

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ควอดแรนต์  
โดยใช้คูอัลไทรสเตอร์คอนเวอร์เตอร์  
A 4- QUADRANT DC MOTOR DRIVE USING  
DUAL THYRISTOR CONVERTERS



โดย

นาย จีรฎฐ์ ตั้งมานะกิจ

นาย สง่า สุวรรณมาโจ

นาย สามารถ ทรงศรีรุ่งเรือง

นาย สันติ สุขมพันธ์

รพ.  
จ 579 ก  
2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 81787  
วัน,เดือน,ปี 24 ส.ย. 2551

b. 11936435  
i. ....

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ควอดแรนต์  
โดยใช้คู่อัลทริสเตอร์คอนเวอร์เตอร์  
A 4- QUADRANT DC MOTOR DRIVE USING  
DUAL THYRISTOR CONVERTERS



โดย

นาย จีรฐิติ ตั้งมานะกิจ

นาย สง่า สุวรรณมาโจ

นาย สามารถ ทรงศรีรุ่งเรือง

นาย สันติ สุขมพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4 ควอดแรนท์

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย จีรภูมิ ตั้งมานะกิจ
  2. นาย สง่า สุวรรณมาโจ
  3. นาย สามารถ ทรงศรีรุ่งเรือง
  4. นาย สันติ สุขมพันธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4 ควอดแรนท์

นาย จีรุมภ์ ตั้งมานะกิจ

นาย สง่า สุวรรณมาโจ

นาย สามารถ ทรงศรีรุ่งเรือง

นาย สันติ สุขหมั่นต์

รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ชัยทัต มณีอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขดลวดแยก กระตุ้น โดยการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 2.2 กิโลวัตต์ 13.5 แอมแปร์ 220 โวลต์ ความเร็วที่พิกัด 1150 รอบต่อนาที การควบคุมมอเตอร์นี้จะใช้ SCR (Silicon Controlled Rectifiers) ในวงจรกำลังของวงจร Dual Converter เพราะสามารถใช้กับมอเตอร์ที่พิกัดสูงๆได้และมีความทนทานกว่า IGBT , MOSFET สามารถเบรกแบบคืนพลังงานได้เหมาะสำหรับมอเตอร์ตัวใหญ่เพื่อไม่ให้มอเตอร์ร้อน นอกจากนี้ยังจำลองระบบควบคุมมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกับการทดลองจริง

**A 4 - QUADRANT DC MOTOR DRIVE USING  
DUAL THYRISTOR CONVERTERS**

Jiruth Tangmanakij

Sa-nga Suwanmajo

Samard Songsrirungruang

Santi Sukmahan

Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinnares

Advisor

Chaitat manee-in

Advisor

2007

**ABSTRACT**

This project presents the speed control of a separately excited DC motor which is controlled by armature voltage. A motor rating is 2.2 kW ,13.5 A , 220V and 1150 rpm. The objective of the project is to improve the speed controller using thyristor dual converters because it has current rating more than IGBT,MOSFET suitable for a large motor and is capable of regenerative breaking. Analysis of the control system with MATLAB program is also included.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่จะกล่าวถึงและขาดไม่ได้ที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็คือ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดียิ่งตลอดมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นบุคคลที่เคารพรักอย่างยิ่ง ที่อบรมเลี้ยงดูและให้โอกาสทางการศึกษา อีกทั้งยังให้กำลังใจและดูแลเอาใจใส่ในทุกๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

และท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทที่ให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและคอยให้กำลังใจ ขอบคุณมากครับ

นาย จีรุมภ์ ตั้งมานะกิจ

นาย สง่า สุวรรณมาใจ

นาย สามารถ ทรงศรีรุ่งเรือง

นายสันติ สุขมพันธ์

## IV

### สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
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.....	16
2.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก.....	17
2.1.5 การเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	23
2.2 Silicon Controlled Rectifiers (SCRs).....	24
2.3 การขับเคลื่อน DC Motor แบบแยกกระตุ้นด้วย Converter 3 เฟส.....	29
2.3.1 หลักการทำงานของ 3 Phase Converter.....	30
2.3.2 การทำงาน 4 Quadrant.....	36
2.3.3 ระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์.....	38
2.4 การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับการขับเคลื่อนมอเตอร์.....	44
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	44
2.5 วงจร Zero crossing.....	52
2.6 วงจรขับเคลื่อนของ SCR.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง (หรือการออกแบบการทดลอง).....	54
3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ควอดแรนต์ โดยใช้ตุลไทรสเตอร์คอนเวอร์เตอร์.....	54
3.2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส.....	56
3.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจร Dual converter ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	57
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	66
4.1 การทดลองหาค่า $R_a$ , $R_f$ โดยวิธี V-I Method.....	68
4.1.1 ขั้นตอนการทดลองหาค่า $R_a$ .....	68
4.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาค่า $R_f$ .....	69
4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า ขั้นตอนการทดลอง.....	71
4.3 การวัดสัญญาณชุดควบคุม.....	72
4.4 การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบรูปเปิด ที่โหลดค่าต่างๆ.....	77
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	93
ภาคผนวก (ก).....	94
ภาคผนวก (ข).....	117
เอกสารอ้างอิง	

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ.....	2
2.1 โครงสร้างมอเตอร์.....	3
2.2 ขดลวดสนามแม่เหล็ก.....	3
2.3 การตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลต์คอยล์.....	4
2.4 แปรรงถ่านและช่องแปรรงถ่าน.....	4
2.5 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์.....	5
2.6 ขดลวดอาร์เมเจอร์.....	6
2.7 ลักษณะของคอมมิวเตเตอร์.....	6
2.8 ภาพตัดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	7
2.9 ส่วนต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	7
2.10 แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	14
2.11 แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์.....	14
2.12 วงจรสมมูลย์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก.....	16
2.13 คุณลักษณะความเร็ว.....	17
2.14 การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์.....	20
2.15 กราฟคุณลักษณะมีโหลดเมื่อควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์.....	20
2.16 กราฟคุณลักษณะทอร์กและกำลังจ่ายออกเมื่อควบคุม $V_t$ และ $\phi$ .....	22
2.17 แสดงสัญลักษณ์และภาพตัดแสดงรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามรอยต่อ.....	24
2.18 แสดงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์.....	25
2.19 แสดงแบบจำลองของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์.....	26
2.20 รูปแบบของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในสภาวะชั่วขณะ.....	28
2.21 ผลของกระแสเกตต่อแรงดันบล็อกกิงไบแอสตรง.....	28
2.22 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด.....	29
2.23 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออก.....	30
2.24 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดแต่ละตัวและกระแสไฟฟ้า $i_o$ .....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## VII

ภาพที่	หน้า
2.25 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส.....	32
2.26 แรงดันไฟฟ้าต้านออกเมื่อมุมจุดชนวนเกิดที่ 45 องศา.....	32
2.27 แรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อมุม $\alpha$ ถ้า $0 \leq \alpha \leq 90$ .....	34
2.28 แรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อมุม $\alpha$ ถ้า $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ .....	35
2.29 การต่อ Dual Converter.....	36
2.30 การทำงานของมอดูเลเตอร์ ใน 4 Quadrant.....	36
2.31 การทำงานของ Dual Converter ใน 4 Quadrant.....	37
2.32 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์คู่ชนิดไม่มีกระแสไหลวน ร่วมกับมอดูเลเตอร์.....	38
2.33 ระบบควบคุมความเร็วมอดูเลเตอร์.....	38
2.34 การทำงานร่วมกันของวงจรกำลังและระบบควบคุม.....	39
2.35 ผลการทดลองจำลองการทำงานของมอดูเลเตอร์โดยใช้ตัวควบคุมความเร็ว อย่างเดียว.....	41
2.36 ผังการควบคุมมอดูเลเตอร์เมื่อเพิ่มตัวควบคุมเข้ามา .....	41
2.37 ผังการควบคุมมอดูเลเตอร์เมื่อเพิ่มตัวควบคุมกระแสเข้ามา.....	43
2.38 ผลการทดลองจำลองการทำงานของมอดูเลเตอร์เมื่อมีตัวควบคุมความเร็วรอบ และตัวควบคุมกระแส.....	43
2.39 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30F4011.....	45
2.40 dsPIC 30F4011 BLOCK DIAGRAM.....	46
2.40 dsPIC 30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS.....	47
2.40 (ต่อ) dsPIC 30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS.....	48
2.41 สัญญาณที่ได้จากชุด Zero crossing.....	49
2.42 หลักการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จุดชนวนเกิดของ SCR.....	50
2.43 วงจรเปรียบเทียบที่ใช้ออปแอมป์.....	52
2.44 วงจร Zero crossing เฟสเดียว.....	54
2.45 วงจร Zero crossing 3 เฟส.....	54
2.46 วงจรขับเกิดของ SCR.....	56
3.1 วงจรขับ SCR.....	57
3.2 ชุด SCR.....	57
3.3 ชุดวงจร Zero crossing.....	58
3.4 รุ่น dsPIC ที่นำมาใช้งาน.....	58
3.5 วงจรสัญญาณจับกระแสจากอาร์เมเจอร์.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## VIII

ภาพที่	หน้า
3.6 วงจรจับสัญญาณกระแส.....	59
3.7 วงจร dual converter ที่ใช้ในการ Simulation.....	60
3.8 วงจรภายใน Subsystem 1.....	60
3.9 วงจรภายใน Subsystem 2.....	61
3.10 แรงดันอินพุต 3 เฟส (V input) .....	61
3.11 Result of simulation.....	62
3.12 Control loop speed.....	62
3.13 Control loop speed and loop current.....	63
3.14 การใส่โหลดจาก 35 N.m เปลี่ยนเป็น 45 N.m.....	63
3.15 การปรับเพิ่มความเร็ว (speed) .....	64
3.16 กระแสอินพุต $I_a, I_b, I_c$ .....	64
3.17 กระแส $I_a$ และ แรงดัน $V_t$ ที่ Quadrant 1 โหมด Forward Motoring.....	65
3.18 กระแส $I_a$ และแรงดัน $V_t$ ที่ Quadrant 2 โหมด Forward Braking.....	65
3.19 กระแส $I_a$ และ แรงดัน $V_t$ ที่ Quadrant 3 Reverse Motoring.....	66
3.20 กระแส $I_a$ และ แรงดัน $V_t$ ที่ Quadrant 4 Reverse Braking.....	66
3.21 ความเร็วรอบและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะทำงานทั้ง 4-Quadrant.....	67
3.22 ความเร็วรอบและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะทำงานทั้ง 4-Quadrant.....	67
3.23 การเปรียบเทียบความเร็วและทอร์ก ช่วงเปลี่ยนจาก Quadrant ที่ 3-4-1.....	68
4.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการที่แสดงทิศทางแรงดันที่ขั้ว,กระแสอาร์เมเจอร์.....	70
4.2 ให้แกนนอนเป็นทอร์กหรือกระแสอาร์เมเจอร์และแกนตั้งเป็นแรงดันอาร์เมเจอร์หรือ ความเร็วรอบโดยทำงานที่โหมดต่างๆ.....	70
4.3 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า $R_a$ .....	71
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์.....	71
4.5 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า $R_f$ .....	72
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสฟิลด์.....	73
4.7 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขณะไร้ภาระ.....	74
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันที่ป้อนเข้า.....	74
4.9 Zero Crossing ระหว่างเฟส AB.....	75
4.10 Zero Crossing ระหว่างเฟส BC.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IX

ภาพที่	หน้า
4.11 Zero Crossing ระหว่างเฟส CA.....	76
4.12 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR.....	76
4.13 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 6,1.....	77
4.14 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 1,2.....	77
4.15 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 2,3.....	78
4.16 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 3,4.....	78
4.17 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 4,5.....	79
4.18 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 5,6.....	79
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 408 rpm.....	80
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 814 rpm.....	81
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 1171 rpm.....	82
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปเปิดที่ความเร็วเริ่มต้น 411 rpm.....	83
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 805 rpm.....	84
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 1245 rpm.....	85
4.25 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring ไม่มีโหลด (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	86
4.26 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 500W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	86
4.27 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1100W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่	หน้า
4.28 การทำงานในควอดแรนท์ที่1โหมด Forward Motoring โหลด 1600W (คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	87
4.29 การทำงานในควอดแรนท์ที่1โหมด Forward Motoring โหลด 2200W (คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	88
4.30 การทำงานในควอดแรนท์ที่2โหมด Forward braking ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$ , Inverter ).....	88
4.31 การทำงานในควอดแรนท์ที่3โหมด Reverse Motoring ไม่มีโหลด ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier ).....	89
4.32 การทำงานในควอดแรนท์ที่3โหมด Reverse Motoring โหลด 500W ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	89
4.33 การทำงานในควอดแรนท์ที่3โหมด Reverse Motoring โหลด 1600W ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier ).....	90
4.34 การทำงานในควอดแรนท์ที่3โหมด Reverse Motoring โหลด 2200W ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	90
4.35 การทำงานในควอดแรนท์ที่4โหมด Reverse braking ( คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$ , Inverter).....	91
4.36 กระแสอินพุตจาก Supply.....	91
4.37 กระแส Input และฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของ กระแส Input สเปกตรัม จะสูงที่ลำดับ $6n+1, 6n-1$ .....	92
4.38 กระแส อาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนท์ที่1ไปควอดแรนท์ที่2และ3.....	92
4.39 กระแส อาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนท์ที่3ไปควอดแรนท์ที่4และ1.....	93
4.40 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนท์1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W (คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier).....	93
4.41 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนท์2 โหมด Forward braking ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$ , Inverter ).....	94
4.42 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนท์3 โหมด Reverse Motoring ( คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$ , Rectifier ).....	94
4.43 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนท์4 โหมด Reverse braking ( คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$ , Inverter).....	95

## สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์.....	70
4.2 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสฟิลด์.....	72
4.3 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	73
4.4 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 408 rpm.....	79
4.5 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 814 rpm.....	80
4.6 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1171 rpm.....	81
4.7 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 411 rpm.....	82
4.8 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 805 rpm.....	83
4.9 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1245 rpm.....	84



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันงานทางด้านอุตสาหกรรมหรือทางด้านอื่นๆ มีการใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทางกล โดยทั่วไปประเภทของมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีอยู่ 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับ การเลือกใช้มอเตอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานแต่ละชนิดว่าสมควรที่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทไหน และคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละชนิดเหมาะกับในงานลักษณะอย่างไร ซึ่งในงานที่ต้องการแรงบิดสูงๆจะนิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อนทางกลมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และในส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น ก็สามารถแบ่งการต่อขดลวดใช้งานได้หลายแบบและการต่อใช้งานแบบขดลวดกระตุ้นแยกส่วนเป็นแบบที่เหมาะสมที่สุดต่อการควบคุม ดังนั้นการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ต้องมีการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่จะนำไป ใช้งานตามลักษณะงานที่ต้องการ

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยกส่วนนั้นจะมีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้วงจรเรียงกระแสหลายแบบในการควบคุม ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของโหลดอย่างทันทีทันใดนั้น นิยมใช้ 3 phase dual converter และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยเฉพาะวงจรเรียงกระแสจึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงมาก ดังนั้นในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าควบคุม Loop speed เพียงอย่างเดียวผลที่ได้ คือ การรักษาแรงบิดของระบบไม่คงที่และการตอบสนองต่อโหลดไม่รวดเร็ว ในโครงงานนี้ได้ทำการออกแบบการควบคุม Loop current เพิ่มเข้าไปในระบบควบคุมและเขียนคำสั่งเพิ่มเติมลงใน dsPIC Microcontroller เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนและควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ดีขึ้น

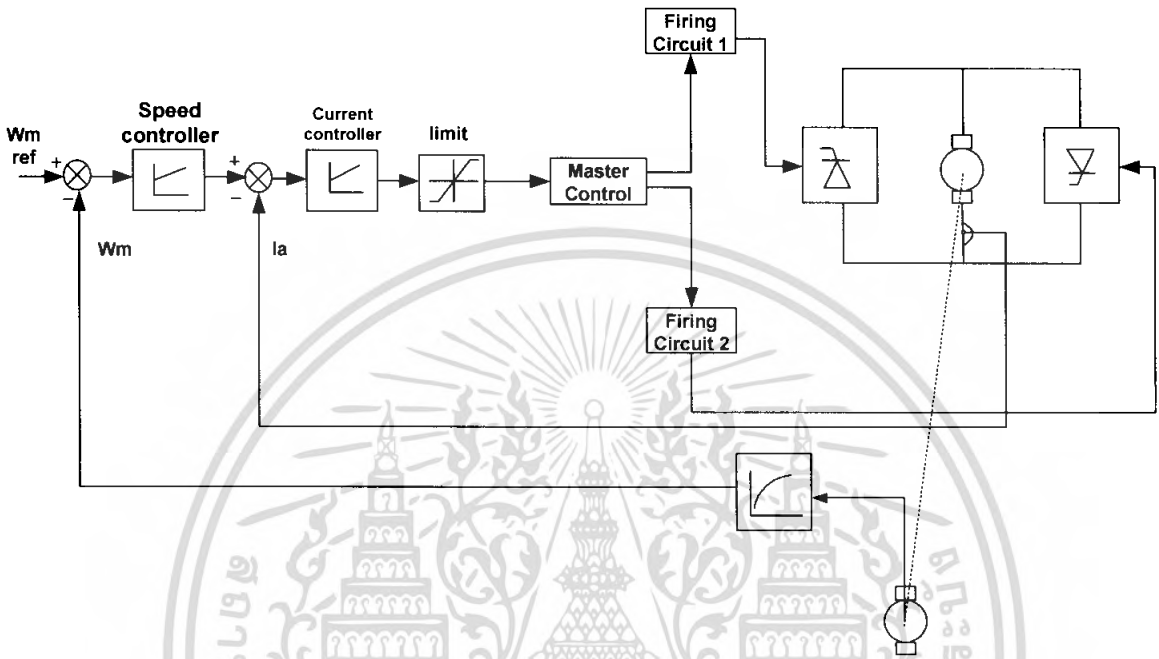
### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ 3 phase dual converter
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ SCR ใน 3 phase dual converter
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมการจุดชนวนของSCRด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC
4. เพื่อศึกษาการวางจอร์ทั้งหมดที่ใช้ใน 3 phase dual converter
5. เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กแยกส่วน
6. เพื่อศึกษาการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Loop speed และ Loop current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กแยกส่วน ให้สามารถหมุนซ้าย เบรก หมุนขวา เบรก และในการหมุนแต่ละทิศทางนั้นสามารถควบคุมความเร็วได้



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. วางแผนการทำงาน
2. ศึกษาทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับ 3 phase dual converter
3. ทดลองจำลองวงจรต่าง ๆ โดยใช้ โปรแกรม Matlab
4. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวงจรควบคุมรวมถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมในโครงการนี้
5. ออกแบบวงจร
6. ทดสอบและเก็บผลการทดลอง
7. จัดพิมพ์รูปเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง
2. สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
3. มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม
4. ได้ประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในโครงการนี้
5. ได้ศึกษาและทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล dsPIC
6. สร้างความเข้าใจในหลักการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

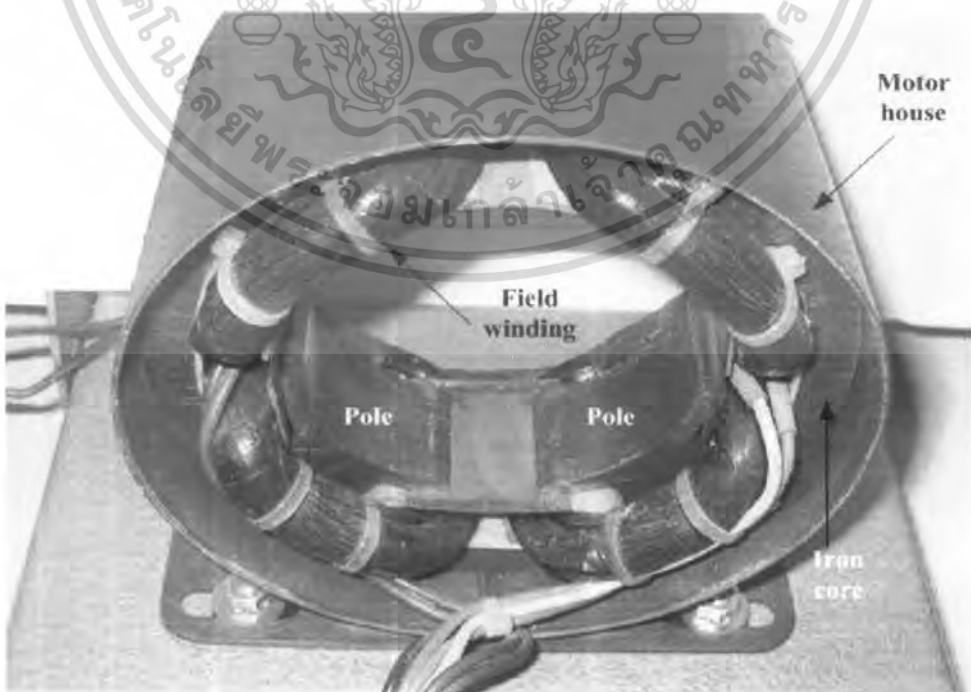
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานกล โดยจะมีโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆคือส่วนที่เคลื่อนที่ และส่วนที่อยู่กับที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

##### 2.1.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator Part) ประกอบด้วย

- 1) เปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ทำมาจากเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็กทำหน้าที่ยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมด เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)
- 2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ (Laminate Sheet Steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกัน โดยแต่ละแผ่นจะเคลือบด้วยฉนวนขั้วแม่เหล็กจะยื่นออกมาจากโครงโดยขั้วแม่เหล็กนี้จะถูกยึดเข้ากับโครงด้วยสกรู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

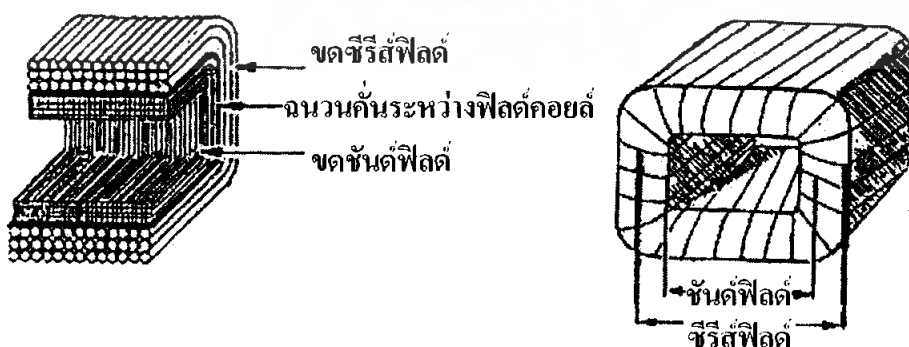
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างมอเตอร์

3) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or Field Winding) หรือเรียกว่า ขดลวดฟิลด์คอยล์ เป็นลวดตัวนำที่พันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันจากภายนอกแล้วส่งเข้ากับ ขั้วแม่เหล็กซึ่งขั้วแม่เหล็กนั้นสามารถถอดได้ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้จะต้องมีขนาดที่พอดีคือไม่แน่นหรือหลวมจนเกินไปเพราะถ้าแน่นจนเกินไปขณะประกอบอาจทำให้ขดลวดเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าลงโครงของมอเตอร์ได้และในขณะเดียวกันถ้าหลวมจนเกินไปอาจทำให้เกิดอาการสั่นของขดลวดขณะใช้งานและจะทำให้ปิดฝาครอบหัวท้ายไม่ได้อีกด้วย ขดลวดฟิลด์คอยล์ทำหน้าทีสร้างสนามแม่เหล็กมี 2 ชนิดคือ

1.ขดลวดชั้ท์ฟิลด์(Shunt field or Shunt Winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยลวดเส้นเล็ก ดังนั้นค่าความต้านทานจะสูง

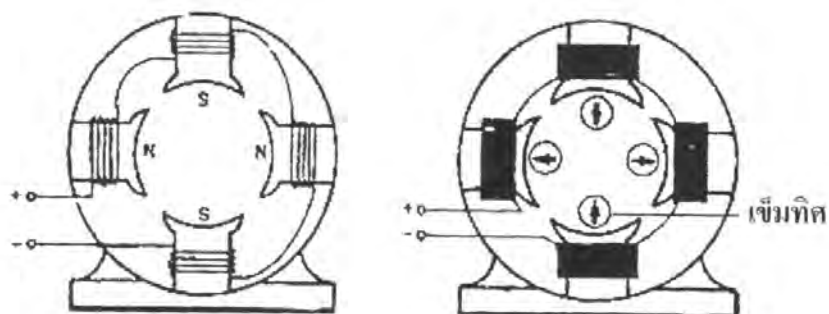
2.ขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์(Series Field or Series Winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยลวดเส้นใหญ่ ดังนั้นค่าความต้านทานจะต่ำ

ขดลวดทั้งสองชุดนี้พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกัน โดยขดลวดชั้ท์ฟิลด์จะพันอยู่ด้านในสุดส่วนขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์จะพันไว้ด้านนอกสุด และมีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยจะต้องมีฉนวนคั่นระหว่างขดลวดชั้ท์ฟิลด์และขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์ด้วยดังแสดงในภาพที่ 2.2 ขดลวดทั้งสองชุดนี้จะต้องพันไปในทิศทางเดียวกัน และขดลวดในแต่ละชุดนั้นจะต้องอนุกรมเข้าด้วยกันระหว่างขั้วแม่เหล็กให้ถูกต้องด้วยเพราะจะทำให้ขั้วแม่ขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป การตรวจสอบการต่อว่าถูกต้องหรือไม่นั้น เราสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้เข็มทิศหรือใช้แท่งแม่เหล็กถาวรตรวจสอบโดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฟิลด์คอยล์ และใช้เข็มทิศหรือแท่งแม่เหล็กถาวรสอดเข้าไปที่ด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะต้องสลับกันไปเมื่อทำการตรวจสอบขดลวดชั้ท์ฟิลด์แล้วจะต้องทำการตรวจสอบขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์ในทำนองเดียวกันและขั้วแม่เหล็กที่แสดงออกเนื่องจากขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์นั้นต้องเหมือนกับขั้วแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดชั้ท์ฟิลด์



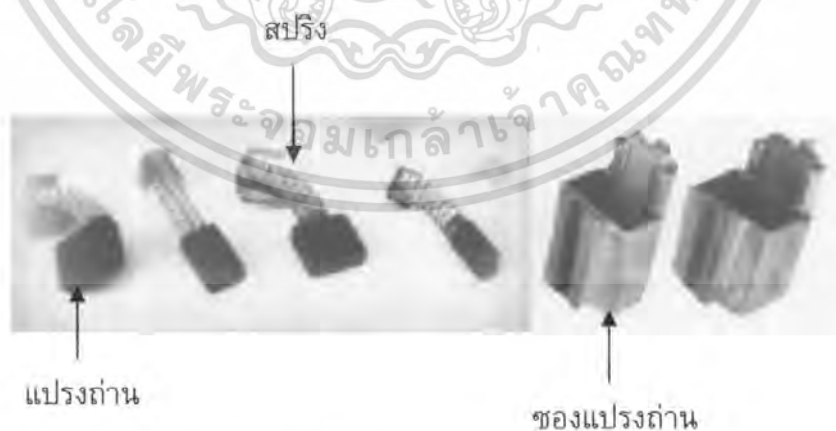
ภาพที่ 2.2 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 การตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์

4) แปรงถ่านและแปรงจารี (Brushes and Bearing) แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรรภายนอก แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่าน โดยที่แปรงถ่านนี้จะมีลวดทองแดงติดอยู่ด้วยเพื่อต่อไฟออกไปใช้งาน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และช่องถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบ ส่วนแปรงจารีหรือดรัมลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และช่วยลดแรงเสียดทานของเพลว ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนปกติแปรงจารีจะติดอยู่ที่ฝาครอบทั้งสองด้านของเครื่องจักรกลไฟฟ้า แปรงถ่านและช่องถ่านแสดงได้ดังภาพที่ 2.4 ในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะต้องมีแปรงถ่านอย่างน้อยสองอัน และแปรงถ่านทั้งสองจะต้องสามารถหมุนปรับตำแหน่งได้พร้อมกัน ดังนั้นช่องถ่านทั้งสองอันจะต้องอยู่บนตัวปรับอันเดียวกันด้วย



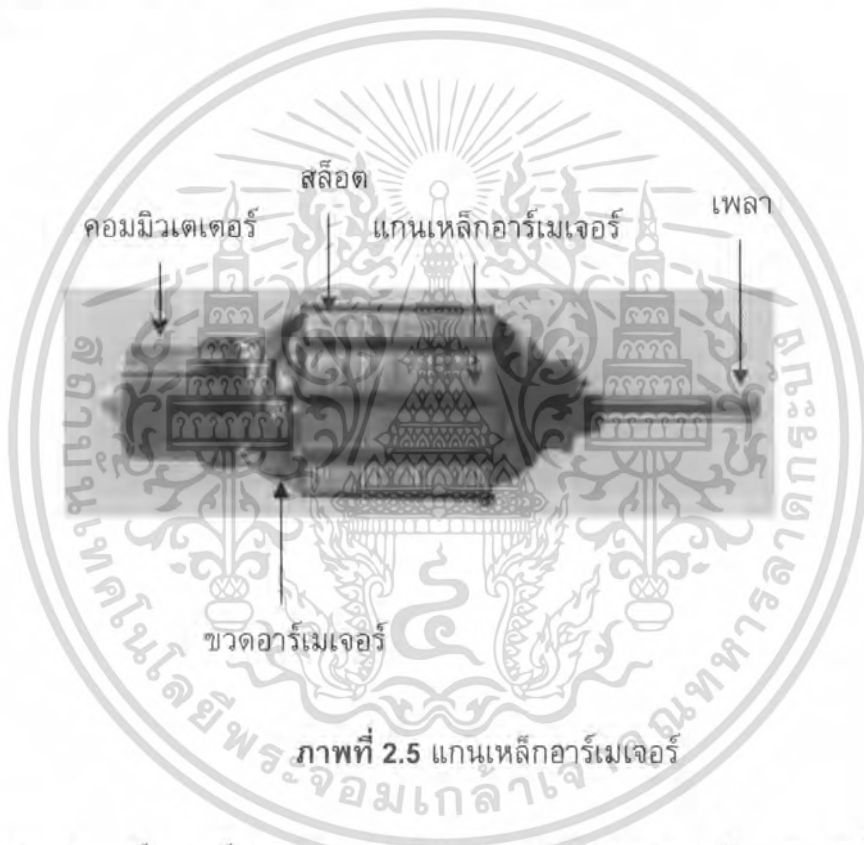
ภาพที่ 2.4 แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ฝาปิดหัวท้ายหรือฝากรอบ (End Plate) ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง โดยจะทำหน้าที่รองรับเพลลาของส่วนหมุนและยึดของถ่าน

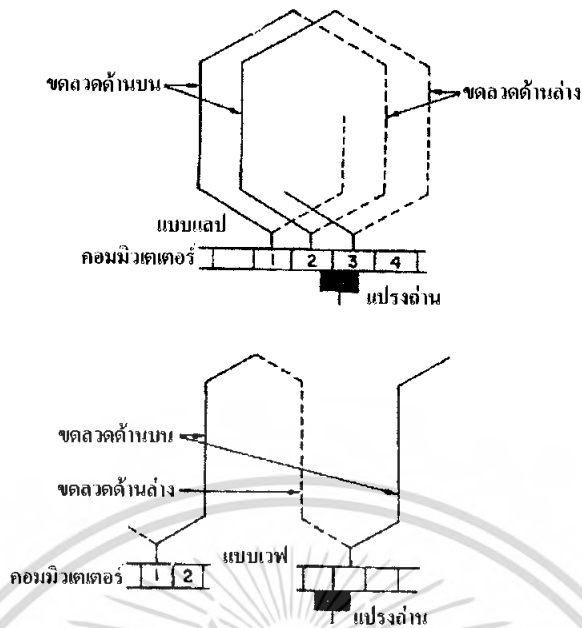
#### 2.1.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่(Rotor Part) ประกอบด้วย

1) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำมาจากแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่ฉาบด้วยฉนวน อัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์ซิส และกระแสไหลวนในแกนเหล็ก แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วย เพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจากความสูญเสีย



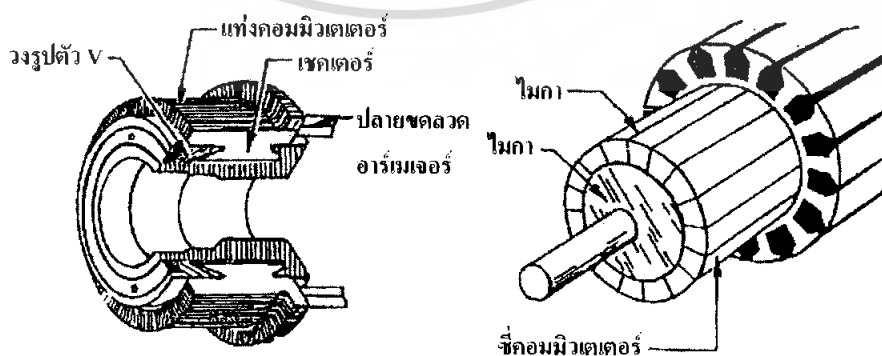
ภาพที่ 2.5 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์

2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil or Armature Winding) คือ ขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลีตของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์โดยขดลวดนั้นทำมาจากลวดทองแดงอาบฉนวน ขดลวดอาร์เมเจอร์จะนิยมพันจากภายนอก แล้วจึงนำไปบรรจุลงในสลีต เพราะจะทำให้ขดลวดแต่ละขดมีความยาวและมีน้ำหนักสมดุลไม่เกิดการแกว่งขณะหมุน ขดลวดอาร์เมเจอร์มีการพันเป็นแบบแล็ป (lap) หรือแบบเวฟ (wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำมาต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์



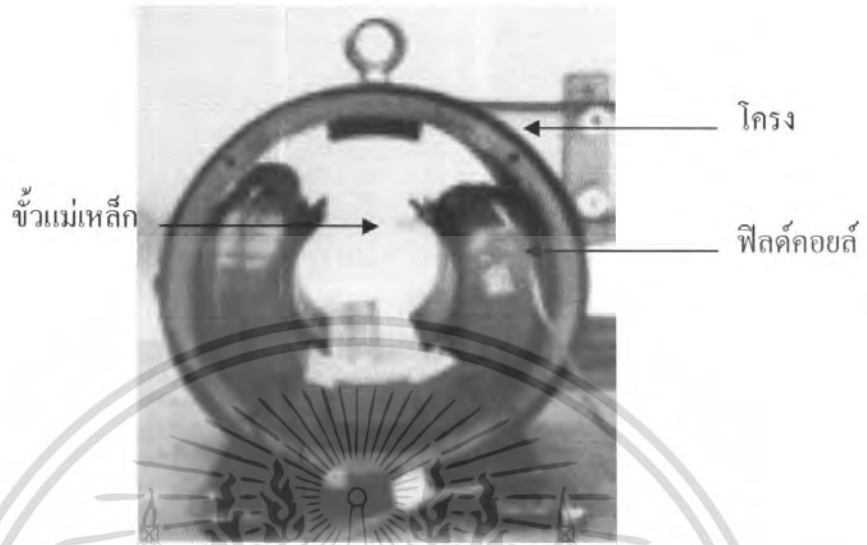
ภาพที่ 2.6 ขดลวดอาร์เมเจอร์

3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงที่มีลักษณะคล้ายลิ้ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก คอมมิวเตเตอร์แต่ละอันนั้นเรียกว่า ซี และในระหว่างซีทองแดงแต่ละซีคั่นด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรงและคอมมิวเตเตอร์นี้จะยึดติดไว้บนเพลลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์

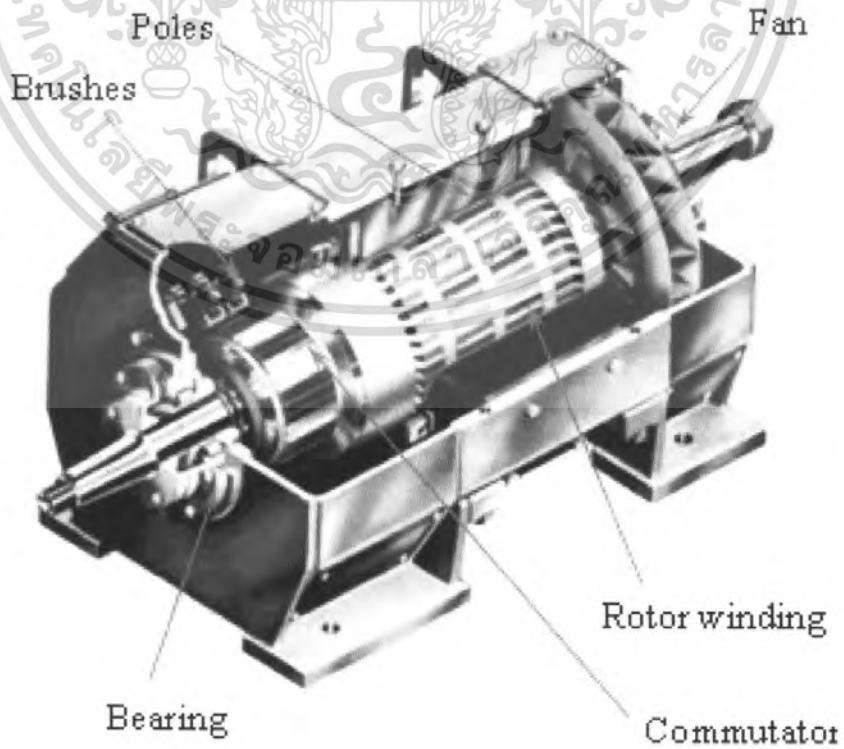


ภาพที่ 2.7 ลักษณะของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 รูปตัดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ภาพที่ 2.9 ส่วนต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 สมการหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.1.2.1 สมการแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage Equation)

ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำในเครื่องจักรกลทั่วไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการ ดังนี้

1. เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  ในเครื่องจักรกล
2. ความเร็ว  $\omega_m$  ของตัวหมุนเครื่องกล
3. ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง

กำหนดให้

$e$	คือ	แรงดันเหนี่ยวนำในตัวนำ	มีหน่วยเป็น V
$v$	คือ	ความเร็วของโรเตอร์	มีหน่วยเป็น m/s
$B$	คือ	ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก	มีหน่วยเป็น $\text{Wb/m}^2$
$\phi$	คือ	เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็ก	มีหน่วยเป็น Wb
$L$	คือ	ความยาวของตัวนำ	มีหน่วยเป็น m
$E_a$	คือ	แรงดันเหนี่ยวนำที่ขั้วของอาร์มาเจอร์	มีหน่วยเป็น V
$\omega_m$	คือ	ความเร็วของโรเตอร์	มีหน่วยเป็น radian/sec
$n_m$	คือ	ความเร็วของตัวหมุน	มีหน่วยเป็น rpm
$r$	คือ	รัศมีของอาร์มาเจอร์	มีหน่วยเป็น m
$A_p$	คือ	พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก	มีหน่วยเป็น $\text{m}^2$
$P$	คือ	จำนวนขั้วแม่เหล็ก	
$Z$	คือ	จำนวนตัวนำ	
$a$	คือ	จำนวนวงจรที่ต่อขนานกันในขดลวดอาร์มาเจอร์	

ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่อาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกลเท่ากับ จำนวนของตัวนำในแต่ละส่วนของวงจรอาร์มาเจอร์ คูณอยู่กับขนาดแรงดันเหนี่ยวนำในแต่ละตัวนำ ซึ่งขนาดแรงดันเหนี่ยวนำในตัวนำแต่ละตัวสามารถหาได้จากสมการ

$$e = vBL \quad (2.1)$$

ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่ขั้วของอาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกล สามารถหาได้ตามสมการ

$$E_a = \frac{ZvBL}{a} \quad (2.2)$$

แต่

$$V = r\omega_m \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$E_a = \frac{Z_r \omega_m BL}{a} \quad (2.4)$$

$$\phi = BA_p \quad (2.5)$$

พื้นที่หน้าผิวของอาร์เมเจอร์คือ

$$A = 2r\pi L \quad (2.6)$$

$$A_p = \frac{A}{P} = \frac{2r\pi L}{P} \quad (2.7)$$

เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดในเครื่องจักรกลคือ

$$\phi = BA_p = \frac{2r\pi LB}{P} \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.4 เขียนใหม่ได้เป็น

$$E = \left( \frac{Zr\omega L}{a} \right) \left( \frac{P\phi}{2r\pi L} \right) \quad (2.9)$$

$$= \frac{ZP\phi\omega_m}{2a\pi} \quad (2.10)$$

$$= K\phi\omega_m \quad (2.11)$$

$$\text{เมื่อ } K = \frac{ZP}{2a\pi}$$

$$\omega_m = \frac{2n_m\pi}{60} \quad (2.12)$$

แทนค่า  $\omega_m$  ในสมการที่ 2.10 จะได้

$$Ea = \frac{ZP\phi n_m}{60a} \quad (2.13)$$

$$Ea = n_m C\phi \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ} \quad C = \frac{ZP}{60a} \quad (2.15)$$

ถ้าเมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลงในขณะที่เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  มีค่าคงที่ ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{n_{m1}}{n_{m2}} \quad (2.16)$$

### 2.1.2.2 สมการความเร็วรอบของตัวมอเตอร์ไฟฟ้า ( $n_m$ )

เราสามารถจัดรูปสมการที่ 2.13 ใหม่เราสามารถหาค่าความเร็วรอบในค่าของตัวแปรอื่นๆ ได้ดังนี้

$$n_m = \frac{60a E_a}{p Z \phi} \quad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าต้องการควบคุมความเร็วของเครื่องจักรที่มีอยู่แล้ว ตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้มีแต่เพียงศักดาไฟฟ้าระหว่างตัวแปรถ่าน  $E_a$  และค่าเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  เท่านั้น ดังนั้นสมการที่ 2.14 สามารถเขียนรวบรัดได้เป็น

$$n_m = \frac{E_a}{C\phi} \quad (2.18)$$

### 2.1.2.3 สมการแรงบิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า (T)

เมื่อแท่งตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน และมีแรงบิดเกิดขึ้นบนแท่งตัวนำนั้น โดยขนาดทอร์กเหนี่ยวนำในเครื่องจักรกลทุกๆ ไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการดังนี้

1. เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  ในเครื่องจักรกล
2. กระแสอาร์เมเจอร์ Ia ของเครื่องจักรกล
3. ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่องจักรกล

กำหนดให้

$I_{cond}$	คือ	กระแสในแต่ละตัวนำ มีหน่วยเป็น A
$T_{cond}$	คือ	ทอร์กเหนี่ยวนำบนแต่ละตัวนำ มีหน่วยเป็น N-m
$T_{md}$	คือ	ทอร์กเหนี่ยวนำบนอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น N-m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทอร์กเหนี่ยวนำบนอาร์เมเจอร์ของเครื่องจักรกล เท่ากับตัวนำในแต่ละส่วนของวงจรรอาร์เมเจอร์ คูณกับขนาดทอร์กเหนี่ยวนำบนแต่ละตัวนำ ซึ่งขนาดของทอร์กเหนี่ยวนำบนตัวนำแต่ละตัวนั้นสามารถหาได้จากสมการ

$$T_{cond} = rB L I_{cond} \quad (2.19)$$

เมื่อ  $I_a$  คือ กระแสอาร์เมเจอร์ทั้งหมด กระแสในแต่ละตัวนำ  $I_{cond}$  สามารถหาได้จากสมการ

$$I_{cond} = \frac{I_a}{a} \quad (2.20)$$

$$T_{cond} = \frac{rB L I_a}{a} \quad (2.21)$$

$$T_{ind} = Z T_{cond} \quad (2.22)$$

$$= \frac{ZrB L I_a}{a} \quad (2.23)$$

$$T_{ind} = K I_a \phi \quad (2.24)$$

เมื่อ  $K = \frac{ZP}{2a\pi}$

#### 2.1.2.4 การไหลของกำลังและประสิทธิภาพในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (Power Flow and Efficiency in DC Machine)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปจากกำลังทางไฟฟ้าเป็นกำลังทางกล ในการเปลี่ยนรูปของกำลังของเครื่องจักรกลไฟฟ้าทุกชนิดต้องมีกำลังสูญเสียอัตราส่วนของกำลังจ่ายออกต่อกำลังจ่ายเข้า เรียกว่า ประสิทธิภาพ สามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.25)$$

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานเป็นเครื่องกำเนิด หรือทำงานเป็นมอเตอร์ขึ้นอยู่กับหน้าที่ การไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย

2.1.2.4.1) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด กำลังที่จ่ายให้เครื่องกลไฟฟ้าเป็นกำลังทางกลสามารถหาได้จากสมการ

$$P_{in} = \omega_m T_{in} \quad (2.26)$$

2.1.2.4.2) เมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ กำลังที่จ่ายให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเป็นกำลังทางไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการ

$$P_{in} = V_a I_a \quad (2.27)$$

2.1.2.5) กำลังสูญเสีย (Power Losses)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิด หรือทำงานเป็นมอเตอร์จะเกิดกำลังสูญเสียประกอบด้วย

2.1.2.5.1) กำลังสูญเสียในทองแดง (Copper Losses) กำลังสูญเสียในทองแดงเกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์และชุดขดลวดสนามแม่เหล็ก สามารถหาจากสมการ

$$P_{cus} = I_a^2 R_a \quad (2.28)$$

$$P_{cut} = I_f^2 R_f \quad (2.29)$$

เมื่อ

- $P_{cus}$  คือ กำลังสูญเสียในทองแดงเกิดขึ้นในชุดขดลวดอาร์เมเจอร์
- $P_{cut}$  คือ กำลังสูญเสียในทองแดงเกิดขึ้นในชุดขดลวดสนามแม่เหล็ก
- $I_a$  คือ กระแสอาร์เมเจอร์
- $I_f$  คือ กระแสชุดขดลวดสนาม
- $R_a$  คือ ความต้านทานชุดขดลวดอาร์เมเจอร์
- $R_f$  คือ ความต้านทานชุดขดลวดสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5.2) กำลังสูญเสียในแปรงถ่าน (Brush Losses) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_B = V_B I_B \quad (2.30)$$

เมื่อ

$P_B$  คือ กำลังสูญเสียในแปรงถ่าน

$V_B$  คือ แรงดันตกในแปรงถ่าน

2.1.2.5.3) กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Losses) กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก  $P_{Fe}$  ประกอบด้วย ความสูญเสียจากฮิสเตอร์ซิสและการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน

2.1.2.5.4) กำลังสูญเสียทางกล (Mechanical Losses) กำลังสูญเสียทางกล  $P_{Fw}$  ในเครื่องจักรกลไฟฟ้า เป็นกำลังสูญเสียเนื่องจากผลทางกล ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือการสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน เกิดเนื่องจากความฝืดระหว่างส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล กับอากาศภายในเครื่องจักรกล

2.1.2.5.5) ความสูญเสียปลีกย่อยเนื่องจากโหลด (Stray Load Losses) ความสูญเสียปลีกย่อยเนื่องจากโหลด  $P_{LL}$  เป็นความสูญเสียที่ไม่รวมอยู่ในความสูญเสียที่กล่าวมาแล้ว ปกติจะมีค่าประมาณ 1% ของกำลังเต็มพิกัดของเครื่องจักรกล

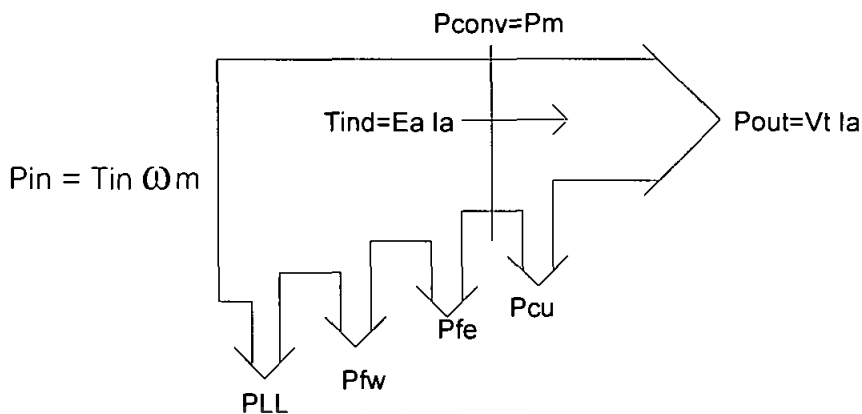
2.1.2.6) กำลังจ่ายออก (Power Out Put)

2.1.2.6.1) กำลังจ่ายออกเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดสามารถหาได้จากสมการ

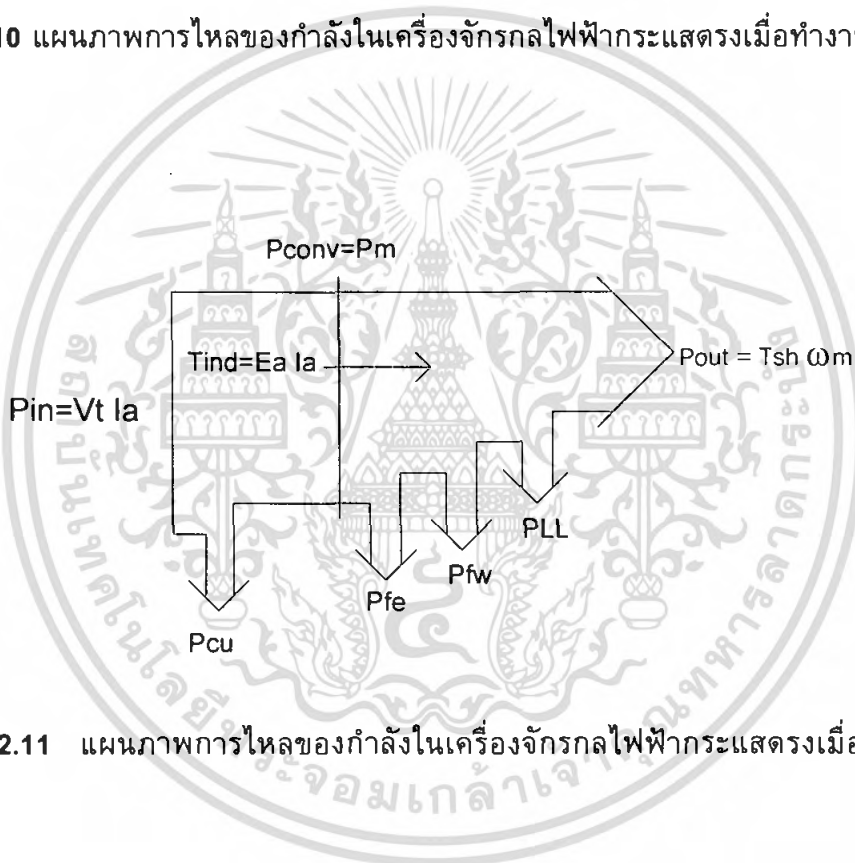
$$P_{out} = T_{in}\omega_m - P_{CuF} - P_{CuA} - P_B - P_{Fe} - P_{Fw} - P_{LL} \quad (2.31)$$

2.1.2.6.2) กำลังจ่ายออกเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{out} = V_t I_a - P_{CuF} - P_{CuA} - P_B - P_{Fe} - P_{Fw} - P_{LL} \quad (2.32)$$



ภาพที่ 2.10 แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิด



ภาพที่ 2.11 แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์

จากการพิจารณาถึงกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเขียนแผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงได้ตามภาพที่ 2.10 และ 2.11

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่เปลี่ยนรูปของกำลัง พบว่าเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิด กำลังที่เปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้า  $P_{conv}$  สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{conv} = E_a I_a \tag{2.33}$$

และเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นกำลังกลที่สร้างขึ้น  $P_{conv}$  สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{conv} = T_{ind}\omega_m \tag{2.34}$$

**2.1.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งเป็น 4 ชนิด ดังนี้

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

ในโครงงานนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก(Separately Excited DC Motor) ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกเท่านั้น

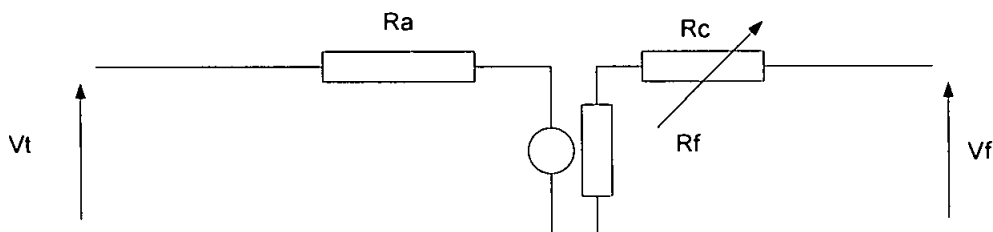
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกการควบคุมแรงดันที่ตกคร่อมอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field) นั้นอิสระต่อกัน ขณะที่การทำงานเป็นมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว ( $V_t$ ) จะมีค่ามากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $E_a$ ) ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า เข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_t = E_a + I_a R_a$$

- เมื่อ  $I_a$  คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current), A  
 $E_a$  คือ แรงดันไฟฟ้ตกคร่อมอาร์เมเจอร์(Armature voltage), V  
 $R_a$  คือ ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (Resistance of the armature Circuit),  $\Omega$

81787



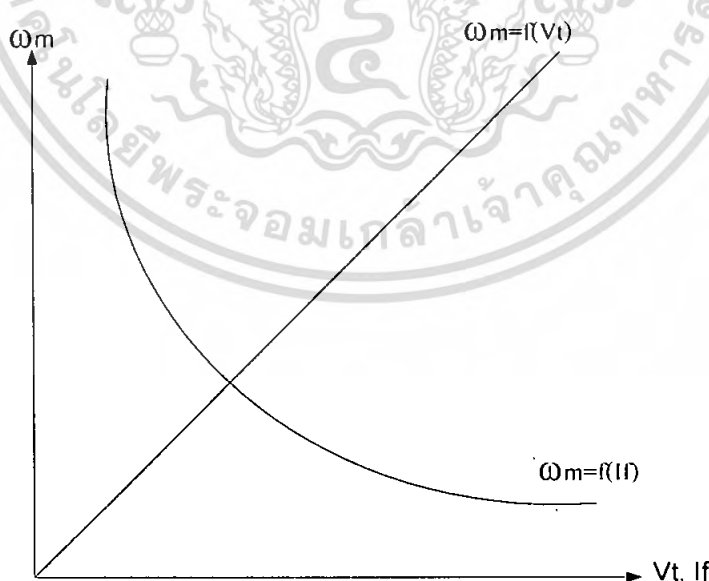
ภาพที่ 2.12 วงจรสมมูลย์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

2.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก

จากสมการแรงดันที่ขั้ว  $V_t = E_a + I_a R_a$  และสมการแรงดันเหนี่ยวนำ  $E_a = K\phi\omega_m$  สามารถคำนวณหาความเร็วของมอเตอร์แบบขนานและแบบกระตุ้นแยกได้ตามสมการ

$$\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{I_a R_a}{K\phi} \tag{2.35}$$

จากสมการที่ 35 พบว่า  $\omega_m \propto V_t$  เมื่อ  $\phi$  มีค่าคงที่ ดังนั้นคุณลักษณะความเร็วแปรผันตามแรงดันที่ขั้ว  $\omega_m = f(V_t)$  เป็นเส้นตรงตามรูปที่ 14 และ  $\omega_m \propto 1/\phi$  เมื่อ  $V_t$  มีค่าคงที่เส้นแรงแม่เหล็กขึ้นอยู่กับกระแสชดเชยตลอดสนามแม่เหล็ก  $\phi = f(I_f)$  ซึ่งเป็นคุณลักษณะการอิ่มตัว ดังนั้นคุณลักษณะความเร็ว แปรผกผันตามกระแสชดเชยตลอดสนามแม่เหล็ก  $\omega_m = f(I_f)$



ภาพที่ 2.13 คุณลักษณะความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง แบบกระตุ้นแยกสามารถทำได้ ดังนี้

1. ควบคุมแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์  $V_f$
2. ควบคุมกระแสชุดขดลวดสนาม  $I_f$
3. ควบคุมความต้านทาน  $R_a$
4. ควบคุมความเร็วที่ขั้วอาร์เมเจอร์  $V_f$  ร่วมกับกระแสชุดขดลวดสนาม  $I_f$

### 1) การควบคุมแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ ( $V_f$ )

จากการพิจารณาที่ผ่านมาพบว่า เมื่อมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้นมีโหลด ความเร็วจะตกลง และเมื่อไม่พิจารณาการสูญเสียที่ทอร์คเหนี่ยวนำ  $T_{ind}$  จะเท่ากับทอร์คของ โหลด  $T_L$  หรือทอร์คที่เพลลา  $T_{SH}$  กับทอร์คที่สูญเสียเนื่องจากการหมุน  $T_{rot}$  ซึ่งเขียนเป็นสมการ ได้ตามสมการ

$$T_{ind} = T_L + T_{rot}$$

เมื่อ

$T_{ind}$  คือ ทอร์คเหนี่ยวนำ

$T_L$  คือ ทอร์คของโหลด

$T_{rot}$  คือ ทอร์คสูญเสียเนื่องจากการหมุน

เมื่อไม่พิจารณาถึงการสูญเสีย

$$T_{ind} = T_L$$

เมื่อเพิ่มแรงดัน  $V_{t1} > V_t$

เมื่อไม่พิจารณาการสูญเสียที่ทอร์คเหนี่ยวนำจะเท่ากับทอร์คของโหลด  $T_{ind} = T_L$

มอเตอร์ทำงานในสภาวะคงที่ความเร็ว  $\omega_m$  และกระแสอาร์เมเจอร์  $I_a$

- เมื่อแรงดันที่ขั้ว  $V_f$  เพิ่มเป็น  $V_{t1}$  กระแสอาร์เมเจอร์ จะเพิ่มเป็น  $I_{a1}$  จากสมการ

$$I_{a1} = \frac{E_a V_{t1}}{R_a}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์  $I_a$  เพิ่มขึ้นเป็น  $I_{a1}$  ทำให้ทอร์กจะเพิ่มขึ้นเป็น  $T_{ind1}$  จากสมการ

$$T_{ind1} = k\phi I_{a1}$$

- เมื่อทอร์ก  $T_{ind}$  เพิ่มขึ้นเป็น  $T_{ind1}$  ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น  $\omega_{m1}$

$$T_{ind1} > (T_{ind} = T_L)$$

เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น  $\omega_{m1}$  ทำให้แรงดันเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นจากสมการ

$$E_{a1} = K\phi\omega_m$$

เมื่อแรงดันเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเป็น  $E_{a1}$  ทำให้กระแสอาร์เมเจอร์ลดลงเป็น  $I_a$  เหมือนเดิม จากสมการ  $I_{a1} = (V_t - E_{a1})/R_a$  ซึ่งมีขนาดเท่ากับกระแสอาร์เมเจอร์ก่อนเพิ่มแรงดัน ทำให้ทอร์กเหนี่ยวนำเท่ากับทอร์กของโหลดอีกครั้ง  $T_{ind} = T_L$  อีกครั้ง มอเตอร์กลับมาทำงานในสภาวะคงที่ที่ความเร็ว  $\omega_{m1}$  ซึ่งสูงกว่าความเร็วก่อนเพิ่มแรงดัน  $\omega_{m1} > \omega_m$

ในทางกลับกันเมื่อ  $V_t$  ลดลงจากสมการที่กล่าวมาก็จะทำให้ความเร็ว  $\omega_m$  ลดลงเช่นกัน และกระแสอาร์เมเจอร์จะมีขนาดเท่าเดิมกับที่ก่อนลด  $V_t$  ซึ่งทำให้  $T_{ind} = T_L$  อีกครั้ง ทำให้การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนแปลง  $V_t$  สามารถทำได้ที่ต้องการแรงบิดคงที่

## 2) ควบคุมกระแสชดเชยขดลวดสนาม ( $I_f$ )

จากที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่าความเร็วมอเตอร์แปรผกผันกับกระแส กระแสชดเชยขดลวดสนามเมื่อแรงดันที่ขั้วคงที่ ซึ่งการควบคุมกระแสสนามคือการควบคุมความต้านทานของขดลวดสนาม ซึ่งสรุปดังนี้

- เมื่อความต้านทานของขดลวดสนาม  $R_f$  เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสชดเชยขดลวดสนาม  $I_f$  ลดลงจากสมการ

$$I_{f1} = \frac{V_t}{R_f}$$

- เมื่อกระแสชดเชยขดลวดสนาม  $I_f$  ลดลงเป็น  $I_{f1}$  ทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  ลดลงเป็น  $\phi_1$

- เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กลดลงเป็น  $\phi_1$  ทำให้แรงดันเหนี่ยวนำ  $E_a$  ลดลงเป็น  $E_{a1}$  จากสมการ

$$E_{a1} = K\phi\omega_m$$

- เมื่อแรงดันเหนี่ยวนำ  $E_a$  ลดลงเป็น  $E_{a1}$  ทำให้กระแสอาร์เมเจอร์  $I_a$  เพิ่มขึ้นเป็น  $I_{a1}$  จากสมการ

$$I_{a1} = \frac{V_f - E_{a1}}{R_a}$$

- เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์  $I_a$  เพิ่มขึ้นเป็น  $I_{a1}$  ทำให้ทอร์กเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น จากสมการ  $T_{ind1} = K\phi I_{a1}$  เนื่องจากปริมาณการเพิ่มขึ้นของกระแสอาร์เมเจอร์  $I_{a1}$  มากกว่าการลดลงของเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_1$

- จากการพิจารณาเราจะพบว่า ทอร์กเหนี่ยวนำ  $T_{ind1}$  จะมีค่ามากกว่า ทอร์กของโหลด  $T_{ind} = T_L$  ความเร็วมอเตอร์  $\omega_m$  เพิ่มขึ้นเป็น  $\omega_{m1}$  ทำให้แรงดัน  $E_a$  เพิ่มขึ้นเป็น  $E_{a1}$  จากสมการ

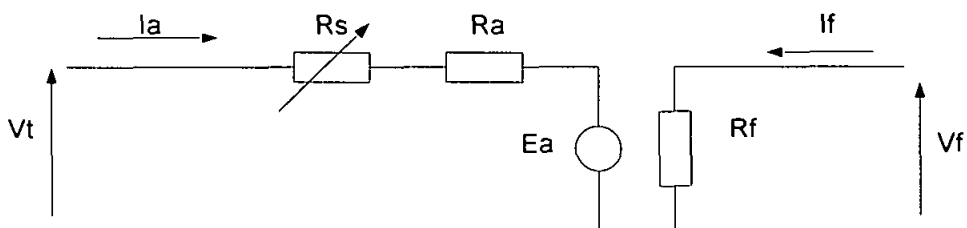
$$E_{a1} = K\phi\omega_m$$

- เมื่อแรงดันเหนี่ยวนำ  $E_a$  เพิ่มขึ้นเป็น  $E_{a1}$  ทำให้กระแส  $I_a$  ลดลงเป็น  $I_{a1}$  จากสมการ

$$I_{a1} = \frac{V_f - E_{a1}}{R_a}$$

- เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์ลดลงจะทำให้ทอร์กเหนี่ยวนำลดลง จนกระทั่งทอร์กเหนี่ยวนำเท่ากับทอร์กของโหลด  $T_{ind} = T_L$  มอเตอร์จะกลับมาทำงานที่สภาวะคงตัวที่ความเร็ว  $\omega_{m1} > \omega_m$  ดังนั้นการควบคุมด้วยวิธีนี้แรงดันที่ขั้ว  $V_f$  และ  $I_a$  จะรักษาไว้ที่ค่าคงที่ที่กำหนด ความเร็วจะควบคุมโดยปรับค่าความต้านทานที่ขดลวดสนาม

### 3) การควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์ ( $R_a$ )



ภาพที่ 2.14 การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์

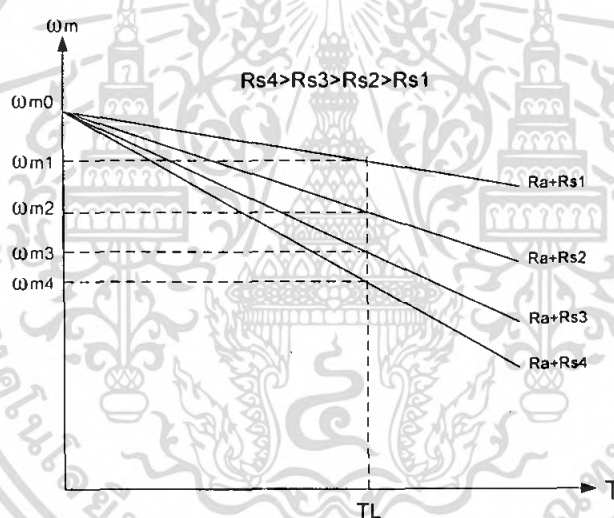
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมด้วยวิธีนี้แรงดันที่ขั้ว  $V_t$  และ  $I_f$  จะถูกรักษาไว้ที่ค่าคงที่ที่กำหนด ความเร็วจะควบคุมโดยการควบคุมปรับค่าความต้านทานที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ สามารถทำได้โดยต่อความต้านทานภายนอกอนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ 2.35 และสมการที่ 2.24 ซึ่งสามารถเขียนสมการความเร็วได้ดังสมการที่ 2.36

$$\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{(T_{ind})(Ra + Rs)}{(K\phi)^2} \quad (2.36)$$

จากสมการที่ 2.36 พบว่าเมื่อทอร์กเหนี่ยวนำ  $T_{ind}$  คงที่ถ้าเปลี่ยนแปลงความต้านทาน  $Rs$  จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง เป็นการควบคุมความเร็วที่ง่ายแต่เกิดการสูญเสียที่ความต้านทาน  $Rs$  ทำให้ประสิทธิภาพต่ำ



ภาพที่ 2.15 กราฟคุณลักษณะมีโหลดเมื่อควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์

#### 4) การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมแรงดันที่ขั้ว $V_t$ และการควบคุมกระแสขดลวดสนาม $I_f$

ถ้ามอเตอร์ทำงานที่แรงดันขั้วและกระแสขดลวดที่สนามที่ค่าพิกัด มันก็จะทำงานที่ความเร็วที่ความเร็วที่พิกัดเช่นเดียวกันหรือความเร็วฐาน  $\omega_{mb}$  (Base Speed) ดังนั้นการควบคุมกระแสขดลวดสนามจะใช้สำหรับการควบคุมความเร็วที่สูงกว่าความเร็วฐานเท่านั้น แต่ไม่สามารถใช้ควบคุมความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วฐานเพราะที่ความเร็วฐานถ้า  $I_f$  สูงกว่าค่าพิกัดจะทำให้ขดลวดสนามเสียหายได้ การควบคุมความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วฐานจะใช้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วโดยการควบคุมแรงดันที่ขั้ว แต่ถ้าความเร็วสูงกว่าความเร็วพื้นฐานและแรงดันที่ขั้วสูงกว่าที่พิกัดจะทำให้ชุดขดลวดอาร์เมเจอร์เสียหายได้เช่นกัน

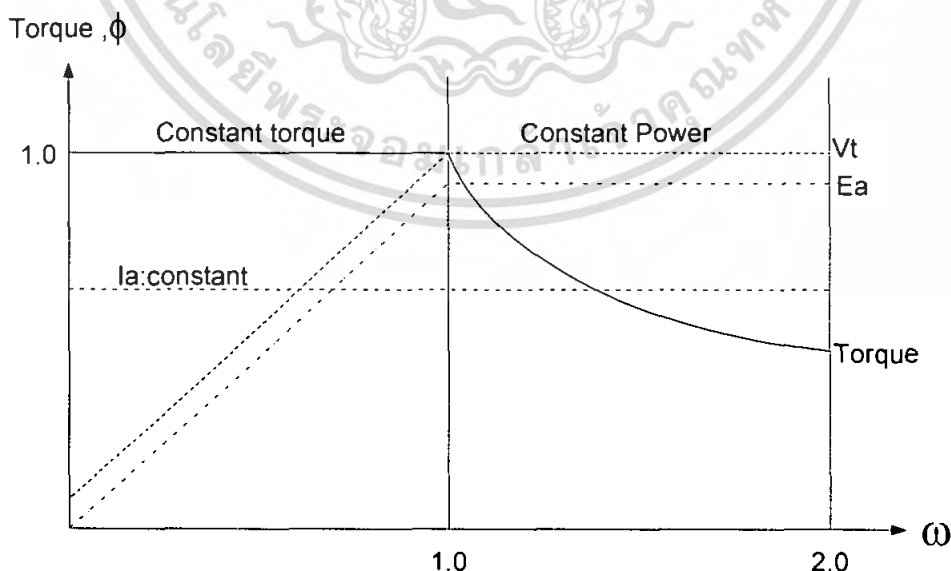
สำหรับการควบคุมแรงดันที่ขั้ว  $V_t$  เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  ในมอเตอร์ และกระแสในอาร์เมเจอร์จะมีค่าคงที่ที่พิกัด ดังนั้นในการควบคุมที่ย่านนี้ทอร์กจะคงที่ที่ค่าสูงสุดขนาดทอร์กสามารถหาได้จากสมการ

$$T_{max} = K\phi I_{arate}$$

กำลังที่จ่ายออกของมอเตอร์สามารถหาได้จาก  $P = T\omega$  โดยกำลังสูงสุดที่ความเร็วใดๆ จะแปรผันตรงกับความเร็ว สามารถหาได้จากสมการ

$$P = T_{max}\omega_m$$

สำหรับการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  แรงดันที่ขั้ว  $V_t$  ของมอเตอร์ และกระแสอาร์เมเจอร์จะคงที่ที่ค่าพิกัด  $I_{arate}$  แต่ค่า  $\phi$  จะลดลงโดยการปรับทำให้ทอร์กในย่านนี้ลดลง  $T = K\phi I_{arate}$  กำลังที่จ่ายออกมอเตอร์ สามารถหาได้จาก  $P = T\omega$  กำลังที่จ่ายออก  $P_{out}$  ที่ความเร็วใดๆภายใต้การควบคุมความเร็วโดยควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  จะคงที่ในย่านนี้



ภาพที่ 2.16 กราฟคุณลักษณะทอร์กและกำลังจ่ายออกเมื่อควบคุม  $V_t$  และ  $\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 การเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

2.1.5.1 การเบรกแบบปลั๊กกิง (Plugging) เป็นการเบรกมอเตอร์โดยการพยายามหมุนมอเตอร์กลับทางอย่างทันทีทันใด พลังงานจลน์ในมอเตอร์จะกลายเป็นความร้อนไปในตัวของมอเตอร์เอง แล้วกระจายสูญหายไป ในดีซีมอเตอร์เราจะทำด้วยการกลับทิศของกระแสฟิลด์หรือกลับทิศทางของแรงดันที่ป้อนเข้าอาร์เมเจอร์อย่างทันทีทันใด ซึ่งทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้กลับ (back emf) ของมอเตอร์กลับทิศและจะช่วยให้กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ มีขนาดมากกว่าที่ไหลอยู่เดิมทำให้มีแรงหมุนที่กลับทิศสวนทางกับทิศการหมุนเดิมและจะมีความร้อนเกิดขึ้นและสูญหายไป ในมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว

ข้อดีของการเบรกแบบปลั๊กกิงทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนิ่งอย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ เกิดความร้อนที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อมีการกลับทิศทางหมุน ดังนั้นถ้าความร้อนเกิดขึ้นมากจะส่งผลต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจนเกิดความเสียหายได้

2.1.5.2 การเบรกแบบไดนามิก (Dynamic Breaking) เป็นวิธีการเบรกมอเตอร์ด้วยการทำให้พลังงานจลน์ ในมอเตอร์กลายเป็นความร้อนที่ตัวของมอเตอร์เอง หรือในตัวความต้านทานภายนอกแล้วกระจายหายไป ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีปลั๊กกิงตรงที่ ทำการเบรกมอเตอร์โดยการทำให้มอเตอร์เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วให้กระแสที่เกิดขึ้นไหลผ่านเข้าไปในตัวต้านทานภายนอกแล้ววนกลับครบวงจรผ่านขดลวดของมอเตอร์ ก็จะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นแล้วกระจายหายไปและพร้อมกันนั้นจะมีแรงหมุน หมุนกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ข้อดีการเบรกแบบไดนามิก คือ การนำพลังงานที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชั่วขณะหนึ่งนั้นมาถ่ายเทให้ตัวต้านทานภายนอก เพื่อเลี่ยงการเกิดความร้อนภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ข้อเสียคือแรงบิดที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลดลงเนื่องจากผลของกลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

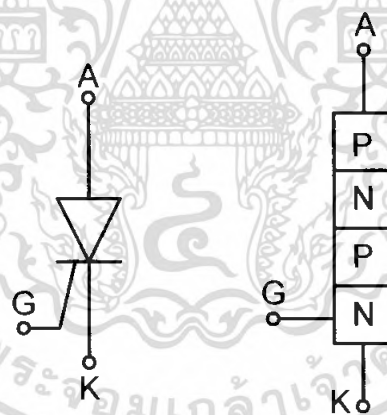
2.1.5.3 รีเจนเนอเรทีฟเบรกกิง (Regenerative Breaking) เป็นวิธีการเบรกมอเตอร์โดยอาศัยหลักการป้อนกลับค่าบวก คือ ทำให้พลังงานจลน์ของมอเตอร์ที่กำลังวิ่งอยู่ให้เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยการเพิ่มฟิลด์ให้มีค่าสูงขึ้นซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ก็จะเป็นเหตุให้มอเตอร์ซึ่งขณะนั้นทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งกระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์กลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับเป็นการคืนพลังงานจลน์ที่มอเตอร์ให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแล้วมอเตอร์ก็หมุนช้าลงหยุดหมุน

ข้อดีของการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ คือ สามารถคืนพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเบรกมาใช้ประโยชน์ได้ทำให้การเบรกแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ข้อเสีย คือ ความยุ่งยากของ

วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ที่ต้องสามารถส่งผ่านพลังงานกลับคืนได้ซึ่งทำให้วงจรมีราคาสูง

## 2.2 Silicon Controlled Rectifiers (SCRs)

Silicon controlled rectifier หรือที่เรียกกันว่า SCR เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญในตระกูลไครสโตอร์ โครงสร้างพื้นฐาน ประกอบด้วยชั้นสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน เรียงต่อกันจำนวน 4 ชั้น กลายเป็นโครงสร้าง PNPN มีการไหลของกระแสทิศทางเดียวโดยสามารถควบคุมกระแสได้ SCRs จะประกอบด้วยขั้วสามส่วนหลักด้วยกัน คือ ขั้วแอโนด (anode;A) ขั้วแคโทด (cathode;K) และขั้วเกต (gate;G) SCRสามารถควบคุมให้นำกระแสได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขาเกตเป็นรูปคลื่นพัลส์บวกเป็นเวลาสั้นๆ ที่เหมาะสมในขณะที่แรงดันที่ขั้วแอโนดสูงกว่าแรงดันที่ขั้วแคโทด ก็จะทำให้ SCR นำกระแส และมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขณะนำกระแสโดยปกติมีค่าประมาณ 1-3 โวลต์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันไฟฟ้าของ SCR เมื่อ SCR เริ่มนำกระแส SCR จะรักษาสถานะในการนำกระแสโดยจะไม่ต้องการกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าขาเกตอีก ซึ่งจะเรียกสภาวะนี้ว่า แลชช้อน (latched on) กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขาเกตของ SCR จะไม่สามารถสั่งให้หยุดนำกระแสได้ จะหยุดนำกระแสเมื่อกระแสไฟฟ้าที่แอโนดมีค่าเป็นศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ในระดับที่ต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (holding current) จึงจะหยุดนำกระแส

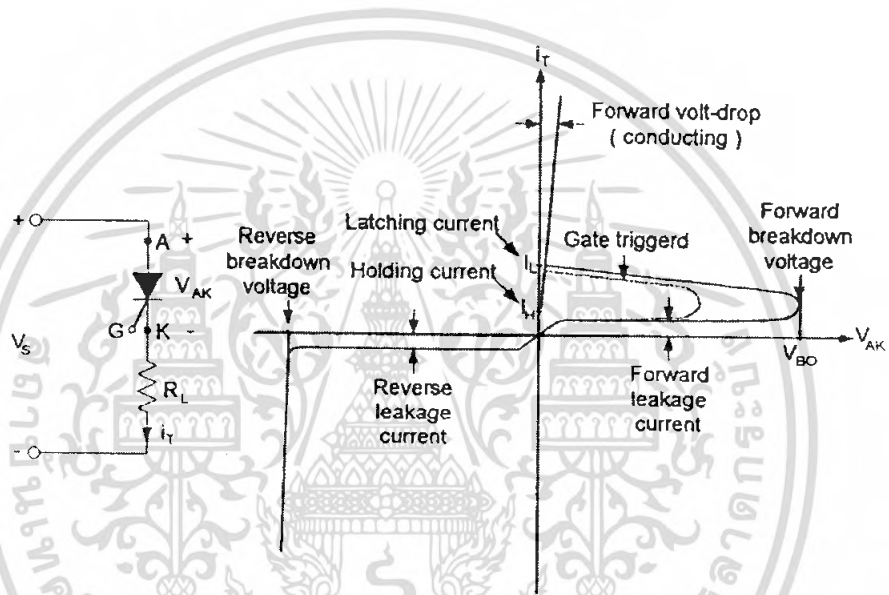


ภาพที่ 2.17 แสดงสัญลักษณ์ และภาพตัดแสดงรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามรอยต่อ

เมื่อแรงดันที่ขาแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทดรอยต่อ  $J_1$  และ  $J_3$  จะถูกไบแอสตรง และ  $J_2$  จะเป็นไบแอสกลับ โดยมีกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากแอโนดไปแคโทด เอสซีอาร์ที่มีสถานะนี้เรียกได้ว่า สถานะบล็อกกิง (Forward Blocking หรือ Off-State) ขณะไบแอสตรงหรือสถานะออฟ และเรียกกระแสรั่วไหลว่า กระแสออฟสแตต (Off-State Current,  $I_D$ ) ถ้าแรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทด ( $V_{AK}$ ) มีค่าสูงขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งจนทำให้รอยต่อ  $J_2$  พัง เราเรียกว่า การพังแบบอะวาลานซ์ และเรียกแรงดันขณะนั้นว่า แรงดันพังหลายขณะไบแอสตรง ( $V_{BO}$ ) เนื่องจากรอยต่อ  $J_1$  และ  $J_3$  มีการไบแอสตรงอยู่แล้วจึงมีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่าน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อทั้งสาม ส่งผลให้มีกระแสแอนโตนิดไหลเป็นจำนวนมาก เอสซีอาร์จะอยู่ในสถานะนำกระแส หรือ ON แรงดันตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานในชั้นทั้ง 4 ชั้นที่มีค่าน้อยประมาณ 1 โวลต์ สถานะนำกระแสแอนโตนิดจะถูกจำกัดโดยความต้านทานภายนอก  $R_L$  ดังรูปกระแสแอนโตนิดต้องมีค่ามากกว่าหนึ่งคือกระแสแลตซิ่งหรือกระแสค้าง (Latching Current,  $I_L$ ) เพื่อที่จะรักษาปริมาณประจุที่ไหลผ่านรอยต่อให้เพียงพอ นอกจากนี้เอสซีอาร์จะกลับไปสถานะบล็อกกิง เมื่อแรงดันระหว่างแอนโตนิดและแคโทดมีค่าลดลง กระแสแลตซิ่ง ( $I_L$ ) คือ กระแสแอนโตนิดต่ำสุดที่ยังทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะนำกระแสทันทีภายหลังที่เอสซีอาร์นำกระแส เมื่อได้รับสัญญาณทรigger ที่ขาเกต



ภาพที่ 2.18 แสดงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์

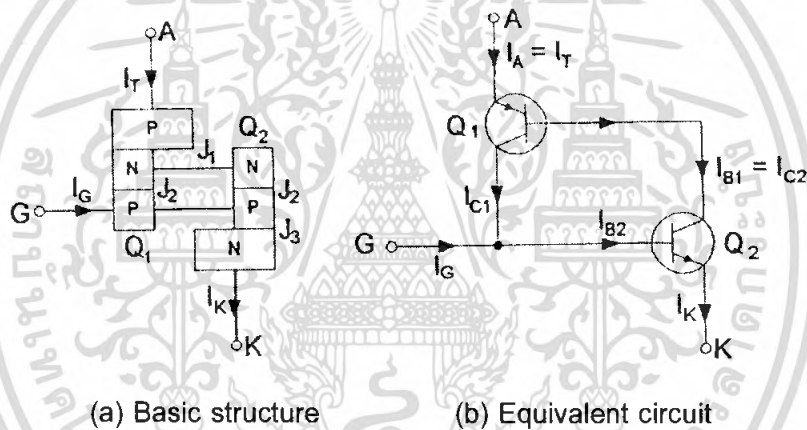
ครั้งแรกที่เอสซีอาร์นำกระแส มันจะมีลักษณะเหมือนการนำกระแสของไดโอดและไม่สามารถควบคุมได้ จะยังคงนำกระแสต่อไป เพราะไม่มีชั้นของดีฟิชั่นบนรอยต่อ  $J_2$  เนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุอิสระ อย่างไรก็ตาม ถ้ากระแสแอนโตนิดเมื่อได้รับไบแอสตรงลดลงจนต่ำกว่าระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่า กระแสโฮลดิ้งหรือกระแสยึด (Holding Current,  $I_H$ ) จะเกิดช่วงดีฟิชั่นรอบรอยต่อ  $J_2$  เนื่องจากการลดจำนวนลงของประจุ และเอสซีอาร์จะอยู่ในสถานะบล็อกกิง กระแสโฮลดิ้งอยู่ในหน่วยมิลลิแอมแปร์ และน้อยกว่ากระแสแลตซิ่ง ( $I_L$ ) นั่นคือ  $I_L > I_H$  กระแสโฮลดิ้ง ( $I_H$ ) คือกระแสแอนโตนิดที่น้อยที่สุด ที่ยังทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะนำกระแสปกติค่ากระแสโฮลดิ้งน้อยกว่ากระแสแลตซิ่ง

เมื่อแรงดันแคโทดเป็นบวก เมื่อเทียบกับแอนโตนิดรอยต่อ  $J_2$  เป็นไบแอสตรง แต่  $J_1$ ,  $J_2$  เป็นไบแอสกลับ เหมือนกับไดโอด 2 ตัวต่ออนุกรมกัน มีแรงดันกลับตกคร่อมอยู่ ทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะบล็อกกิง และกระแสรั่วไหลย้อนกลับเรียกว่า กระแสย้อนกลับ ( $I_R$ ) ไหลผ่านเอสซีอาร์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีอาร์สามารถจะนำกระแสโดยการเพิ่มแรงดันไบแอสตรง ( $V_{AK}$ ) ให้มากกว่า  $V_{BO}$  แต่สถานะนี้อาจทำให้เอสซีอาร์ถูกทำลายได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นแรงดันไบแอสตรงจะต้องต่ำกว่า  $V_{BO}$  เอสซีอาร์จะนำกระแสได้โดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแคโทด ดังแสดงในภาพที่ 2.18 เป็นเส้นประ ครั้งแรกที่เอสซีอาร์นำกระแส โดยมีสัญญาณทริกที่ขาเกตและกระแสแอโนดมากกว่ากระแสโพลดิ้ง เอสซีอาร์ยังคงนำกระแสเนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก แม้ว่าจะนำสัญญาณเกตออกไปแล้วก็ตาม

### แบบจำลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

ปรากฏการณ์รีเจนเนอเรทีฟ หรือแลตซิง เนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก สามารถอธิบายได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาเป็นแบบจำลอง เอสซีอาร์สามารถพิจารณาได้ว่ามีคอมพลีเมนต์ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว คือ  $Q_1$  เป็นแบบ PNP และ  $Q_2$  เป็นแบบ NPN แสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 แสดงแบบจำลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

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

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (2.37)$$

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

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} \quad (2.38)$$

เมื่อ  $\alpha_1$  คืออัตราขยายกระแส และ  $I_{CBO1}$  คือ กระแสรั่วไหลของ  $Q_1$  และในทำนองเดียวกันกับ  $Q_2$  ค่า  $I_{C2}$  หาได้จากสมการ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \quad (2.39)$$

เมื่อ  $\alpha_2$  คืออัตราขยายกระแส และ  $I_{CBO2}$  คือ กระแสรั่วไหลของ  $Q_2$  โดยการรวม  $I_{C1}$  กับ  $I_{C2}$  จะได้

$$\begin{aligned} I_A &= I_{C1} + I_{C2} \\ &= \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \end{aligned} \quad (2.40)$$

แต่สำหรับกระแสเกต  $I_G$ ,  $I_K = I_A + I_G$  และแก้สมการจะได้  $I_A$  เท่ากับ

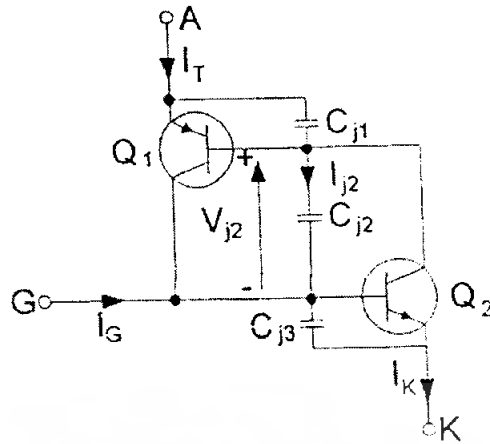
$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBO2} + I_{CBO1}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (2.41)$$

อัตราขยายกระแส  $\alpha_1$  แปรผันตามกระแสอิ่มตัว  $I_A = I_E$  และ  $\alpha_2$  แปรผันกับ  $I_K = I_A + I_G$  โดยทั่วไปการแปรผันของอัตราขยายกระแส  $\alpha$  กับกระแสอิ่มตัว ( $I_E$ ) คือถ้ากระแสเกต ( $I_G$ ) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้กระแสแอโนด ( $I_A$ ) เพิ่มขึ้นทันทีทันใด ซึ่งจะทำให้  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  เพิ่มขึ้นด้วย  $\alpha_2$  ขึ้นอยู่กับ  $I_A$ ,  $I_G$  การเพิ่มขึ้นของ  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  จะทำให้  $I_A$  เพิ่มขึ้นมาก นี่คือผลกระทบของรีเจนเนอเรทีฟหรือการป้อนกลับแบบบวก ถ้า  $\alpha_1 + \alpha_2$  มีค่าเท่ากับหนึ่ง ตัวหารของสมการที่ 2.41 จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้  $I_A$  เพิ่มขึ้นมากมายและเอสซีอาร์จะนำกระแสด้วยกระแสเกตเพียงเล็กน้อย

ภายใต้สภาวะชั่วคราว ค่าความจุของรอยต่อพี-เอ็น มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเอสซีอาร์ ถ้าเอสซีอาร์อยู่ในสถานะบล็อกกิงแล้วให้แรงดันคร่อมเอสซีอาร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านตัวเก็บประจุที่รอยต่อ ซึ่งกระแสผ่าน  $C_{j2}$  สามารถแสดงได้ว่า

$$I_{j2} = \frac{d(q_{j2})}{dt} = \frac{d(C_{j2} V_{j2})}{dt} \quad (2.42)$$

เมื่อ  $C_{j2}$  และ  $V_{j2}$  เป็นค่าความจุและแรงดันของรอยต่อ  $J_2$  ตามลำดับ  $q_{j2}$  คือประจุของรอยต่อ ถ้าอัตราการเพิ่มของแรงดัน  $dv/dt$  มีค่ามาก แล้ว  $I_{j2}$  จะมีค่ามากขึ้น และจะทำให้กระแสรั่วไหล  $I_{CBO1}$  และ  $I_{CBO2}$  มีค่าสูงขึ้น ถ้าค่าของ  $I_{CBO1}$  และ  $I_{CBO2}$  มีค่ามีค่าสูงพออาจทำให้ค่า  $(\alpha_1 + \alpha_2)$  มีค่าใกล้หนึ่งและทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยที่ไม่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามกระแสจำนวนมากที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุที่รอยต่ออาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้



ภาพที่ 2.20 ภาพแบบของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในสภาวะชั่วคราว



ภาพที่ 2.21 ผลของกระแสเกิดต่อแรงดันบล็อกกิงไบแอสตรง

**การนำกระแสของเอสซีอาร์**

เอสซีอาร์อาจจะนำกระแสโดยการเพิ่มกระแสเอนโด ซึ่งสำเร็จได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

**อุณหภูมิ** ถ้าอุณหภูมิของเอสซีอาร์สูงขึ้นจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนโฮลสูงขึ้นจะทำให้กระแสรั่วไหลมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  เพิ่มขึ้น และเนื่องจากปรากฏการณ์ รีเจนเนอเรทีฟ ( $\alpha_1 + \alpha_2$ ) มีแนวโน้มเท่ากับหนึ่งและเอสซีอาร์นำกระแสเนื่องจากอุณหภูมินี้ ทำให้เกิดความร้อนสูงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด

**แสง** ถ้ามีแสงตกกระทบบนรอยต่อของเอสซีอาร์ ทำให้คู่อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเอสซีอาร์อาจนำกระแสได้ ซึ่งเกิดจากแสงตกกระทบบนชั้นซิลิกอนของเอสซีอาร์

**แรงดันสูง** ถ้าแรงดันไบแอสตรงที่จ่ายให้กับแอนด-แคโทด มีค่าสูงกว่าแรงดันพังทลาย ( $V_{BO}$ ) ค่ากระแสรั่วไหลจะกระตุ้นให้เกิดการนำกระแสแบบรีเจนเนอเรทีฟ การนำกระแสแบบนี้ อาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายควรหลีกเลี่ยง

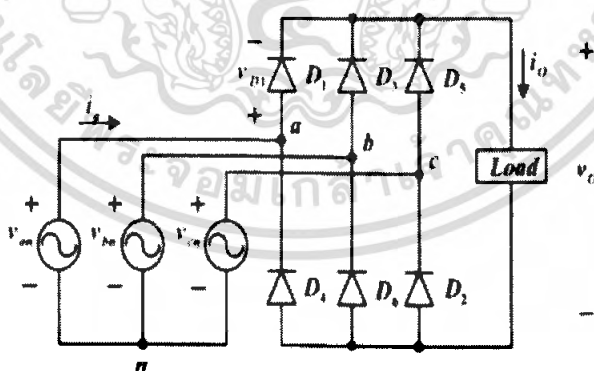
$dv/dt$  คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์ ( $V_{AK}$ ) มีค่าสูงกระแสซาร์จของตัวเก็บประจุที่รอยต่ออาจมีค่าสูงจนทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และอาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ ผู้ผลิตควรระบุค่า  $dv/dt$  ของเอสซีอาร์สูงสุดที่ยอมรับได้

**กระแสเกต** ถ้าเอสซีอาร์มีการไบแอสตรง และมีกระแสเกตไหลโดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแอนด จะเป็นการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสที่กระแสเกตเพิ่มขึ้น กระแสบล็อกกิงไบแอสตรงจะลดลง

### 2.3 การขับเคลื่อน DC Motor แบบแยกกระตุ้นด้วย Converter 3 เฟส

วิธีหนึ่งในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น คือ การปรับเปลี่ยนค่าของแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์หรือกระแสไฟฟ้าที่ฟิลด์แต่ในโครงงานนี้จะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์คงที่แล้วปรับเปลี่ยนแรงดันที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกซึ่งสามารถทำได้โดยใช้เทคนิควิธีการควบคุมที่เรียกว่า Converter ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือบางครั้งเรียกว่าวงจร Rectifier

มอเตอร์กระแสตรงนั้นจะกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดเมื่อหากเราต้องการให้พลังงานที่เกิดขึ้นสามารถดันกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจำเป็นต้องใช้โหมด อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ด้วย



ภาพที่ 2.22 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด

สมการชั่วขณะของแรงดัน  $V_{L-N}$

$$v_{an} = E_m \sin(\omega t)$$

$$v_{bn} = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$v_{cn} = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

ดังนั้นสมการชั่วขณะของแรงดัน  $V_{L-L}$

$$v_{ab} = v_{an} - v_{bn} = \sqrt{3} E_m \sin(\omega t + 30^\circ) = V_{m,L-L} \sin(\omega t + 30^\circ)$$

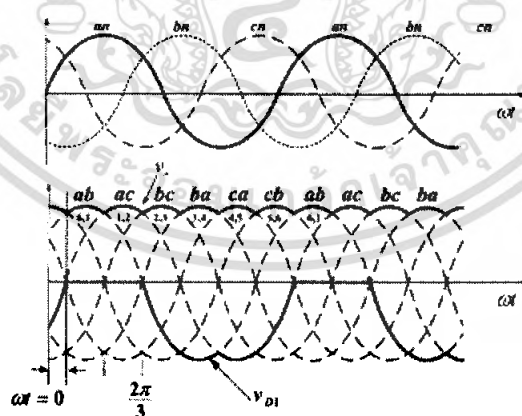
$$v_{bc} = v_{bn} - v_{cn} = \sqrt{3} E_m \sin(\omega t - 90^\circ) = V_{m,L-L} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$v_{ca} = v_{cn} - v_{an} = \sqrt{3} E_m \sin(\omega t - 210^\circ) = V_{m,L-L} \sin(\omega t - 210^\circ)$$

### 2.3.1 หลักการทำงานของ 3 Phase Converter

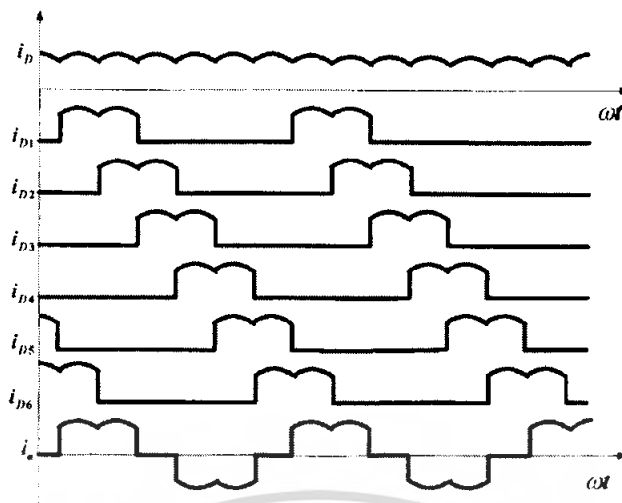
เพื่อความเข้าใจของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ได้ศึกษาวงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ใช้ไดโอดก่อน

#### 2.3.1.1 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส



ภาพที่ 2.23 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.24 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดแต่ละตัวและกระแสไฟฟ้า  $i_n$

จากรูป ที่ 2.22, 2.23, 2.24 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้คือ

1) ไดโอดซีกบน D1, D3, D5 จะทำงานตัวเดียวในช่วงเวลาใด เวลาหนึ่งและไดโอดซีกล่าง D2, D4, D6 จะทำงานตัวเดียวในช่วงเวลาหนึ่งเช่นเดียวกัน และในการทำงานในแต่ละช่วงเวลา จะมีไดโอด ทำงานพร้อมกัน 2 ตัวคือ ซีกบน 1 ตัว ซีกล่าง 1 ตัว

2) ไดโอดในแต่ละกิ่งจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ คือไดโอด D1 และ D4 , D3 และ D6 , D5 และ D2 ทำงานพร้อมกันไม่ได้

3) แรงไฟฟ้าดกคร่อมโหลดคือแรงดัน  $V_{L-L}$  ของแหล่งจ่ายเมื่อ D1 กับ D2 นำกระแส ในช่วงเวลานี้แรงดันขาออกคือ  $V_{ac}$  ข้อสังเกตคือไดโอดคูใดนำกระแสไฟฟ้าก็จะเป็นไดโอดที่ต่อระหว่างเฟสที่มีค่าสูงสุดในขณะเวลานั้น

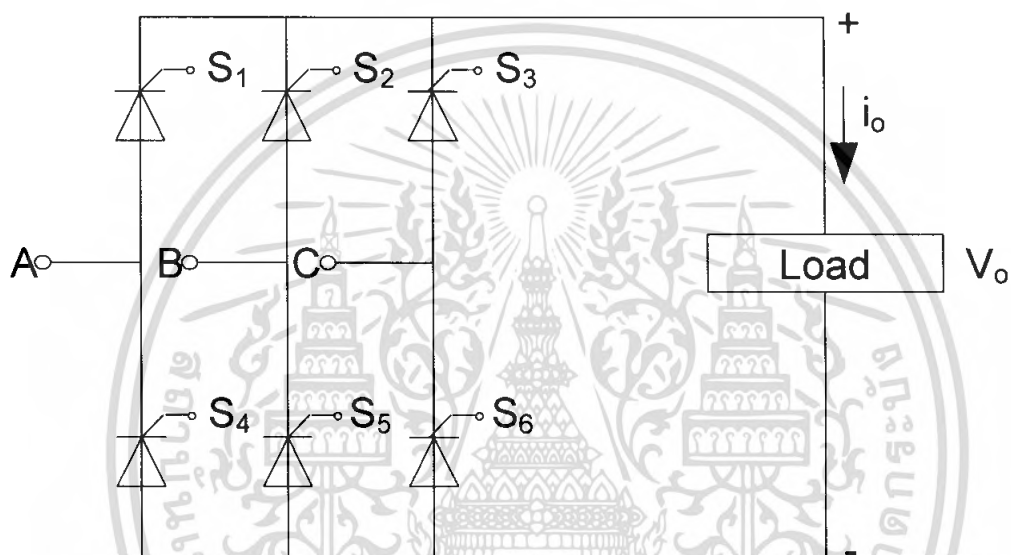
4) แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสมีความเป็นไปได้ 6 แบบช่วงแรงดันไฟฟ้าสูงสุดระหว่างเฟสจะเป็นช่วง 60 องศา และใน 1 คาบเวลา จะมีแรงดันสูงสุด 6 จุดดังนั้นจึงเรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบ 6 พัลส์ ซึ่งนับจากจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุดในหนึ่งคาบ(ไดโอดจะนำกระแสเป็นสลับคือ D1, D2, D3, D4, D5, D6 .....ดังภาพที่ 2.24 และต้องเรียงลำดับไดโอดให้ได้ ตามรูปที่ 2.22 ด้วย)

5) ความถี่หลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็น 6 เท่าของความถี่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

จากภาพที่ 2.23 แสดงถึงแรงดันไฟฟ้าเฟสและการเกิดแรงดันไฟฟ้าด้านออก ที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส ที่ต่อเข้ากับไดโอดในวงจรที่มีความต้านทานเป็นภาระไฟฟ้าดังภาพที่ 2.22 ไดโอดจะนำกระแสเป็นคู่ๆเช่นคู่ที่ (6,1) คือ (1,2),(2,3),(3,4),(5,6),(6,1),..... เป็นต้น ไดโอดจะนำกระแสไฟฟ้าเป็นลำดับคือ 1,2,3,4,5,6,1,2, 3,4,5,6.....จะได้เอาต์พุตดังภาพที่ 2.24

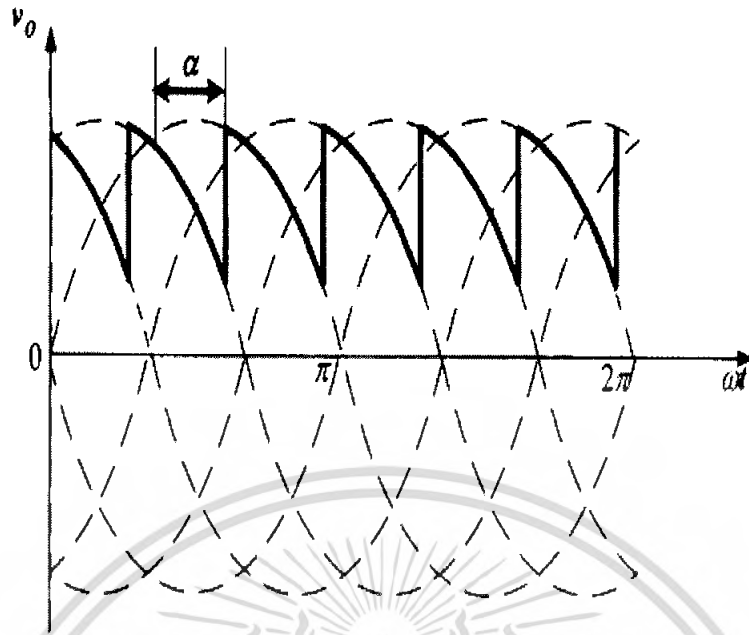
### 2.3.1.2 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส

หลักการทำงานของ วงจรเรียงกระแส 3 เฟส แบบควบคุมเฟส นั้นมีหลักการทำงาน คล้าย ๆ วงจรเรียงกระแส 3 เฟส คือ ในวงจรเรียงกระแส 3 เฟส แบบควบคุมเฟสนั้นจะใช้ SCR เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน และหลักการในการนำกระแสของ SCR แต่ละตัวนั้น ก็ เหมือนกับการทำงานของไดโอดใน วงจรเรียงกระแส 3 เฟส แต่ในแบบควบคุมเฟสได้จะสามารถควบคุมมุมจุดชนวนของ SCR แต่ละตัวได้ด้วย



ภาพที่ 2.25 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.26 แรงดันไฟฟ้าต้านออกเมื่อมุมจุดชนวนเกิดที่ 45 องศา

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{1}{\pi/3} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} V_{m,l-l} \sin(\omega t) d(\omega t) \\
 &= \frac{1}{\pi/3} V_{m,l-l} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} \sin(\omega t) d(\omega t) \\
 &= \frac{1}{\pi/3} V_{m,l-l} \left[ \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \alpha\right) \right] \\
 &= \frac{1}{\pi/3} V_{m,l-l} \left[ \frac{1}{2} \cos \alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \alpha + \frac{1}{2} \cos \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \alpha \right] \\
 &= \frac{3}{\pi} V_{m,l-l} \cos \alpha \\
 &= 0.955 V_{m,l-l} \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{2.43}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงดัน  $V_{out}$  (average) หาได้จากสมการที่ 2.44

$$V_o = \frac{3}{\pi} V_{m,l-l} \cos \alpha = 0.955 V_{m,l-l} \cos \alpha \quad (2.44)$$

ในที่นี้โหลดที่ใช้ในโครงงานนี้คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor) สามารถหากระแส  $I_a$  ได้โดยแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์คือ  $V_o$  และจากสมการวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ

$$V_o = I_a R_a + L \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (2.45)$$

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกทำงานที่แรงบิดพิกัด และที่เส้นแรงแม่เหล็กหรือกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก  $I_f$  ที่ค่าพิกัด ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสอาร์เมเจอร์ต่อเวลาจะน้อยมาก ( $di_a/dt$ ) ดังนั้นสมการวงจรสมมูลย์จะเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรจะได้สมการดังที่กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาดังนี้

$$V_o = I_a R_a + E_a \quad (2.46)$$

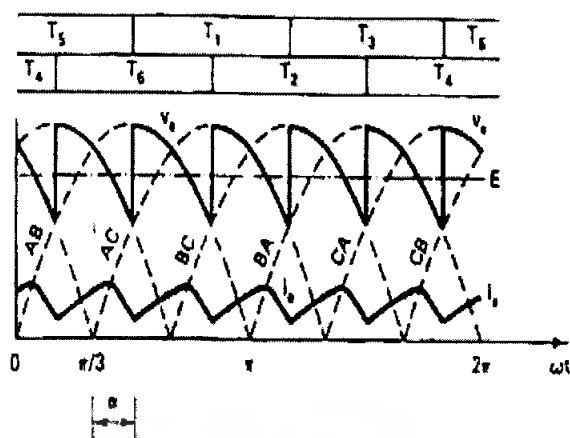
ดังนั้นกระแสอาร์เมเจอร์เฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการ

$$I_{a,AVT} = \frac{V_o - E_a}{R_a}$$

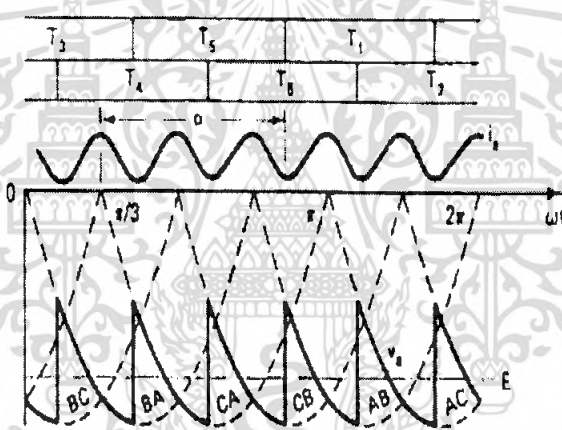
$$I_{a,AVT} = \frac{3}{\pi R_a} V_{m,l-l} \cos \alpha - \frac{E_a}{R_a}$$

จากสมการที่ 2.44 แรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับมุม  $\alpha$  ถ้า  $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$  แรงดันเอาต์พุตจะเป็นบวกดังภาพที่ 2.28 โดยโหมตนี้จะเรียกว่าโหมตการเรียงกระแสซึ่งโหมตนี้จะเป็นการส่งถ่ายกำลังจากด้านแหล่งจ่ายไปยังโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟสจะมีค่าลดลงเมื่อมุมจุดชนวน  $\alpha$  มีค่ามากขึ้น

แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยขาออกจะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่มุม  $\alpha = 0$  องศา และจะมีค่าต่ำสุดที่  $\alpha = 180$  องศา ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะไม่สามารถจุดชนวนที่มุม  $\alpha = 180$  องศาได้



ภาพที่ 2.27 ภาพแรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อมุม  $\alpha$  ถ้า  $0 \leq \alpha \leq 90$



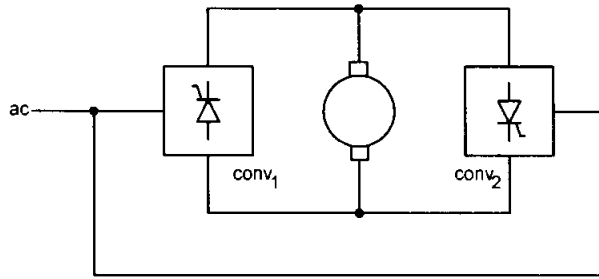
ภาพที่ 2.28 ภาพแรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อมุม  $\alpha$  ถ้า  $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

จากภาพที่ 2.27 และภาพที่ 2.29 จะเป็นตัวอย่างคลื่นแรงดันและกระแสที่ออกจาก Converter ซึ่งเกิดจากการจุดชนวน ขาเกตของ SCR หากเราปรับมุมชนวน  $\alpha$  มีค่ามากกว่ามุม  $90$  จะทำให้แรงดันเอาต์พุตปรากฏในซีกลบ (อินเวอร์โหมต) หรือกล่าวได้ว่าทิศทางการไหลของกำลังจะมีทิศทางจากโหลดไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นโหมตทำงานภายใต้การเบรกคืนพลังงานนั่นเองซึ่งสดีปการทำให้ผลคือทำให้แรงดัน  $V_o$  มีค่าติดลบ

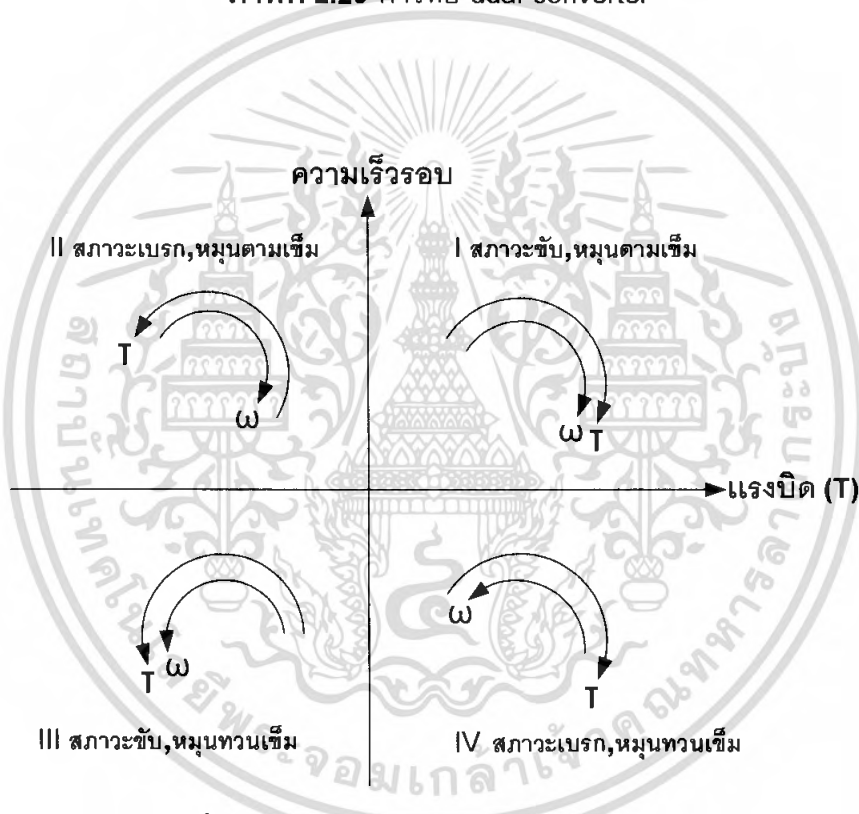
สามารถทำงานได้ทั้งโหมต Rectifier และโหมต Inverter ซึ่งได้นำชุด Converter มาใช้งานในโครงการนี้ โดยนำมาต่อแบบ dual Converter ซึ่งจะครบ 4 Quadrant ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การทำงาน 4 Quadrant



ภาพที่ 2.29 การต่อ dual converter



ภาพที่ 2.30 การทำงานของมอเตอร์ ใน 4 Quadrant

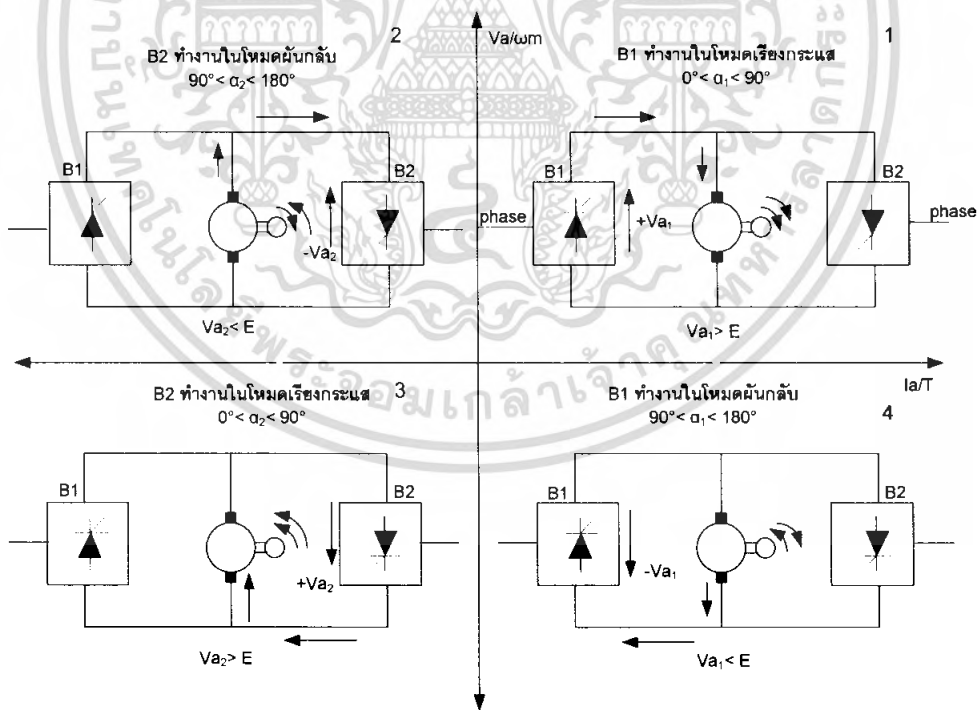
ใน Quadrant ที่ 1 มอเตอร์ออกแรงบิดตามเข็มนาฬิกาทำให้มอเตอร์และโหลดทางกลหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาด้วยถ้าให้เครื่องบวกแทนทิศทางตามเข็มนาฬิกาเราก็จะได้ว่า มอเตอร์จะจ่ายกำลังสุทธิ  $P = (+T) (+\omega) = (T\omega)$  ไปให้กับโหลดทางกลสภาวะนี้เป็นสภาวะที่กำลังงานหรือพลังงานไหลผ่านมอเตอร์ไปยังโหลดทางกล

ใน Quadrant ที่ 2 มอเตอร์และโหลดทางกลยังหมุนในทิศทางเดิมหรือหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่มอเตอร์กลับออกแรงบิดกระทำในทิศทางตรงข้ามในทิศทางหมุนในสภาวะนี้จึงเกิดเบรกขึ้น เพราะมีแรงบิดมาต้านการหมุนไว้ ในกรณีนี้มอเตอร์จะรับกำลังสุทธิ  $P = (-\text{เอกสT})(+\omega) = -T\omega$  งาม้าจากโหลดทางกลที่อกโดยเครื่องห้มายลบเป็นการแสดงว่ากำลังงานไหลรค้ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย้อนกลับ สภาวะนี้จึงภาวะที่กำลังงานหรือพลังงานไหลจากโหลดทางกลกลับเข้ามอเตอร์ และถ้าต่อมอเตอร์เข้ากับชุดเรกติไฟเออร์ที่ทำงานในอินเวอร์ตโหมดและยอมให้กระแสในตัวมอเตอร์ไหลกลับทางได้มอเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายพลังงานที่รับมาจากโหลดทางกลกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟแต่ถ้าใช้วิธีเบรกทางกลไปหยุดการหมุนของโหลดทางกล พลังงานทั้งหมดก็จะสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานของโหลดทางกลกับเบรคนั้น

สำหรับ Quadrant ที่3 มอเตอร์ออกแรงบิดในทิศทวนเข็มนาฬิกาทำให้ทั้งมอเตอร์และโหลดทางกลหมุนทวนเข็มนาฬิกาในสภาวะนี้มอเตอร์จะจ่ายกำลังสุทธิ  $P = (-T) (-W) = TW$  ไปให้กับโหลดทางกลสภาวะนี้จึงเป็นสภาวะที่พลังงานไหลจากมอเตอร์ไปยังโหลดทางกล เช่นเดียวกับ Quadrant ที่1แต่การหมุนเป็นไปในทิศทางตรงข้าม

Quadrant ที่4 จะเป็นการเบรกของ Quadrant ที่3 กล่าวคือมอเตอร์และโหลดทางกลยังหมุนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาเนื่องจากผลของการเฉื่อยแต่มอเตอร์ออกแรงบิดในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนเพื่อหยุดการหมุนของโหลดทางกลและมอเตอร์ในสภาวะนี้มอเตอร์จะได้รับกำลังสุทธิ  $P = (T) (-W) = -TW$  มาจากโหลดทางกล ซึ่งหากมอเตอร์ตัวนี้ถูกต่อกับชุดเรกติไฟเออร์ที่ทำงานในอินเวอร์ตโหมดได้และยอมให้กระแสไหลกลับทางได้พลังงานที่มอเตอร์ที่รับมาก็จะถูกส่งคืนไปยังแหล่งจ่าย



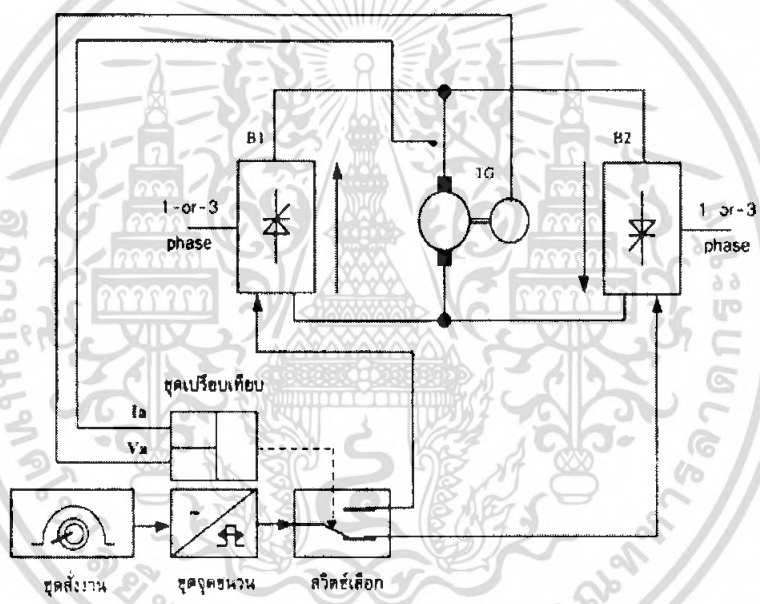
ภาพที่ 2.31 การทำงานของ dual converter ใน 4 Quadrant

การทำงานการทำงานใน Quadrant ที่ 1 คอนเวอร์เตอร์ B1 ทำงานในโหมดเรียงกระแสทำให้  $V_{a1} > E_a$  ทำให้มอเตอร์จะหมุนเดินหน้า

Quadrant ที่ 2 คอนเวอร์เตอร์ B1 หยุดทำงาน B2 จะทำงานแทนในโหมดผันกลับทำให้  $V_{a1} < E_a$  ทำให้มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดส่งถ่ายกำลังไปยังแหล่งจ่ายด้าน B2ทำให้มอเตอร์เบรกเดินหน้าใน

Quadrant ที่ 3 คอนเวอร์เตอร์ B2 ทำงานในโหมดเรียงกระแสทำให้  $V_{a2} > E_a$  ส่งผลให้มอเตอร์หมุนกลับทาง

Quadrant ที่ 4 คอนเวอร์เตอร์ B2 หยุดทำงาน และ B1 จะทำงานแทนในโหมดผันกลับทำให้  $V_{a1} < E_a$  ทำให้มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดส่งถ่ายกำลังไปยังแหล่งจ่ายด้าน B1 ทำให้มอเตอร์เบรก

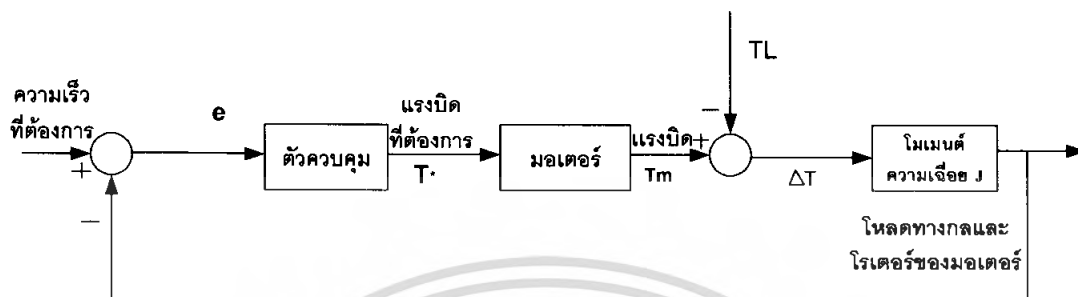


ภาพที่ 2.32 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์คู่ชนิดไม่มีกระแสไหลวนร่วมกับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ในระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ตัวที่ถูกควบคุมคือมอเตอร์และโหลดทางกลในระบบ เราสามารถเขียนรูปแบบของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ได้ดังภาพ

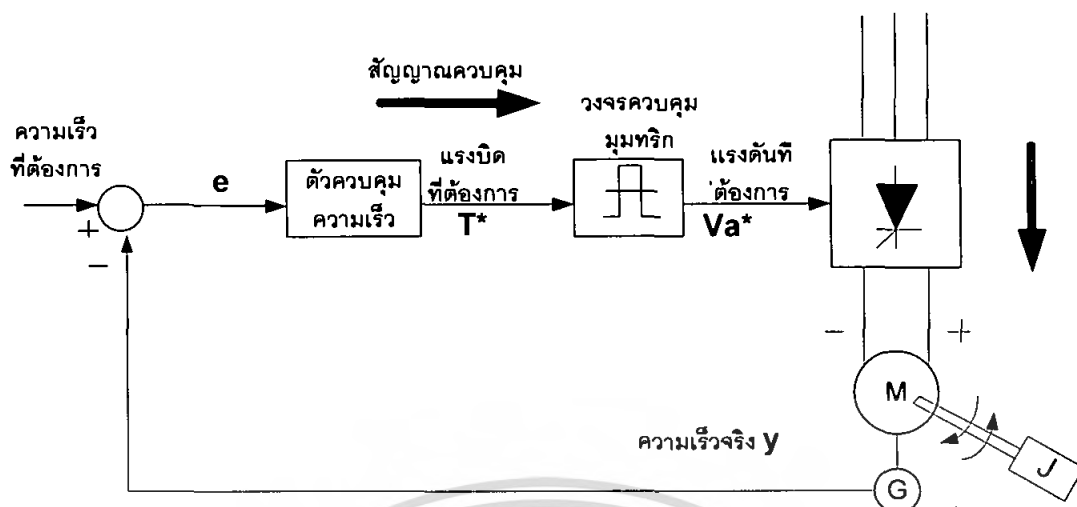


ภาพที่ 2.33 ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

จากรูปจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมจะทำหน้าที่รับคำสั่งว่าต้องการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่าใด (speed command) ตัวควบคุมก็จะออกคำสั่งไปยังมอเตอร์ เพื่อบอกมอเตอร์ว่าให้มอเตอร์ออกแรงบิดเท่าใด (torque command) เพราะขนาดของแรงบิด  $T_m$  ที่เกิดจากมอเตอร์ ถ้ามากกว่า  $T_L$  ก็จะไปทำให้โหลดทางกลหมุนเร็วขึ้นตามสมการ  $T_m - T_L = J(d\omega/dt)$  จนเมื่อความเร็วจริงเข้าถึงความเร็วที่ต้องการแล้ว ตัวควบคุมก็จะหยุดทำงาน จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของตัวนี้จะทำหน้าที่หลักคือ ควบคุมให้ความเร็วของมอเตอร์และโหลดทางกลเป็นไปตามที่ต้องการ เราจึงเรียกตัวควบคุมนี้ว่า ตัวควบคุมความเร็ว (speed controller หรือ speed regulator) เป็นที่ทราบดีว่าการควบคุมแบบ PI จะให้ผลดีกว่าตัวควบคุมแบบ P และ I ในเรื่องของการตอบรับภาระทางกลได้ดีกว่า และทำให้ไม่มีความแตกต่างระหว่างความเร็วจริง  $Y$  กับความเร็วที่ต้องการ  $X$  ในการควบคุมความเร็วรอบ จึงมักใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบ

เมื่อตัวควบคุมส่งสัญญาณมาบอกกับมอเตอร์ว่า ต้องการให้มอเตอร์ออกแรงบิดเท่าใดไปขับโหลด มอเตอร์จะไม่สามารถใช้สัญญาณที่เป็นเอาต์พุตจากตัวควบคุมไปเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ได้โดยตรง เพราะสัญญาณจากตัวควบคุมนั้นมีพลังงานเพียงน้อยนิดเมื่อเทียบกับพลังงานที่มอเตอร์ต้องการนำไปขับโหลด ในทางปฏิบัติจึงต้องหาแหล่งจ่ายพลังงานขนาดมาๆ มาจ่ายให้กับมอเตอร์ โดยแหล่งจ่ายพลังงานนี้จะรับคำสั่งจากตัวควบคุม อีกต่อหนึ่งว่า ต้องการให้จ่ายพลังงานให้มอเตอร์มากน้อยเพียงใด ในกรณีของเราแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้ก็คือวงจรภาคกำลัง วงจรภาคกำลังจึงเปรียบเสมือนวงจรขยายที่ใช้ขยายสัญญาณควบคุม เพื่อให้ได้กำลังเพียงพอไปขับมอเตอร์จริงอีกต่อหนึ่ง และเราสามารถเขียนเป็นรูปแบบของระบบควบคุมที่เสมือนจริงได้ดังนี้

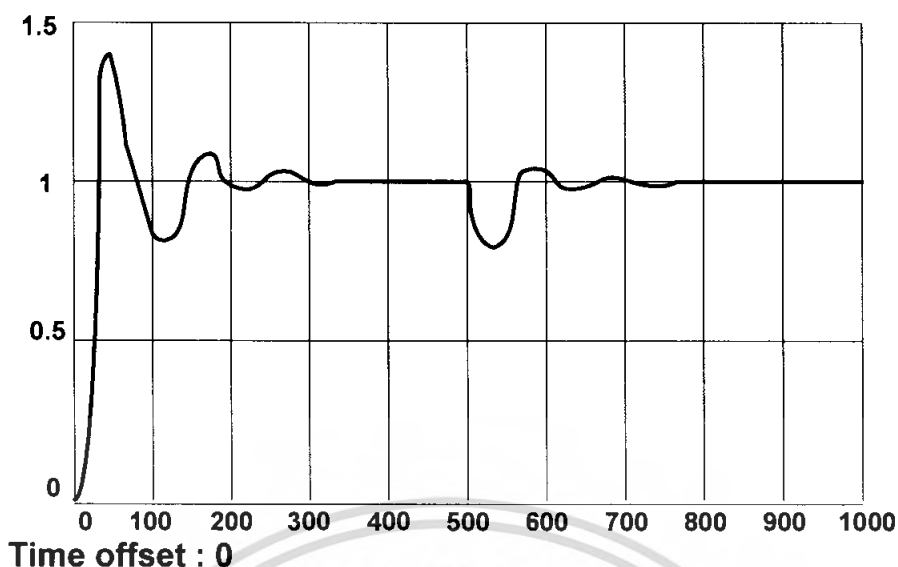
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.34 การทำงานร่วมกันของวงจรถวลุมมัทริกและระบบควบคุม

จากภาพเมื่อตัวควบคุมตรวจพบว่า มีความแตกต่างระหว่างความเร็วที่ต้องการกับความเร็วจริง ตัวควบคุมจะให้เอาต์พุตซึ่งเป็นสัญญาณที่จะไปบอกกับมอเตอร์ว่าต้องการแรงบิดเท่าใด แต่แทนที่สัญญาณนี้จะถูกส่งไปให้มอเตอร์โดยตรงก็จะถูกส่งไปยังวงจรถวลุมมัทริกแทนเพื่อให้วงจรถวลุมมัทริก ส่งสัญญาณทริกหรือสัญญาณจุดชนวนไปทริกไทรสเตอร์ ให้จ่ายแรงดันไปที่มอเตอร์ตามที่วงจรถวลุมมัทริกต้องการ และเมื่อแรงดันสูงขึ้น ก็จะทำให้กระแสมากขึ้น และแรงบิดสูงขึ้นตามลำดับ มอเตอร์ก็มีความเร็วมากขึ้นตามต้องการ ในกรณีนี้หากเปรียบกับการขับรถยนต์ สมอองก็จะออกคำสั่งไปที่เท้าให้เหยียบคันเร่งเพิ่มขึ้น แรงเหยียบของเท้าที่กระทำต่อคันเร่งนั้นก็คือ torque command นั่นเอง เมื่อคันเร่งถูกเหยียบ สายคันเร่งก็จะไปเปิดน้ำมันให้ไหลเข้าเครื่องยนต์มากขึ้นแล้วเปิดน้ำมันไปยังเครื่องยนต์ก็เปรียบได้กับไทรสเตอร์ และเครื่องยนต์ก็เปรียบเสมือนมอเตอร์ โดยพลังงานหลักจะมาจากน้ำมันซึ่งเปรียบเสมือนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ ส่วนสัญญาณควบคุมคือแรงที่คนขับเหยียบลงบนคันเร่ง

จากการทดลองจำลองการทำงานของระบบ โดยใช้แบบจำลองและกำหนดให้มอเตอร์และโหลดทางกลมีโมเมนต์ความเฉื่อยรวมกันเท่ากับ  $70 \text{ Kg.m}^2$  และให้มอเตอร์มี  $R = 1 \Omega$   $L = 20 \text{ mH}$  ส่วนตัวควบคุมให้  $K_p = 5$ ,  $T_n = 10$  สำหรับ  $x$  ให้มีค่าเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ที่เวลา  $t = 10$  และภาระทางกล  $T_L$  มีค่าเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ที่เวลา  $t = 500$  จะได้ผลการทดลองจากการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นกราฟของความเร็ว  $Y$



**ภาพที่ 2.35** ผลการทดลองจำลองการทำงานของมอเตอร์ โดยใช้ตัวควบคุมความเร็วรอบอย่าง เดี่ยว

จากภาพ จะเห็นได้ว่า เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ต้องการ  $X$  แบบทันทีทันใด หรือเปลี่ยนแปลงภาระทางกล  $T_L$  แบบทันทีทันใด ความเร็วของระบบจะเกิดการแกว่งอยู่ ชั่วหนึ่ง ก่อนที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) และพบว่าเป็นการยากที่จะปรับค่า  $K_p$  กับ  $T_n$  เพื่อไม่ให้เกิดการแกว่งขึ้นถึงตรงนี้

เมื่อมาลำดับการทำงานของมอเตอร์ตามลำดับเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดผลในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่มอเตอร์รับไฟเข้ามาจนทำให้มอเตอร์หมุน เราจะพบว่า ถ้าให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวด สนามแม่เหล็กหลักมีค่าคงที่ เราจะสามารถลำดับเหตุปัจจัยที่ทำให้มอเตอร์หมุนได้ดังนี้

แรงดันอาร์เมเจอร์  $\longrightarrow$  กระแสอาร์เมเจอร์  $\longrightarrow$  แรงบิด  $\longrightarrow$  ความเร็วรอบ

**ภาพที่ 2.36** ผังการควบคุมมอเตอร์เมื่อเพิ่มตัวควบคุมเข้ามา

ซึ่งหมายถึงว่า มอเตอร์จะหมุนก็ต่อเมื่อเกิดแรงบิด แรงบิดจะเกิดก็ต่อเมื่อมีกระแส และ กระแสจะเกิดก็ต่อเมื่อมีแรงดัน เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงหมายความว่าสิ่งที่ระบบควบคุมของเรา ต้องการแท้จริงคือความเร็วรอบ แต่เนื่องจากความเร็วรอบเกิดจากแรงบิด ในการควบคุม เราจึง ต้องบอกกับมอเตอร์ว่าต้องการแรงบิดเท่าใด จึงเป็นเหตุผลว่า เหตุใดเอาต์พุตของตัวควบคุม ความเร็วจึงเป็นค่าแรงบิดที่ต้องการ ( torque command ) และเช่นเดียวกัน แรงบิดเกิดจาก กระแส ดังนั้นเพื่อให้ได้แรงบิดที่ต้องการ เราจึงต้องบอกกับมอเตอร์ว่าต้องการกระแสเท่าใด ใน ระบบควบคุมที่ดีจึงต้องมีตัวควบคุมกระแส (current controller) อยู่ด้วยเพื่อตรวจสอบว่า ขณะนั้นได้กระแสดำเนินการ (current command) หรือยังแล้วเอาต์พุตของตัวควบคุมกระแส จึงจะไปเป็นค่าแรงดันที่ต้องการ (voltage command) เพื่อส่งต่อไปยังวงจรควบคุมมอเตอร์

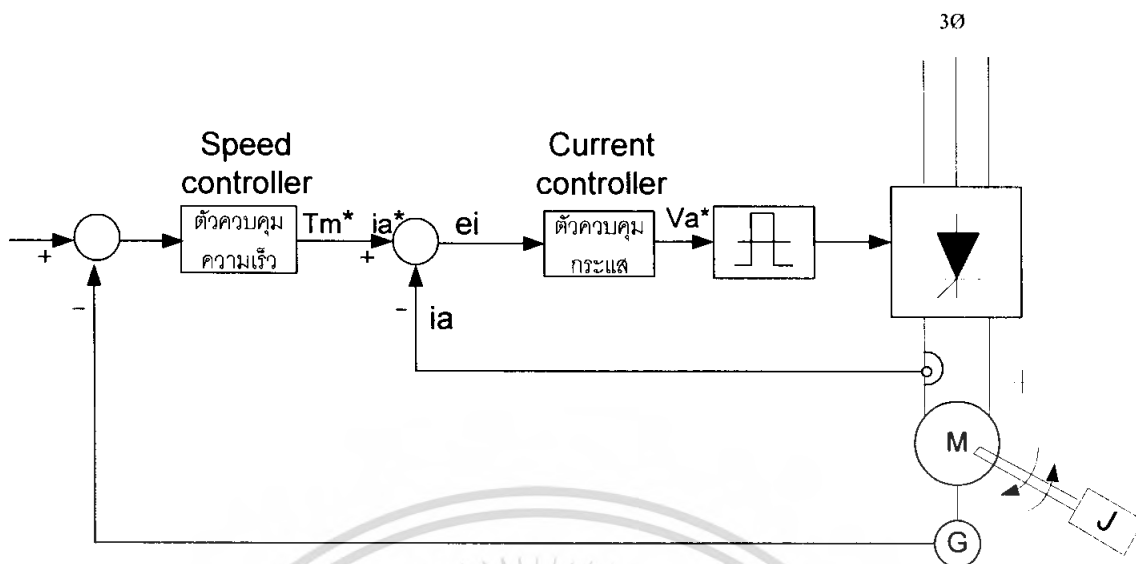
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการค้าเท่านั้น เมื่ออยู่ในที่นี้จะไม่สงวนลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปจุดชนวนไทรสเตอร์ให้ได้แรงดันอาร์เมเจอร์มากน้อยตามต้องการอีกต่อหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ในระบบควบคุมความเร็วรอบที่สมบูรณ์ จึงต้องเพิ่มตัวควบคุมกระเข้าไป เพื่อควบคุมให้ได้กระแสแรงบิดตามที่ต้องการ และเมื่อทดลองจำลองการทำงานของระบบด้วย MATLAB โดยเพิ่มตัวควบคุมแบบ PI เข้าไปเป็นตัวควบคุมกระแส และกำหนด Kp และ Tn เท่ากับ 5 และ 10 เช่นเดียวกับตัวควบคุมความเร็ว พบว่ากราฟความเร็วที่ได้ จะไม่แกว่งเหมือนกับกรณีที่ระบบไม่มีตัวควบคุมกระแสอีกต่อไป แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสาเหตุของการแกว่งตัวของความเร็วของระบบ คือการขาดตัวควบคุมกระแส

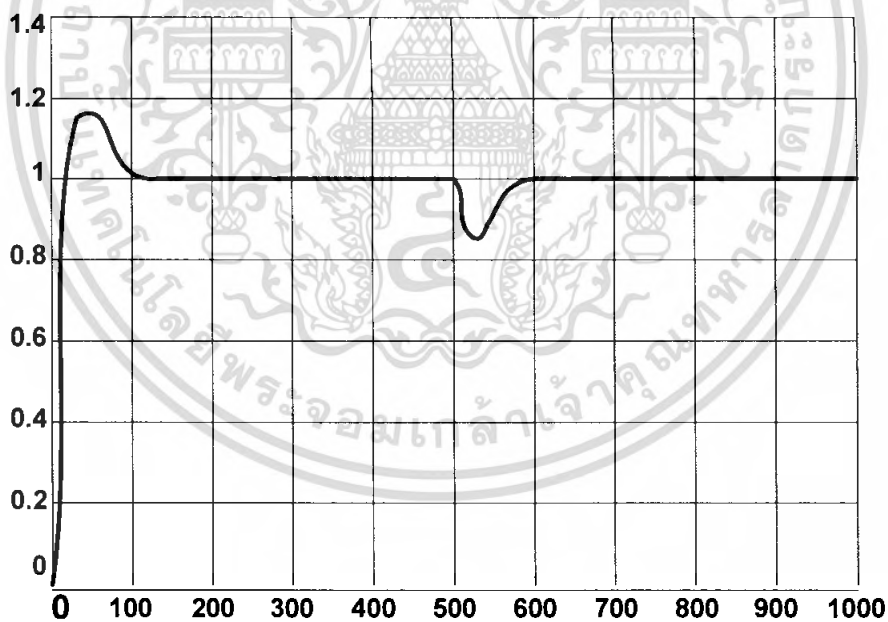
หากอธิบายให้ละเอียดลึกลงไปเพื่อตอบคำถามว่า เหตุใดเมื่อไม่มีตัวควบคุมกระแสจึงเกิดการแกว่งตัวของความเร็วรอบ แต่เมื่อมีตัวควบคุมกระแส การแกว่งตัวกลับหายไป ก็คงต้องกลับไปที่สมการการเคลื่อนที่พื้นฐานคือ

$$T_m - T_l = J \frac{d\omega}{dt}$$

สมการนี้บอกให้เราทราบว่า หากเราต้องการควบคุมอัตราการเพิ่มของความเร็ว ( $d\omega/dt$ ) ให้เป็นไปตามต้องการก็สามารถทำได้โดยการควบคุมที่  $T_m$  ของตัวมอเตอร์ เราสามารถควบคุม  $T_m$  ได้ด้วยการควบคุมกระแส Ia กล่าวคือ ต้องสามารถกำหนดไปที่มอเตอร์ได้ว่าต้องการให้กระแส Ia ไหลเข้าไปในมอเตอร์เป็นปริมาณเท่าใดในวงจรควบคุมจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบกระแสจริงกลับมาเปรียบเทียบกับแรงบิดที่ต้องการ ( ซึ่งก็คือกระแสที่ต้องการ, ถ้าให้คงที่) ว่าได้ค่าที่ต้องการหรือไม่ และนำค่าความแตกต่างนั้น (ei) ส่งไปให้ตัวควบคุมกระแสทำหน้าที่ปรับแรงดัน เพื่อให้ได้กระแสตามต้องการอีกทีหนึ่ง ในกรณีแบบนี้ เราสามารถควบคุมกระแสของมอเตอร์ให้เป็นไปตามที่ตัวควบคุมความเร็วต้องการได้ แต่ถ้าเป็นกรณีของเราไม่มีตัวควบคุมกระแส ค่าแรงบิดที่ต้องการจะถูกส่งไปควบคุมขนาดของแรงดันโดยตรง ทำให้สิ่งที่เรากำลังควบคุมไม่ใช่กระแสแต่กลายเป็นแรงดัน ในขณะที่กระแสนั้นถึงแม้เพิ่มหรือลดตามแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ก็ไม่ได้เพิ่มหรือลดในเวลาเดียวกันกับแรงดันเนื่องจากว่า อิมพีแดนซ์ของขดลวดของมอเตอร์จะเป็นตัวหน่วงไว้ อีกทั้งขนาดของกระแสจะเป็นเท่าใดนั้นก็ไม่สามารถบอกได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอิมพีแดนซ์ของขดลวดและแรงดันในขณะนั้นๆ ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น ระบบควบคุม จึงไม่สามารถควบคุมขนาดของกระแสได้ ขนาดของกระแสจึงเปลี่ยนแปลงโดยไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งมีผลทำให้  $T_m$  เปลี่ยนขึ้นลงโดยไม่สามารถควบคุมได้เช่นกัน จากสมการที่ยกมาข้างต้นจะเห็นว่าถ้าเราควบคุม  $T_m$  ไม่ได้เราก็จะไม่สามารถควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ ด้วยเหตุนี้ เราจึงเห็นรูปร่างของความเร็วที่เกิดจากการควบคุม มีลักษณะการแกว่งไปมาโดยที่ตัวควบคุมไม่สามารถติดตามได้โดยง่าย



ภาพที่ 2.37 ฟังการควบคุมมอเตอร์เมื่อเพิ่มตัวควบคุมกระแสเข้ามา



ภาพที่ 2.38 ผลการทดลองจำลองการทำงานของมอเตอร์  
เมื่อมีตัวควบคุมความเร็วรอบและตัวควบคุมกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับการขับเคลื่อนมอเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่นิยมใช้มากในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะเป็นอุปกรณ์ควบคุมที่มีความเปราะบางต่อสนามแม่เหล็กและมีความน่าเชื่อถือไม่สูงมากเมื่อเทียบกับ PLC หรือ อุปกรณ์ควบคุมแบบอื่น ๆ แต่สิ่งหนึ่งที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ดี คือราคาของไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกมากเมื่อเทียบกับ PLC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในท้องตลาดมีมากมายหลายชนิด แต่ในโครงการนี้จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F เพราะว่าในตัว dsPIC มีขีดความสามารถของหน่วยประมวลผลกลางสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณคณิตศาสตร์เนื่องจากเป็นหัวใจหลักของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล โดยสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงถึง 16 บิต นอกจากนั้นความเร็วในการประมวลผลยังสูงด้วย และในตัว dsPIC ยังมีโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลให้มีความละเอียดสูงขึ้น

### 2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC มีหลายเบอร์มาก แต่ในโครงการนี้จะใช้เบอร์ dsPIC30F4011 เพราะว่าเหมาะสมกับการใช้งานทั้งราคาและ จำนวน Port ที่จะใช้ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งในตัว dsPIC30F4011 มี Port input/output 5 Port ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้จากรูปดังนี้

#### 2.4.1.1 คุณสมบัติโดยรวมของ dsPIC

##### 1) คุณสมบัติของ CPU

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ CPU แบบ RISC
- ความเร็วในการคำนวณสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐานรองรับการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- มีหน่วยความจำแบบแฟลช สามารถลบแล้วเขียนใหม่ได้ไม่ต่ำกว่า 100,000 ครั้ง
- สามารถป้องกันการอ่านได้
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

##### 2) คุณสมบัติด้านการประมวลผลดิจิทัล

- มีแอมพลิจูดเรจิสเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและการหาร 17 บิต

##### 3) คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกขา Port ได้ 25 mA
- มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 5 ตัว
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล

## 2.4.1.2 การใช้งาน Port ต่าง ๆ ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 40-Pin PDIP

MCLR	1	40	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	39	AVss
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	38	PWM1L/RE0
AN2/SS1/CN4/RB2	4	37	PWM1H/RE1
AN3/INOX/CN5/RB3	5	36	PWM2L/RE2
AN4/OEA/IC7/CN6/RB4	6	35	PWM2H/RE3
AN5/OEB/IC8/CN7/RB5	7	34	PWM3L/RE4
AN6/OEFA/RB6	8	33	PWM3H/RE5
AN7/RB7	9	32	Vdd
AN8/RB8	10	31	Vss
Vdd	11	30	C1RX/RF0
Vss	12	29	C1TX/RF1
OSC1/CLKIN	13	28	U2RX/CN17/RF4
OSC2/CLKO/RC15	14	27	U2TX/CN18/RF5
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	15	26	PGC/EMUC/U1RX/SDI1/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	16	25	PGD/EMUD/U1TX/SDO1/SCL/RF3
FLTA/INT0/RE8	17	24	SCK1/RF6
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	18	23	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0
OC4/RD3	19	22	OC3/RD2
Vss	20	21	Vdd

ภาพที่ 2.39 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

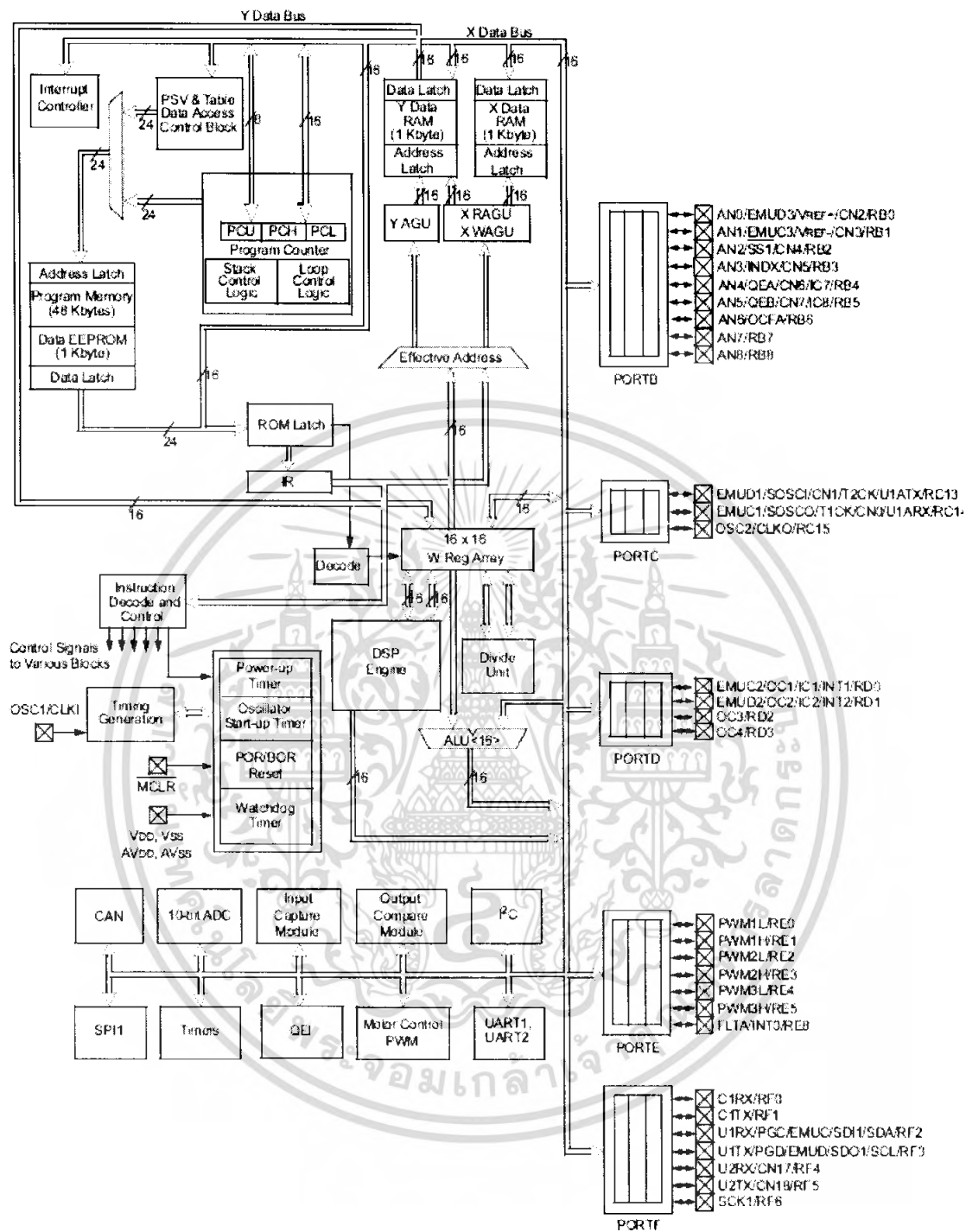
ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 เป็นอุปกรณ์ควมคุม 40 ขา ซึ่งมี Port input/output อยู่ 5 Port คือ Port B, C, D, E, F ซึ่งในแต่ละ Port จะมีจำนวนบิตดังนี้คือ Port B มีใช้งาน 9 บิตคือ RB0 RB1 RB2 RB3 RB4 RB5 RB6 RB7 RB8 Port C มีใช้งาน 2 บิตคือ RC13 RC14ซึ่งจะมี RC15 อีก 1 บิตแต่ใช้ต่อสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกแล้ว

Port D มีใช้งาน 4 บิตคือ RD0 RD1RD2 RD3

Port E มีใช้งาน 7 บิตคือ RE0 RE1 RE2 RE3 RE4 RE5 RE8

Port F มีใช้งาน 7 บิตคือ RF0 RF1 RF2 RF3 RF4 RF5 RF6

ซึ่งนอกจากจะใช้งานเป็น Port input/output แล้วยังสามารถตั้งค่าให้ทำงานได้หลายอย่างเช่นในโครงการนี้จะใช้ Port B เป็น ขารับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิกที่ได้มาจาก ชุด Zero crossing ซึ่งจะได้อธิบายการทำงานต่อไป ซึ่งขาที่ใช้ใน Port B จะใช้ขา CN ซึ่งเป็น Port ที่รับสัญญาณ การขัดจังหวะเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิก และนอกจากนั้น Port B ยังใช้ในการเป็นโมดูลการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลด้วย



ภาพที่ 2.40 dsPIC30F4011 BLOCK DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN8	I	Analog	Analog input channels. AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVdd	P	P	Positive supply for analog module.
AVss	P	P	Ground reference for analog module
CLKI CLKO	I O	ST/CMOS —	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7 CN17-CN18	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
C1RX C1TX	I O	ST —	CAN1 bus receive pin. CAN1 bus transmit pin.
EMUD EMUC EMUD1 EMUC1 EMUD2 EMUC2 EMUD3 EMUC3	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST ST ST ST ST ST ST ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin. ICD Primary Communication Channel clock input/output pin. ICD Secondary Communication Channel data input/output pin. ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs 1, 2, 7 and 8.
INDX QEA QEB	I I I	ST ST ST	Quadrature Encoder Index Pulse input. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0 INT1 INT2	I I I	ST ST ST	External interrupt 0. External interrupt 1. External interrupt 2.
FLTA PWM1L PWM1H PWM2L PWM2H PWM3L PWM3H	I O O O O O O	ST — — — — — —	PWM Fault A input. PWM 1 Low output. PWM 1 High output. PWM 2 Low output. PWM 2 High output. PWM 3 Low output. PWM 3 High output.
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA OC1-OC4	I O	ST —	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4). Compare outputs 1 through 4.
OSC1 OSC2	I I/O	ST/CMOS —	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input  
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output  
I = Input P = Power

#### ภาพที่ 2.40 dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
PGD	I/O	ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin.
PGC	I	ST	In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RB0-RB8	I/O	ST	PORTB is a bidirectional I/O port.
8RC13-RC15	I/O	8ST	PORTC is a bidirectional I/O port.
RD0-RD3	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port.
RE0-RE5, RE8	I/O	ST	PORTE is a bidirectional I/O port.
RF0-RF6	I/O	ST	PORTF is a bidirectional I/O port.
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI™ 1.
SDI1	I	ST	SPI 1 Data In.
SDO1	O	—	SPI 1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI 1 Slave Synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I2C.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I2C.
SOSCO	O	—	32 kHz low power oscillator crystal output.
SOSCI	I	ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
T1CK	I	ST	Timer1 external clock input.
T2CK	I	ST	Timer2 external clock input.
U1RX	I	ST	UART1 Receive.
U1TX	O	—	UART1 Transmit.
U1ARX	I	ST	UART1 Alternate Receive.
U1ATX	O	—	UART1 Alternate Transmit.
U2RX	I	ST	UART2 Receive.
U2TX	O	—	UART2 Transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input.
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input

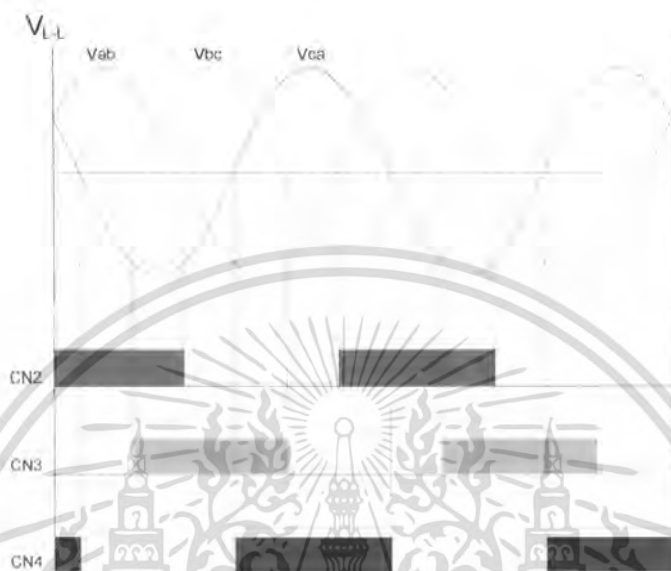
Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input  
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output  
 I = Input P = Power

ภาพที่ 2.40 (ต่อ) dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

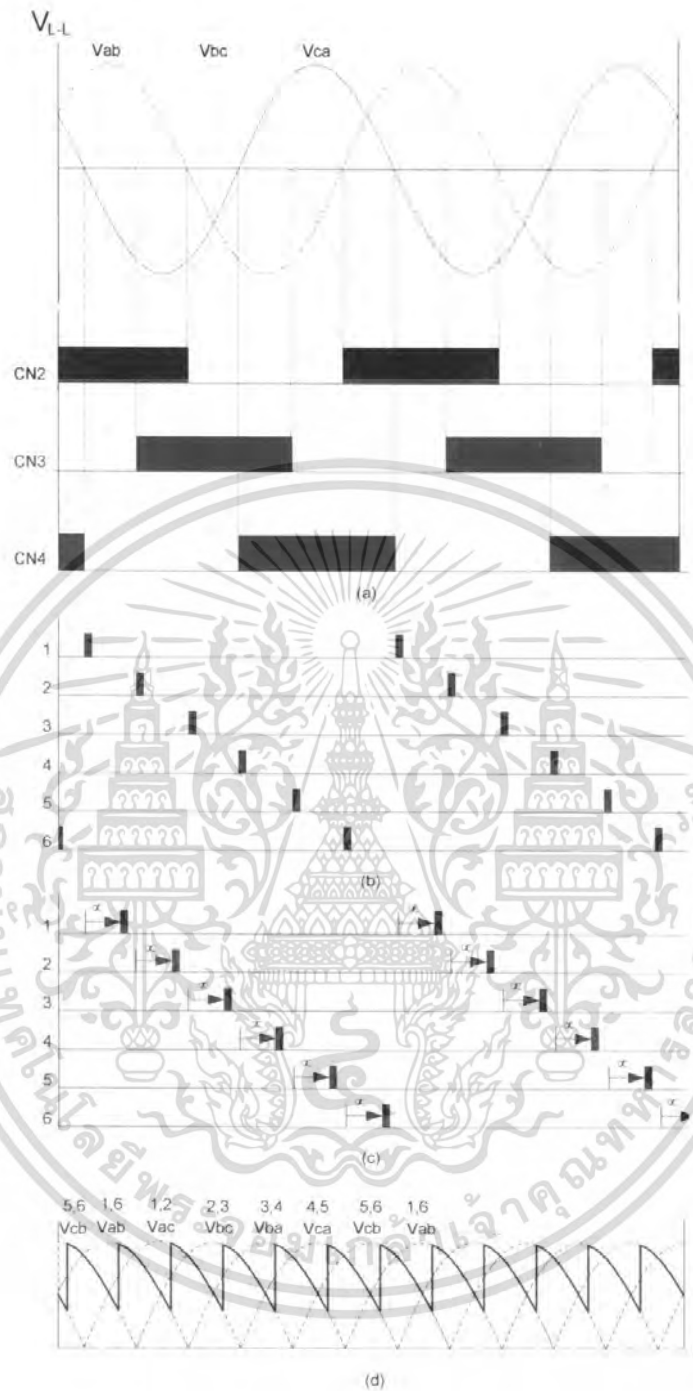
### 2.4.1.2 หลักการทำงานวงจร

เริ่มการทำงานจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสเข้าให้กับระบบดังภาพ



ภาพที่ 2.41 สัญญาณที่ได้จากชุด Zero crossing

จากภาพที่ 2.41 สัญญาณที่ได้จากชุด Zero crossing จะได้ออกมาเป็นพัลส์ 4 เหลี่ยม ซึ่งในแต่ละเฟสจะมีลำดับเฟส ตามสัญญาณแรงดันที่ไปตรวจจับ และพัลส์ 4 เหลี่ยมที่ได้จะเกิดขึ้นในซีกบวกของลูกคลื่นแต่ละลูก ซึ่งการทำงานและวงจรจะขออธิบายในบทต่อไป สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปต่อเข้ากับขา CN2 CN3 CN4 ตามลำดับ สัญญาณที่ได้นี้เมื่อเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับรู้ว่าเป็นสัญญาณอินเตอร์รัป เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปในแต่ละจุด โปรแกรมจะรับรู้ว่าการอินเตอร์รัปมาจากขาไหน เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปขึ้น เมื่อโปรแกรมเข้าไปในอินเตอร์รัปจะไปสั่งให้ไทเมอร์ทำงาน แล้วไทเมอร์จะนับเวลาไปเรื่อยๆ ตามที่หน่วงเวลาไว้ เมื่อถึงค่าเวลาที่ตั้งค่าเอาไว้จะเกิดการอินเตอร์รัปขึ้นอีก เนื่องจากโปรแกรมได้สั่งให้ทำงานด้วยอินเตอร์รัปไทเมอร์ด้วย และเมื่ออินเตอร์รัปไทเมอร์ทำงาน จะไปสั่งให้เกิดการทริกเกิดเกิดขึ้น



ภาพที่ 2.42 หลักการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จุดชนวนเกตของ SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.42 ภาพ a เป็นสัญญาณที่ได้มาจากการนำชุด Zero crossing จับสัญญาณ ไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟสจะได้สัญญาณ 3 ชุดมาเข้า ขา CN2 CN3 CN4 ของชุด ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก คือ จาก High เป็น Low จาก Low เป็น High การที่มีการเปลี่ยนแปลงลอจิกในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะไม่สามารถรู้ได้ทันทีว่าเป็นขาไหนที่มีการอินเตอร์รัป และไม่รู้ว่าการ อินเตอร์รัปนั้นเป็นการอินเตอร์รัปจากลอจิก Low หรือว่า ลอจิก High เพราะการอินเตอร์รัป จากการเปลี่ยนแปลงลอจิกมีลักษณะเดียว ซึ่งไม่เหมือนในอินเตอร์รัปไทเมอร์ที่มีการอินเตอร์รัป ในทุกๆไทเมอร์ แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถรู้ได้โดย เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปเข้ามา โปรแกรมจะทำการเช็ครหัสบิต ของ Port B ว่าเป็นลักษณะอย่างไร โดยที่การต่อ CN2 CN3 CN4 จะเป็นขาเดียวกับPort B ที่ บิต RB0 RB1 RB2 โดยเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปขึ้นมาจาก การเปลี่ยนแปลงลอจิกแล้ว เราก็เช็คสถานะของ บิตว่าเป็นไปในลักษณะอย่างไร แล้วก็เขียน โปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกการทำงาน

โดยที่เมื่อเช็ครหัสเป็น 101 แสดงว่า CN 2 เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ จาก Low เป็น High เมื่ออยู่ในสภาวะนี้ก็สั่งให้ Timer 1 นับเวลาตามที่ตั้งไว้ แล้วสั่งให้จุดชนวนเกตของ SCR ตัวที่ 6 และเมื่อเช็ครหัสเป็น 001 แสดง CN4 เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก จาก High เป็น Low เมื่ออยู่ในสภาวะนี้จะสั่งให้ Timer 3 ทำงาน นับเวลาไป แล้วรอสั่งให้จุดชนวนเกตของ SCR ตัวที่ 1 ทำงาน เมื่อเช็ครหัสเป็น 011 แสดง CN3 เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก จาก Low เป็น High เมื่ออยู่ในสภาวะนี้จะสั่งให้ Timer 2 ทำงาน นับเวลาไป แล้วรอสั่งให้จุดชนวนเกตของ SCR ตัวที่ 2 ทำงาน เมื่อเช็ครหัสเป็น 010 แสดง CN2 เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก จาก High เป็น Low เมื่ออยู่ในสภาวะนี้จะสั่งให้ Timer 1 ทำงาน นับเวลาไป แล้วรอสั่งให้จุดชนวนเกตของ SCR ตัวที่ 3 ทำงาน การทำงานจะหมุนเวียนไปอย่างนี้เรื่อย ๆ และมุมจุดชนวนนั้นสามารถ ปรับเปลี่ยนได้โดยที่เราสามารถเพิ่มหรือลดค่าในรีจิสเตอร์ข้างในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อ จะเอาค่านี้ไปทำการนับในไทเมอร์เพื่อหน่วงเวลาจุดชนวนได้

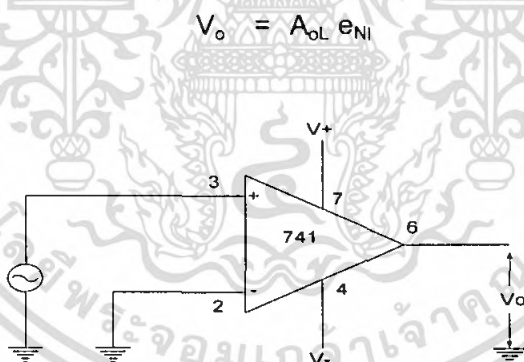
## 2.5 วงจร Zero crossing

วงจร zero crossing ซึ่งการทดลองนี้จะประกอบไปด้วย ออปแอมป์เบอร์ 741 ที่ทำงานเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ( operation of comparator ) ดังแสดงดังภาพที่ 2.43 ขาไฟเลี้ยงทั้งสองคือ ขา 7 ต่อไฟเลี้ยง + 15 v และขา 4 ต่อไฟเลี้ยง - 15 v ขาอินเวอร์ตติ้งอินพุต ( ขา 2 , - ) ต่อเป็นจุดต่อร่วมวงจร( circuit common ) และขาอนอินเวอร์ตติ้งอินพุต ( ขา 3 , + ) ต่อเข้ากับแหล่งสัญญาณอินพุตรูปคลื่น sine ที่มาจากหม้อแปลงจากสมการพื้นฐานของออปแอมป์เบอร์ 741 คือ

$$V_o = A_{oL}(e_{NI} - e_{INV}) \quad (2.47)$$

เมื่อ  $V_o$  คือ แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์  
 $A_{oL}$  คือ อัตราการขยายวงจรรูปเปิด ( open loop gain )  
 $e_{NI}$  คือ แรงดันที่จ่ายให้ขาอนอินเวอร์ตติ้งอินพุต  
 $e_{INV}$  คือ แรงดันที่จ่ายให้ขาอินเวอร์ตติ้งอินพุต

สำหรับวงจรดังภาพ 2.43 ขาอินเวอร์ตติ้งอินพุตจะเป็นจุดต่อร่วมวงจร( circuit common ) ซึ่งมีแรงดันเป็นศูนย์โวลต์ดังนั้น จะได้



ภาพที่ 2.43 วงจรเปรียบเทียบที่ใช้ออปแอมป์

สำหรับออปแอมป์ค่า  $A_{oL}$  จะมีค่าสูงมากซึ่งออปแอมป์ในอุดมคติค่า  $A_{oL}$  จะมีค่าเป็นอนันต์ ( infinity ) นั่นก็หมายถึงว่าวงจรในภาพที่ 2.43 เอาต์พุต  $V_o$  สามารถเป็นไปได้สองกรณี คือ

กรณีที่ 1

$$e_{NI} > 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน  $V_o = \infty * e_{NI}$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


$$V_o = +\infty$$

จากสมการอธิบายได้ว่าเมื่อไดโอดที่อินพุต  $e_{NI}$  มีค่ามากกว่าศูนย์โวลต์เพียงเล็กน้อย อัตราการขยายจะมีค่ามากเป็นอนันต์แต่ในความเป็นจริงแรงดัน  $V_o$  จะมีค่าเป็น  $V_{SAT}$  (แรงดันเป็นบวกมากที่สุดที่ออปแอมป์สามารถจ่ายได้) ดังนั้น

ถ้า 
$$e_{NI} > 0$$

แล้ว 
$$V_o = +V_{SAT}$$

กรณีที่ 2



$$e_{NI} < 0$$

$$V_o = \infty * -e_{NI}$$

$$V_o = -\infty$$

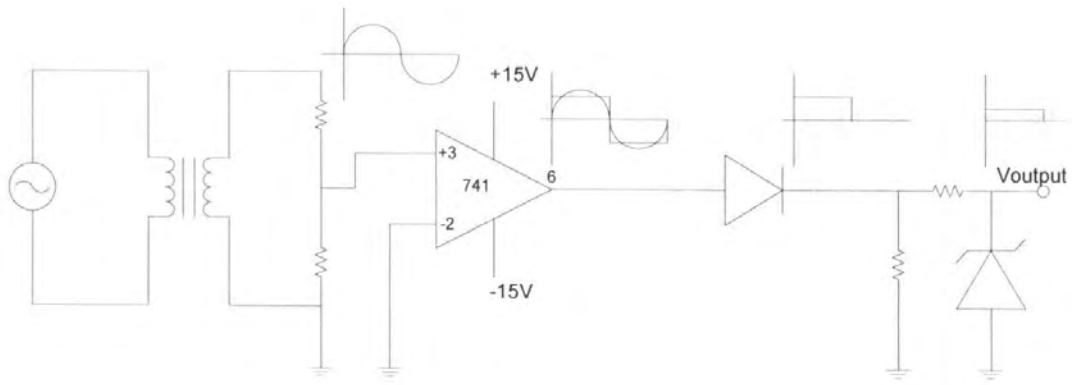
จากสมการเมื่อไดโอดที่อินพุต  $e_{NI}$  มีค่าน้อยกว่าศูนย์โวลต์เพียงเล็กน้อย อัตราการขยายมีค่าเป็นอนันต์ด้านลบ แต่ในความเป็นจริงแรงดัน  $V_o$  จะมีค่าเป็น  $-V_{SAT}$  (แรงดันเป็นลบน้อยที่สุดที่ออปแอมป์สามารถจ่ายได้) ดังนั้น

ถ้า 
$$e_{NI} < 0$$

แล้ว 
$$V_o = -V_{SAT}$$

จากที่กล่าวมาทำให้แรงดัน  $V_o$  ที่ได้จากออปแอมป์เบอร์ 741 CN เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $+V_{SAT}$ ,  $-V_{SAT}$  ซึ่งเฟสของรูปคลื่นยังไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อแรงดัน  $V_o$  ผ่านไดโอดทำให้แรงดัน  $V_o$  เหลือเพียงเฉพาะซีกบวก และถูกลดระดับลงโดย Zero Diode เหลือเพียง 5v แต่ถ้าวางจอร์นี้เป็นวงจรที่มี 3 เฟสรูปคลื่น INPUT เป็นรูปคลื่น Sine ที่มีเฟสต่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าจะทำให้แรงดัน OUTPUT ที่ได้เป็นสัญญาณแรงดันสี่เหลี่ยมที่มีเฉพาะซีกบวกโดยมีเฟสต่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



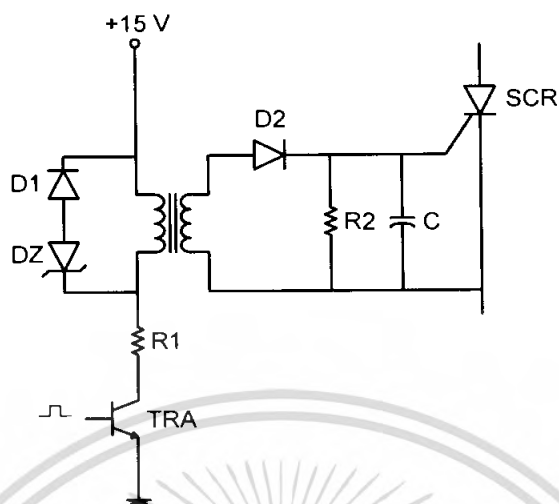
ภาพที่ 2.44 วงจร Zero crossing เฟสเดียว



ภาพที่ 2.45 วงจร Zero crossing 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 วงจรขับเกิดของ SCR



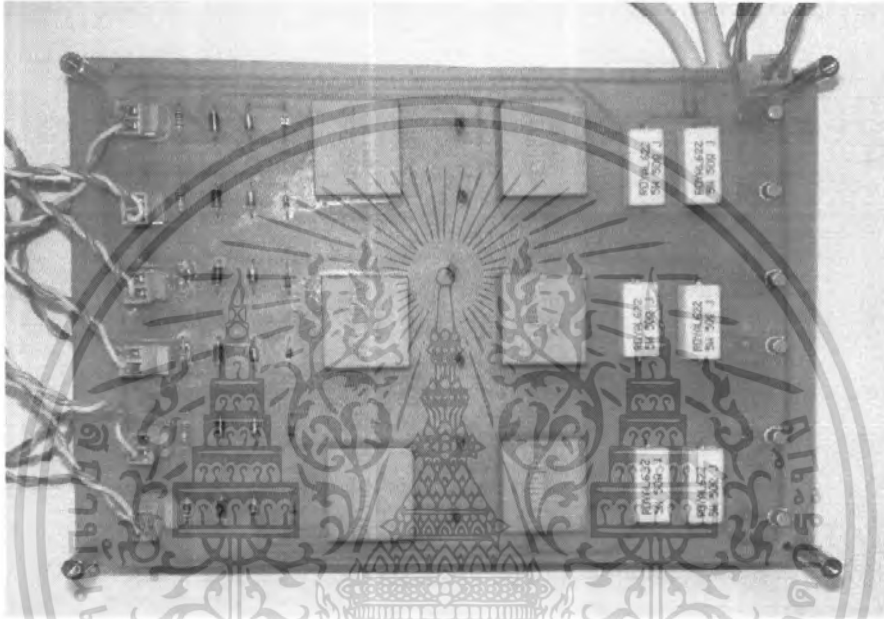
ภาพที่ 2.46 วงจรขับ SCR

ในการจุดชนวน (Triggering) SCR เพื่อให้ นำกระแส นั้น กระแสพัลส์ของขาเกิดต้องมีขนาดของพัลส์และเวลาในการทริกเพียงพอและควรมีเวลาได้ขึ้น (rise time) ที่สั้นและกระแสแอมโตนัดเพิ่มสูงขึ้นกว่ากระแสแลดซึ่ง และที่สำคัญในการทริก SCR ของวงจร 3 เฟส ฟูลเวฟคอนเวอเตอร์ สัญญาณทริกที่ป้อนเข้าขาเกิดของ SCR ควรผ่านหม้อแปลงพัลส์ เพื่อทำการแยกกราวด์ (Ground) ของวงจรกำลัง และวงจรควบคุมออกจากกันเพื่อป้องกันความเสียหายของวงจรควบคุมหากเกิดการลัดวงจรด้านวงจรกำลังแต่ถ้าใช้พัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (PTR) ต้องมีวงจรเพิ่มเติมเพื่อป้องกันการอิมิตัวของแกนเหล็ก ส่วนไดโอด D1 และซีเนอร์ไดโอด DZ ครอบขดลวดปฐมภูมิช่วยให้เกิดทางเดินฟรีวีลลิ่ง (free Wheeling) ของกระแสปฐมภูมิในขณะเทอร์นออฟ (Turn off) และป้องกันการอิมิตัวของหม้อแปลงไดโอด D2 และ C ช่วยในการเรียงกระแสและกรองสัญญาณทริกขาเกิดของ SCR ส่วน R2 จะ limit กระแสขับเกิดดังแสดงภาพ

### บทที่ 3

#### การออกแบบและสร้าง (หรือการออกแบบการทดลอง)

#### 3.1 ส่วนประกอบต่างๆของชุดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ควอดแรนต์ โดยใช้ คู่อัลทริสเตอร์คอนเวอร์เตอร์

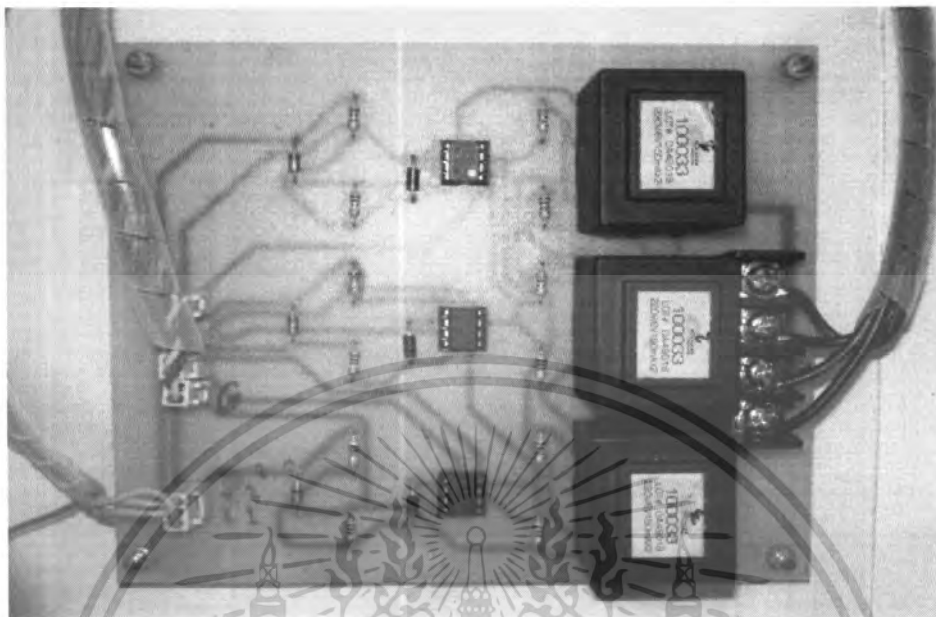


ภาพที่ 3.1 วงจรขับ SCR

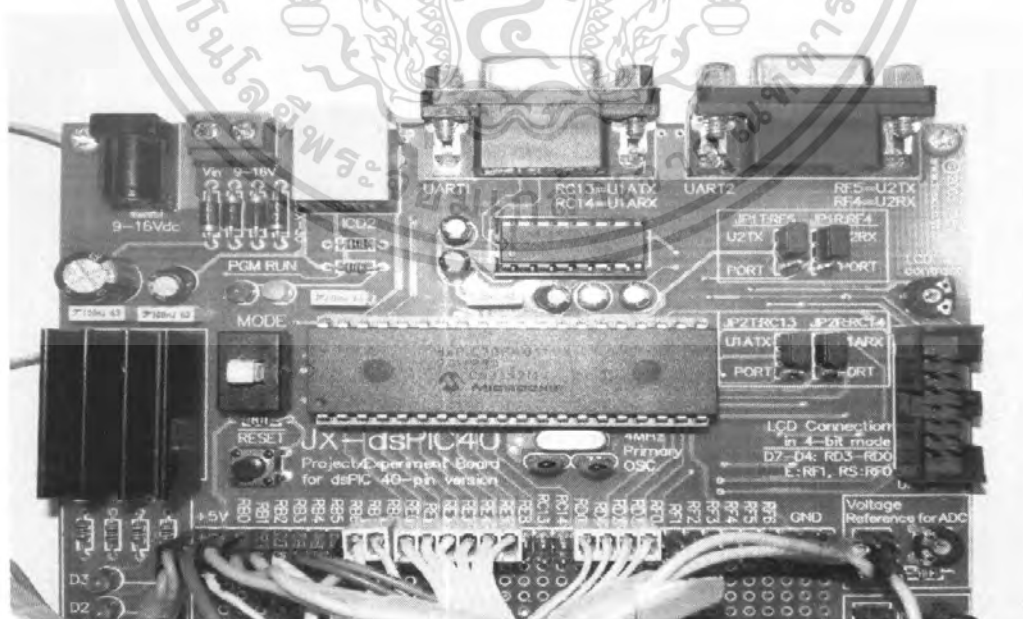


ภาพที่ 3.2 ชุด SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ชุดวงจร Zero crossing

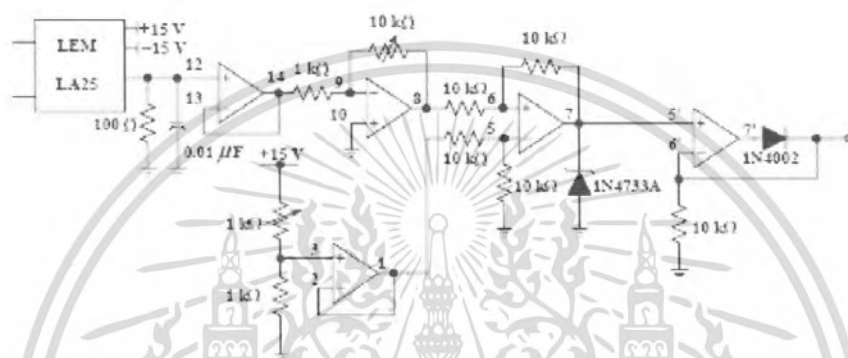


ภาพที่ 3.4 รุ่น dsPIC ที่นำมาใช้งาน

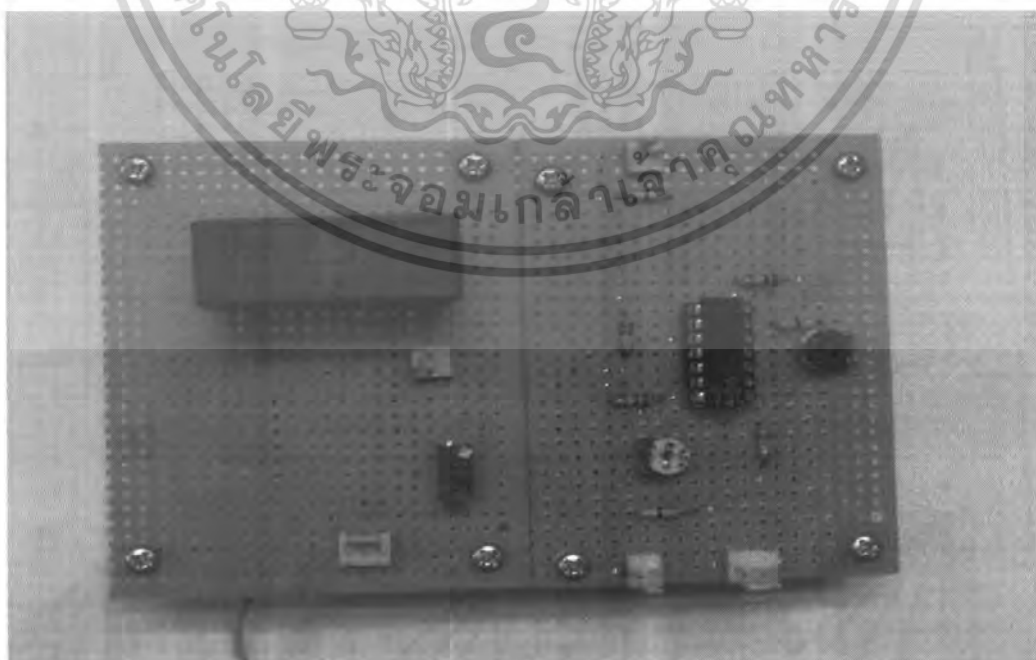
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

การตรวจจับสัญญาณกระแสจากอาร์เมเจอร์ใช้ฟิสิกส์ของกระแสไม่เกิน 25 A ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวตรวจจับกระแส LEM เบอร์ LA25-NP แล้วทำการเลือกอัตรากระแสอินพุตต่อกระแสเอาต์พุตไว้ที่ 1000:1 จากนั้นสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับกระแสจะส่งไปยังวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและปรับระดับออฟเซตซึ่งมีลักษณะวงจรเหมือนกับวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟสลับและไฟตรงที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงไว้ดังภาพ

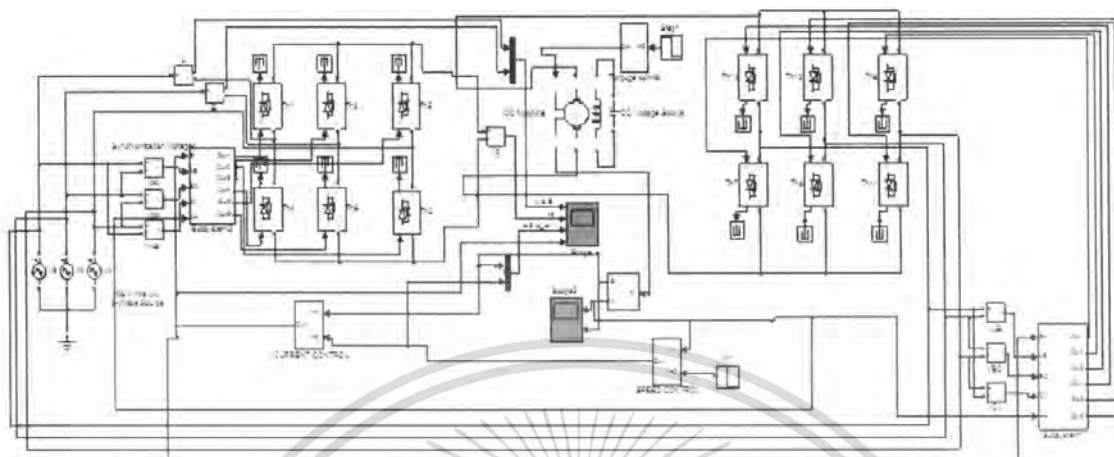


ภาพที่ 3.5 วงจรสัญญาณจับกระแสจากอาร์เมเจอร์

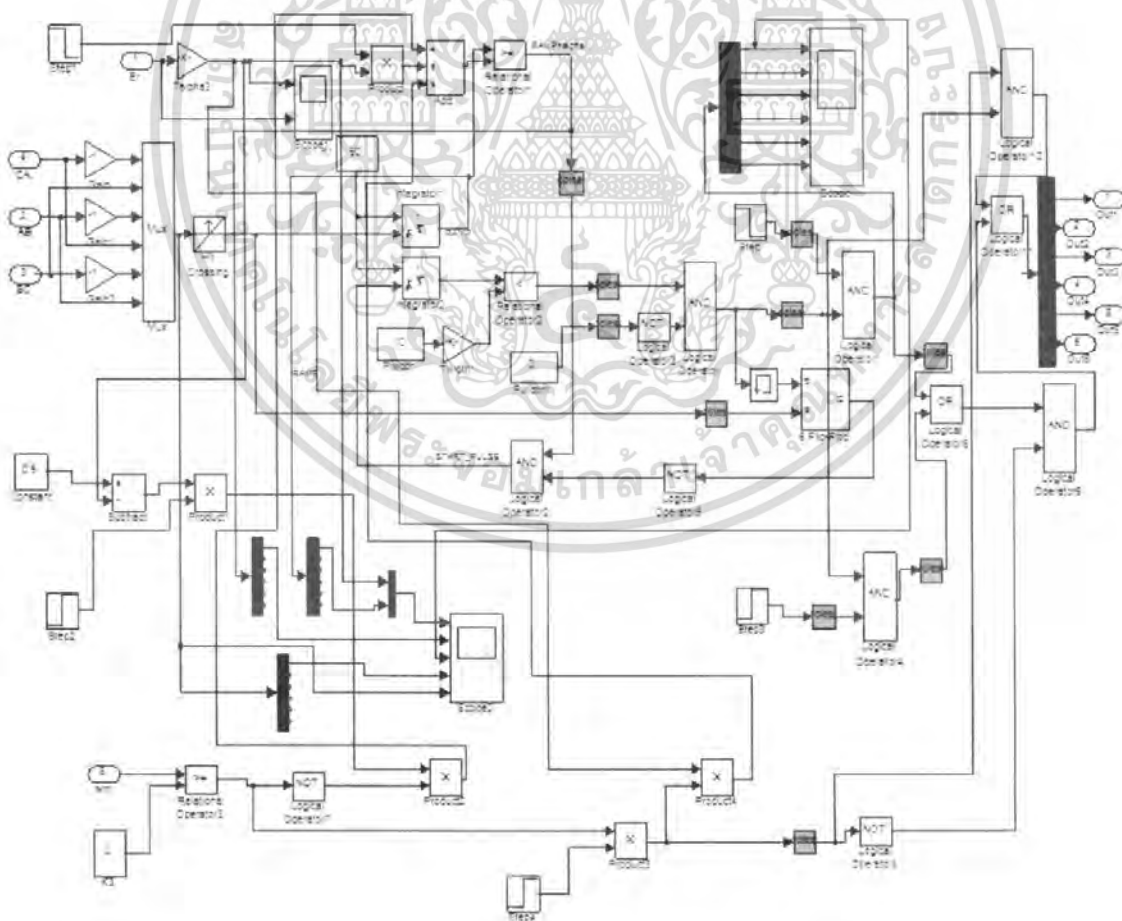


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ภาพที่ 3.6** วงจรจับสัญญาณกระแส สัญญาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจร dual converter ด้วยโปรแกรม MATLAB

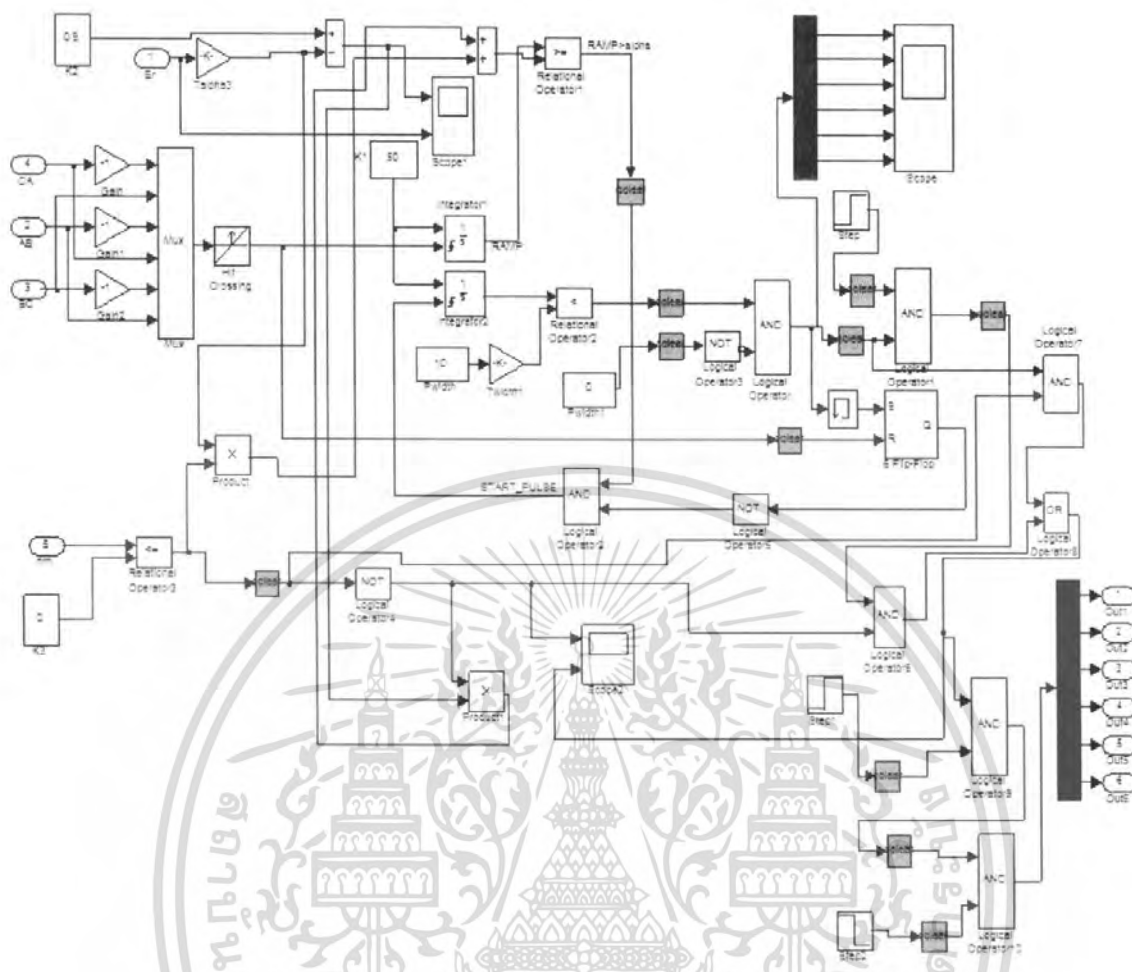


ภาพที่ 3.7 วงจร dual converter ที่ใช้ในการ Simulation

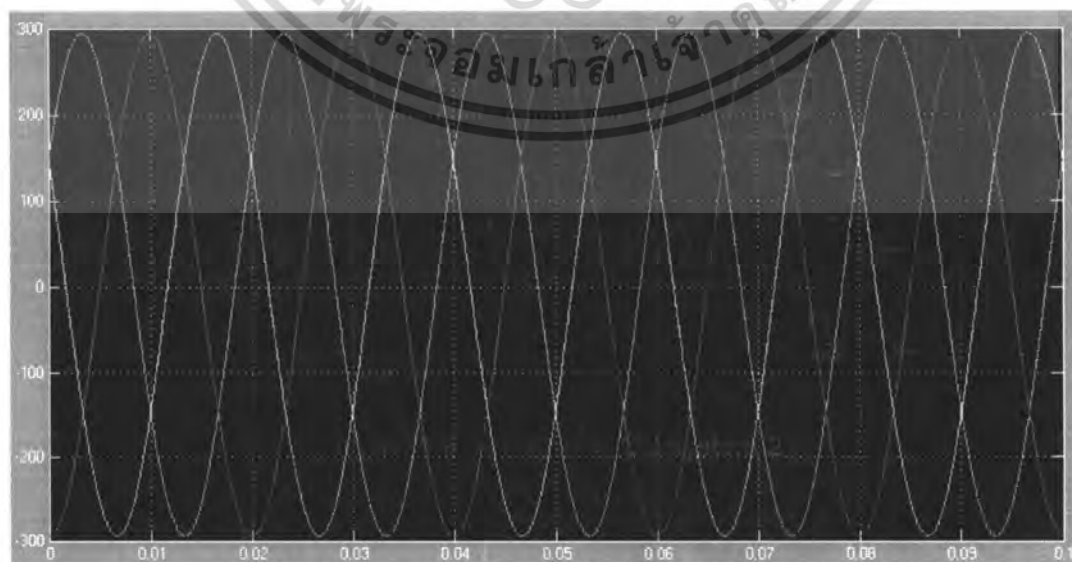


ภาพที่ 3.8 วงจรภายใน Subsystem 1

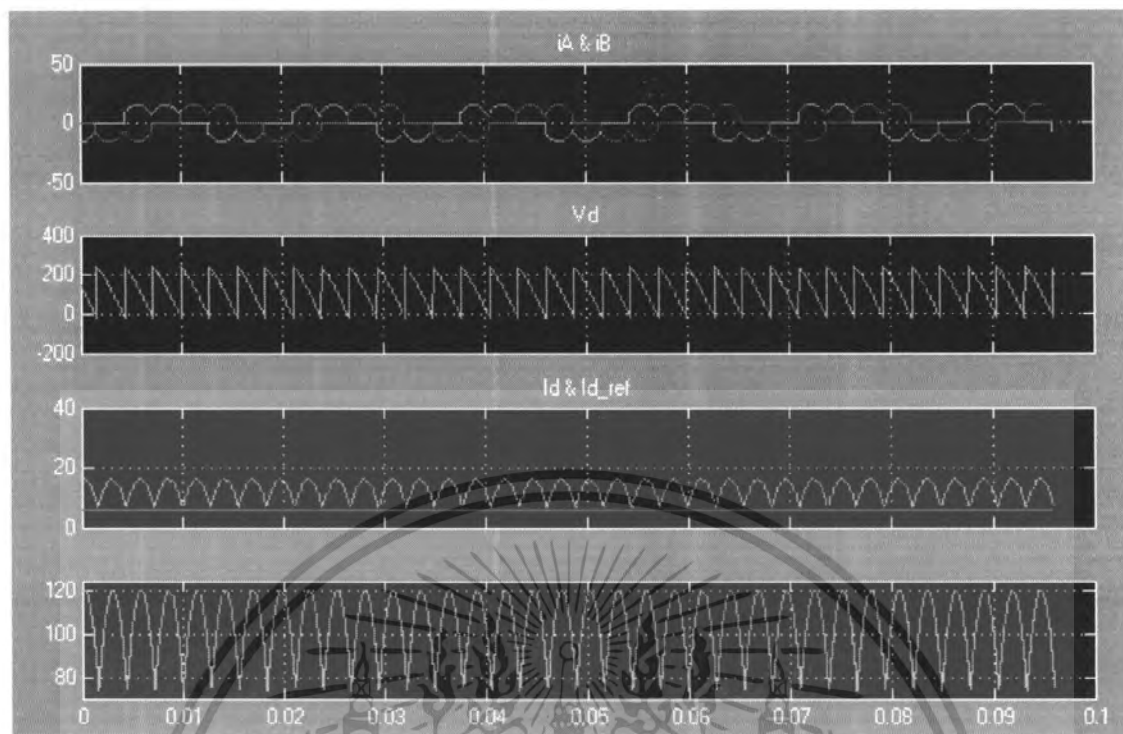
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



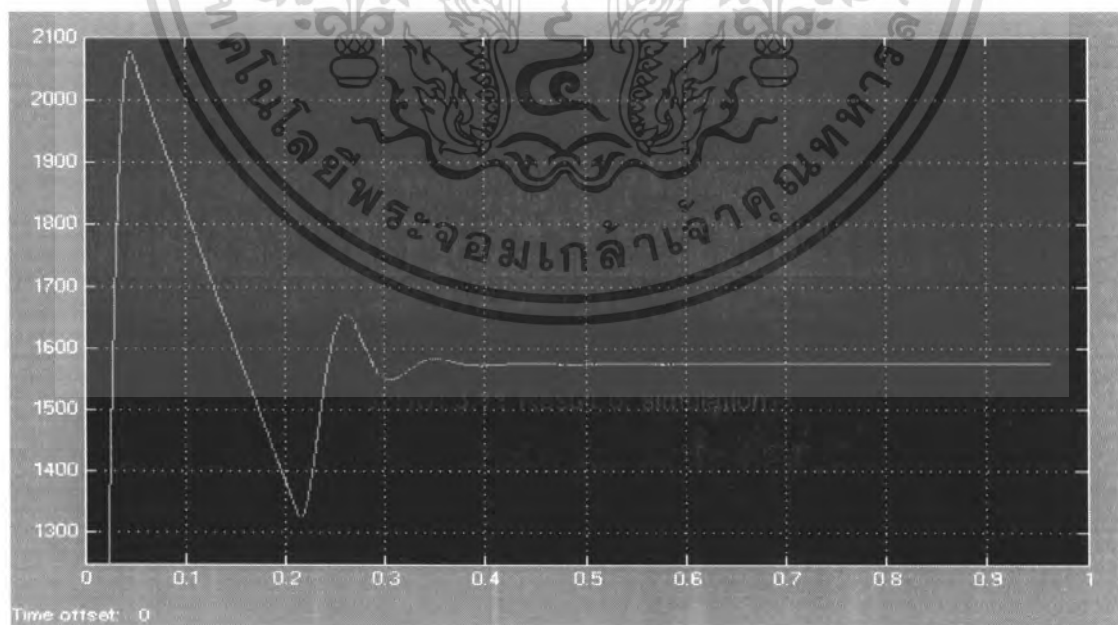
ภาพที่ 3.9 วงจรภายใน Subsystem 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**ภาพที่ 3.10 แรงดันอินพุต 3 เฟส (V input)**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

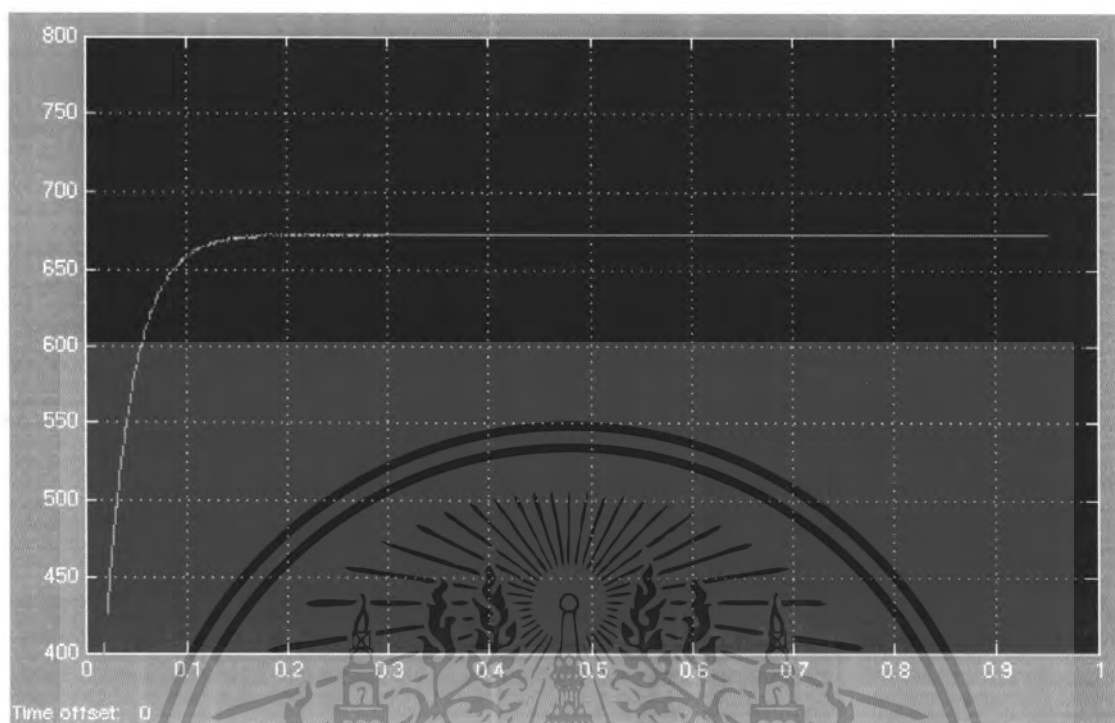


ภาพที่ 3.11 Result of simulation



ภาพที่ 3.12 Control loop speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

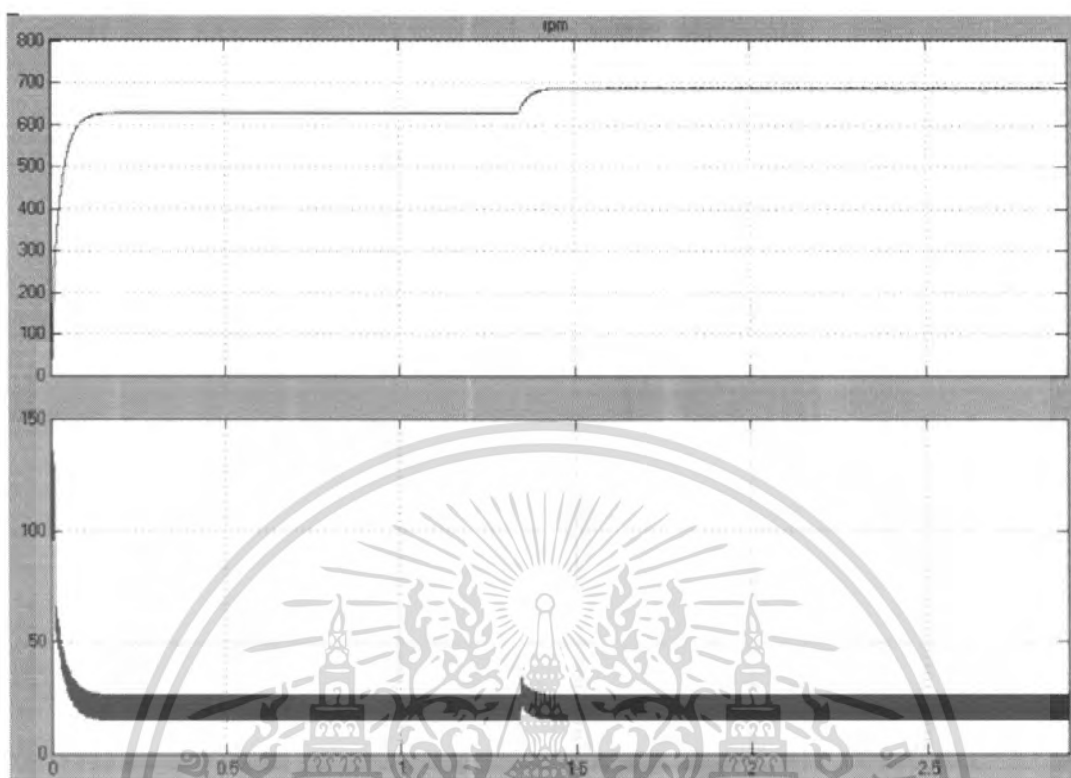


ภาพที่ 3.13 Control loop speed and loop current

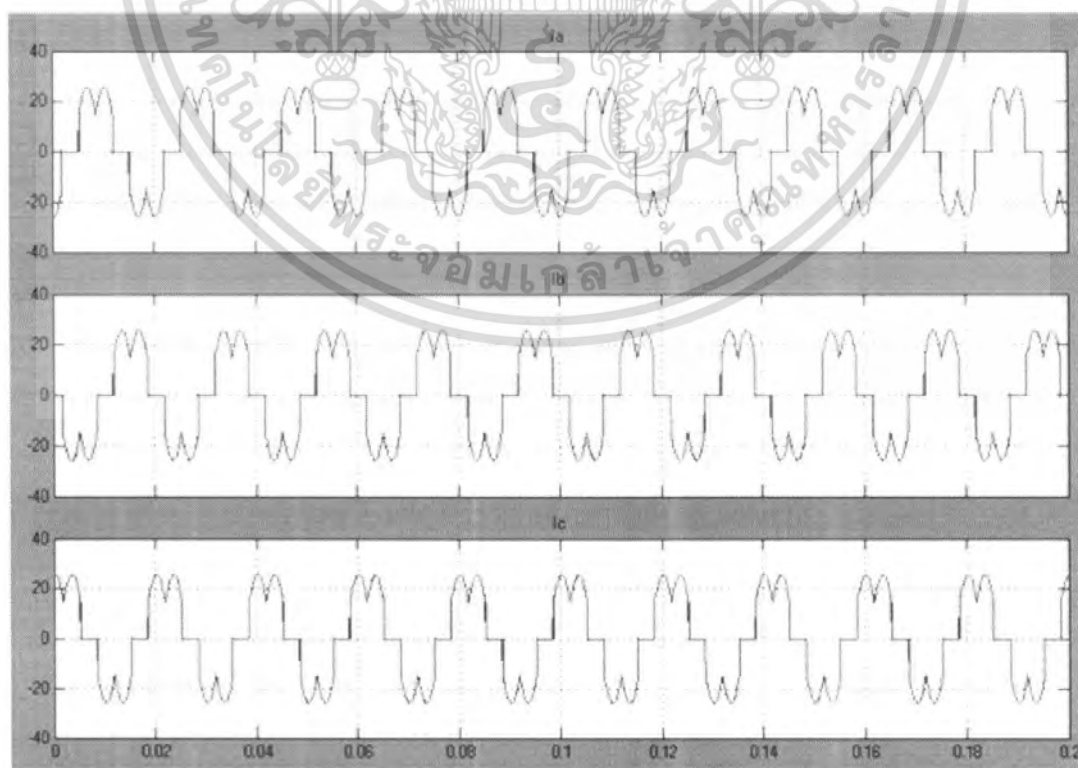


ภาพที่ 3.14 การใส่โหลดจาก 35 N.m เปลี่ยนเป็น 45 N.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

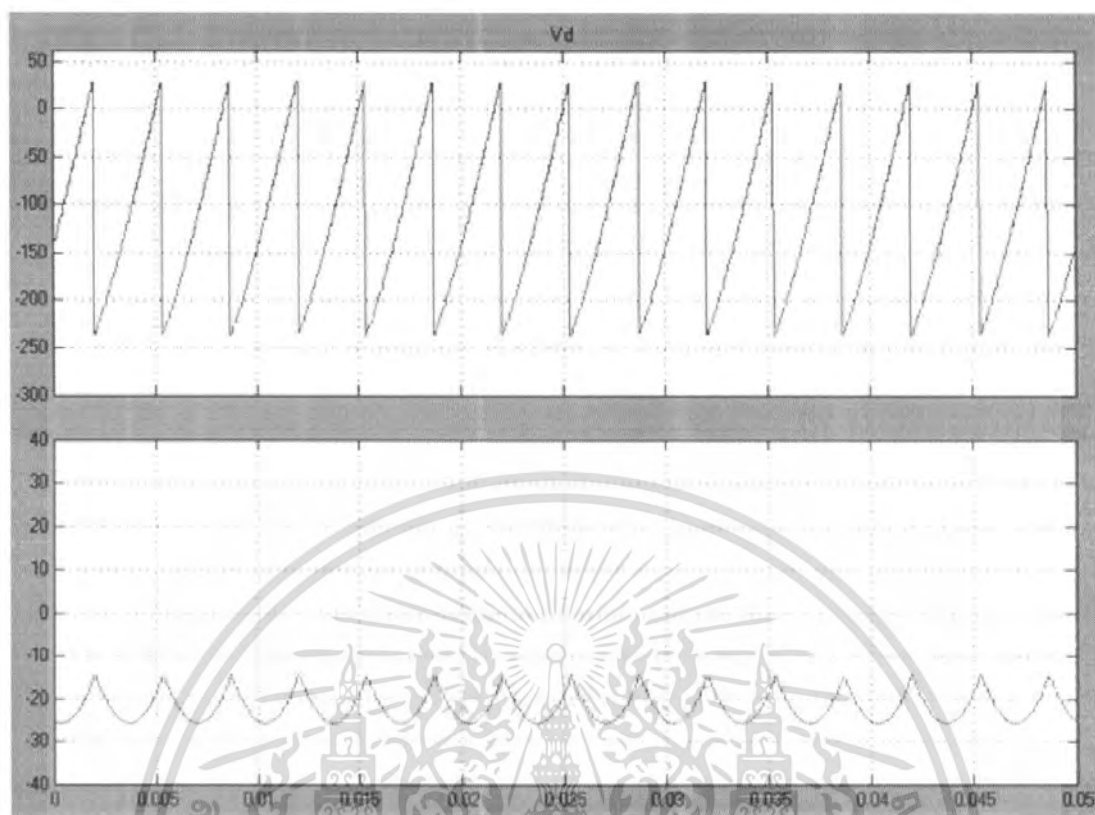


ภาพที่ 3.15 การปรับเพิ่มความเร็ว (speed)

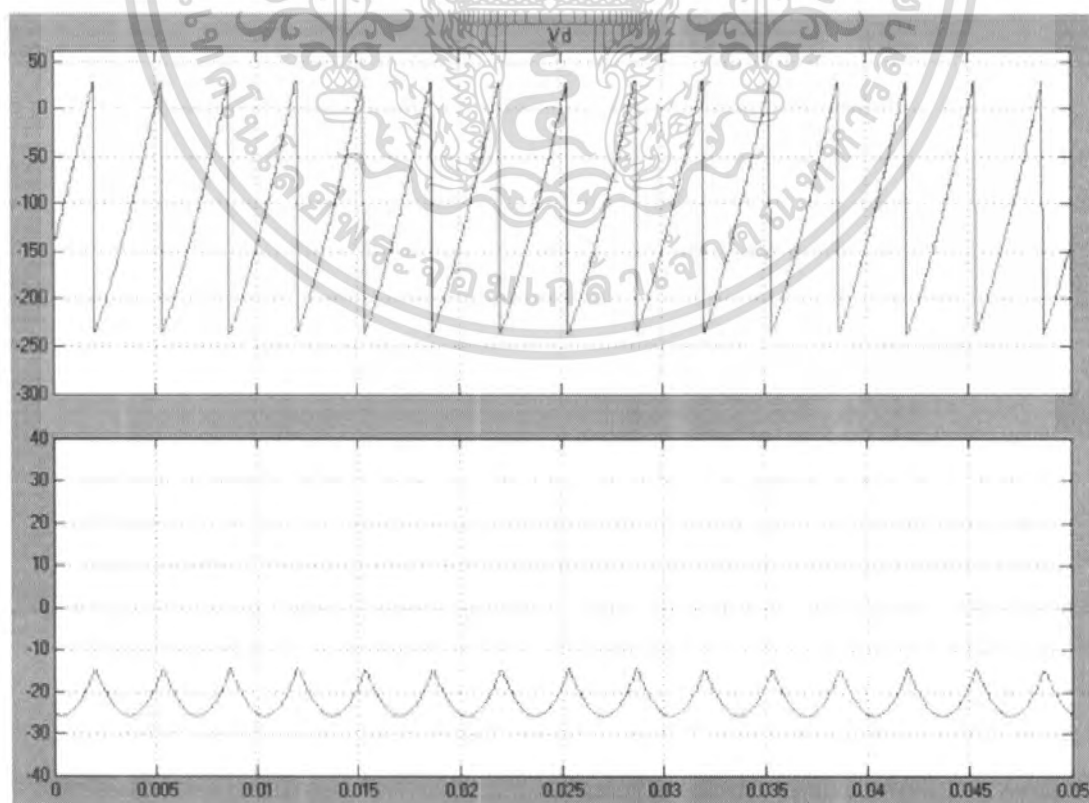


ภาพที่ 3.16 กระแสอินพุต la, lb,lc

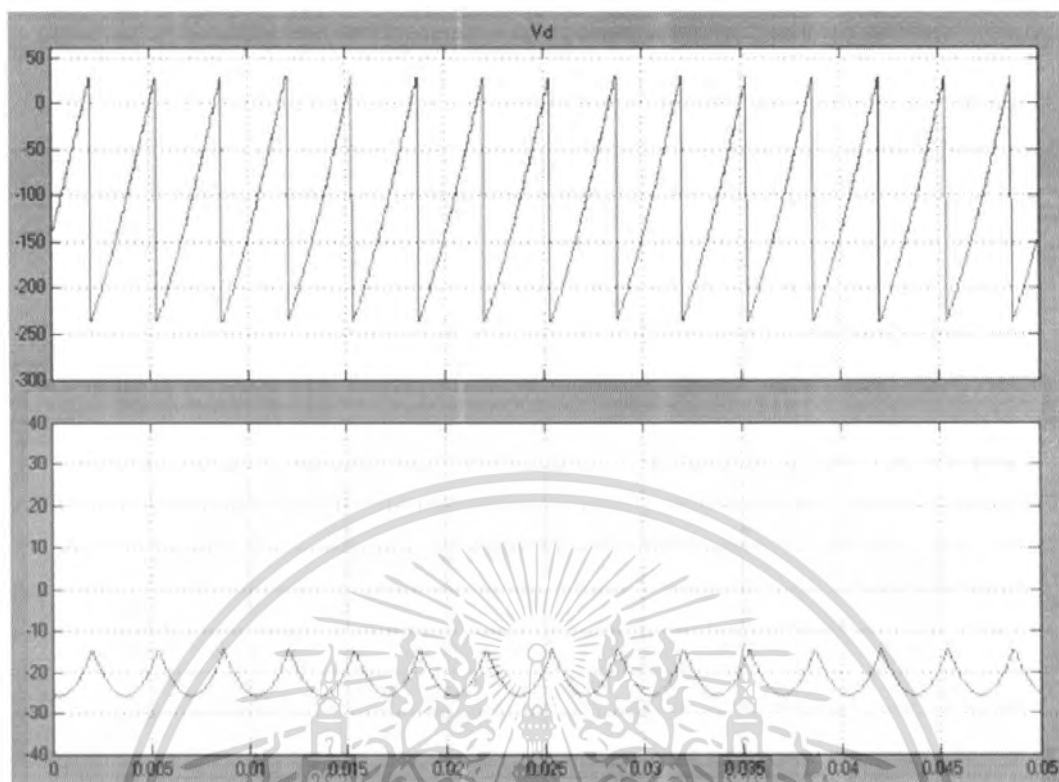
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



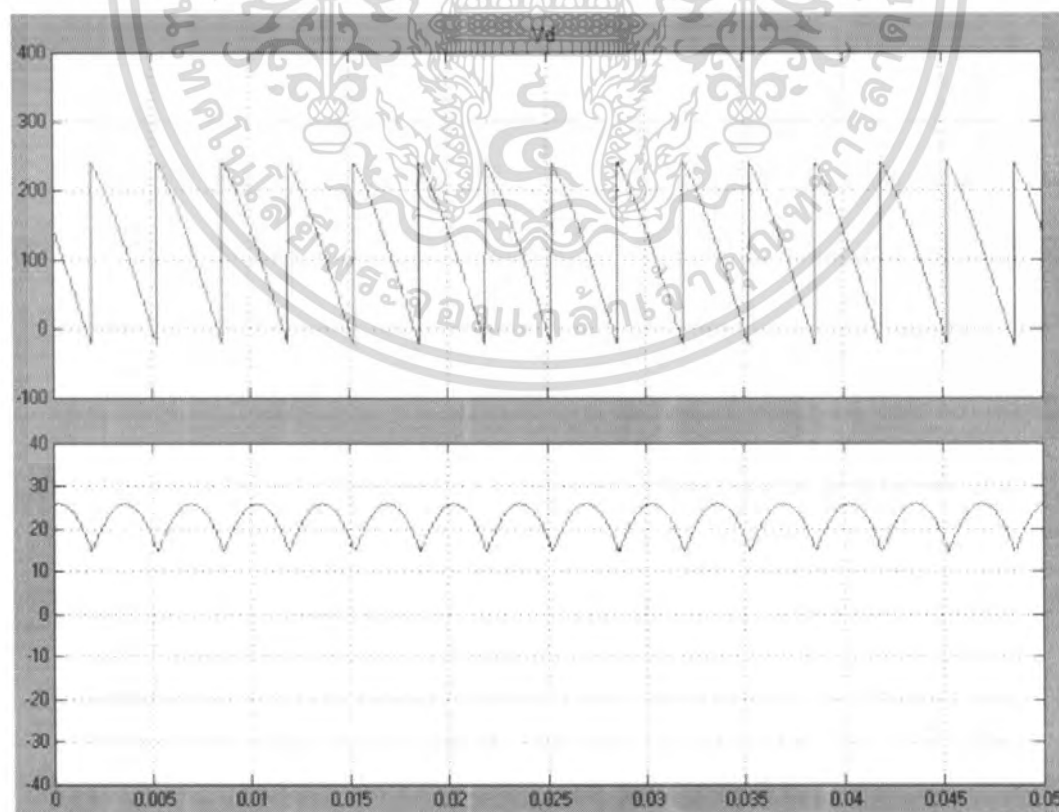
ภาพที่ 3.17 กระแส  $I_a$  และ แรงดัน  $V_d$  ที่ Quadrant 1 โหมด Forward Motoring



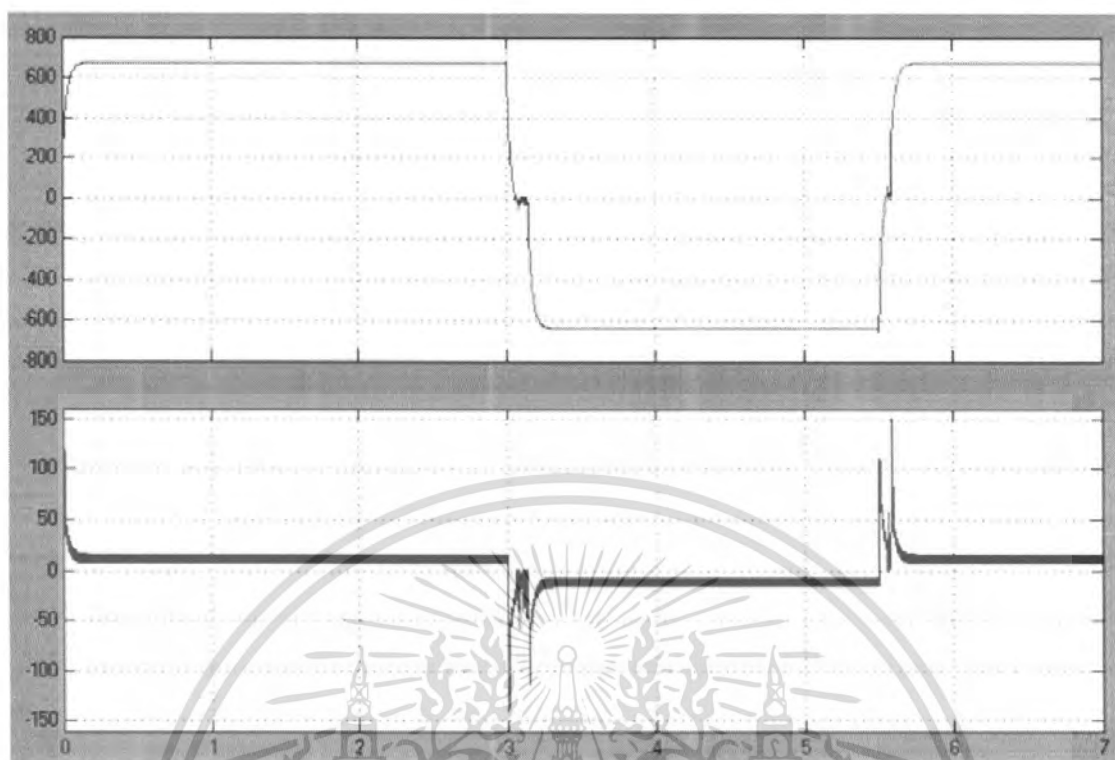
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ **ภาพที่ 3.18** กระแส  $I_a$  และ แรงดัน  $V_d$  ที่ Quadrant 2 โหมด Forward Braking นำไปใช้



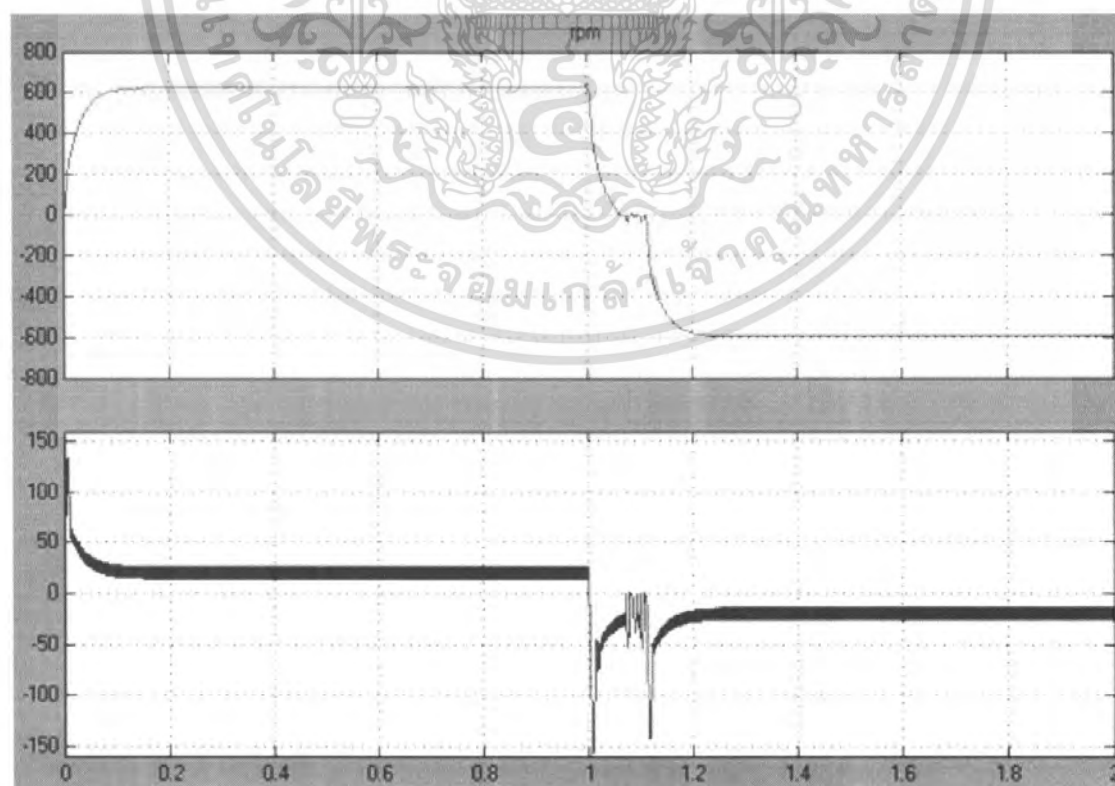
ภาพที่ 3.19 กระแส  $I_a$  และ แรงดัน  $V_d$  ที่ Quadrant 3 Reverse Motoring



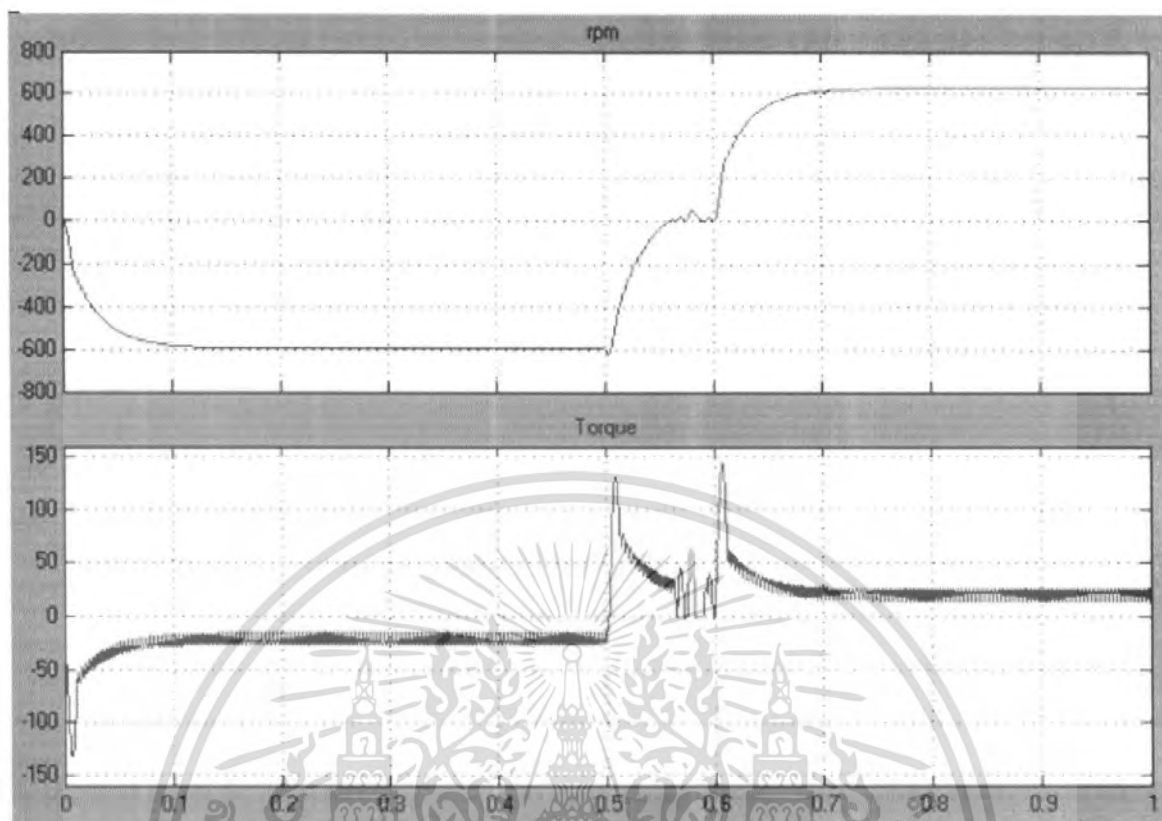
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ภาพที่ 3.20 กระแส  $I_a$  และ แรงดัน  $V_d$  ที่ Quadrant 4 Reverse Braking  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.21 ความเร็วรอบและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะทำงานทั้ง 4-Quadrant



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**ภาพที่ 3.22 การเปรียบเทียบความเร็วและทอร์ก ช่วงเปลี่ยนจาก Quadrant ที่ 1-2-3**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.23 การเปรียบเทียบความเร็วและทอร์ก ช่วงเปลี่ยนจาก Quadrant ที่ 3-4-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

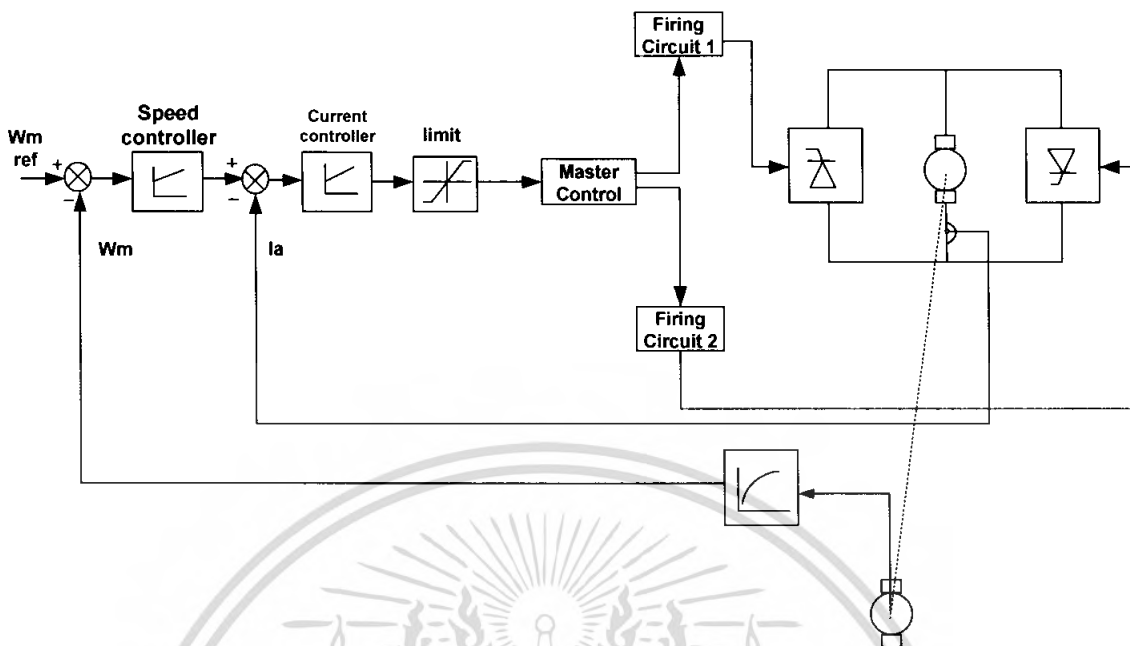
จากที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างวงจรครบทุกส่วนแล้ว ก็ทำการทดลองเพื่อเก็บผลแล้วนำมาวิเคราะห์ ซึ่งจะทำการทดลองในหัวข้อต่างๆดังนี้

- การทดลองหาค่า  $R_a$  ,  $R_f$  โดยวิธี V-I Method
- การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า
- การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสฟิลด์
- การทดสอบการทำงานและวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรทั้งระบบ
- การทดลองนำวงจรไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิด
- การทดลองนำวงจรไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด
- การเปรียบเทียบการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดและลูปเปิด
- การทดลองจำลองการขับมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Matlab

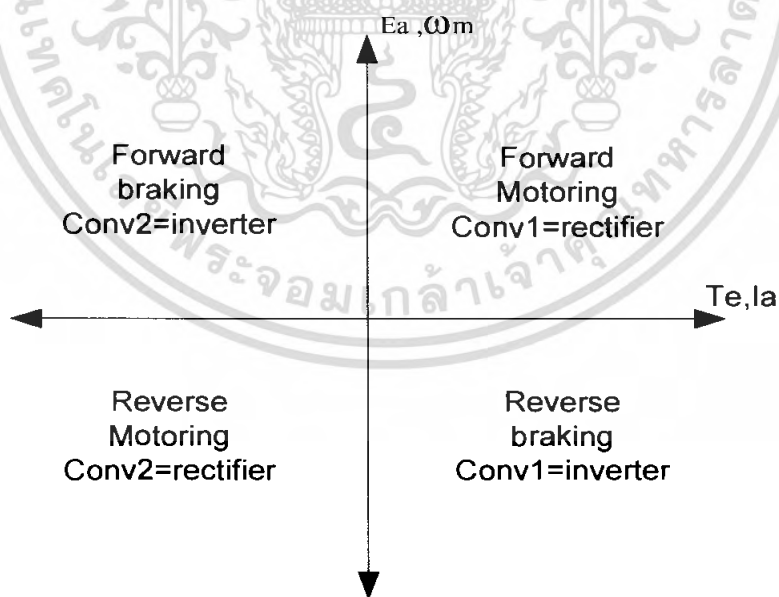
#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดแยกกระตุ้น(DC Motor FUJI ELECTRIC) ซึ่งมีพิกัดดังนี้  
พิกัดแรงดันอาร์เมเจอร์ : 220 V  
พิกัดกระแสอาร์เมเจอร์ : 13.5 A  
พิกัดกำลังไฟฟ้า : 2.2 kW  
พิกัดความเร็ว : 1150 / 2500 rpm  
พิกัดแรงกัตขดลวดฟิลด์ : 150 V
2. Digital Storage Oscilloscope YOKOGAWA DL1520
3. 1- $\Phi$  Variac 0-240 V 5 A
4. Multimeter SANWA YX361-TR
5. DC Voltmeter
6. DC Ampmeter
7. Encoder
8. Tacho-meter
9. ชุดทดสอบภาระ ประกอบด้วย Torque-meter , แฉงหลอดไฟ , สายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการที่แสดงทิศทางแรงดันที่ขั้ว,กระแสอาร์เมเจอร์



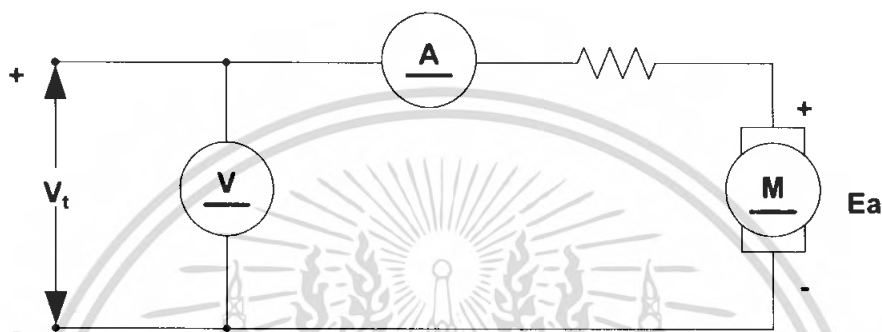
ภาพที่ 4.2 ให้แกนนอนเป็นทอร์กหรือกระแสอาร์เมเจอร์และแกนตั้งเป็นแรงดันอาร์เมเจอร์หรือความเร็วรอบโดยทำงานที่โหมดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 การทดลองหาค่า $R_a$ , $R_f$ โดยวิธี V-I Method

##### 4.1.1 ขั้นตอนการทดลองหาค่า $R_a$

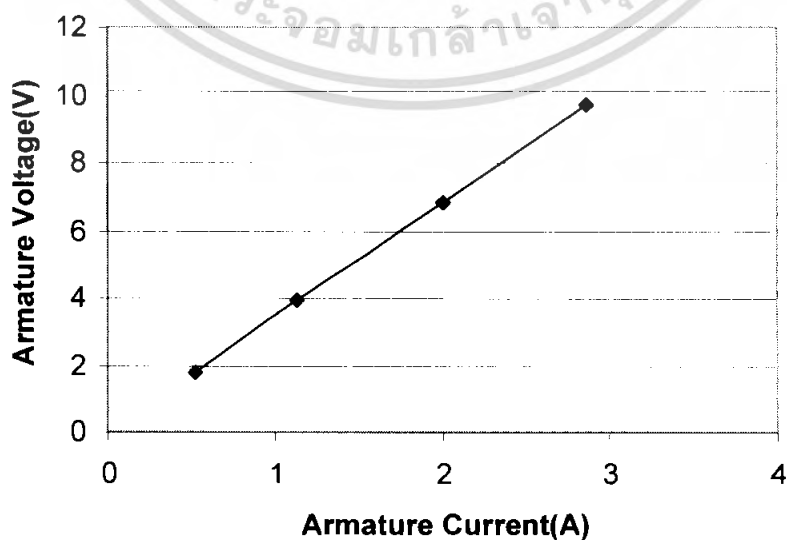
1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามภาพที่ 4.3 จะป้อนแรงดันให้เฉพาะในส่วน  
ของขดอาร์เมเจอร์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับขดฟิลด์จะกำหนดให้มีค่าเป็น 0
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเพิ่มแรงดันที่ป้อนเข้าจนถึงค่าที่ตั้งไว้
3. ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และกระแสอาร์เมเจอร์



ภาพที่ 4.3 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า  $R_a$

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์

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



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ทำการคำนวณหาค่า  $R_a$  จาก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_a = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} \quad (1.1)$$

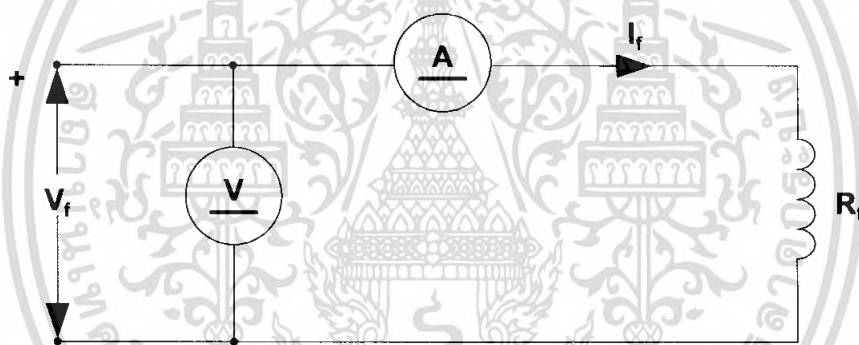
จะได้

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

$$R_a = 3.27 \quad \Omega$$

#### 4.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาค่า $R_f$

1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามภาพที่ 4.5 ซึ่งจะป้อนแรงดันให้เฉพาะในส่วนของขดลวดฟิลด์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเพิ่มแรงดันที่ป้อนเข้าจนถึงค่าที่ตั้งไว้
3. ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และกระแสฟิลด์

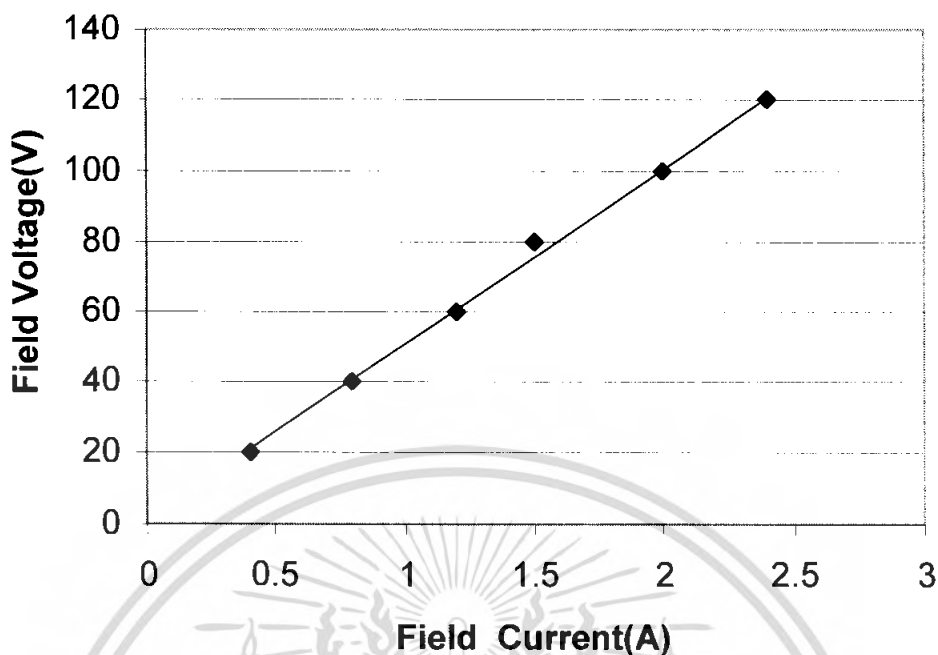


ภาพที่ 4.5 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า  $R_f$

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสฟิลด์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสฟิลด์

ทำการคำนวณหาค่า  $R_f$  จาก

$$R_f = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f}$$

(1.2)

จะได้

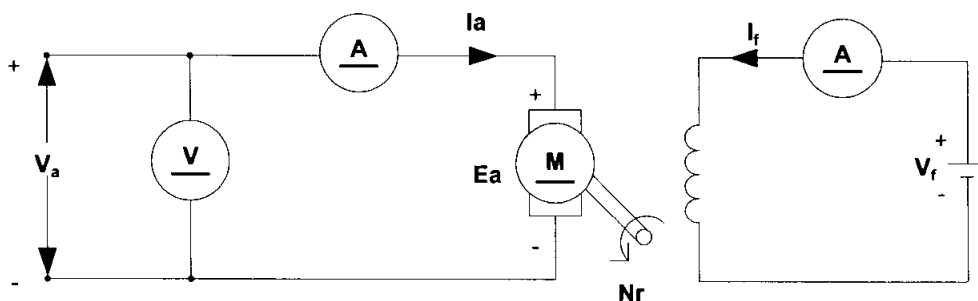
$$R_f = \frac{80 - 60}{1.5 - 1.2}$$

$$R_f = 66.67 \quad \Omega$$

#### 4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามภาพที่ 4.7 โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดฟิลด์คงที่ที่ค่าพิกัด 150 V
2. ทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่กำหนด
3. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าและค่ากระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

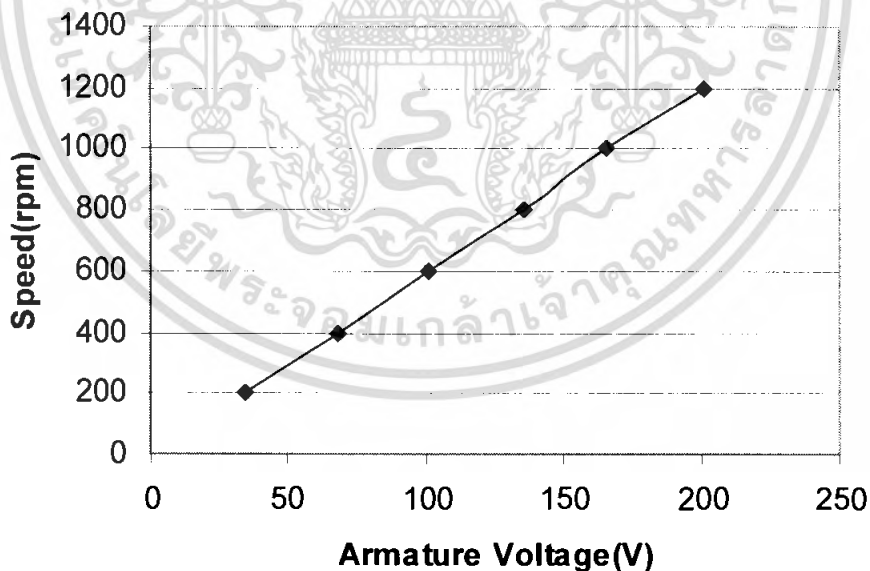
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขั้วไวกะระ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

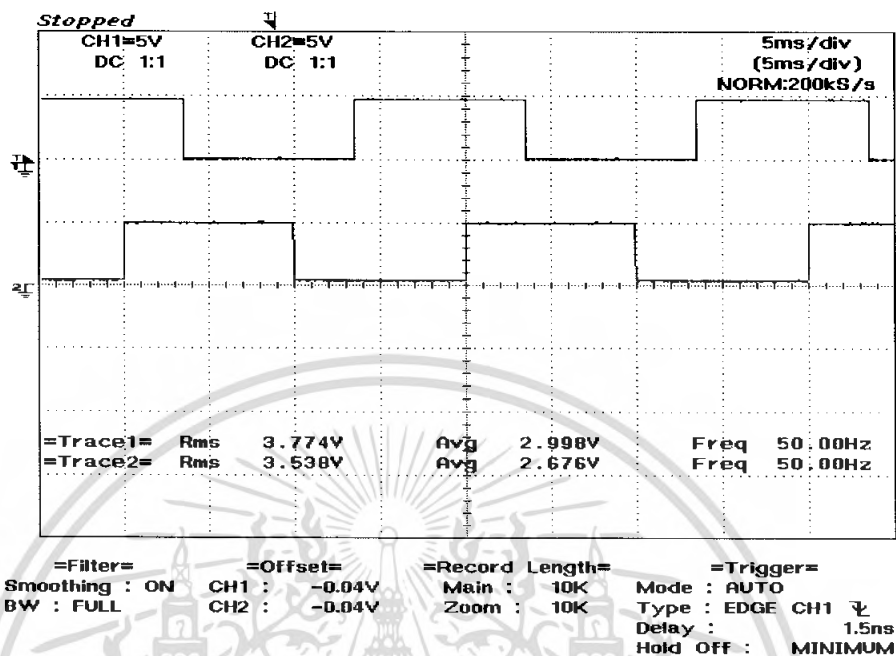
$N_r$ (rpm)	200	400	600	800	1000	1200
$V_i$ (V)	34.5	68.7	101.4	135.4	165.7	201.3
$I_a$ (A)	1.14	1.16	1.18	1.22	1.24	1.28



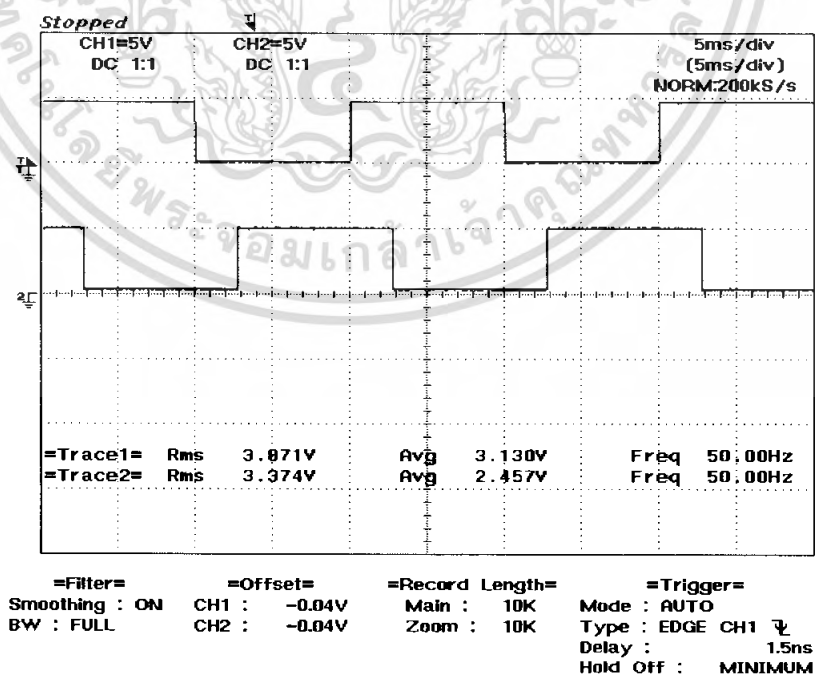
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันที่ป้อนเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การวัดสัญญาณชุดควบคุม

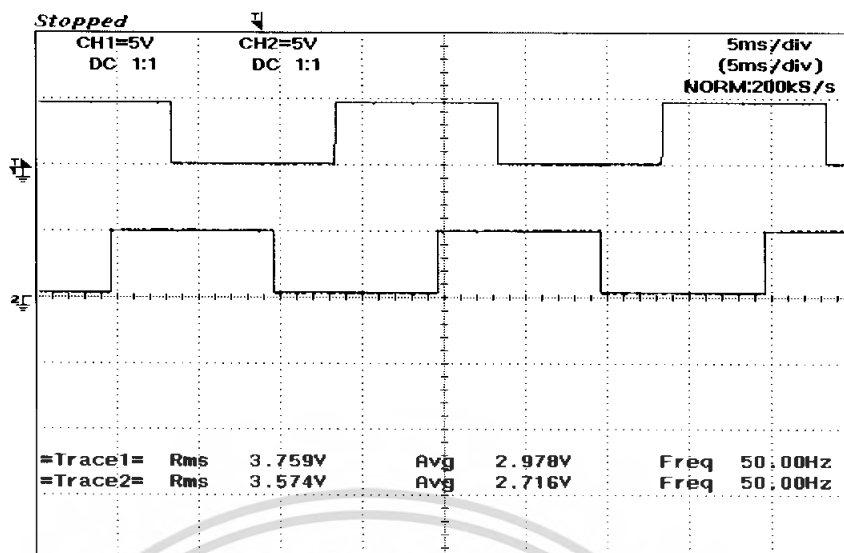


ภาพที่ 4.9 Zero Crossing ระหว่างเฟส AB



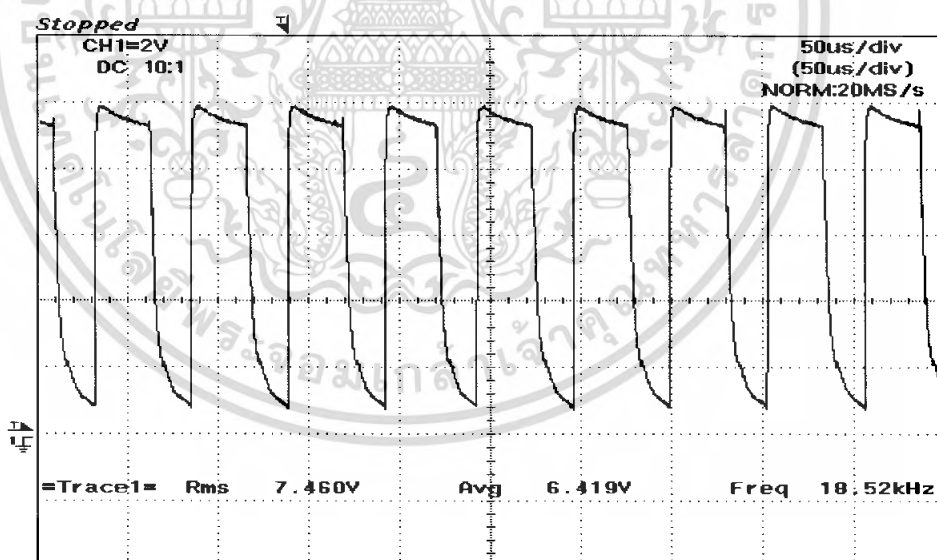
ภาพที่ 4.10 Zero Crossing ระหว่างเฟส BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL  
 =Offset= CH1 : -0.04V CH2 : -0.04V  
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K  
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 1.5ns Hold Off : MINIMUM

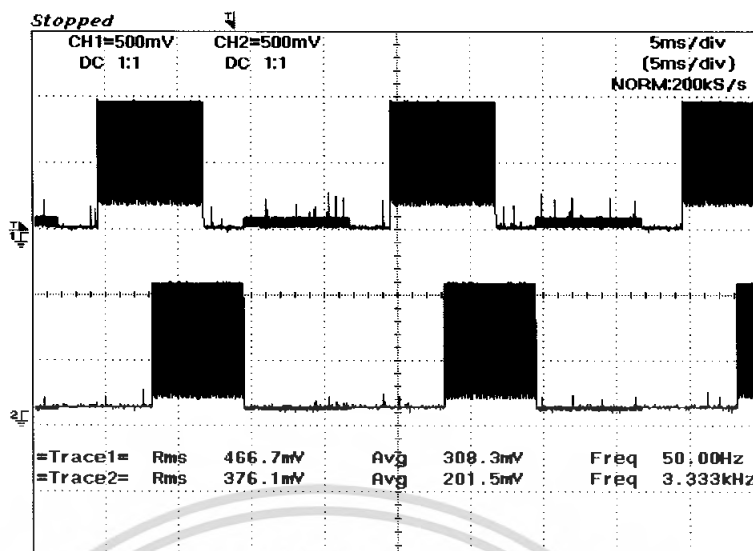
ภาพที่ 4.11 Zero Crossing ระหว่างเฟส CA



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL  
 =Offset= CH1 : -0.30V CH2 : -0.04V  
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K  
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 1.5ns Hold Off : MINIMUM

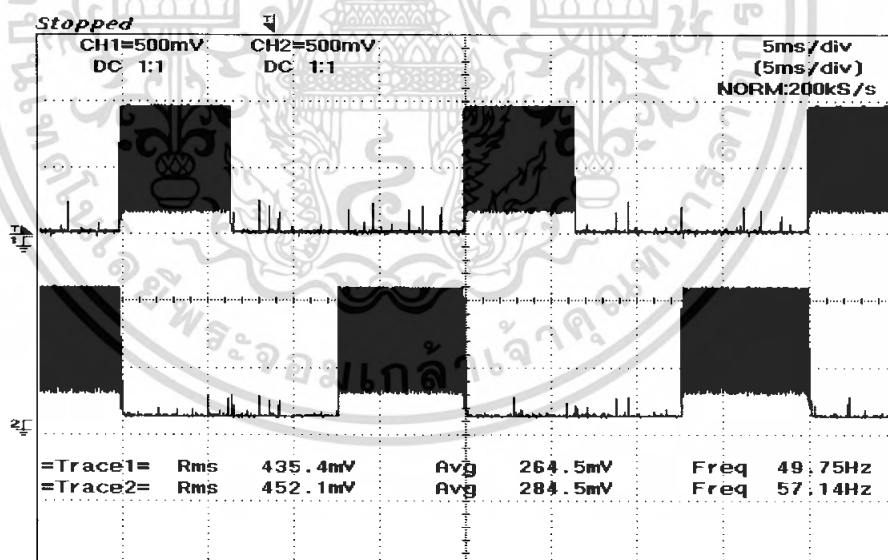
ภาพที่ 4.12 สัญญาณ Pulse ทริกเกต SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL  
 =Offset= CH1 : -0.040V CH2 : -0.040V  
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K  
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 1.5ns Hold Off : MINIMUM

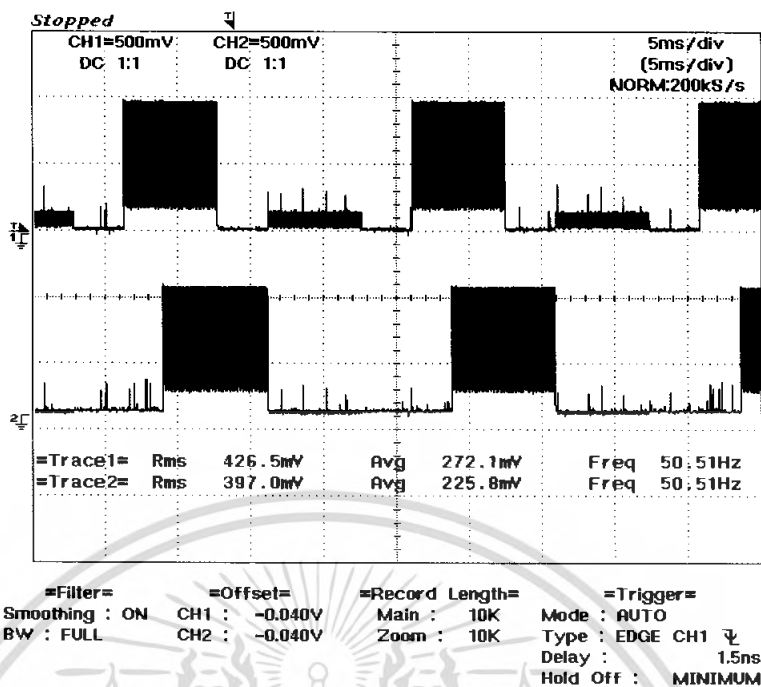
ภาพที่ 4.13 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 6,1



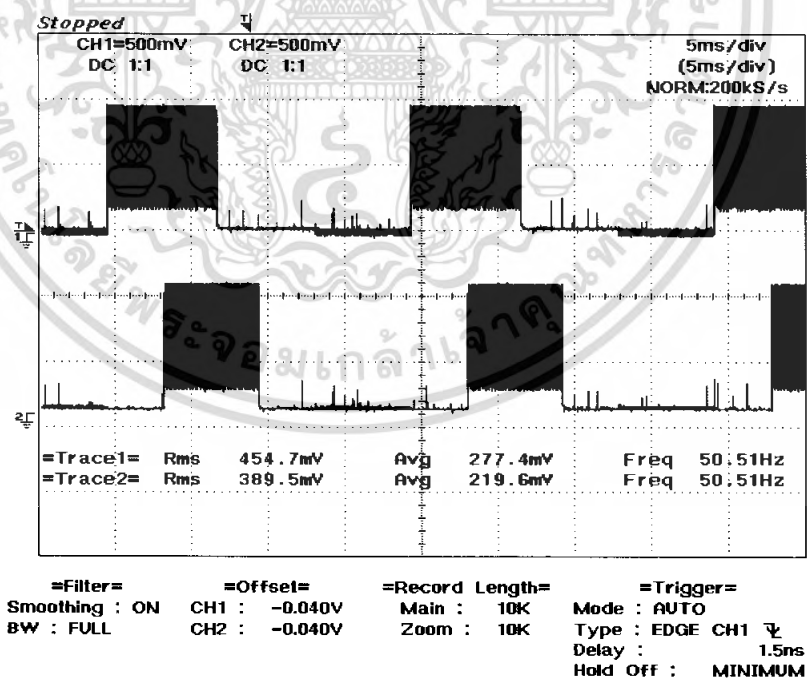
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL  
 =Offset= CH1 : -0.040V CH2 : -0.040V  
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K  
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 1.5ns Hold Off : MINIMUM

ภาพที่ 4.14 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 1,2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

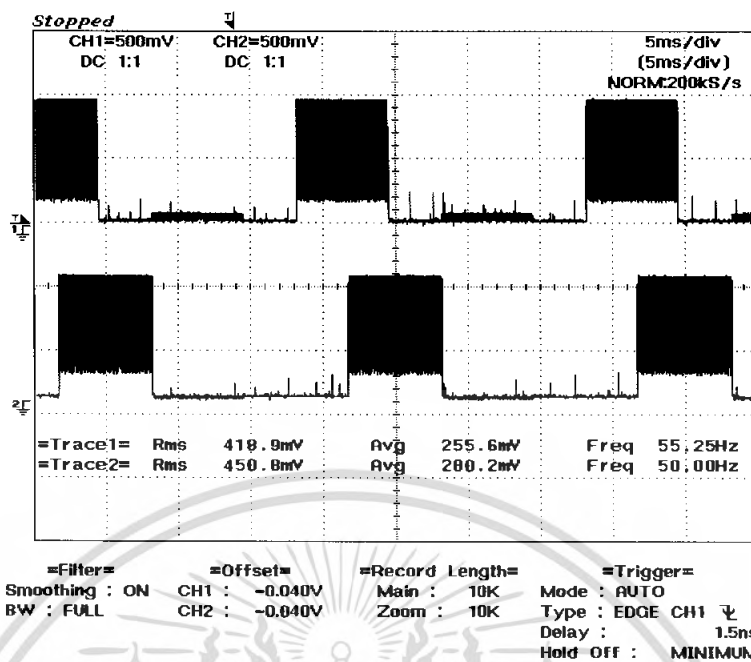


ภาพที่ 4.15 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 2,3

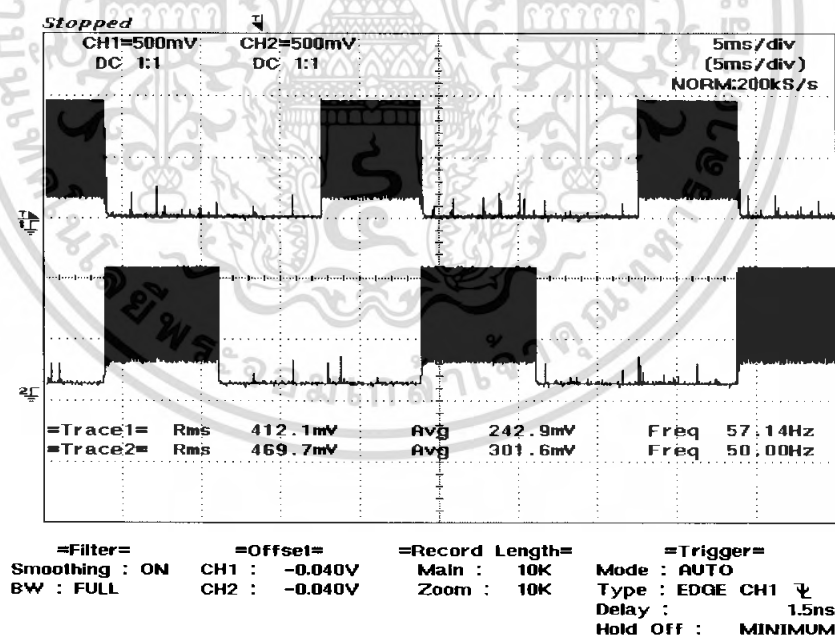


ภาพที่ 4.16 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 3,4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 4,5



ภาพที่ 4.18 สัญญาณ Pulse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 5,6

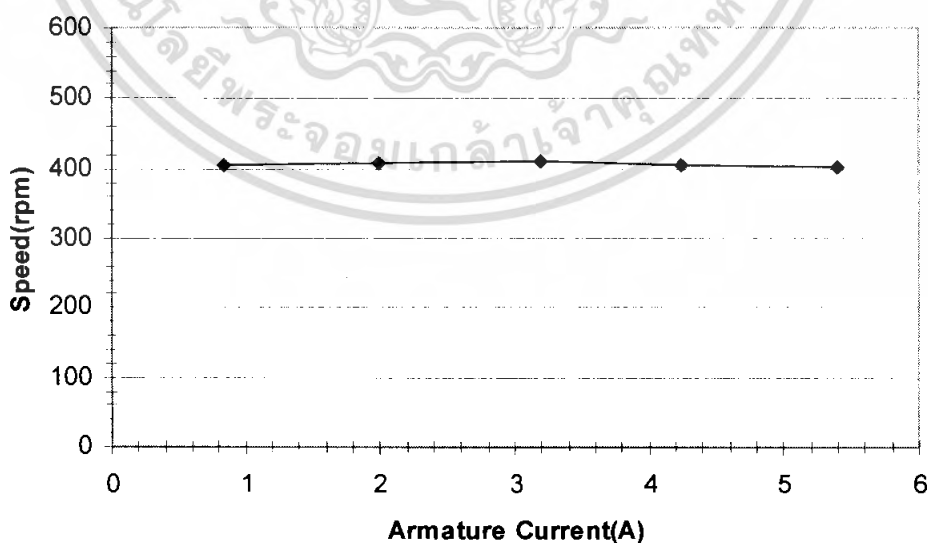
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบรูปเปิดที่โหลดค่าต่าง ๆ ขั้นตอนการทดลอง

1. นำวงจรไปขับมอเตอร์แบบรูปเปิดที่ความเร็ว 400,800,1200 รอบต่อ นาทีตามลำดับ
2. ขณะที่หมุนมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆทำการใส่โหลดหลอดไฟฟฟ้าให้แก่ Generator ที่ 0%, 25%, 50%, 75%, 100% Generator ที่พิกัดของตามลำดับ
3. ขณะที่ทำการใส่โหลดที่ค่าต่างๆทำการบันทึกค่าความเร็ว, แรงดันอาร์เมเจอร์ และกระแสอาร์เมเจอร์
4. ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อกระแส

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 404 rpm

Load	0%	25%	50%	75%	100%
หลอดไฟ	(0 w)	(550 w)	(1100 w)	(1650 w)	(2200 w)
$N_r$ (rpm)	404	408	410	406	403
$V_t$ (V)	70	73	78	81	82
$I_a$ (A)	0.84	2.00	3.20	4.25	5.40

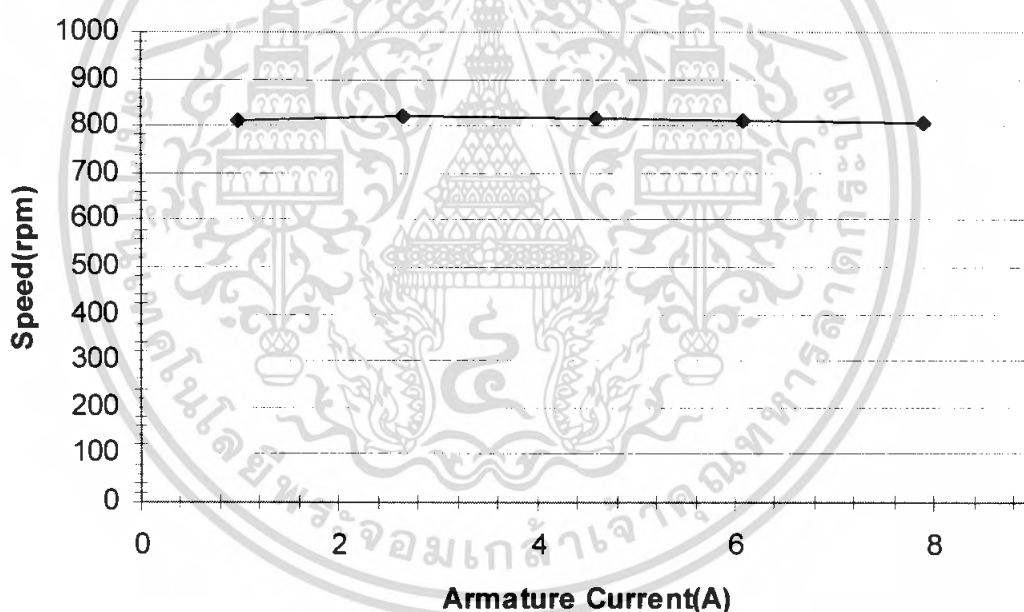


ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบรูปปิด ที่ความเร็วเริ่มต้น 408 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 809 rpm

Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
$N_r$ (rpm)	809	818	814	811	807
$V_t$ (V)	134	141	145	148	151
$I_a$ (A)	0.98	2.65	4.60	6.10	7.90

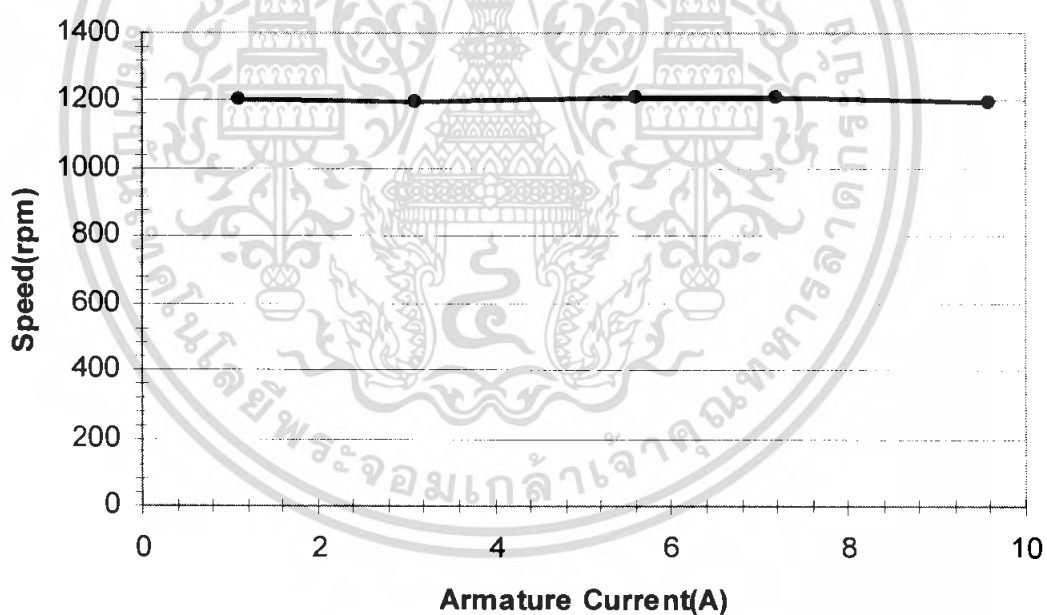


ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปปิด  
ที่ความเร็วเริ่มต้น 814 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1204 rpm

Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
$N_r$ (rpm)	1204	1198	1207	1209	1196
$V_t$ (V)	197	201	208	210	212
$I_a$ (A)	1.10	3.10	5.60	7.20	9.9

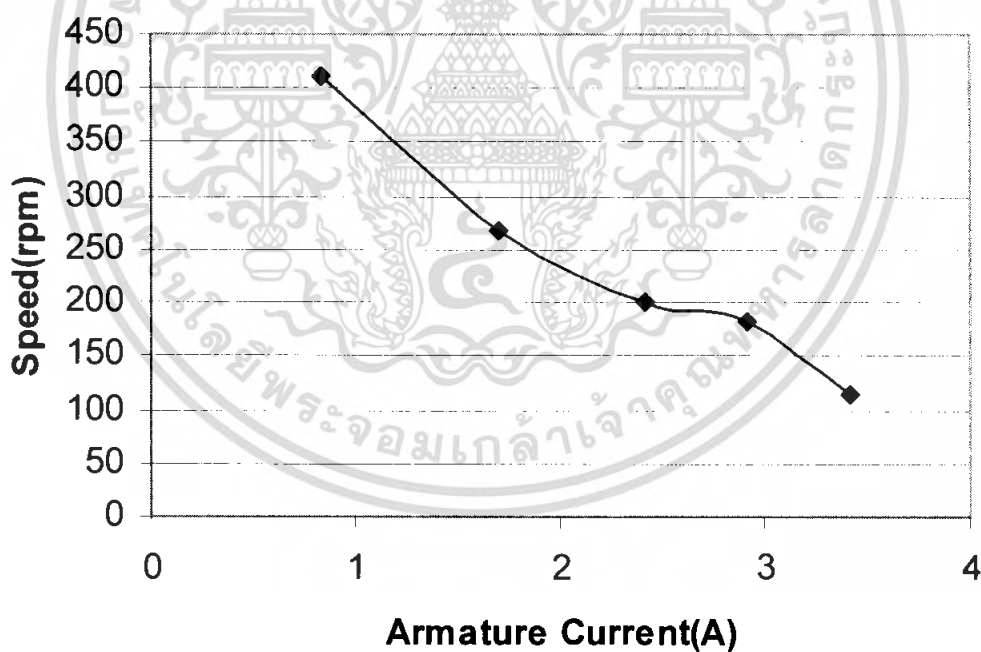


ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปิด  
ที่ความเร็วเริ่มต้น 1171 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 411 rpm

Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
$N_r$ (rpm)	411	269	200	181	115
$V_t$ (V)	72.3	51.6	30.6	28.7	26.2
$I_a$ (A)	0.84	1.70	2.42	2.92	3.42

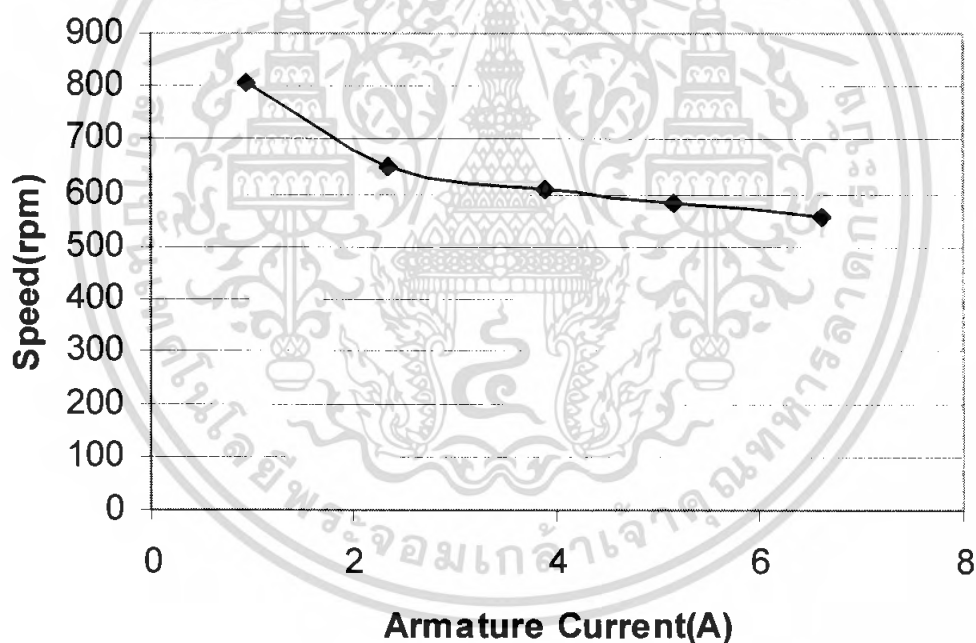


ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิดที่ความเร็วเริ่มต้น 411 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 805 rpm

Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
$N_r$ (rpm)	805	650	609	585	556
$V_t$ (V)	139.2	118.7	115.4	110.5	109.3
$I_a$ (A)	0.94	2.36	3.90	5.16	6.62

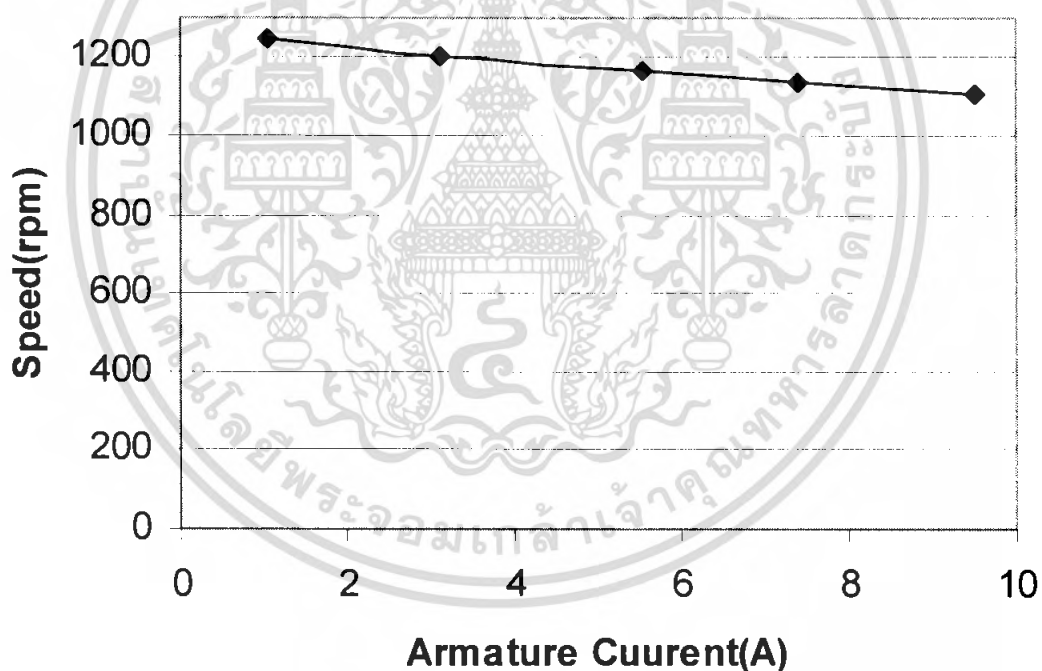


ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 805 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

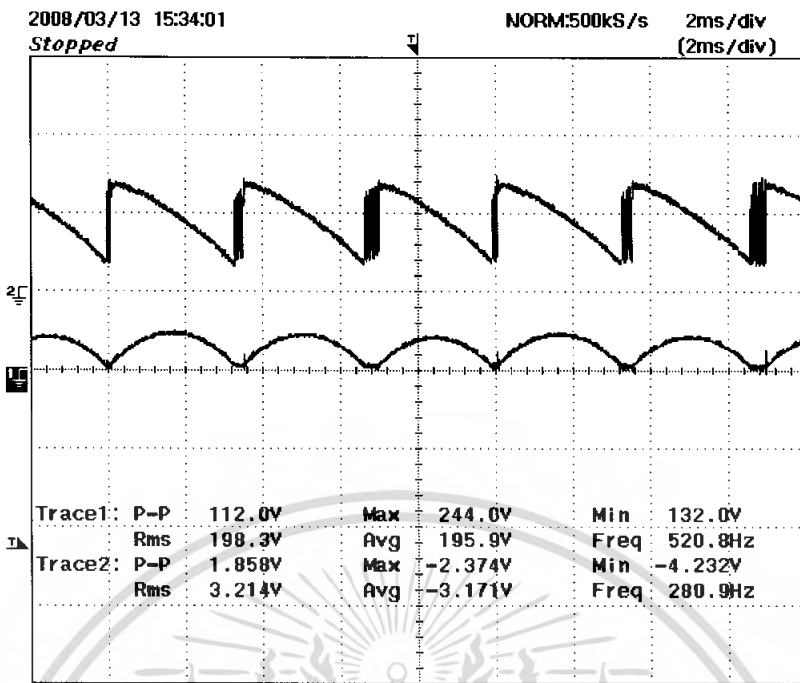
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1245 rpm

Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
$N_r$ (rpm)	1245	1203	1167	1137	1102
$V_t$ (V)	215.4	213.8	210.5	209.6	207.5
$I_a$ (A)	1.04	3.14	5.56	7.40	9.5

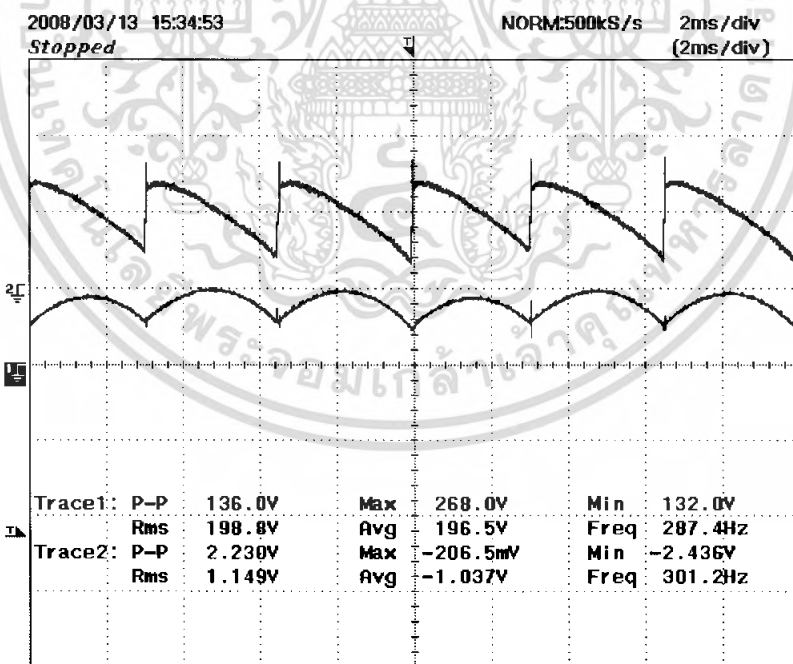


ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 1245 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

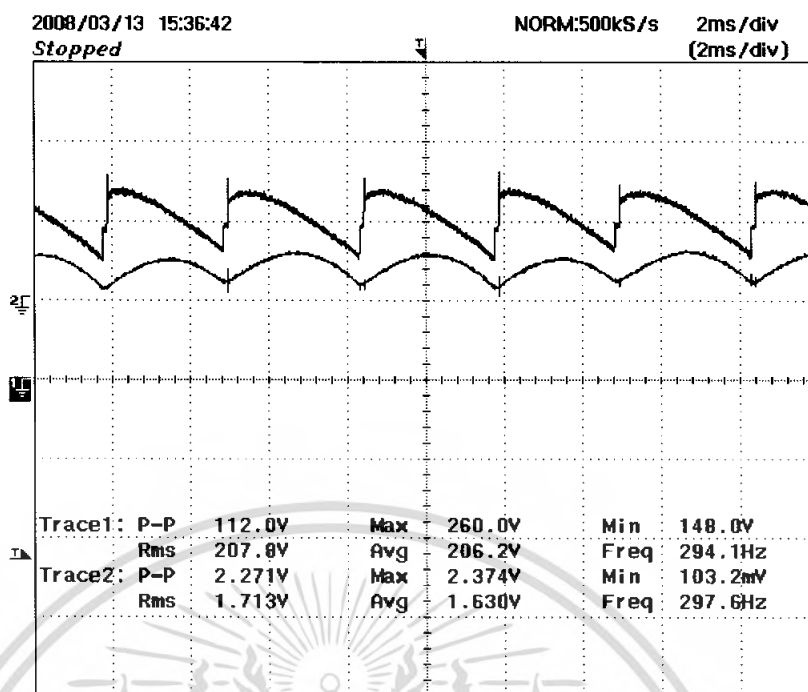


ภาพที่ 4.25 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring ไม่มีโหลด (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

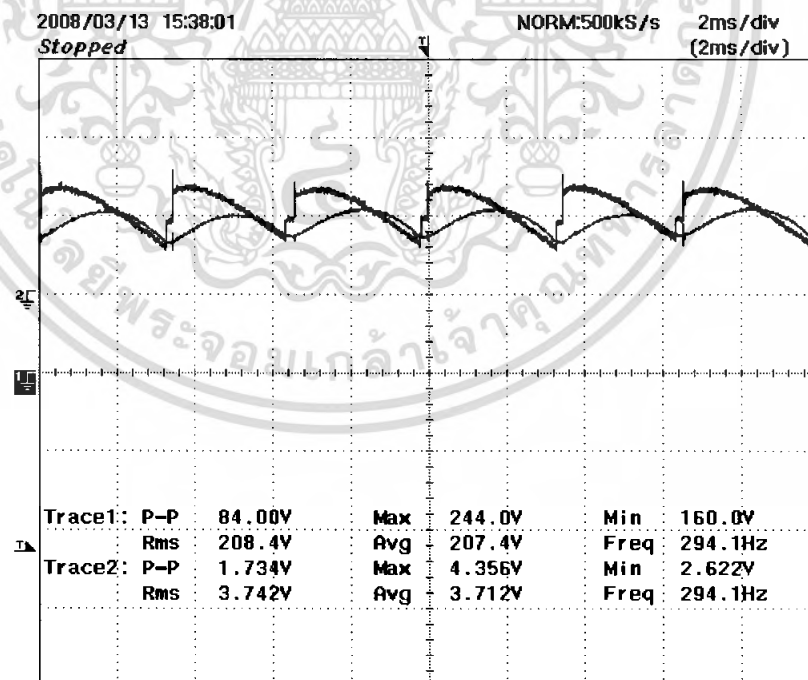


ภาพที่ 4.26 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 500W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

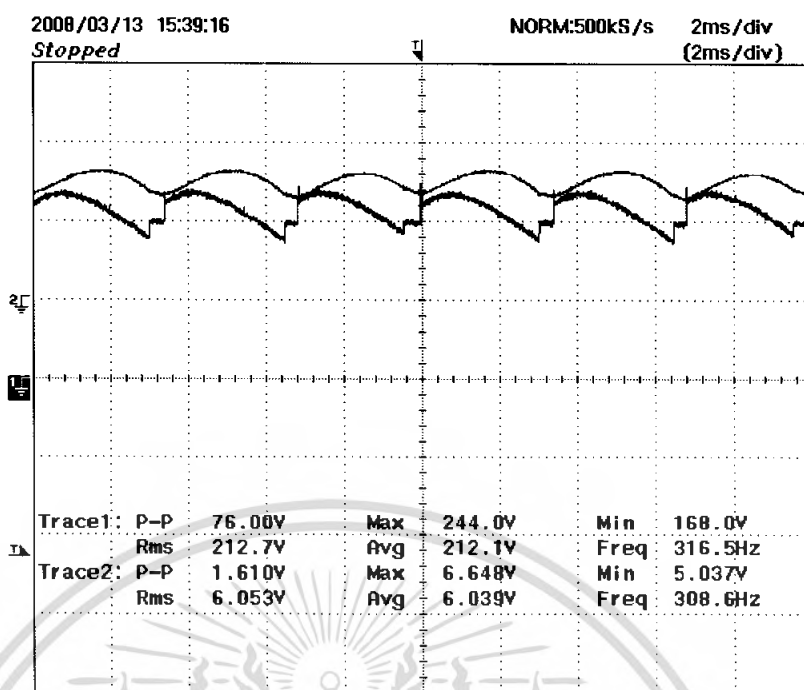


ภาพที่ 4.27 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1100W  
(คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

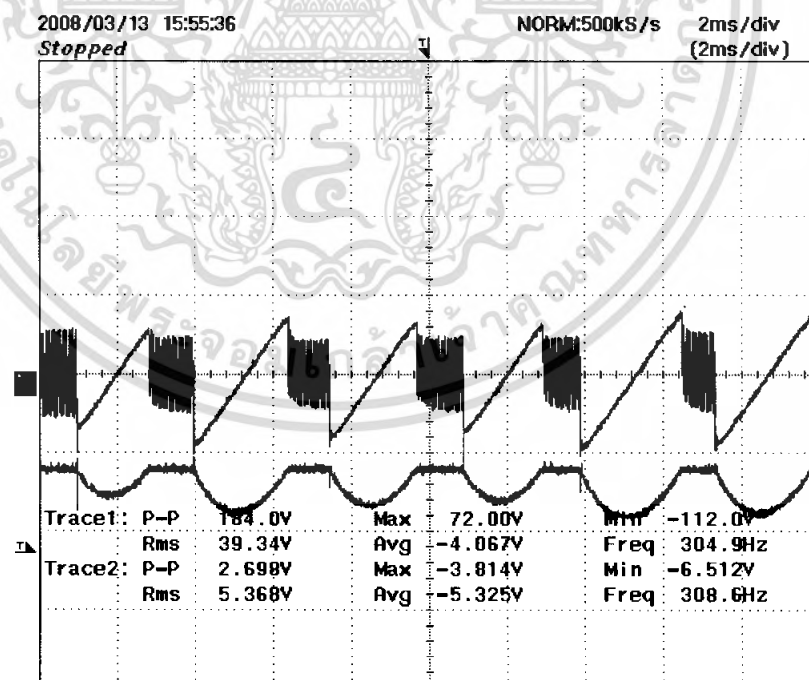


ภาพที่ 4.28 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1600W  
(คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

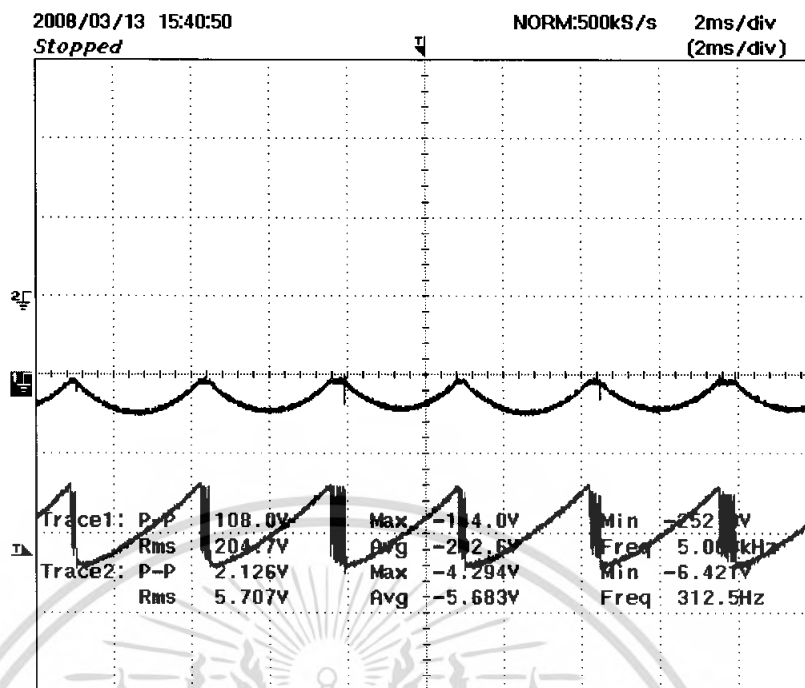


ภาพที่ 4.29 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W  
(คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

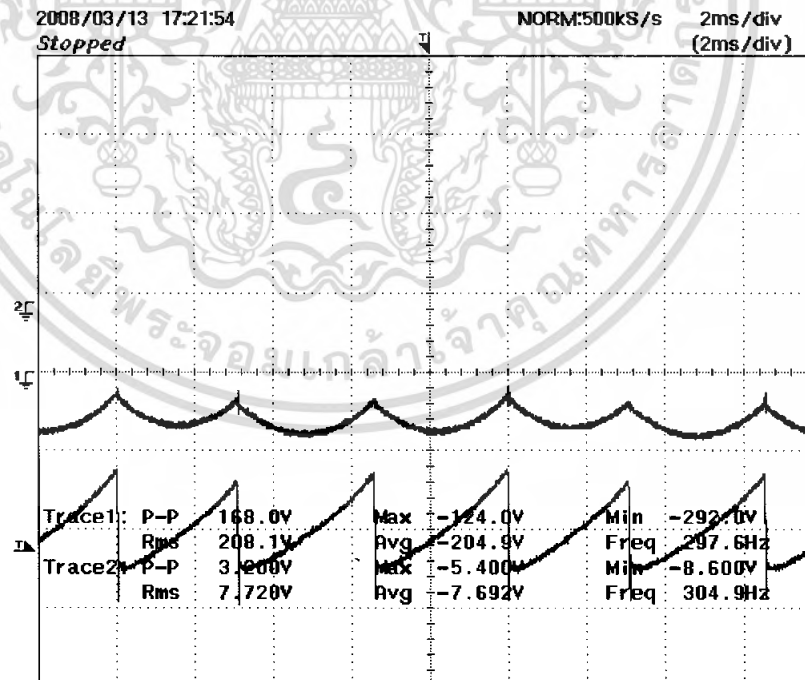


ภาพที่ 4.30 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 โหมด Forward braking  
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่  $90 < \alpha < 180$ , Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

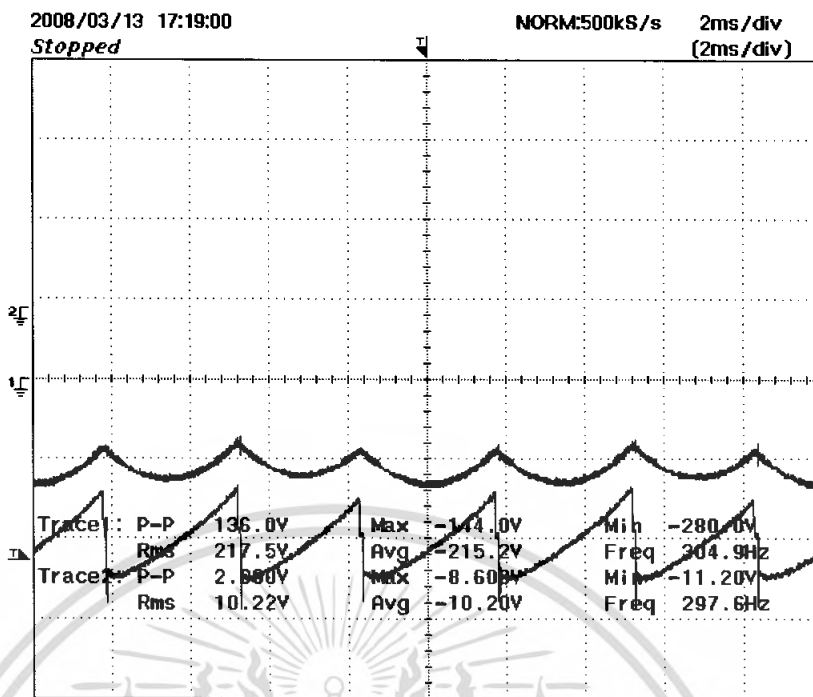


ภาพที่ 4.31 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 โหมด Reverse Motoring ไม่มีโหลด  
( คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier )

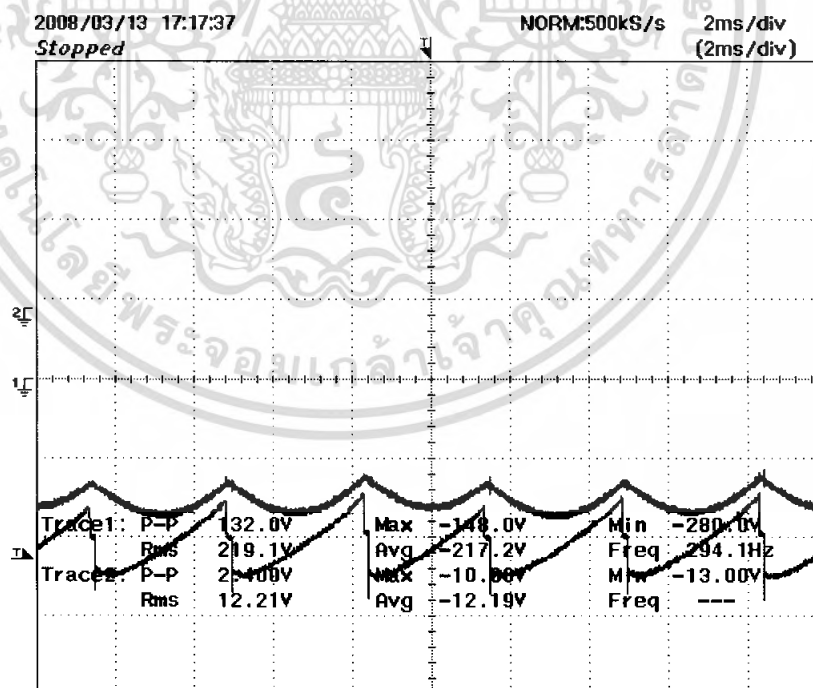


ภาพที่ 4.32 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 500W  
( คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

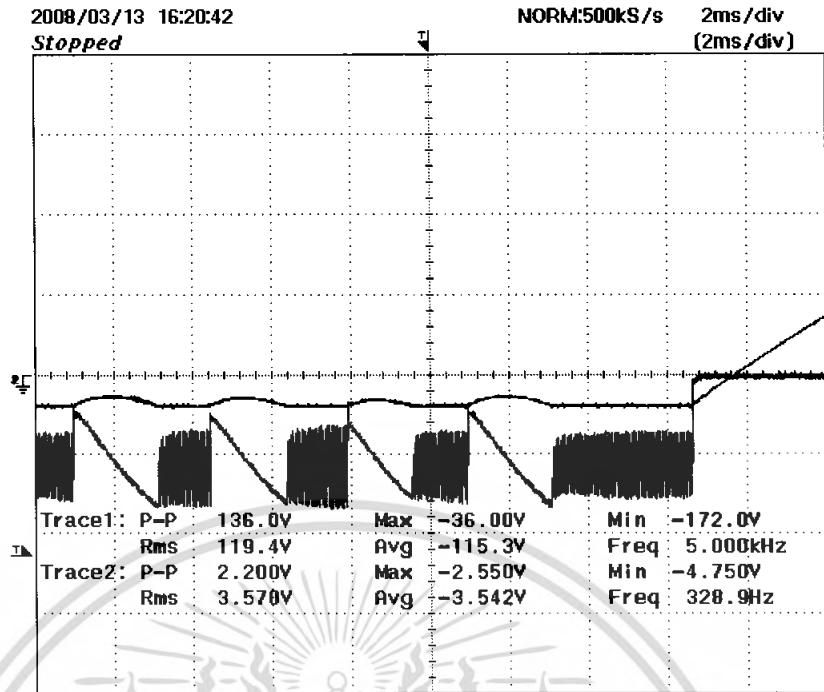


ภาพที่ 4.33 การทำงานในควอดแรนต์ที่3 โหมดReverse Motoring โหลด1600W (คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

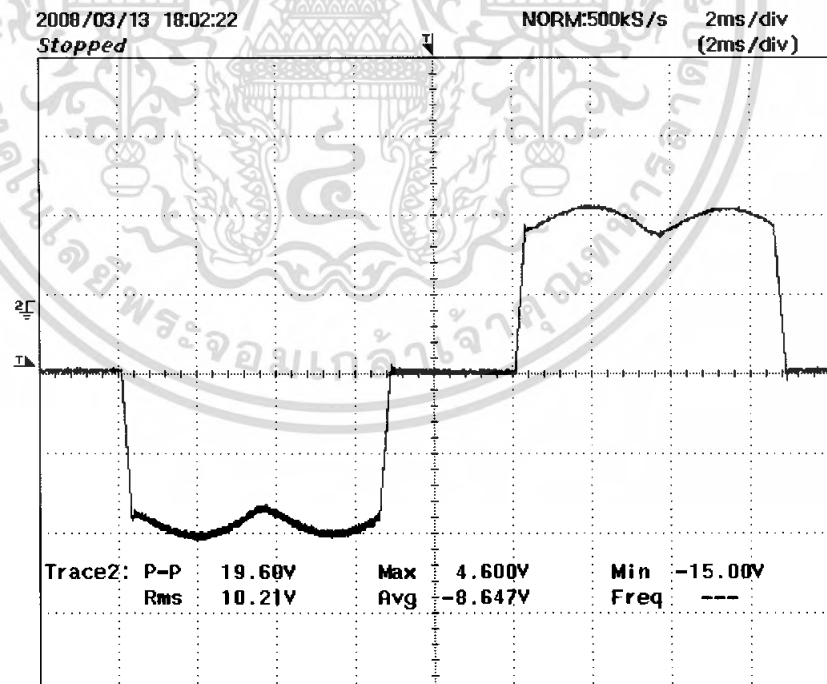


ภาพที่ 4.34 การทำงานในควอดแรนต์ที่3 โหมดReverse Motoring โหลด2200W (คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

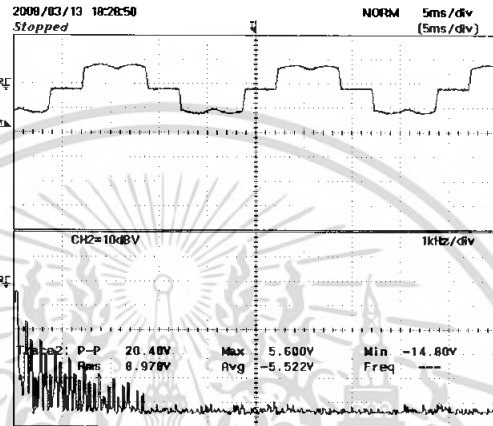
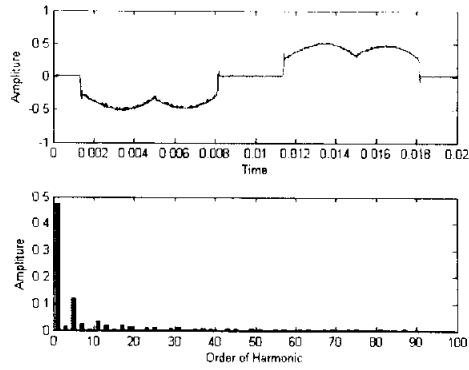


ภาพที่ 4.35 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 โหมด Reverse braking  
(คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $90 < \alpha < 180$ , Inverter)

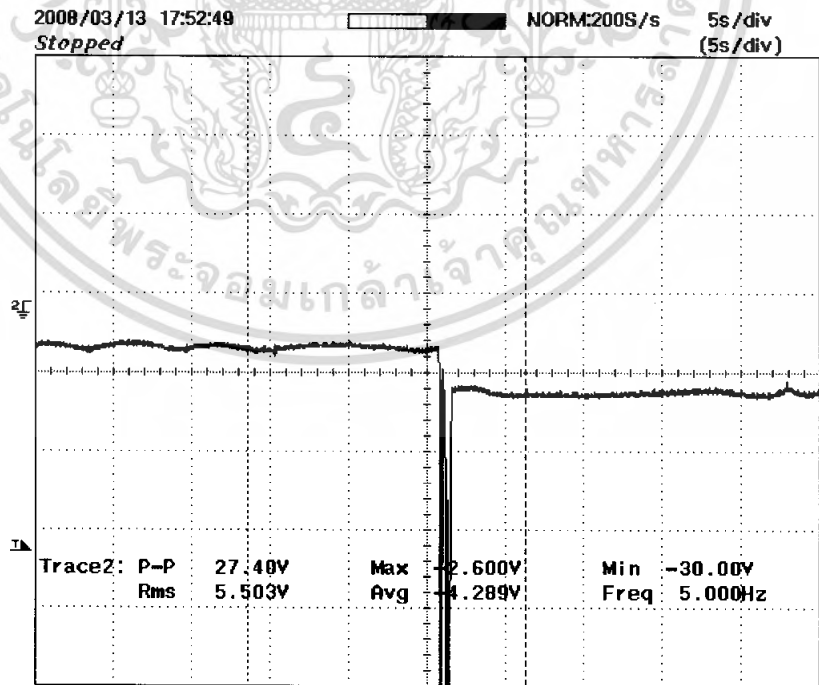


ภาพที่ 4.36 กระแสอินพุตจาก Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

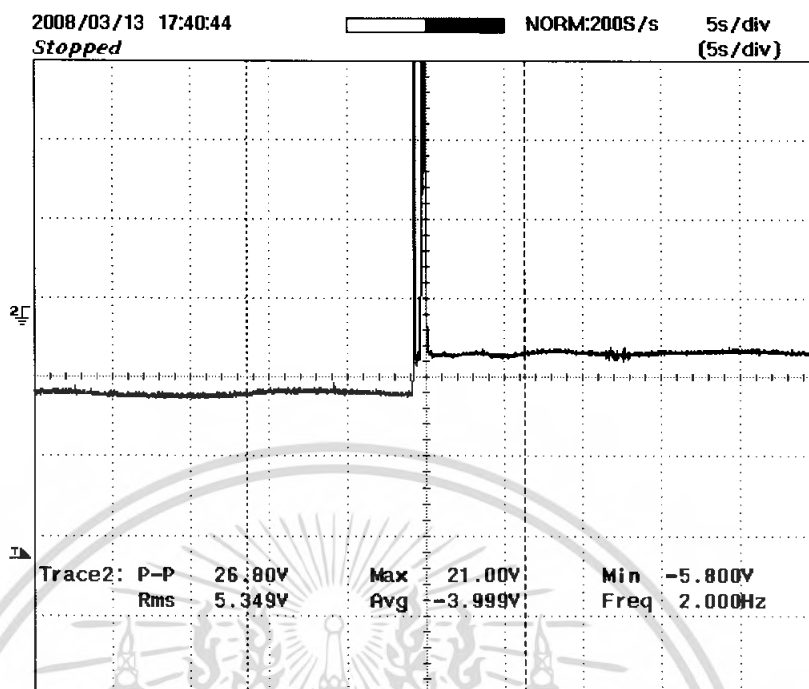


ภาพที่ 4.37 กระแส Input และฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของ กระแส Inputสเปกตรัม จะสูงที่ลำดับ  $6n+1, 6n-1$

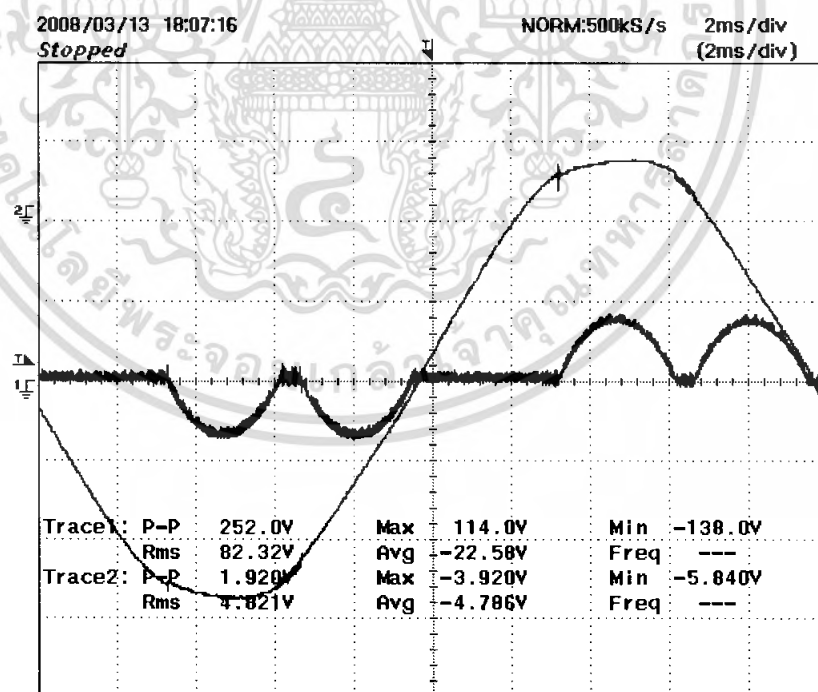


ภาพที่ 4.38 กระแสอาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนต์ที่ 1 ไปควอดแรนต์ ที่ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



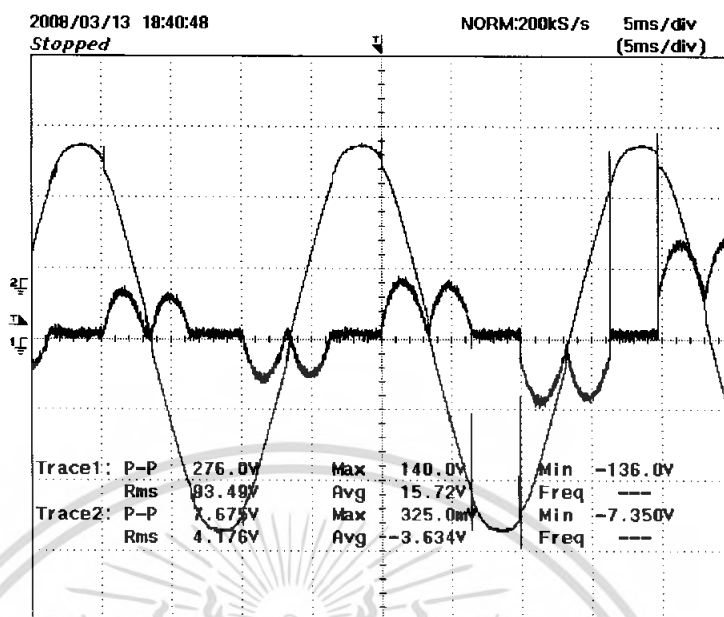
ภาพที่ 4.39 กระแสอาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนต์ที่3ไปควอดแรนต์ที่4 และ 1



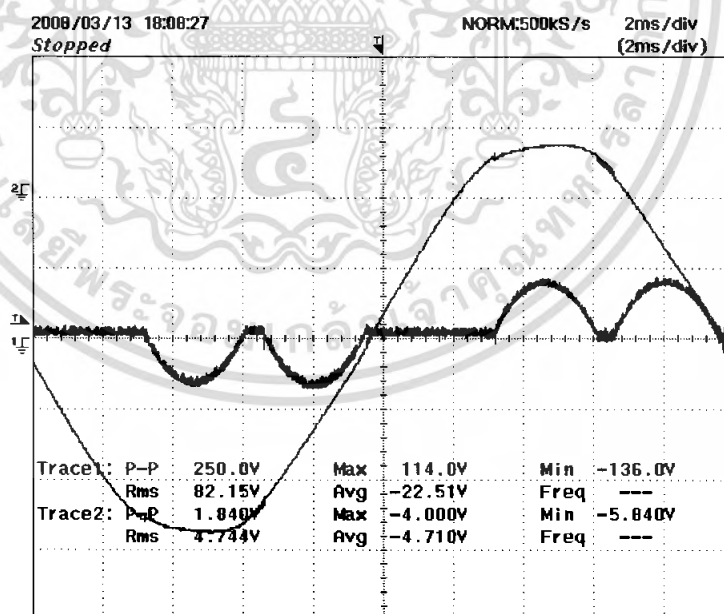
ภาพที่ 4.40 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์ที่1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W

(คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

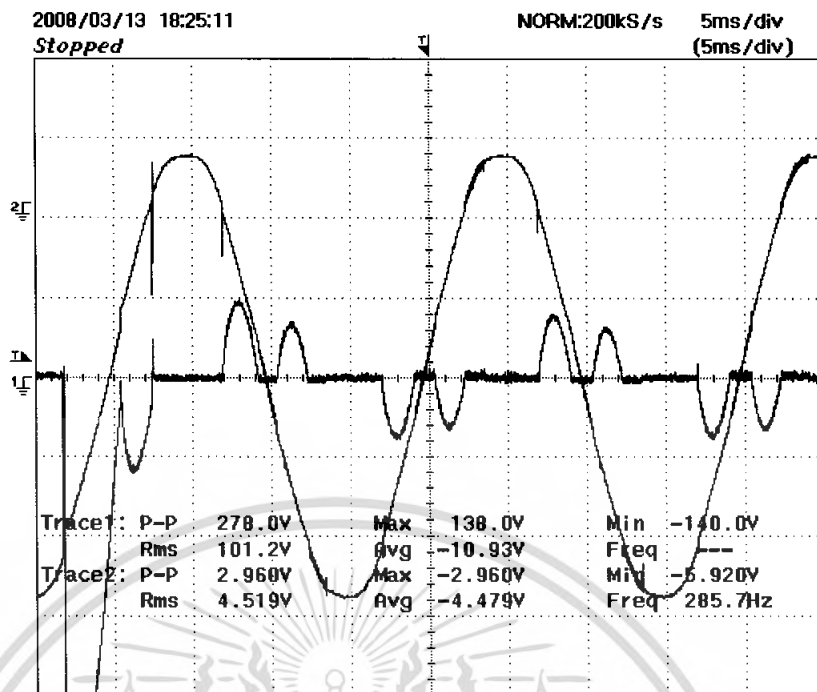


ภาพที่ 4.41 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่  
ควอแดรนต์ 2 โหมด Forward braking  
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่  $90 < \alpha < 180$ , Inverter )



ภาพที่ 4.42 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่  
ควอแดรนต์ 3 โหมด Reverse Motoring ( คอนเวอร์เตอร์ 2  
ทำงานที่  $0 < \alpha < 90$ , Rectifier )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.43 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่  
ควอแดรนต์ที่ 4 โหมด Reverse braking  
( คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่  $90 < \alpha < 180$  , Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

- 1) ในโครงงานนี้เป็นการควบคุม DC Motor แบบกระตุ้นแยก Phase Control โดยใช้ SCR ในวงจรกำลัง Dual Thyristor Converter ที่สามารถใช้ในการเบรกแบบคืนพลังงานได้ (Regenerative Breaking )
- 2) ใช้ Microcontroller dsPIC 30F4011 ในการควบคุมการทำงานของระบบ
- 3) โครงงานนี้สามารถ Control Speed ของมอเตอร์ และทำงานได้ทั้ง 4 Quadrant
- 4) ใช้ Program MATLAB Simulink ในการศึกษาหลักการการทำงาน และหลักวิธีการ Control วงจร
- 5) โครงงานนี้ใช้การ Close Loop Speed Control จาก Encoder และ Close Loop Current Control จากตัวตรวจจับกระแสเพื่อรักษา Speed ให้คงที่ โดยใช้การควบคุมแบบ PI Control

#### ข้อเสนอแนะ

- 1) ในโครงงานนี้ที่อินพุตยังคงที่ Phase Sequence อยู่ควรเขียนโปรแกรมรองรับทุก Phase Sequence เพื่อเหมาะกับการใช้งานจริง
- 2) ที่ความเร็วสูงๆ การ Regenerative Breaking และการสับเปลี่ยน Quadrant ยังมีปัญหา ควรจะพัฒนาให้ดีกว่านี้
- 3) ในการลดความเร็วของมอเตอร์ DC Motor ยังใช้วิธีลดมุมจุดชนวนอยู่ ควรจะใช้วิธีสร้างทอร์คต้านเพื่อลดความเร็วให้เร็วขึ้น และเพื่อการตอบสนองโหลดที่ดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] W.Shephevd, LN.Hulley and D.T.W. Liang, **Power electronic and motor control** , University of Bradford English 1995
- [2] Guy sequier, **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] วีระเชษฐีย์ ชันเงิน,วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์,**อิเล็กทรอนิกส์กำลัง POWER ELECTRONICS**,พิมพ์ครั้งที่3,กรุงเทพฯ:ห้างหุ้นส่วนจำกัดวี.เจ.พรินดิง,2548
- [6] พรจิต ประทุมสุวรรณม, **พื้นฐานการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง**,พิมพ์ครั้งที่2,กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์,2548
- [7] ศิวะ หงษ์นภา , **หลักการและการประยุกต์ใช้งานดีซีไดรฟ์**, กรุงเทพฯ: กู๊ดวิลส์ไดเรคชั่น จำกัด,2547
- [8] นคร ภัคดีชาติ , **คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยภาษาC กับ MPLAB C30**,กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
- [9] สุภาพ สุราสา **เครื่องกลไฟฟ้า** ,ขอนแก่น:สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น,2543
- [9] สำเริง รัตมีวิศวะ, ดำรง จินขาวขำ, **ทฤษฎีการนำไปใช้งานออปแอมป์**, กรุงเทพฯ
- [10] สมชาย อรุณรุ่งรัตมี , **ออปแอมป์และการประยุกต์ไอซีเชิงเส้น**,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.equ __30F4011, 1
.include "p30f4011.inc"
```

```
-----
;Configuration bits:
```

```
-----
config __FOSC, CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16
      config __FWDT, WDT_OFF
config __FBORPOR, PBOR_ON & BORV_27 & PWRT_16 & MCLR_EN
      config __FGS, CODE_PROT_OFF
-----
```

```
;Global Declarations:
```

```
-----
.bss      C_W0,2
.bss      C_W1,2
.bss      C_W2,2
.bss      C_W3,2
.bss      C_W4,2
.bss      C_W5,2
.bss      C_W6,2
-----
```

```
-----
.bss      Ki,2
.bss      Kp,2
.bss      Error_1,2
.bss      Error_2,2
.bss      U,2
.bss      SUM,2
-----
```

```
-----
.bss      Ki2,2
.bss      Kp2,2
.bss      Error_12,2
.bss      Error_22,2
.bss      U2,2
.bss      SUM2,2
-----
```

```
-----
.bss      Alpha,2
.bss      speed,2
.bss      Ref,2
.bss      select,2
.bss      la_act,2
-----
```

```
-----
.bss      Q,2
.bss      Q_1,2
.bss      Q_2,2
.bss      Q_3,2
.bss      Q_4,2
-----
```

```
-----
.global   __wreg_init
.global   __reset
-----
```

```
-----
.global   __T1Interrupt
.global   __T2Interrupt
.global   __T3Interrupt
-----
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.global      __T4Interrupt
.global      __T5Interrupt
.global      __CNInterrupt

.text
__reset:    ;Start of Code section
            MOV    #__SP_init, W15    ;Initialize the Stack Pointer
            MOV    #__SPLIM_init, W0  ;Initialize the Stack Pointer Limit Register
            MOV    W0, SPLIM
            NOP                        ;Add NOP to follow SPLIM initialization
            CLR    W0                  ;Initialization of W registers to 0x0000
            MOV    W0,W14
            REPEAT #12
            MOV    W0,[++W14]
            CLR    W14
            NOP

```

```

MAIN:      CALL    set_value

            MOV    #215,W0             ;200;235             ;215 OK;
            MOV    W0,Ki
            MOV    #100,W0            ;100 OK;
            MOV    W0,Kp
            MOV    #0,W0
            MOV    W0,SUM
            MOV    #0,W0
            MOV    W0,U

            MOV    #338,W0             ;328;338
            MOV    W0,Ki2
            MOV    #111,W0            ;111
            MOV    W0,Kp2
            MOV    #0,W0
            MOV    W0,SUM2
            MOV    #0,W0
            MOV    W0,U2

```

```

;*****
;******(Start Program)*****
;*****
            MOV    #200,W12
            CALL   Delay_W12ms

```

```

START:     CLR     LATE
            CLR     LATF
            BCLR   LATF,#RF4           ;BCLR LATB,#RB8
            BCLR   LATD,#RD2
            BCLR   LATD,#RD3
            BTSC   PORTD,#RD0
            GOTO   START
            MOV    #200,W12
            CALL   Delay_W12ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 BSET IEC0,#T1IE ;Anable interrupt  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BSET IEC0,#T2IE
BSET IEC0,#T3IE
BSET IEC1,#T4IE
BSET IEC1,#T5IE

```

```

ADCdone: BSET ADCSSL,#CSSL6
          BSET ADCSSL,#CSSL7
          BSET ADCON1,#ADON
          BCLR ADCON1,#DONE
          BTSS ADCON1,#DONE
          BRA          ADCdone

```

```

CLR          POSCNT          ;*****
BSET QEICON,#QEIM2          ;*****
;          MOV #0x0763,W0
;          MOV W0,QEICON
BSET T4CON,#TON
BSET IEC0,#CNIE

```

```
CLR          W13
```

```

STOP:     BTSS PORTD,#RD0
          BRA          reset          ; MAIN
          ;
          BSET LATB,#RB8          ;tell ON / OFF
          BSET LATF,#RF4

```

```

-----
----- (Tell Direction) -----
-----

```

```

Right:    BTSS QEICON,#UPDN
          GOTO Left
          GOTO Right
          BSET LATD,#RD2
          BCLR LATD,#RD3
          GOTO End_Tell_Direction
Left:     BSET LATD,#RD3
          BCLR LATD,#RD2
          GOTO End_Tell_Direction

```

```
End_Tell_Direction: NOP
```

```
-----
```

```

MOV          ADCBUF0,W3
ADD          #5,W3
MOV          #18750,W4          ;20340 ;18750 OK;
MUL.UU      W3,W4,W4
MUL.UU      W5,#2,W4
MUL.UU      W3,#21,W2
ADD          W2,W4,W4
ADD          #5,W4
MOV          W4,Ref

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      ADCBUF1,W7      ;;
ADD      #5,W7           ;;
MOV      #18111 ,W8      ;;      ;20340 ;18750 OK;
MUL.UU   W7,W8,W8       ;;
MUL.UU   W9,#2,W8       ;;
MUL.UU   W7,#21,W2      ;;
ADD      W2,W8,W8       ;;
ADD      #5,W8          ;;
MOV      W8,la_act      ;;

```

```

;***** (0-1023 = 0-22118)*(REF)**(W6)*****

```

```

MOV      #30621,W2      ;21217
MUL.UU   W10,W2,W2
MUL.UU   W3,#2,W2
MUL.UU   W10,#12,W6
ADD      W6,W2,W2
ADD      #5,W2
MOV      W2,speed

```

```

;***** (SelectQuadrant)*****

```

```

MOV      W13,W6
AND      #0x0006,W6
MOV      W6,Q
MOV      #0x0000,W5
MOV      W5,Q_1
MOV      #0x0002,W5
MOV      W5,Q_3
MOV      #0x0004,W5
MOV      W5,Q_2
MOV      #0x0006,W5
MOV      W5,Q_4

```

```

-----
MOV      Q_1,W6
MOV      Q,W7
CPSEQ   W6,W7
GOTO    CP_Q3
GOTO    RUN_Nomal ;

```

```

-----
CP_Q3:   MOV      Q_3,W6
MOV      Q,W7
CPSEQ   W6,W7
GOTO    CP_Q2
GOTO    RUN_Nomal ;

```

```

-----
CP_Q2:   MOV      Q_2,W6
MOV      Q,W7
CPSEQ   W6,W7
GOTO    CP_Q4
GOTO    Regen_Q2

```

```

-----
CP_Q4:   MOV      Q_4,W6
MOV      Q,W7
CPSEQ   W6,W7
GOTO    START

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GOTO Regen\_Q4

```

;-----
;***** (0-800=0-22118)*(Encoder)**(W4)*****
;-----
;***** (          PI Control          )*****
;***** (Compare Between W4( Rref ) and W2(Encoder) ***
RUN_Nomal:      NOP

                    CPSGT W4,W2
                    GOTO NO
                    GOTO YES
YES:              SUB      W4,W2,W3
                    MOV      W3,Error_1
                    MOV      Kp,W5
                    MUL.UU   W3,W5,W6
                    MUL.UU   W7,#2,W6
                    MOV      SUM,W5
                    ADD      W5,W6,W7
                    MOV      W7,U
                    MOV      #22100,W5
                    CPSGT W7,W5
                    GOTO SUM_1
                    GOTO MAX
MAX:              MOV      W5,U
                    GOTO SUM_1
SUM_1:           NOP
                    MOV      Ki,W3
                    MOV      Error_1,W5
                    MUL.UU   W3,W5,W6
                    MUL.UU   W7,#2,W6
                    MOV      SUM,W5
                    ADD      W6,W5,W6
                    MOV      W6,SUM
                    ;
                    GOTO END_PI
                    GOTO RUN_Nomal2
;-----
NO:              SUB      W2,W4,W3          ;W2,W4,W3      ;W2,W8,W3
                    MOV      W3,Error_2
                    MOV      Kp,W5
                    MUL.UU   W3,W5,W6
                    MUL.UU   W7,#2,W6          ;W6=Kp*Error_2
                    MOV      SUM,W5
                    SUB      W5,W6,W7          ;W7=U=SUM-Kp*Error_2;
                    MOV      W7,U
                    MOV      #20,W5
MIN_1:           CPSGT W7,W5
                    GOTO MIN
                    GOTO SUM_2
MIN:             MOV      W5,U
                    GOTO SUM_2
SUM_2:           NOP
                    MOV      Ki,W3
                    MOV      Error_2,W5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MUL.UU      W3,W5,W6
MUL.UU      W7,#2,W6                ;W6=Ki*Error_2
MOV         SUM,W5
SUB         W5,W6,W6
MOV         W6,SUM
;         GOTO END_PI
          GOTO RUN_Nomal2
;-----
;*****
;

```

```

RUN_Nomal2:  NOP
              MOV #2321,W3          ;;;          2211
              CPSLT      W8,W3      ;;;
              GOTO      RUN_Nomal3  ;;;
              GOTO      END_PI2     ;;;
;-----
;*****
;

```

```

RUN_Nomal3:  MOV      U,W6          ;U,W6
              CPSGT W6,W8          ;W6,W11
              GOTO NO2
              GOTO YES2
YES2:        SUB      W6,W8,W3      ;W6,W1,W3
              MOV      W3,Error_12
              MOV      Kp2,W5
              MUL.UU   W3,W5,W6
              MUL.UU   W7,#2,W6
              MOV      SUM2,W5
              ADD      W5,W6,W7
              MOV      W7,U2
              MOV      #22100,W5
              CPSGT W7,W5
              GOTO SUM_12
              GOTO MAX2
MAX2:        MOV      W5,U2
              GOTO SUM_12
SUM_12:      NOP
              MOV      Ki2,W3
              MOV      Error_12,W5
              MUL.UU   W3,W5,W6
              MUL.UU   W7,#2,W6
              MOV      SUM2,W5
              ADD      W6,W5,W6
              MOV      W6,SUM2
              GOTO END_PI
;-----
;*****
;

```

```

NO2:         SUB      W8,W6,W3
              MOV      W3,Error_22
              MOV      Kp2,W5
              MUL.UU   W3,W5,W6
              MUL.UU   W7,#2,W6                ;W6=Kp*Error_2
              MOV      SUM2,W5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานโดยไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MIN_12:      MOV      #20,W5
             CPSGT W7,W5
             GOTO MIN2
             GOTO SUM_22
MIN2:       MOV      W5,U2
             GOTO SUM_22
SUM_22:     NOP
             MOV      Ki2,W3
             MOV      Error_22,W5
             MUL.UU   W3,W5,W6
             MUL.UU   W7,#2,W6           ;W6=Ki*Error_2
             MOV      SUM2,W5
             SUB      W5,W6,W6
             MOV      W6,SUM2
             GOTO END_PI
;
;*****
;
END_PI:     MOV      #23000,W9           ;22118 ;23000 OK;
             MOV      U2,W3           ;U2
             SUB      W9,W3,W5
             MOV      W5,Alpha
             GOTO SANTI
;
;*****
;
;-----
;
END_PI2:   MOV      #23000,W9           ;;; ;22118 ;23000 OK;
             MOV      U,W3           ;;;
             SUB      W9,W3,W5       ;;;
             MOV      W5,Alpha       ;;;
             GOTO SANTI
;
;*****
;
;-----
;
;***** ( Push Switch For Break )*****
;
SANTI:     BTSS    PORTB,#RB8
             GOTO Regen
;
;*****
;
Trig_1:    MOV      #200,W9
             MOV      Alpha,W11      ;W8
             CPSLT W11,W9           ;W8,W9
             GOTO Trig
             MOV      #200,W11      ;W8

Trig:     NOP
             CLR      PR1
             CLR      PR2
             CLR      PR3
             MOV      W11,PR1        ;W8
             MOV      W11,PR2        ;W8
             MOV      W11,PR3        ;W8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

REGENS1:      MOV      #15114,W5
               MOV      speed,W6
               ADD      W5,W6,W6
               MOV      W6,Alpha
               MOV      #5529,W7      ;3200
               MOV      speed,W6
               CPSGT W6,W7
               GOTO Turn_Left
               GOTO Trig_1
    
```

```

REGENS3:      MOV      #5529,W5      ;4915;(45)
               MOV      speed,W6
               ADD      W5,W6,W6
               MOV      W6,Alpha
               MOV      #5529,W7      ;3200
               MOV      speed,W6
               CPSGT W6,W7
               GOTO Turn_Left
               GOTO Trig_1
    
```

```

;
;
;
Turn_Left:    CPSGT W6,W7
               GOTO Turn_Left
               GOTO Trig_1
    
```

```

BCLR LATE,#RE0
BCLR LATE,#RE1
BCLR LATE,#RE2
BCLR LATE,#RE3
BCLR LATE,#RE4
BCLR LATE,#RE5
    
```

```

CLR      SUM
CLR      U

CLR      SUM2
CLR      U2
    
```

```

BSET QEICON,#SWPAB
    
```

```

BCLR W13,#2
GOTO STOP
    
```

\*\*\*\*\*

```

Regen_Q2:    BCLR LATF,#RF0
               BCLR LATF,#RF1
               BCLR LATF,#RF2
               BCLR LATF,#RF3
               BCLR LATF,#RF6
               BCLR LATE,#RE8
    
```

```

BCLR W13,#1
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;      MOV    #11111,W5          ;10000
;      MOV    speed,W6
;      ADD    W5,W6,W6
;      MOV    W6,Alpha
;      MOV    #3500,W7          ;3200
;      MOV    speed,W6

      MOV    #5529,W5          ;4915
      MOV    speed,W6
      CPSEQ W6,W5
      GOTO INC_DEC_1
      GOTO REGENS_2

REGENS_2:      MOV    #12288,W5
               MOV    speed,W6
               ADD    W5,W6,W6
               MOV    W6,Alpha
               MOV    #5529,W7          ;3200
               MOV    speed,W6
               CPSGT W6,W7
               GOTO Turn_Right
               GOTO Trig_1

INC_DEC_1:      MOV    #5529,W5          ;4915
               MOV    speed,W6
               CPSGT W6,W5
               GOTO REGENS_1
               GOTO REGENS_3

REGENS_1:      MOV    #15114,W5
               MOV    speed,W6
               ADD    W5,W6,W6
               MOV    W6,Alpha
               MOV    #5529,W7          ;3200
               MOV    speed,W6
               CPSGT W6,W7
               GOTO Turn_Right
               GOTO Trig_1

REGENS_3:      MOV    #5529,W5          ;4915
               MOV    speed,W6
               ADD    W5,W6,W6
               MOV    W6,Alpha
               MOV    #5529,W7          ;3200
               MOV    speed,W6
               CPSGT W6,W7
               GOTO Turn_Right
               GOTO Trig_1

;      CPSGT W6,W7
;      GOTO Turn_Right
;      GOTO Trig_1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 Turn\_Right: BCLR LATF,#RF0  
 ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCLR LATF,#RF1
BCLR LATF,#RF2
BCLR LATF,#RF3
BCLR LATF,#RF6
BCLR LATE,#RE8

```

```

CLR      SUM
CLR      U

```

```

CLR      SUM2
CLR      U2

```

```

BCLR QEICON,#SWPAB

```

```

BCLR W13,#2
GOTO STOP

```

```

;*****
;*****INTERRUPT*****
;*****

```

\_\_CNInterrupt:

```

BCLR IFS0,#CNIF
BSET W13,#0
MOV  PORTB,W0
AND  #0x0007,W0
MOV  W0,C_W0
MOV  #0x0005,W0
MOV  W0,C_W1
MOV  #0x0001,W0
MOV  W0,C_W2
MOV  #0x0003,W0
MOV  W0,C_W3
MOV  #0x0002,W0
MOV  W0,C_W4
MOV  #0x0006,W0
MOV  W0,C_W5
MOV  #0x0004,W0
MOV  W0,C_W6

```

```

;-----
CN2_1:      MOV  C_W0,W0
             MOV  C_W1,W1

             CPSEQ W0,W1
             BRA   CN4_0
             BSET  T1CON,#TON

```

```

GOTO END_CN
CN4_0:      MOV  C_W0,W0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C_W2,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN3_1
BSET T3CON,#TON

CN3_1: MOV C_W0,W0
MOV C_W3,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN2_0
BSET T2CON,#TON

CN2_0: MOV C_W0,W0
MOV C_W4,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN4_1
BSET T1CON,#TON

CN4_1: MOV C_W0,W0
MOV C_W5,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN3_0
BSET T3CON,#TON

CN3_0: MOV C_W0,W0
MOV C_W6,W1

CPSEQ W0,W1
BRA END_CN
BSET T2CON,#TON

END_CN: GOTO END_CN
NOP
RETFIE

```

```

;*****
;*****Timer Interrupt*****

```

\_\_T1Interrupt:

```

BCLR IFS0,#T1IF
BCLR T1CON,#TON
CLR TMR1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ BTSS W13,#1 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 GOTO C1\_T1\_ON  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                GOTO C2_T1_ON

C2_T1_ON:                      BTSS PORTB,#RB0
                                BRA          SET_RF3
                                BCLR LATE,#RE0
                                BSET LATF,#RF0
                                BCLR LATF,#RF6
                                GOTO END_T1

SET_RF3:                       BCLR LATE,#RE3
                                BSET LATF,#RF3
                                BCLR LATF,#RF1

                                GOTO END_T1
;-----
C1_T1_ON:                      BTSS PORTB,#RB0
                                BRA          SET_RE3
                                BCLR LATF,#RF0
                                BSET LATE,#RE0
                                BCLR LATE,#RE4
                                GOTO END_T1

SET_RE3:                       BCLR LATF,#RF3
                                BSET LATE,#RE3
                                BCLR LATE,#RE1

END_T1:                         RETFIE
;*****
__T2Interrupt:
                                BCLR IFS0,#T2IF
                                BCLR T2CON,#TON
                                CLR          TMR2

                                BTSS W13,#1
                                GOTO C1_T2_ON
                                GOTO C2_T2_ON

C2_T2_ON:                      BTSS PORTB,#RB1
                                BRA          SET_RE8
                                BCLR LATE,#RE3
                                BSET LATF,#RF2
                                BCLR LATF,#RF0
                                GOTO END_T2

SET_RE8:                       BCLR LATE,#RE5
                                BSET LATE,#RE8
                                BCLR LATF,#RF3

                                GOTO END_T2
;-----
C1_T2_ON:                      BTSS PORTB,#RB1
                                BRA          SET_RE5
                                BCLR LATF,#RF2
                                BSET LATE,#RE2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCLR LATE,#RE0
GOTO END_T2

```

```

SET_RE5:      BCLR LATE,#RE8
              BSET LATE,#RE5
              BCLR LATE,#RE3

```

```

END_T2:      RETFIE

```

```

;*****
__T3Interrupt:

```

```

BCLR IFS0,#T3IF
BCLR T3CON,#TON
CLR      TMR3

```

```

BTSS W13,#1
GOTO C1_T3_ON
GOTO C2_T3_ON

```

```

C2_T3_ON:    BTSS PORTB,#RB2
              BRA      SET_RF1
              BCLR LATE,#RE4
              BSET LATE,#RF6
              BCLR LATE,#RF2
              GOTO END_T1

```

```

SET_RF1:    BCLR LATE,#RE1
              BSET LATE,#RF1
              BCLR LATE,#RE8
              GOTO END_T1

```

```

;-----
C1_T3_ON:    BTSS PORTB,#RB2
              BRA      SET_RE1
              BCLR LATE,#RF6
              BSET LATE,#RE4
              BCLR LATE,#RE2
              GOTO END_T3

```

```

SET_RE1:    BCLR LATE,#RF1
              BSET LATE,#RE1
              BCLR LATE,#RE5

```

```

END_T3:      RETFIE

```

```

__T4Interrupt:

```

```

BCLR IFS1,#T4IF
MOV      POSCNT,W10
CLR      POSCNT
BCLR T4CON,#TON
CLR      TMR4
BSET T4CON,#TON

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานที่ออกจากรั้วเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

MOV      #0x0000,W0
MOV      W0,TRISE
MOV      #0x0000,W0      ;xxxx xxxx x000 0000
MOV      W0,TRISF

INT_TMR1:  MOV  #0x0010,W0 ;0x0030      ;*****INT  timer1
           MOV  W0,T1CON
           CLR   TMR1
           CLR   PR1
INT_TMR2:  MOV  #0x0010,W0 ;0x0030      ;*****INT  timer2
           MOV  W0,T2CON
           CLR   TMR2
           CLR   PR2
INT_TMR3:  MOV  #0x0010,W0 ;0x0030      ;*****INT  timer3
           MOV  W0,T3CON
           CLR   TMR3
           CLR   PR3
INT_TMR4:  MOV  #0x0030,W0 ;0x0030      ;*****INT  timer4
           MOV  W0,T4CON
           CLR   TMR4
           CLR   PR4
           MOV  #11520,W0
           MOV  W0,PR4
INT_TMR5:  MOV  #0x0010,W0 ;0x0030      ;*****INT  timer5
           MOV  W0,T5CON
           CLR   TMR5
           CLR   PR5

INT_CN:    MOV  #0x013F,W0 ;00BF ;*****ITN CNInterrupt
           MOV  W0,ADPCFG ;1 0011 1111 ;1 0111 1111
           MOV  #0x01FF,W0 ;00FF
           MOV  W0,TRISB ;B= 0000 0001 1111 1111;1 1111 1111
;*****
;*****read_Phase*****
;*****

WAIT_0:    BTSC  PORTB,#RB0
           BRA   WAIT_0
WAIT_1:    BTSS  PORTB,#RB0
           BRA   WAIT_1
           MOV   PORTB,W0
           MOV   #0x7,W1
           AND   W0,W1,W2
           MOV   #0x5,W0
           MOV   #0x3,W1

           CPSEQ W0,W2
           GOTO  ACB
           GOTO  tell_ABC
ACB:       CPSEQ  W1,W2
           GOTO  END_READ
           GOTO  END_READ

tell_ABC:  BSET  LATD,#RD1
           GOTO  END_READ

```

เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

MOV #0x0700,W0           ;00D6 ;0x0003
MOV W0,ADCHS
CLR ADCSSL
RETURN

```

```

+++++
*****

```

```

.equ __30F4011, 1
.include "p30f4011.inc"

```

```

-----
;Subroutine: Delay_W12ms
-----

```

```

.global Delay_W12ms

```

```

Delay_W12ms: DO #10000,END_1ms ; Delay 1ms
              DO W12,END_W12 ; Do W12 times
              NOP
              NOP

```

```

END_W12:      NOP
END_1ms:      NOP

```

```

RETURN

```

```

-----
;Subroutine: I2C_DELAY
-----

```

```

.global I2C_DELAY
I2C_DELAY: MOV #2,W12
              DO #10,END_5us ; Delay 5us
              DO W12,END_Wx ; Do W12 times
              NOP
              NOP

```

```

END_Wx:      NOP
END_5us:     NOP

```

```

RETURN

```

```

-----
;Subroutine:SW_DELAY
-----

```

```

.global SW_DELAY
SW_DELAY: MOV #10,W12 ; Delay 10ms
              DO #10000,END_1ms_SW ; Delay 1ms
              DO W12,END_W12_SW ; Do W12 times
              NOP
              NOP

```

```

END_W12_SW:  NOP
END_1ms_SW:  NOP

```

```

RETURN

```

```

-----
;Subroutine: DELAY 200uS
-----

```

```

.global DELAY_50Hz
DELAY_50Hz: MOV #94,W12
              DO #10,END_50Hz ;Delay 5us
              DO W12,END_Wx1 ;Do W12 times
              NOP
              NOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

END\_Wx1: NOP  
END\_50Hz: NOP  
RETURN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



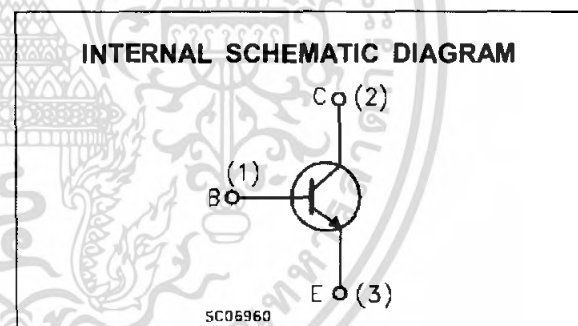
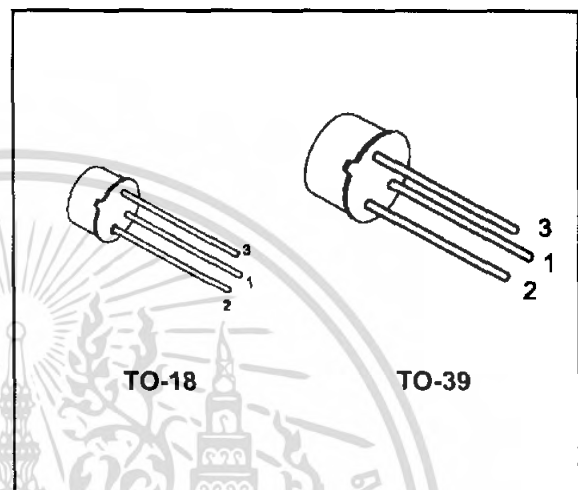
**2N2219A**  
**2N2222A**

## 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 <sub>CBO</sub>	Collector-Base Voltage (I <sub>E</sub> = 0)	75	V
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage (I <sub>B</sub> = 0)	40	V
V <sub>EB0</sub>	Emitter-Base Voltage (I <sub>C</sub> = 0)	6	V
I <sub>C</sub>	Collector Current	0.8	A
P <sub>tot</sub>	Total Dissipation at T <sub>amb</sub> ≤ 25 °C for <b>2N2219A</b> for <b>2N2222A</b> at T <sub>case</sub> ≤ 25 °C for <b>2N2219A</b> for <b>2N2222A</b>	0.8	W
		0.5	W
		3	W
		1.8	W
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	-65 to 200	°C
T <sub>j</sub>	Max. Operating Junction Temperature	175	°C

## 2N2219A/2N2222A

### THERMAL DATA

			TO-39	TO-18	
R <sub>thj-case</sub>	Thermal Resistance Junction-Case	Max	50	83.3	°C/W
R <sub>thj-amb</sub>	Thermal Resistance Junction-Ambient	Max	187.5	300	°C/W

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>case</sub> = 25 °C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I <sub>CBO</sub>	Collector Cut-off Current (I <sub>E</sub> = 0)	V <sub>CB</sub> = 60 V V <sub>CB</sub> = 60 V T <sub>case</sub> = 150 °C			10 10	nA μA
I <sub>CEX</sub>	Collector Cut-off Current (V <sub>BE</sub> = -3V)	V <sub>CE</sub> = 60 V			10	nA
I <sub>BEX</sub>	Base Cut-off Current (V <sub>BE</sub> = -3V)	V <sub>CE</sub> = 60 V			20	nA
I <sub>EBO</sub>	Emitter Cut-off Current (I <sub>C</sub> = 0)	V <sub>EB</sub> = 3 V			10	nA
V <sub>(BR)CBO</sub> *	Collector-Base Breakdown Voltage (I <sub>E</sub> = 0)	I <sub>C</sub> = 10 μA	75			V
V <sub>(BR)CEO</sub> *	Collector-Emitter Breakdown Voltage (I <sub>B</sub> = 0)	I <sub>C</sub> = 10 mA	40			V
V <sub>(BR)EBO</sub> *	Emitter-Base Breakdown Voltage (I <sub>C</sub> = 0)	I <sub>E</sub> = 10 μA	6			V
V <sub>CE(sat)</sub> *	Collector-Emitter Saturation Voltage	I <sub>C</sub> = 150 mA I <sub>B</sub> = 15 mA I <sub>C</sub> = 500 mA I <sub>B</sub> = 50 mA			0.3 1	V V
V <sub>BE(sat)</sub> *	Base-Emitter Saturation Voltage	I <sub>C</sub> = 150 mA I <sub>B</sub> = 15 mA I <sub>C</sub> = 500 mA I <sub>B</sub> = 50 mA	0.6		1.2 2	V V
h <sub>FE</sub> *	DC Current Gain	I <sub>C</sub> = 0.1 mA V <sub>CE</sub> = 10 V I <sub>C</sub> = 1 mA V <sub>CE</sub> = 10 V I <sub>C</sub> = 10 mA V <sub>CE</sub> = 10 V I <sub>C</sub> = 150 mA V <sub>CE</sub> = 10 V I <sub>C</sub> = 500 mA V <sub>CE</sub> = 10 V I <sub>C</sub> = 150 mA V <sub>CE</sub> = 1 V I <sub>C</sub> = 10 mA V <sub>CE</sub> = 10 V T <sub>amb</sub> = -55 °C	35 50 75 100 40 50 35		300	
h <sub>fe</sub> *	Small Signal Current Gain	I <sub>C</sub> = 1 mA V <sub>CE</sub> = 10 V f = 1KHZ I <sub>C</sub> = 10 mA V <sub>CE</sub> = 10 V f = 1KHZ	50 75		300 375	
f <sub>T</sub>	Transition Frequency	I <sub>C</sub> = 20 mA V <sub>CE</sub> = 20 V f = 100 MHz	300			MHZ
C <sub>EBO</sub>	Emitter Base Capacitance	I <sub>C</sub> = 0 V <sub>EB</sub> = 0.5 V f = 100KHZ			25	pF
C <sub>CBO</sub>	Collector Base Capacitance	I <sub>E</sub> = 0 V <sub>CB</sub> = 10 V f = 100 KHZ			8	pF
Re(hie)	Real Part of Input Impedance	I <sub>C</sub> = 20 mA V <sub>CE</sub> = 20 V f = 300MHZ			60	Ω

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

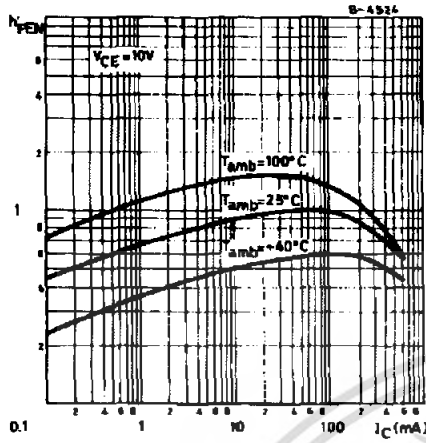
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

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	$\mu\text{S}$ $\mu\text{S}$
$t_d^{**}$	Delay Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = 15 \text{ mA}$ $V_{BB} = -0.5 \text{ V}$			10	ns
$t_r^{**}$	Rise Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = 15 \text{ mA}$ $V_{BB} = -0.5 \text{ V}$			25	ns
$t_s^{**}$	Storage Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = 15 \text{ mA}$			225	ns
$t_f^{**}$	Fall Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = 15 \text{ mA}$			60	ns
$r_{bb'}$ , $C_{b'c}$	Feedback Time Constant	$I_C = 20 \text{ mA}$ $V_{CE} = 20 \text{ V}$ $f = 31.8 \text{ MHz}$			150	ps

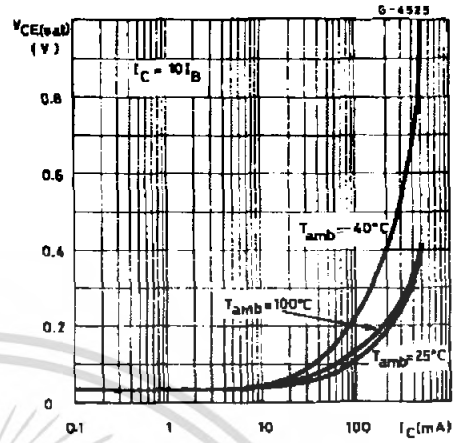
\* Pulsed: Pulse duration = 300  $\mu\text{s}$ , duty cycle < 1 %

\*\* See test circuit

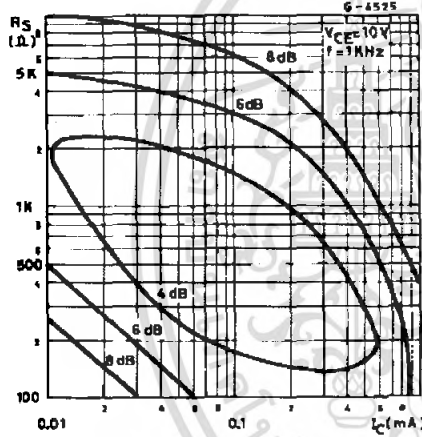
Normalized DC Current Gain.



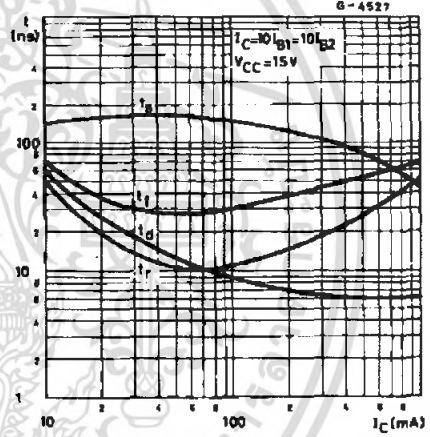
Collector-emitter Saturation Voltage.



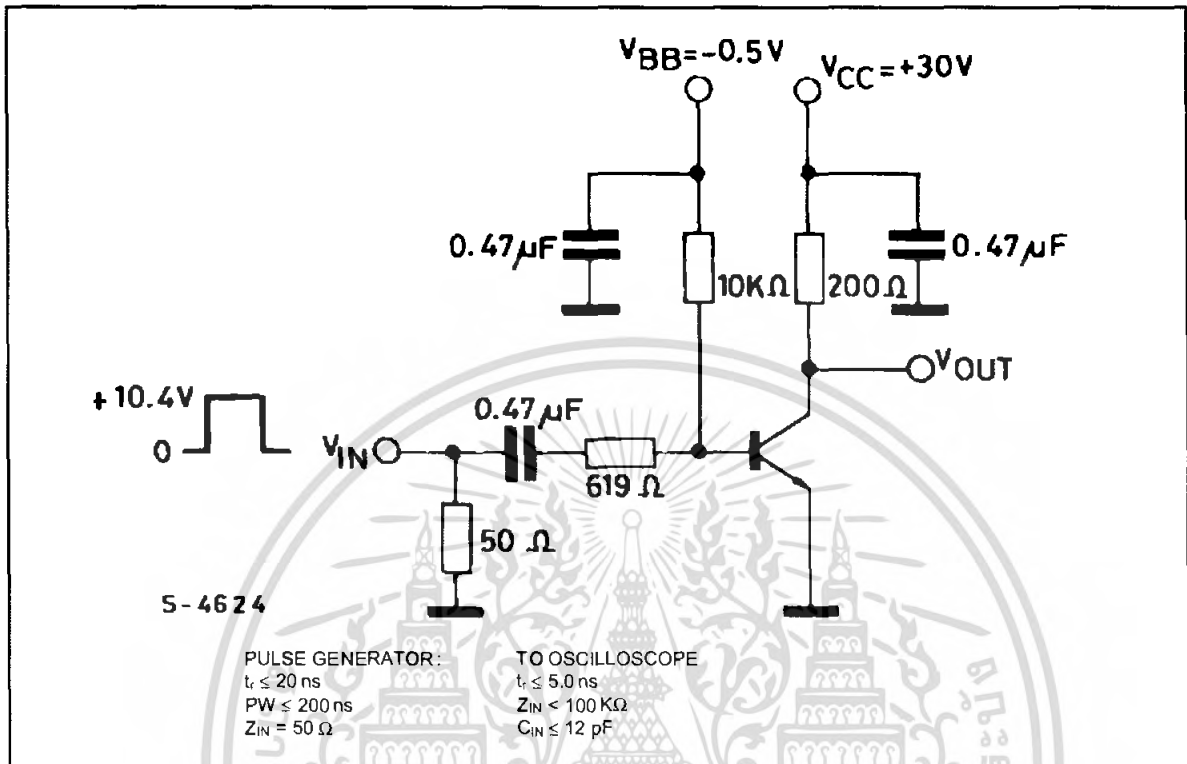
Contours of Constant Narrow Band Noise Figure.



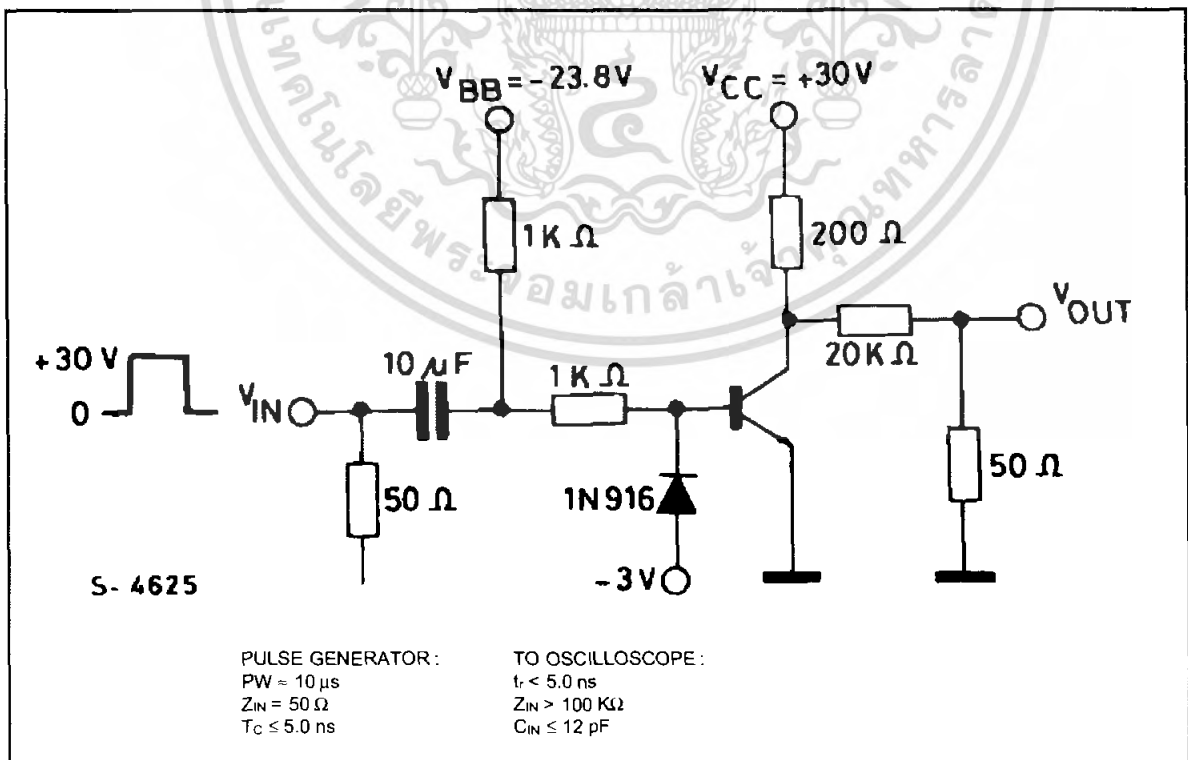
Switching Time vs. Collector Current.



Test Circuit for  $t_d$ ,  $t_r$ .

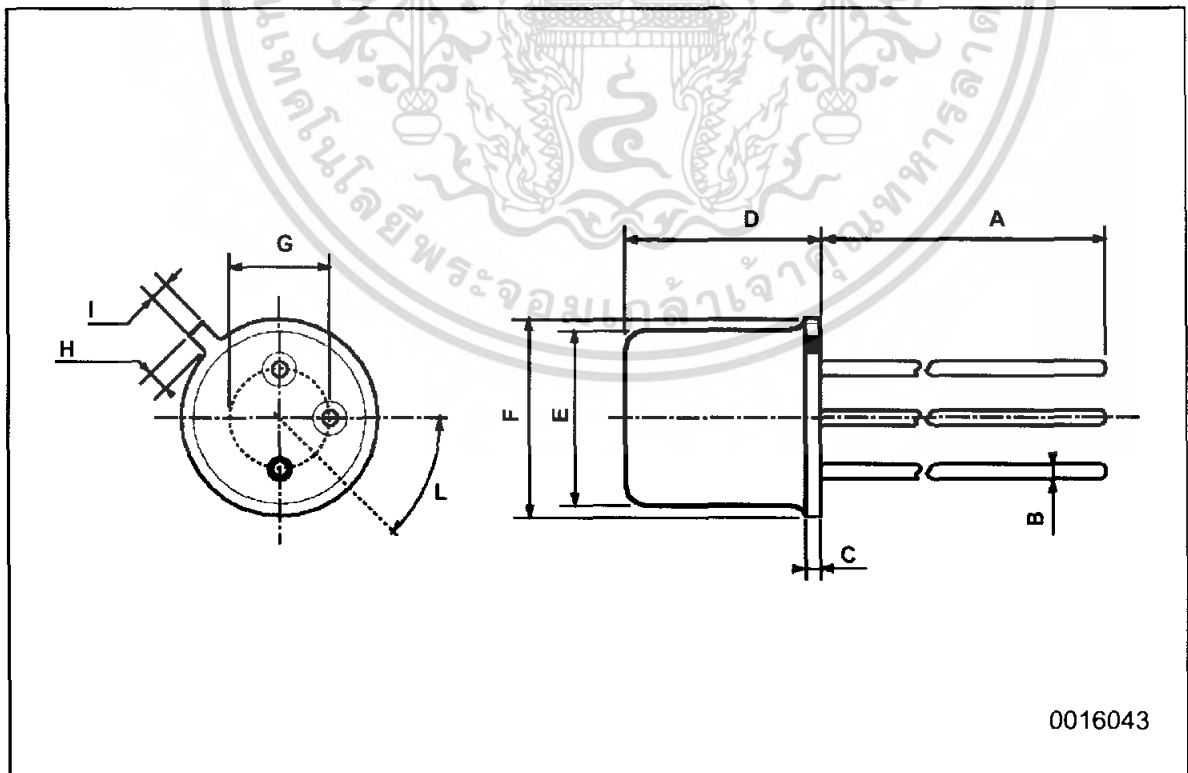


Test Circuit for  $t_d$ ,  $t_r$ .



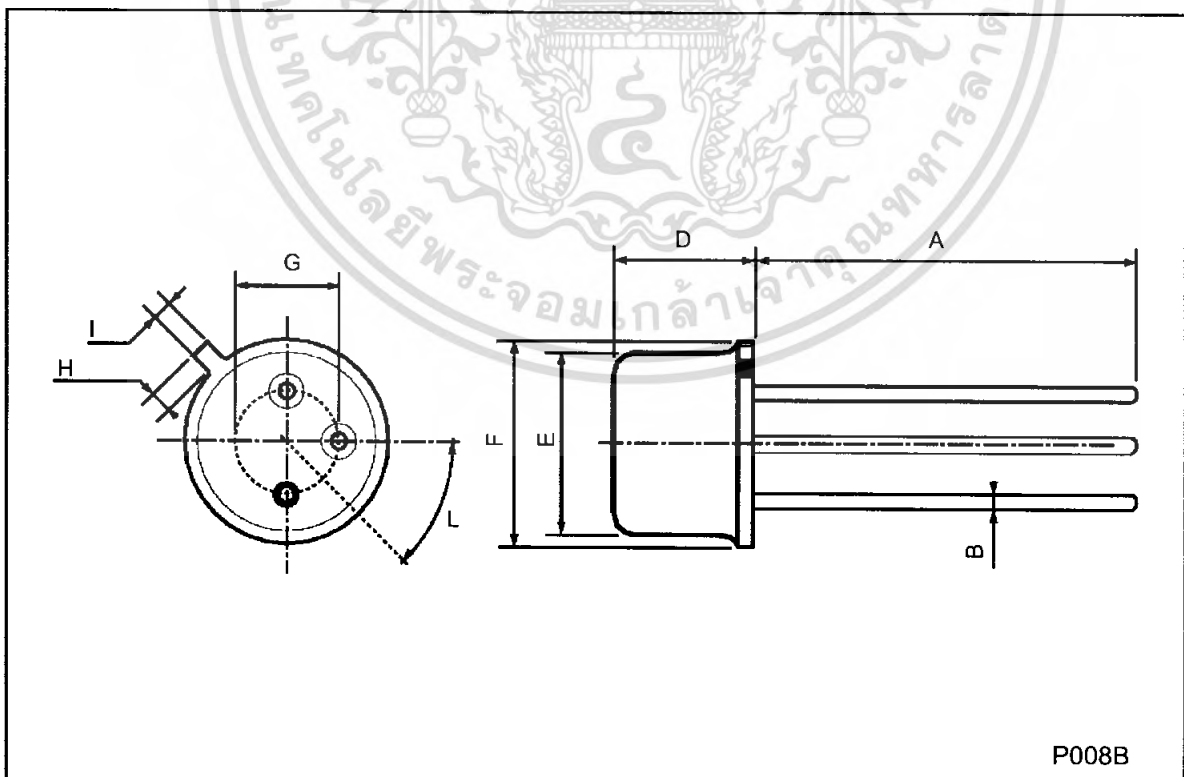
TO-18 MECHANICAL DATA

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°		



## 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



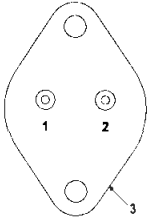
Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication 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

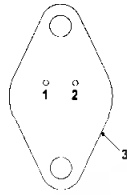
Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco - The Netherlands -  
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.  
<http://www.st.com>

## 1.5 AMP NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR



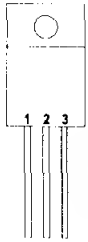
Pin 1 – Ground  
 Pin 2 –  $V_{OUT}$   
 Case –  $V_{IN}$

**K Package – TO-3**



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

**R Package – TO-66**

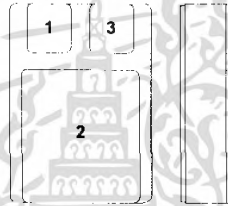


Pin 1 – Ground  
 Pin 2 –  $V_{IN}$   
 Pin 3 –  $V_{OUT}$   
 Case –  $V_{IN}$

**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

### FEATURES

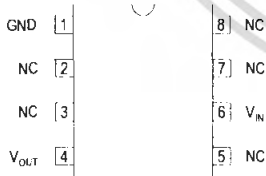
- OUTPUT VOLTAGES OF -5, -12, -15V
- 0.01% / V LINE REGULATION
- 0.3% / A LOAD REGULATION
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSISTOR SOA PROTECTION
- 1% VOLTAGE TOLERANCE OPTION (-A VERSIONS)

### 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.



**J Package – 8 Pin Cerdip**

### 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

Parameter	Test Conditions	IP7905A IP120A-05			IP7905, IP120-05 LM120-05			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V <sub>O</sub> Output Voltage	I <sub>O</sub> = 500mA V <sub>IN</sub> = -10V	-4.95	-5	-5.05	-4.9	-5	-5.1	V
	I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> P <sub>D</sub> ≤ P <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -7.5V to -20V T <sub>J</sub> = -55 to 150°C	-4.85		-5.15	-4.8		-5.2	
V <sub>O</sub> Low Supply	I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -7V to -20V P <sub>D</sub> ≤ P <sub>MAX</sub>	-4.75		-5.15	-4.75		-5.25	V
ΔV <sub>O</sub> Line Regulation	I <sub>O</sub> = 0.5 I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -7V to -25V V <sub>IN</sub> = -7.5V to -20V T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		3	10		3	25	mV
			3	10		3	50	
	V <sub>IN</sub> = -8V to -12V I <sub>O</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> T <sub>J</sub> = -55 to 150°C	1	4		1	25		
ΔV <sub>O</sub> Load Regulation	V <sub>IN</sub> = -10V I <sub>O</sub> = 5mA to 1.5A I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA		10	25		10	75	mV
			4	15		4	25	
	V <sub>IN</sub> = -10V I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> T <sub>J</sub> = -55 to 150°C	7	25		7	50		
I <sub>Q</sub> Quiescent Current	I <sub>O</sub> ≤ 0.5 I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -10V T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		1	1.9		1	1.9	mA
			1	2		1	2	
ΔI <sub>Q</sub> Quiescent Current Change	I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -10V T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		0.2	0.4		0.2	0.4	mA
			0.2	0.5		0.2	0.5	
	I <sub>O</sub> ≤ 0.5 I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -7V to -25V V <sub>IN</sub> = -8V to -25V T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		0.1	0.4		0.1	0.4	
			0.1	0.5		0.1	1.0	
V <sub>N</sub> Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz V <sub>IN</sub> = -10V		40	400		40	400	μV
ΔV <sub>IN</sub> / ΔV <sub>O</sub> Ripple Rejection	f = 120Hz V <sub>IN</sub> = -8V to -18V I <sub>O</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> I <sub>O</sub> ≤ 0.5 I <sub>MAX</sub> T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		66	80		54	80	dB
			66	80		54	80	
R <sub>O</sub> Output Resistance	f = 1 kHz I <sub>O</sub> = I <sub>MAX</sub>		1.1	2.3		1.1	2.3	V / mΩ
I <sub>sc</sub> Short Circuit Current	V <sub>IN</sub> = -35V		0.6	1.2		0.6	1.2	A
I <sub>pk</sub> Peak Output Current	V <sub>IN</sub> = -10V		2.4	3.3		2.4	3.3	A
Average Temperature Coefficient of V <sub>O</sub>	I <sub>O</sub> = 5mA		0.2	2		0.2	2	mV / °C
Input Voltage required to maintain line regulation	I <sub>O</sub> ≤ I <sub>MAX</sub>	-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<sub>p</sub> ≤ 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<sub>MAX</sub> = 10W for TO-220SM, P<sub>MAX</sub> = 1W for Cerdip, P<sub>MAX</sub> = 20W for all other package devices. I<sub>MAX</sub> = 1.0A, T<sub>J</sub> = 25°C

Parameter	Test Conditions	IP7912A IP120A-12			IP7912, IP120-12 LM120-12			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V <sub>O</sub> Output Voltage	I <sub>O</sub> = 500mA V <sub>IN</sub> = -19V	-11.88	-12	-12.12	-11.76	-12	-12.24	V
	V <sub>IN</sub> = -14.8V to -27V P <sub>D</sub> ≤ P <sub>MAX</sub> I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> T <sub>J</sub> = -55 to 150°C	-11.64		-12.36	-11.52		-12.48	
V <sub>O</sub> Low Supply	I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> P <sub>D</sub> ≤ P <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -14.5V to -27V	-11.40		-12.36	-11.40		-12.60	V
ΔV <sub>O</sub> Line Regulation	I <sub>O</sub> = 0.5 I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -14.5V to -30V		4	18		4	120	mV
	V <sub>IN</sub> = -14.8V to -27V		4	18		4	200	
	T <sub>J</sub> = -55 to 150°C							
ΔV <sub>O</sub> Load Regulation	I <sub>O</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -16V to -22V		1	4		1	25	mV
	T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		2	9		2	60	
	V <sub>IN</sub> = -19V I <sub>O</sub> = 5mA to 1.5A		12	32		12	80	
ΔV <sub>O</sub> Load Regulation	I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA		4	19		4	60	mV
	V <sub>IN</sub> = -19V I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		8	60		8	120	
I <sub>Q</sub> Quiescent Current	I <sub>O</sub> ≤ 0.5 I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -19V		0.2	0.4		0.2	0.4	mA
	T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		1	2		1	2	
ΔI <sub>Q</sub> Quiescent Current Change	I <sub>O</sub> = 5mA to I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -19V		0.2	0.4		0.2	0.4	mA
	T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		0.2	0.5		0.2	0.5	
	V <sub>IN</sub> = -14.5V to -30V		0.1	0.4		0.1	0.4	
	I <sub>O</sub> ≤ 0.5 I <sub>MAX</sub> V <sub>IN</sub> = -15V to -30V T <sub>J</sub> = -55 to 150°C		0.1	0.5		0.1	1.0	
V <sub>N</sub> Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz V <sub>IN</sub> = -19V		75	960		75	960	μV
ΔV <sub>IN</sub> / ΔV <sub>O</sub> Ripple Rejection	f = 120Hz I <sub>O</sub> ≤ I <sub>MAX</sub>	58	72		56	72		dB
	V <sub>IN</sub> = -15V to -25V I <sub>O</sub> ≤ 0.5 I <sub>MAX</sub> T <sub>J</sub> = -55 to 150°C	58	72		56	72		
Dropout Voltage	I <sub>O</sub> = I <sub>MAX</sub>		1.1	2.3		1.1	2.3	V
R <sub>O</sub> Output Resistance	f = 1 kHz		8			8		mΩ
I <sub>sc</sub> Short Circuit Current	V <sub>IN</sub> = -35V		0.6	1.2		0.6	1.2	A
I <sub>pk</sub> Peak Output Current	V <sub>IN</sub> = -19V		2.4	3.3		2.4	3.3	
Average Temperature Coefficient of V <sub>O</sub>	I <sub>O</sub> = 5mA		0.5	4.8		0.5	4.8	mV/°C
Input Voltage required to maintain line regulation	I <sub>O</sub> ≤ I <sub>MAX</sub>	-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<sub>p</sub> ≤ 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<sub>MAX</sub> = 10W for TO-220SM, P<sub>MAX</sub> = 1W for Cerdip, P<sub>MAX</sub> = 20W for all other package devices  
I<sub>MAX</sub> = 1.0A, T<sub>J</sub> = 25°C

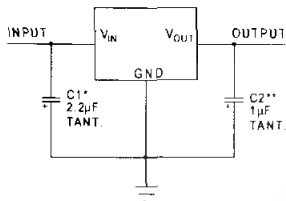
Parameter	Test Conditions	IP7915A IP120A-15			IP7915, IP120-15 LM120-15			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_O$ Output Voltage	$I_O = 500\text{mA}$ $V_{IN} = -23\text{V}$ $V_{IN} = -17.9\text{V to } -30\text{V}$ $P_D \leq P_{MAX}$ $I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	-14.85	-15	-15.15	-14.7	-15	-15.3	V
$V_O$ Low Supply	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$ $V_{IN} = -17.5\text{V to } -30\text{V}$	-14.25		-15.45	-14.25		-15.75	V
$\Delta V_O$ Line Regulation	$I_O = 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -17.5\text{V to } -30\text{V}$		4	22		4	150	mV
	$I_O = 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -17.9\text{V to } -30\text{V}$		4	22		4	250	
	$I_O \leq I_{MAX}$ $V_{IN} = -20\text{V to } -26\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		2	10		2	75	
$\Delta V_O$ Load Regulation	$V_{IN} = -23\text{V}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$		12	35		12	80	mV
	$V_{IN} = -23\text{V}$ $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$		4	21		4	75	
	$V_{IN} = -23\text{V}$ $I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		9	75		9	150	
$I_Q$ Quiescent Current	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -23\text{V}$		1	1.9		1	1.9	mA
	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -23\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		1	2		1	2	
$\Delta I_Q$ Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $V_{IN} = -23\text{V}$		0.2	0.4		0.2	0.4	mA
	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $V_{IN} = -23\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		0.2	0.5		0.2	0.5	
	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -17.5\text{V to } -30\text{V}$		0.1	0.4		0.1	0.4	
	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -18.5\text{V to } -30\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		0.1	0.5		0.1	1.0	
$V_N$ Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $V_{IN} = -23\text{V}$		90	1200		90	1200	$\mu\text{V}$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$ Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$ $I_O \leq I_{MAX}$	56	70		54	70		dB
	$V_{IN} = -18.5\text{V to } -28.5\text{V}$ $I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	56	70		54	70		
Dropout Voltage	$I_O = I_{MAX}$		1.1	2.3		1.1	2.3	V
$R_O$ Output Resistance	$f = 1 \text{ kHz}$		9			9		$\text{m}\Omega$
$I_{sc}$ Short Circuit Current	$V_{IN} = -35\text{V}$		0.6	1.2		0.6	1.2	A
$I_{pk}$ Peak Output Current	$V_{IN} = -23\text{V}$		2.4	3.3		2.4	3.3	A
Average Temperature Coefficient of $V_O$	$I_O = 5\text{mA}$		0.6	6		0.6	6	$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Input Voltage required to maintain line regulation	$I_O \leq I_{MAX}$	-17.5			-17.5			V

1) 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 ( $t_p \leq 10\text{ms}$ ,  $\delta \leq 5\%$ ). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

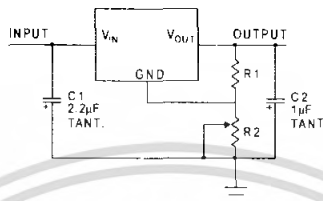
2) Test Conditions unless otherwise stated:  $P_{MAX} = 10\text{W}$  for TO-220SM,  $P_{MAX} = 1\text{W}$  for Cerdip,  $P_{MAX} = 20\text{W}$  for all other package devices  
 $I_{MAX} = 1.0\text{A}$ ,  $T_J = 25^\circ\text{C}$

**APPLICATIONS INFORMATION**



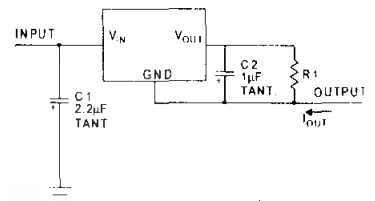
**Fixed Output Regulator**

- \* Required if the regulator is located far from the power supply.
- \*\* Required for stability. 25µF electrolytic may be substituted.



**Adjustable Output Regulator**

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



**Current Regulator**

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

**Order Information**

Part Number	K-Pack (TO-3)	R-Pack (TO-66)	G/IG-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	✓	✓	✓	✓	✓	"	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# KA78XX/KA78XXA

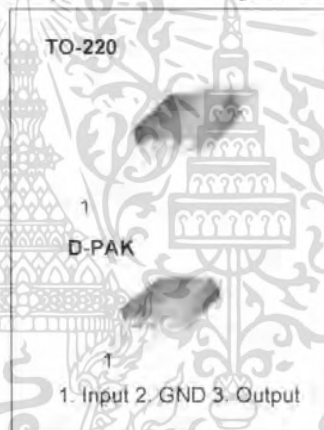
## 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

### Features

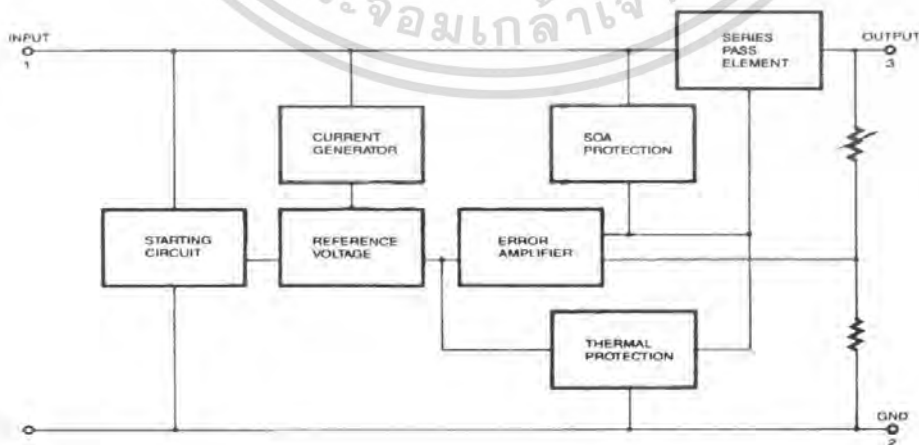
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

The KA78XX/KA78XXA series of three-terminal positive regulator are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.0

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$ ) (for $V_O = 24V$ )	$V_I$	35	V
	$V_I$	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range (KA78XX/A/R)	TOPR	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

## Electrical Characteristics (KA7805/KA7805R)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $V_I = 10V$ ,  $C_I = 0.33\mu F$ ,  $C_O = 0.1\mu F$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O < 1.0A$ , $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10Hz$ to $100KHz$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{Drop}$	$I_O = 1A$ , $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1KHz$	-	15	-	m $\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35V$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7806/KA7806R)

(Refer to test circuit ,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7806			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V	
		$5.0\text{mA} < I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O < 15\text{W}$ $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	-	5	120	mV
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	1.5	60	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	120	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	3	60	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	-	-	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	45	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	59	75	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7808/KA7808R)

(Refer to test circuit ,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 14\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7808			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.7	8.0	8.3	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O < 15\text{W}$ $V_I = 10.5\text{V to } 23\text{V}$	7.6	8.0	8.4		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	-	5.0	160	mV
			$V_I = 11.5\text{V to } 17\text{V}$	-	2.0	80	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5.0\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	10	160	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	80	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.05	0.5	mA	
		$V_I = 10.5\text{A to } 25\text{V}$	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	52	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $V_I = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	56	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7809/KA7809R)

(Refer to test circuit , $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 15\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7809			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.65	9	9.35	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	8.6	9	9.4		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$	-	6	180	mV
			$V_I = 12\text{V to } 17\text{V}$	-	2	90	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	180	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	90	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$	-	-	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	58	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 13\text{V to } 23\text{V}$	56	71	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7810)

(Refer to test circuit ,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 16\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7810			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.6	10	10.4	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	9.5	10	10.5		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	-	10	200	mV
			$V_I = 13\text{V to } 25\text{V}$	-	3	100	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	200	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	400	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 12.5\text{V to } 29\text{V}$	-	-	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	58	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 13\text{V to } 23\text{V}$	56	71	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7812/KA7812R)

(Refer to test circuit , $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 19\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7812/KA7812R			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12	12.5	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	11.4	12	12.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	-	10	240	mV
			$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	-	3.0	120	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	11	240	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	120	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	76	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 15\text{V to } 25\text{V}$	55	71	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7815)

(Refer to test circuit ,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 23\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7815			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.4	15	15.6	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	14.25	15	15.75		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	-	11	300	mV
			$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	-	3	150	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	300	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	150	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	-	-	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	90	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	54	70	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7818)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 27\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7818			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.3	18	18.7	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.1	18	18.9		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	-	15	360	mV
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	-	5	180	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	360	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	180	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	-	-	1		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	110	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	53	69	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	22	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7824)

(Refer to test circuit ,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 33\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	KA7824			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23	24	25	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	22.8	24	25.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	-	17	480	mV
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	-	6	240	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	480	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	240	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	-	0.5	1		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.5	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	60	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	50	67	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	28	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7805A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5	5.1	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5	5.2	
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	5	50	mV
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	3	50	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	-	5	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	1.5	25	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	9	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8	
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	
Output Voltage Drift	$\Delta V / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	-	68	-	dB
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7806A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.58	6	6.12	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8.6\text{V to } 21\text{V}$	5.76	6	6.24		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 8.6\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	5	60	mV	
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	3	60		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8.3\text{V to } 21\text{V}$	-	5		60
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	1.5		30
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	4	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	4.3	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 9\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$V_I = 8.5\text{V to } 21\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	-	65	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7808A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 14\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.84	8	8.16	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$	7.7	8	8.3	
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 10.6\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	6	80	mV
		$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	-	3	80	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.4\text{V to } 23\text{V}$ $V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	-	6 2	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	12	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA
		$V_I = 11\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8	
		$V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	-	62	-	dB
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7809A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 15\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.82	9.0	9.18	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_{O\leq 15\text{W}}$ $V_I = 11.2\text{V to } 24\text{V}$	8.65	9.0	9.35		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	6	90	mV	
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	-	4	45		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	-	6		90
			$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	-	2		45
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 12\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 12\text{V to } 22\text{V}$	-	62	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7810A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 16\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.8	10	10.2	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 12.8\text{V to } 25\text{V}$	9.6	10	10.4		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 12.8\text{V to } 26\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	8	100	mV	
		$V_I = 13\text{V to } 20\text{V}$	-	4	50		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	-	8		100
			$V_I = 13\text{V to } 20\text{V}$	-	3		50
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 13\text{V to } 26\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 12.8\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	-	62	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7812A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 19\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.75	12	12.25	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$	11.5	12	12.5	
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	10	120	mV
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	-	4	120	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$ $V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	- -	10 3	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	6.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA
		$V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	-	60	-	dB
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7815A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 23\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.7	15	15.3	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 17.7\text{V to } 30\text{V}$	14.4	15	15.6	
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 17.9\text{V to } 30\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	10	150	mV
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	-	5	150	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$ $V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	- -	11 3	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	6.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	-	58	-	dB
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7818A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 27\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.64	18	18.36	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.3	18	18.7		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	15	180	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	-	5	180		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 20.6\text{V to } 33\text{V}$	-	15		180
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	-	5		90
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	15	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	7	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	-	57	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (KA7824A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < +125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 33\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.5	24	24.5	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$	23	24	25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	18	240	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	-	6	240		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 26.7\text{V to } 38\text{V}$	-	18		240
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	-	6		120
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	15	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	7	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.5	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	-	54	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	20	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Typical Performance Characteristics

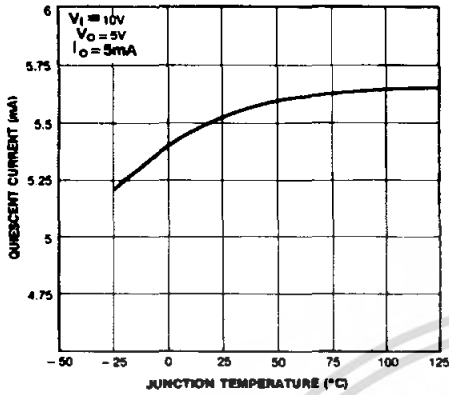


Figure 1. Quiescent Current

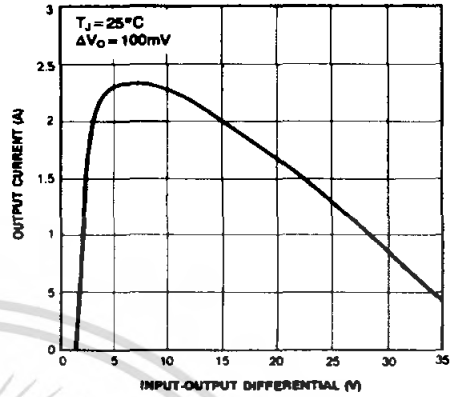


Figure 2. Peak Output Current

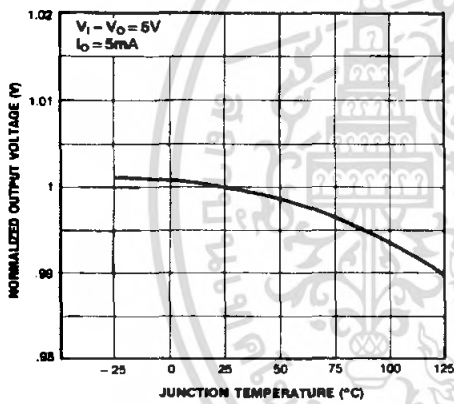


Figure 3. Output Voltage

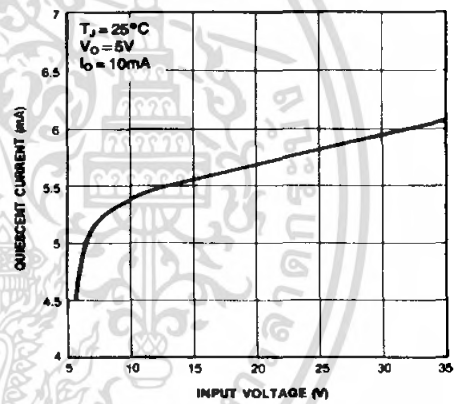


Figure 4. Quiescent Current

## Typical Applications

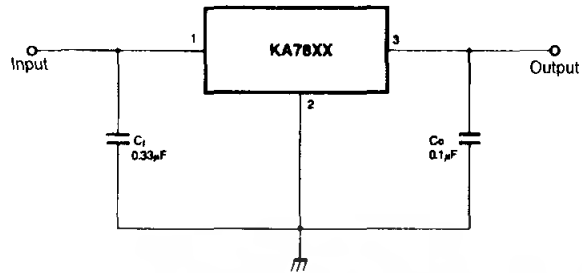


Figure 5. DC Parameters

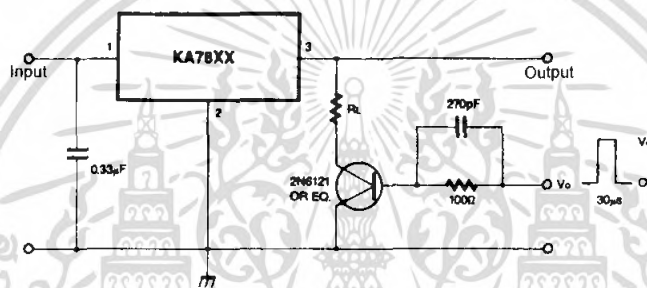


Figure 6. Load Regulation

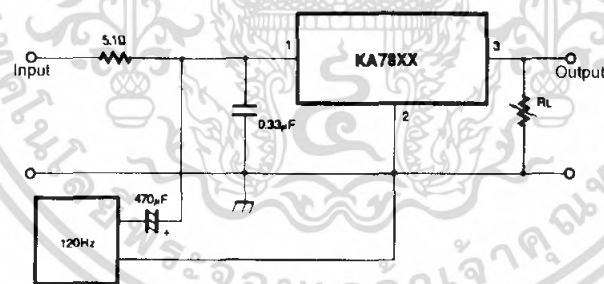


Figure 7. Ripple Rejection

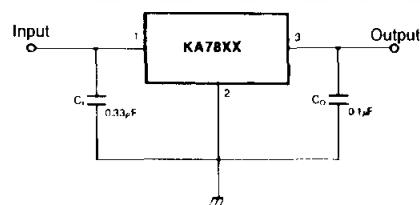
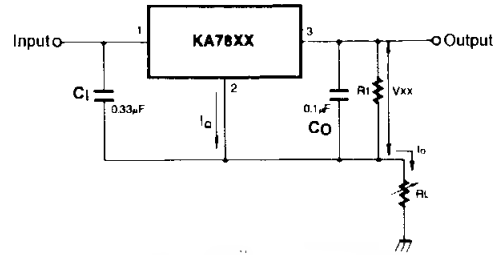


Figure 8. Fixed Output Regulator

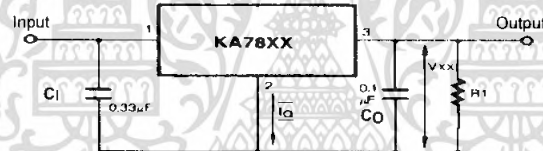


$$I_o = \frac{V_{XX}}{R_1} + I_Q$$

Figure 9. Constant Current Regulator

**Notes:**

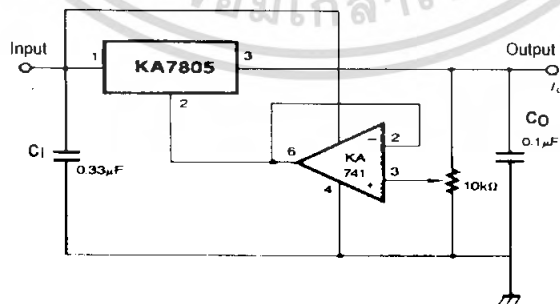
- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power Supply filter.
- (3) C0 improves stability and transient response.



$$I_{R1} \geq 5I_Q$$

$$V_O = V_{XX}(1+R_2/R_1)+I_Q R_2$$

Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage



$$I_{R1} \geq 5 I_Q$$

$$V_O = V_{XX}(1+R_2/R_1)+I_Q R_2$$

Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)

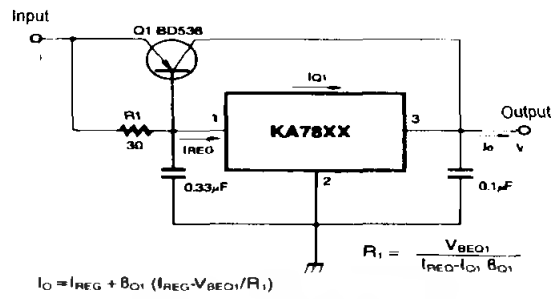


Figure 12. High Current Voltage Regulator

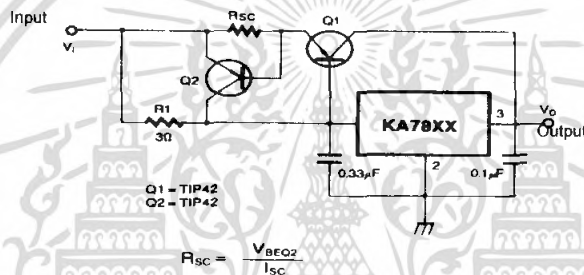


Figure 13. High Output Current with Short Circuit Protection

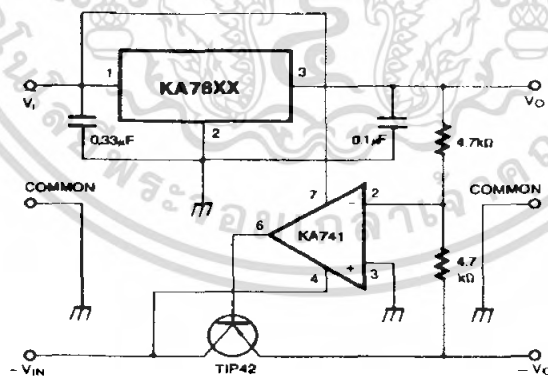


Figure 14. Tracking Voltage Regulator

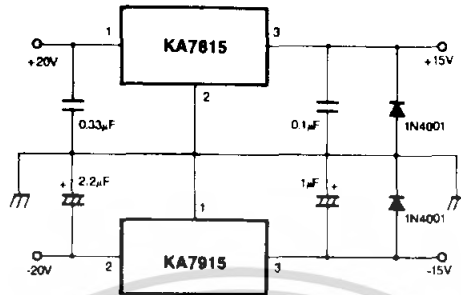


Figure 15. Split Power Supply ( ±15V-1A)

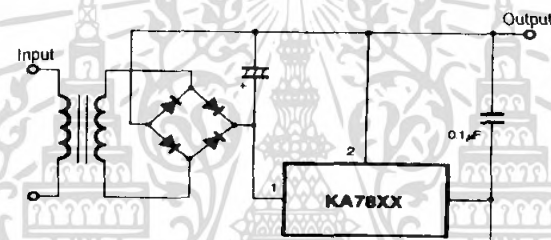


Figure 16. Negative Output Voltage Circuit

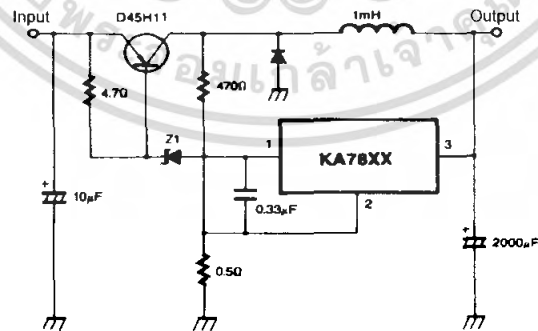


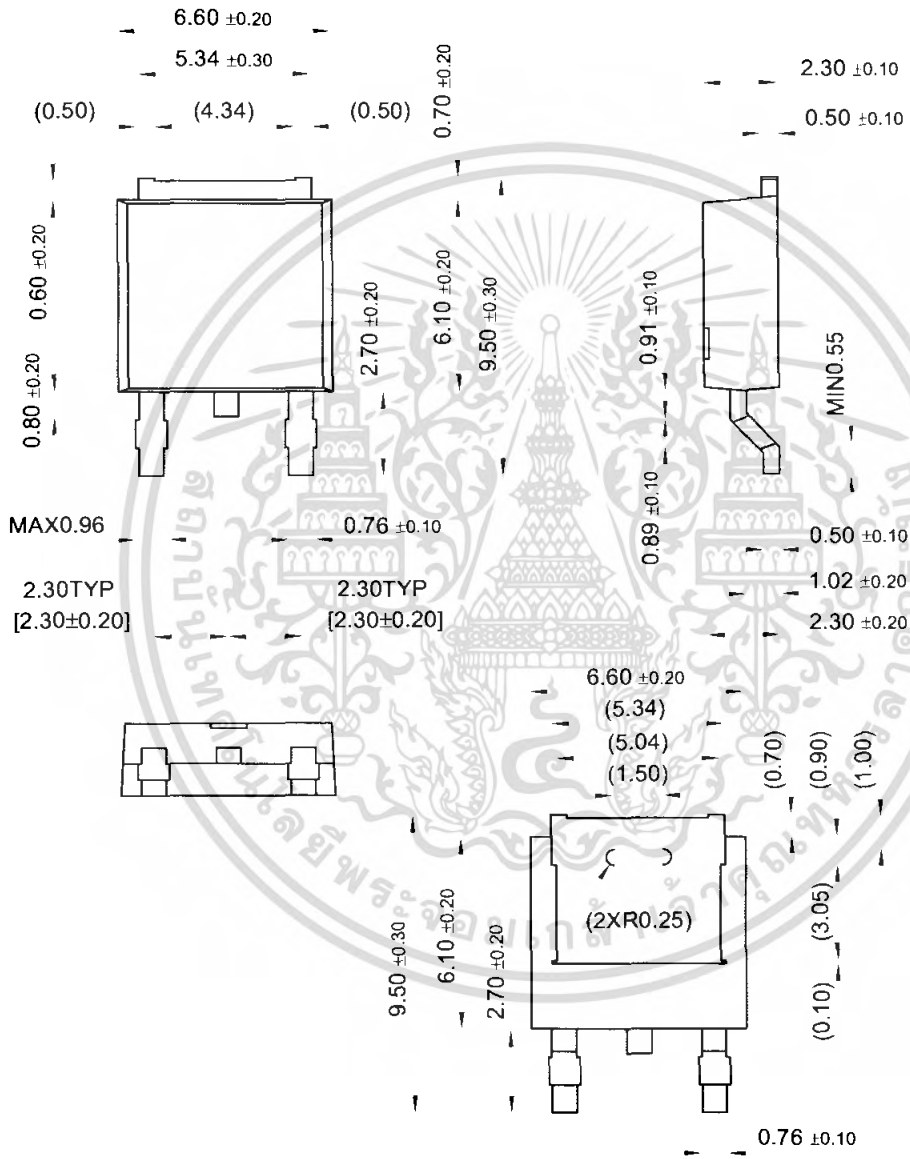
Figure 17. Switching Regulator



### Mechanical Dimensions (Continued)

#### Package

## D-PAK



## Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
KA7805 / KA7806	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C
KA7808 / KA7809			
KA7810			
KA7812 / KA7815			
KA7818 / KA7824			
KA7805A / KA7806A	±2%		
KA7808A / KA7809A			
KA7810A / KA7812A			
KA7815A / KA7818A			
KA7824A			
KA7805R / KA7806R	±4%	D-PAK	
KA7808R / KA7809R			
KA7812R			





**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](http://www.fairchildsemi.com)

## 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.

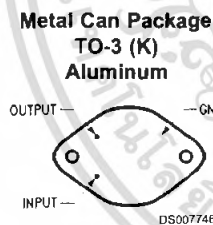
### Features

- 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

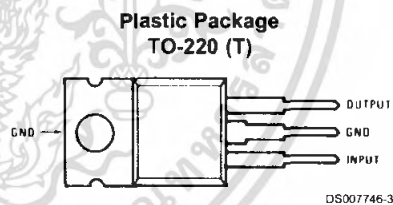
### Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

### Connection Diagrams

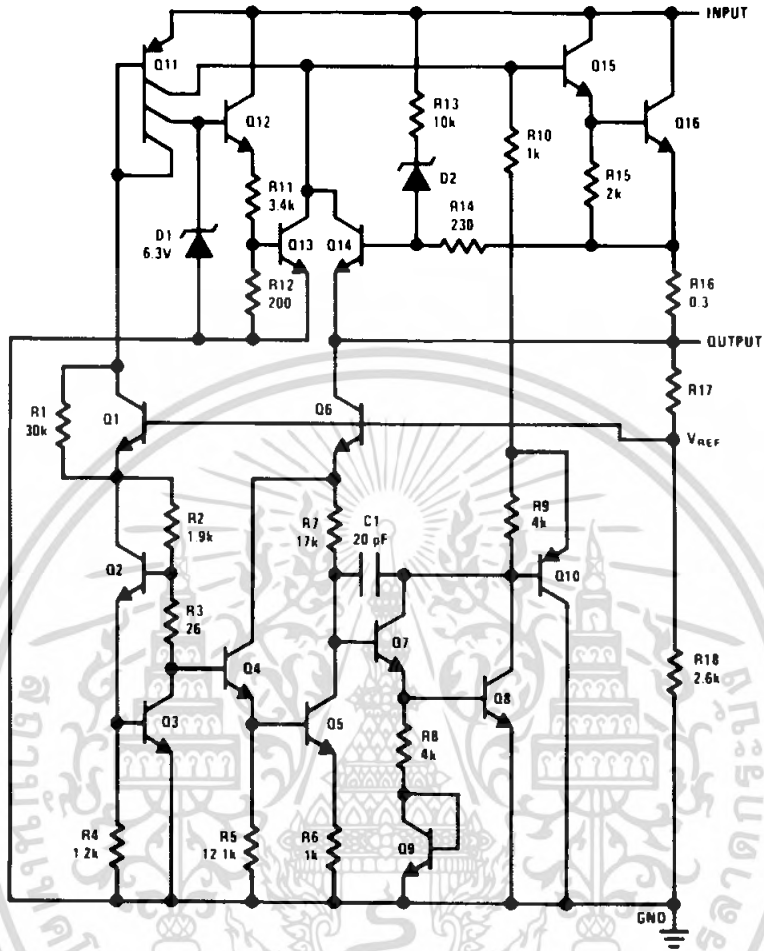


**Bottom View**  
Order Number LM7805CK,  
LM7812CK or LM7815CK  
See NS Package Number KC02A



**Top View**  
Order Number LM7805CT,  
LM7812CT or LM7815CT  
See NS Package Number T03B

Schematic



DS007746-1

**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 ≤  $T_J$  ≤ 125°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	14.25		15.75	V	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)				(14.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)			(17.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			V
$\Delta V_O$	Line Regulation	$I_O = 500 \text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3	50		4	120		4	150	mV	
			$\Delta V_{\text{IN}}$	(7 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 25)			(14.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			(17.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			V
		$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	$\Delta V_{\text{IN}}$			50			120			150	mV
			$\Delta V_{\text{IN}}$	(8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)			(15 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)			(18.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			V
		$I_O \leq 1 \text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			50			120			150	mV
			$\Delta V_{\text{IN}}$	(7.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)			(14.6 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)			(17.7 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			V
$\Delta V_O$	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	
		$5 \text{ mA} \leq I_O \leq 1 \text{ A}$		0.5			0.5			0.5	mA		
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1 \text{ A}$	$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(7.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 20)			(14.8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 27)			(17.9 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 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 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 25)			(14.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			(17.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 30)			V	
$V_N$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$		40			75			90	μV		
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$	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	
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	(8 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 18)			(15 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 25)			(18.5 ≤ $V_{\text{IN}}$ ≤ 28.5)			V
		$f = 1 \text{ kHz}$		8			18			19		mΩ	

## Electrical Characteristics LM78XXC (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 $V_{\text{OUT}}$	$0^{\circ}\text{C} \leq T_j \leq +125^{\circ}\text{C}$ , $I_o = 5\text{ mA}$	0.6			1.5			1.8			mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_{\text{IN}}$	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

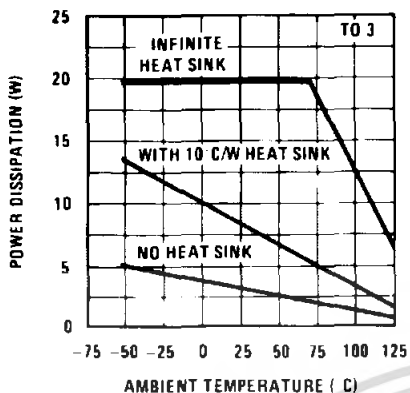
**Note 1:** Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically  $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$  junction to case and  $35^{\circ}\text{C}/\text{W}$  case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically  $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$  junction to case and  $50^{\circ}\text{C}/\text{W}$  case to ambient.

**Note 2:** All characteristics are measured with 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.

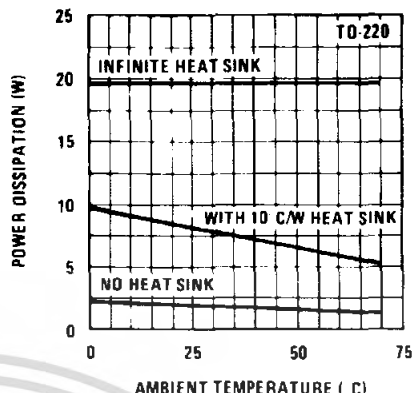
# Typical Performance Characteristics

Maximum Average Power Dissipation



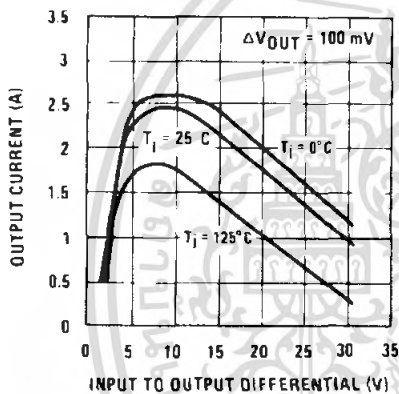
DS007746-5

Maximum Average Power Dissipation



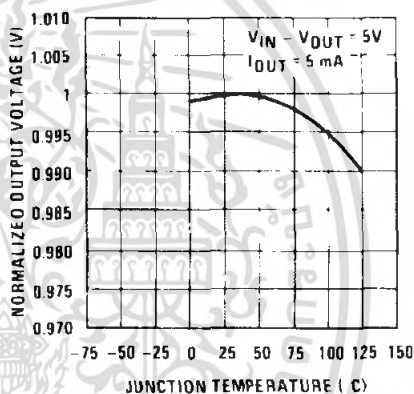
DS007746-6

Peak Output Current



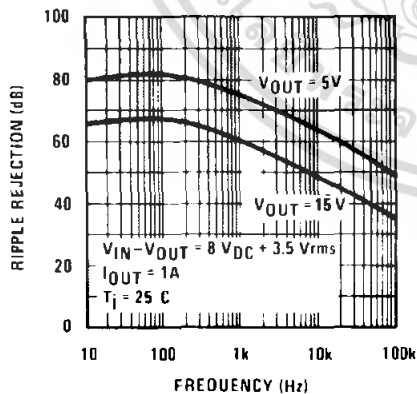
DS007746-7

Output Voltage (Normalized to 1V at  $T_j = 25^\circ\text{C}$ )



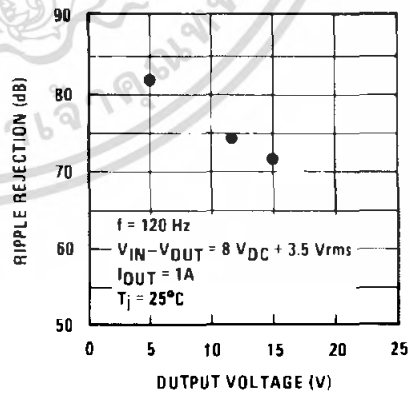
DS007746-8

Ripple Rejection



DS007746-9

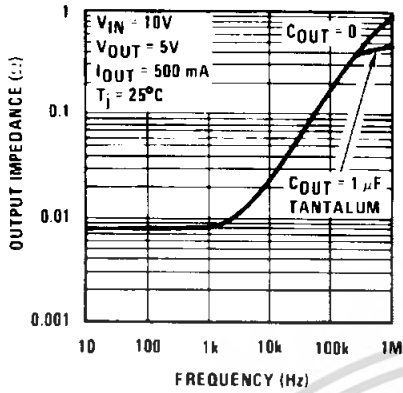
Ripple Rejection



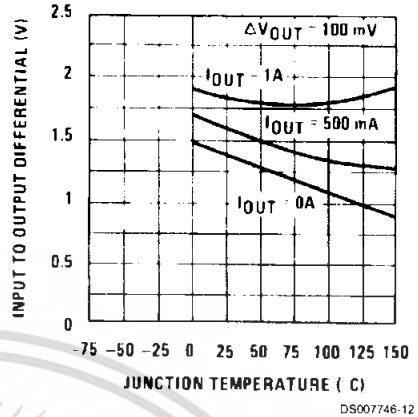
DS007746-10

# Typical Performance Characteristics (Continued)

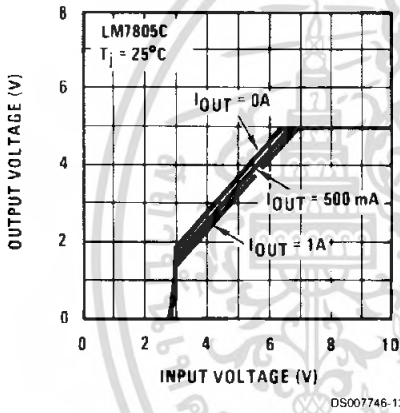
Output Impedance



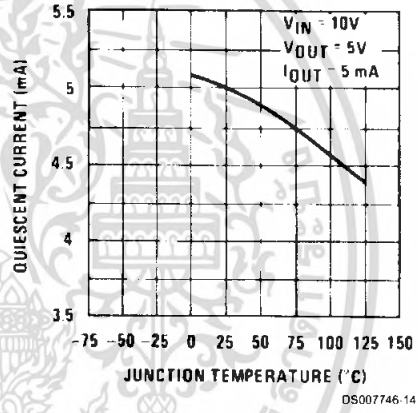
Dropout Voltage



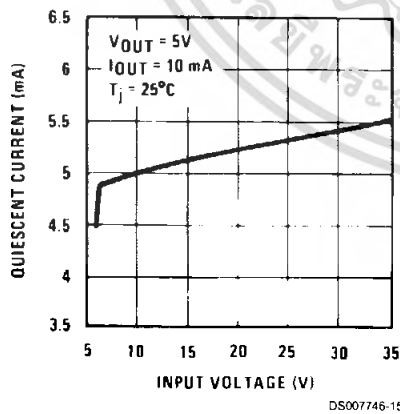
Dropout Characteristics



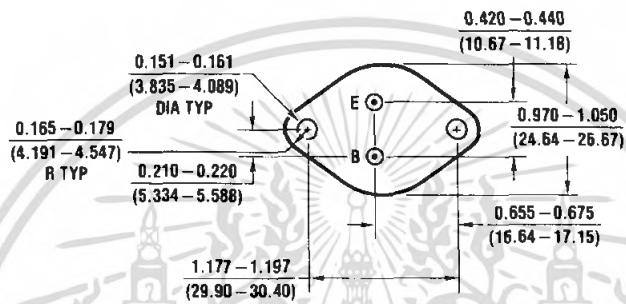
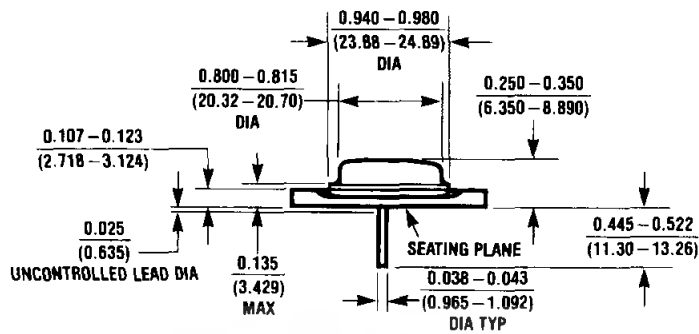
Quiescent Current



Quiescent Current



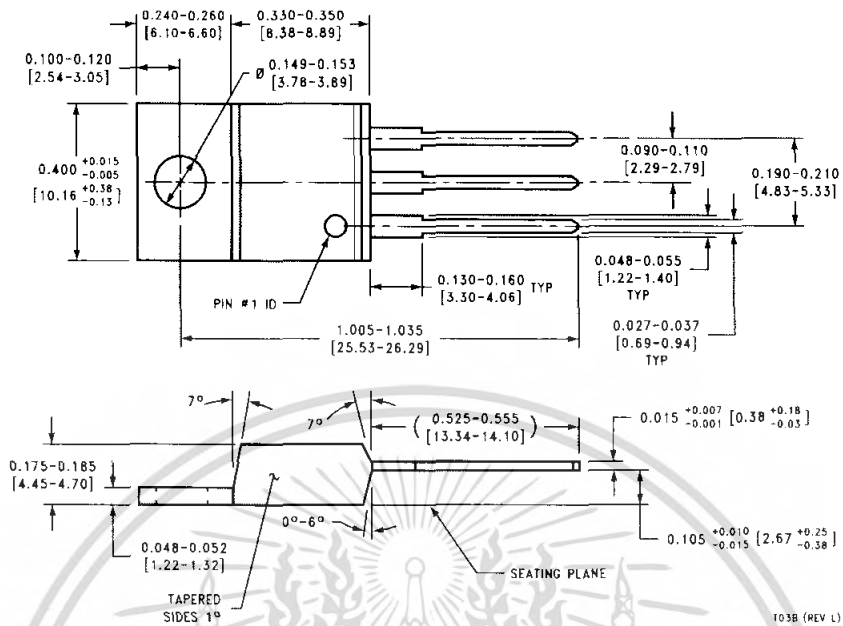
## Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



KC02A (REV C)

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

**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 ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM741

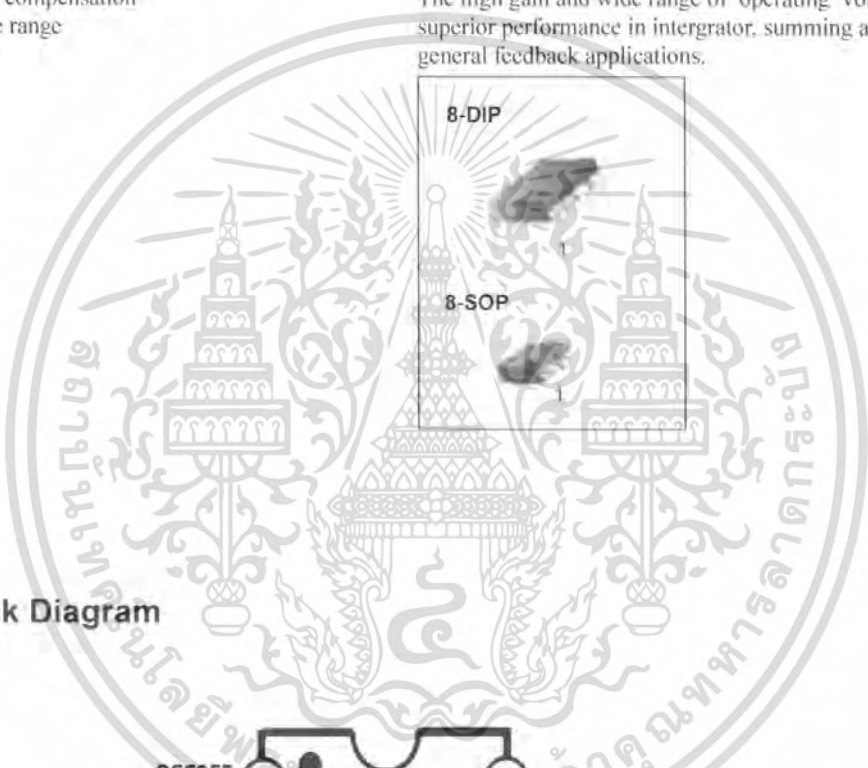
## Single Operational Amplifier

### Features

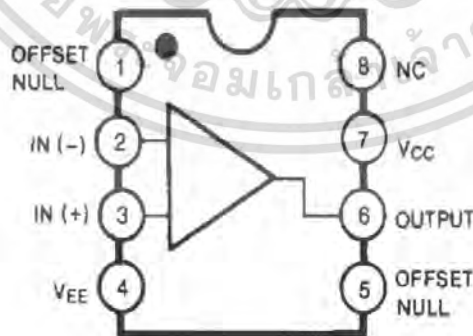
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

### Description

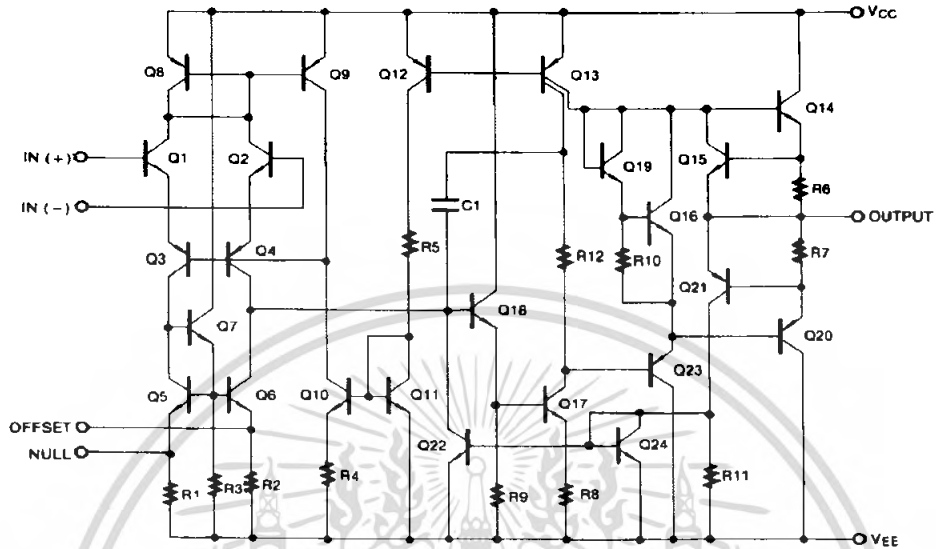
The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.



### Internal Block Diagram



## Schematic Diagram



## Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range LM741C LM741I	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		$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	$\pm 15$	-	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		$V_{I(R)}$	-	$\pm 12$	$\pm 13$	-	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
			$V_{CC} = \pm 20V$ , $R_L \geq 2K\Omega$	-	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15V$ , $R_L \geq 10K\Omega$	$\pm 12$	$\pm 14$	-	
			$V_{CC} = \pm 15V$ , $R_L \geq 2K\Omega$	$\pm 10$	$\pm 13$	-	
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	-	$\mu s$
	Overshoot	OS	Unity Gain	-	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		PC	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	-	mW
			$V_{CC} = \pm 15V$	-	50	85	

Note:

1. Guaranteed by design.

## 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	
		$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	-	-	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	$\mu\text{A}$	
Input Resistance (Note1)	$R_I$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	M $\Omega$	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	$\pm 12$	$\pm 13$	-	V	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	-	-	-	V
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	$\pm 12$	$\pm 14$	-	
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	$\pm 10$	$\pm 13$	-	
Output Short Circuit Current	$I_{SC}$	-	10	-	40	mA	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10\text{K}\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	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 $\pm 15\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	$G_V$	$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ , $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	-	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

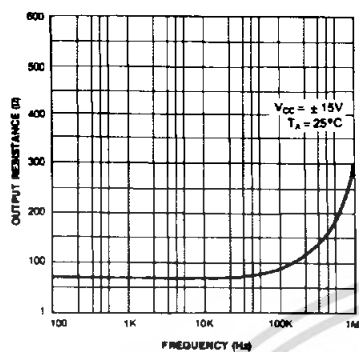


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

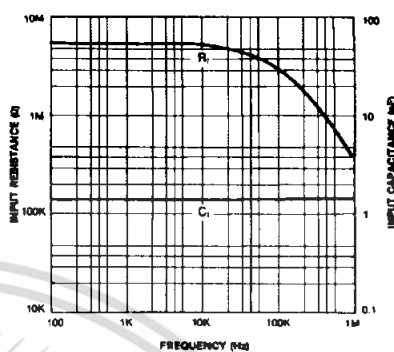


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

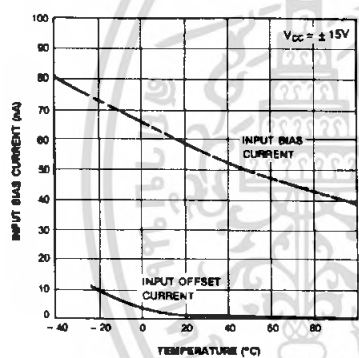


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

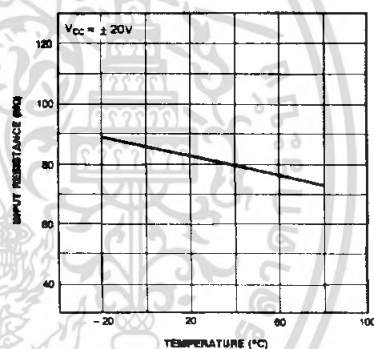


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

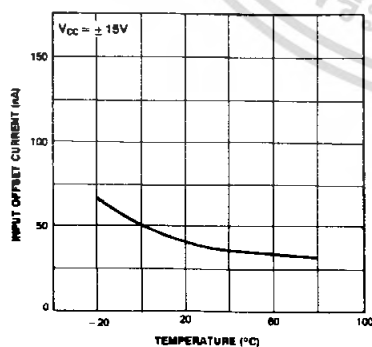


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

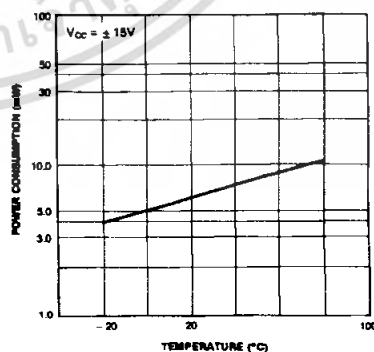


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

## Typical Performance Characteristics (continued)

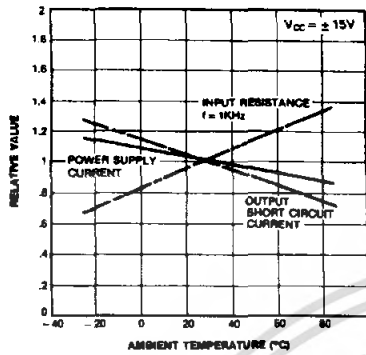


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

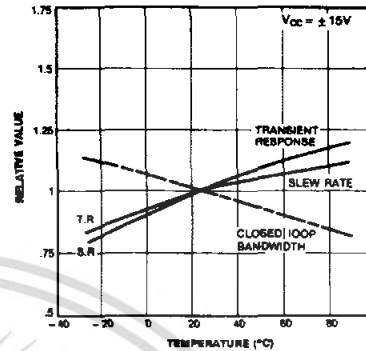


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

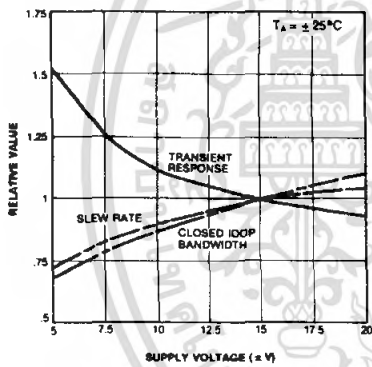


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

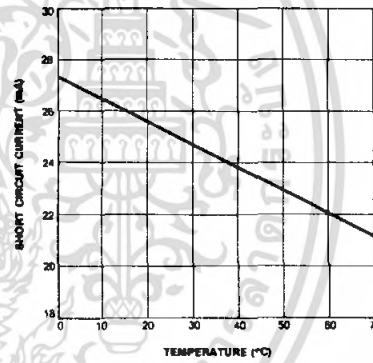


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

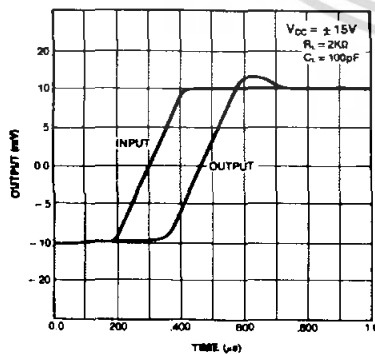


Figure 11. Transient Response

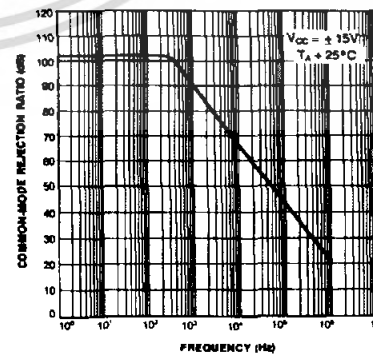


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

## Typical Performance Characteristics (continued)

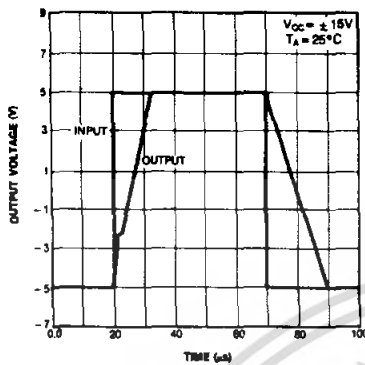


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

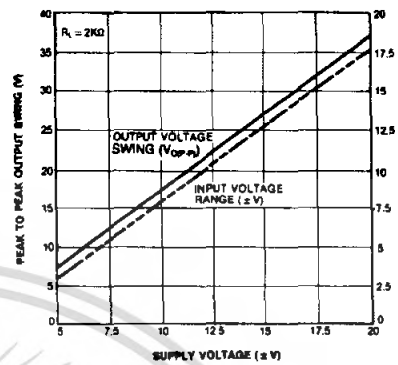
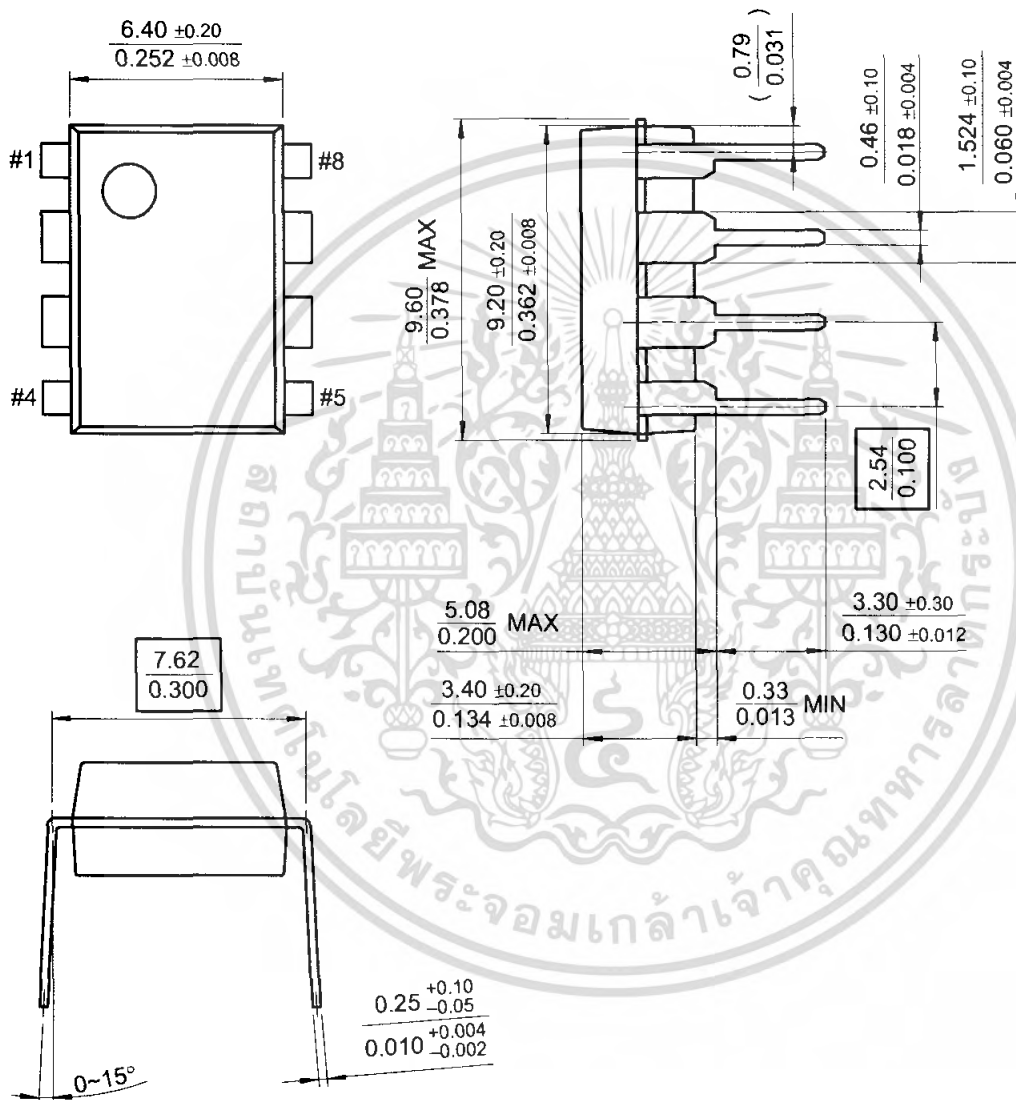


Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

## Mechanical Dimensions

### Package

### 8-DIP





## 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](http://www.fairchildsemi.com)



# BTW67 and BTW69 Series

STANDARD

50A SCRs

## MAIN FEATURES:

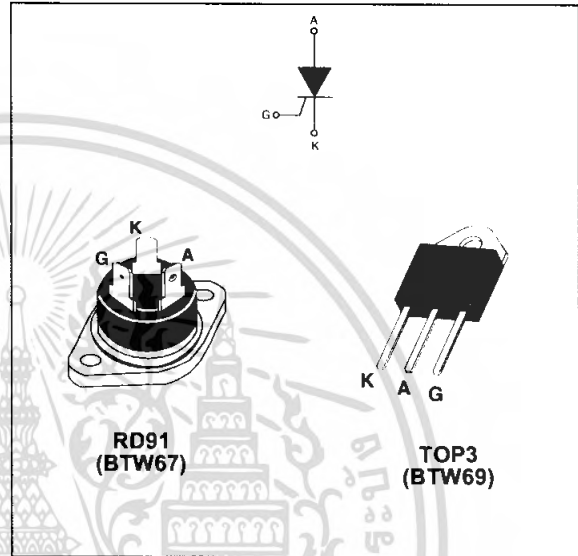
Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	50	A
$V_{DRM}/V_{RRM}$	600 to 1200	V
$I_{GT}$	80	mA

## 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
		$t_p = 10 \text{ ms}$	
$I^2 t$	$I^2 t$ Value for fusing	$T_j = 25^\circ\text{C}$	1680 $\text{A}^2\text{s}$
$di/dt$	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 $\text{A}/\mu\text{s}$
$I_{GM}$	Peak gate current	$t_p = 20 \mu\text{s}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	8 A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$	1 W
$T_{stg}$ $T_j$	Storage junction temperature range Operating junction temperature range		- 40 to + 150 - 40 to + 125 $^\circ\text{C}$
$V_{RGM}$	Maximum peak reverse gate voltage		5 V

April 2001 - Ed: 4

1/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BTW67 and BTW69 Series

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>j</sub> = 25°C, unless otherwise specified)

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
I <sub>GT</sub>	V <sub>D</sub> = 12 V    R <sub>L</sub> = 33 Ω	MIN.	8	mA	
		MAX.	80		
V <sub>GT</sub>		MAX.	1.3	V	
V <sub>GD</sub>	V <sub>D</sub> = V <sub>DRM</sub> R <sub>L</sub> = 3.3 kΩ	T <sub>j</sub> = 125°C	MIN.	0.2	V
I <sub>H</sub>	I <sub>T</sub> = 500 mA    Gate open		MAX.	150	mA
I <sub>L</sub>	I <sub>G</sub> = 1.2 I <sub>GT</sub>		MAX.	200	mA
dV/dt	V <sub>D</sub> = 67 % V <sub>DRM</sub> Gate open	T <sub>j</sub> = 125°C	MIN.	1000	V/μs
V <sub>TM</sub>	I <sub>TM</sub> = 100 A    t <sub>p</sub> = 380 μs	T <sub>j</sub> = 25°C	MAX.	1.9	V
V <sub>t0</sub>	Threshold voltage	T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.	1.0	V
R <sub>d</sub>	Dynamic resistance	T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.	8.5	mΩ
I <sub>DRM</sub> I <sub>RRM</sub>	V <sub>DRM</sub> = V <sub>RRM</sub>	T <sub>j</sub> = 25°C	MAX.	10	μA
		T <sub>j</sub> = 125°C		5	mA

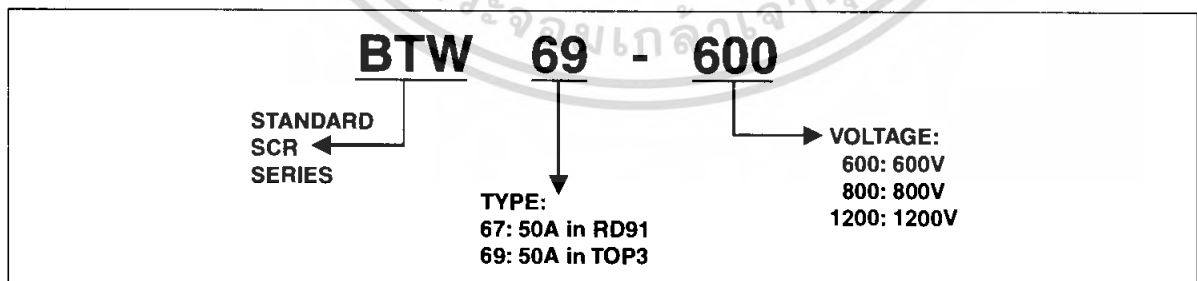
### THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter	Value	Unit	
R <sub>th(j-c)</sub>	Junction to case (DC)	RD91 (Insulated)	1.0	°C/W
		TOP3 Insulated	0.9	
R <sub>th(j-a)</sub>	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



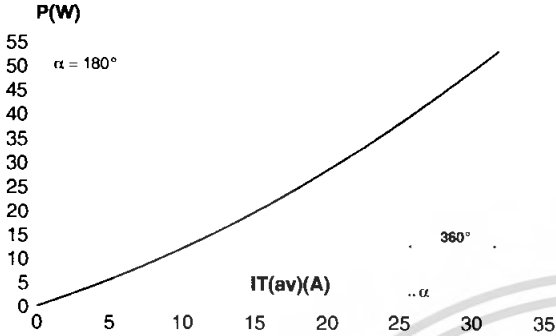
### OTHER INFORMATION

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

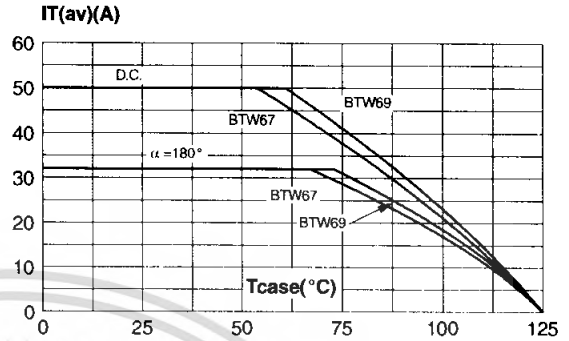
Note: xxx = voltage



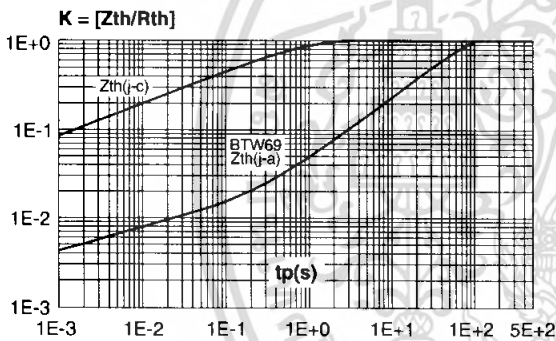
**Fig. 1:** Maximum average power dissipation versus average on-state current.



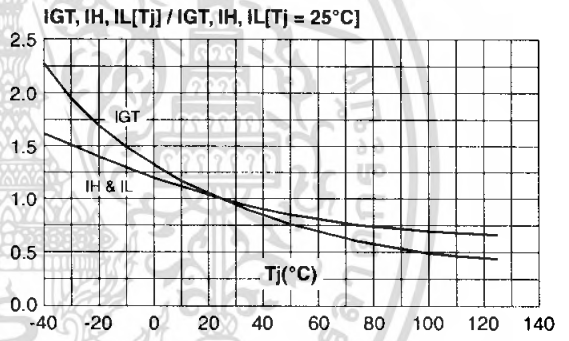
**Fig. 2:** Average and D.C. on-state current versus case temperature.



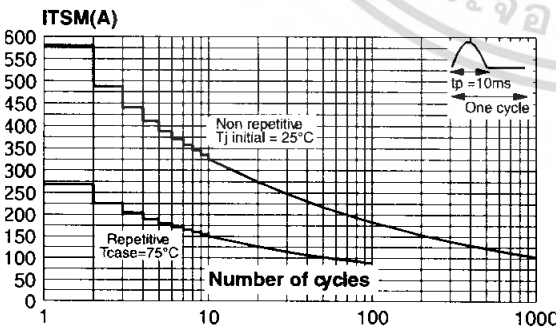
**Fig. 3:** Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.



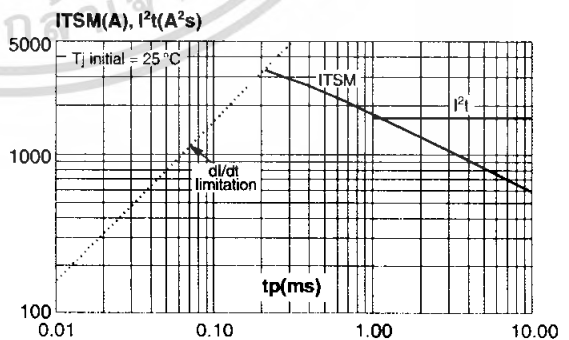
**Fig. 4:** Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature.



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

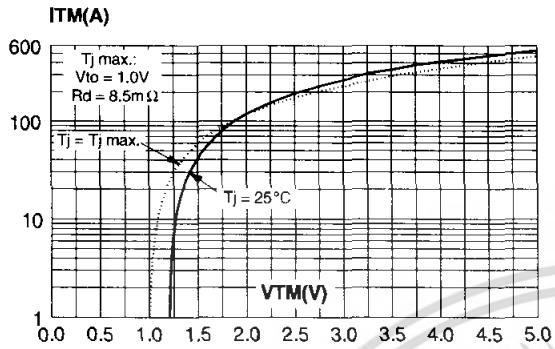


**Fig. 6:** Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width tp < 10ms, and corresponding value of I²t.



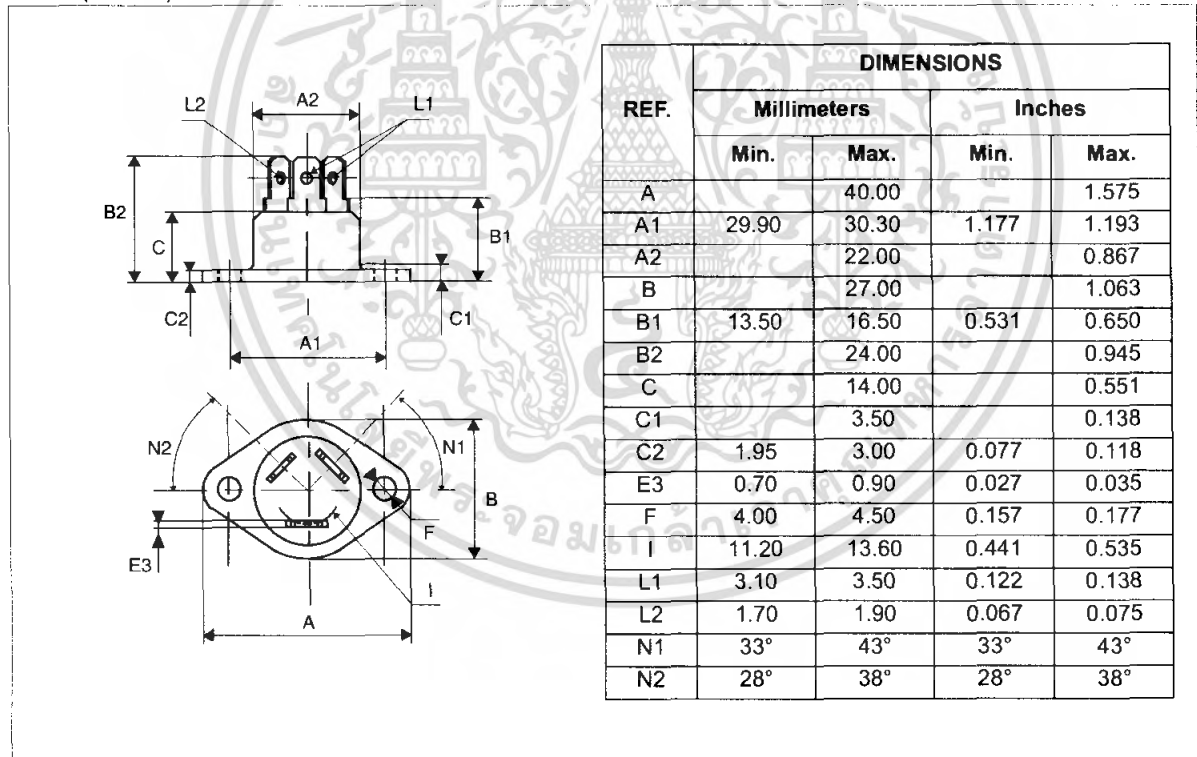
## BTW67 and BTW69 Series

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



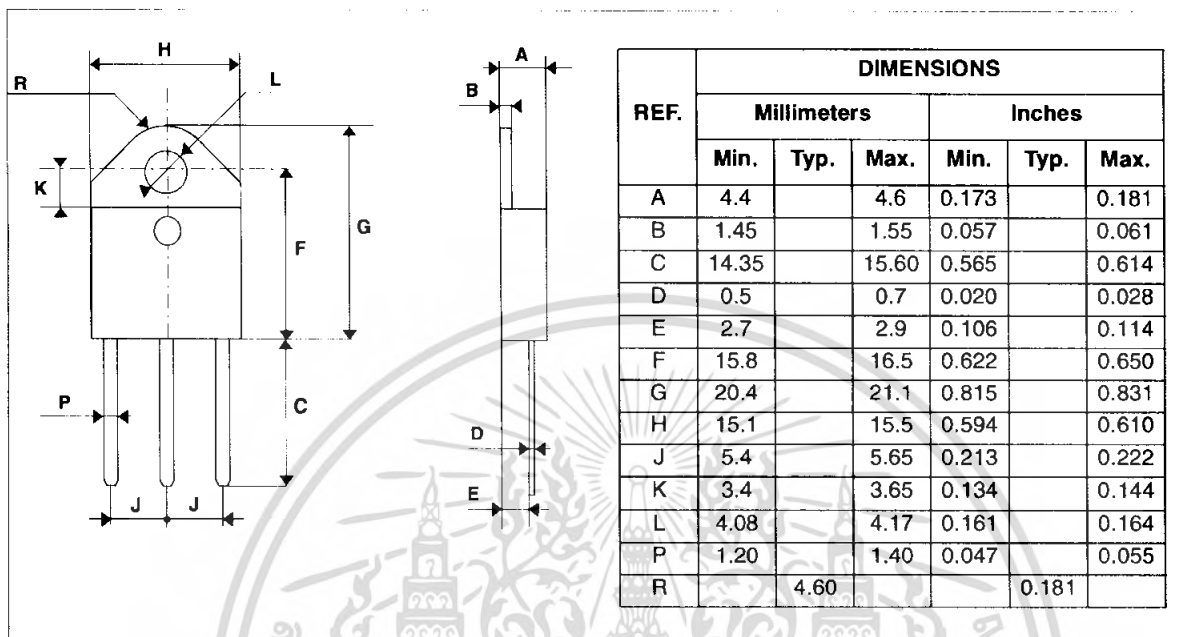
## PACKAGE MECHANICAL DATA

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>

