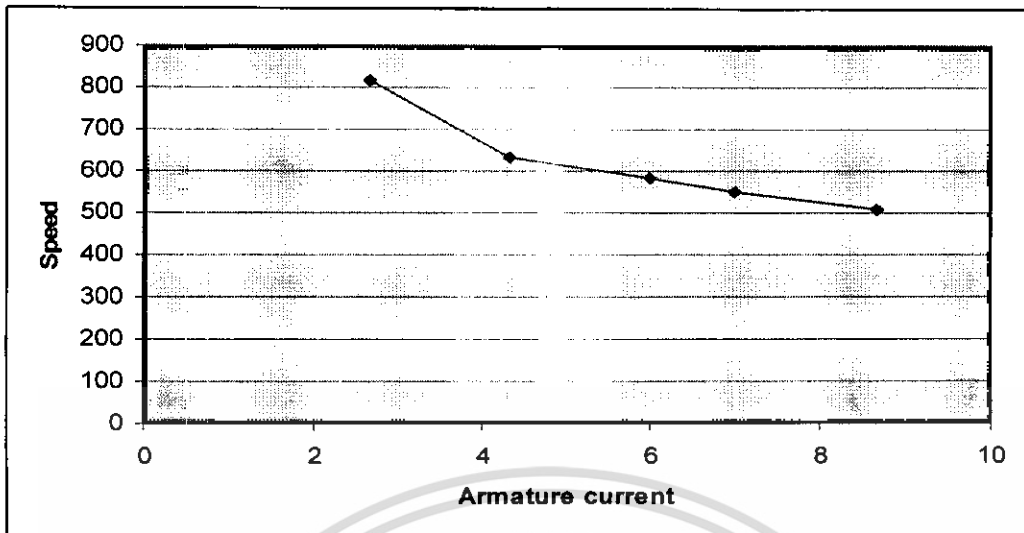


รูปที่ 9.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (600rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.6 ผลการทดลองที่ความเร็ว 800 rpm , $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = 139 \text{ V}$, $I_a = 2.667 \text{ A}$

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	817	633	583	552	516
V_a (V)	139.99	111.39	108	107	104.92
I_a (A)	2.667	4.333	6	7	8.667

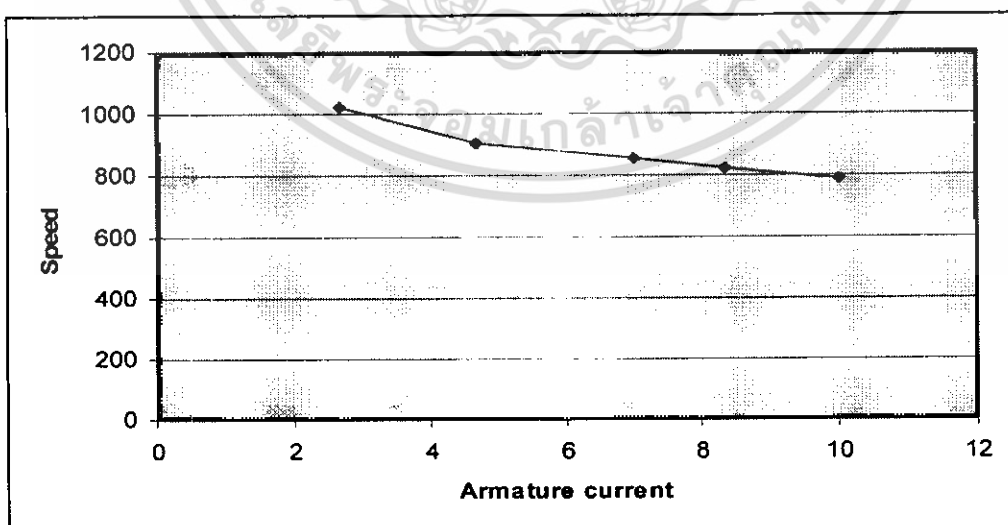
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (800rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.7 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1000 rpm , $V_f = 150$ V , $V_a = 174$ V , $I_a = 2.667$ A

ภาระ	0%	25%	50%	75%	100%
โหลด	(0 W)	(25 W)	(75 W)	(1600 W)	(2200W)
N (rpm)	1023	903	857	825	787
V_a (V)	174	156	154	150	148
I_a (A)	2.667	4.667	7	8.333	10

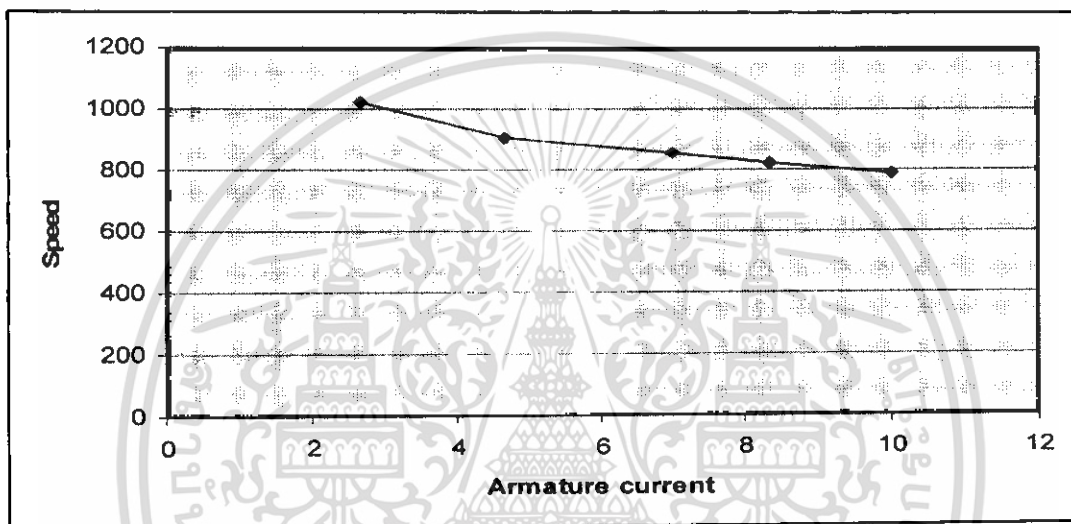


รูปที่ 9.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (1000rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.7 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1100 rpm, $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = 186.83 \text{ V}$, $I_a = 2.667 \text{ A}$

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	1100	1015	970	937	896
V_a (V)	186.83	174	172.4	170	168
I_a (A)	2.667	5	7	8.667	10.667

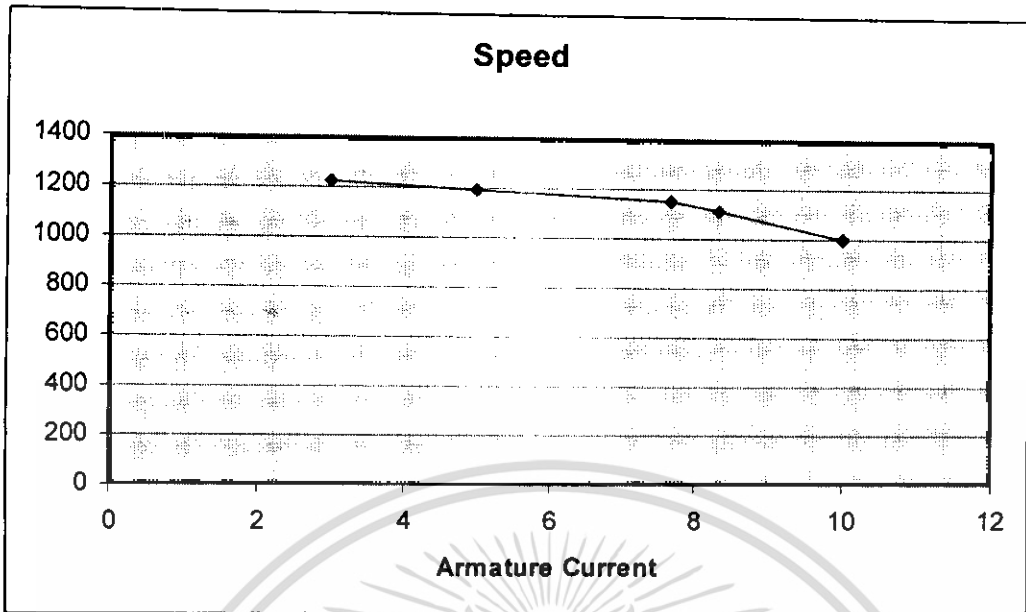


รูปที่ 9.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (1100rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.8 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1200 rpm , $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = 206 \text{ V}$, $I_a = 3 \text{ A}$

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	1200	1195	1150	1114	997
V_a (V)	206	203	200	198	193
I_a (A)	3	5	7.67	8.333	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (1200rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

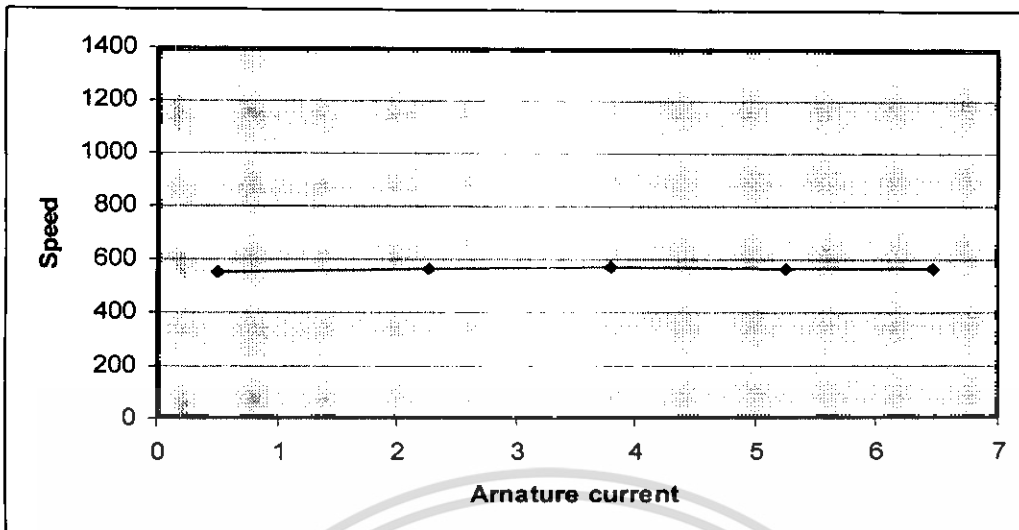
9.5 การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบลูปปิดที่โหลดค่าต่าง ๆ ขั้นตอนการทดลอง

1. นำวงจรชุดขับมอเตอร์แบบลูปเปิดที่ความเร็วที่ความเร็ว 500, 800, 1000, 1200 รอบต่อนาทีตามลำดับ
2. ขณะมอเตอร์หมุนทำการจ่ายโหลดที่ 0% (0 watt), 25% (500 watt), 50% (1100 watt), 75% (1600 watt), 100% (2200 watt)
3. ขณะใส่โหลดที่ค่าต่าง ๆ ทำการใส่โหลดที่ค่าต่าง ๆ ทำการบันทึกความเร็ว, แรงดันอาเมเจอร์ และกระแสอาเมเจอร์
4. ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.9 ผลการทดลองที่ความเร็ว 500 rpm, $V_f = 150$ V, $V_a = 94.12$ V, $I_a = 0.5$ A

ภาระ โหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	500	486	480	476	470
V_a (V)	94.12	101.48	107.14	110	113.54
I_a (A)	0.5	2.67	3.8	5.27	6.47

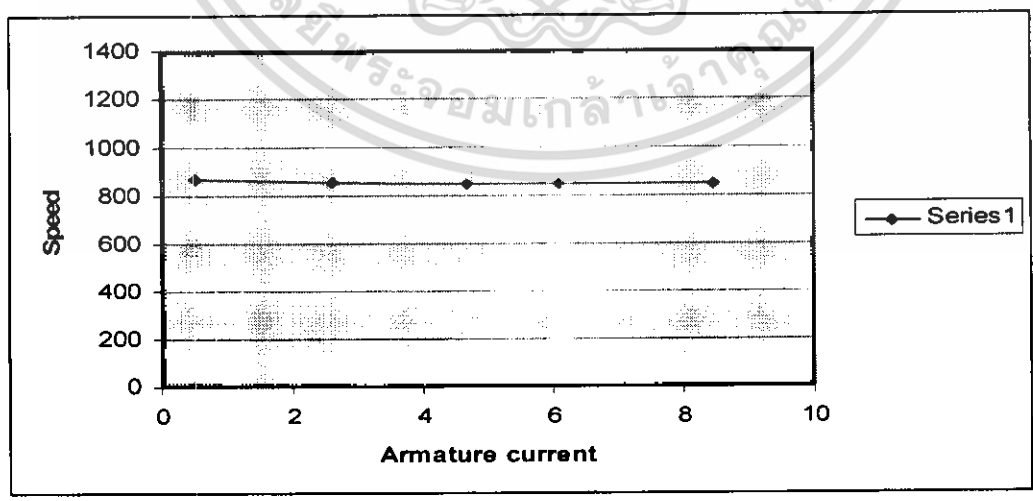
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (500rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.10 ผลการทดลองที่ความเร็ว 800 rpm , Vf = 150 V , Va= 97.76 V , Ia= 0.53 A

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50%(75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	800	787	780	776	772
Va (V)	97.76	144.94	150.4	154.4	160.4
Ia(A)	0.53	2.6	4.67	6.1	8.47

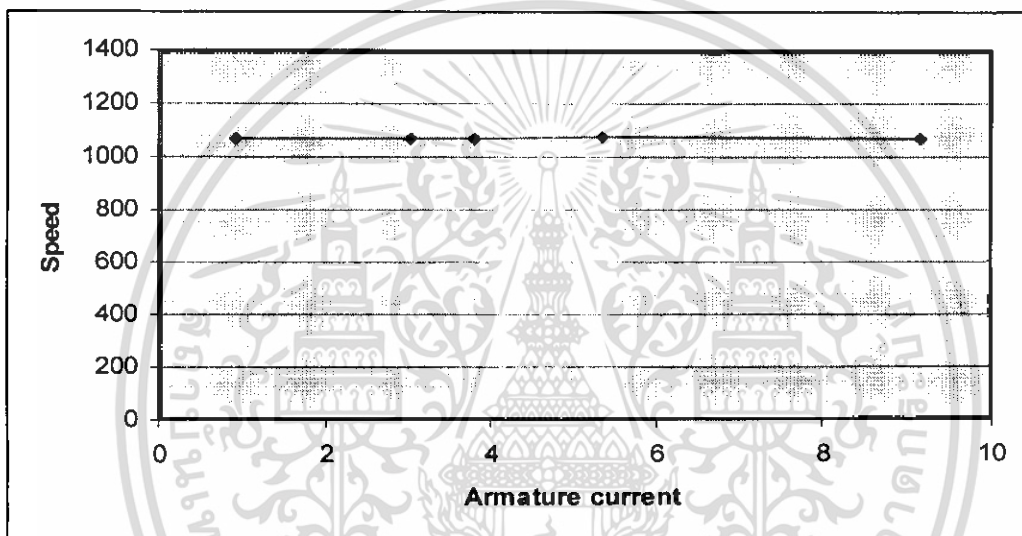


รูปที่ 9.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (800rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.11 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1000 rpm , $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = V$, $I_a = 0.93 \text{ A}$

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	1000	986	974	968	961
V_a (V)	186.56	189.56	193.19	196.5	198.76
I_a (A)	0.93	3.03	5.37	7.23	9.17

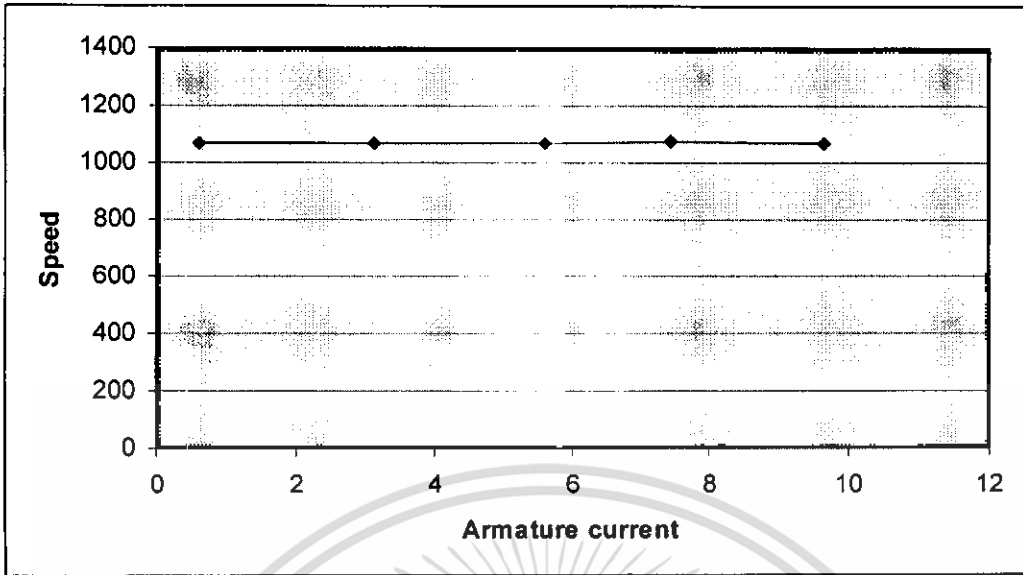


รูปที่ 9.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (1000rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

ตารางที่ 9.12 ผลการทดลองที่ความเร็ว 1200 rpm , $V_f = 150 \text{ V}$, $V_a = V$, $I_a = 0.93 \text{ A}$

ภาระโหลด	0% (0 W)	25% (25 W)	50% (75 W)	75% (1600 W)	100% (2200W)
N (rpm)	1200	1181	1176	1159	1137
V_a (V)	207.86	204.45	202.21	200.30	198.73
I_a (A)	0.6	3.13	5.6	7.43	9.6

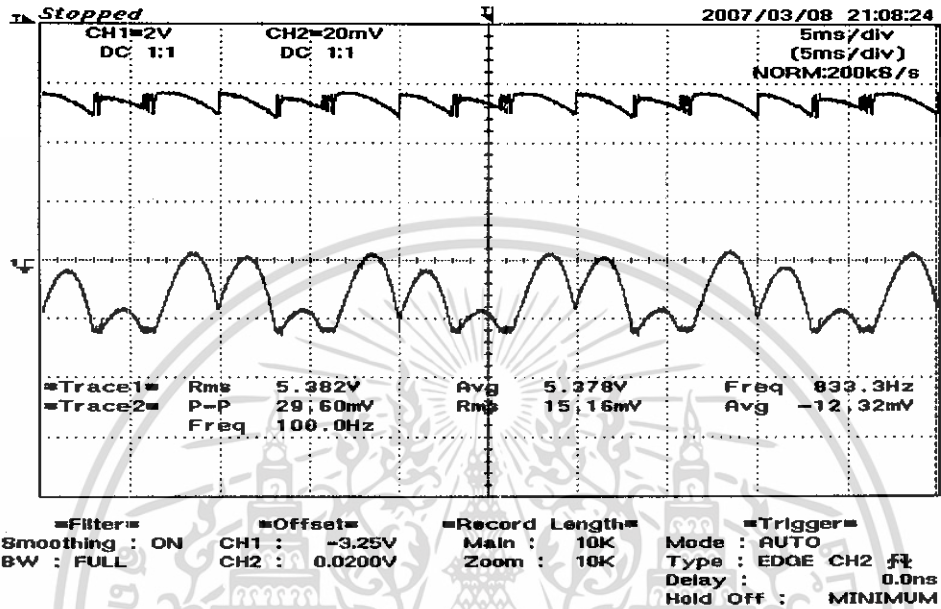
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



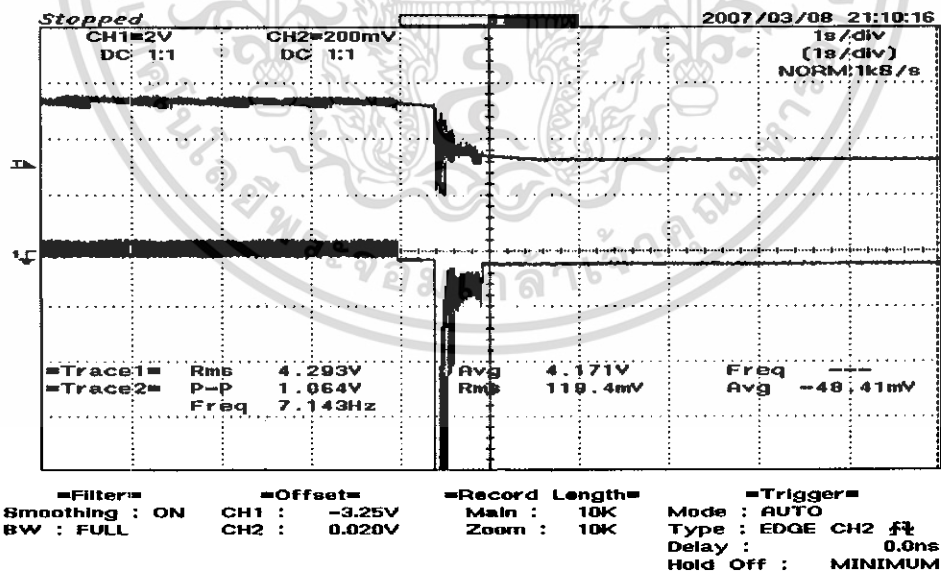
รูปที่ 9.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (1200rpm) ต่อค่ากระแสอาเมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.6 ผลการทดลองลักษณะของกระแสเอาพุทและแรงดันเอาท์พุทเมื่อทำงาน 4 ครอบแตรนทท์

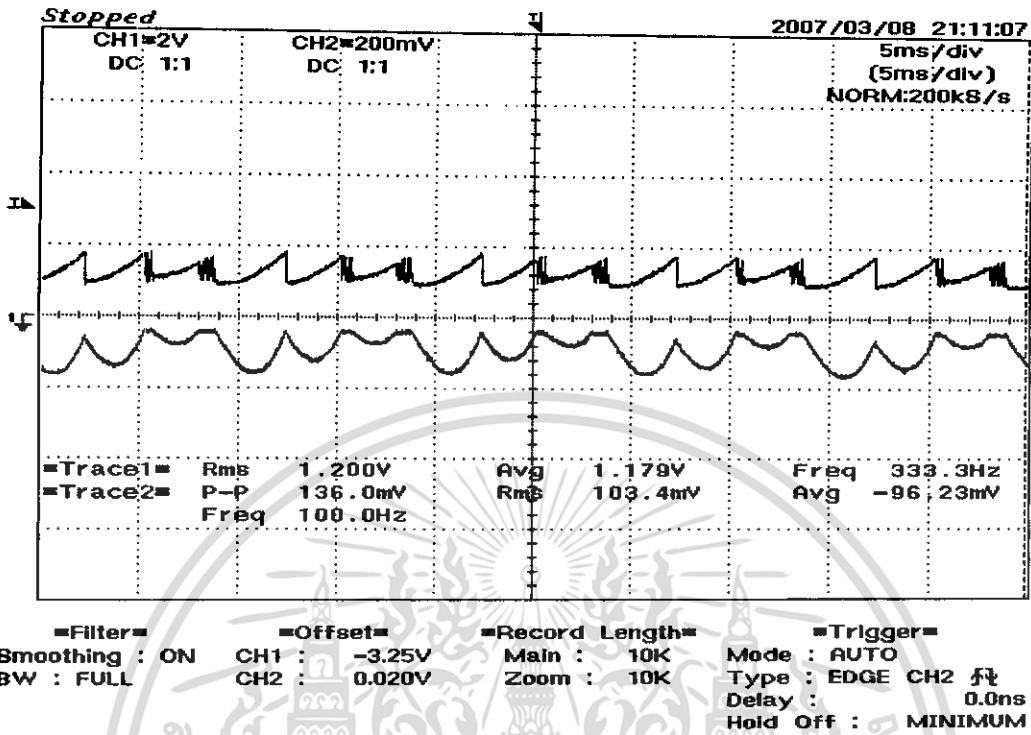


รูปที่ 9.29 แรงดันเอาท์พุทและกระแสเอาท์พุทในควอแตรนทท์ที่ 1

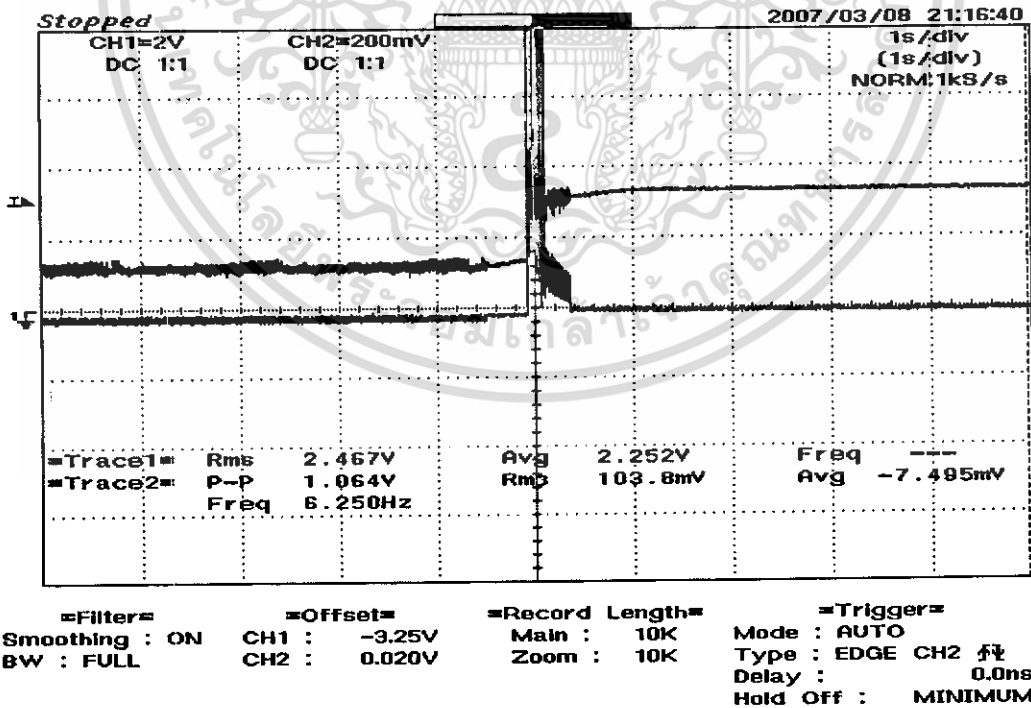


รูปที่ 9.30 แรงดันเอาท์พุทและกระแสเอาท์พุทในควอแตรนทท์ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.31 แรงดันเอาต์พุตแลกระแสเอาต์พุตในควอดแรนท์ที่ 3



รูปที่ 9.32 แรงดันเอาต์พุตและกระแสเอาต์พุตในโหมดที่ควอดแรนท์ที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.Shephevd, LN.Hulley and D.T.W. Liang, **Power electronic and motor control** , University of Bradford English 1995
- [2] Guy seguier, **POWER ELECTRONIC Converter AC-DC Conversion** , New york st : Kogan page Ltd,1986
- [3] N.Mohan, T.M.Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter,Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [4] Joseph Vithagathil,**POWER ELECTRONICS Principles and Applications**, acid-free paper,1995
- [5] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง **POWER ELECTRONICS**, พิมพ์ครั้งที่3, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรินติ้ง, 2548
- [6] พรจิต ประทุมสุวรรณ, **พื้นฐานการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, พิมพ์ครั้งที่2, กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์, 2548
- [7] ศิวะ หงษ์นภา , **หลักการและการประยุกต์ใช้งานดีซีไดรฟ์**, กรุงเทพฯ: กู๊ดวิลส์ไตรีคชั่น จำกัด, 2547
- [8] สำเริง รัตมีวิศวะ, ดำรง จินขาวขำ, **ทฤษฎีการนำไปใช้งานออปแอมป์**, กรุงเทพฯ
- [9] สมชาย อรุณรุ่งรัตมี, **ออปแอมป์และการประยุกต์ไอซีเชิงเส้น**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นสนามแม่เหล็ก

NAME PLATE

Power 2.2 kw , Speed 1150/2500 RPM

Vt = 220 V , Ia = 13.5

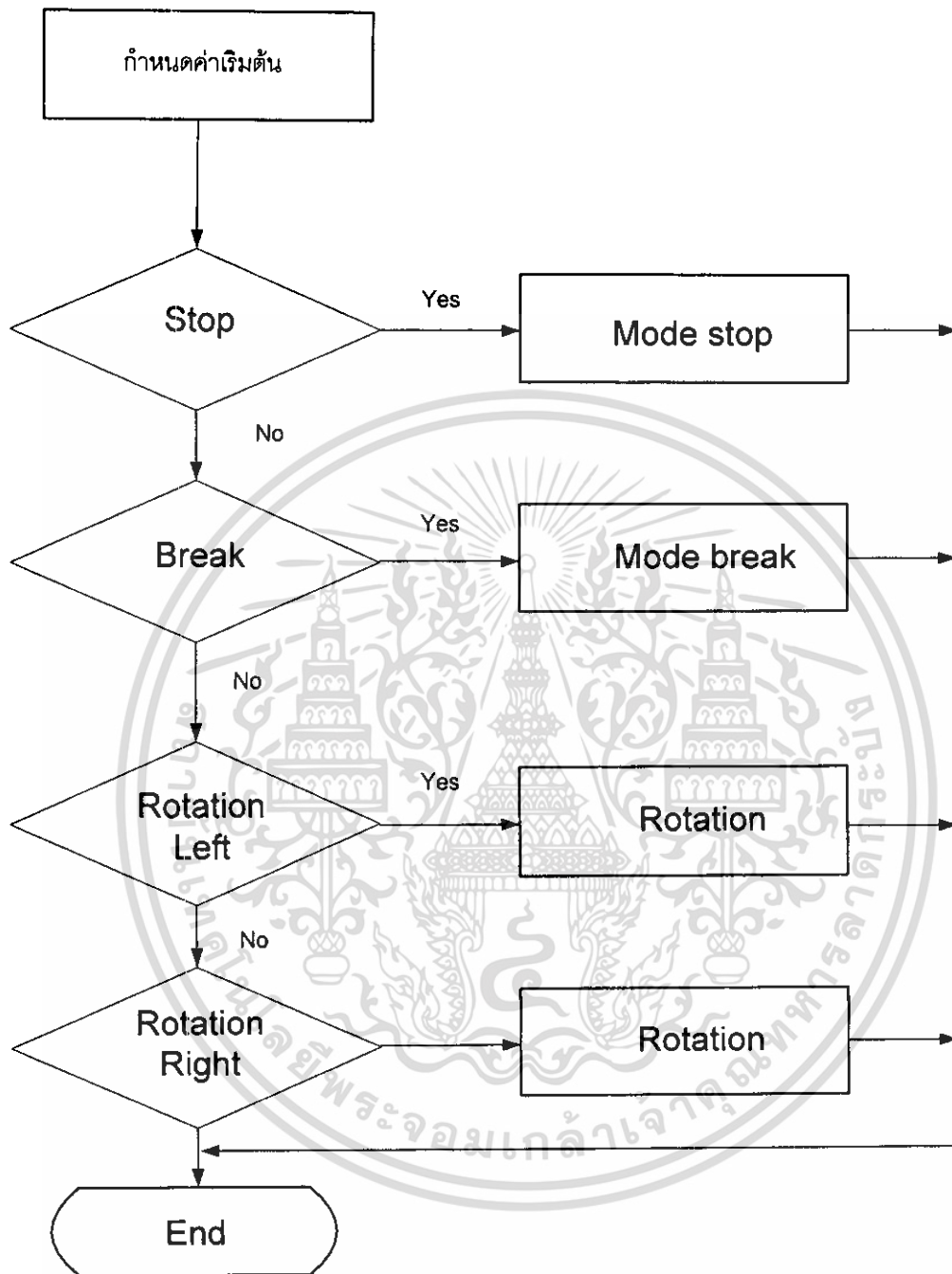
Vf = 150 V , If = 2.2/1.0 A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

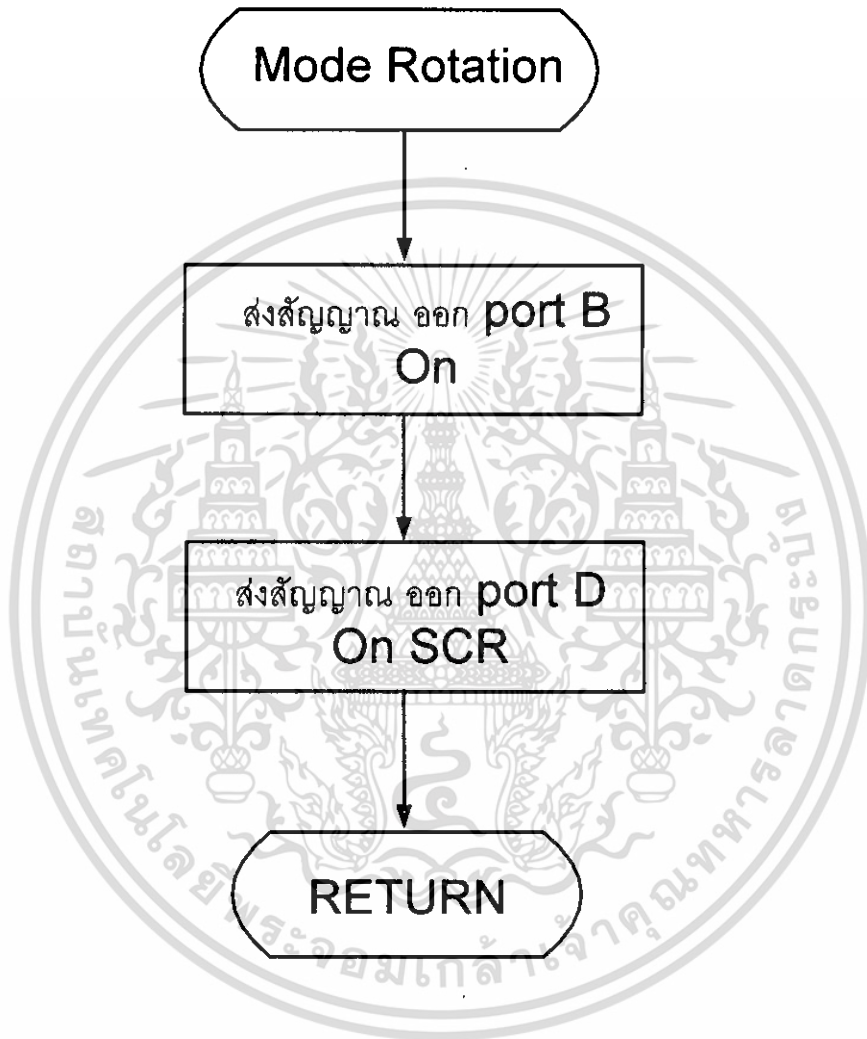


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



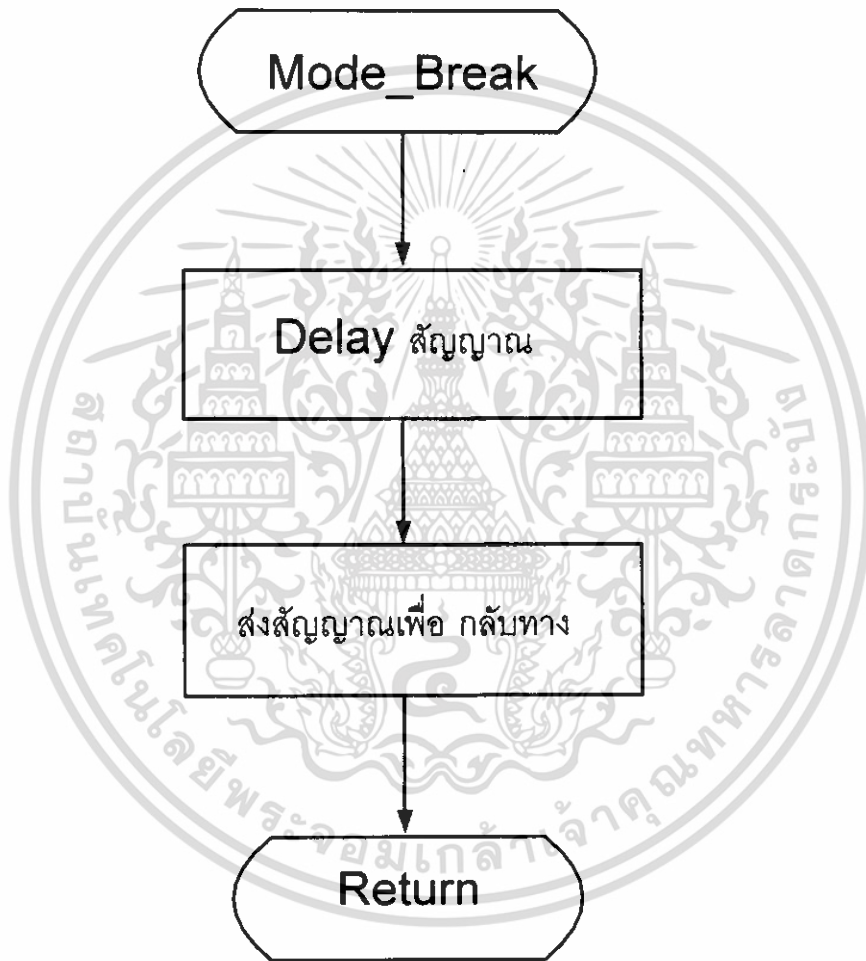
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยโมดการหมุนซ้ายและขวา



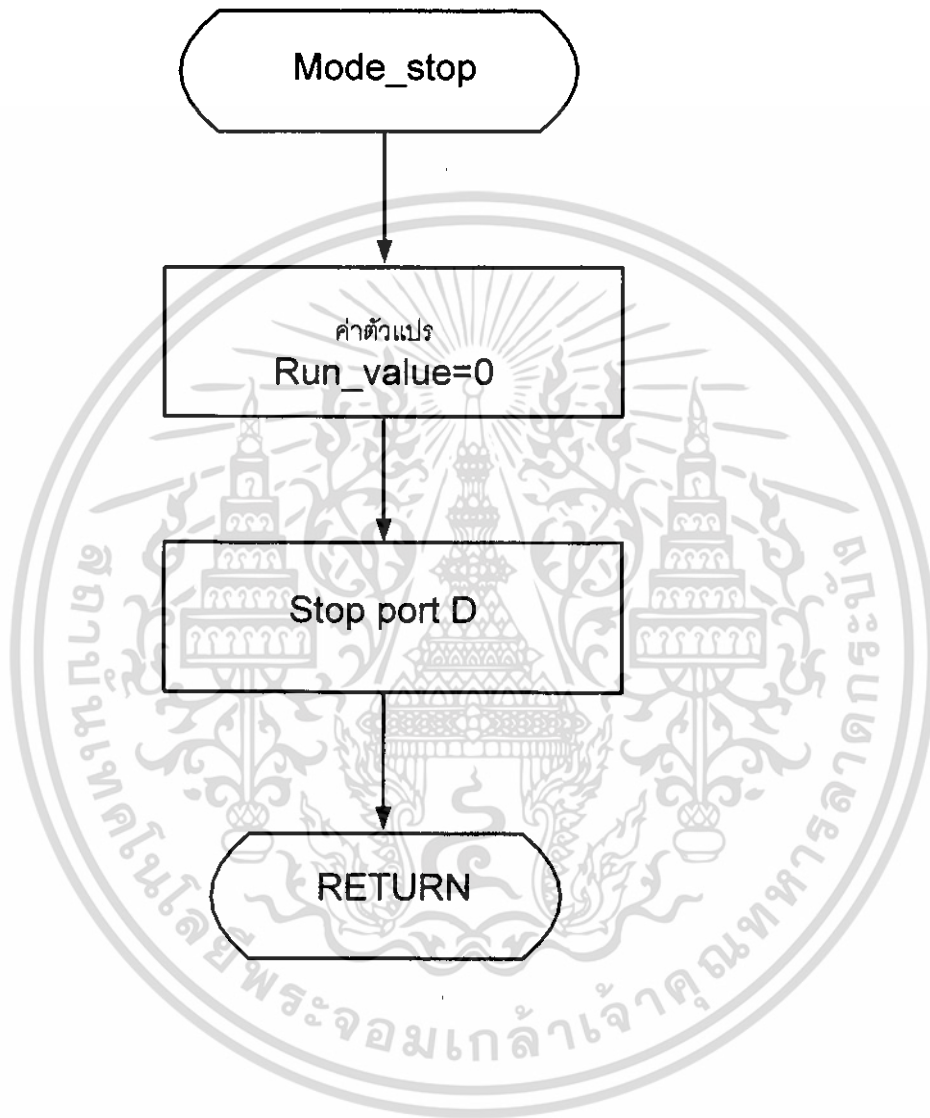
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยโหมดเบรค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยโหมดหยุดการทำงาน





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการควบคุม

```
//-----  
/--SCR-MOTOR-C18-----  
#include <p18cxxx.h> // MCU C18 Family  
#include <delays.h> // Delay library function  
#include <adc.h> // ADC library functions  
#include <portb.h> // PORTB library function  
#include <timers.h> // Timer library functions  
  
/--PIC18 cycle-count delay routines.-----  
// Delay1TCY()  
// Delay10TCY() // 17Cxx only  
// Delay10TCYx()  
// Delay100TCYx()  
// Delay1KTCYx()  
// Delay10KTCYx()  
  
//-----  
/--PROTOTYPE-FUNCTION-----  
//void high_isr (void); // for Code Interrupt High-Vector  
void low_isr (void); // for Code Interrupt Low-Vector  
  
//-----  
/--INTERRUPT-VECTOR-----  
  
##pragma code high_vector=0x08 // high_vector located at address  
0x08.(000000008h.)  
//void high_interrupt (void)  
//{ _asm GOTO high_isr _endasm // Goto timer_isr  
//}  
##pragma code low_vector=0x18 // low_vector located at address  
0x18.(000000018h.)  
void low_interrupt (void)  
{ _asm GOTO low_isr _endasm // Goto timer_isr  
}  
##pragma code // Returns the compiler to the  
default code section.  
  
//-----  
/--PORT-----  
##define VR1 PORTAbits.RA0 // Adjust Pulse-  
Width  
##define VR2 PORTAbits.RA1 // Adjust Shift-  
Phase  
##define VR3 PORTAbits.RA2 // Adjust Speed  
##define VR4 PORTAbits.RA3 // Adjust Speed  
#define SW_Manual PORTAbits.RA4 // Switch Manual  
#define NONE1 PORTAbits.RA5 // No-Connect
```

นี่เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define          SW_Break    PORTBbits.RB7    // Switch Break
#define          SW_Stop    PORTBbits.RB6    // Switch Stop
#define          SW_Left    PORTBbits.RB5    // Switch Motor
Move-Left
#define          SW_Right   PORTBbits.RB4    // Switch Motor Move-
Right
#define          LED_Break  PORTBbits.RB3    // LED Break
#define          LED_Stop   PORTBbits.RB2    // LED Stop
#define          LED_Left   PORTBbits.RB1    // LED Motor Move-Left
#define          LED_Right  PORTBbits.RB0    // LED Motor Move-
Right
#define          LED_Port   PORTB            // LED-ALL in
PortB

#define          ENC_CLK    PORTCbits.RC0    // Encoder Clock
>> Timer1_Counter
#define          ENC_DIR    PORTCbits.RC1    // Encoder
Direction >> On=Left,Off=Right
#define          NONE2     PORTCbits.RC2    // No-Connect
#define          I2C_SCL   PORTCbits.RC3    // I2C_SCL in
I2C_Bus
#define          I2C_SDA   PORTCbits.RC4    // I2C_SDA in
I2C_Bus
#define          I2C_SDO   PORTCbits.RC5    // I2C_SDO in
I2C_Bus
#define          USART_TxD PORTCbits.RC6    // USART_TxD in Rs232
Communication
#define          USART_RxD PORTCbits.RC7    // USART_RxD in Rs232
Communication

//#define        SCR1       PORTDbits.RD7    // SCR1 A-UP
//#define        SCR2       PORTDbits.RD6    // SCR2 B-UP
//#define        SCR3       PORTDbits.RD5    // SCR3 C-UP
//#define        SCR4       PORTDbits.RD4    // SCR4 A-DOWN
//#define        SCR5       PORTDbits.RD3    // SCR5 B-DOWN
//#define        SCR6       PORTDbits.RD2    // SCR6 C-DOWN
#define          SCR_OUT   PORTD            // SCR
Output OUTPUT-PORT

#define          NONE3     PORTDbits.RD0    // No-Connect
#define          NONE4     PORTDbits.RD1    // No-Connect

//#define        Vab        PORTCbits.RE0    //
Volts A-B
//#define        Vbc        PORTCbits.RE1    //
Volts B-C
//#define        Vca        PORTCbits.RE2    //
Volts C-A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define ZERO_IN (PORTE | 0b11111000) // ZERO
Crossing INPUT-PORT
```

```
//-----
//--CONSTANT-----
```

```
#define ADRES ADRESH //
Redefine for 10-bit A/D converter
```

```
//const rom char CYCLE[6] = {0x01,0x03,0x02,0x06,0x04,0x05};
// Cycle
```

```
//const rom char CYCLE[6] = {0xFE,0xFC,0xFD,0xF9,0xFB,0xFA};
// Cycle Complement
```

```
//const rom char CYCLE[6] = {0xFA,0xFE,0xFC,0xFD,0xF9,0xFB};
// New Cycle Complement
```

```
//const rom char DATA_OUT[6] = {0x11,0x11,0x22,0x22,0x0C,0x0C};
// Out Half-Wave
```

```
//const rom char DATA_OUT[6] = {0x11,0x21,0x22,0x0A,0x0C,0x14};
// Out Full-Wave
```

```
//const rom char DATA_OUT[6] = {0x01,0x20,0x02,0x08,0x04,0x10};
// Bit-Out Full-Wave
```

```
//-----
//--VARIABLE1-----
```

```
static unsigned int shiftphase_value = 128;
static unsigned int pulsewidth_value;
static unsigned int break_value;
```

```
static unsigned char zero_value;
static unsigned char zero_temp;
static unsigned char data_value;
```

```
static unsigned char cycle_index;
static unsigned char toggle_count = 0;
```

```
static unsigned char delay1_count = 0;
static unsigned char delay2_count = 0;
static unsigned char delay3_count = 0;
static unsigned char delay4_count = 0;
static unsigned char delay5_count = 0;
static unsigned char delay6_count = 0;
```

```
static unsigned int delay1_off = 0;
static unsigned int delay2_off = 0;
static unsigned int delay3_off = 0;
static unsigned int delay4_off = 0;
static unsigned int delay5_off = 0;
static unsigned int delay6_off = 0;
```

```
//-----
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/--VARIABLE2-----
#define                rStop 0
#define                rBreak 1
#define                rLeft 2
#define                rRight 3
static unsigned char  run_value = rStop;
static unsigned char  run_temp = rStop;

/-------
/--VARIABLE3-----
static unsigned int   t0_count;
static unsigned int   t1_value;

static unsigned int   value1, value2;
static unsigned int   error_value;

/-------
/--INTERRUPT-PROGRAM-----

#pragma interrupt high_isr
void high_isr (void)
//{
//    // NONE
//}

#pragma interruptlow low_isr
void low_isr (void)
{
    if(INTCONbits.TMR0IF)                // Check for TMR0 overflow
    {
        INTCONbits.TMR0IF = 0;          // Clears the TMR0 interrupt flag

        if(t0_count < 0xFFFF) t0_count++; // Increment Timer0-Counter

        if(run_value > rStop)
        {
            zero_value = ZERO_IN;
            if(zero_temp != zero_value)    // Compar Zero-Crossing
            {
                zero_temp = zero_value;    // Store Zero-
                SCR_OUT = 0x00;            //
            }
            switch(zero_value)            // Select Data in
            {
                case 0xFE: { cycle_index = 1;
                    delay1_count = (shiftphase_value); delay1_off = (pulsewidth_value); }
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        case 0xFC: { cycle_index = 2;
delay2_count = (shiftphase_value); delay2_off = (pulsewidth_value); }
break;
        case 0xFD: { cycle_index = 3;
delay3_count = (shiftphase_value); delay3_off = (pulsewidth_value); }
break;
        case 0xF9: { cycle_index = 4;
delay4_count = (shiftphase_value); delay4_off = (pulsewidth_value); }
break;
        case 0xFB: { cycle_index = 5;
delay5_count = (shiftphase_value); delay5_off = (pulsewidth_value); }
break;
        case 0xFA: { cycle_index = 6;
delay6_count = (shiftphase_value); delay6_off = (pulsewidth_value); }
break;
        default: { cycle_index = 0; data_value
= 0x00; }
}
}

```

```

if(cycle_index > 0)
{
    // Zero-Crossing #Step1
    if(delay1_count > 1)
    {
        delay1_count--;
        if( delay1_count == 1)
        {
            data_value |= 0b10000000; // ON
        }
    }
    else if(delay1_count > 0)
    {
        if(delay1_off > 1)
        {
            delay1_off--;
            if( delay1_off == 1)
            {
                data_value &= 0b01111111; // OFF
            }
            delay1_count = 0;
        }
    }
}
}

```

```

// Zero-Crossing #Step2
if(delay2_count > 1)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay2_count--;
if( delay2_count == 1)
{
    data_value |= 0b00000100;           // ON
}
}

```

SCR-6

```

else if(delay2_count > 0)
{
    if(delay2_off > 1)
    {
        delay2_off--;
        if( delay2_off == 1)
        {
            data_value &= 0b11111011; // OFF
            delay2_count = 0;
        }
    }
}

```

SCR-6

```

// Zero-Crossing #Step3
if(delay3_count > 1)
{
    delay3_count--;
    if( delay3_count == 1)
    {
        data_value |= 0b01000000;       // ON
    }
}
else if(delay3_count > 0)
{
    if(delay3_off > 1)
    {
        delay3_off--;
        if( delay3_off == 1)
        {
            data_value &= 0b10111111; // OFF
            delay3_count = 0;
        }
    }
}
}

```

SCR-2

SCR-2

```

// Zero-Crossing #Step4
if(delay4_count > 1)
{
    delay4_count--;
    if( delay4_count == 1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        {
            data_value |= 0b00010000;           // ON
        }
    }
else if(delay4_count > 0)
{
    if(delay4_off > 1)
    {
        delay4_off--;
        if( delay4_off == 1)
        {
            data_value &= 0b11101111; // OFF
        }
        delay4_count = 0;
    }
}
}

// Zero-Crossing #Step5
if(delay5_count > 1)
{
    delay5_count--;
    if( delay5_count == 1)
    {
        data_value |= 0b00100000;           // ON
    }
}
else if(delay5_count > 0)
{
    if(delay5_off > 1)
    {
        delay5_off--;
        if( delay5_off == 1)
        {
            data_value &= 0b11101111; // OFF
        }
        delay5_count = 0;
    }
}
}

// Zero-Crossing #Step6
if(delay6_count > 1)
{
    delay6_count--;
    if( delay6_count == 1)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SCR-5 data_value |= 0b00001000; // ON
```

```
    }  
  }  
  else if(delay6_count > 0)  
  {  
    if(delay6_off > 1)  
    {  
      delay6_off--;  
      if( delay6_off == 1)  
      {
```

```
SCR-5 data_value &= 0b11110111; // OFF
```

```
delay6_count = 0;
```

```
    }  
  }  
  }  
  if(toggle_count == 0) // Toggle Pulse  
  {  
    toggle_count = 1;  
    SCR_OUT = data_value; // SCR_OUT = ON  
  }  
  else  
  {  
    toggle_count = 0;  
    SCR_OUT = 0x00; // SCR_OUT =
```

```
ALL OFF
```

```
  }  
  else  
  {  
    if(delay1_count > 0) delay1_count = 0;  
    if(delay2_count > 0) delay2_count = 0;  
    if(delay3_count > 0) delay3_count = 0;  
    if(delay4_count > 0) delay4_count = 0;  
    if(delay5_count > 0) delay5_count = 0;  
    if(delay6_count > 0) delay6_count = 0;
```

```
WriteTimer0(0xFFFF - 120); // Assign Timer1 in Next
```

```
Interrupt  
}
```

```
if(PIR1bits.TMR1IF) // Check for TMR1 overflow
```

```
{  
  PIR1bits.TMR1IF = 0; // Clears the TMR1 interrupt flag  
  // Next Code Here
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
}

//-----
//--SUB-PROGRAM-----
void TestADC(void)
{
    unsigned char adc_temp;

    //--P18F24J10-Setup A/D converter-----
    //OpenADC(ADC_LEFT_JUST & ADC_FOSC_16 & ADC_8_TAD,
    //        ADC_CH0 & ADC_VREFPLUS_EXT &
    ADC_VREFMINUS_EXT & ADC_INT_OFF,
    //        ADC_4ANA);

    //--P18F458-Setup A/D converter-----
    OpenADC(ADC_LEFT_JUST & ADC_FOSC_16 & ADC_2ANA_2REF,
            ADC_CH0 & ADC_INT_OFF);

    //SetChanADC(ADC_CH0);           // Select Chanel ADC1
    //Delay10TCYx(5);                // Delay for 50TCY
    ConvertADC();                    // Start an A/D conversion

    while(BusyADC());                // Wait for the conversion to
complete
    adc_temp = ADRES;                // Read ADC Results

    PORTB = 0;                       // Clear the LED bargraph
display.

    if(adc_temp > 250)                SCR_OUT = 0b11111100;    // 6
LEDS
    else if(adc_temp > 200)           SCR_OUT = 0b01111100;    // 5
LEDS
    else if(adc_temp > 150)           SCR_OUT = 0b00111100;    // 4
LEDS
    else if(adc_temp > 100)           SCR_OUT = 0b00011100;    // 3
LEDS
    else if(adc_temp > 50)            SCR_OUT = 0b00001100;    // 2
LEDS
    else if(adc_temp > 0)              SCR_OUT = 0b00000100;    // 1 LED
    else                               SCR_OUT = 0b00000000;
    // 0 LED

    CloseADC();
}

//-----
//--MAIN-PROGRAM-----
void main (void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    unsigned char i;
    unsigned char break_status = 0;

    //--Initial Port-----
    PORTA = 0;           // Clear All RA
    PORTB = 0;           // Clear All RB
    PORTC = 0;           // Clear All RC
    PORTD = 0;           // Clear All RD
    PORTE = 0;           // Clear All RE
    TRISA = 0b11111111; // RA<1:0> Input Analog
Speed,Pulse-Width
    //TRISB = 0b11110000; // RB<7:4> InputSW RB<3:0>
OutputLED
    TRISB = 0xF0;       // RB<7:4> InputSW RB<3:0>
OutputLED
    EnablePullups();   // Enable PORTB pullups
    TRISC = 0b11111111; // RC<7:0> Input
    TRISD = 0b00000011; // RD<7:2> OutputSCR RD<1:0>
Input
    //PSPCON = 0b11101111; // PSPMODE = OFF
    TRISE = 0b00000111; // PSPMODE = OFF and
RE<2:0> InputCycle

    //--P18F24J10-Setup A/D converter-----
    //OpenADC(ADC_LEFT_JUST & ADC_FOSC_16 & ADC_8_TAD,
    //        ADC_CH0 & ADC_VREFPLUS_EXT &
ADC_VREFMINUS_EXT & ADC_INT_OFF,
    //        ADC_4ANA);

    //--P18F458-Setup A/D converter-----
    OpenADC(ADC_LEFT_JUST & ADC_FOSC_16 & ADC_0ANA_0REF,
            ADC_CH0 & ADC_INT_OFF);

    //--TMR0 internal 16-bit clock.----- // Use
Select Cycle for Process
    OpenTimer0 (TIMER_INT_ON & T0_SOURCE_INT & T0_16BIT);

    //--TMR1 internal 16-bit clock.----- // Use
Receive Encoder
    //OpenTimer1 (TIMER_INT_ON & T1_SOURCE_INT & T1_16BIT_RW);
    OpenTimer1 (TIMER_INT_OFF & T0_SOURCE_EXT & T1_16BIT_RW);

    //--TMR2 internal 16-bit clock.-----
    //OpenTimer2 (TIMER_INT_ON & T2_POST_1_1 & T2_PS_1_16);

    //--Enable global interrupts.-----
    INTCONbits.GIE = 1;

    //--Ready Goto Program.-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

data_value = 0x00;          // Clear data_value
SCR_OUT = data_value;      // SCR_OUT = OFF

LED_Port = 0x00;          // LED-All = OFF
LED_Stop = 1;             // LED-All = OFF

while(1)
{
    ClrWdt();              // CLRWDT = Clear Watchdog-Timer
    //TestADC();           // Test ADC

    SetChanADC(ADC_CH0);   // Select Chanel ADC0
    Delay10TCYx(3);        // Delay for 50TCY >> 10
    ConvertADC();          // Start an A/D
conversion
while(BusyADC());         // Wait for the conversion
to complete
    value1 = (ADRES/4)+2;  // Or ReadADC() Value

    SetChanADC(ADC_CH1);   // Select Chanel ADC1
    Delay10TCYx(3);        // Delay for 50TCY >> 10
    ConvertADC();          // Start an A/D
conversion
while(BusyADC());         // Wait for the conversion
to complete
    value2 = (ADRES/2)+2;  // Or ReadADC() Value

    SetChanADC(ADC_CH2);   // Select Chanel ADC2
    Delay10TCYx(3);        // Delay for 50TCY >> 10
    ConvertADC();          // Start an A/D
conversion
while(BusyADC());         // Wait for the conversion
to complete
    pulsewidth_value = (ADRES/2)+20 ; // Or ReadADC() Value

    SetChanADC(ADC_CH3);   // Select Chanel ADC3
    Delay10TCYx(3);        // Delay for 50TCY >> 10
    ConvertADC();          // Start an A/D
conversion
while(BusyADC());         // Wait for the conversion
to complete
    break_value = (ADRES/2)+2; // Or ReadADC() Value

    // --Button-Program-----
    if(!SW_Stop)
    {
        shiftphase_value = 128; // Clear shiftphase_value
        LED_Port = 0x00;        // LED-All = OFF
        LED_Stop = 1;           // LED-Stop = ON

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        run_value = rStop;           // value to Stop
        run_temp = rStop;           // temp to Stop
        Delay1KTCYx(50);           // Stop >> Wait xx
    }
    else if(!SW_Break)
    {
        //if(run_value > rBreak)
        //{
        //    shiftphase_value = break_value;           // Clear
shiftphase_value
        //    LED_Break = 1;                           // LED-Break =
ON
        //    run_value = rBreak;           // value to Break
        //    Delay1KTCYx(50);           // Stop >> Wait xx
        //}

        if(run_value > rBreak)
        {
            shiftphase_value = break_value;           // Clear
shiftphase_value
            run_value = rStop;                         //
value to Stop
            LED_Port = 0x00;                           //
LED-All = OFF
            LED_Break = 1;
            // LED-Break = ON
            for(i=0; i<50; i++) Delay10KTCYx(200);    //
Break >> Wait xx
            //-----Start for Break-----
            --
            if(run_temp == rLeft)                       // if
Left
            {
                shiftphase_value = break_value;       //
Clear shiftphase_value
                LED_Right =1;
                // LED-Right = ON
                run_value = rRight;
                // value to Right
            }
            else if(run_temp == rRight)                 // if
Right
            {
                shiftphase_value = break_value;       //
Clear shiftphase_value
                LED_Left =1;
                // LED-Left = ON
                run_value = rLeft;
                // value to Left
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break_status = 150;
// Wait 3 Sec.
while(break_status > 0)
{
    // --Check-Encoder-----
    if(t0_count > 250)
    {
        t0_count = 0;
        // Clear Timer0
        break_status--;
        // Decrement Break Status for 3Sec.
        t1_value = ReadTimer1();
        WriteTimer1(0);
        if(t1_value > 10 )
        {
            error_value = t1_value - 2;
            if(shiftphase_value > 2)
            {
                if(error_value > 8)
                {
                }
                else if(error_value > 4)
                {
                    Delay1KTCYx(1);
                }
                else if(error_value > 2)
                {
                    Delay1KTCYx(5);
                }
                else if(error_value > 1)
                {
                    Delay1KTCYx(10);
                }
                else
                {
                    Delay1KTCYx(50);
                }
            }
            else
            {
                break_status = 0;
            }
        }
        shiftphase_value--;
    }
    //Exit Break
    if(!SW_Stop) break_status = 0;
}
//End for Break-----

run_value = rStop; // value to Break

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        run_temp = rStop;           // temp to Break
        LED_Port = 0x00;           // LED-All = OFF
        LED_Stop = 1;              // LED-Break =
ON
    }
}
else if(!SW_Left)
{
    if(run_value == rStop)
    {
        shiftphase_value = 80;     // Clear shiftphase_value
        LED_Port = 0x00;           // LED-All = OFF
        LED_Left = 1;              // LED-Left = ON
        Delay1KTCYx(200);         // Before Move-Left >>
Wait xx
        run_value = rLeft;         // value to Move-Left
        run_temp = rLeft;         // temp to Move-Left
    }
}
else if(!SW_Right)
{
    if(run_value == rStop)
    {
        shiftphase_value = 80;     // Clear shiftphase_value
        LED_Port = 0x00;           // LED-All = OFF
        LED_Right = 1;             // LED-Right =
ON
        Delay1KTCYx(200);         // Before Move-Right >>
Wait xx
        run_value = rRight;        // value to Move-Right
        run_temp = rRight;        // temp to Move-Right
    }
}

// --Load-Break-Value-----
if(run_value == rBreak) shiftphase_value = break_value;
// Clear shiftphase_value

// --Check-Mode-Auto/Manual-----
if(!SW_Manual)
{
    if(run_value > rBreak)
    {
        shiftphase_value = value2; // for manual
control
    }
}
else // Auto from Encoder
{
    if(run_value > rBreak)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



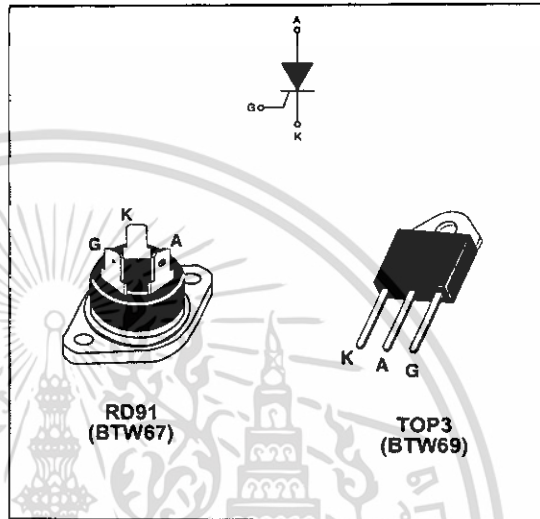
BTW67 and BTW69 Series

STANDARD

50A SCRs

MAIN FEATURES:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	50	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 to 1200	V
I_{GT}	80	mA



DESCRIPTION

Available in high power packages, the BTW67 / BTW69 Series is suitable in applications where power handling and power dissipation are critical, such as solid state relays, welding equipment, high power motor control.

Based on a clip assembly technology, they offer a superior performance in surge current handling capabilities.

Thanks to their internal ceramic pad, they provide high voltage insulation (2500V RMS), complying with UL standards (file ref: E81734).

ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter	Value	Unit	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (180° conduction angle)	RD91 $T_c = 70^\circ\text{C}$	50	A
		TOP3 Ins. $T_c = 75^\circ\text{C}$		
$I_{T(AV)}$	Average on-state current (180° conduction angle)	RD91 $T_c = 70^\circ\text{C}$	32	A
		TOP3 Ins. $T_c = 75^\circ\text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current	$t_p = 8.3 \text{ ms}$	610	A
		$t_p = 10 \text{ ms}$		
I_t^2	I_t^2 Value for fusing	$T_j = 25^\circ\text{C}$	1680	A^2s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100 \text{ ns}$	$F = 60 \text{ Hz}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	50	$\text{A}/\mu\text{s}$
I_{GT}	Peak gate current	$t_p = 20 \mu\text{s}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	8	A
$F_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$	1	W
T_{stg}	Storage junction temperature range	- 40 to + 150	°C	
T_j	Operating junction temperature range			- 40 to + 125
V_{RGM}	Maximum peak reverse gate voltage	5	V	

BTW67 and BTW69 Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_j = 25°C, unless otherwise specified)

Symbol	Test Conditions			Value	Unit		
I _{GT}	V _D = 12 V	R _L = 33 Ω	MIN.	8	mV		
			MAX.	80			
V _{GT}			MAX.	1.3	V		
V _{GD}	V _D = V _{DRM}	R _L = 3.3 kΩ	T _j = 125°C	MIN.	0.2	V	
I _H	I _T = 500 mA	Gate open		MAX.	150	mA	
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}			MAX.	200	mV	
dV/dt	V _D = 67 % V _{DRM}	Gate open		T _j = 125°C	MIN.	1000	V/μs
V _{TA}	I _{TA} = 100 A	tp = 380 μs		T _j = 25°C	MAX.	1.9	V
V _{IO}	Threshold voltage		T _j = 125°C	MAX.	1.0	V	
R _d	Dynamic resistance		T _j = 125°C	MAX.	8.5	mΩ	
I _{DRM} I _{RRM}	V _{DRM} = V _{RRM}		T _j = 25°C	MAX.	10	μA	
			T _j = 125°C		5	mA	

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit
R _{th(j-c)}	Junction to case (DC)	RD91 (Insulated)	1.0	°C/W
		TOP3 Insulated	0.9	
R _{th(j-a)}	Junction to ambient	TOP3 Insulated	50	°C/W

PRODUCT SELECTOR

Part Number	Voltage (xxx)			Sensitivity	Package
	600 V	800 V	1200 V		
BTW67-xxx	X	X	X	80 mA	RD91
BTW69-xxx	X	X	X	80 mA	TOP3 Ins.

ORDERING INFORMATION

<p>BTW 69 - 600</p> <p>STANDARD SCR SERIES ←</p> <p>↓</p> <p>TYPE: 67: 50A in RD91 69: 50A in TOP3</p> <p>→ VOLTAGE: 600: 600V 800: 800V 1200: 1200V</p>

OTHER INFORMATION

Part Number	Marking	Weight	Base Quantity	Packing mode
BTW67-xxx	BTW67xxx	20.0 g	25	Bulk
BTW69-xxx	BTW69xxx	4.5 g	120	Bulk

Note: xxx = voltage

Fig. 1: Maximum average power dissipation versus average on-state current.

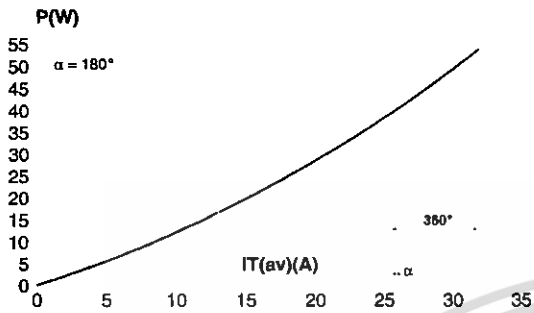


Fig. 2: Average and D.C. on-state current versus case temperature.

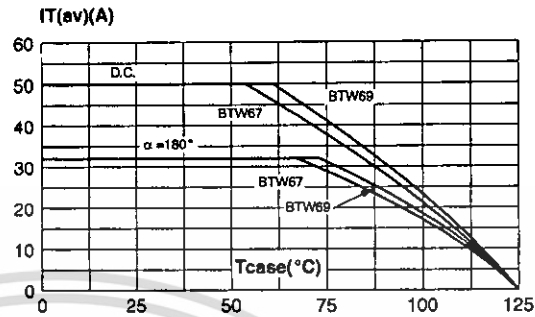


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.

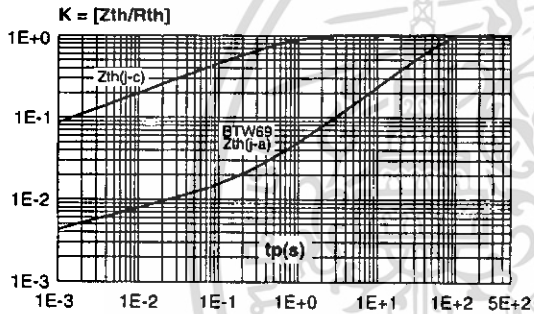


Fig. 4: Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature.

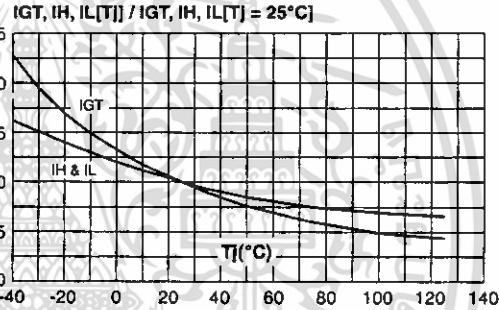


Fig. 5: Surge peak on-state current versus number of cycles.

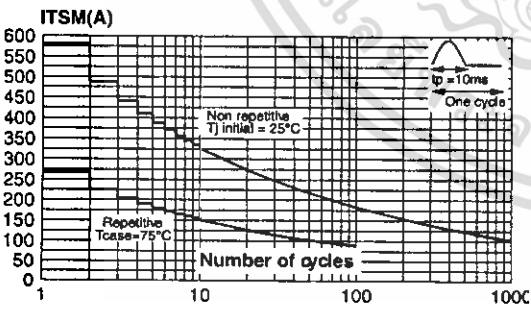
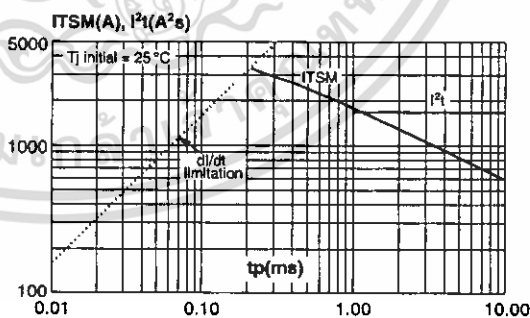
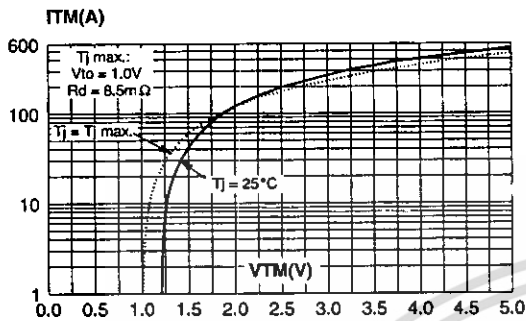


Fig. 6: Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width tp < 10ms, and corresponding value of I²t.



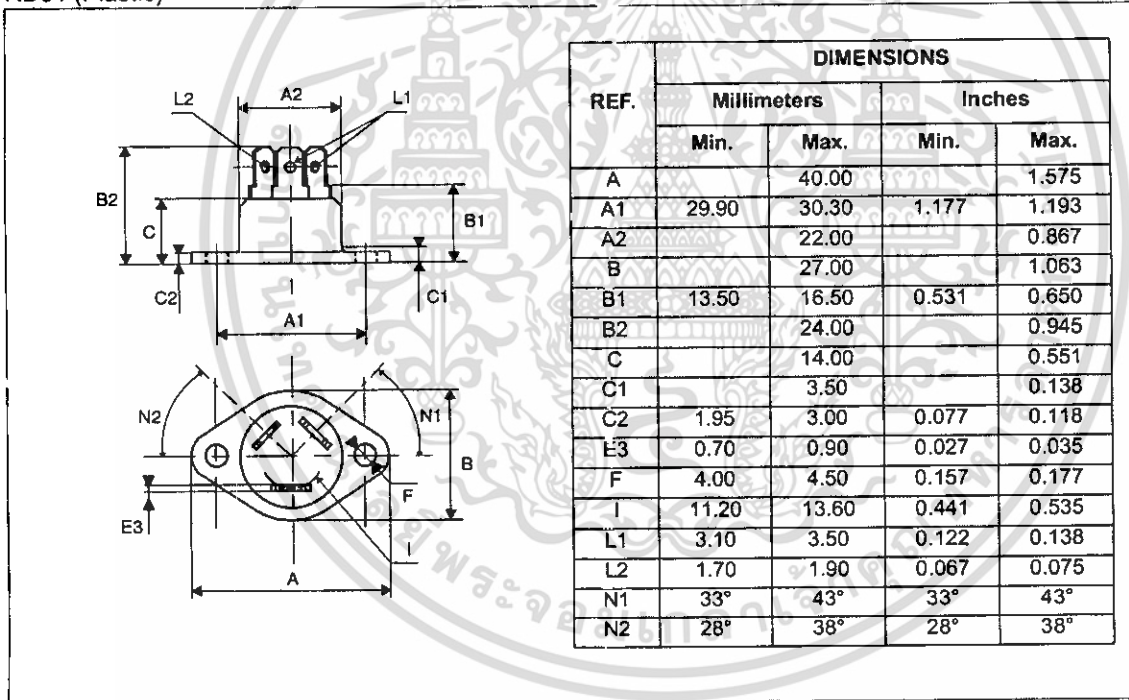
BTW67 and BTW69 Series

Fig. 7: On-state characteristics (maximum values).



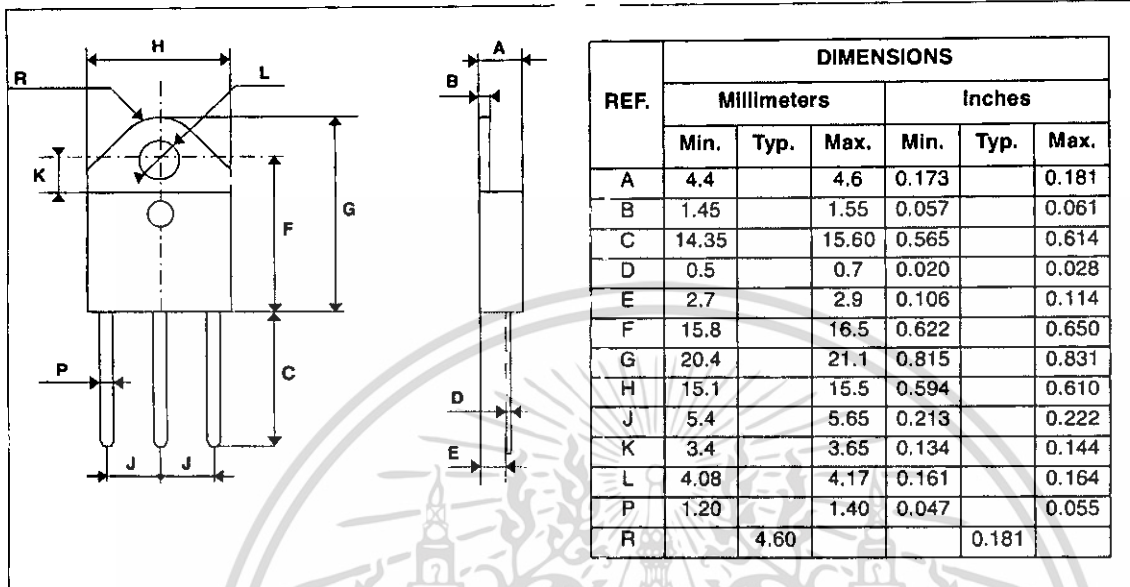
PACKAGE MECHANICAL DATA

RD91 (Plastic)



PACKAGE MECHANICAL DATA

TOP3 Ins.(Plastic)



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All rights reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia-Malta - Morocco Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



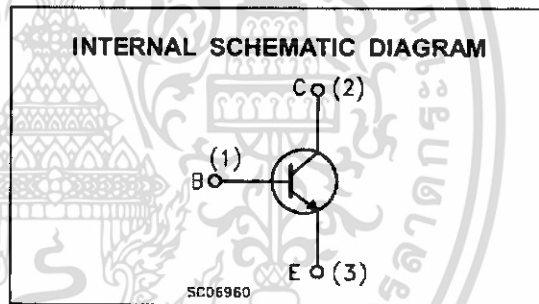
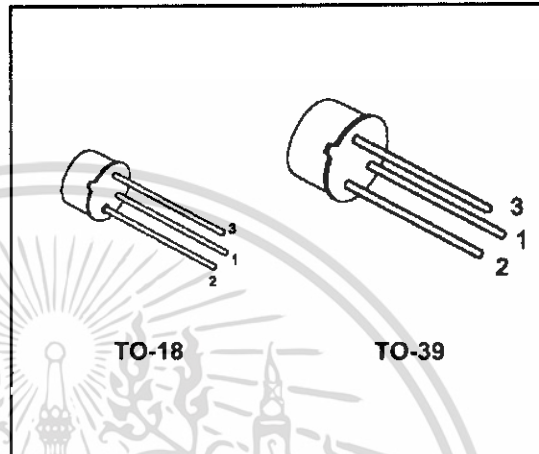
2N2219A
2N2222A

HIGH SPEED SWITCHES

DESCRIPTION

The 2N2219A and 2N2222A are silicon planar epitaxial NPN transistors in Jedec TO-39 (for 2N2219A) and in Jedec TO-18 (for 2N2222A) metal case. They are designed for high speed switching application at collector current up to 500mA, and feature useful current gain over a wide range of collector current, low leakage currents and low saturation voltage.

☛ 2N2219A approved to CECC 50002-100,
2N2222A approved to CECC 50002-101
available on request.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	75	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	40	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	6	V
I_C	Collector Current	0.8	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	for 2N2219A	0.8
		for 2N2222A	0.5
	at $T_{case} \leq 25^\circ\text{C}$	for 2N2219A	3
		for 2N2222A	1.8
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 200	$^\circ\text{C}$
T_j	Max. Operating Junction Temperature	175	$^\circ\text{C}$

THERMAL DATA

			TO-39	TO-18	
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-Case	Max	50	83.3	$^{\circ}C/W$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-Ambient	Max	187.5	300	$^{\circ}C/W$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 60 V$ $V_{CB} = 60 V$ $T_{case} = 150^{\circ}C$			10 10	nA μA
I_{CEX}	Collector Cut-off Current ($V_{BE} = -3V$)	$V_{CE} = 60 V$			10	nA
I_{BEX}	Base Cut-off Current ($V_{BE} = -3V$)	$V_{CE} = 60 V$			20	nA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 3 V$			10	nA
$V_{(BR)CBO}^*$	Collector-Base Breakdown Voltage ($I_E = 0$)	$I_C = 10 \mu A$	75			V
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 10 mA$	40			V
$V_{(BR)EBO}^*$	Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_C = 0$)	$I_E = 10 \mu A$	6			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150 mA$ $I_B = 15 mA$ $I_C = 500 mA$ $I_B = 50 mA$			0.3 1	V V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150 mA$ $I_B = 15 mA$ $I_C = 500 mA$ $I_B = 50 mA$	0.6		1.2 2	V V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 0.1 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $I_C = 1 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $I_C = 10 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $I_C = 150 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $I_C = 500 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $I_C = 150 mA$ $V_{CE} = 1 V$ $I_C = 10 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $T_{amb} = -55^{\circ}C$	35 50 75 100 40 50 35		300	
h_{fe}^*	Small Signal Current Gain	$I_C = 1 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $f = 1KHz$ $I_C = 10 mA$ $V_{CE} = 10 V$ $f = 1KHz$	50 75		300 375	
f_T	Transition Frequency	$I_C = 20 mA$ $V_{CE} = 20 V$ $f = 100 MHz$	300			MHz
C_{EBO}	Emitter Base Capacitance	$I_C = 0$ $V_{EB} = 0.5 V$ $f = 100KHz$			25	pF
C_{CBO}	Collector Base Capacitance	$I_E = 0$ $V_{CB} = 10 V$ $f = 100 KHz$			8	pF
$R_{e(hfe)}$	Real Part of Input Impedance	$I_C = 20 mA$ $V_{CE} = 20 V$ $f = 300MHz$			60	Ω

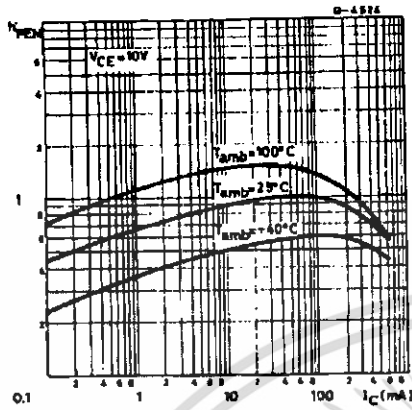
* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle $\leq 1\%$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

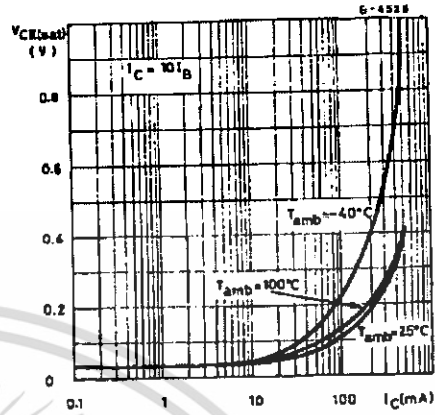
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
NF	Noise Figure	$I_C = 0.1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $f = 1 \text{ KHz}$ $R_G = 1 \text{ K}\Omega$		4		dB
h_{ie}	Input Impedance	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$	2 0.25		8 1.25	$\text{k}\Omega$ $\text{k}\Omega$
h_{re}	Reverse Voltage Ratio	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$			8 4	10^{-4} 10^{-4}
h_{oe}	Output Admittance	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$	5 25		35 200	μS μS
t_{d**}	Delay Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = 15 \text{ mA}$ $V_{BB} = -0.5 \text{ V}$			25	ns
t_r**	Rise Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = 15 \text{ mA}$ $V_{BB} = -0.5 \text{ V}$			225	ns
t_s**	Storage Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = 15 \text{ mA}$			60	ns
t_f**	Fall Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = 15 \text{ mA}$			150	ps
r_{bb} , $C_{b'c}$	Feedback Time Constant	$I_C = 20 \text{ mA}$ $V_{CE} = 20 \text{ V}$ $f = 31.8 \text{ MHz}$				

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle $\leq 1\%$
 ** See test circuit

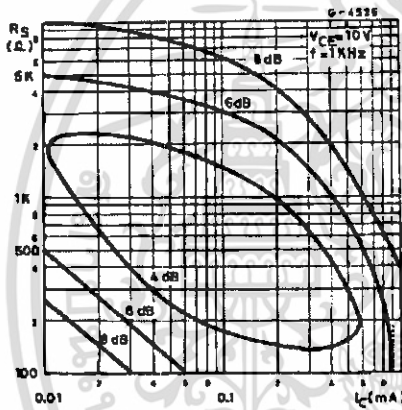
Normalized DC Current Gain.



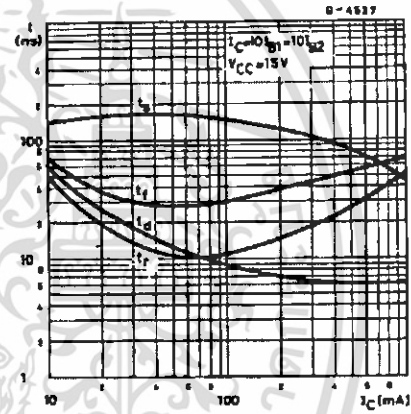
Collector-emitter Saturation Voltage.



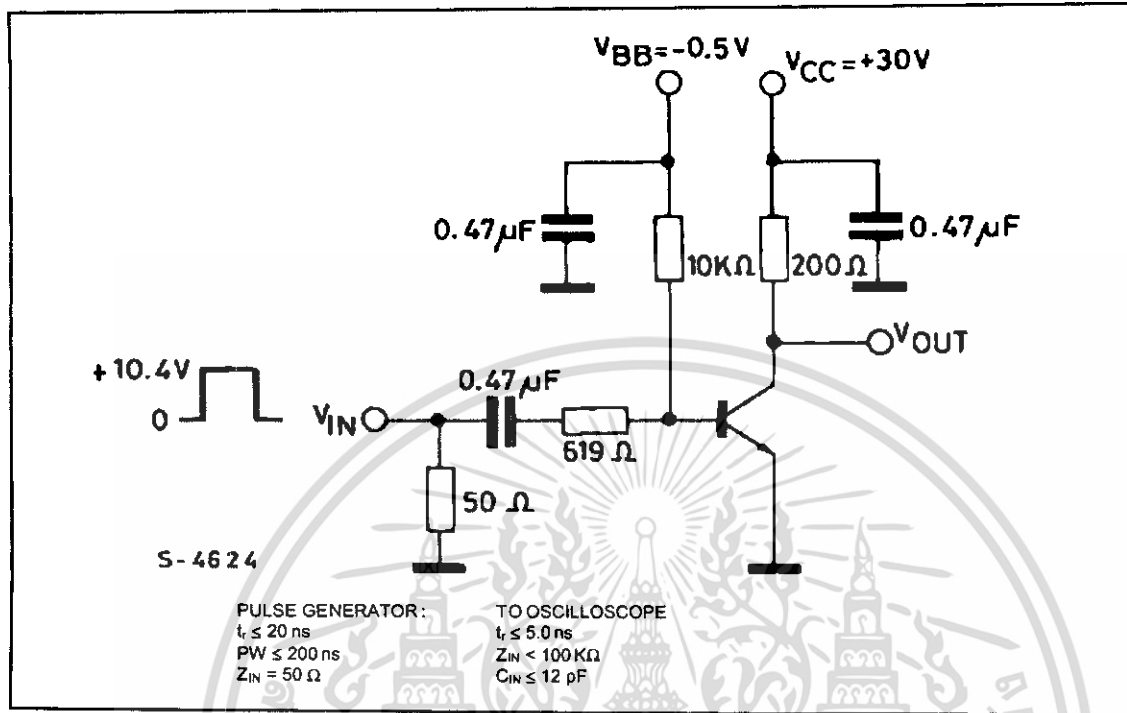
Contours of Constant Narrow Band Noise Figure.



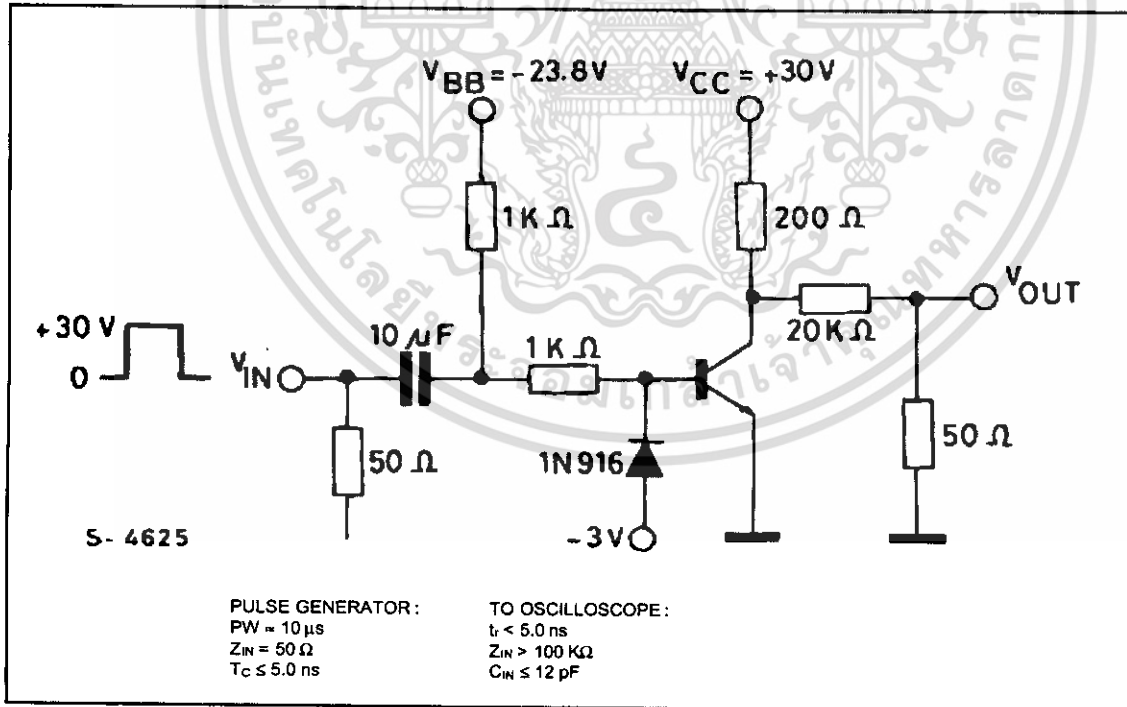
Switching Time vs. Collector Current.



Test Circuit for t_d , t_r .



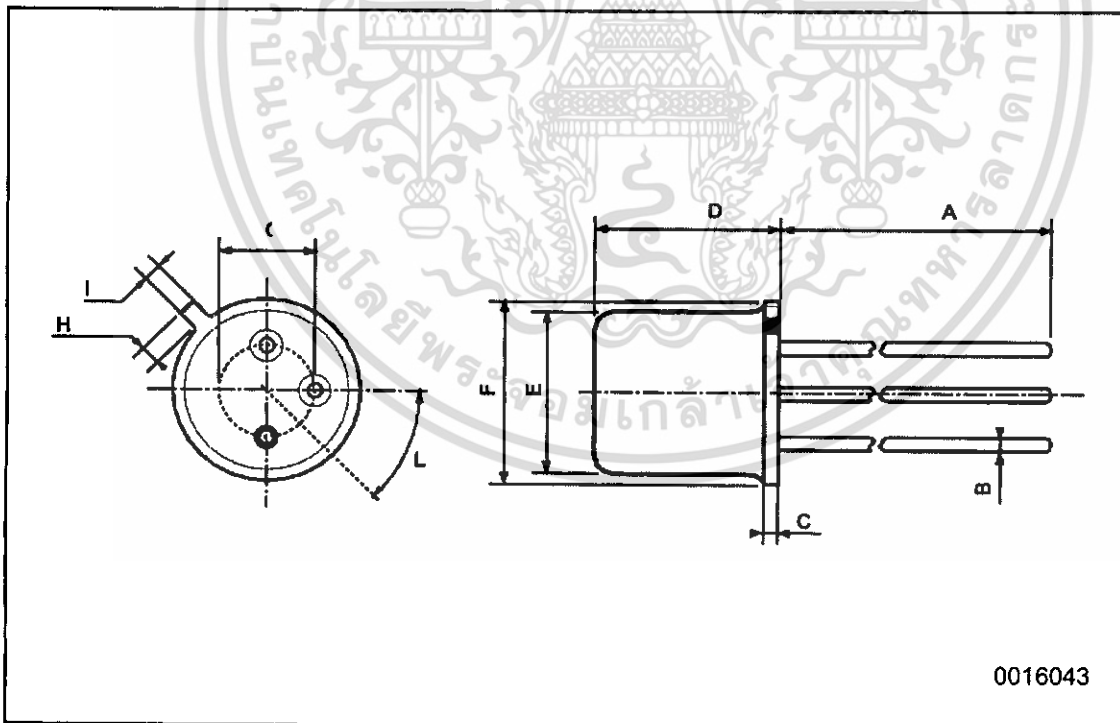
Test Circuit for t_d , t_r .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TO-18 MECHANICAL DATA

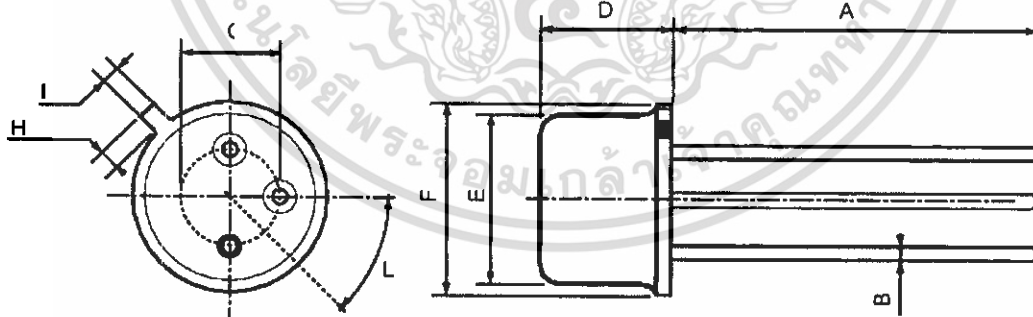
DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A		12.7			0.500	
B			0.49			0.019
D			5.3			0.208
E			4.9			0.193
F			5.8			0.228
G	2.54			0.100		
H			1.2			0.047
I			1.16			0.045
L	45°			45°		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TO-39 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	12.7			0.500		
B			0.49			0.019
D			6.6			0.260
E			8.5			0.334
F			9.4			0.370
G	5.08			0.200		
H			1.2			0.047
I			0.9			0.035
L	45° (typ.)					



P008B



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1999 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.
<http://www.st.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



GOOD-ARK

1N4728 THRU 1N4764

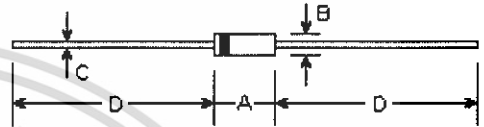
SILICON PLANAR POWER ZENER DIODES

Features

Silicon Planar Power Zener Diodes

for use in stabilizing and clipping circuits with high power rating. Standard Zener voltage tolerance is $\pm 10\%$. Add suffix "A" for $\pm 5\%$ tolerance. Other tolerances available upon request.

DO-41



DIM	DIMENSIONS				Note
	inches		mm		
	Min.	Max.	Min.	Max.	
A	-	0.169	-	4.3	
B	-	0.110	-	2.8	φ
C	-	0.031	-	0.8	φ
D	1.102	-	28.0	-	

Absolute Maximum Ratings ($T_c=25^\circ\text{C}$)

	Symbols	Values	Units
Zener current see Table "Characteristics"			
Power dissipation at $T_{amb}=25^\circ\text{C}$	P_{max}	1 "	W
Junction temperature	T_j	200	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	T_s	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

Note:

(1) Valid provided that leads at a distance of 8 mm from case are kept at ambient temperature.

Characteristics at $T_{amb}=25^\circ\text{C}$

	Symbols	Min.	Typ.	Max.	Units
Thermal resistance junction to ambient Air	$R_{\theta JA}$	-	-	170 "	K/W
Forward voltage at $I_F=200\text{mA}$	V_F	-	-	1.2	V

Note:

(1) Valid provided that leads at a distance of 8 mm from case are kept at ambient temperature.

Type	Zener voltage range ³⁾		Maximum Zener Impedance ¹⁾			Reverse leakage current		Surge current at $T_A=25^\circ\text{C}$	Maximum regulator current ²⁾
	V_{ZM}	I_{ZT}	r_{ZT} and r_{ZM} at I_{ZK}			I_R at V_R		I_R	I_{ZM}
	V	mA	Ω	Ω	mA	μA	V	mA	mA
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	150	1	1375	275
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	100	1	1190	234
1N4731	4.3	58	9	400	1.0	50	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146
1N4736	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4	660	133
1N4737	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5	605	121
1N4738	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	550	110
1N4739	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7	500	100
1N4740	10	25	7	700	0.25	10	7.6	454	91
1N4741	11	23	8	700	0.25	5	8.4	414	83
1N4742	12	21	9	700	0.25	5	9.1	380	76
1N4743	13	19	10	700	0.25	5	9.9	344	69
1N4744	15	17	14	700	0.25	5	11.4	304	61
1N4745	16	15.5	16	700	0.25	5	12.2	285	57
1N4746	18	14	20	750	0.25	5	13.7	250	50
1N4747	20	12.5	22	750	0.25	5	15.2	225	45
1N4748	22	11.5	23	750	0.25	5	16.7	205	41
1N4749	24	10.5	25	750	0.25	5	18.2	190	38
1N4750	27	9.5	35	750	0.25	5	20.6	170	34
1N4751	30	8.5	40	1000	0.25	5	22.8	150	30
1N4752	33	7.5	45	1000	0.25	5	25.1	135	27
1N4753	36	7.0	50	1000	0.25	5	27.4	125	25
1N4754	39	6.5	60	1000	0.25	5	29.7	115	23
1N4755	43	6.0	70	1500	0.25	5	32.7	110	22
1N4756	47	5.5	80	1500	0.25	5	35.8	95	19
1N4757	51	5.0	95	1500	0.25	5	38.8	90	18
1N4758	56	4.5	110	2000	0.25	5	42.6	80	16
1N4759	62	4.0	125	2000	0.25	5	47.1	70	14
1N4760	68	3.7	150	2000	0.25	5	51.7	65	13
1N4761	75	3.3	175	2000	0.25	5	56.0	60	12
1N4762	82	3.0	200	3000	0.25	5	62.2	55	11
1N4763	91	2.8	250	3000	0.25	5	69.2	50	10
1N4764	100	2.5	350	3000	0.25	5	76.0	45	9

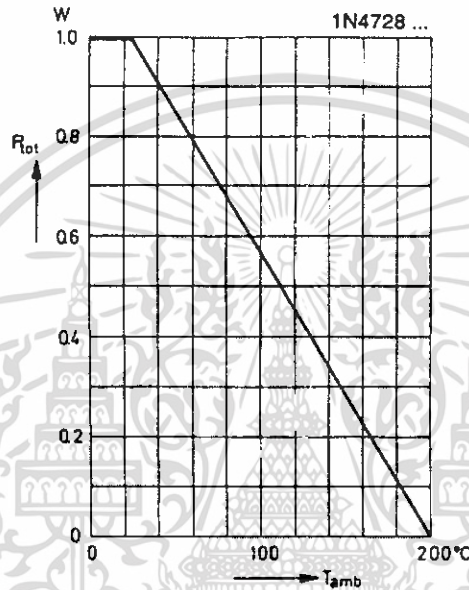
Notes:

- (1) The Zener Impedance is derived from the 60 Hz AC voltage which results when an AC current having an RMS value equal to 10% of the Zener current (I_{ZT} or I_{ZM}) is superimposed on I_{ZT} or I_{ZM} . Zener Impedance is measured at two points to insure a sharp knee on the breakdown curve and to eliminate unstable units.
- (2) Valid provided that leads at a distance of 8 mm from case are kept at ambient temperature.
- (3) Measured under thermal equilibrium and DC test conditions.

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES

Admissible power dissipation versus ambient temperature

Valid provided that leads are kept at ambient
temperature at a distance of 10 mm from case.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR120 Series

Preferred Devices

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

MUR105, MUR110, MUR115, MUR120,
MUR130, MUR140, MUR160

The MUR120 series of SWITCHMODE power rectifiers are designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes.

Features

- Ultrafast 25, 50 and 75 Nanosecond Recovery Times
- 175°C Operating Junction Temperature
- Low Forward Voltage
- Low Leakage Current
- High Temperature Glass Passivated Junction
- Reverse Voltage to 600 V
- Pb-Free Packages are Available*

Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 0.4 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds, 1/16" from case
- Shipped in plastic bags, 1000 per bag
- Available Tape and Reeled, 5000 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band



ON Semiconductor*

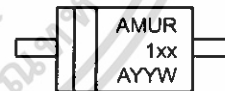
<http://onsemi.com>

ULTRAFAST RECTIFIERS
1.0 A, 50 V – 600 V



AXIAL LEAD
CASE 59-10
PLASTIC

MARKING DIAGRAM



MUR = Device Code
1xx = Specific Device Code
A = Assembly Location
YY = Year
W = Work Week

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

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

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

MUR120 Series

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR							Unit
		105	110	115	120	130	140	160	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	150	200	300	400	600	V
Average Rectified Forward Current (Square Wave Mounting Method #3 Per Note 1)	$I_{F(AV)}$	1.0 @ $T_A = 130^\circ\text{C}$				1.0 @ $T_A = 120^\circ\text{C}$			A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions, halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	35							A
Operating Junction Temperature and Storage Temperature	T_J, T_{stg}	-65 to +175							$^\circ\text{C}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

THERMAL CHARACTERISTICS

Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	Note 1	$^\circ\text{C/W}$
---	-----------------	--------	--------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1) ($I_F = 1.0$ Amp, $T_J = 150^\circ\text{C}$) ($I_F = 1.0$ Amp, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.710 0.875	1.05 1.25	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1) (Rated DC Voltage, $T_J = 150^\circ\text{C}$) (Rated DC Voltage, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	I_R	50 2.0	150 5.0	μA
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0$ A, $di/dt = 50$ A/ μs) ($I_F = 0.5$ A, $I_R = 1.0$ A, $I_{REC} = 0.25$ A)	t_{rr}	35 25	75 50	ns
Maximum Forward Recovery Time ($I_F = 1.0$ A, $di/dt = 100$ A/ μs , I_{REC} to 1.0 V)	t_{fr}	25	50	ns

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

ORDERING INFORMATION

Device	Marking	Package	Shipping†
MUR105	MUR105	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR105RL	MUR105	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR110	MUR110	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR110RL	MUR110	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR115	MUR115	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR115RL	MUR115	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR120	MUR120	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR120RL	MUR120	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR120RLG	MUR120	Axial Lead (Pb-Free)	5000 Units/Tape & Reel
MUR130	MUR130	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR130RL	MUR130	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR140	MUR140	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR140RL	MUR140	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR160	MUR160	Axial Lead	1000 Units/Bag
MUR160RL	MUR160	Axial Lead	5000 Units/Tape & Reel
MUR160RLG	MUR160	Axial Lead (Pb-Free)	5000 Units/Tape & Reel

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR120 Series

MUR105, MUR110, MUR115, MUR120

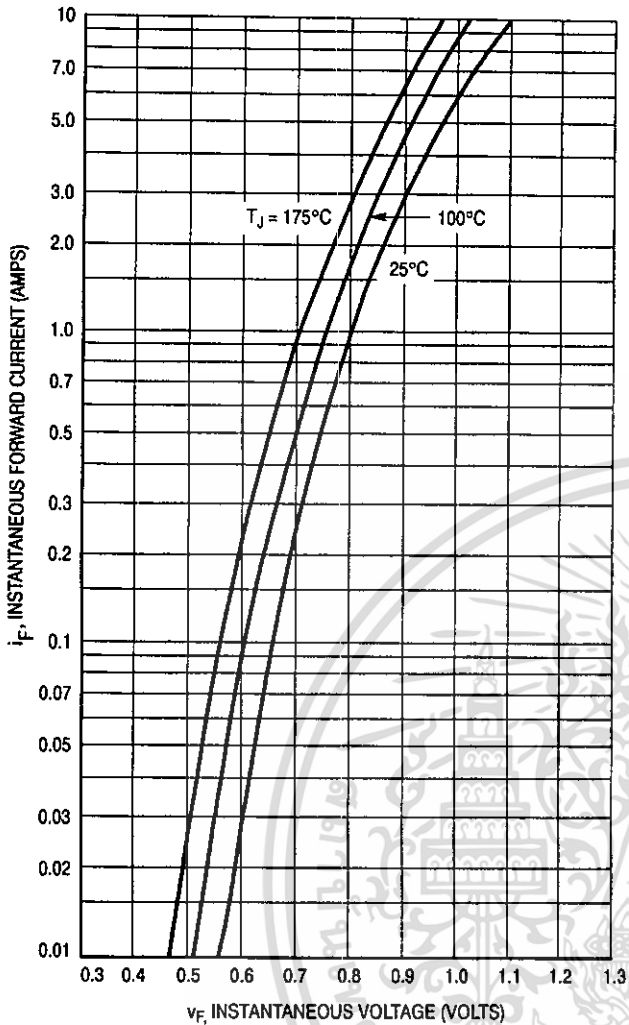


Figure 1. Typical Forward Voltage

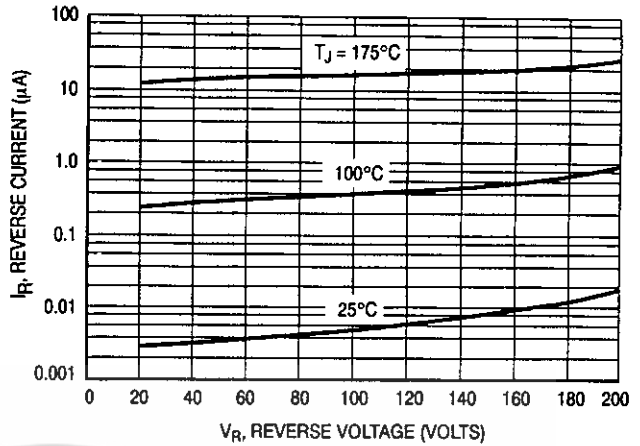


Figure 2. Typical Reverse Current*

* The curves shown are typical for the highest voltage device in the voltage grouping. Typical reverse current for lower voltage selections can be estimated from these same curves if V_R is sufficiently below rated V_R .

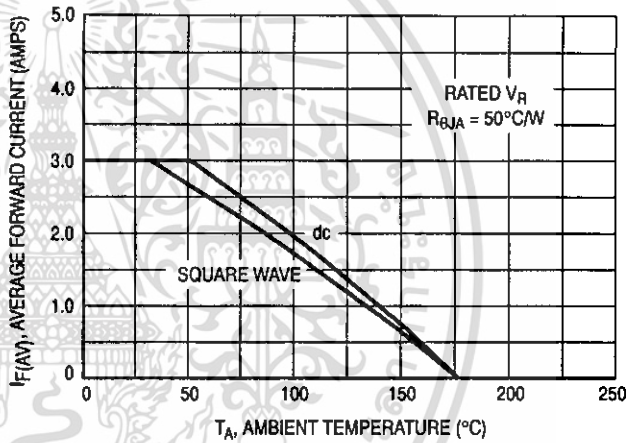


Figure 3. Current Derating (Mounting Method #3 Per Note 1)

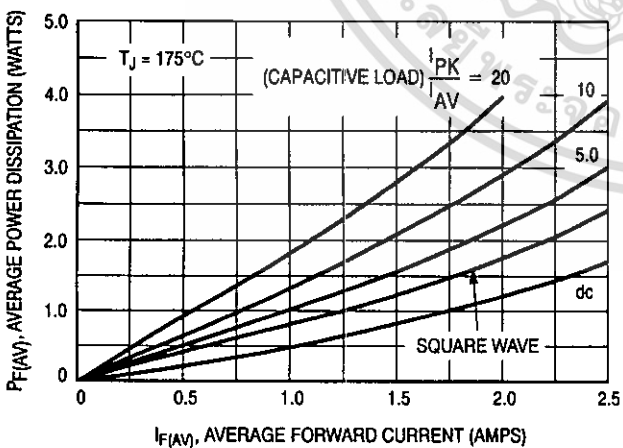


Figure 4. Power Dissipation

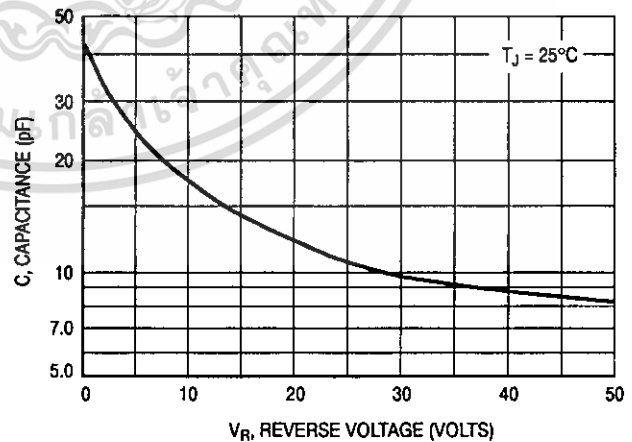


Figure 5. Typical Capacitance

MUR120 Series

MUR130, MUR140, MUR160

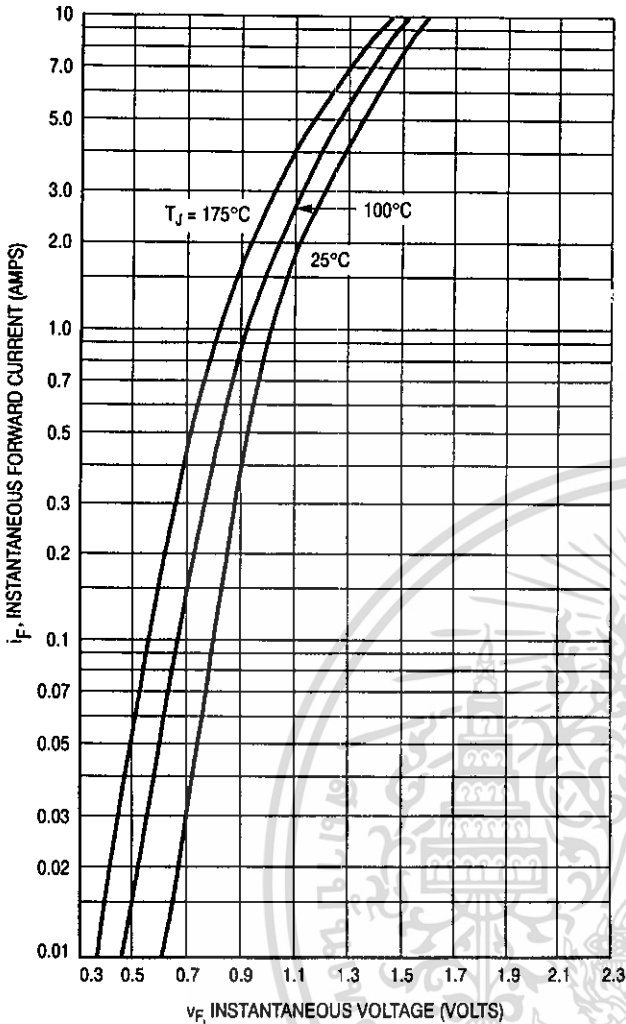


Figure 6. Typical Forward Voltage

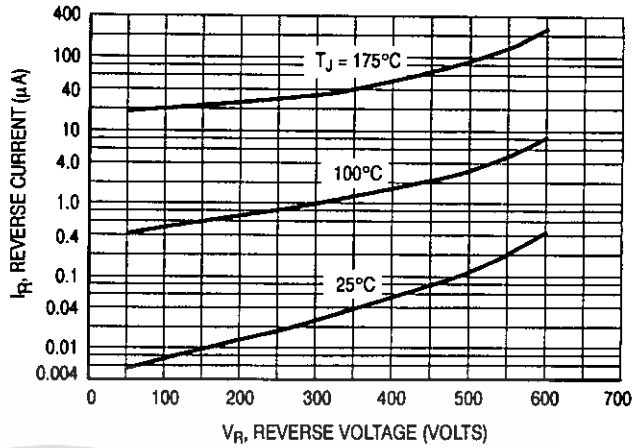


Figure 7. Typical Reverse Current*

* The curves shown are typical for the highest voltage device in the voltage grouping. Typical reverse current for lower voltage selections can be estimated from these same curves if V_R is sufficiently below rated V_R .

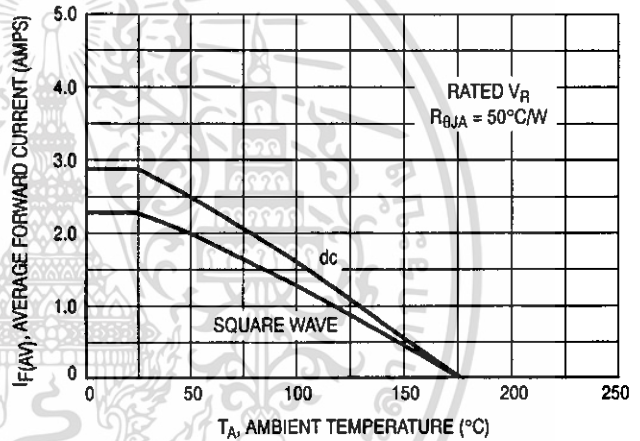


Figure 8. Current Derating (Mounting Method #3 Per Note 1)

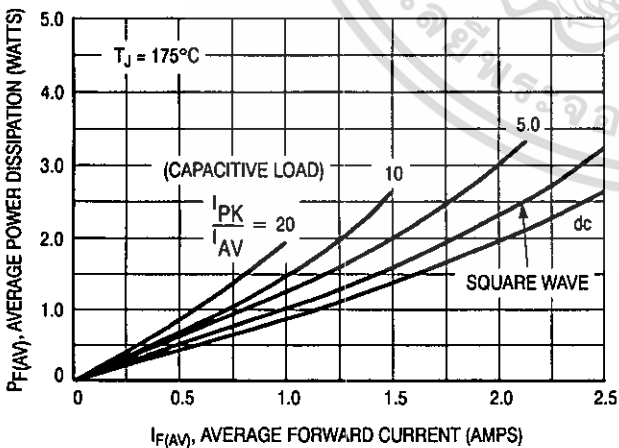


Figure 9. Power Dissipation

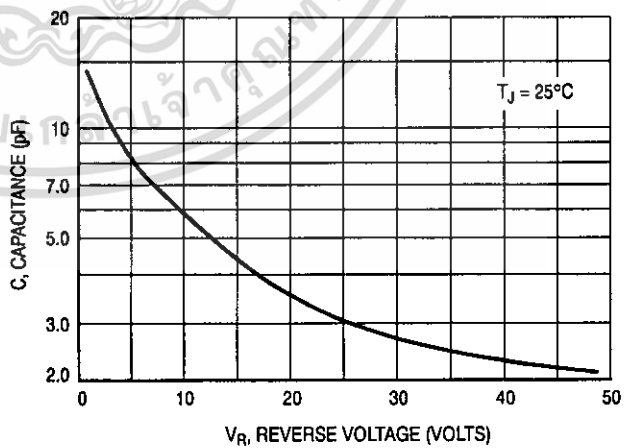


Figure 10. Typical Capacitance

MUR120 Series

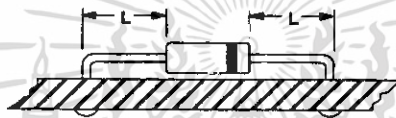
NOTE 1. — AMBIENT MOUNTING DATA

Data shown for thermal resistance junction to ambient ($R_{\theta JA}$) for the mountings shown is to be used as typical guideline values for preliminary engineering or in case the tie point temperature cannot be measured.

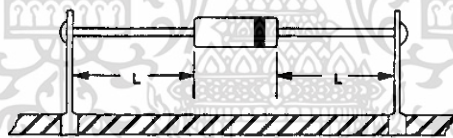
TYPICAL VALUES FOR $R_{\theta JA}$ IN STILL AIR

Mounting Method	$R_{\theta JA}$	Lead Length, L			Units
		1/8	1/4	1/2	
1		52	65	72	$^{\circ}\text{C/W}$
2		67	80	87	$^{\circ}\text{C/W}$
3		50			$^{\circ}\text{C/W}$

MOUNTING METHOD 1

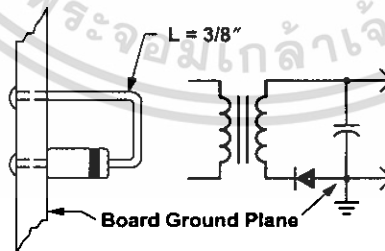


MOUNTING METHOD 2



Vector Pin Mounting

MOUNTING METHOD 3

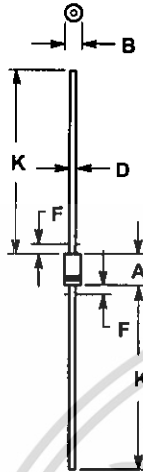


P.C. Board with 1-1/2" X 1-1/2" Copper Surface

MUR120 Series

PACKAGE DIMENSIONS

AXIAL LEAD CASE 59-10 ISSUE S




NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. 59-04 OBSOLETE, NEW STANDARD 59-09.
4. 59-03 OBSOLETE, NEW STANDARD 59-10.
5. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH JEDEC DO-41 OUTLINE SHALL APPLY.
6. POLARITY DENOTED BY CATHODE BAND.
7. LEAD DIAMETER NOT CONTROLLED WITHIN F DIMENSION.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	TYP	MAX	MIN	MAX
A	0.161	0.205	4.10	5.20
B	0.079	0.108	2.00	2.70
D	0.028	0.034	0.71	0.86
F	---	0.050	---	1.27
K	1.000	---	25.40	---

SWITCHMODE is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC.

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

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 61312, Phoenix, Arizona 85082-1312 USA
Phone: 480-829-7710 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 480-829-7709 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3550

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

Order Literature: <http://www.onsemi.com/litorder>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

MUR120/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.cc/r

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741

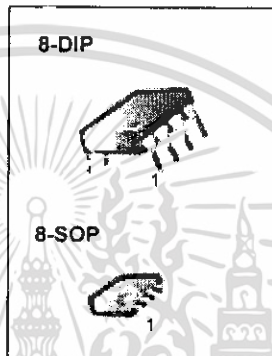
Single Operational Amplifier

Features

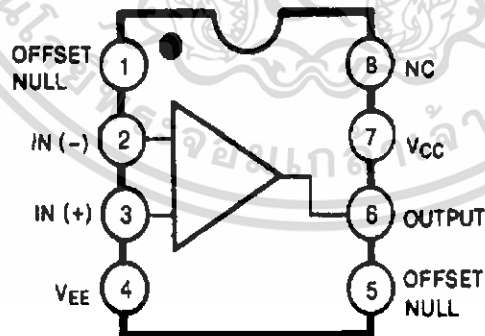
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.

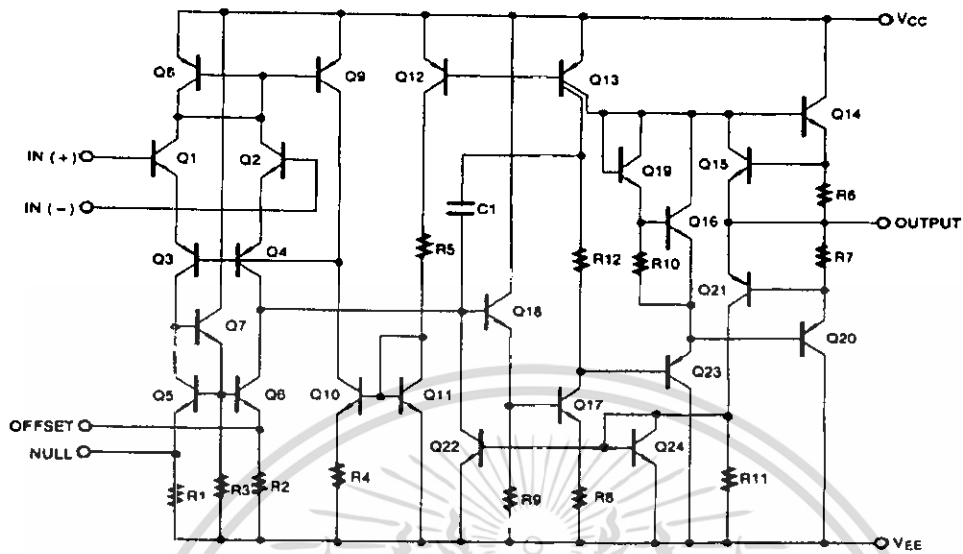


Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	±18	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	30	V
Input Voltage	V _I	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P _D	500	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 10K\Omega$	-	2.0	6.0	mV	
		$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-		
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	20	200	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	80	500	nA	
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	$M\Omega$	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2K\Omega$	$V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	V/mV	
		$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-		
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	-	25	-	mA	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	$R_L \geq 10K\Omega$	-	-	V	
			$R_L \geq 2K\Omega$	-	-		
		$V_{CC} = \pm 15V$	$R_L \geq 10K\Omega$	± 12	± 14		-
			$R_L \geq 2K\Omega$	± 10	± 13		-
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$		70	90	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$		-	-		-
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 50\Omega$		-	-	dB	
		$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 10K\Omega$		77	96		-
Transient Response	Rise Time	T_R	Unity Gain	-	0.3	μs	
	Overshoot	OS		-	10	%	
Bandwidth		BW	-	-	-	MHz	
Slew Rate		SR	Unity Gain	-	0.5	$V/\mu s$	
Supply Current		I_{CC}	$R_L = \infty\Omega$	-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		P_C	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	mW	
			$V_{CC} = \pm 15V$	-	50		85

Note:

1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ $V_{CC} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	mV	
		$R_S \leq 10K\Omega$	-	-	7.5		
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$		
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	300	nA	
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	nA/ $^{\circ}\text{C}$	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	0.8	μA	
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	M Ω	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10K\Omega$	-	-	-	V
			$R_S \geq 2K\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10K\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_S \geq 2K\Omega$	± 10	± 13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	10	-	40	mA	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10K\Omega, V_{CM} = \pm 12\text{V}$	70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12\text{V}$	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$R_S \leq 10K\Omega$	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_S \geq 2K\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V},$ $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15\text{V},$ $V_{O(P-P)} = \pm 10\text{V}$	15	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15\text{V},$ $V_{O(P-P)} = \pm 2\text{V}$	-	-	-	

Note :

1. Guaranteed by design.

Typical Performance Characteristics

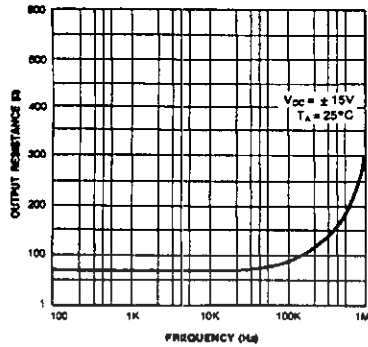


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

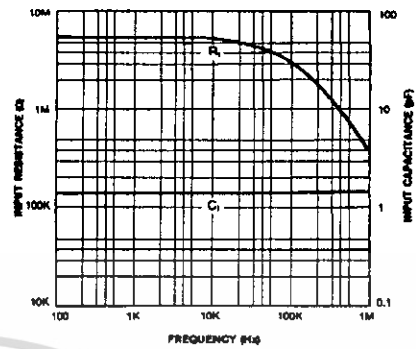


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

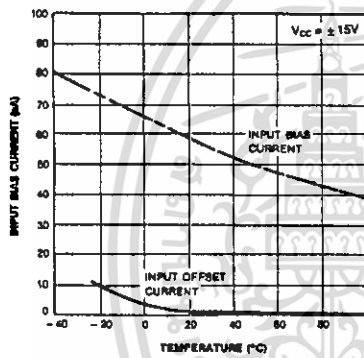


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

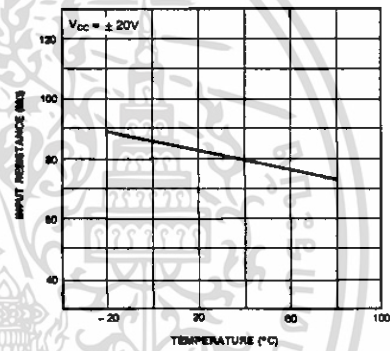


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

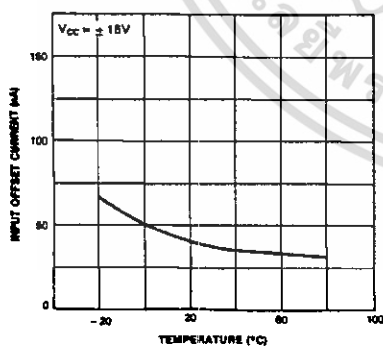


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

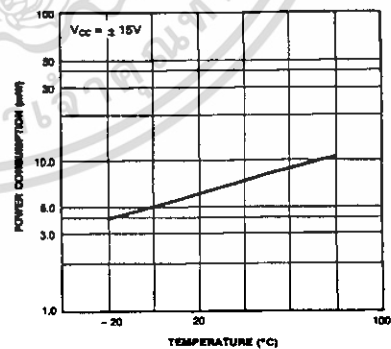


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

Typical Performance Characteristics (continued)

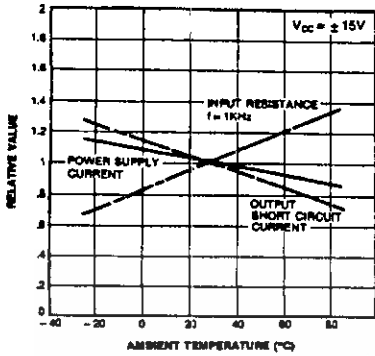


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

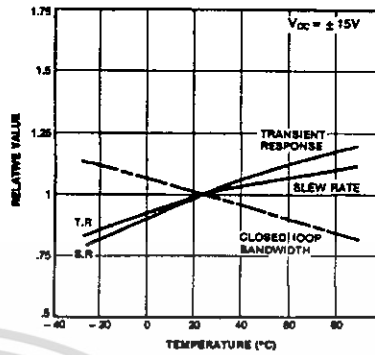


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

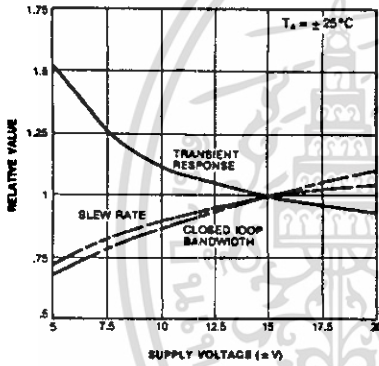


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

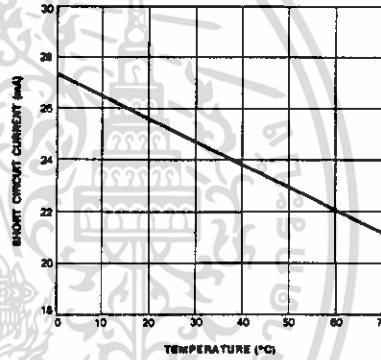


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

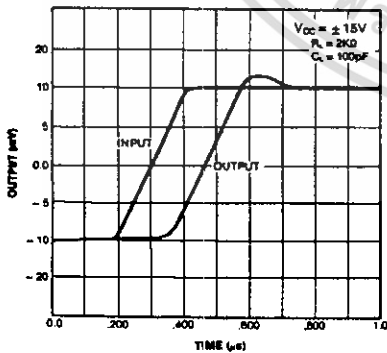


Figure 11. Transient Response

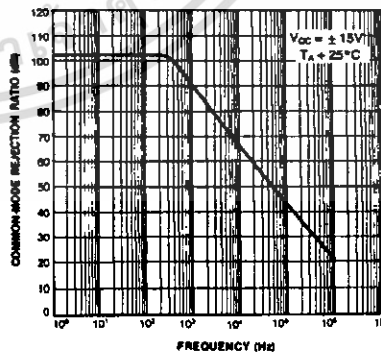


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

Typical Performance Characteristics (continued)

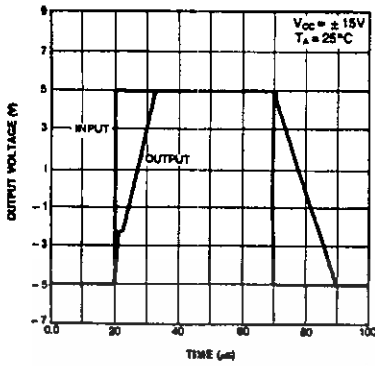


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

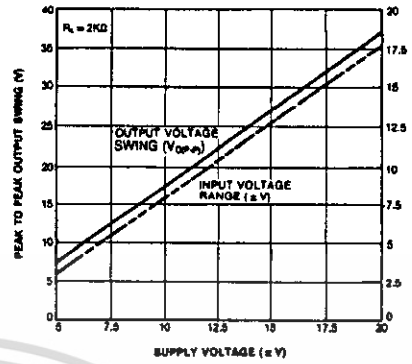


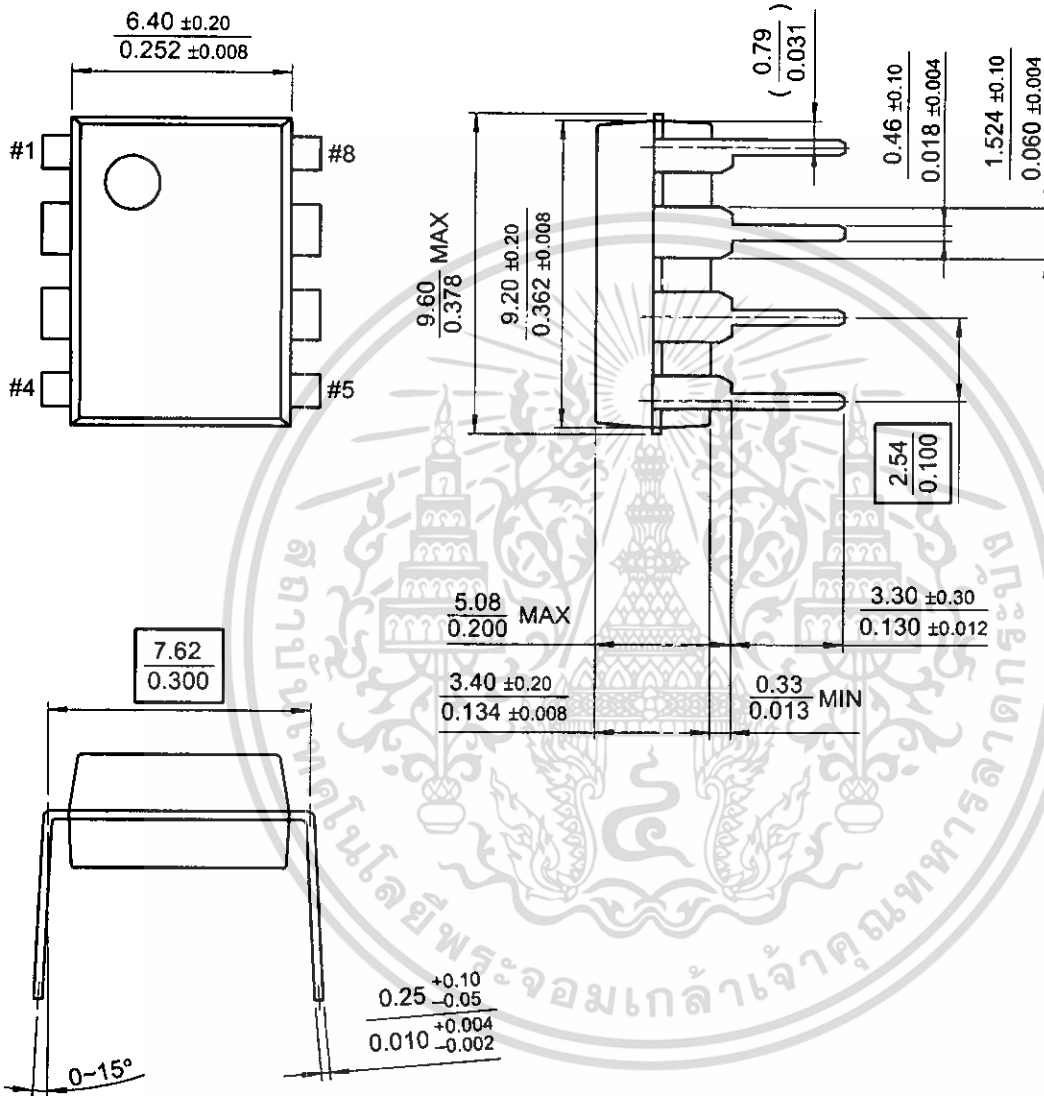
Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage



Mechanical Dimensions

Package

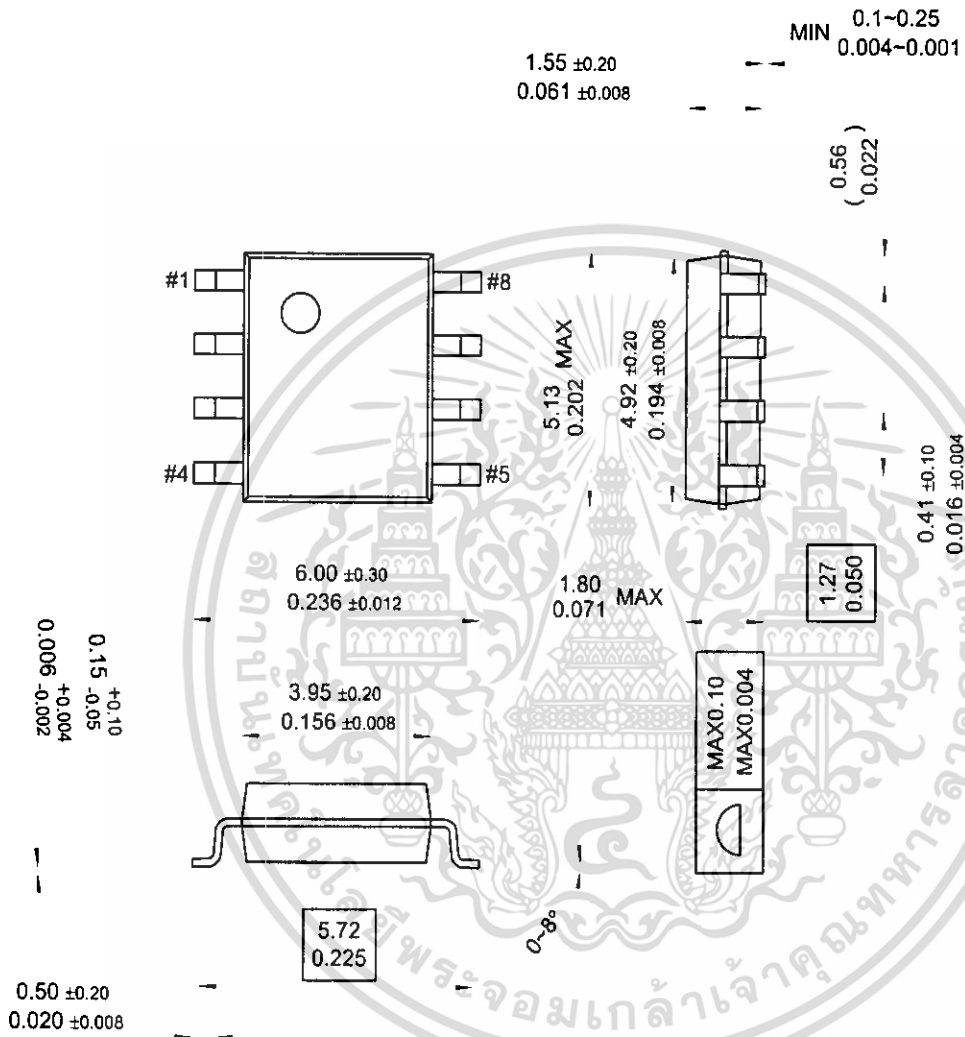
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM741CN	8-DIP	0 ~ + 70°C
LM741CM	8-SOP	
LM741IN	8-DIP	-40 ~ + 85°C



DISCLAIMER

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

www.fairchildsemi.com

6/1/01 0.0m 001
Stock#DSxxxxxxx
© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

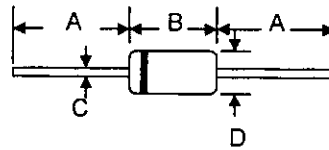
Datasheets for electronics components.



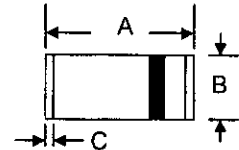
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Fast Switching Speed
- Glass Package Version for High Reliability
- High Conductance
- Available in Both Through-Hole and Surface Mount Versions



1N4148



LL4148

Mechanical Data

- Case: DO-35, MiniMELF
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: DO-35 0.13 grams
MiniMELF 0.05 grams
- Marking: Cathode Band Only

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

MiniMELF		
Dim	Min	Max
A	3.30	3.70
B	1.30	1.60
C	0.28	0.50
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @ $T_A=25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RM}	100	V
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	75	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	53	V
Forward Continuous Current (Note 1)	I_{FM}	300	mA
Rectified Current (Average), Half Wave Rectification with Resistive Load and $f \geq 50\text{MHz}$ (Note 1)	I_O	150	mA
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current @ $t = 1.0\text{s}$ @ $t = 1.0\mu\text{s}$	I_{FSM}	1.0 2.0	A
Power Dissipation (Note 1) Derate Above 25°C	P_d	500 1.68	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	$R_{\theta JA}$	300	K/W
Operating and Storage Temperature Range	T_j, T_{STG}	-65 to +175	$^\circ\text{C}$

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage	V_{FM}	—	1.0	V	$I_F = 10\text{mA}$
Maximum Peak Reverse Current	I_{RM}	—	5.0 50 30 25	μA μA μA nA	$V_R = 75\text{V}$ $V_R = 70\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}$
Capacitance	C_j	—	4.0	pF	$V_R = 0, f = 1.0\text{MHz}$
Reverse Recovery Time	t_r	—	4.0	ns	$I_F = 10\text{mA}$ to $I_R = 1.0\text{mA}$ $V_R = 6.0\text{V}, R_L = 100\Omega$

Note: 1. Diode on Ceramic Substrate 10mm x 8mm x 0.7mm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

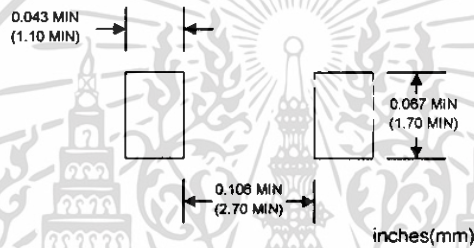
ORDERING INFORMATION

Product No.*	Package Type	Shipping Quantity
1N4148-T3	DO-35	10000/Tape & Reel
1N4148-TB	DO-35	5000/Tape & Box
1N4148	DO-35	1000 Units/Box
LL4148-T1	MiniMELF	2500/Tape & Reel
LL4148-T3	MiniMELF	10000/Tape & Reel

Products listed in bold are WTE Preferred devices

*T1 suffix refers to a 7" reel, T3 suffix refers to a 13" reel, TB suffix refers to Ammo Pack.
Shipping quantity given is for minimum packing quantity only. For minimum order quantity, please consult the Sales Department.

RECOMMENDED FOOTPRINT (MiniMELF)



Won-Top Electronics Co., Ltd (WTE) has checked all information carefully and believes it to be correct and accurate. However, WTE cannot assume any responsibility for inaccuracies. Furthermore, this information does not give the purchaser of semiconductor devices any license under patent rights to manufacturer. WTE reserves the right to change any or all information herein without further notice.

WARNING: DO NOT USE IN LIFE SUPPORT EQUIPMENT. WTE power semiconductor products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the express written approval.

Won-Top Electronics Co., Ltd.
No. 44 Yu Kang North 3rd Road, Chine Chen Dist., Kaohsiung, Taiwan
Phone: 886-7-822-5408 or 886-7-822-5410
Fax: 886-7-822-5417
Email: sales@wontop.com
Internet: <http://www.wontop.com>

We power your everyday.

This datasheet has been download from:

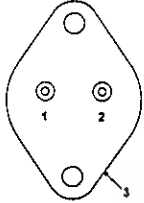
www.datasheetcatalog.ccr

Datasheets for electronics components.



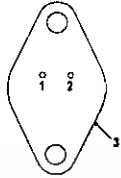
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 AMP NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR



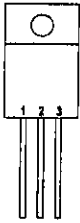
Pin 1 – Ground
 Pin 2 – V_{OUT}
 Case – V_{IN}

K Package – TO-3



Pin 1 – Ground
 Pin 2 – V_{OUT}
 Case – V_{IN}

R Package – TO-66

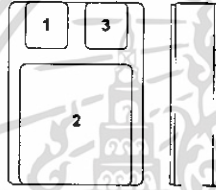


Pin 1 – Ground
 Pin 2 – V_{IN}
 Pin 3 – V_{OUT}
 Case – V_{IN}

G Package – TO-257

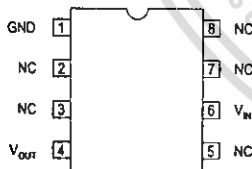
IG Package – TO-257*

* isolated Case on IG package



Pin 1 – Ground
 Pin 2 – V_{IN}
 Pin 3 – V_{OUT}

SMD Package – SMD1
Ceramic Surface Mount



J Package – 8 Pin Cerdip

FEATURES

- OUTPUT VOLTAGES OF -5, -12, -15V
- 0.01% / V LINE REGULATION
- 0.3% / A LOAD REGULATION
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSISTOR SOA PROTECTION
- 1% VOLTAGE TOLERANCE OPTION (-A VERSIONS)

DESCRIPTION

The IP120A / LM120 / IP7900A / IP7900 series of 3 terminal regulators is available with several fixed output voltage making them useful in a wide range of applications.

The A suffix devices provide 0.01% / V line regulation, 0.3% / A load regulation and $\pm 1\%$ output voltage tolerance at room temperature.

Protection features include Safe Operating Area current limiting and thermal shutdown.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{case} = 25^{\circ}C$ unless otherwise stated)

V_I	DC Input Voltage (for $V_O = -5, -12, -15V$)	35V
P_D	Power Dissipation	Internally limited
T_j	Operating Junction Temperature Range	-55 to 150°C
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150°C

Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612.

E-mail: sales@semelab.co.uk Website: <http://www.semelab.co.uk>

Prelim. 2/99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Test Conditions	IP7905A IP120A-05			IP7905, IP120-05 LM120-05			Units	
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
V _O Output Voltage	I _O = 500mA V _{IN} = -10V	-4.95	-5	-5.05	-4.9	-5	-5.1	V	
	I _O = 5mA to I _{MAX} P _D ≤ P _{MAX} V _{IN} = -7.5V to -20V T _J = -55 to 150°C	-4.85		-5.15	-4.8		-5.2		
V _O Low Supply	I _O = 5mA to I _{MAX} V _{IN} = -7V to -20V P _D ≤ P _{MAX}	-4.75		-5.15	-4.75		-5.25	V	
ΔV _O Line Regulation	I _O = 0.5 I _{MAX}	V _{IN} = -7V to -25V		3	10		3	25	mV
		V _{IN} = -7.5V to -20V T _J = -55 to 150°C		3	10		3	50	
	V _{IN} = -8V to -12V I _O ≤ I _{MAX}		1	4		1	25		
	T _J = -55 to 150°C		1	12		2	50		
ΔV _O Load Regulation	V _{IN} = -10V	I _O = 5mA to 1.5A		10	25		10	75	mV
		I _O = 250mA to 750mA		4	15		4	25	
	V _{IN} = -10V	I _O = 5mA to I _{MAX} T _J = -55 to 150°C		7	25		7	50	
I _Q Quiescent Current	I _O ≤ 0.5 I _{MAX} V _{IN} = -10V	T _J = -55 to 150°C		1	1.9		1	1.9	mA
				1	2		1	2	
ΔI _Q Quiescent Current Change	I _O = 5mA to I _{MAX} V _{IN} = -10V	T _J = -55 to 150°C		0.2	0.4		0.2	0.4	mA
				0.2	0.5		0.2	0.5	
	I _O ≤ 0.5 I _{MAX}	V _{IN} = -7V to -25V		0.1	0.4		0.1	0.4	
		V _{IN} = -8V to -25V T _J = -55 to 150°C		0.1	0.5		0.1	1.0	
V _N Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz V _{IN} = -10V		40	400		40	400	μV	
ΔV _{IN} / ΔV _O Ripple Rejection	f = 120Hz V _{IN} = -8V to -18V	I _O ≤ I _{MAX}	66	80		54	80	dB	
		I _O ≤ 0.5 I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	66	80		54	80		
Dropout Voltage	I _O = I _{MAX}		1.1	2.3		1.1	2.3	V	
R _O Output Resistance	f = 1 kHz		5			5		mΩ	
I _{sc} Short Circuit Current	V _{IN} = -35V		0.6	1.2		0.6	1.2	A	
I _{pk} Peak Output Current	V _{IN} = -10V		2.4	3.3		2.4	3.3		
Average Temperature Coefficient of V _O	I _O = 5mA		0.2	2		0.2	2	mV/°C	
Input Voltage required to maintain line regulation	I _O ≤ I _{MAX}		-7.3			-7.3		V	

1) All characteristics are measured with a capacitor across the input of 0.22μF and a capacitor across the output of 0.1μF.

All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_p ≤ 10ms, δ ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

2) Test Conditions unless otherwise stated: P_{MAX} = 10W for TO-220SM, P_{MAX} = 1W for Cerdip, P_{MAX} = 20W for all other package devices
I_{MAX} = 1.0A, T_J = 25°C

Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612.

E-mail: sales@semelab.co.uk Website: <http://www.semelab.co.uk>

Prelim. 2/99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Test Conditions	IP7912A IP120A-12			IP7912, IP120-12 LM120-12			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _O Output Voltage	I _O = 500mA V _{IN} = -19V	-11.88	-12	-12.12	-11.76	-12	-12.24	V
	V _{IN} = -14.8V to -27V P _D ≤ P _{MAX} I _O = 5mA to I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	-11.64		-12.36	-11.52		-12.48	
V _O Low Supply	I _O = 5mA to I _{MAX} P _D ≤ P _{MAX} V _{IN} = -14.5V to -27V	-11.40		-12.36	-11.40		-12.60	V
ΔV _O Line Regulation	I _O = 0.5 I _{MAX}	V _{IN} = -14.5V to -30V	4	18	4	120	mV	
		V _{IN} = -14.8V to -27V T _J = -55 to 150°C	4	18	4	200		
	I _O ≤ I _{MAX} V _{IN} = -16V to -22V T _J = -55 to 150°C	1	4	1	25			
ΔV _O Load Regulation	V _{IN} = -19V	I _O = 5mA to 1.5A	12	32	12	80	mV	
		I _O = 250mA to 750mA	4	19	4	60		
	V _{IN} = -19V	I _O = 5mA to I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	8	60	8	120		
I _Q Quiescent Current	I _O ≤ 0.5 I _{MAX} V _{IN} = -19V	T _J = -55 to 150°C	0.2	0.4	0.2	0.4	mA	
			1	2	1	2		
ΔI _Q Quiescent Current Change	I _O = 5mA to I _{MAX} V _{IN} = -19V	T _J = -55 to 150°C	0.2	0.4	0.2	0.4	mA	
			0.2	0.5	0.2	0.5		
	I _O ≤ 0.5 I _{MAX}	V _{IN} = -14.5V to -30V V _{IN} = -15V to -30V T _J = -55 to 150°C	0.1	0.4	0.1	0.4		
V _N Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz V _{IN} = -19V		75	960	75	960	μV	
ΔV _{IN} / ΔV _O Ripple Rejection	f = 120Hz V _{IN} = -15V to -25V	I _O ≤ I _{MAX}	58	72	56	72	dB	
		I _O ≤ 0.5 I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	58	72	56	72		
Dropout Voltage	I _O = I _{MAX}	1.1	2.3	1.1	2.3	V		
R _O Output Resistance	f = 1 kHz	8		8		mΩ		
I _{sc} Short Circuit Current	V _{IN} = -35V	0.6	1.2	0.6	1.2	A		
I _{pk} Peak Output Current	V _{IN} = -19V	2.4	3.3	2.4	3.3			
Average Temperature Coefficient of V _O	I _O = 5mA	0.5	4.8	0.5	4.8	mV/°C		
Input Voltage required to maintain line regulation	I _O ≤ I _{MAX}	-14.5		-14.5		V		

1) All characteristics are measured with a capacitor across the input of 0.22μF and a capacitor across the output of 0.1μF.
 All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_p ≤ 10ms, δ ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

2) Test Conditions unless otherwise stated: P_{MAX} = 10W for TO-220SM, P_{MAX} = 1W for Cerdip, P_{MAX} = 20W for all other package devices
 I_{MAX} = 1.0A, T_J = 25°C

Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612. Prelim. 2/99
 E-mail: sales@semelab.co.uk Website: <http://www.semelab.co.uk>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Test Conditions	IP7915A IP120A-15			IP7915, IP120-15 LM120-15			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _O Output Voltage	I _O = 500mA V _{IN} = -23V	-14.85	-15	-15.15	-14.7	-15	-15.3	V
	V _{IN} = -17.9V to -30V P _D ≤ P _{MAX} I _O = 5mA to I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	-14.55		-15.45	-14.4		-15.6	
V _O Low Supply	I _O = 5mA to I _{MAX} P _D ≤ P _{MAX} V _{IN} = -17.5V to -30V	-14.25		-15.45	-14.25		-15.75	V
ΔV _O Line Regulation	I _O = 0.5 I _{MAX} V _{IN} = -17.5V to -30V V _{IN} = -17.9V to -30V T _J = -55 to 150°C	4		22	4		150	mV
		4		22	4		250	
	I _O ≤ I _{MAX} V _{IN} = -20V to -26V T _J = -55 to 150°C	2		10	2		75	
ΔV _O Load Regulation	V _{IN} = -23V I _O = 5mA to 1.5A I _O = 250mA to 750mA	12		35	12		80	mV
		4		21	4		75	
I _Q Quiescent Current	I _O ≤ 0.5 I _{MAX} V _{IN} = -23V T _J = -55 to 150°C	1		1.9	1		1.9	mA
		1		2	1		2	
ΔI _Q Quiescent Current Change	I _O = 5mA to I _{MAX} V _{IN} = -23V T _J = -55 to 150°C	0.2		0.4	0.2		0.4	mA
		0.2		0.5	0.2		0.5	
	I _O ≤ 0.5 I _{MAX} V _{IN} = -17.5V to -30V V _{IN} = -18.5V to -30V T _J = -55 to 150°C	0.1		0.4	0.1		0.4	
V _N Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz V _{IN} = -23V	90		1200	90		1200	μV
ΔV _{IN} / ΔV _O Ripple Rejection	f = 120Hz V _{IN} = -18.5V to -28.5V I _O ≤ I _{MAX} I _O ≤ 0.5 I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	56		70	54		70	dB
		56		70	54		70	
Dropout Voltage	I _O = I _{MAX}	1.1		2.3	1.1		2.3	V
R _O Output Resistance	f = 1 kHz	9			9			mΩ
I _{sc} Short Circuit Current	V _{IN} = -35V	0.6		1.2	0.6		1.2	A
I _{pk} Peak Output Current	V _{IN} = -23V	2.4		3.3	2.4		3.3	
Average Temperature Coefficient of V _O	I _O = 5mA	0.6		6	0.6		6	mV / °C
Input Voltage required to maintain line regulation	I _O ≤ I _{MAX}	-17.5			-17.5			V

1) All characteristics are measured with a capacitor across the input of 0.22μF and a capacitor across the output of 0.1μF.
All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_p ≤ 10ms, δ ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

2) Test Conditions unless otherwise stated: P_{MAX} = 10W for TO-220SM, P_{MAX} = 1W for Cerdip, P_{MAX} = 20W for all other package devices
I_{MAX} = 1.0A, T_J = 25°C

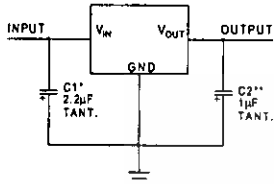
Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612.

E-mail: sales@semelab.co.uk Website: <http://www.semelab.co.uk>

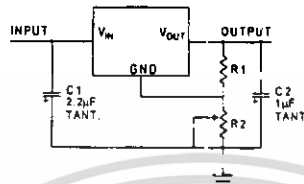
Prelim. 2/99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

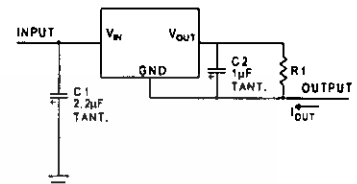
APPLICATIONS INFORMATION



Fixed Output Regulator



Adjustable Output Regulator



Current Regulator

* Required if the regulator is located far from the power supply.

** Required for stability. 25µF electrolytic may be substituted.

$$V_{OUT} \approx V_{REG} \frac{(R1+R2)}{R1}$$

$$I_{OUT} = \frac{V_{REG}}{R1} + I_Q$$

Order Information

Part Number	K-Pack (TO-3)	R-Pack (TO-66)	G/G-Pack (TO-257)	SG-Pack SMD1	J-Pack 8 Pin Cerdip	Temp. Range	Note:
IP7900A	✓	✓	✓	✓	✓	-55 to +150°C	To order, add the package identifier to the part number. eg. IP7900AK IP120SG
IP7900	✓	✓	✓	✓	✓	"	
IP120A	✓	✓	✓	✓	✓	"	
IP120	✓	✓	✓	✓	✓	"	
LM120	✓	✓	✓	✓	✓	"	

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the out-

put, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

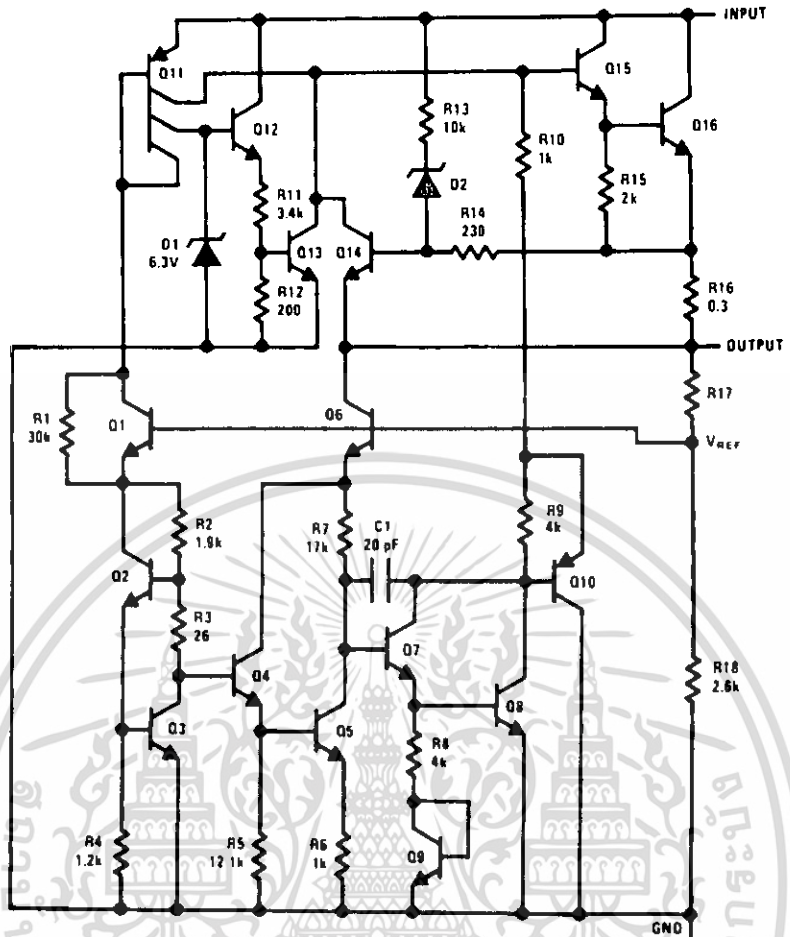
LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Connection Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic



DS007746-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 3)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Input Voltage

 $(V_O = 5V, 12V \text{ and } 15V)$

35V

Internal Power Dissipation (Note 1)

Internally Limited

Operating Temperature Range (T_A)

0°C to +70°C

Maximum Junction Temperature

(K Package)

150°C

(T Package)

150°C

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package K

300°C

TO-220 Package T

230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2)0°C $\leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		$P_D \leq 15\text{W}, 5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	4.75		5.25	11.4		12.6	4.25		15.75	V	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)				(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V	
V_O	Line Regulation	$I_O = 500 \text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3	50	4	120	4	150			mV	
			ΔV_{IN}	(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V	
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	ΔV_{IN}			50		120		150			mV
			ΔV_{IN}	(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			V
		$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			50		120		150			mV
			ΔV_{IN}	(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(14.6 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			V
$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	ΔV_{IN}			25		60		75			mV		
	ΔV_{IN}	(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 12$)			(16 $\leq V_{\text{IN}} \leq 22$)			(20 $\leq V_{\text{IN}} \leq 26$)			V		
V_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1.5 \text{ A}$	10	50	12	120	12	150			mV	
			$250 \text{ mA} \leq I_O \leq 750 \text{ mA}$			25		60		75		mV	
		$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			50		120		150			mV	
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8		8		8			mA	
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$		8.5		8.5		8.5			mA	
I_Q	Quiescent Current Change	$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1 \text{ A}$		0.5		0.5		0.5			mA	
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(14.8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.9 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V	
			$I_O \leq 500 \text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$			1.0		1.0		1.0			mA
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)		V	
N	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$	40			75			90			μV	
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{V_{\text{OUT}}}$	Ripple Rejection	$I_O \leq 1 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or $I_O \leq 500 \text{ mA}$ $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	$f = 120 \text{ Hz}$	62 80			55 72			54 70			dB
				62			55			54			dB
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 18$)			(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 28.5$)			V	
o	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{\text{OUT}} = 1 \text{ A}$	2.0			2.0			2.0			V	
	Output Resistance	$f = 1 \text{ kHz}$	8			18			19			$\text{m}\Omega$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics LM78XX (Note 2) (Continued)

$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	2.1			1.5			1.2			A
	Peak Output Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	2.4			2.4			2.4			A
	Average TC of V_{OUT}	$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{ mA}$	0.6			1.5			1.8			mV/°C
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$	7.5			14.6			17.7			V

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

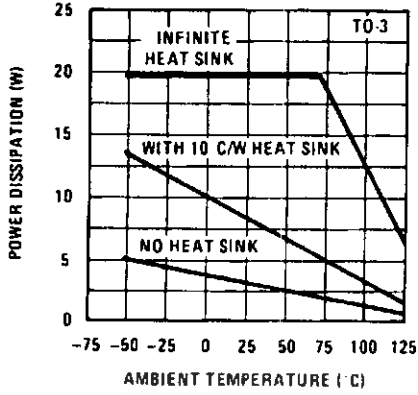
Note 2: All characteristics are measured with a capacitor across the input of $0.22\ \mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1\ \mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10\text{ ms}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

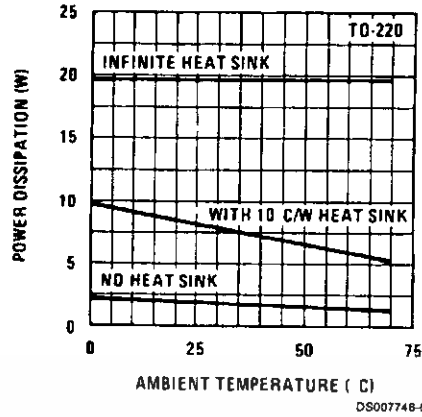


Typical Performance Characteristics

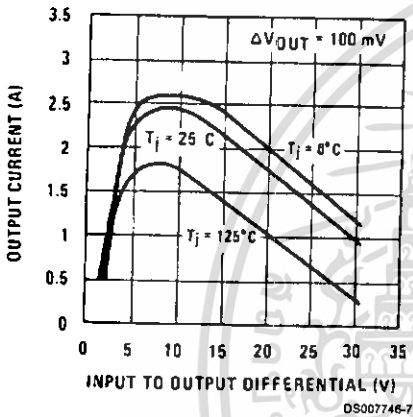
Maximum Average Power Dissipation



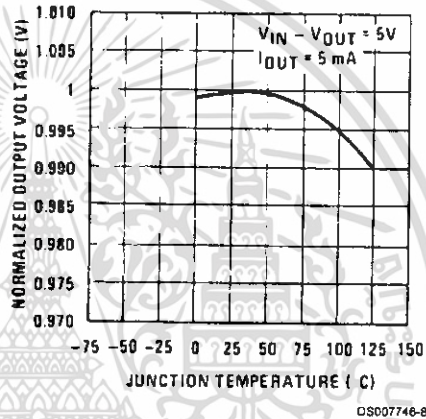
Maximum Average Power Dissipation



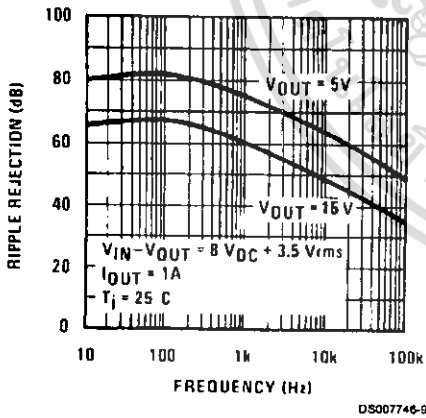
Peak Output Current



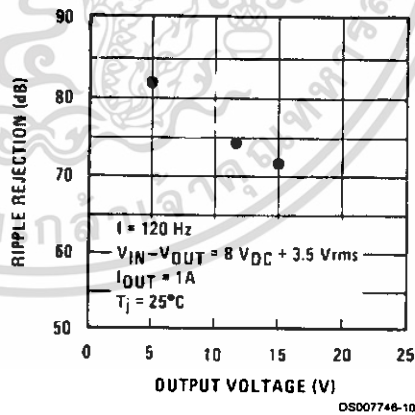
Output Voltage (Normalized to 1V at Tj = 25°C)



Ripple Rejection



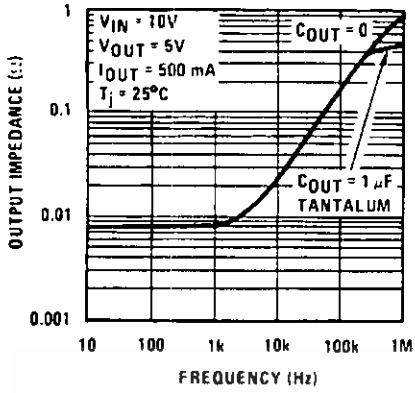
Ripple Rejection



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

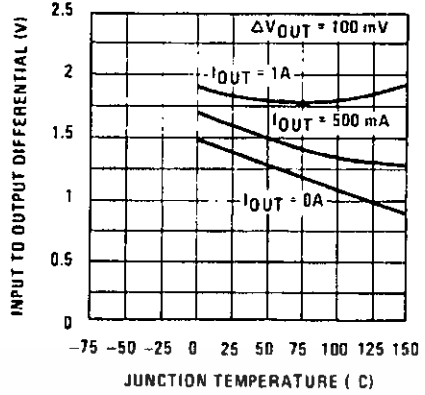
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Impedance



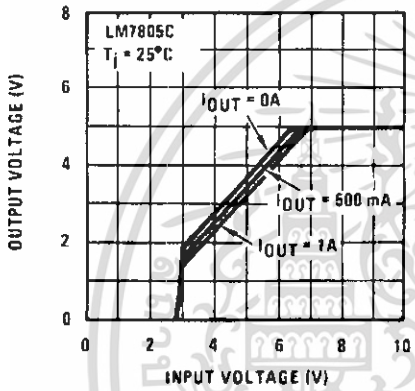
DS007746-11

Dropout Voltage



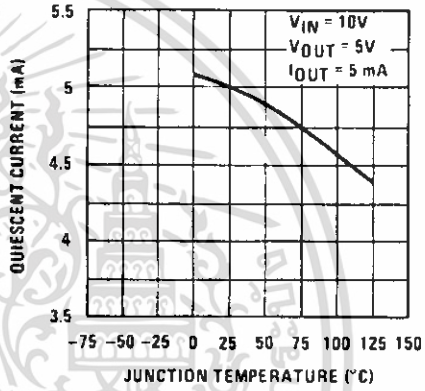
DS007746-12

Dropout Characteristics



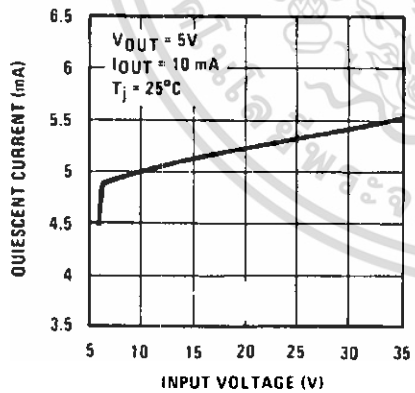
DS007746-13

Quiescent Current



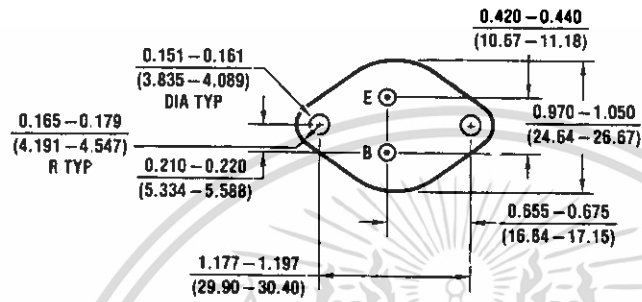
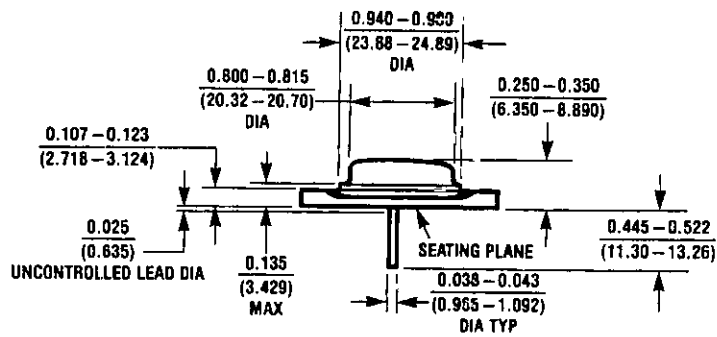
DS007746-14

Quiescent Current



DS007746-15

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

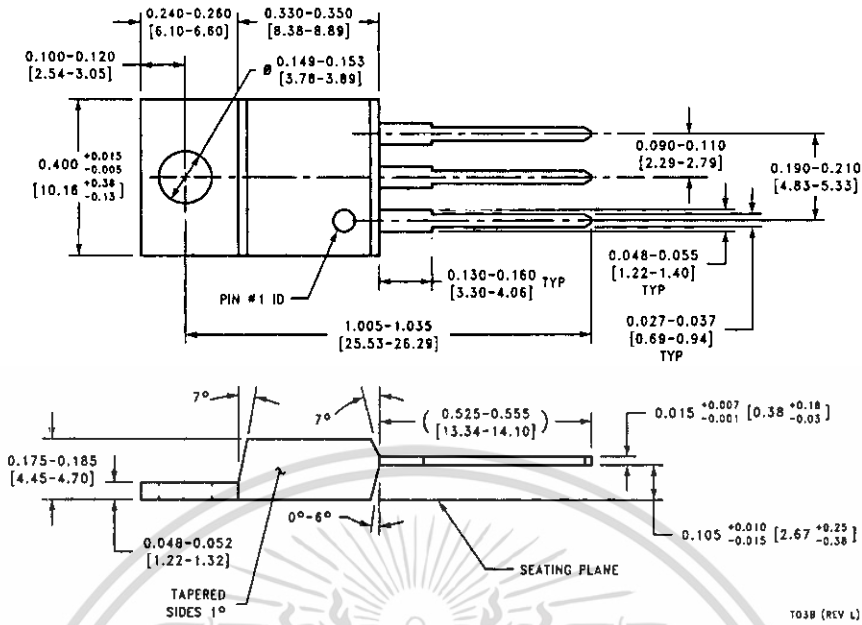


KC02A (REV C)

Aluminum Metal Can Package (KC)
 Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
 NS Package Number KC02A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-220 Package (T)
Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
NS Package Number T03B

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been downloaded from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronic components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้