

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ควอดแรนต์

โดยใช้คู่อัลริสเตอร์คอนเวอร์เตอร์

A 4-QUADRANT DC MOTOR DRIVE USING

DUAL THYRISTER CONVERTERS



โดย

นาย นพพล พวงเสน

นาย ไพบุลย์ แก้ววรสุตร

นาย รุ่งโรจน์ สาระวิชัย

นาย สุขสันต์ ศรีโนนยาง

๒๗

๒๖/๗๖ก

๒๕๔๙

เลขหมู่.....

73004

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี... 27 ส.ย. 2550

b. 11๖๖ ๖๒๔๙
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๔๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ควอดแรนต์

โดยใช้คู่อัลทริสเตอร์คอนเวอร์เตอร์

A 4-QUADRANT DC MOTOR DRIVE USING

DUAL THYRISTER CONVERTERS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ

อ. ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2549

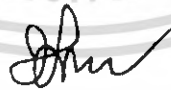
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4 ควอดแดรนต์

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย นพพล พวงเสน
 2. นาย ไพบุลย์ แก้ววรสุตร
 3. นาย รุ่งโรจน์ สาระวิชัย
 4. นาย สุขสันต์ ศรีโนนยาง



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



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4 ควอดแรนท์

นาย นพพล พวงเสน

นาย ไพบูลย์ แก้ววรสุตร

นาย รุ่งโรจน์ สาระวิชัย

นาย สุขสันต์ ศรีโนนยาง

รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ชัยทัต มณีอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้นำเสนอการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขดลวดแยก กระตุ่น 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 THYRISTER CONVERTERS

Noppon Phuangsen

Paiboon Keawwasut

Rungroj Saravichai

Sooksant Srinonyang

Assoc. Prof. Dr. Vijit Ginnares

Advisor

Chaitat manee-in

Advisor

2006

ABSTRACT

This project presents the speed control separately excited DC motor. Which is controlled armature voltage. A rating motor is 2.2 kW ,13.5A,220V and 1150 rpm. The objective of the project is the improvement of the speed controller by SCR (Silicon Controlled Rectifiers) in power circuit of Dual converter because it has current rating more than IGBT,MOSFET suitable a large motor and can regenerative braking .analyzing of control system with Matlab program.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
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.....	15
2.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก.....	16
2.1.5 การเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	21
2.2 Silicon Controlled Rectifiers (SCRs).....	23
2.3 การขับเคลื่อน DC Motor แบบแยกกระตุ้นด้วย Converter 3 เฟส.....	28
2.3.1 หลักการทำงาน ของ 3 Phase Converter.....	29
2.4 การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับการขับเคลื่อนมอเตอร์.....	37
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	37
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง (หรือการออกแบบการทดลอง).....	42
3.1 วงจร Zero crossing.....	42
3.2 วงจรขับเคลื่อนของ SCR.....	47
3.3 ผลการ จำลอง การทำงานของวงจร dual converter ด้วยโปรแกรม MATLAB.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	56
4.1 การทดลองหาค่า R_a , R_f โดยวิธี V-I Method.....	58
4.1.1 ขั้นตอนการทดลองหาค่า R_a	58
4.1.2 ขั้นตอนการการทดลองหาค่า R_f	59
4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า ขั้นตอนการทดลอง.....	60
4.3 การวัดสัญญาณชุดควบคุม.....	62
4.4 การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบลูเปิด ที่โหลดค่าต่างๆ.....	67
 บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	 83
ภาคผนวก (ก).....	84
ภาคผนวก (ข).....	106
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	บล็อกไดอะแกรมของโครงการ.....2
2.1	โครงมอเตอร์.....3
2.2	ขั้วแม่เหล็ก.....3
2.3	ขดลวดสนามแม่เหล็ก.....4
2.4	การตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์.....5
2.5	แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน.....5
2.6	แกนเหล็กอาร์เมเจอร์.....6
2.7	ขดลวดอาร์เมเจอร์.....7
2.8	ลักษณะของคอมมิวเตเตอร์.....7
2.9	รูปตัดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....8
2.10	ส่วนต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....8
2.11	แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิด.....14
2.12	แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์.....14
2.13	วงจรมุมมูลย์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก.....16
2.14	คุณลักษณะความเร็ว.....16
2.15	การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์.....19
2.16	กราฟคุณลักษณะมีไหลเมื่อควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์.....20
2.17	กราฟคุณลักษณะทอร์กและกำลังจ่ายออกเมื่อควบคุม V_f และ ϕ21
2.18	แสดงสัญลักษณ์ และภาพตัดแสดงรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามรอยต่อ.....23
2.19	แสดงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์.....24
2.20	แสดงแบบจำลองของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์.....25
2.21	รูปแบบของเอสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในสภาวะชั่วขณะ.....27
2.22	ผลของกระแสเกิดต่อแรงดันบล็อกกิงไบแอสตรง.....27
2.23	วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด.....28
2.24	แรงดันไฟฟ้าต้านเข้าและต้านออก.....29
2.25	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดแต่ละตัวและกระแสไฟฟ้า i_u30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
2.26 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส.....	31
2.27 แรงดันไฟฟ้าต้านออกเมื่อมุมจุดชนวนเกดที่ 45 องศา.....	31
2.28 รูปแรงดันและกระแสเอาท์พุทเมื่อมุม α ถ้า $0 \leq \alpha \leq 90$	33
2.29 รูปแรงดันและกระแสเอาท์พุทเมื่อมุม α ถ้า $90 \leq \alpha \leq 180^\circ$	34
2.30 การต่อ dual converter.....	34
2.31 การทำงานของมอเตอร์ ใน 4 Quadrant.....	35
2.32 การทำงานของ dual converter ใน 4 Quadrant.....	36
2.33 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดไม่มีกระแสไหลวน ร่วมกับมอเตอร์.....	37
2.34 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011.....	38
2.35 สัญญาณที่ได้จากชุด Zero crossing.....	39
2.36 หลักการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จุดชนวนเกจของ SCR.....	40
3.1 วงจรเปรียบเทียบที่ใช้ออปแอมป์.....	42
3.2 วงจร Zero crossing เฟสเดียว.....	44
3.3 วงจร Zero crossing 3 เฟส.....	44
3.4 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลอง Zero crossing วัดเทียบกับสัญญาณขาเข้า V_{L-L}	45
3.5 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองสัญญาณ Zero crossing วัดเทียบกับ สัญญาณขาเข้า V_{L-N}	46
3.6 รูปสัญญาณของ รูปคลื่นของ Zero crossing ที่วัดระหว่างเฟส A และเฟส B.....	46
3.7 วงจรขับ SCR.....	47
3.8 วงจร dual converter ที่ใช้ในการ Simulink.....	48
3.9 วงจรภายใน Subsystem1.....	48
3.10 วงจรภายใน Subsystem2.....	49
3.11 แรงดันอินพุท 3 เฟส (V_{input}).....	49
3.12 การใส่โหลดจาก 25 N.m เปลี่ยนเป็น 35 N.m.....	50
3.13 การปรับเพิ่มความเร็ว(speed).....	50
3.14 การปรับลดความเร็ว(speed).....	51
3.15 กระแสอินพุท I_a, I_b, I_c	51
3.16 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 1 โหมด Forward Motoring.....	52
3.17 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 2 โหมด Forward Braking.....	52
3.18 ะแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 3 Reverse Motoring.....	53
3.19 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 4 Reverse Braking.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

รูปที่	หน้า
3.20 ความเร็วรอบและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะทำงานทั้ง4-Quadrant.....	54
3.21 ความเร็วรอบและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะทำงานทั้ง4-Quadrant.....	54
3.22 การเปรียบเทียบความเร็วและแรงบิด ช่วงเปลี่ยนจากควอดแดรนต์ 3-4-1.....	55.
4.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการที่แสดงทิศทางแรงดันที่ขั้ว,กระแสอาร์เมเจอร์.....	57
4.2 ให้แกนนอนเป็นทอร์กหรือกระแสอาร์เมเจอร์และแกนตั้งเป็นแรงดัน อาร์เมเจอร์หรือ ความเร็วรอบโดยทำงานที่โหมดต่างๆ.....	57
4.3 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_a	58
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์.....	58
4.5 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_f	59
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสฟิลต์.....	60
4.7 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขั้วไคร้.....	61
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันที่ป้อนเข้า.....	61
4.9 Zero Crossing ระหว่างเฟส AB.....	62
4.10 Zero Crossing ระหว่างเฟส BC.....	62
4.11 Zero Crossing ระหว่างเฟส CA.....	63
4.12 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR.....	63
4.13 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR ตัวที่ 6,1.....	64
4.14 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR ตัวที่ 1,2.....	64
4.15 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR ตัวที่ 2,3.....	65
4.16 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR ตัวที่ 3,4.....	65
4.17 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR ตัวที่ 4,5.....	66
4.18 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกด SCR ตัวที่ 5,6.....	66
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 408 rpm.....	67
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 814 rpm.....	68
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 1171 rpm.....	69
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุม ระบบลูปเปิดที่ความเร็วเริ่มต้น 411 rpm.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

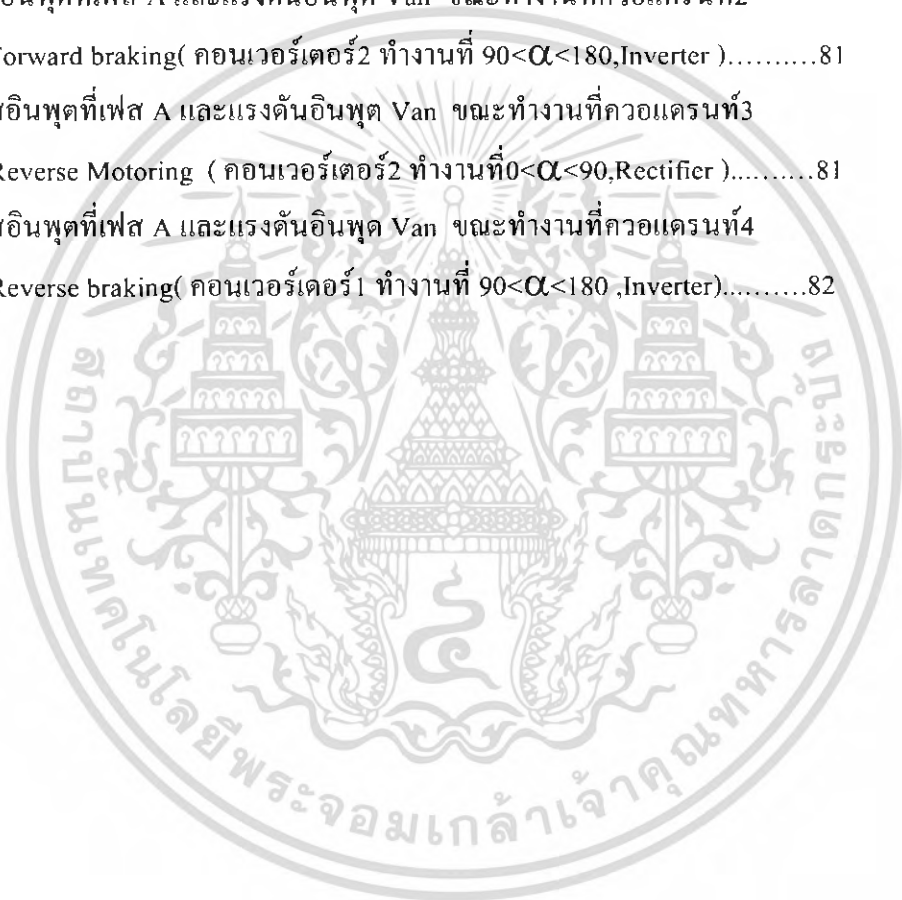
VIII

รูปที่	หน้า
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 805 rpm.....	71
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 1245 rpm.....	72
4.25 การทำงานในควอดแรนทที่ 1 โหมด Forward Motoring ไม่มีโหลด (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	73
4.26 การทำงานในควอดแรนทที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 500W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	73
4.27 การทำงานในควอดแรนทที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1100W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	74
4.28 การทำงานในควอดแรนทที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1600W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	74
4.29 การทำงานในควอดแรนทที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	75
4.30 การทำงานในควอดแรนทที่ 2 โหมด Forward braking (คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter).....	75
4.31 การทำงานในควอดแรนทที่ 3 โหมด Reverse Motoring ไม่มีโหลด (คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	76
4.32 การทำงานในควอดแรนทที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 500W (คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	76
4.33 การทำงานในควอดแรนทที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 1600W (คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	77
4.34 การทำงานในควอดแรนทที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 2200W (คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....	77
4.35 การทำงานในควอดแรนทที่ 4 โหมด Reverse braking (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter).....	78
4.36 กระแสอินพุตจาก Supply.....	78
4.37 กระแส Input และฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของ กระแส Input สเปกตรัม จะสูงที่ลำดับ $6n+1, 6n-1$	79
4.38 กระแส อาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนทที่ 1 ไปควอดแรนทที่ 2 และ 3.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IX

รูปที่	หน้า
4.39	กระแส อาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนต์ที่3 ไปควอดแรนต์ที่4และ1.....80
4.40	กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W(คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....80
4.41	กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์2 โหมด Forward braking(คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter).....81
4.42	กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์3 โหมด Reverse Motoring (คอนเวอร์เตอร์2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier).....81
4.43	กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์4 โหมด Reverse braking(คอนเวอร์เตอร์1 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter).....82

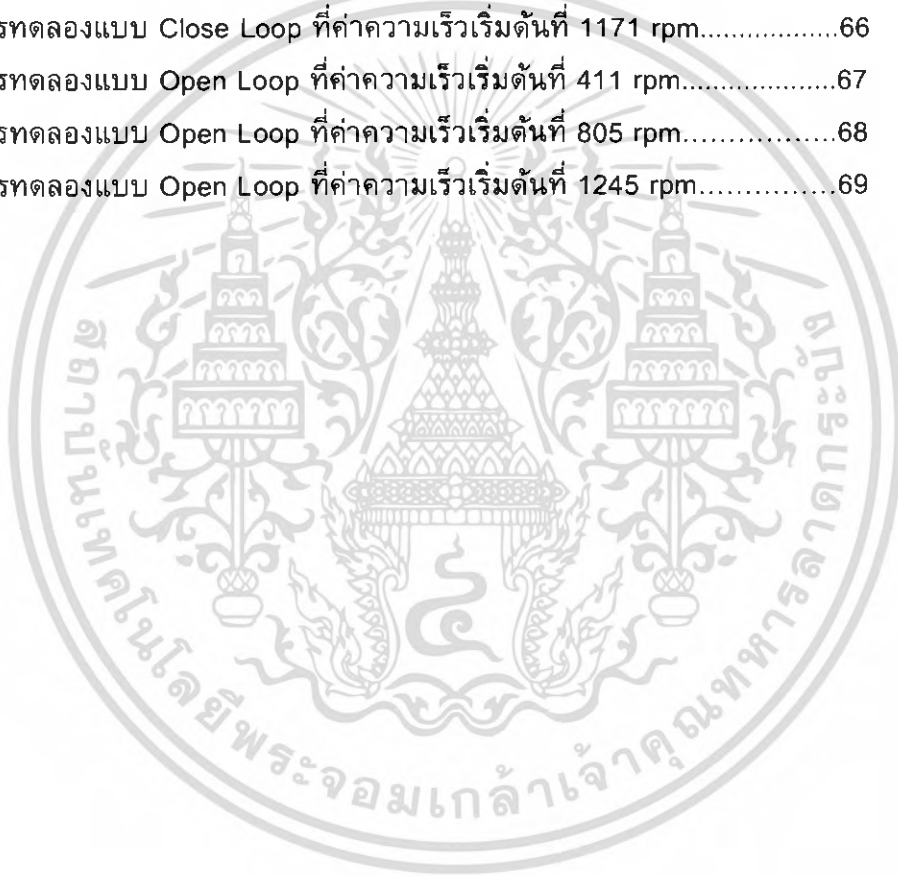


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์.....	53
4.2 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสฟิลด์.....	54
4.3 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	56
4.4 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 408 rpm.....	64
4.5 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 814 rpm.....	65
4.6 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1171 rpm.....	66
4.7 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 411 rpm.....	67
4.8 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 805 rpm.....	68
4.9 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1245 rpm.....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันงานทางด้านอุตสาหกรรมหรือทางด้านอื่นๆ มีการใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทางกลซึ่งชนิดของมอเตอร์มีทั้งชนิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ในการเลือกใช้มอเตอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานแต่ละชนิดว่าสมควรที่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทไหน และคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละชนิดเหมาะกับการใช้งานในลักษณะอย่างไร ซึ่งในงานที่ต้องการแรงบิดสูงๆ จะนิยมใช้มอเตอร์กระแสตรงในการขับเคลื่อนทางกลมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และในส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น ก็สามารถต่อขดลวดใช้งานได้หลายแบบ และการต่อใช้งานแบบขดลวดกระตุ้นแยกส่วนเป็นแบบที่เหมาะสมที่สุดต่อการควบคุม ดังนั้นการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกต้องมีการควบคุมความเร็วมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปใช้งานตามลักษณะงานที่ต้องการ

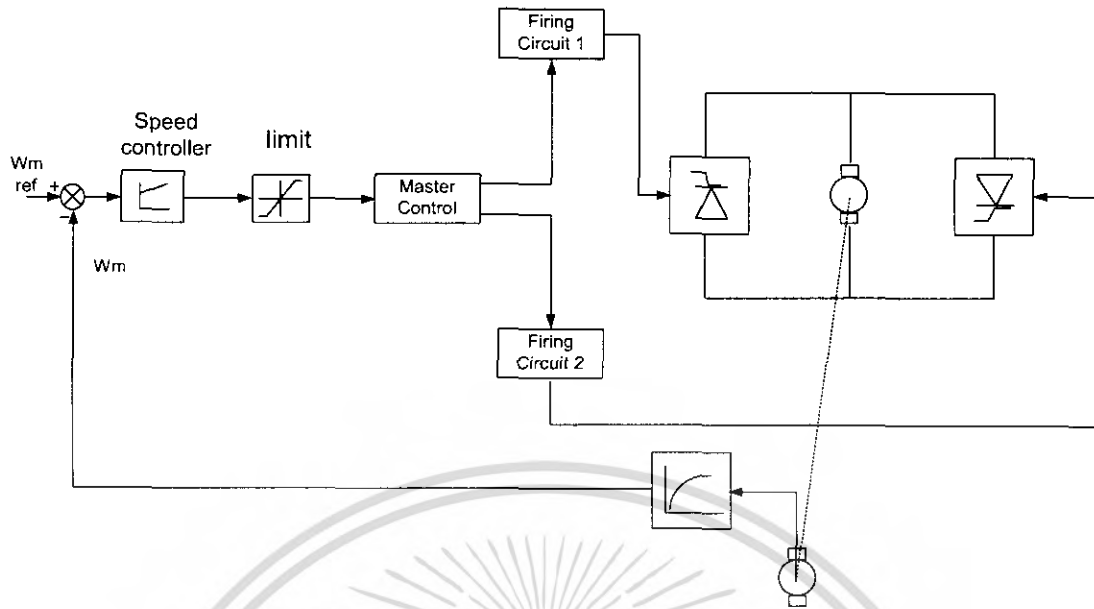
ดังนั้นการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยเฉพาะวงจรเรียงกระแสจึงมีบทบาทสำคัญ ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงมาก และมีอีกหลายเทคนิคที่ใช้งานได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4 Quadrant ที่ใช้วงจร 3 phase dual converter ซึ่งเป็นอีกเทคนิคที่ใช้ได้ และมีความทนทานสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ 3 phase dual converter
2. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมเฟส ของ SCR ใน 3 phase dual converter
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมการจุดชนวน ของ SCR ด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC
4. เพื่อศึกษาการสร้างวงจรทั้งหมดที่ใช้ใน 3 phase dual converter
5. เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กแยกส่วน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดกระตุ้นสนามแม่เหล็กแยกส่วน ให้สามารถหมุนซ้าย เบรก หมุนขวา เบรก และในการหมุนแต่ละทิศทางนั้นสามารถควบคุมความเร็วได้



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

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

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักทฤษฎี ในโครงการนี้
2. สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
3. มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม
4. ได้ประสบการณ์ในการสร้างวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการนี้
5. ได้ศึกษาและทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานกล โดยจะมีโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

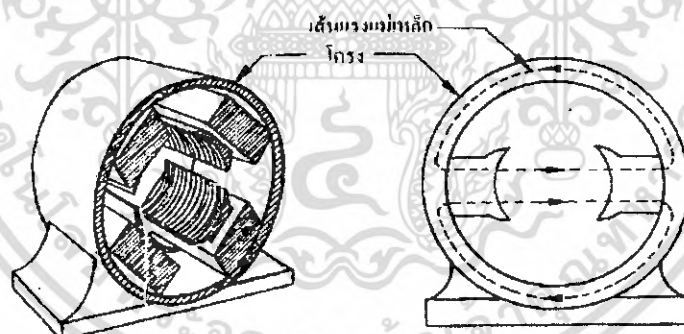
2.1.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆคือส่วนที่เคลื่อนที่ และส่วนที่อยู่กับที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

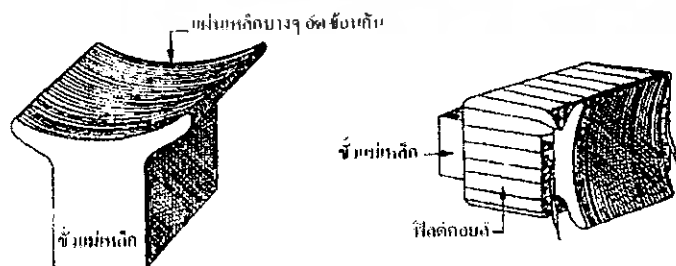
2.1.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator Part) ประกอบด้วย

1) เปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ทำมาจากเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่ยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมด เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)

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



รูปที่ 2.1 โครงมอเตอร์



รูปที่ 2.2 ขั้วแม่เหล็ก

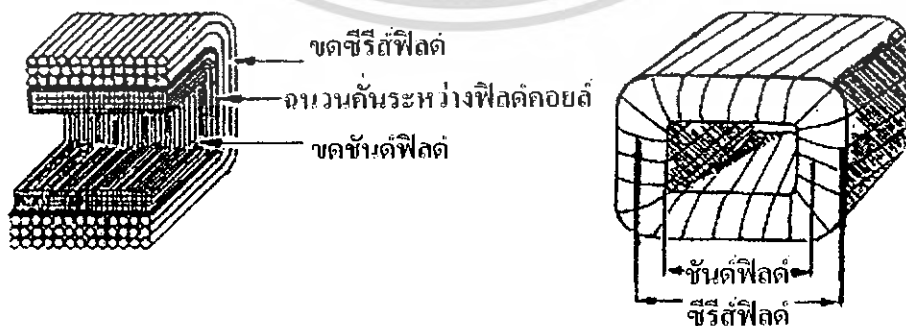
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field coil or Field Winding) หรือเรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์เป็นลวดตัวนำที่พันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันจากภายนอกแล้วส่งเข้ากับขั้วแม่เหล็กซึ่งขั้วแม่เหล็กนั้นสามารถถอดได้ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้จะต้องมีขนาดที่พอดีคือไม่แน่นหรือหลวมจนเกินไปเพราะถ้าแน่นจนเกินไปขณะประกอบอาจทำให้ขดลวดเกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้าลงโครงของมอเตอร์ได้และในขณะเดียวกันถ้าหลวมจนเกินไปอาจทำให้เกิดอาการสั่นของขดลวดขณะใช้งานและจะทำให้ปิดฝาครอบหัวท้ายไม่ได้อีกด้วย ขดลวดฟิลด์คอยล์ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กมี 2 ชนิดคือ

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

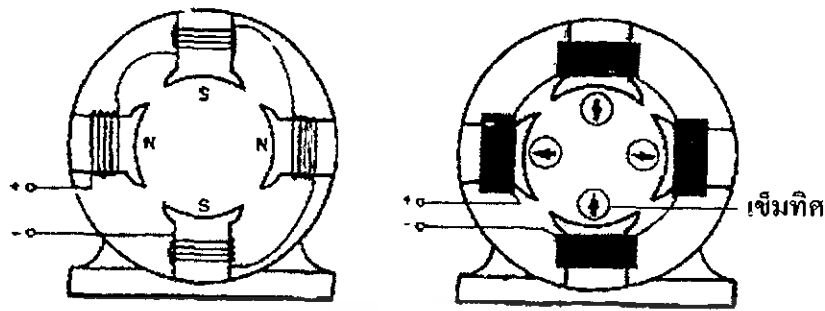
2.ขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์(Series Field or Series Winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยลวดเส้นใหญ่ ดังนั้นความต้านทานจะต่ำ

ขดลวดทั้งสองชุดนี้พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกันโดยขดลวดชั้ท์ฟิลด์จะพันอยู่ด้านในสุดส่วนขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์จะพันไว้ด้านนอกสุดและมีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อยจะต้องมีจำนวนคั่นระหว่างขดลวดชั้ท์ฟิลด์และขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.3 ขดลวดทั้งสองชุดนี้จะต้องพันไปในทิศทางเดียวกันและขดลวดในแต่ละชุดนั้นจะต้องต่ออนุกรมเข้าด้วยกันระหว่างขั้วแม่เหล็กให้ถูกต้องด้วยเพราะจะทำให้ขั้วแม่ขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไปการตรวจสอบการต่อว่าถูกต้องหรือไม่นั้นเราสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้เข็มทิศหรือใช้แท่งแม่เหล็กถาวรตรวจสอบโดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฟิลด์คอยล์และใช้เข็มทิศหรือแท่งแม่เหล็กถาวรสอดเข้าไปที่ด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะต้องสลับกันไปเมื่อทำการตรวจสอบขดลวดชั้ท์ฟิลด์แล้วจะต้องทำการตรวจสอบขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์ในทำนองเดียวกันและขั้วแม่เหล็กที่แสดงออกเนื่องจากขดลวดซีรี่ส์ฟิลด์นั้นต้องเหมือนกับขั้วแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดชั้ท์ฟิลด์



รูปที่ 2.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์

4) แปรงถ่านและแปรง (Brushes and Bearing) แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรรภายนอก แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่านโดยที่แปรงถ่านนี้จะมีลวดทองแดงถักติดอยู่ด้วยเพื่อต่อไฟออกไปใช้งาน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และช่องถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบ ส่วนแปรงหรือดลบลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และช่วยลดแรงเสียดทานของเพลลา ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนปกติแปรงจะติดอยู่ที่ฝาครอบทั้งสองด้านของเครื่องจักรกลไฟฟ้า แปรงถ่านและช่องถ่านแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะต้องมีแปรงถ่านอย่างน้อยสองอัน และแปรงถ่านทั้งสองจะต้องสามารถหมุนปรับตำแหน่งได้พร้อมกัน ดังนั้นช่องถ่านทั้งสองอันจะต้องอยู่บนตัวปรับอันเดียวกันด้วย

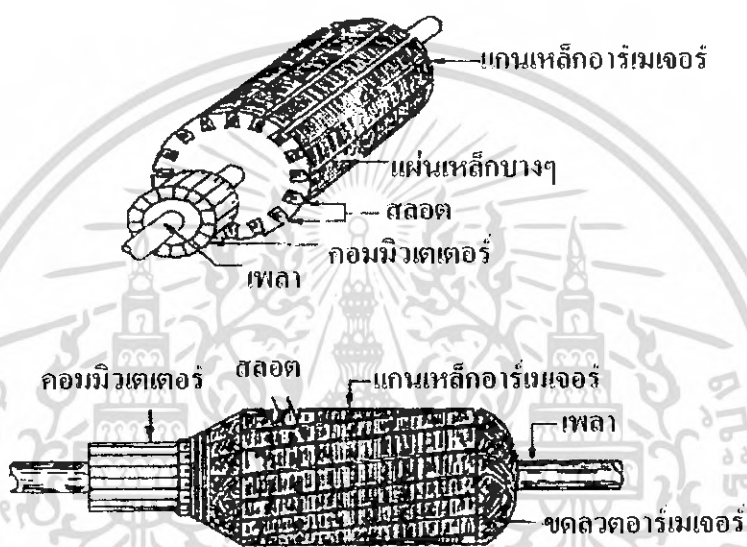


รูปที่ 2.5 แปรงถ่านและช่องแปรงถ่าน

5) ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End Plate) ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง ทำหน้าที่รองรับเพลลาของส่วนหมุนและยึดช่องถ่าน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

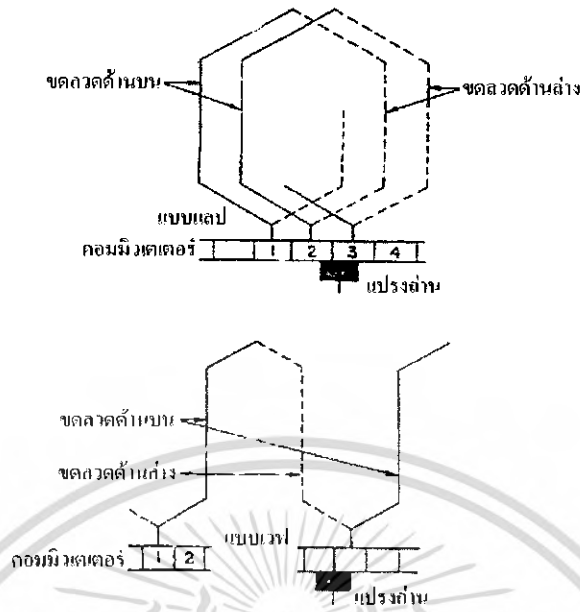
2.1.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่(Rotor Part) ประกอบด้วย

1) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆที่ฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์ซิส และกระแสไหลวนในแกนเหล็ก แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วยเพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจากความสูญเสีย



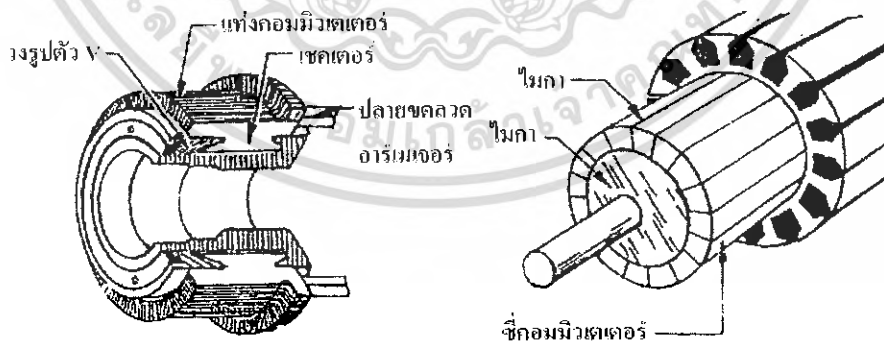
รูปที่ 2.6 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์

2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil or Armature Winding) คือขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลิตของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์โดยขดลวดนั้นทำมาจากลวดทองแดงอบฉนวน ขดลวดอาร์เมเจอร์จะนิยมพันจากภายนอก แล้วจึงนำไปบรรจุลงในสลิต เพราะจะทำให้ขดลวดแต่ละขดมีความยาวและมีน้ำหนักสมดุลไม่เกิดการแกว่งขณะหมุน ขดลวดอาร์เมเจอร์มีการพันเป็นแบบแลป (lap) หรือแบบเวฟ (wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำมาต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์



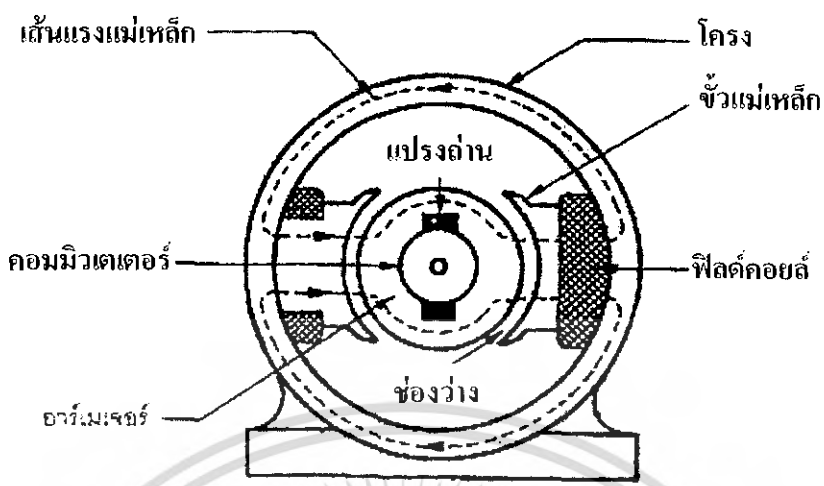
รูปที่ 2.7 ขดลวดอาร์เมเจอร์

3) คอมมิวเตเตอร์(Commutator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงที่มีลักษณะคล้ายลิ้มเพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก คอมมิวเตเตอร์แต่ละอันนั้นเรียกว่าซี่ และในระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่คั่นด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรงและคอมมิวเตเตอร์นี้จะยึดติดไว้บนเพลลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์

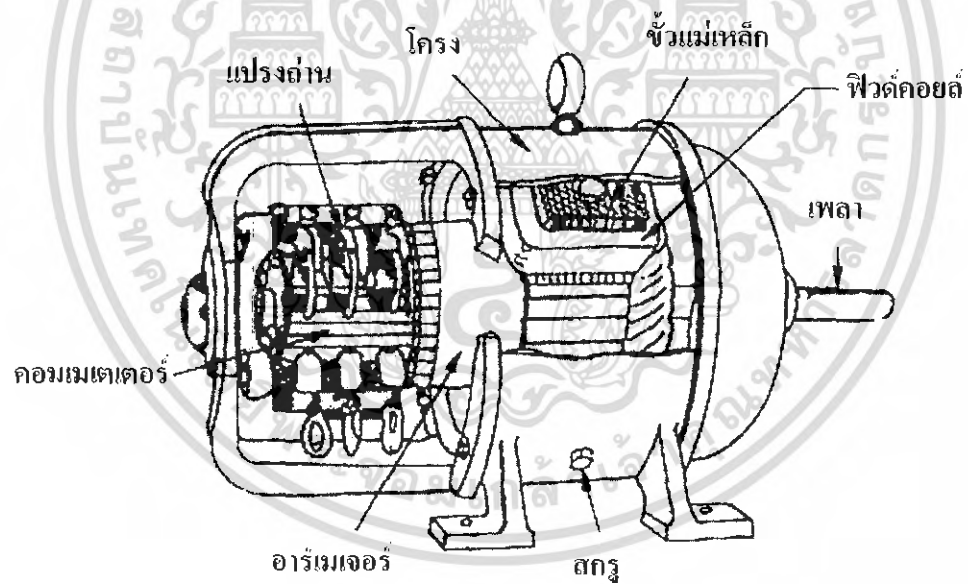


รูปที่ 2.8 ลักษณะของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รูปตัดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.10 ส่วนต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สมการหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.2.1 สมการแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage Equation)

ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำในเครื่องจักรกลทั่วๆไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการดังนี้

1. เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ในเครื่องจักรกล
2. ความเร็ว ω_m ของตัวหมุนเครื่องกล
3. ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง

กำหนดให้

e	คือแรงดันเหนี่ยวนำในตัวนำมีหน่วยเป็น V
v	คือความเร็วของโรเตอร์มีหน่วยเป็น m/s
B	คือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น Wb/m^2
ϕ	คือเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็กมีหน่วยเป็น Wb
L	คือความยาวของตัวนำมีหน่วยเป็น m
E_a	คือแรงดันเหนี่ยวนำที่ขั้วของอาร์มาเจอร์มีหน่วยเป็น V
ω_m	คือความเร็วของโรเตอร์มีหน่วยเป็น radian/sec
n_m	คือความเร็วของตัวหมุนมีหน่วยเป็น rpm
r	คือรัศมีของอาร์มาเจอร์มีหน่วยเป็น m
A_p	คือพื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็กมีหน่วยเป็น m^2
P	คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก
Z	คือจำนวนตัวนำ
a	คือจำนวนวงจรที่ต่อขนานกันในขดลวดอาร์มาเจอร์

ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่อาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกลเท่ากับ จำนวนของตัวนำในแต่ละส่วนของวงจรอาร์มาเจอร์ คูณอยู่กับขนาดแรงดันเหนี่ยวนำในแต่ละตัวนำ ซึ่งขนาดแรงดันเหนี่ยวนำในตัวนำแต่ละตัวสามารถหาได้จากสมการที่ 1

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

ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่ขั้วของอาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกล สามารถหาได้ตามสมการข้างล่าง

$$E_a = ZvBL/a \quad (2.2)$$

แต่
$$v = r\omega_m \quad (2.3)$$

ดังนั้น
$$E_a = Zr\omega_m BL/a \quad (2.4)$$

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

พื้นที่หน้าผิวของอาร์มาเจอร์คือ

$$A = 2\pi rL \quad (2.6)$$

$$A_p = A/P = 2r\pi L/P \quad (2.7)$$

เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดในเครื่องจักรกลคือ

$$\phi = BA_p = 2\pi rLB/P \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 4 เขียนใหม่ได้เป็น

$$E_a = (Zr\omega L/a)(P\phi/2\pi rL) \quad (2.9)$$

$$= ZP\phi\omega_m/2\pi a \quad (2.10)$$

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

เมื่อ $K = ZP/2\pi a$

$$\omega_m = 2\pi n_m/60 \quad (2.12)$$

แทนค่า ω_m ในสมการที่ 10 จะได้

$$E_a = ZP\phi n_m/60a \quad (2.13)$$

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

เมื่อ
$$C = ZP/60a \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลงในขณะที่เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ มีค่าคงที่ ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการ

$$(E_{a1} / E_{a2}) = (\eta_{m1} / \eta_{m2}) \quad (2.16)$$

2.1.2.2 สมการความเร็วรอบของตัวมอเตอร์ไฟฟ้า (η_m)

เราสามารถจัดรูปสมการที่ 13 ใหม่เราสามารถหาค่าความเร็วรอบในค่าของตัวแปรอื่น ๆ ได้ดังนี้

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

จากสมการที่ (14) จะเห็นได้ว่าต้องการควบคุมความเร็วของเครื่องจักรที่มีอยู่แล้ว ตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้มีแต่เพียงศักดาไฟฟ้าระหว่างตัวแปรถ่าน E_a และค่าเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ เท่านั้น ดังนั้นสมการที่ (14) สามารถเขียนรวบรัดได้เป็น

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

2.1.2.3 สมการแรงบิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า (T)

เมื่อแท่งตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านอยู่ในสนามแม่เหล็กซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกันและมีแรงบิดเกิดขึ้นบนแท่งตัวนำนั้นโดยขนาดทอร์กเหนี่ยวนำในเครื่องจักรกลทั่วไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ประการดังนี้

1. เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ในเครื่องจักรกล
2. กระแสอาร์มาเจอร์ Ia ของเครื่องจักรกล
3. ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่องจักรกล

กำหนดให้

I_{cond} คือกระแสในแต่ละตัวนำมีหน่วยเป็น A

T_{cond} คือทอร์กเหนี่ยวนำบนแต่ละตัวนำมีหน่วยเป็น N-m

T_{ind} คือทอร์กเหนี่ยวนำบนอาร์มาเจอร์มีหน่วยเป็น N-m

ทอร์กเหนี่ยวนำบนอาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกล เท่ากับตัวนำในแต่ละส่วนของวงจรรออาร์มาเจอร์ คูณกับขนาดทอร์กเหนี่ยวนำบนแต่ละตัวนำ ซึ่งขนาดของทอร์กเหนี่ยวนำบนตัวนำแต่ละตัวนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 19

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I_a คือกระแสอาร์เมเจอร์ทั้งหมด กระแสในแต่ละตัวนำ I_{cond} สามารถหาได้จากสมการที่ 20

$$I_{cond} = I_a / a \tag{2.20}$$

$$T_{cond} = rBL I_a / a \tag{2.21}$$

$$T_{ind} = Z T_{cond} \tag{2.22}$$

$$= ZrBL I_a / a$$

$$= (ZP \phi I_a) / (2 \pi a) \tag{2.23}$$

$$T_{ind} = K \phi I_a \tag{2.24}$$

เมื่อ $K = ZP / 2\pi a$

2.1.2.4 การไหลของกำลังและประสิทธิภาพในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (Power Flow and Efficiency in DC Machine)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังทางไฟฟ้าเป็นกำลังทางกล ในการเปลี่ยนรูปของกำลังของเครื่องจักรกลไฟฟ้าทุกชนิดต้องมีกำลังสูญเสียอัตราส่วนของกำลังจ่ายออกต่อกำลังจ่ายเข้าให้เรียกว่าประสิทธิภาพสามารถหาได้จากสมการ 25

$$\eta = P_{out} / P_{in} \tag{2.25}$$

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานเป็นเครื่องกำเนิดหรือทำงานเป็นมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับหน้าที่ การไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย

2.1.2.4.1) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด กำลังที่จ่ายให้เครื่องกลไฟฟ้าเป็นกำลังทางกล สามารถหาได้จากสมการที่ 26

$$P_{in} = T_{in} \omega_m \tag{2.26}$$

2.1.2.4.2) เมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ กำลังที่จ่ายให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเป็นกำลังทางไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการที่ 27

$$P_{in} = V t I_a \tag{2.27}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5) กำลังสูญเสีย(Power Losses)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดหรือทำงานเป็นมอเตอร์จะเกิดกำลังสูญเสียประกอบด้วย

2.1.2.5.1)กำลังสูญเสียในทองแดง (Copper Losses) กำลังสูญเสียในทองแดงเกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์และชุดขดลวดสนามแม่เหล็กสามารถหาจากสมการที่ 28 และ 29

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

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

เมื่อ

P_{Cua} คือ กำลังสูญเสียในทองแดงเกิดขึ้นในชุดขดลวดอาร์เมเจอร์

P_{Cuf} คือ กำลังสูญเสียในทองแดงเกิดขึ้นในชุดขดลวดสนามแม่เหล็ก

I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์

I_f คือ กระแสชุดขดลวดสนาม

R_a คือ ความต้านทานชุดขดลวดอาร์เมเจอร์

R_f คือ ความต้านทานชุดขดลวดสนาม

2.1.2.5.2) กำลังสูญเสียในแปรงถ่าน(Brush Losses) สามารถหาได้จากสมการที่ 30

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

เมื่อ

P_B คือกำลังสูญเสียในแปรงถ่าน

V_B คือแรงดันตกในแปรงถ่าน

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) ความสูญเสียปลิกย่อยเนื่องจากโหลด (Stray Load Losses) ความสูญเสียปลิกย่อยเนื่องจากโหลด P_{LL} เป็นความสูญเสียที่ไม่รวมอยู่ในความสูญเสียที่กล่าวมาแล้ว ปกติจะมีค่าประมาณ 1% ของกำลังเต็มพิกัดของเครื่องจักรกล

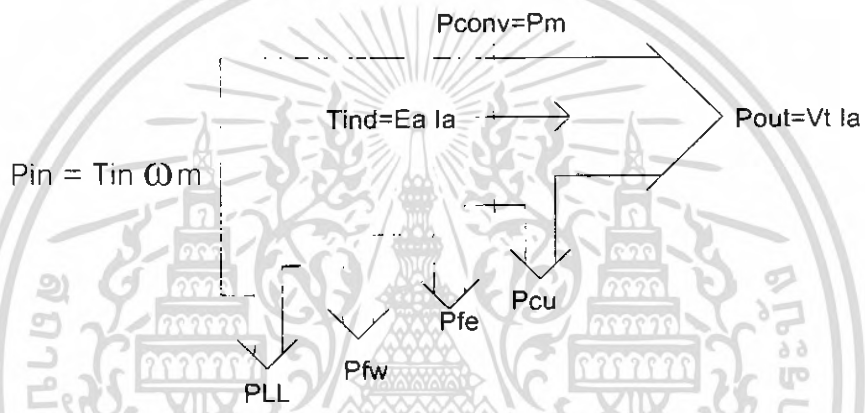
2.1.2.6) กำลังจ่ายออก (Power Out Put)

2.1.2.6.1) กำลังจ่ายออกเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดสามารถหาได้จากสมการที่ 31

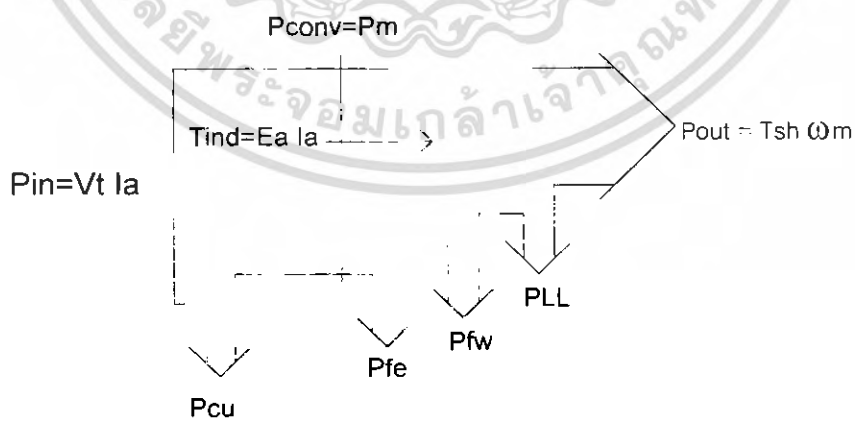
$$P_{out} = T_{in} \omega_m - P_{Cu} - P_{Cu} - P_B - P_{Fe} - P_{Fw} - P_{LL} \tag{2.31}$$

2.1.2.6.2) กำลังจ่ายออกเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 32

$$P_{out} = V_t I_a - P_{Cu} - P_{Cu} - P_B - P_{Fe} - P_{Fw} - P_{LL} \tag{2.32}$$



รูปที่ 2.11 แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิด



รูปที่ 2.12 แผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาถึงกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเขียนแผนภาพการไหลของกำลังในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงได้ตามรูปที่ 12 และ 13

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่เปลี่ยนรูปของกำลัง พบว่าเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดกำลังที่เปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้า P_{conv} สามารถหาได้จากสมการ 33

$$P_{conv} = E_a I_a \quad (2.33)$$

และเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นกำลังกลที่สร้างขึ้น P_{conv} สามารถหาได้จากสมการที่ 34

$$P_{conv} = T_{ind} \omega_m \quad (2.34)$$

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) จะมีความมากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_a) ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า เข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

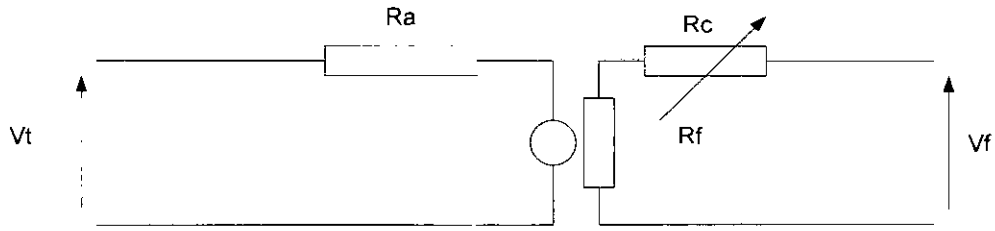
$$V_t = E_a + I_a R_a$$

เมื่อ I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current), A

E_a คือ แรงดันไฟฟ้าดกคร่อมอาร์เมเจอร์ (Armature voltage), V

R_a คือ ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (Resistance of the armature Circuit), Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



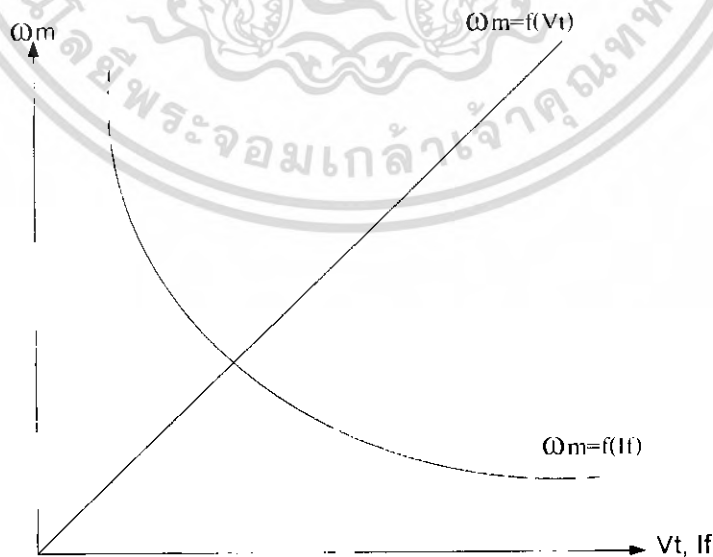
รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลย์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

2.1.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก

จากสมการแรงดันที่ขั้ว $V_t = E_a + I_a R_a$ และสมการแรงดันเหนี่ยวนำ $E_a = K\phi\omega_m$ สามารถคำนวณหาความเร็วของมอเตอร์แบบขนานและแบบกระตุ้นแยกได้ตามสมการที่ 35

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

จากสมการที่ 35 พบว่า $\omega_m \propto V_t$ เมื่อ ϕ มีค่าคงที่ ดังนั้นคุณลักษณะความเร็วแปรผันตามแรงดันที่ขั้ว $\omega_m = f(V_t)$ เป็นเส้นตรงตามรูปที่ 14 และ $\omega_m \propto 1/\phi$ เมื่อ V_t มีค่าคงที่เส้นแรงแม่เหล็กขึ้นอยู่กับกระแสชดเชยตลวดสนามแม่เหล็ก $\phi = f(I_f)$ ซึ่งเป็นคุณลักษณะการอิมิตัวดังนั้นคุณลักษณะความเร็วแปรผันตามกระแสชดเชยตลวดสนามแม่เหล็ก $\omega_m = f(I_f)$ สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 15 เช่นกัน ดังนั้นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกสามารถทำได้ ดังนี้



รูปที่ 2.14 คุณลักษณะความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความคุมแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ V_f
2. ความคุมกระแสชดขดลวดสนาม I_f
3. ความคุมความต้านทาน R_a
4. ความคุมความเร็วที่ขั้วอาร์เมเจอร์ V_f ร่วมกับกระแสชดขดลวดสนาม I_f

1) การควบคุมแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ (V_f)

จากการพิจารณาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้นมีโหลด ความเร็วจะตกลง และเมื่อไม่พิจารณาการสูญเสียที่ทอร์คเหนี่ยวนำ T_{ind} จะเท่ากับทอร์คของ โหลด T_L หรือทอร์คที่เพลา T_{SH} กับทอร์คที่สูญเสียเนื่องจากการหมุน T_{rot} ซึ่งเขียนเป็นสมการ ได้ตามสมการที่ 36

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

เมื่อ

T_{ind} คือทอร์คเหนี่ยวนำ

T_L คือทอร์คของโหลด

T_{rot} คือทอร์คสูญเสียเนื่องจากการหมุน

เมื่อไม่พิจารณาถึงการสูญเสีย

$$T_{ind} = T_L$$

เมื่อเพิ่มแรงดัน $V_{t1} > V_f$

เมื่อไม่พิจารณาการสูญเสียที่ทอร์คเหนี่ยวนำจะเท่ากับทอร์คของโหลด $T_{ind} = T_L$

มอเตอร์ทำงานในสภาวะคงที่ความเร็ว ω_m และกระแสอาร์เมเจอร์ I_a

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

$$I_{a1} = (V_{t1} - E_a) / R_a$$

-เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์ I_a เพิ่มเป็น I_{a1} ทำให้ทอร์คจะเพิ่มเป็น T_{ind1} จากสมการ

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

-เมื่อทอร์ก T_{ind} เพิ่มขึ้นเป็น T_{ind1} ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น ω_{m1}

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

เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น ω_{m1} ทำให้แรงดันเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นจากสมการ

$$E_{a1} = K\phi\omega_{m1}$$

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

ในทางกลับกันเมื่อ V_t ลดลงจากสมการที่กล่าวมาก็จะทำให้ความเร็ว ω_m ลดลงเช่นกันและกระแสอาร์เมเจอร์จะมีขนาดเท่าเดิมกับที่ก่อนลด V_t ซึ่งทำให้ $T_{ind} = T_L$ อีกครั้ง ทำให้การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนแปลง V_t สามารถทำได้ที่ต้องการแรงบิดคงที่

2) ควบคุมกระแสชุดขดลวดสนาม (I_f)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่าความเร็วมอเตอร์แปรผกผันกับกระแสชุดขดลวดสนามเมื่อแรงดันที่ขั้วคงที่ ซึ่งการควบคุมกระแสสนามคือการควบคุมความต้านทานของชุดขดลวดสนาม ซึ่งสรุปดังนี้

- เมื่อความต้านทานของชุดขดลวดสนาม R_f เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสชุดขดลวดสนาม I_f

$$\text{ลดลงจากสมการ } I_{f1} = V_f / R_{f1}$$

-เมื่อกระแสชุดขดลวดสนาม I_f ลดลงเป็น I_{f1} ทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ลดลงเป็น ϕ_1

-เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กลดลงเป็น ϕ_1 ทำให้แรงดันเหนี่ยวนำ E_a ลดลงเป็น E_{a1} จากสมการ

$$E_{a1} = K\phi_1\omega_m$$

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

$$I_{a1} = (V_t - E_{a1})/R_a$$

-เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์ I_a เพิ่มขึ้นเป็น I_{a1} ทำให้ทอร์กเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_{ind1} = K\phi I_{a1}$ เนื่องจากปริมาณการเพิ่มขึ้นของกระแสอาร์เมเจอร์ I_{a1} มากกว่าการลดลงของเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1

-จากการพิจารณาพบว่าทอร์กเหนี่ยวนำ T_{ind1} มากกว่าทอร์กของโหลด $T_{ind} = T_L$ ความเร็วมอเตอร์ ω_m เพิ่มขึ้นเป็น ω_{m1} ทำให้แรงดัน E_a เพิ่มขึ้นเป็น E_{a1} จากสมการ $E_{a1} = K\phi\omega_{m1}$

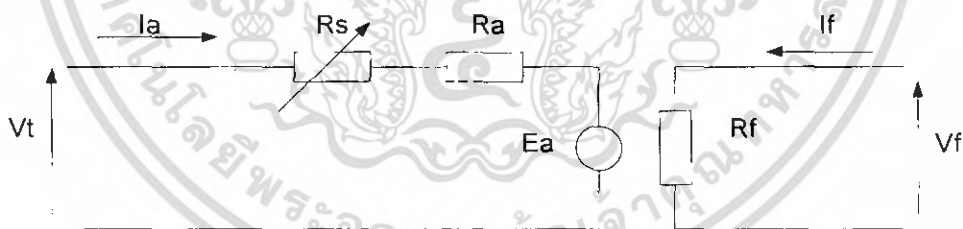
-เมื่อแรงดันเหนี่ยวนำ E_a เพิ่มขึ้นเป็น E_{a1} ทำให้กระแส I_a ลดลงเป็น I_{a1} จากสมการ

$$I_{a1} = (V_t - E_{a1})/R_a$$

-เมื่อกระแสอาร์เมเจอร์ลดลงจะทำให้ทอร์กเหนี่ยวนำลดลง จนกระทั่งทอร์กเหนี่ยวนำเท่ากับทอร์กของโหลด $T_{ind} = T_L$ มอเตอร์จะกลับมาทำงานที่สภาวะคงตัวที่ความเร็ว $\omega_{m1} > \omega_m$

ดังนั้นการควบคุมด้วยวิธีนี้แรงดันที่ขั้ว V_t และ I_a จะรักษาไว้ที่ค่าคงที่ที่กำหนด ความเร็วจะควบคุมโดยปรับค่าความต้านทานที่ขดลวดสนาม

3) การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์ (R_a)



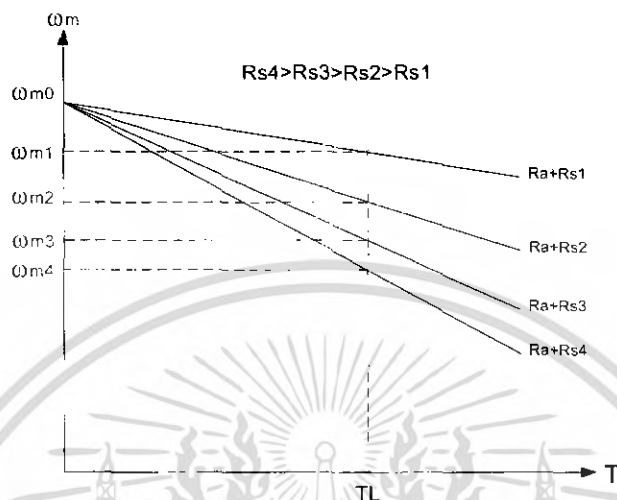
รูปที่ 2.15 การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์

การควบคุมด้วยวิธีนี้แรงดันที่ขั้ว V_t และ I_f จะถูกรักษาไว้ที่ค่าคงที่ที่กำหนด ความเร็วจะควบคุมโดยการควบคุมปรับค่าความต้านทานที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ สามารถทำได้โดยต่อความต้านทานภายนอกอนุกรมกับวงจรอาร์เมเจอร์ดังแสดงตามรูปที่ 16

จากสมการที่ 35 และสมการที่ 24 ซึ่งสามารถเขียนสมการความเร็วได้ดังสมการที่ 36

$$\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{(T_{ind})(R_a + R_s)}{(K\phi)^2} \tag{2.36}$$

จากสมการที่ 36 พบว่าเมื่อทอร์กเหนี่ยวนำ T_{ind} คงที่ถ้าเปลี่ยนแปลงความต้านทาน R_s จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง เป็นการควบคุมความเร็วที่ง่ายแต่เกิดการสูญเสียที่ความต้านทาน R_s ทำให้ประสิทธิภาพต่ำ ส่วนกราฟคุณลักษณะมีโหลดสามารถแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 2.16 กราฟคุณลักษณะมีโหลดเมื่อควบคุมความเร็วโดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์

4) การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมแรงดันที่ขั้ว V_t และการควบคุมกระแสชุดขดลวดสนาม I_f

ถ้ามอเตอร์ทำงานที่แรงดันขั้วและกระแสชุดขดลวดที่สนามที่ค่าพิกัด มันก็จะทำงานที่ความเร็วที่ความเร็วที่พิกัดเช่นเดียวกันหรือความเร็วฐาน ω_{mb} (Base Speed) ดังนั้นการควบคุมกระแสชุดขดลวดสนามจะใช้สำหรับการควบคุมความเร็วที่สูงกว่าความเร็วฐานเท่านั้น แต่ไม่สามารถใช้ควบคุมความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วฐานเพราะที่ความเร็วฐานถ้า I_f สูงกว่าค่าพิกัดจะทำให้ชุดขดลวดสนามเสียหายได้ การควบคุมความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วฐานจะใช้ควบคุมความเร็วโดยการควบคุมแรงดันที่ขั้ว แต่ถ้าความเร็วสูงกว่าความเร็วที่ฐานและแรงดันที่ขั้วสูงกว่าที่พิกัดจะทำให้ชุดขดลวดอาร์เมเจอร์เสียหายได้เช่นกัน

สำหรับการควบคุมแรงดันที่ขั้ว V_t เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ ในมอเตอร์และกระแสในอาร์เมเจอร์จะมีค่าคงที่ที่พิกัด ดังนั้นในการควบคุมที่ย่านนี้ทอร์กจะคงที่ที่ค่าสูงสุดขนาดทอร์กสามารถหาได้จากสมการ

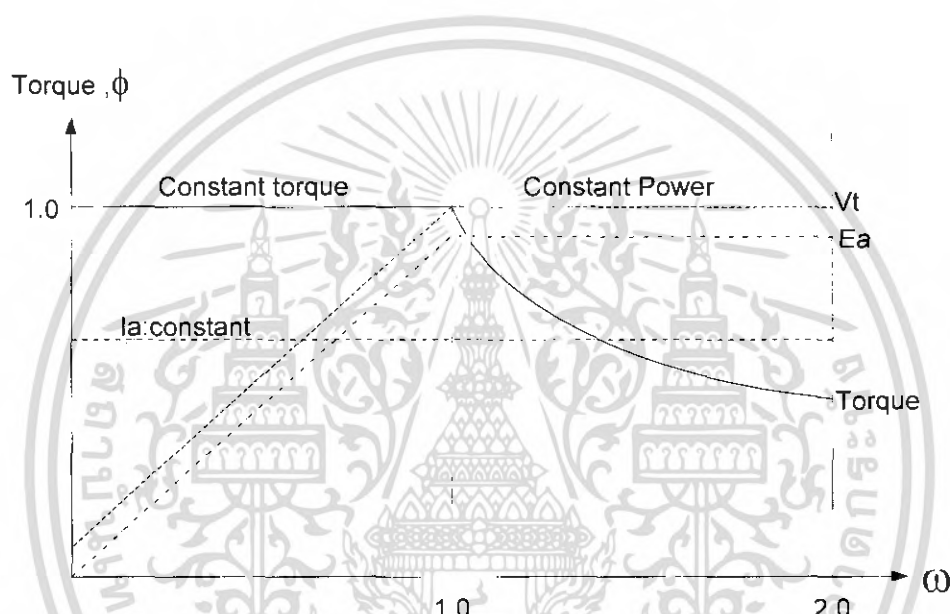
$$T_{max} = K\phi I_{arate}$$

กำลังที่จ่ายออกของมอเตอร์สามารถหาได้จาก $P = T\omega$ โดยกำลังสูงสุดที่ความเร็วใดๆจะแปรผันตรงกับความเร็ว สามารถหาจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช.สนับสนุนให้การเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สำหรับการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ แรงดันที่ขั้ว V_t ของมอเตอร์และกระแสอาร์เมเจอร์จะคงที่ที่ค่าพิกัด I_{arate} แต่ค่า ϕ จะลดลงโดยการปรับทำให้ทอร์กในย่านนี้ลดลง $T = K\phi I_{arate}$ กำลังที่จ่ายออกมอเตอร์ สามารถหาได้จาก $P = T\omega$ กำลังที่จ่ายออก P_{out} ที่ความเร็วใดๆภายใต้การควบคุมความเร็วโดยควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ จะคงที่ในย่านนี้ดังแสดงดังกราฟคุณลักษณะทอร์กและกำลังจ่ายออกดังรูป 18



รูปที่ 2.17 กราฟคุณลักษณะทอร์กและกำลังจ่ายออกเมื่อควบคุม V_t และ ϕ

2.1.5 การเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการเบรกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

2.1.5.1 การเบรกแบบปลั๊กกิง (Plugging) เป็นการเบรกมอเตอร์โดยการพยายามหมุนมอเตอร์กลับทางอย่างทันทีทันใด พลังงานจลน์ในมอเตอร์จะกลายเป็นความร้อนไปในตัวของมอเตอร์เอง แล้วกระจายสูญหายไป ในดีซีมอเตอร์เราจะทำได้ด้วยการกลับทิศของกระแสฟลักซ์หรือกลับทิศทางของแรงดันที่ป้อนเข้าอาร์เมเจอร์อย่างทันทีทันใด ซึ่งทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้กลับ (back emf) ของมอเตอร์กลับทิศและจะช่วยให้กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ มีขนาดมากกว่าที่ไหลอยู่เดิมทำให้มีแรงหมุนที่กลับทิศสวนทางกับทิศการหมุนเดิมและจะมีความร้อนเกิดขึ้นและสูญหายไปนมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว

ข้อดีของการเบรกแบบปลั๊กกิ่งทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนิ่งอย่างรวดเร็ว แต่ที่ข้อเสียคือเกิดความร้อนที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อมีการกลับทิศทางหมุน ดังนั้นถ้าความร้อนเกิดขึ้นมากจะส่งผลต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจนเกิดความเสียหายได้

2.1.5.2 การเบรกแบบไดนามิก(Dynamic Breaking) เป็นวิธีการเบรกมอเตอร์ด้วยการทำให้พลังงานจลน์ ในมอเตอร์กลายเป็นความร้อนที่ตัวของมอเตอร์เอง หรือในตัวความต้านทานภายนอกแล้วกระจายหายไป ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีปลั๊กกิ่งตรงที่ ทำการเบรกมอเตอร์โดยการทำให้มอเตอร์เปลี่ยนหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วให้กระแสที่เกิดขึ้นไหลผ่านเข้าไปในตัวต้านทานภายนอกแล้ววนกลับครบวงจรผ่านขดลวดของมอเตอร์ ก็จะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นแล้วกระจายหายไปและพร้อมกันนั้นจะมีแรงหมุน หมุนกลับทิศทางของการหมุนของมอเตอร์

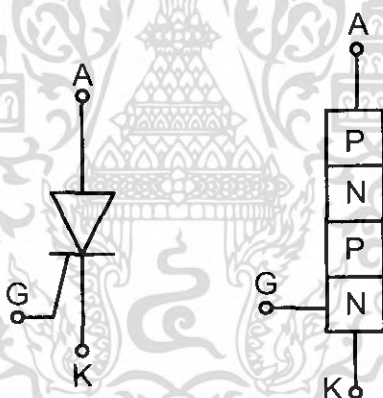
ข้อดีการเบรกแบบไดนามิกคือการนำพลังงานที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชั่วขณะหนึ่งนั้นมาถ่ายเทให้ตัวต้านทานภายนอก เพื่อเลี่ยงการเกิดความร้อนภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ข้อเสียคือแรงบิดที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลดลงเนื่องจากผลของกลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

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

ข้อดีของการเบรกแบบรีเจนเนอเรทีฟ คือสามารถคืนพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเบรกมาใช้ประโยชน์ได้ทำให้การเบรกแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ข้อเสีย คือความยุ่งยากของวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ที่ต้องสามารถส่งผ่านพลังงานกลับคืนได้ซึ่งทำให้วงจรมีราคาสูง

2.2 Silicon Controlled Rectifiers (SCRs)

Silicon controlled rectifier หรือที่เรียกกันว่า SCR เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญในตระกูล ไทริสเตอร์ โครงสร้างพื้นฐาน ประกอบด้วยชั้นสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน เรียงต่อกันจำนวน 4 ชั้น กลายเป็นโครงสร้าง PNPN มีการไหลของกระแสทิศทางเดียวโดยสามารถควบคุมกระแสได้ SCRs จะประกอบด้วยขั้วสามส่วนหลักด้วยกัน คือ ขั้วแอโนด (anode;A) ขั้วแคโทด (cathode;K) และขั้วเกต (gate;G) SCRสามารถควบคุมให้นำกระแสได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขาเกตเป็นรูคลื่นพัลส์บวกเป็นเวลาสั้นๆ ที่เหมาะสมในขณะที่แรงดันที่ขั้วแอโนดสูงกว่าแรงดันที่ขั้วแคโทด ก็จะทำให้ SCR นำกระแส และมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขณะนำกระแสโดยปกติมีค่าประมาณ 1-3 โวลต์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันไฟฟ้าของ SCR เมื่อSCRเริ่มนำกระแส SCRจะรักษาสถานะในการนำกระแสโดยจะไม่ต้องการกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าขาเกตอีกซึ่งจะเรียกสภาวะนี้ว่าแลทช้อน(latched on) กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขาเกตของ SCR จะไม่สามารถสั่งให้หยุดนำกระแสได้ จะหยุดนำกระแสเมื่อกระแสไฟฟ้าที่แอโนดมีค่าเป็นศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ ในระดับที่ต่ำกว่ากระแสโฮลด์ติ้ง(holding current) จึงจะหยุดนำกระแสเอง รูปที่ 2.18 แสดงสัญลักษณ์ และภาพตัดแสดงรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามรอยต่อ

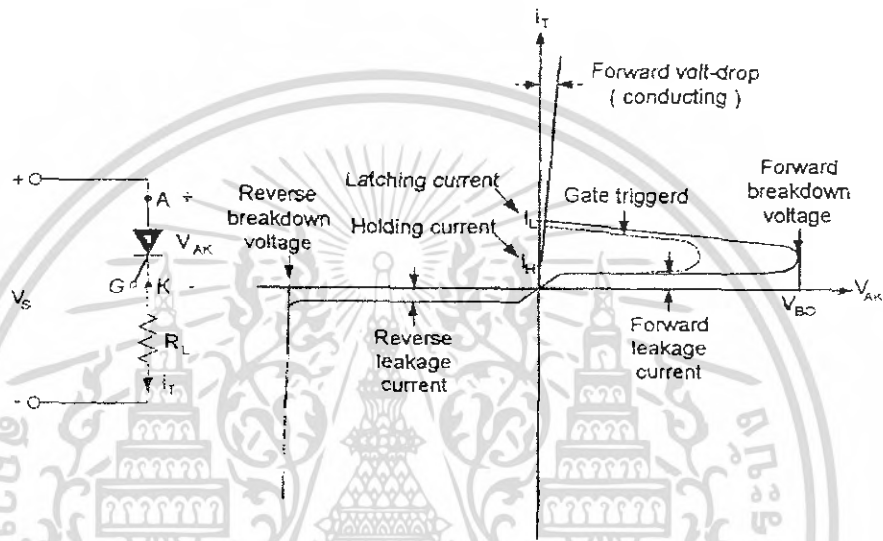


รูปที่ 2.18 แสดงสัญลักษณ์ และภาพตัดแสดงรอยต่อพี-เอ็นทั้งสามรอยต่อ

เมื่อแรงดันที่ขาแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทดรอยต่อ J_1 และ J_3 จะถูกไบแอสตรง และ J_2 จะเป็นไบแอสกลับ โดยมีกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากแอโนดไปแคโทด เอสซีอาร์ที่มีสถานะนี้เรียกได้ว่า สถานะบล็อกกิง (Forward Blocking หรือ Off-State) ขณะไบแอสตรงหรือสถานะออฟ และเรียกระแสรั่วไหลว่า กระแสออฟสเตต (Off-State Current, I_D) ถ้าแรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทด (V_{AK}) มีค่าสูงขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งจนทำให้รอยต่อ J_2 พัง เราเรียกว่า การพังแบบอะวาแลนซ์ และเรียกแรงดันขณะนั้นว่า แรงดันพังทลายขณะไบแอสตรง (V_{Bo}) เนื่องจากรอยต่อ J_1 และ J_3 มีการไบแอสตรงอยู่แล้วจึงมีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อทั้งสาม ส่งผลให้มีกระแสแอโนดไหลเป็นจำนวนมาก เอสซีอาร์จะอยู่ในสถานะนำกระแสหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON แรงดันตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานในชั้นทั้ง 4 ชั้นที่มีค่าน้อยประมาณ 1 โวลต์ สถานะนำกระแสแอโนดจะถูกจำกัดโดยความต้านทานภายนอก R_L ดังรูปกระแสแอโนดต้องมีค่ามากกว่าหนึ่งคือกระแสแลตซิ่งหรือกระแสค้าง (Latching Current, I_L) เพื่อที่จะรักษาปริมาณประจุที่ไหลผ่านรอยต่อให้เพียงพอ นอกจากนี้เอสซีอาร์จะกลับไปสถานะบล็อกกิง เมื่อแรงดันระหว่างแอโนดและแคโทดมีค่าลดลง กระแสแลตซิ่ง (I_L) คือกระแสแอโนดต่ำสุดที่ยังทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะนำกระแสทันทีภายหลังที่เอสซีอาร์นำกระแสเมื่อได้รับสัญญาณทริกที่ขาเกต ลักษณะทั่วไปทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์แสดงในรูป 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเอสซีอาร์

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

เมื่อแรงดันแคโทดเป็นบวก เมื่อเทียบกับแอโนดรอยต่อ J_2 เป็นนำไบแอสตรง แต่ J_1, J_2 เป็นไบแอสกลับ เหมือนกับไดโอด 2 ตัวต่ออนุกรมกัน มีแรงดันกลับตกคร่อมอยู่ ทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะบล็อกกิง และกระแสรั่วไหลย้อนกลับเรียกว่า กระแสย้อนกลับ (I_R) ไหลผ่านเอสซีอาร์

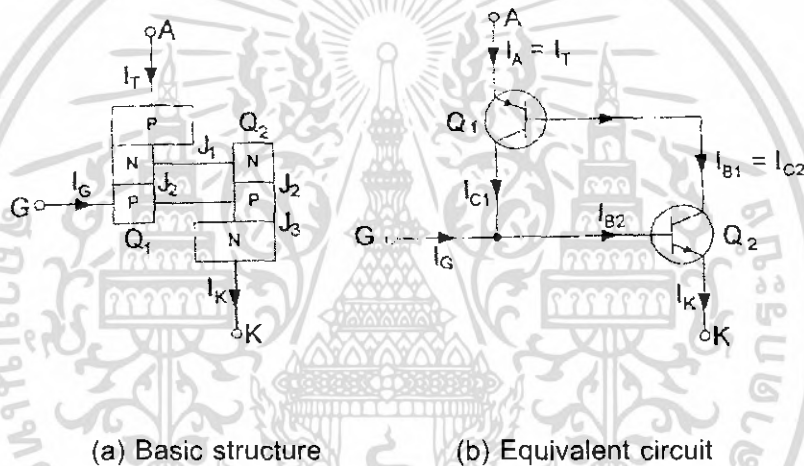
เอสซีอาร์สามารถจะนำกระแสโดยการเพิ่มแรงดันไบแอสตรง (V_{AK}) ให้มากกว่า V_{BO} แต่สถานะนี้อาจทำให้เอสซีอาร์ถูกทำลายได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นแรงดันไบแอสตรงจะต้องต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{BO} เอสซีอาร์จะนำกระแสได้โดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแคโทด ดังแสดงในรูป 2.19 เป็นเส้นประ ครั้งแรกที่เอสซีอาร์นำกระแส โดยมีสัญญาณทริกที่ขาเกิดและกระแสแอโนดมากกว่ากระแสโพลตั้ง เอสซีอาร์ยังคงนำกระแสเนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก แม้ว่าจะนำสัญญาณเกิดออกไปแล้วก็ตาม

แบบจำลองของเอสซีอาร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

ปรากฏการณ์รีเจนเนอเรทีฟหรือแลตซ์ซิ่ง เนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก สามารถอธิบายได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาเป็นแบบจำลอง เอสซีอาร์สามารถพิจารณาได้ว่ามีคอมพลีเมนทารีทรานซิสเตอร์ 2 ตัว คือ Q_1 เป็นแบบ PNP และ Q_2 เป็นแบบ NPN แสดงในรูป 2.20



รูปที่ 2.20 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 คือกระแสแอโนด (I_A) และกระแสคอลเลคเตอร์ (I_{C1}) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.38

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ α_1 คืออัตราขยายกระแส และ I_{CBO1} คือกระแสรั่วไหลของ Q_1 และในทำนองเดียวกันกับ Q_2 ค่า I_{C2} หาได้จากสมการที่ 2.39

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

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

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{C1} + I_{C2} \\ &= \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \end{aligned} \quad (2.40)$$

แต่สำหรับกระแสเกต I_G , $I_K = I_A + I_G$ และแก้สมการที่.....จะได้ I_A เท่ากับ

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

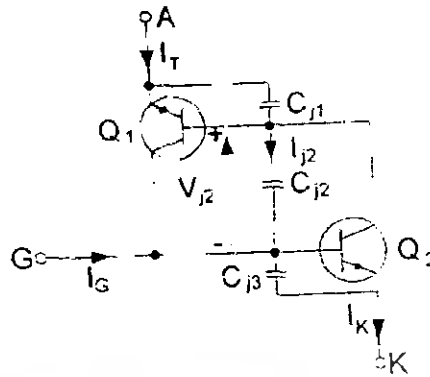
อัตราขยายกระแส α_1 แปรผันตามกระแสอิมิตเตอร์ $I_A = I_E$ และ α_2 แปรผันกับ $I_K = I_A + I_G$ โดยทั่วไปการแปรผันของอัตราขยายกระแส α กับกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) คือถ้ากระแสเกต (I_G) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้กระแสแอสไนด์ (I_A) เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด ซึ่งจะทำให้ α_1 และ α_2 เพิ่มขึ้นด้วย α_2 ขึ้นอยู่กับ I_A , I_G การเพิ่มขึ้นของ α_1 และ α_2 จะทำให้ I_A เพิ่มขึ้นมาก นี่คือผลกระทบของเจนนอร์เทิฟหรือการป้อนกลับแบบบวก ถ้า $\alpha_1 + \alpha_2$ มีค่าเท่ากับหนึ่ง ตัวหารของสมการที่ 2.41 จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้ I_A เพิ่มขึ้นมากมายและเอสซีอาร์จะนำกระแสด้วยกระแสเกตเพียงเล็กน้อย

ภายใต้สภาวะชั่วขณะ ค่าความจุของรอยต่อพี-เอ็น แสดงในรูป 2.21 มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเอสซีอาร์ ถ้าเอสซีอาร์อยู่ในสถานะบล็อกกิงแล้วให้แรงดันคร่อมเอสซีอาร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านตัวเก็บประจุที่รอยต่อ ซึ่งกระแสผ่าน C_{j2} สามารถแสดงได้ว่า

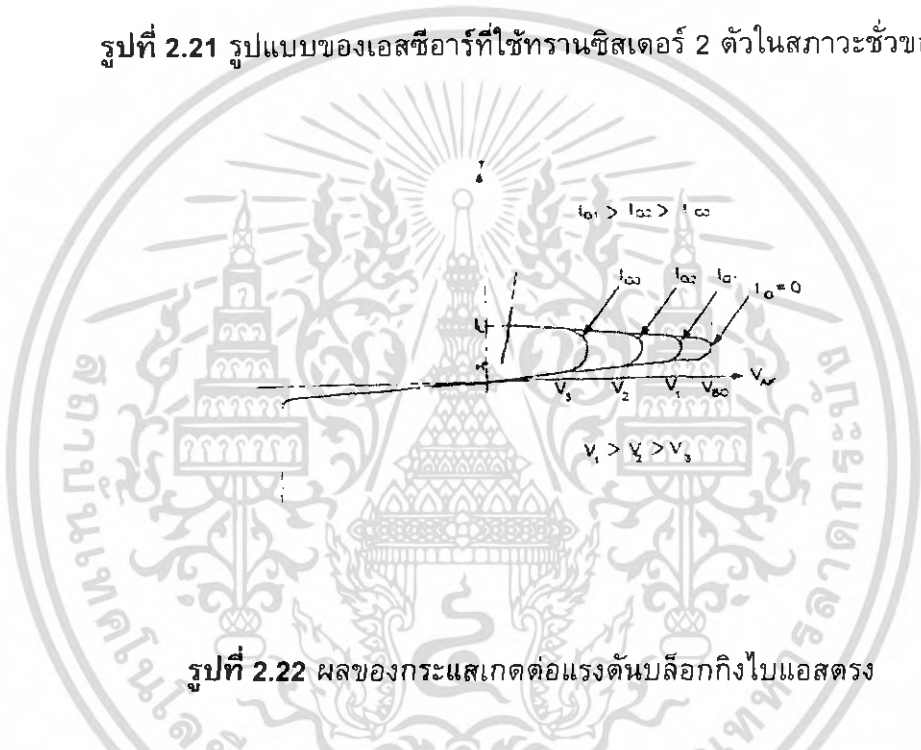
$$I_{j2} = \frac{d(q_{j2})}{dt} = \frac{d(C_{j2} V_{j2})}{dt} \quad (2.42)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 รูปแบบของเฮสซีอาร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในสภาวะชั่วขณะ



รูปที่ 2.22 ผลของกระแสเกิดต่อแรงดันบล็อกกิงไบแอสตรง

การนำกระแสของเฮสซีอาร์

เฮสซีอาร์อาจจะนำกระแสโดยการเพิ่มกระแสแอนโอด ซึ่งสำเร็จได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้
อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของเฮสซีอาร์สูงขึ้นจะทำให้ทำให้จำนวนอิเล็กตรอน-โฮล สูงขึ้น จะทำให้กระแสรั่วไหลมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ α_1 และ α_2 เพิ่มขึ้นและเนื่องจากปรากฏการณ์รีเจนเนอเรทีฟ ($\alpha_1 + \alpha_2$) มีแนวโน้มเท่ากับหนึ่งและเฮสซีอาร์นำกระแสเนื่องจากอุณหภูมินี้ ทำให้เกิดความร้อนสูงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด

แสง ถ้ามีแสงตกกระทบบนรอยต่อของเฮสซีอาร์ ทำให้คู่อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เฮสซีอาร์อาจนำกระแสได้ ซึ่งเกิดจากแสงตกกระทบบนชั้นซิลิกอนของเฮสซีอาร์

แรงดันสูง ถ้าแรงดันไบแอสตรงที่จ่ายให้กับแอนโอด-แคโทด มีค่าสูงกว่าแรงดันพังทลาย (V_{BO}) ค่ากระแสรั่วไหลจะกระตุ้นให้เกิดการนำกระแสแบบรีเจนเนอเรทีฟ การนำกระแสแบบนี้ อาจทำให้เฮสซีอาร์เสียหายควรหลีกเลี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

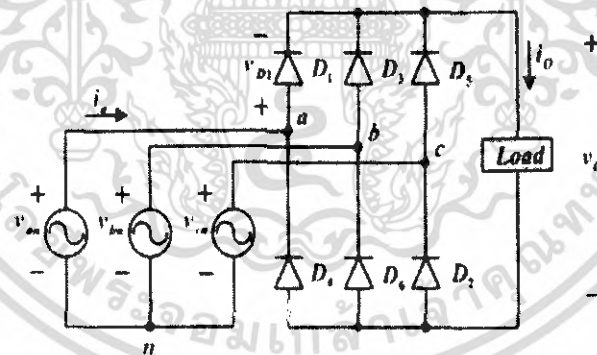
dv/dt คืออัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์ (V_{AK}) มีค่าสูงกระแสซาร์จของตัวเก็บประจุที่รอยต่ออาจมีค่าสูงจนทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และอาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ ผู้ผลิตควรระบุค่า dv/dt ของเอสซีอาร์สูงสุดที่ยอมรับได้

กระแสเกต ถ้าเอสซีอาร์มีการไบแอสตรง และมีกระแสเกตไหลโดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแอนด จะเป็นการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสที่กระแสเกตเพิ่มขึ้นกระแสบล็อกกิงไบแอสตรงจะลดลง

2.3 การขับเคลื่อน DC Motor แบบแยกกระตุ้นด้วย Converter 3 เฟส

วิธีหนึ่งในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น คือ การปรับเปลี่ยนค่าของแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์หรือกระแสไฟฟ้าที่ฟิลด์แต่ในโครงการนี้จะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์คงที่แล้วปรับเปลี่ยนแรงดันที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ของ มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้นซึ่งสามารถทำได้โดยใช้เทคนิควิธีการควบคุมที่เรียกว่า Converter ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือบางครั้งเรียกว่าวงจร Rectifier

มอเตอร์กระแสตรงนั้นจะกลายเป็นเครื่องกำเนิดเมื่อหากเราต้องการให้พลังงานที่เกิดขึ้นสามารถดันกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจำเป็นต้องใช้โหมด อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ด้วย



รูปที่ 2.23 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}

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

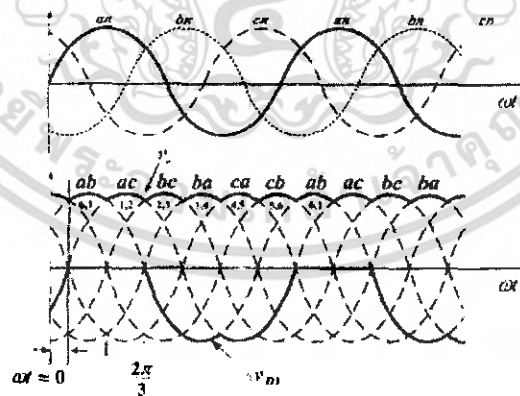
$$v_{bc} = v_{bn} + v_{nc} = v_{bn} - v_{cn} = \sqrt{3} E_m \sin(\omega t - 90^\circ) = V_{m,L-L} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

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

2.3.1 หลักการทำงาน ของ 3 Phase Converter

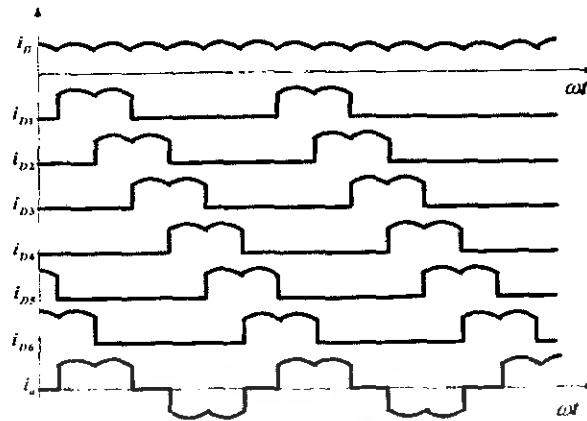
เพื่อความเข้าใจของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ได้ศึกษาวงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ใช้ไดโอดก่อน

2.3.1.1 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส



รูปที่ 2.24 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดแต่ละตัวและกระแสไฟฟ้า i_a

จากรูป ที่ 2.23, 2.24, 2.25 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้คือ

1) ไดโอดซึกบน D1, D3, D5 จะทำงานตัวเดียวในช่วงเวลาใด เวลาหนึ่งและไดโอดซึกล่าง D2, D4, D6 จะทำงานตัวเดียวในช่วงเวลาหนึ่งเช่นเดียวกัน และในการทำงานในแต่ละช่วงเวลา จะมีไดโอด ทำงานพร้อมกัน 2 ตัวคือ ซึกบน 1 ตัว ซึกล่าง 1 ตัว

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

3) แรงไฟฟ้าตกคร่อมโหลดคือแรงดัน V_{LL} ของแหล่งจ่ายเมื่อ D1 กับ D2 นำกระแส ในช่วงเวลานี้แรงดันขาออกคือ V_{ac} ข้อสังเกตคือไดโอดคู่ใดนำกระแสไฟฟ้าก็จะเป็นไดโอดที่ต่อระหว่างเฟสที่มีค่าสูงสุดในขณะเวลานั้น

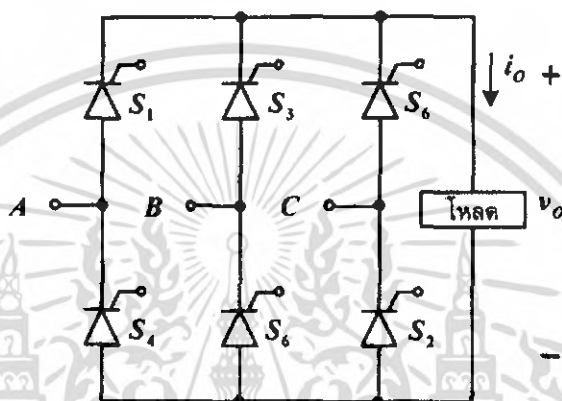
4) แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสมีความเป็นไปได้ 6 แบบช่วงแรงดันไฟฟ้าสูงสุดระหว่างเฟสจะเป็นช่วง 60 องศา และใน 1 คาบเวลา จะมีแรงดันสูงสุด 6 จุดตั้งนั้นจึงเรียกวางจรว่าวงจรเรียงกระแสแบบ 6 พัลส์ ซึ่งนับจากจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุดในหนึ่งคาบ(ไดโอดจะนำกระแสเป็นสลับคือ D1, D2, D3, D4, D5, D6ดังรูปที่ 2.25 และต้องเรียงลำดับไดโอดให้ได้ ตามรูปที่ 2.23 ด้วย)

5) ความถี่หลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็น 6 เท่าของความถี่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

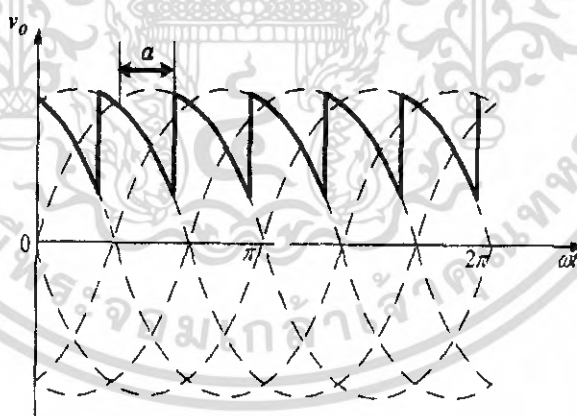
จากรูปที่ 2.24 แสดงถึงแรงดันไฟฟ้าเฟสและการเกิดแรงดันไฟฟ้าด้านออก ที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส ที่ต่อเข้ากับไดโอดในวงจรที่มีความต้านทานเป็นภาระไฟฟ้าดังรูปที่ 2.23 ไดโอดจะนำกระแสเป็นคู่ๆเช่นคู่ที่ (6,1) คือ (1,2),(2,3),(3,4),(5,6),(6,1),.... เป็นต้น ไดโอดจะนำกระแสไฟฟ้่าเป็นลำดับคือ 1,2,3,4,5,6,1,2, 3,4,5,6.....จะได้รูปเอาท์พุทดังรูปที่ 2.25

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 แต่ในแบบควบคุมเฟสได้จะ สามารถควบคุมมุมจุดชนวนของ SCR แต่ละตัวได้ด้วย



รูปที่ 2.26 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบควบคุมเฟส



รูปที่ 2.27 แรงดันไฟฟ้าต้านออกเมื่อมุมจุดชนวนอยู่ที่ 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ

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

ดังนั้นแรงดัน V_{out} (average) หาได้จากสมการ 44

$$V_o = \frac{3}{\pi} V_{m,L-L} \cos \alpha = 0.955 V_{m,L-L} \cos \alpha
 \tag{2.44}$$

ในที่นี้โหลดที่ใช้ในโรงงานนี้คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor) สามารถหากระแส I_a ได้โดยแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์คือ V_o และจากสมการวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ

$$V_o = I_a R_a + L \frac{di_a}{dt} + e_a
 \tag{2.45}$$

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกทำงานที่แรงบิดพิกัดและที่เส้นแรงแม่เหล็กหรือกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก I_f ที่ค่าพิกัด ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสอาร์เมเจอร์ต่อเวลาจะน้อยมาก (di_a/dt) ดังนั้นสมการวงจรสมมูลย์จะเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรจะได้สมการดังที่กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาดังนี้

$$V_o = I_a R_a + E_a
 \tag{2.46}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

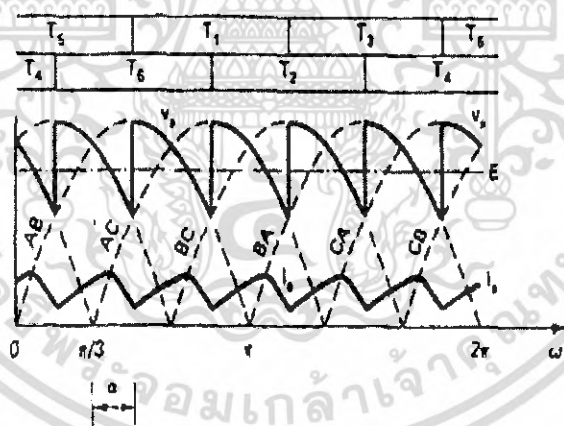
ดังนั้นกระแสอาร์ไมเจอร์เฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการ

$$I_{a,AVE} = \frac{V_a - E_a}{R_a}$$

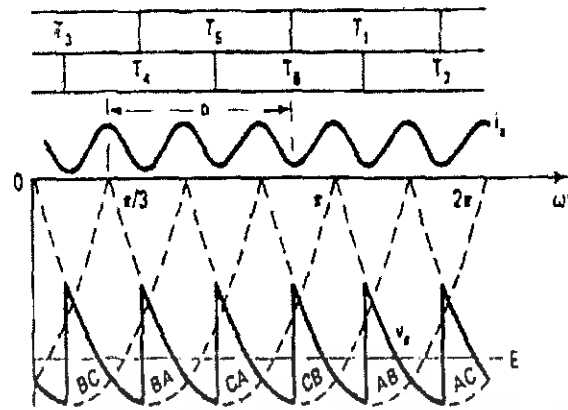
$$I_{a,AVE} = \frac{3}{\pi R_a} V_{m,L-L} \cos \alpha - \frac{E_a}{R_a}$$

จากสมการที่ 2.44 แรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับมุม α ถ้า $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ แรงดันเอาต์พุตจะเป็นบวกดังรูปที่ 2.28 โดยโหมตนี้จะเรียกว่าโหมตการเรียงกระแสซึ่งโหมตนี้จะเป็นการส่งถ่ายกำลังจากด้านแหล่งจ่ายไปยังโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟสจะมีค่าลดลงเมื่อมุมจุดฉนวน α มีค่ามากขึ้น

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



รูปที่ 2.28 รูปแรงดันและกระแสเอาต์พุตเมื่อมุม α ถ้า $0 \leq \alpha \leq 90$

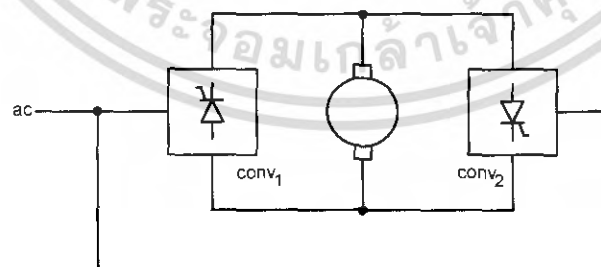


รูปที่ 2.29 รูปแรงดันและกระแสที่พุดเมื่อมุม α ถ้า $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

จากรูปที่ 2.28 และรูปที่ 2.29 จะเป็น ตัวอย่าง รูปคลื่น แรงดันและกระแสที่ ออกจาก Converter ซึ่งเกิดจากการจุดชนวน ฆาเกจของ SCR หากเราปรับมุมฉนวน α มีค่ามากกว่ามุม 90 จะทำให้แรงดันอาร์พุดปรากฏในซีกลบ (อินเวอร์โหมด)หรือกล่าวได้ว่าทิศทางการไหลของกำลังจะมีทิศทางจากโหลดไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งเป็นโหมดทำงานภายใต้การเบรกคืน พลังงานนั้นเองซึ่งสะเต็ปการทำให้มีตั้งรูปผลคือทำให้แรงดัน V_o มีค่าติดลบ

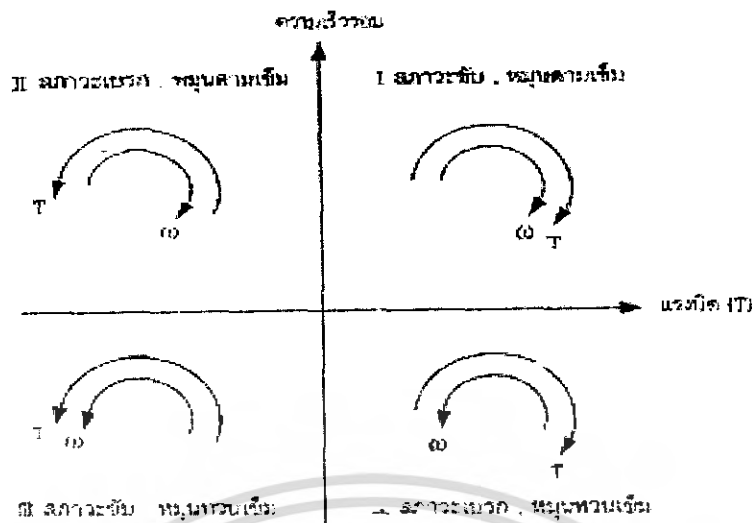
การนำ ชุด Converter มาใช้งานในโครงการนี้ จะนำมาต่อแบบ dual Converter ซึ่ง จะสามารถ ทำงานได้ทั้ง โหมด Rectifier และโหมด Inverter และ การทำงานสามารถทำงานได้ครบ 4 Quadrant ดังนี้

2.3.1.3 การทำงาน 4 Quadrant



รูปที่ 2.30 การต่อ dual converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 การทำงานของมอเตอร์ ใน 4 Quadrant

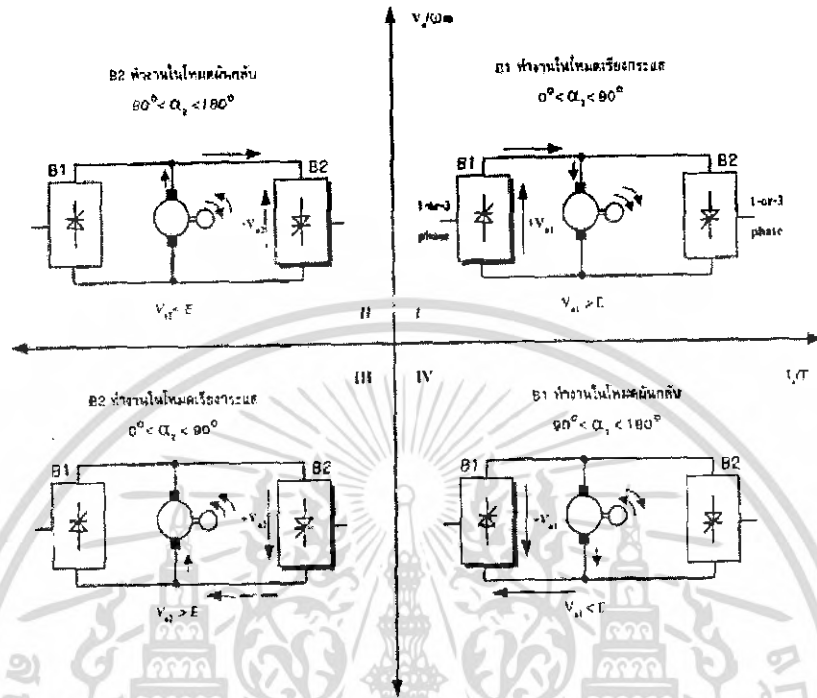
ใน Quadrant ที่1 มอเตอร์ออกแรงบิดตามเข็มนาฬิกาทำให้มอเตอร์และโหลดทางกลหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาด้วยถ้าให้เครื่องบวกแทนทิศทางตามเข็มนาฬิกาเราก็จะได้ว่า มอเตอร์จะจ่ายกำลังสุทธิ $P = (+T)(+\omega) = T\omega$ ไปให้กับโหลดทางกลสภาวะนี้เป็นสภาวะที่กำลังงานหรือพลังงานไหลผ่านมอเตอร์ไปยังโหลดทางกล

ใน Quadrant ที่2 มอเตอร์และโหลดทางกลยังหมุนในทิศทางเดิมหรือหมุนตามเข็มนาฬิกาแต่มอเตอร์กลับออกแรงบิดกระทำในทิศทางตรงข้ามในทิศทางหมุนในสภาวะนี้จึงเกิดเบรกขึ้นเพราะมีแรงบิดมาต้านการหมุนไว้ในกรณีนี้มอเตอร์จะรับกำลังสุทธิ $P = (-T)(+\omega) = -T\omega$ มาจากโหลดทางกลโดยเครื่องหมายลบเป็นการแสดงว่ากำลังงานไหลย้อนกลับสภาวะนี้จึงภาวะที่กำลังงานหรือพลังงานไหลจากโหลดทางกลกับเข้ามอเตอร์และถ้าต่อมอเตอร์เข้ากับชุดเรกติไฟเออร์ที่ทำงานในอินเวอร์ตติ้งโหมดและยอมให้กระแสในตัวมอเตอร์ไหลกลับทางได้มอเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายพลังงานที่รับมาจากโหลดทางกลกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟแต่ถ้าใช้วิธีเบรกทางกลไปหยุดการหมุนของโหลดทางกลพลังงานทั้งหมดก็จะสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานของโหลดทางกลกับเบรคนั้น

สำหรับ Quadrant ที่3 มอเตอร์ออกแรงบิดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาทำให้ทั้งมอเตอร์และโหลดทางกลหมุนทวนเข็มนาฬิกาในสภาวะนี้มอเตอร์จะจ่ายกำลังสุทธิ $P = (-T)(-\omega) = T\omega$ ไปให้กับโหลดทางกลสภาวะนี้จึงเป็นสภาวะที่พลังงานไหลจากมอเตอร์ไปยังโหลดทางกลเช่นเดียวกับ Quadrant ที่1 แต่การหมุนเป็นไปในทิศทางตรงข้าม

Quadrant ที่4 จะเป็นการเบรกของ Quadrant ที่3 กล่าวคือมอเตอร์และโหลดทางกลยังหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเนื่องจากผลของการเฉื่อยแต่มอเตอร์ออกแรงบิดในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนเพื่อหยุดการหมุนของโหลดทางกลและมอเตอร์ในสภาวะนี้มอเตอร์จะได้รับกำลังสุทธิ $P = (T)(-\omega) = -T\omega$ มาจากโหลดทางกลซึ่งหากมอเตอร์ตัวนี้ถูกต่อกับชุดเรกติไฟ

เออร์ที่ทำงานในอินเวอร์ตดิ้งโหมดได้และยอมให้กระแสไหลกลับทางได้พลังงานที่มอเตอร์ที่รับมาก็จะถูกส่งคืนไปยังแหล่งจ่าย



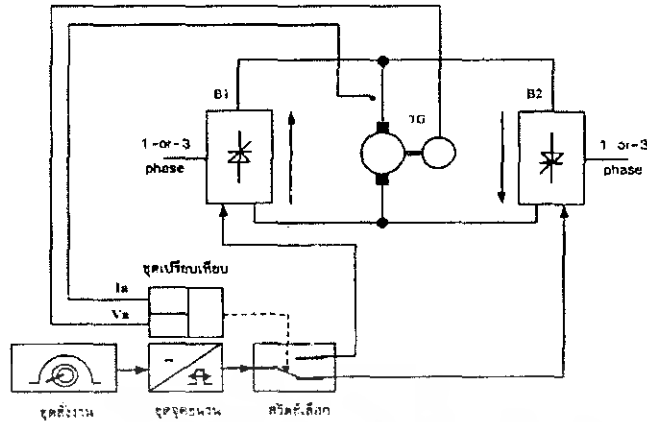
รูปที่ 2.32 การทำงานของ dual converter ใน 4 Quadrant

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

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

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



รูปที่ 2.33 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์คู่ขนานไม่มีกระแสไหลวนร่วมกับมอเตอร์

2.4 การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับการขับเคลื่อนมอเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่นิยมใช้มากในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะเป็นอุปกรณ์ควบคุมที่มีความเปราะบางต่อสนามแม่เหล็กและมีความน่าเชื่อถือไม่สูงมากเมื่อเทียบกับ PLC หรือ อุปกรณ์ควบคุมแบบอื่น ๆ แต่สิ่งหนึ่งที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ดี คือ ราคาของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกมากเมื่อเทียบกับ PLC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในท้องตลาดมีมากมายหลายชนิด แต่ในโครงการนี้จะเลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F เพราะว่าในตัว dsPIC มีขีดความสามารถของหน่วยประมวลผลกลางสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณคณิตศาสตร์เนื่องจากเป็นหัวใจหลักของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล โดยสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงถึง 16 บิต นอกจากนั้น ความเร็วในการประมวลผลยังสูงด้วย และในตัว dsPIC ยังมีโมดูล แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลให้มีความละเอียดสูงขึ้น

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

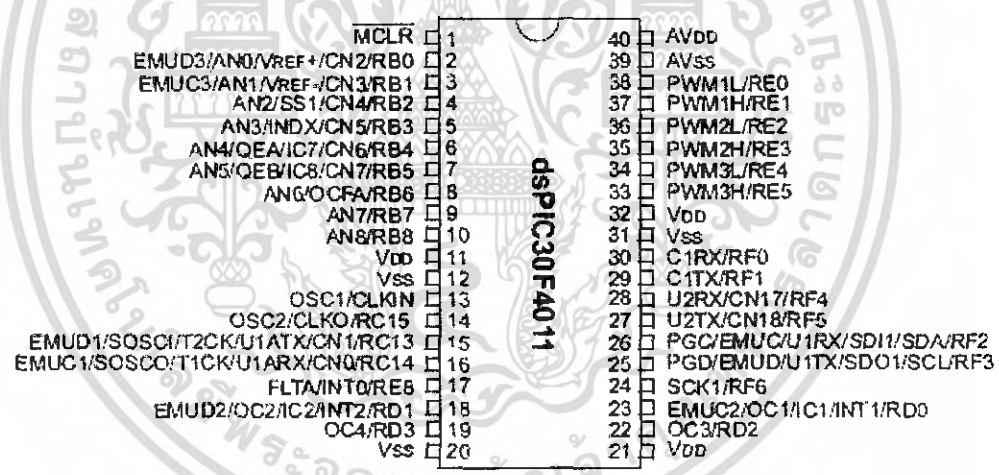
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ CPU แบบ RISC
- ความเร็วในการคำนวณสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อ วินาที
- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐานรองรับการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่วยความจำแบบแฟรช สามารถลบแล้วเขียนใหม่ได้ไม่ต่ำกว่า 100,000 ครั้ง
 - สามารถป้องกันการอ่านได้
 - มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก
 - สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- 2) คุณสมบัติด้านการประมวลผลดิจิทัล
- มีแอสคิควมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว
 - มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและการหาร 17 บิต
- 3) คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ
- สามารถจ่ายกระแสออกขา Port ได้ 25 mA
 - มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 5 ตัว
 - มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอก เป็นดิจิทัล

2.4.1.2 การใช้งาน Port ต่าง ๆ ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

40-Pin PDIP



รูปที่ 2.34 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 เป็นอุปกรณ์ควบคุม 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

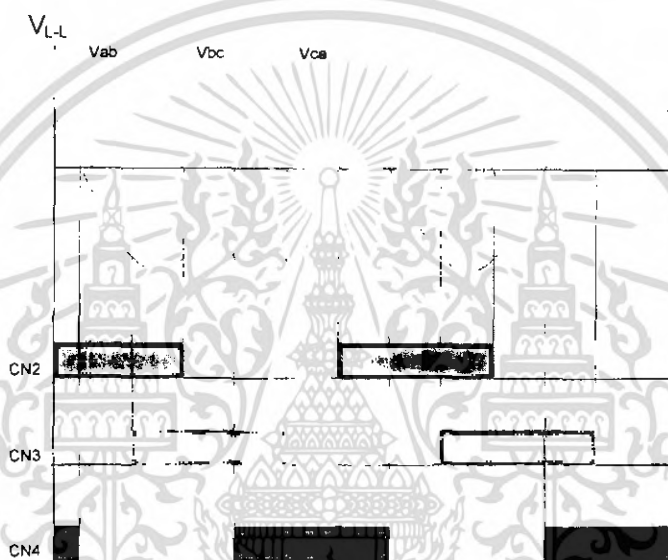
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ซึ่งนอกจากจะใช้งานเป็น Port input/output แล้วยังสามารถตั้งค่าให้ทำงานได้หลายอย่างเช่นในโครงงานนี้จะใช้ Port B เป็น ขารับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิกที่ได้มาจาก ชุด Zero crossing ซึ่งจะได้อธิบายการทำงานต่อไป ซึ่งขาที่ใช้ใน Port B จะใช้ขา CN ซึ่ง เป็น Port ที่รับสัญญาณ การขัดจังหวะเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิก และนอกจากนั้น Port B ยังใช้ในการเป็น โมดูล การแปลงสัญญาณ อะนาลอก เป็นดิจิตอลด้วย

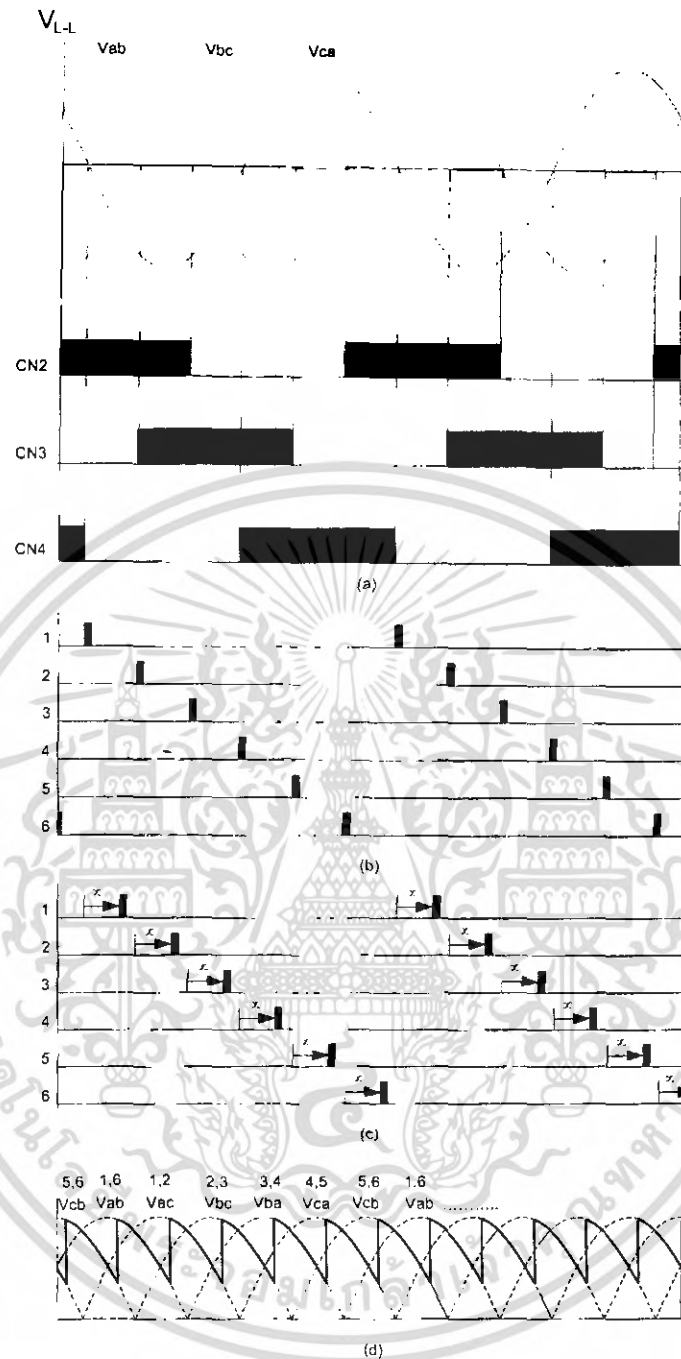
2.4.1.2 หลักการทำงานวงจร

เริ่มการทำงานจาก การจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสเข้าไปให้กับระบบดังรูป



รูปที่ 2.35 สัญญาณที่ได้จากชุด Zero crossing

จากรูปที่ 2.35 สัญญาณที่ได้จากชุด Zero crossing จะได้ออกมาเป็น พัลส์ 4 เหลี่ยม ซึ่งในแต่ละเฟสจะมีลำดับเฟส ตามสัญญาณแรงดันที่ไปตรวจจับ และพัลส์ 4 เหลี่ยมที่ได้จะเกิดขึ้นในซีกบวกของลูกคลื่นแต่ละลูก ซึ่งการทำงานและวงจรจะขออธิบายในบทต่อไป สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปต่อเข้ากับขา CN2 CN3 CN4 ตามลำดับ สัญญาณที่ได้นี้เมื่อเข้าไปใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับรู้ว่าเป็นสัญญาณ อินเตอร์รัป เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปในแต่ละจุด โปรแกรมจะรับรู้ว่าการอินเตอร์รัปมาจากขาไหน เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปขึ้น เมื่อโปรแกรมเข้าไปในอินเตอร์รัปจะไปสั่งให้ ไทเมอร์ทำงาน แล้วไทเมอร์จะนับเวลาไปเรื่อย ๆ ตามที่หน่วงเวลาไว้ เมื่อถึงค่าเวลาที่ ตั้งค่าเอาไว้จะเกิดการอินเตอร์รัปขึ้นอีกเนื่องจากโปรแกรมมาได้สั่งให้ทำงานด้วย อินเตอร์รัปไทเมอร์ด้วย และเมื่ออินเตอร์รัปไทเมอร์ทำงาน จะไปสั่งให้เกิดการทริกเกจเกิดขึ้น



รูปที่ 2.36 หลักการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จุดขนวนเกจของ SCR

จากรูปที่ 2.36 รูป a เป็นสัญญาณ ที่ได้มาจากการนำชุด Zero crossing จับสัญญาณ ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสจะได้สัญญาณ 3 ชุดมาเข้า ขา CN2 CN3 CN4 ของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามีสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก คือ จาก High เป็น Low จาก Low เป็น High การที่มีการเปลี่ยนแปลง ลอจิกในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะไม่สามารถรู้ได้ทันทีว่าเป็น ขาไหน ที่มีการอินเตอร์รัป และไม่รู้ว่าการอินเตอร์รัปนั้นเป็นอินเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับจากลอจิก Low หรือว่า ลอจิก High เพราะการอินเตอร์รับจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกมีลักษณะเดียว ไม่เหมือนในอินเตอร์รับ ไทเมอร์ที่มีการอินเตอร์รับในทุก ๆ ไทเมอร์ แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถรู้ได้โดย เมื่อเกิดการอินเตอร์รับเข้ามา โปรแกรมจะทำการเช็ครหัสบิต ของ Port B ว่าเป็นลักษณะอย่างไร โดยที่การต่อ CN2 CN3 CN4 จะเป็นขาเดียวกับ Port B ที่ บิต RB0 RB1 RB2 โดยเมื่อเกิดการ อินเตอร์รับขึ้นมาจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกแล้วเราก็เช็คสถานะของ บิตว่าเป็นไปในลักษณะอย่างไร แล้วก็เขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกการทำงาน

โดยที่เมื่อเช็ครหัสเป็น 101 แสดงว่า CN 2 เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ จาก Low เป็น High เมื่ออยู่ในสภาวะนี้ ก็สั่งให้ Timer 1 นับเวลาตามที่ตั้งไว้ แล้ว สั่งให้จุดชนวนเกจของ SCR ตัวที่ 6 และเมื่อเช็ครหัสเป็น 001 แสดง CN4 เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก จาก High เป็น Low เมื่ออยู่ในสภาวะนี้จะสั่งให้ Timer 3 ทำงาน นับเวลาไป แล้วรอสั่งให้จุดชนวนเกจของ SCR ตัวที่ 1 ทำงาน เมื่อเช็ครหัสเป็น 011 แสดง CN3 เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก จาก Low เป็น High เมื่ออยู่ในสภาวะนี้จะสั่งให้ Timer 2 ทำงาน นับเวลาไป แล้วรอสั่งให้จุดชนวนเกจของ SCR ตัวที่ 2 ทำงาน เมื่อเช็ครหัสเป็น 010 แสดง CN2 เกิดการเปลี่ยนแปลงลอจิก จาก High เป็น Low เมื่ออยู่ในสภาวะนี้จะสั่งให้ Timer 1 ทำงาน นับเวลาไป แล้วรอสั่งให้จุดชนวนเกจของ SCR ตัวที่3 ทำงาน การทำงานจะหมุนเวียนไปอย่างรีเรื่อย ๆ และมุมจุดชนวนนั้นสามารถ ปรับเลื่อนได้ โดยที่ เราสามารถเพิ่ม หรือ ลดค่าใน รีจิสเตอร์ ข้างใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจะเอาค่านี้ไปทำการนับ ใน ไทเมอร์เพื่อ หน่วงเวลาจุดชนวนได้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง (หรือการออกแบบการทดลอง)

3.1 วงจร Zero crossing

วงจร zero crossing ซึ่งการทดลองนี้จะประกอบไปด้วย ออปแอมป์เบอร์ 741 ที่ทำงานเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (operation of comparator) ดังแสดงดังรูป 3.1 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

$$V_o = A_{oL}(e_{NI} - e_{INV}) \quad (3.1)$$

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

สำหรับวงจรดังรูป 3.1 ขาอินเวอร์ตติ้งอินพุตจะเป็นจุดต่อร่วมวงจร (circuit common) ซึ่งมีแรงดันเป็นศูนย์โวลต์ดังนั้นสมการที่ 3.1 จะได้

$$V_o = A_{oL} e_{NI}$$



รูปที่ 3.1 วงจรเปรียบเทียบที่ใช้ออปแอมป์

สำหรับออปแอมป์ค่า A_{oL} จะมีค่าสูงมากซึ่งออปแอมป์ในอุดมคติค่า A_{oL} จะมีค่าเป็นอนันต์ (infinity) นั่นก็หมายถึงว่าวงจรในรูป 3.1 เออร์พุด V_o สามารถเป็นไปได้สองกรณี คือ กรณีที่ 1

$$e_{NI} > 0$$

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

$$V_o = +\infty$$

จากสมการอธิบายได้ว่าเมื่อใดที่อินพุต e_{NI} มีค่ามากกว่าศูนย์โวลต์เพียงเล็กน้อย อัตราการขยายจะมีค่ามากเป็นอนันต์แต่ในความเป็นจริงแรงดัน V_o จะมีค่าเป็น V_{sat} (แรงดันเป็นบวกมากที่สุดที่ออปแอมป์สามารถจ่ายได้) ดังนั้น

ถ้า

$$e_{NI} > 0$$

แล้ว

$$V_o = +V_{SAT}$$

กรณีที่ 2

$$e_{NI} < 0$$

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

$$V_o = -\infty$$

จากสมการเมื่อที่อินพุต e_{NI} มีค่าน้อยกว่าศูนย์โวลต์เพียงเล็กน้อยอัตราขยายมีค่าเป็นอนันต์ด้านลบ แต่ในความเป็นจริงแรงดัน V_o จะมีค่าเป็น $-V_{SAT}$ (แรงดันเป็นลบน้อยที่สุดที่ออปแอมป์สามารถจ่ายได้) ดังนั้น

ถ้า

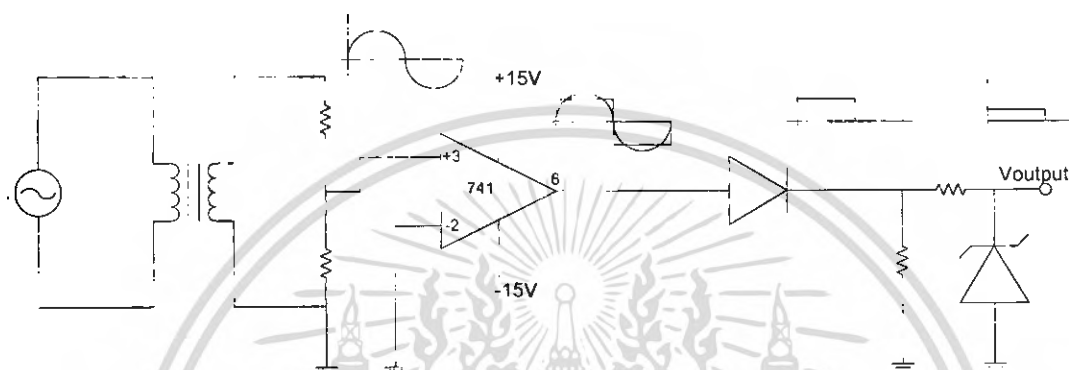
$$e_{NI} > 0$$

แล้ว

$$V_o = -V_{SAT}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 3.2 วงจร Zero crossing เฟสเดียว



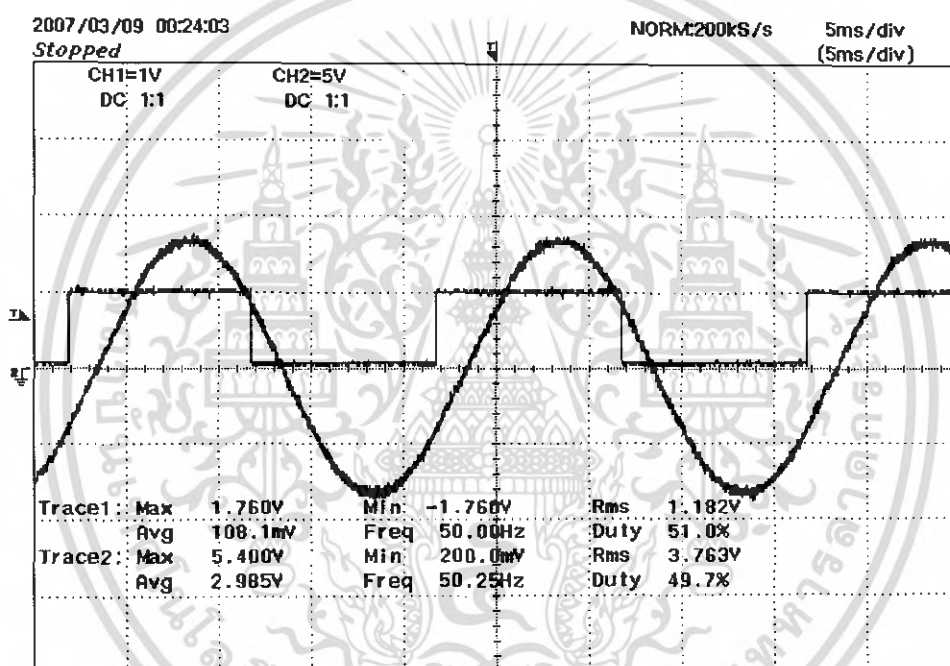
รูปที่ 3.3 วงจร Zero crossing 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

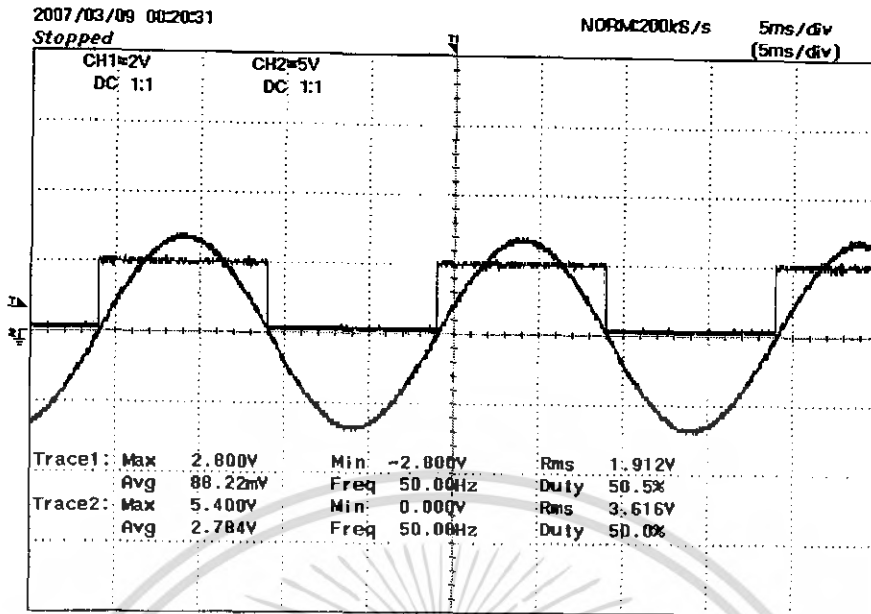
รายการอุปกรณ์

หม้อแปลง 220V/6V 300mA	3 ตัว
ความต้านทาน 220 Ω 1/4 W	6 ตัว
ออปแอมป์ เบอร์ 741	3 ตัว
ไดโอด เบอร์ 1N4148	3 ตัว
ซีเนอร์ไดโอด 5.1 V	3 ตัว

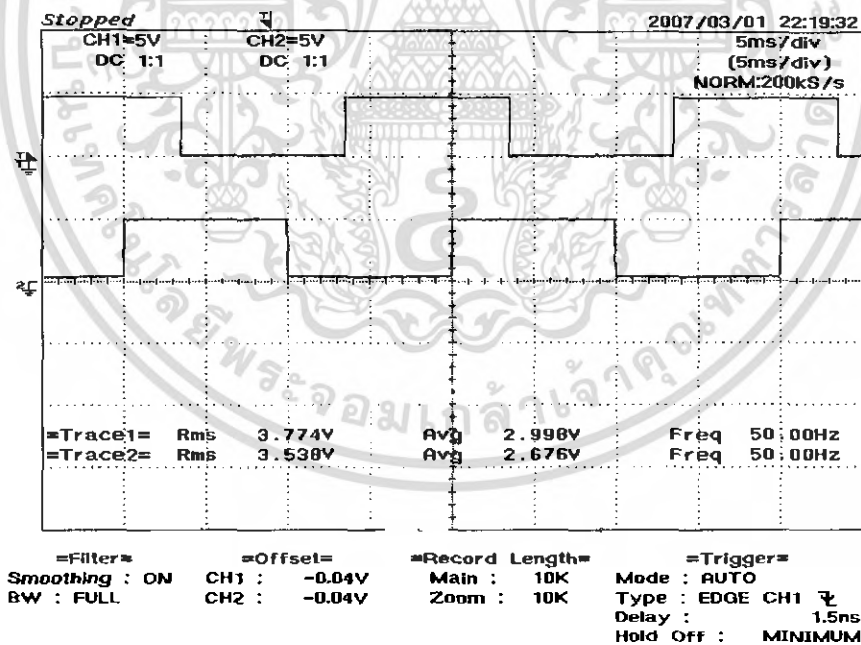
ผลการทดลอง

รูปที่ 3.4 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลอง Zero crossing วัดเทียบกับสัญญาณขาเข้า V_{LL}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



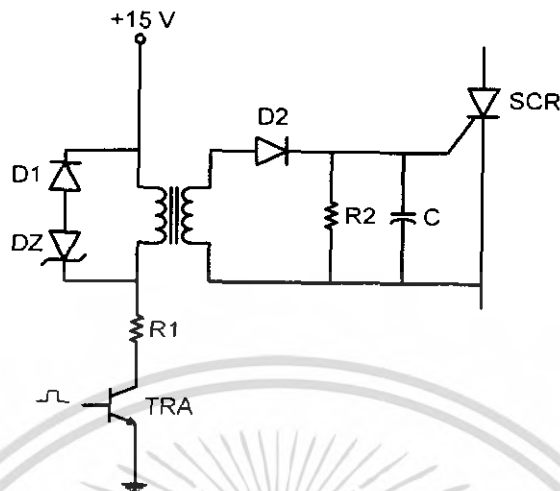
รูปที่ 3.5 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองสัญญาณ Zero crossing วัดเทียบกับสัญญาณขาเข้า V_{L-N}



รูปที่ 3.6 รูปสัญญาณของ รูปคลื่นของ Zero crossing ที่วัดระหว่างเฟส A และเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. วงจรขับเกจของ SCR



รูปที่ 3.7 วงจรขับ SCR

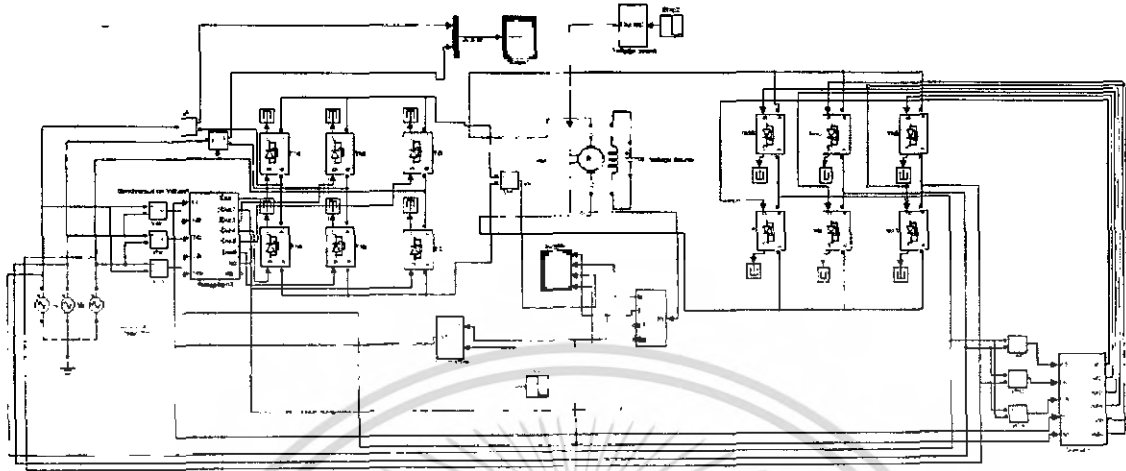
ในการจุดฉนวน (Triggering) SCR เพื่อให้หน้ากระแสที่ กระแสพัลส์ของขาเกตต้องมีขนาดของพัลส์และเวลาในการทริกเพียงพอและควรมีเวลาได้ขึ้น(rise time) ที่สั้นและกระแสแอโนดเพิ่มสูงขึ้นกว่ากระแสแลดซึ่ง และที่สำคัญในการทริก SCR ของวงจร 3 เฟส ฟูลเวฟคอนเวอร์เตอร์ สัญญาณทริกที่ป้อนเข้าขาเกตของ SCR ควรผ่านหม้อแปลงพัลส์ เพื่อทำการแยกกราวด์(Ground) ของวงจรกำลัง และวงจรควบคุมออกจากกันเพื่อป้องกันความเสียหายของวงจรควบคุมหากเกิดดาร์ลต์วงจรวางจรกำลังแต่ถ้าใช้พัลส์ทรานสฟอร์มเมอร์(PTR)ต้องมีวงจรเพิ่มเติมเพื่อป้องกันการอิมพัลส์ของแกนเหล็ก ส่วนไดโอด D1 และซีเนอร์ไดโอด DZ คร่อมขดลวดปฐมภูมิช่วยให้เกิดทางเดินฟรีวีลลิ่ง (free Wheeling) ของกระแสปฐมภูมิในขณะเทอร์นออฟ(Turn off) และป้องกันการอิมพัลส์ของหม้อแปลงไดโอด D2 และ C ช่วยในการเรียงกระแสและกรองสัญญาณทริกขาเกตของ SCR ส่วน R2 จะ limit กระแสขับเกจดังแสดงรูปที่ 3.5

รายการอุปกรณ์ต่อ Converter 1 ชุด

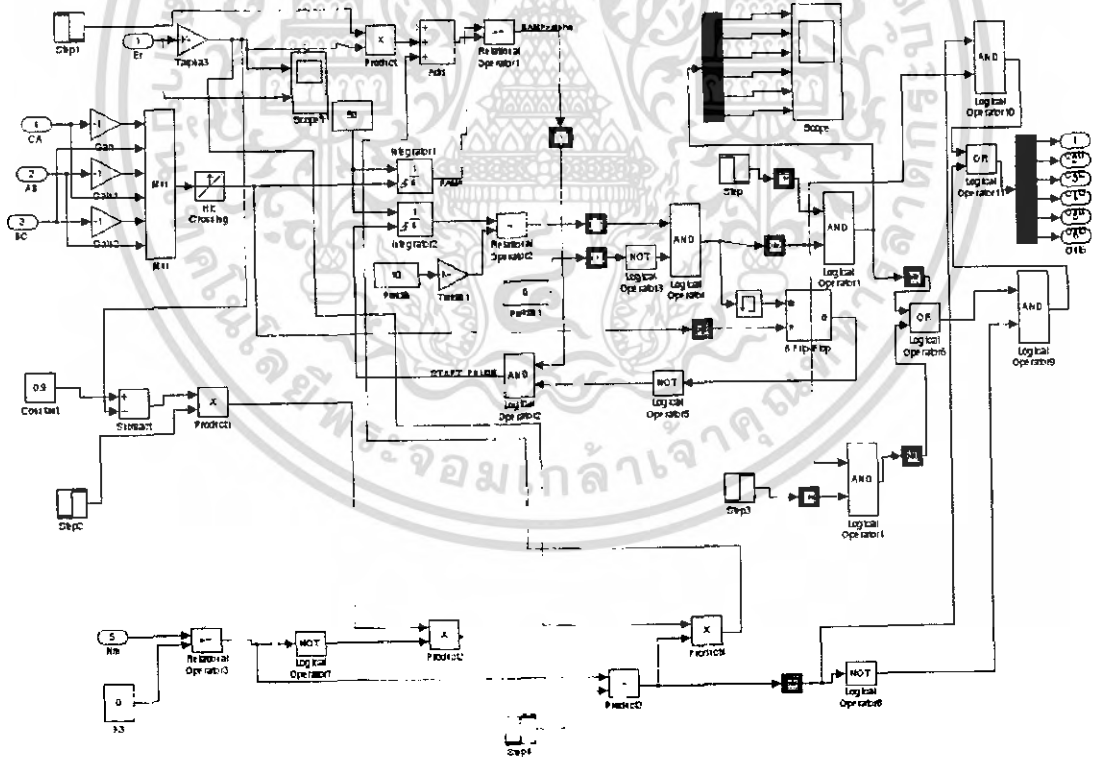
พัลส์ทรานสฟอร์มเมอร์(PTR)	6 ตัว
ไดโอด 1N4841	12 ตัว
ซีเนอร์ไดโอด 1N4740A	6 ตัว
ทรานซิสเตอร์(TRA) 2N2222A	6 ตัว
ความต้านทานR ₁ 50 Ω 5 W	6 ตัว
ความต้านทานR ₂ 1 KΩ 1/4 W	6 ตัว
คาปาซิเตอร์ 30 pF	6 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ผลการจำลอง การทำงานของวงจร dual converter ด้วยโปรแกรม MATLAB

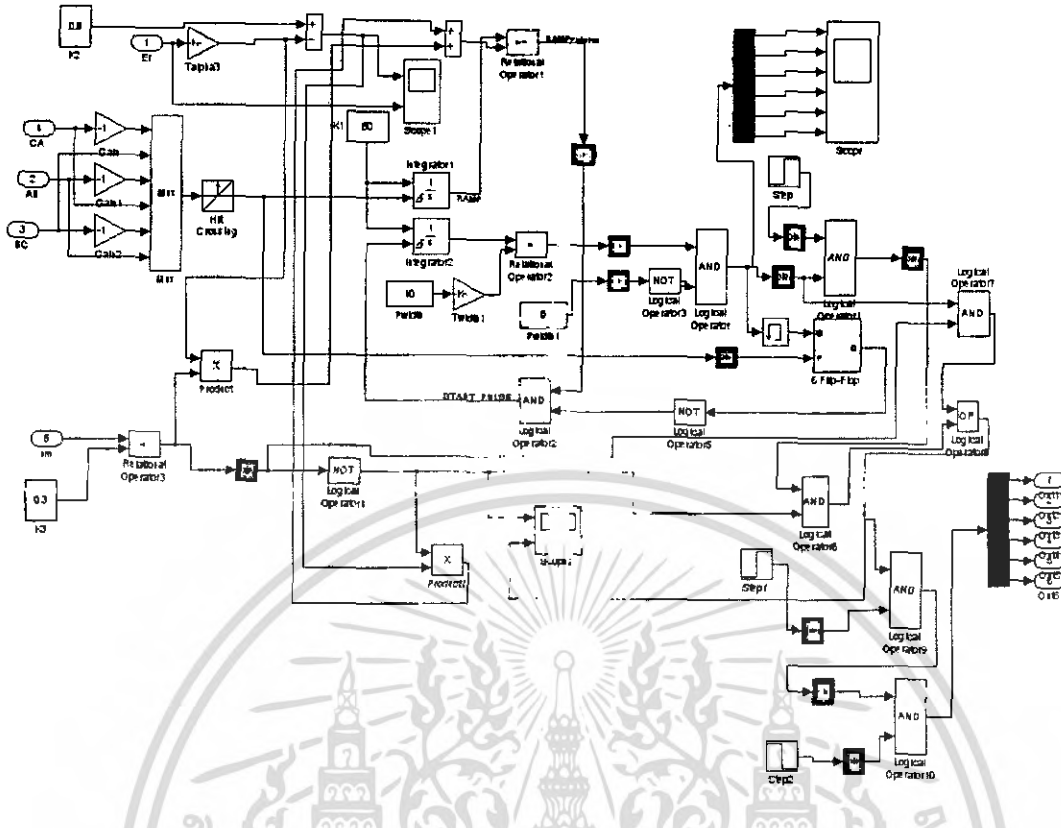


รูปที่ 3.8 วงจร dual converter ที่ใช้ในการ Simulink

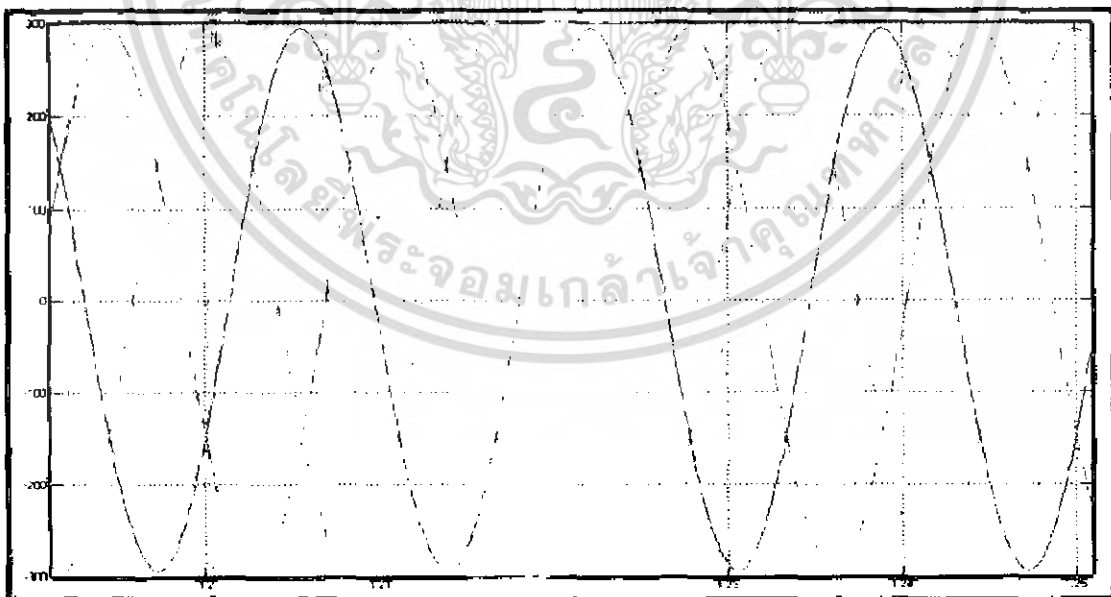


รูปที่ 3.9 วงจรภายใน Subsystem1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

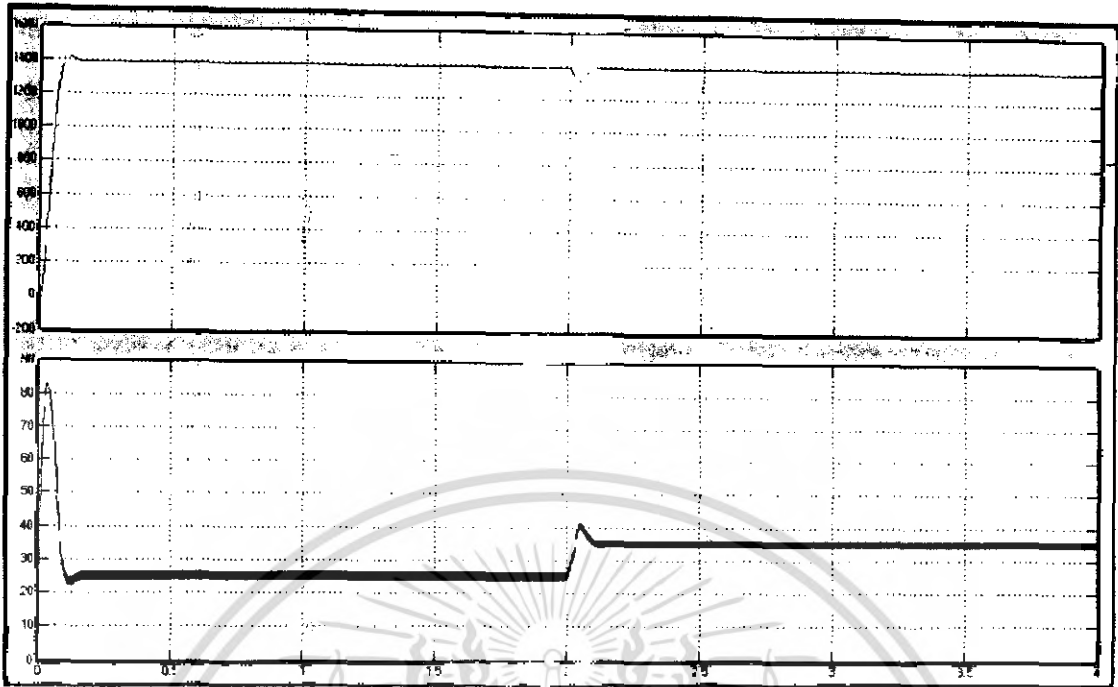


รูปที่ 3.10 วงจรภายใน Subsystem2



รูปที่ 3.11 แรงดันอินพุต 3 เฟส (Vinput)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

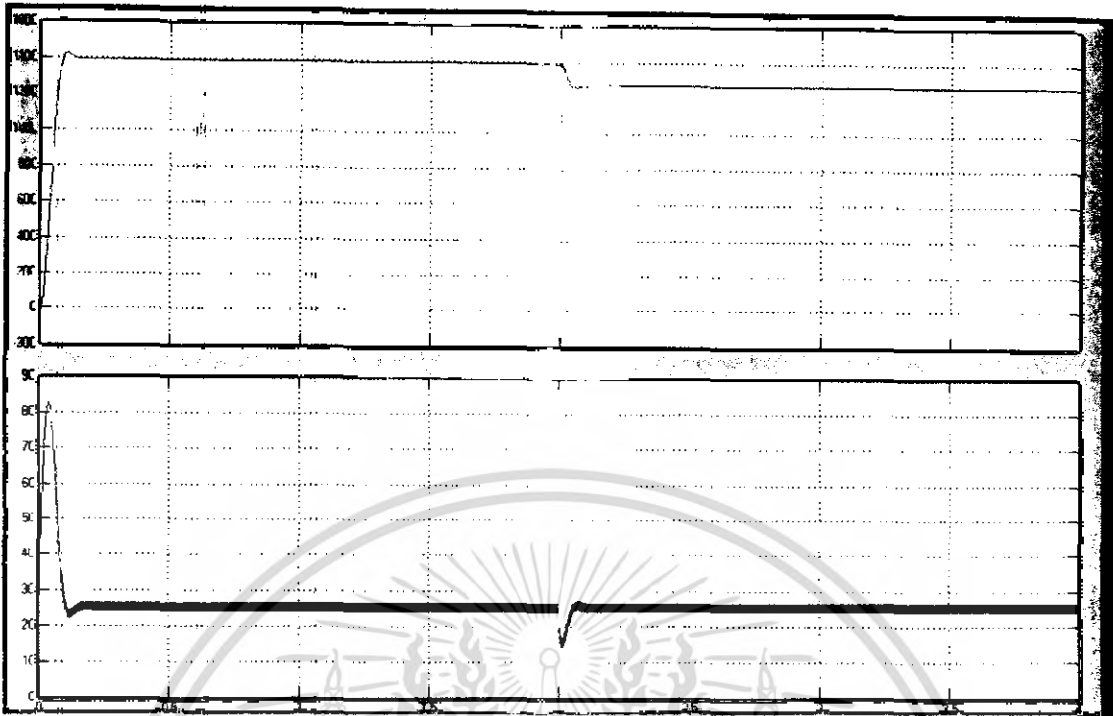


รูปที่ 3.12 การใส่โหลดจาก 25 N.m เปลี่ยนเป็น 35 N.m

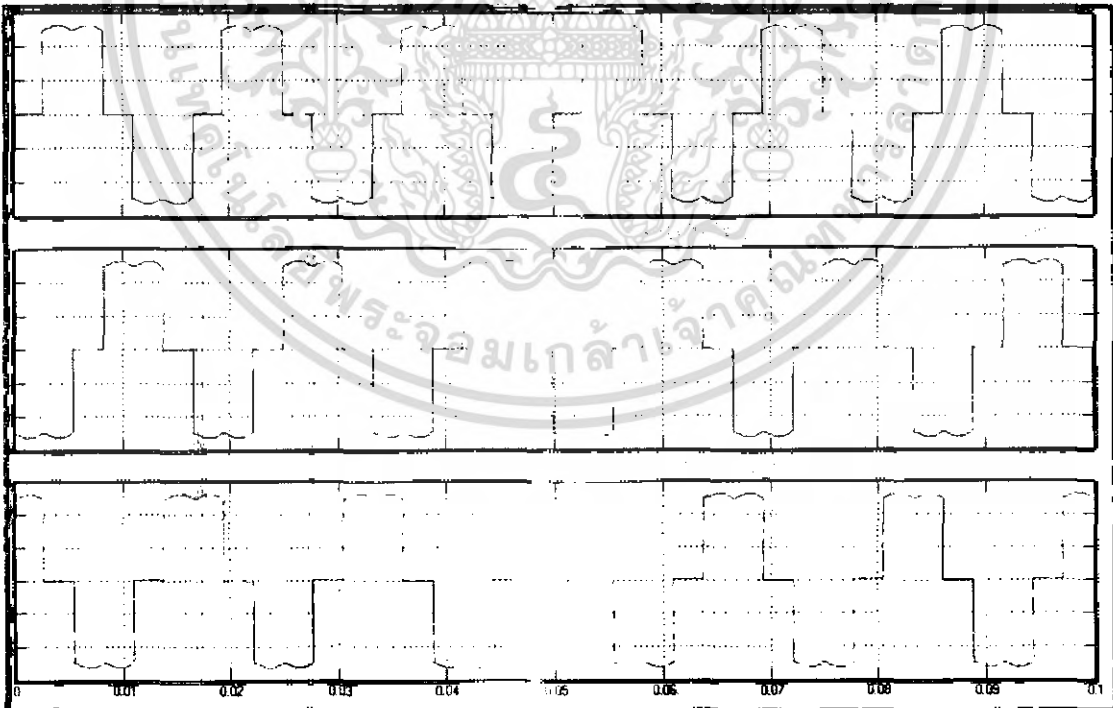


รูปที่ 3.13 การปรับเพิ่มความเร็ว (speed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

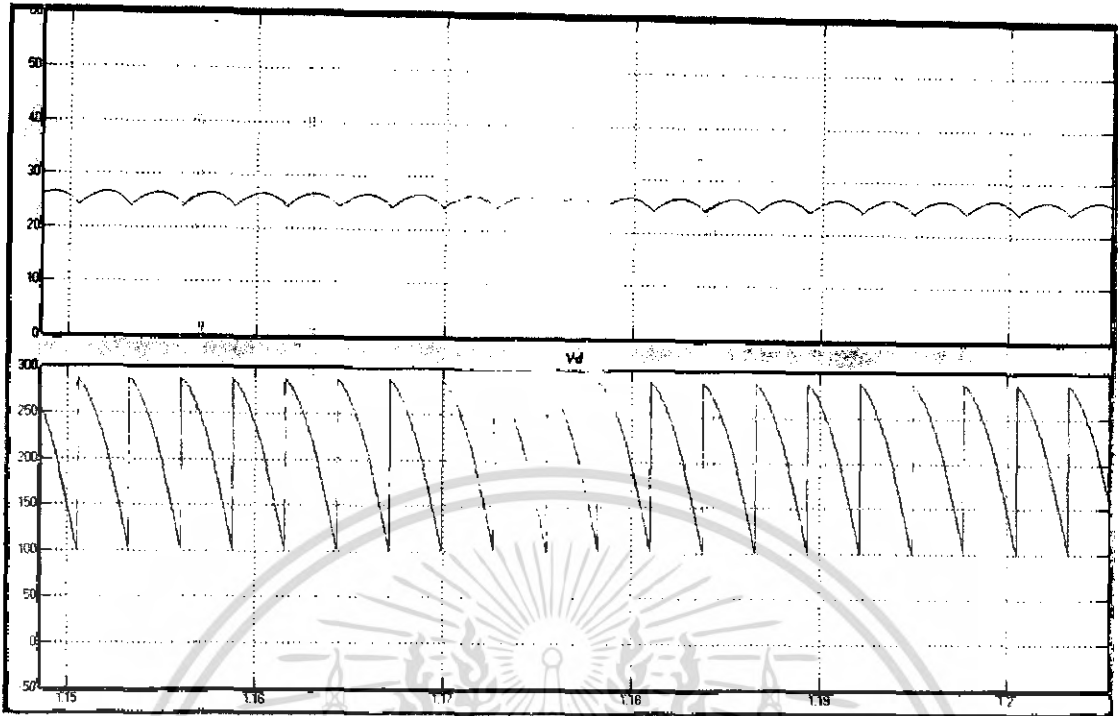


รูปที่ 3.14 การปรับลดความเร็ว (speed)

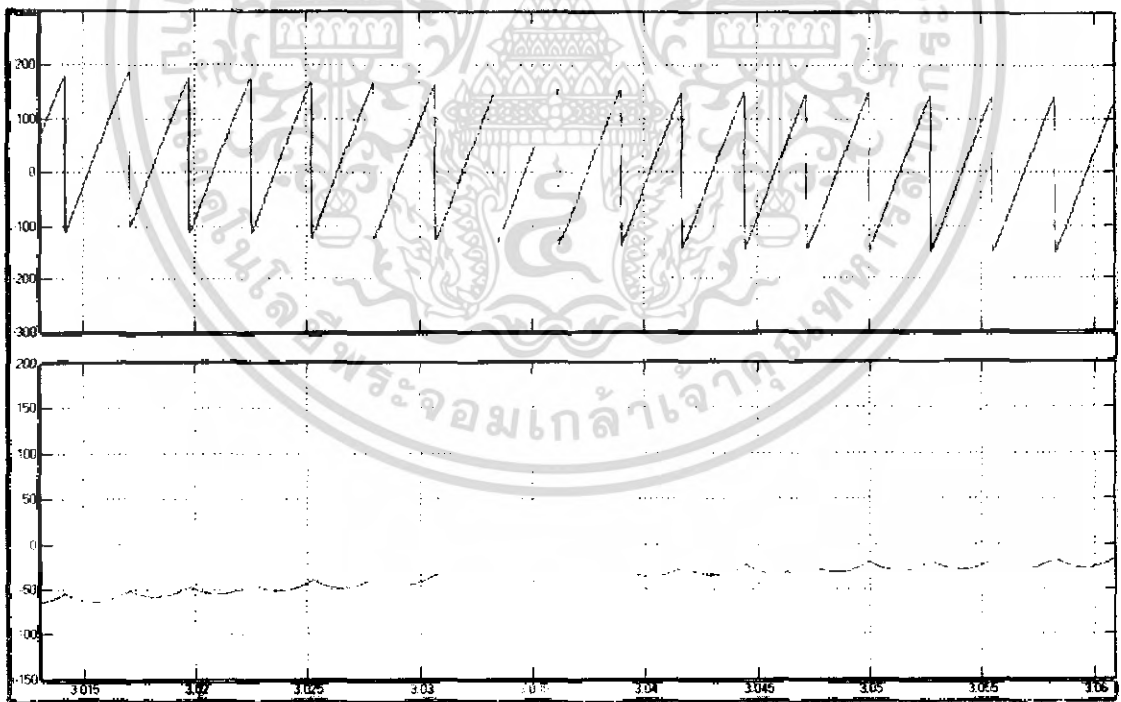


รูปที่ 3.15 กระแสอินพุต Ia, Ib, Ic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

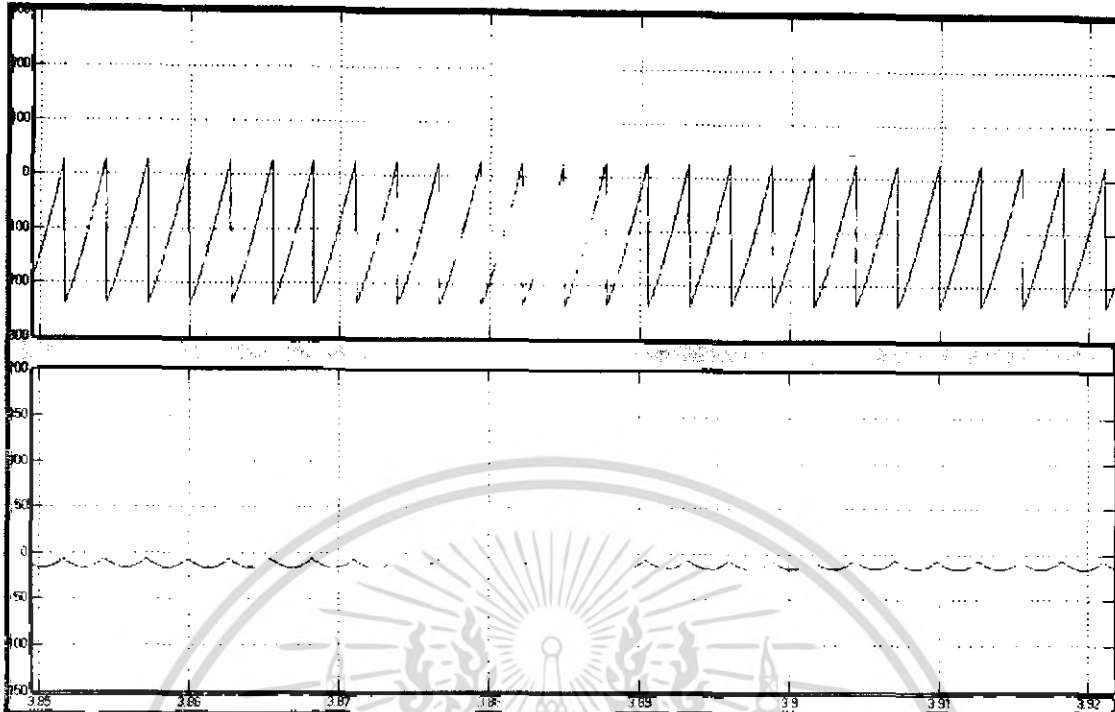


รูปที่ 3.16 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 1 โหมด Forward Motoring

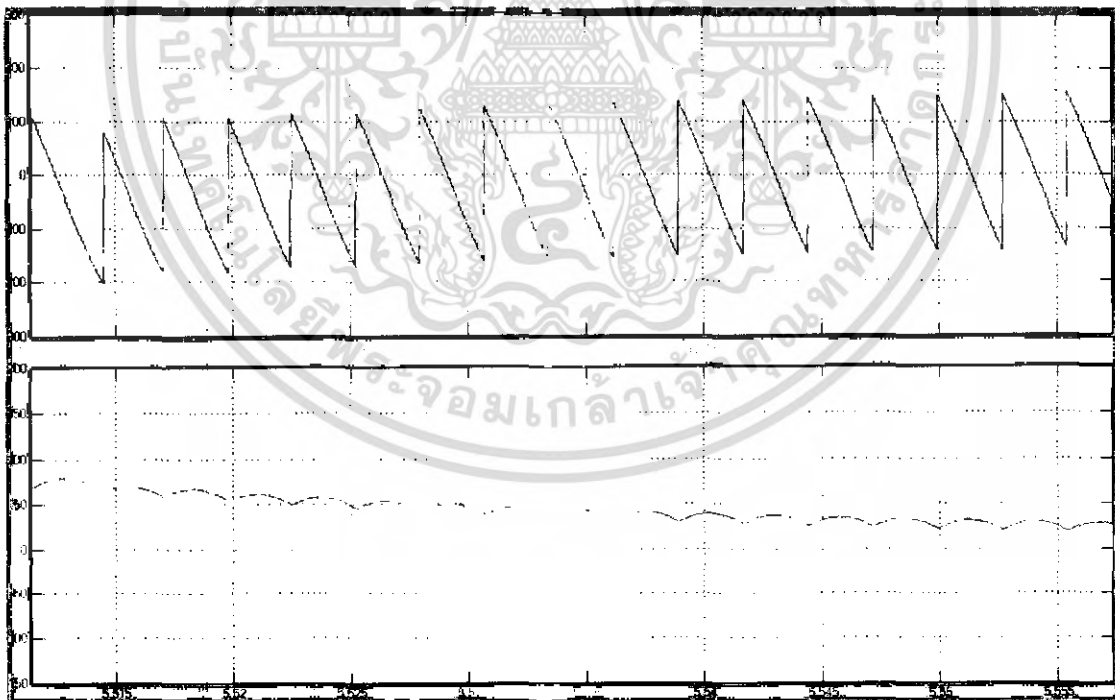


รูปที่ 3.17 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 2 โหมด Forward Braking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 3 Reverse Motoring

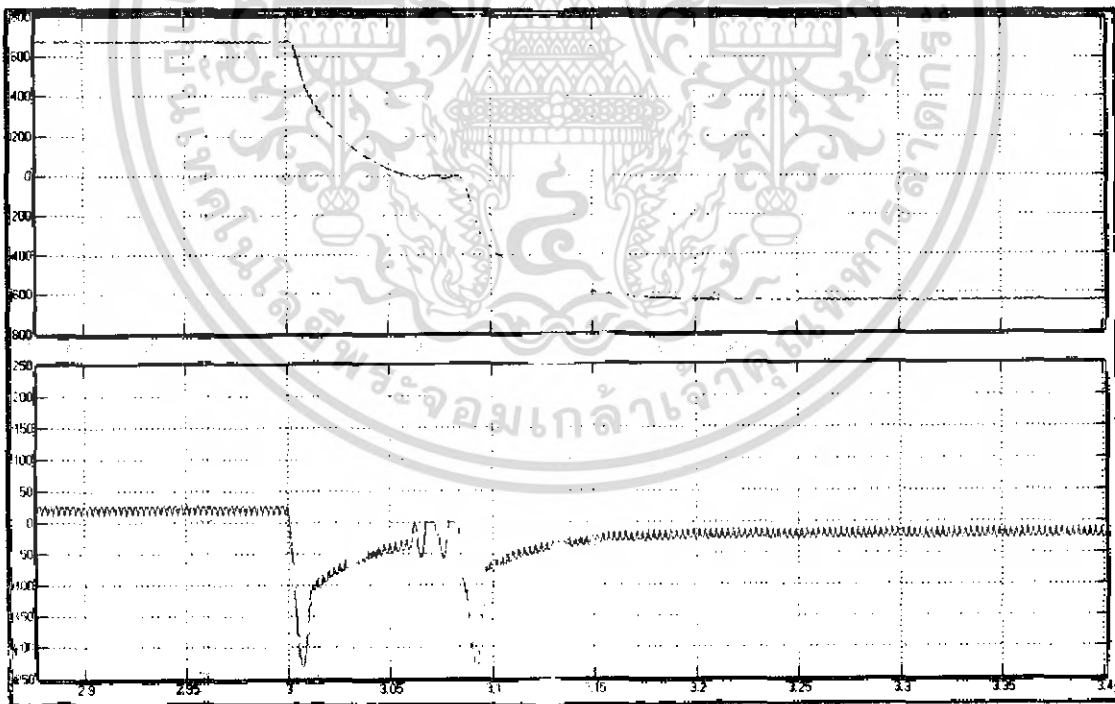


รูปที่ 3.19 กระแส I_a และ แรงดัน V_t ที่ Quadrant 4 Reverse Braking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

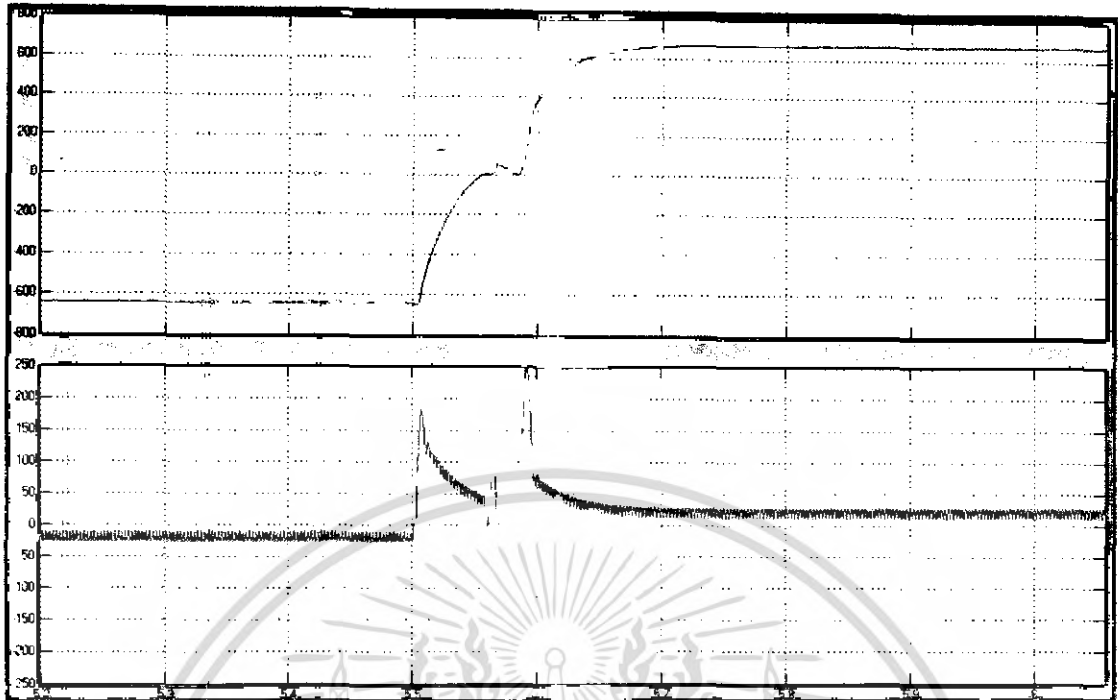


รูปที่ 3.20 ความเร็วรอบและกระแสอาร์เมเจอร์ขณะทำงานทั้ง4-Quadrant



รูปที่ 3.21 การเปรียบเทียบความเร็วและทอร์ก ช่วงเปลี่ยนจากควอดแดรนต์ 1-2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 การเปรียบเทียบความเร็วและแรงบิด ช่วงเปลี่ยนจากควอดแดรนต์ 3-4-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างวงจรครบทุกส่วนแล้ว ก็จะทำทดลองเพื่อเก็บผลแล้วนำมาวิเคราะห์ ซึ่งจะทำการทดลองในหัวข้อต่างๆดังนี้

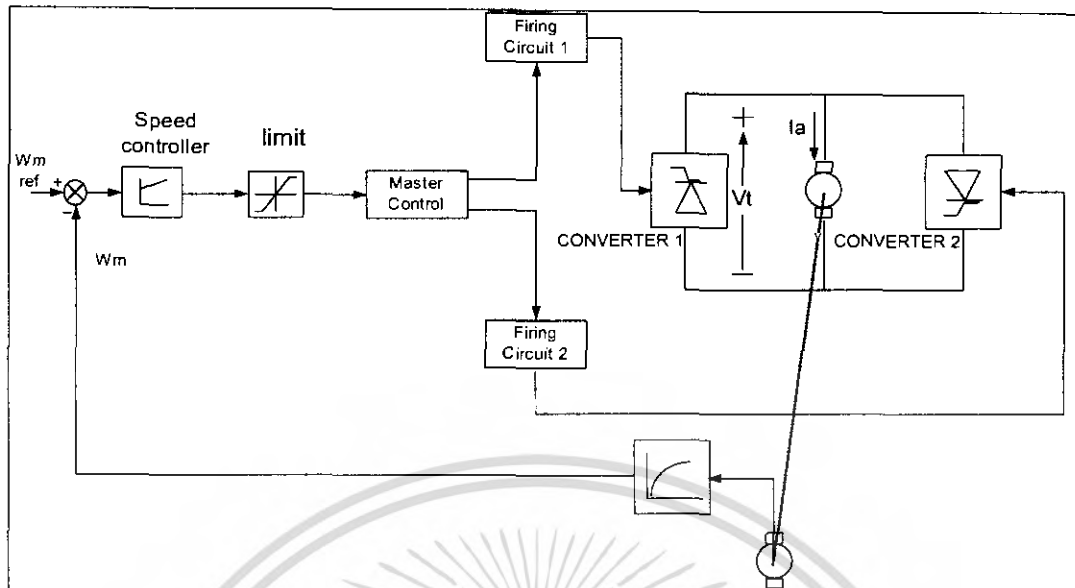
- การทดลองหาค่า R_a , R_f โดยวิธี V-I Method
- การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า
- การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสฟิลด์
- การทดสอบการทำงานและวัดสัญญาณเออร์พุดของวงจรทั้งระบบ
- การทดลองนำวงจรไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิด
- การทดลองนำวงจรไปขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปเปิด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

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

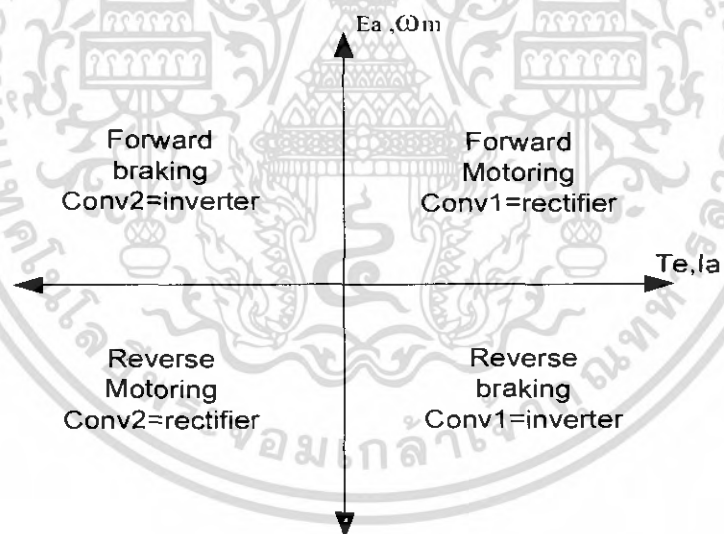
1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดแยกกระตุ้น(DC Motor FUJI ELECTRIC) ซึ่งมีพิกัดดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการที่แสดงทิศทางแรงดันที่ขั้ว, กระแสอาร์เมเจอร์



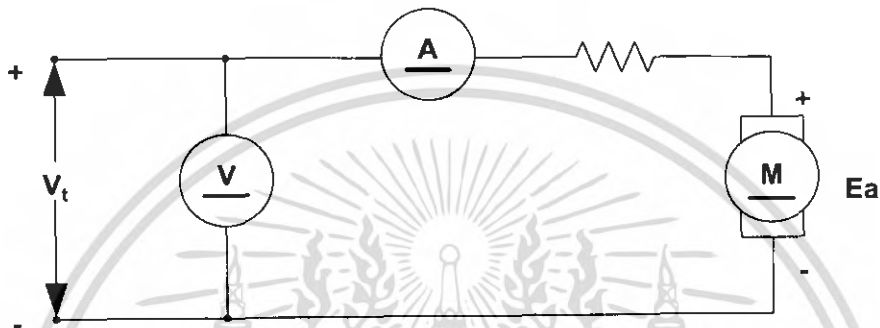
รูปที่ 4.2 ให้แกนนอนเป็นทอร์กหรือกระแสอาร์เมเจอร์และแกนตั้งเป็นแรงดันอาร์เมเจอร์หรือความเร็วรอบโดยทำงานที่โหมดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดลองหาค่า R_a , R_f โดยวิธี V-I Method

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองหาค่า R_a

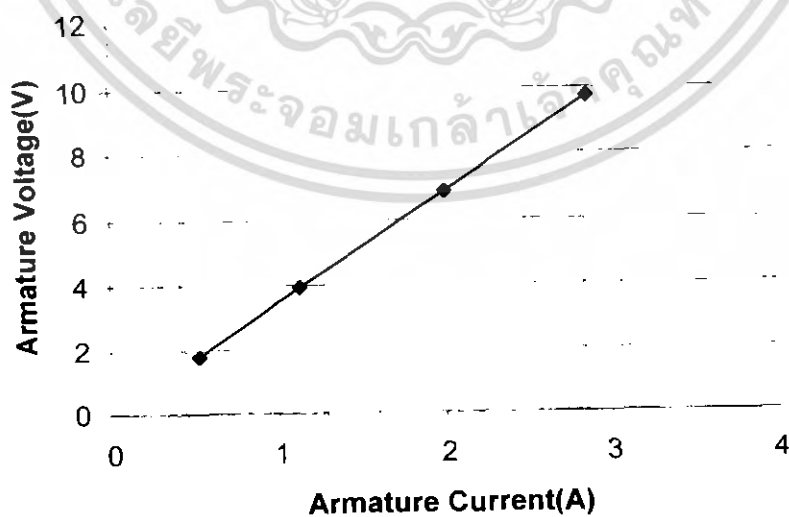
1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.1 ซึ่งจะป้อนแรงดันให้เฉพาะในส่วนของขดอาร์เมเจอร์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับขดฟิลด์จะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเพิ่มแรงดันที่ป้อนเข้าจนถึงค่าที่ตั้งไว้
3. ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 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



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการคำนวณหาค่า R_a จาก

$$R_a = \frac{\Delta V_t}{\Delta I_a} \quad (1.1)$$

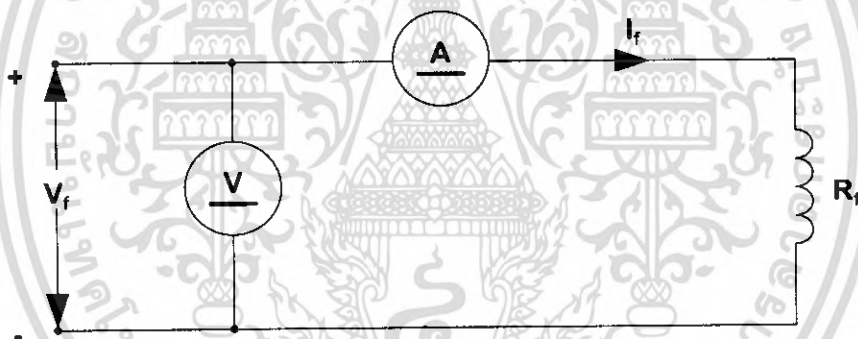
จะได้

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

$$R_a = 3.27 \ \Omega$$

4.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาค่า R_f

1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูป 4.3 ซึ่งจะป้อนแรงดันให้เฉพาะในส่วนของขดไฟลต์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจร โดยการเพิ่มแรงดันที่ป้อนเข้าจนถึงค่าที่ตั้งไว้
3. ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และกระแสไฟลต์

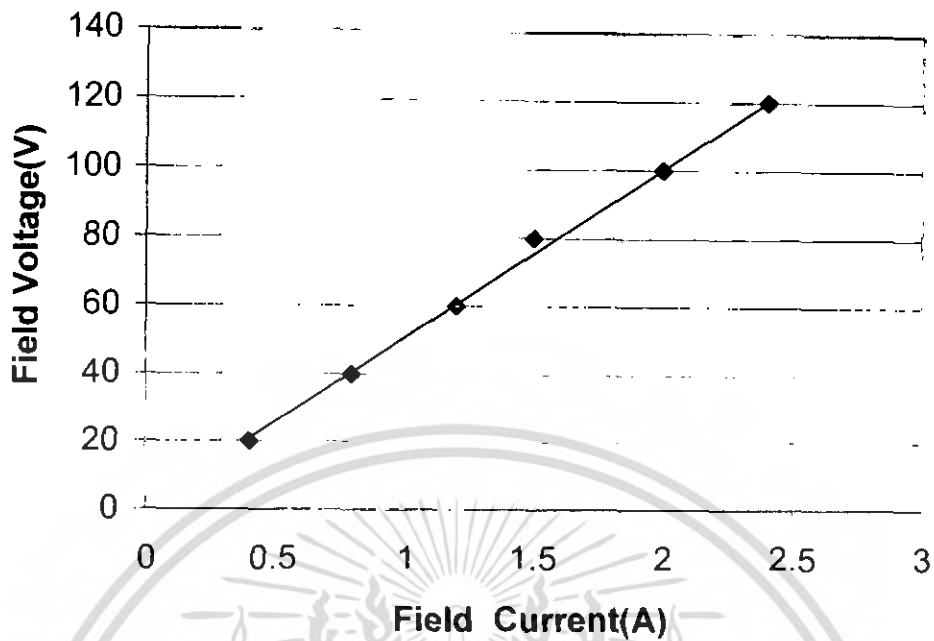


รูปที่ 4.5 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาค่า R_f

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าแรงดันและกระแสไฟลต์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสฟิลด์

ทำการคำนวณหาค่า R_f จาก

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

(1.2)

จะได้

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

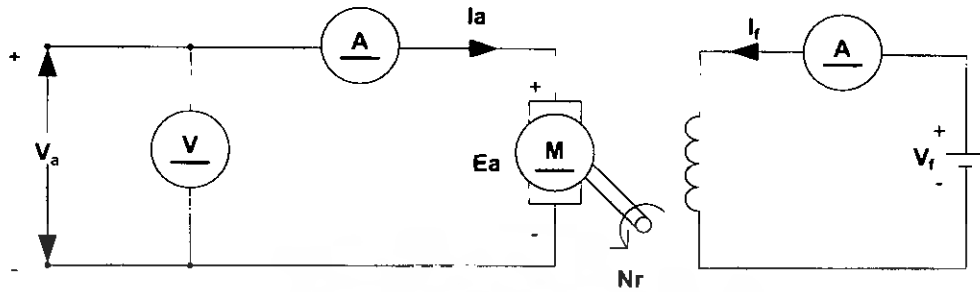
$$R_f = 66.67 \, \Omega$$

4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูป 1.5 โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดฟิลด์คงที่ที่ค่าพิกัด 150 V
2. ทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่กำหนด
3. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าและค่ากระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

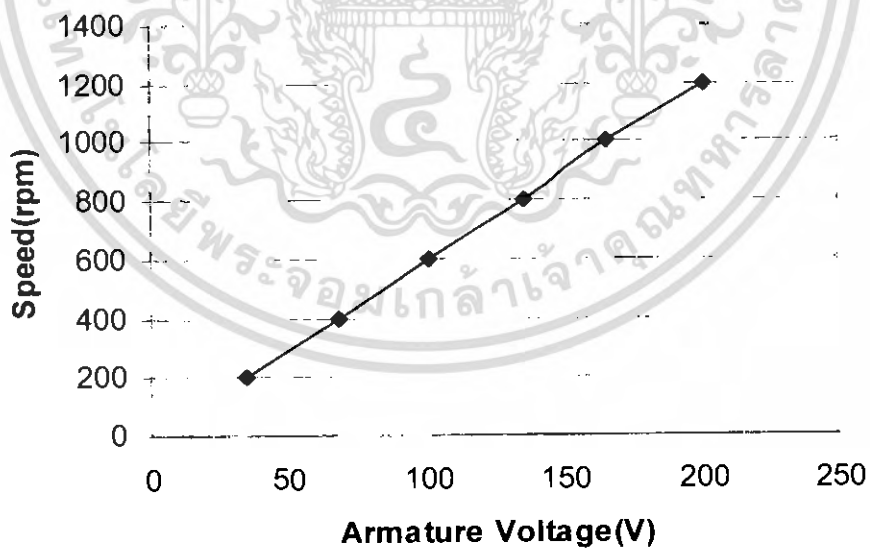
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การต่อวงจรทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับขั้วไคร้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

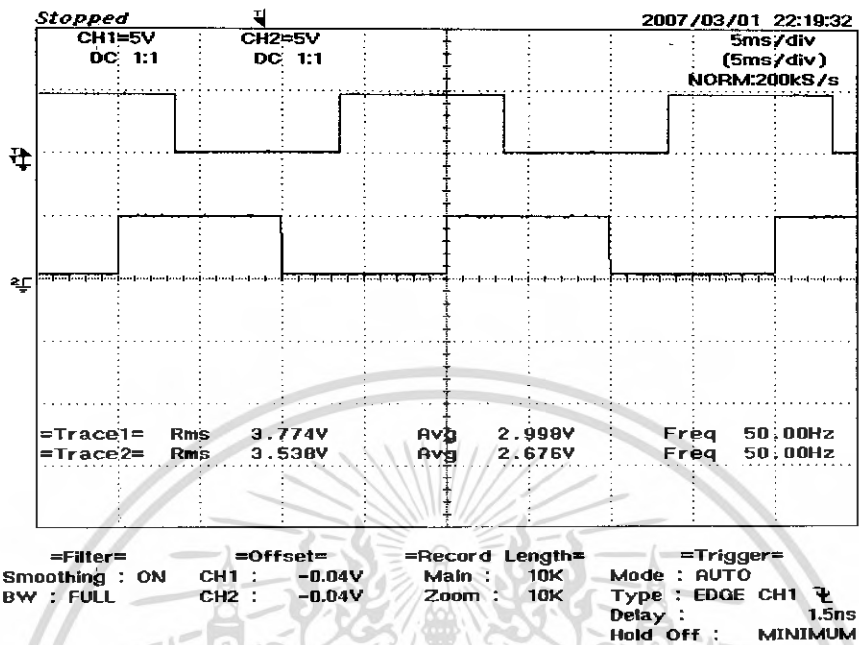
$N_r(\text{rpm})$	200	400	600	800	1000	1200
$V_t(\text{V})$	34.5	68.7	101.4	135.4	165.7	201.3
$I_a(\text{A})$	1.14	1.16	1.18	1.22	1.24	1.28



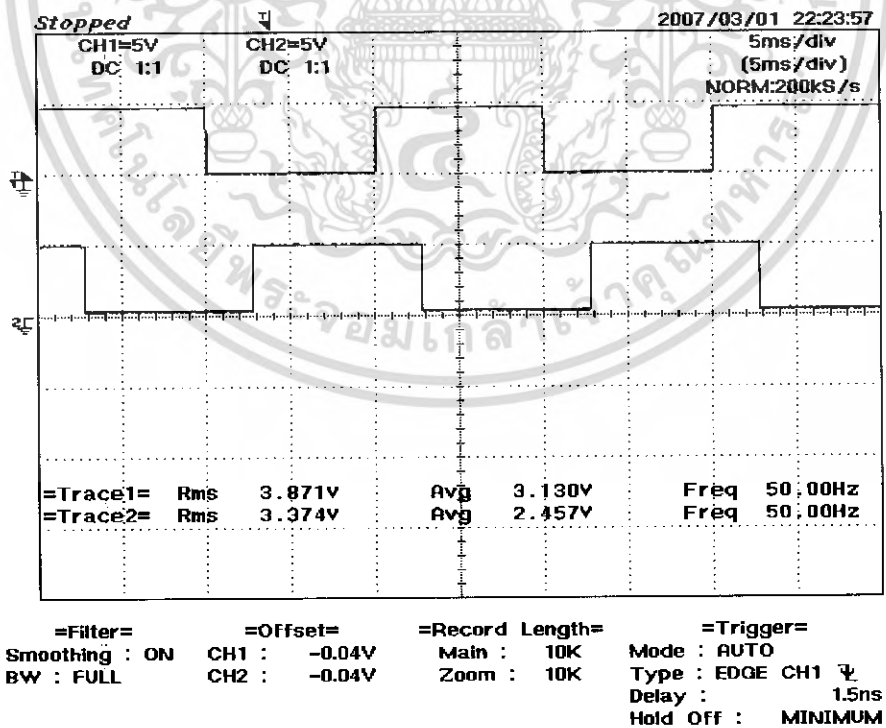
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันที่ป้อนเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวัดสัญญาณชุดควบคุม

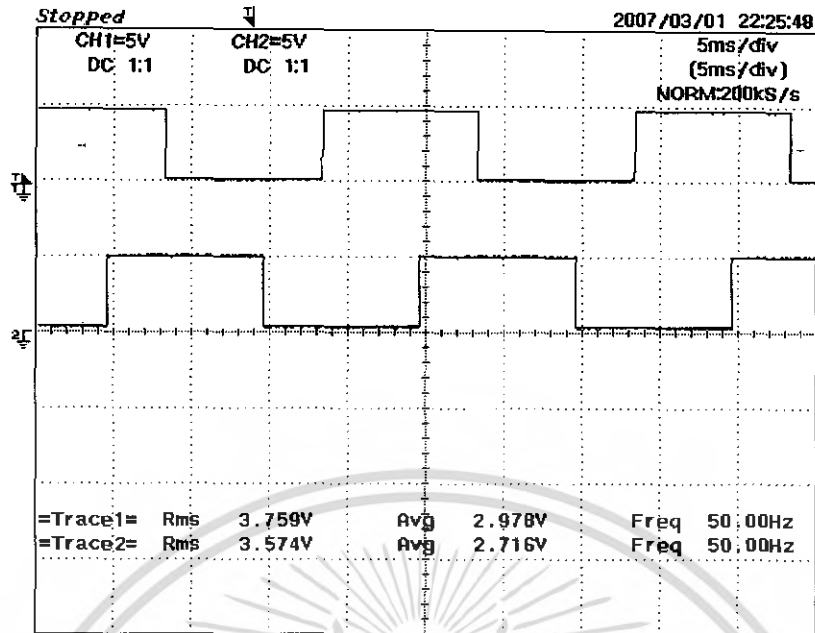


รูปที่ 4.9 Zero Crossing ระหว่างเฟส AB



รูปที่ 4.10 Zero Crossing ระหว่างเฟส BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



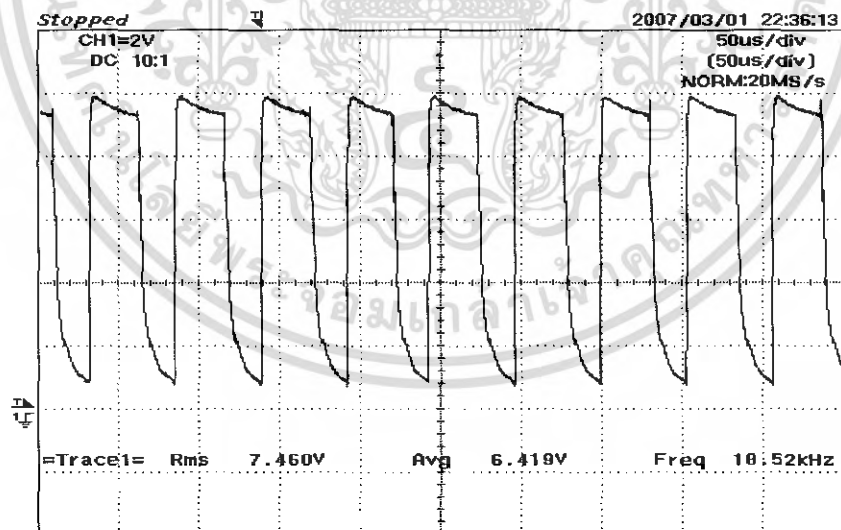
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL

=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

รูปที่ 4.11 Zero Crossing ระหว่างเฟส CA



=Filter= Smoothing : ON BW : FULL

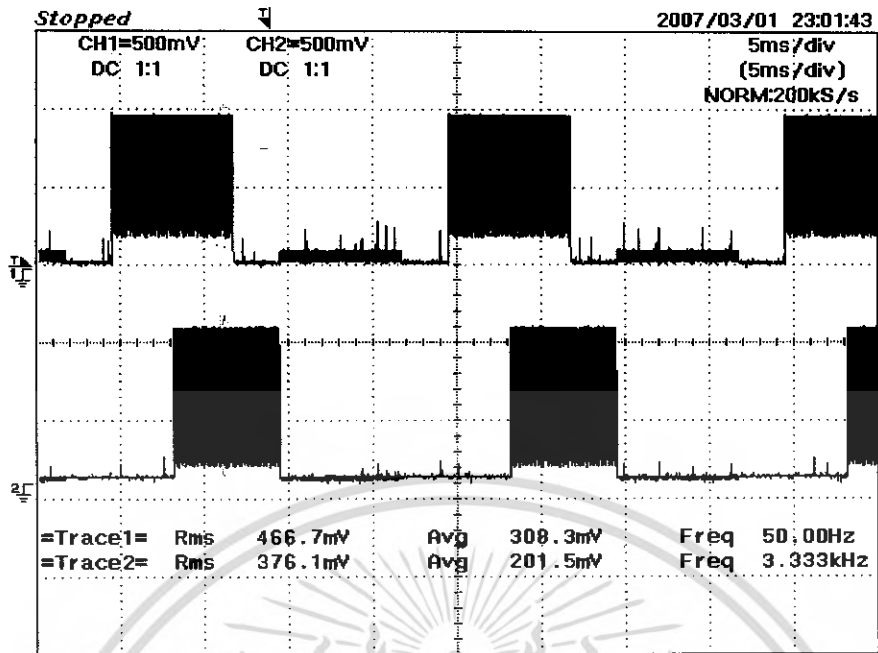
=Offset= CH1 : -0.30V CH2 : -0.04V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 1.5ns Hold Off : MINIMUM

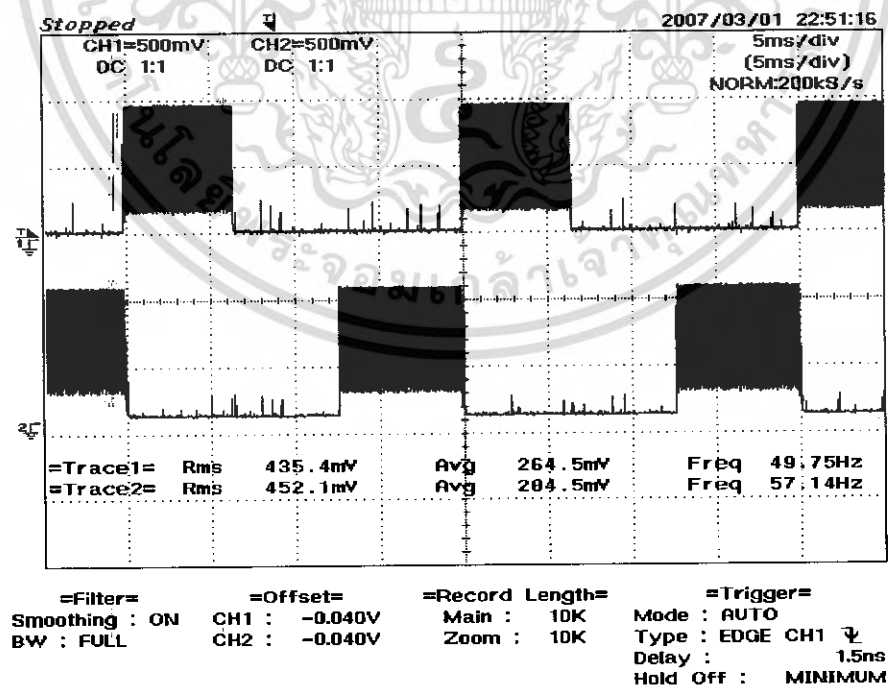
รูปที่ 4.12 สัญญาณ Pluse ทริกเกต SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



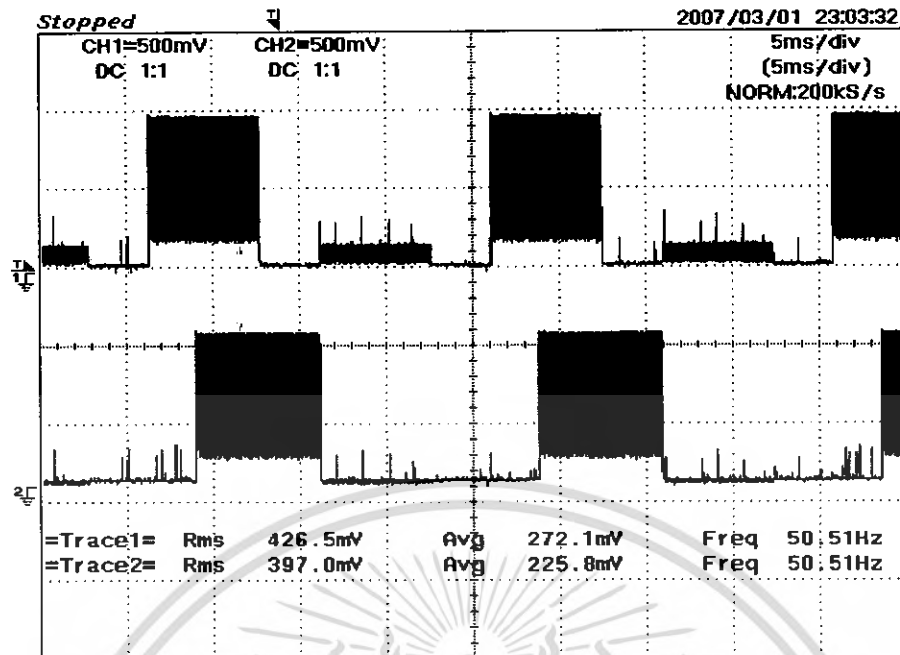
=Filter= Smoothing : ON BW : FULL
 =Offset= CH1 : -0.040V CH2 : -0.040V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 1.5ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.13 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 6,1



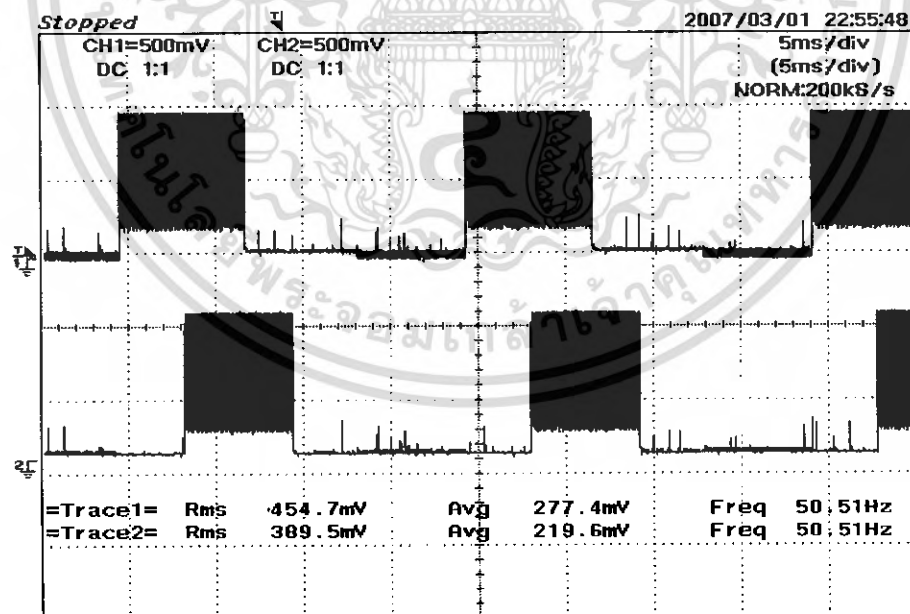
รูปที่ 4.14 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 1,2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

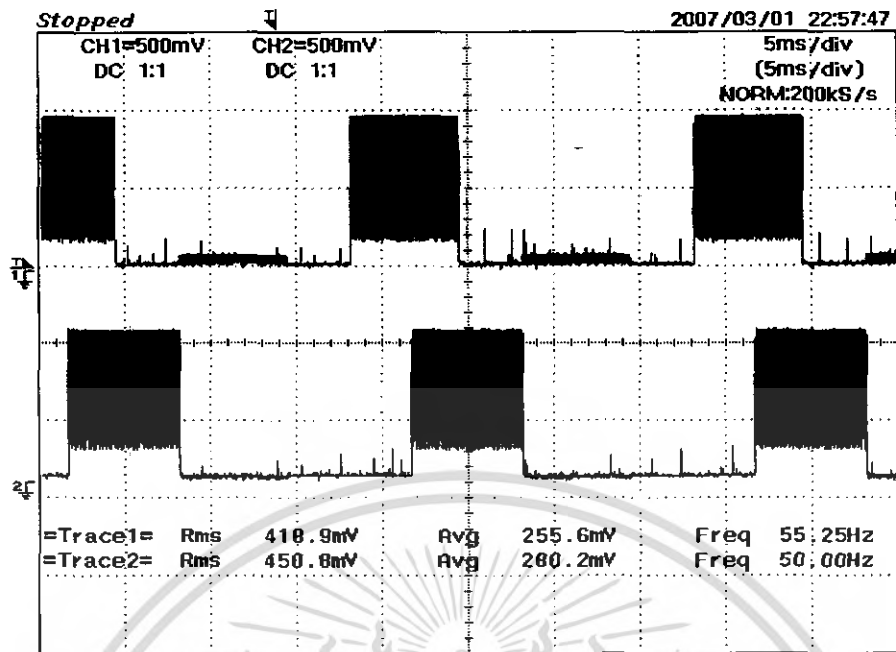
รูปที่ 4.15 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 2,3



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

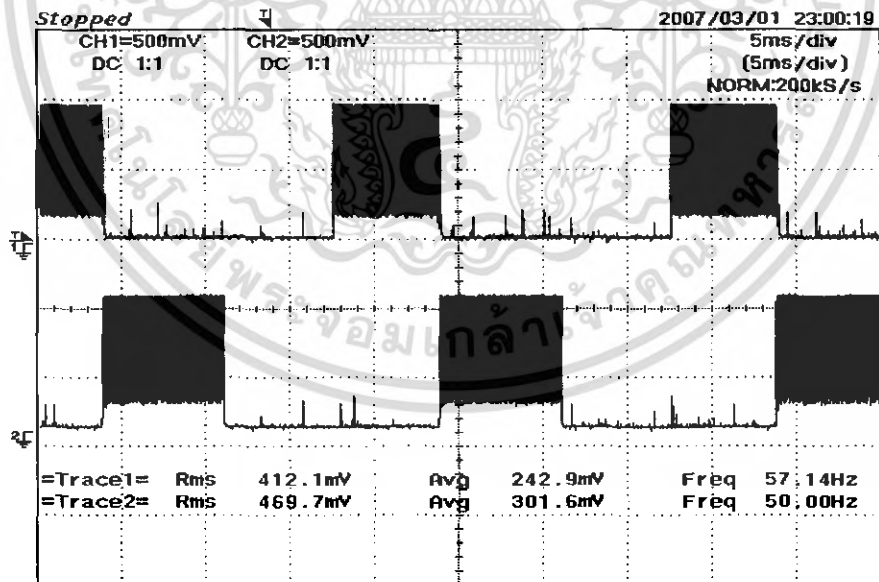
รูปที่ 4.16 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 3,4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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

รูปที่ 4.17 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 4,5



=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

รูปที่ 4.18 สัญญาณ Pluse ที่จะทริกเกต SCR ตัวที่ 5,6

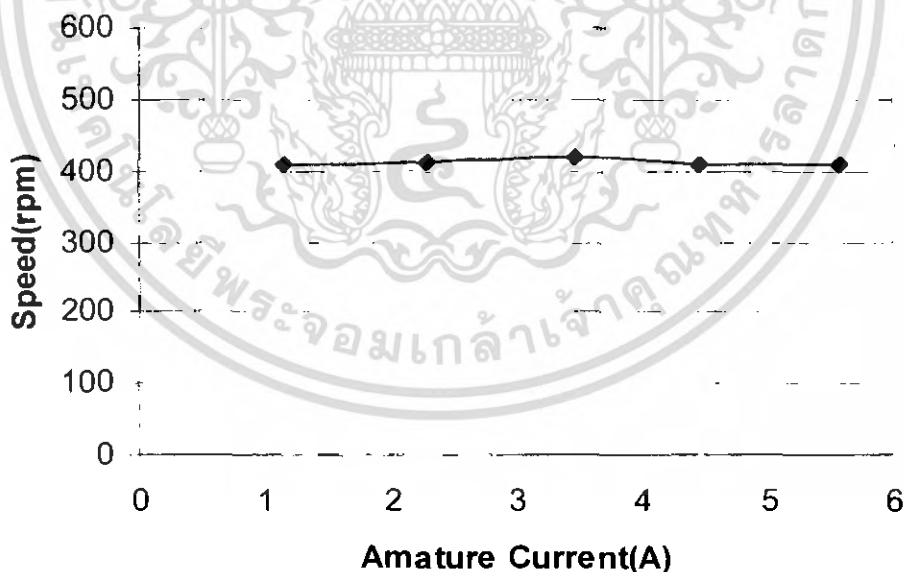
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองหาค่าความเร็วของมอเตอร์ขณะขับโหลดแบบรูปเปิดที่โหลดค่าต่าง ๆ ขั้นตอนการทดลอง

1. นำวงจรไปขับมอเตอร์แบบรูปเปิดที่ความเร็ว 400,800,1200 รอบต่อนาทีตามลำดับ
2. ขณะที่หมุนมอเตอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ ทำการใส่โหลดหลอดไฟฟฟ้าให้แก่ Generator ที่ 0% ,25% ,50%,75%,100% Generator ที่พิกัดของตามลำดับ
3. ขณะที่ทำการใส่โหลดที่ค่าต่าง ๆ ทำการบันทึกค่าความเร็ว, แรงดันอาร์เมเจอร์ และกระแสอาร์เมเจอร์
4. ทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อกระแส

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 408 rpm

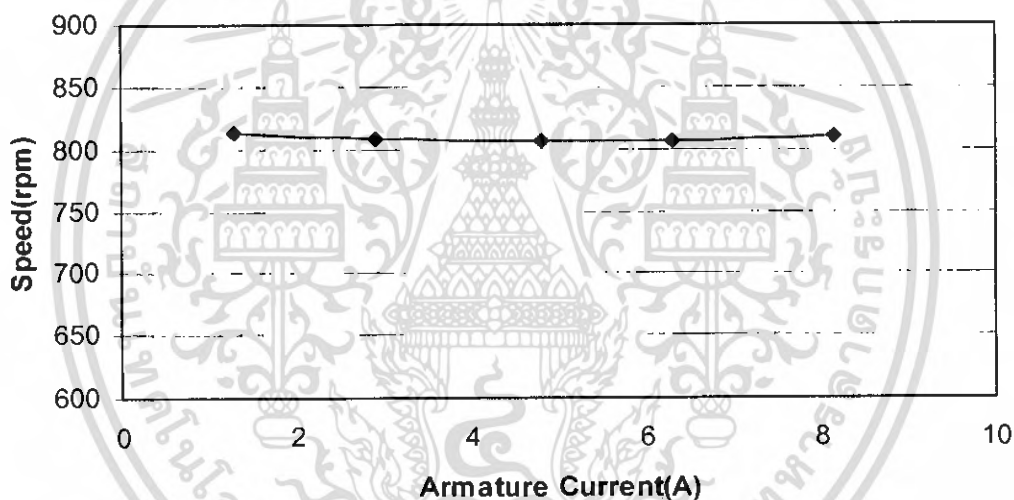
Load	0%	25%	50%	75%	100%
หลอดไฟ	(0 w)	(550 w)	(1100 w)	(1650 w)	(2200 w)
N_r (rpm)	408	414	418	409	410
V_i (V)	73.6	52.4	51.7	56.2	88.7
I_a (A)	1.16	2.30	3.64	4.46	5.57



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบรูปปิดที่ความเร็วเริ่มต้น 408 rpm

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 814 rpm

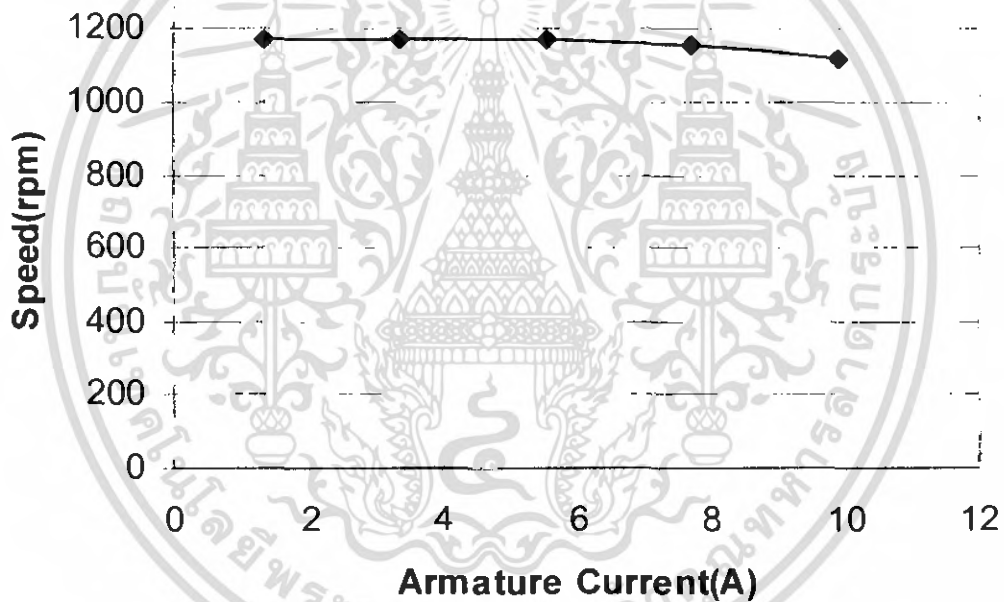
Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
N_r (rpm)	814	808	807	806	810
V_t (V)	141.4	145.2	149.7	153.3	158.7
I_a (A)	1.28	2.90	4.82	6.30	8.16



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปปิดที่ความเร็วเริ่มต้น 814 rpm

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองแบบ Close Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1171 rpm

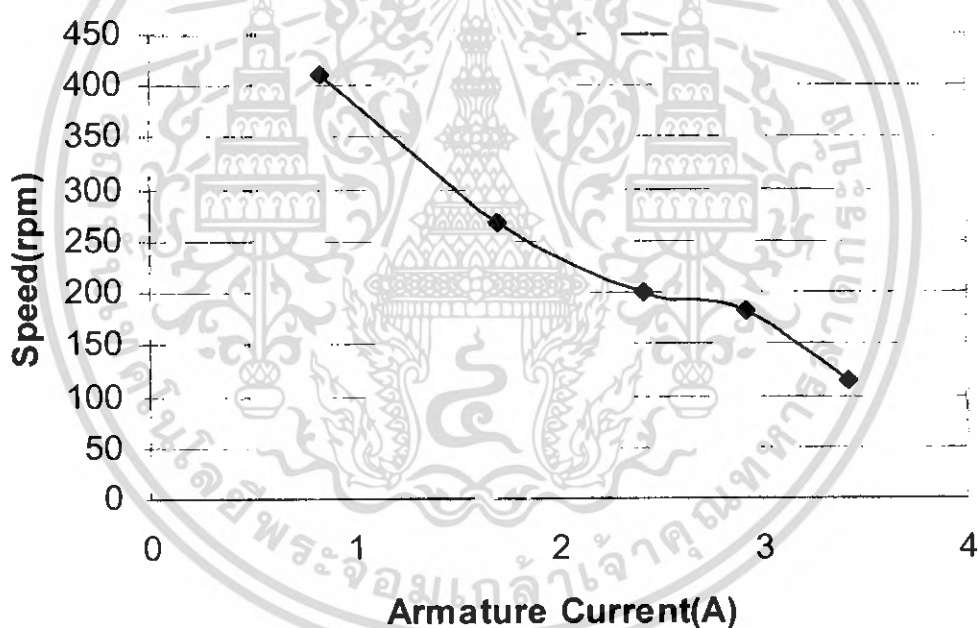
Load โหลดไฟ	0% (0 w)	25% (550 w)	50% (1100 w)	75% (1650 w)	100% (2200 w)
$N_r(\text{rpm})$	1171	1171	1170	1155	1122
$V_t(\text{V})$	202.3	206.8	210.1	210.3	210.5
$I_a(\text{A})$	1.34	3.36	5.57	7.70	9.9



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปิดที่ความเร็วเริ่มต้น 1171 rpm

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)
$N_r(\text{rpm})$	411	269	200	181	115
$V_t(\text{V})$	72.3	51.6	30.6	28.7	26.2
$I_a(\text{A})$	0.84	1.70	2.42	2.92	3.42

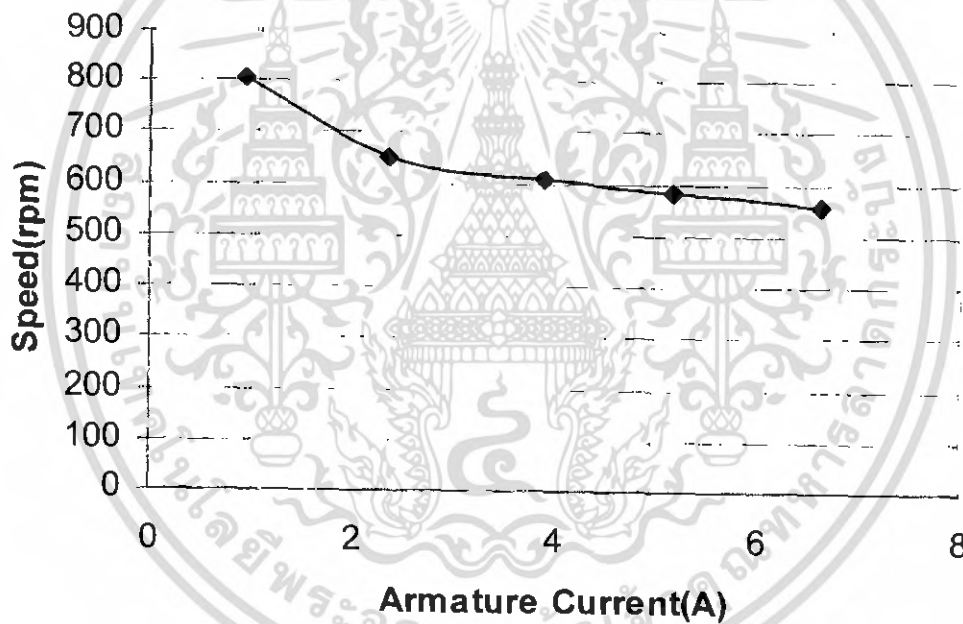


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิด ที่ความเร็วเริ่มต้น 411 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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

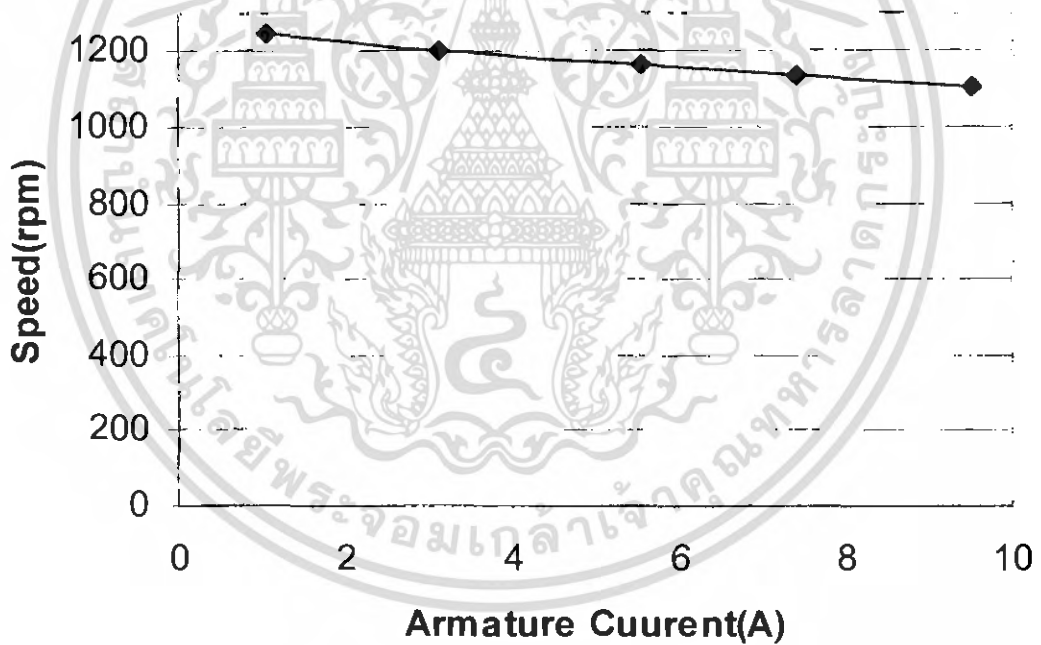


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูเปิดที่ ความเร็วเริ่มต้น 805 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

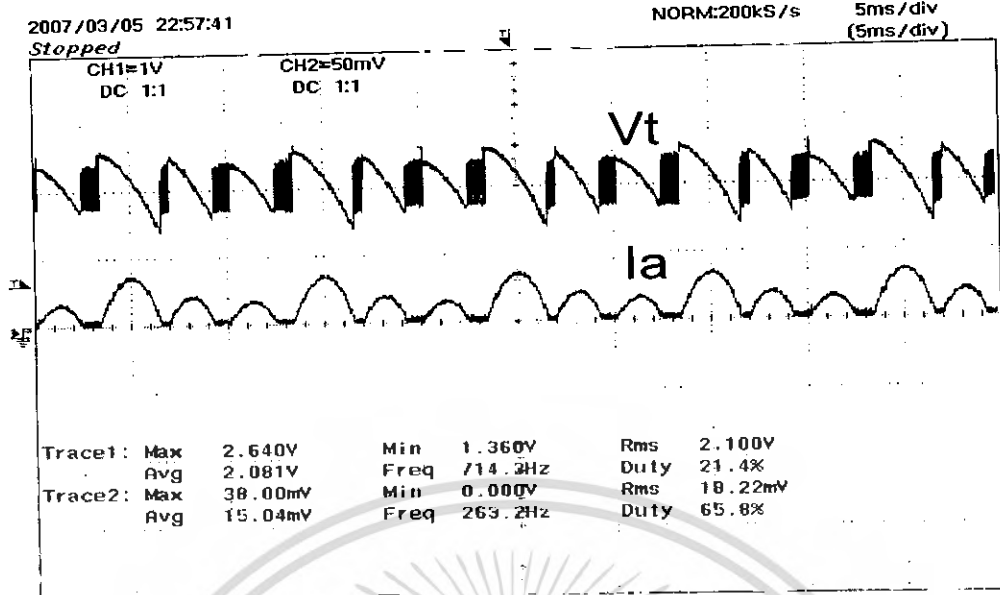
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแบบ Open Loop ที่ค่าความเร็วเริ่มต้นที่ 1245 rpm

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

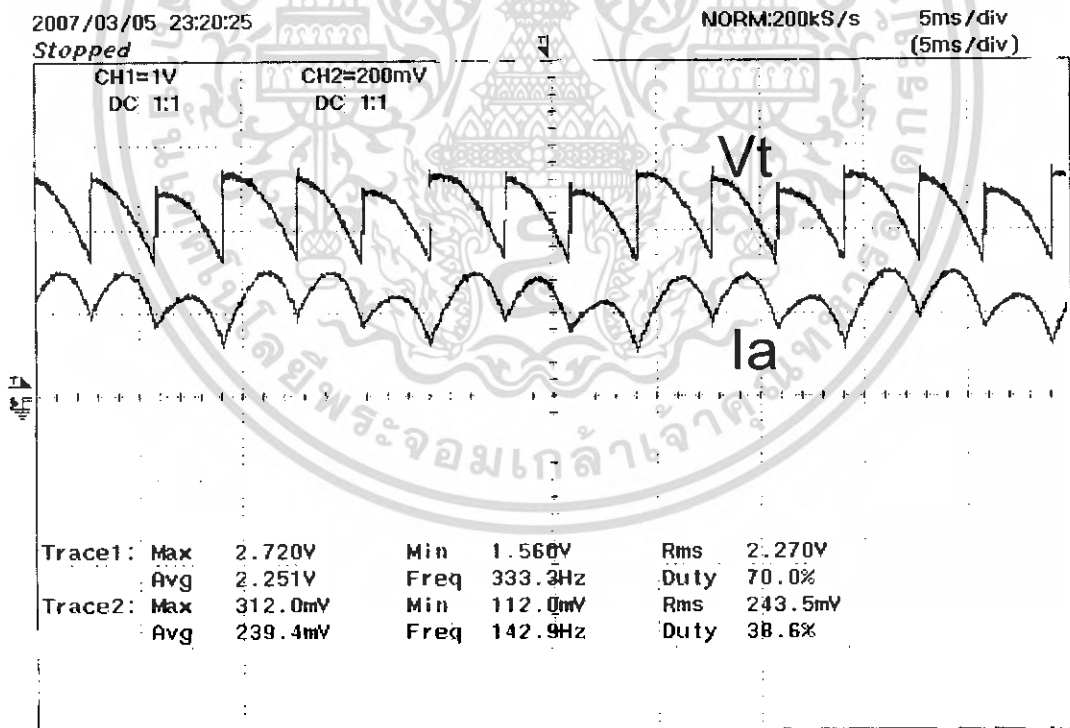


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสอาร์เมเจอร์ในการควบคุมระบบลูปเปิด ที่ความเร็วเริ่มต้น 1245 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

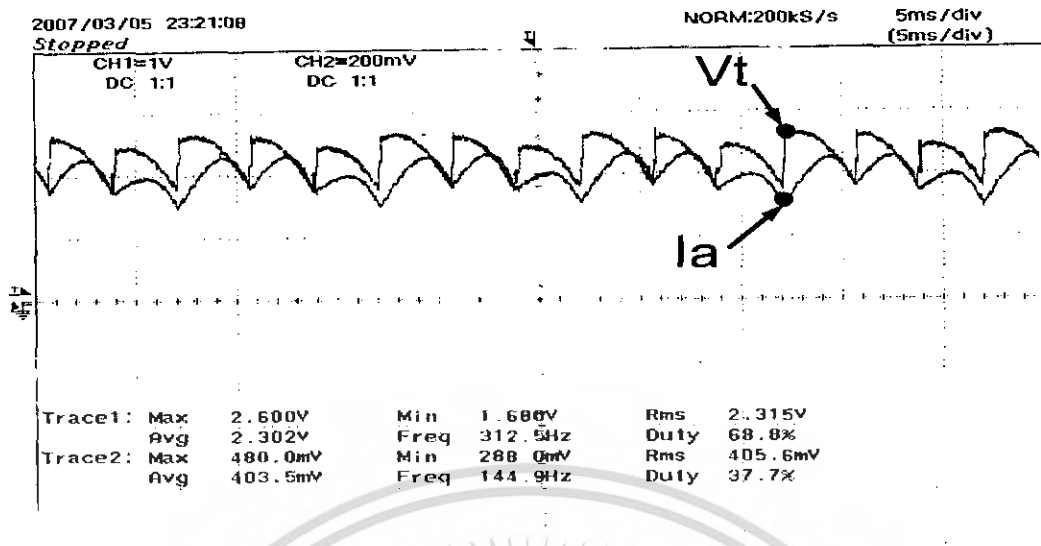


รูปที่ 4.25 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring ไม่มีโหลด
(คอนเวอร์เตอร์ ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

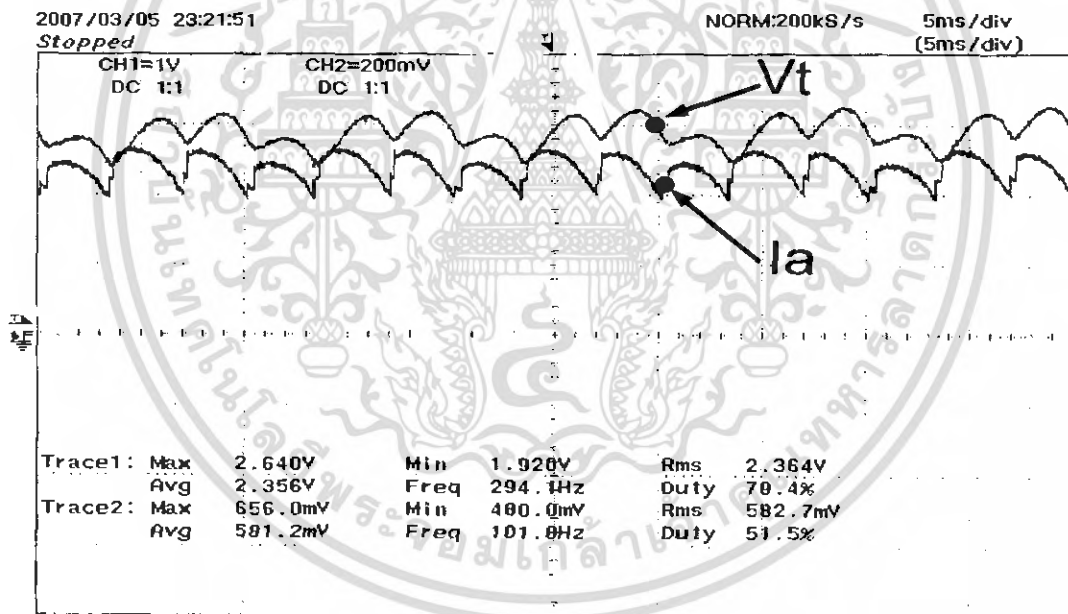


รูปที่ 4.26 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 500W
(คอนเวอร์เตอร์ ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

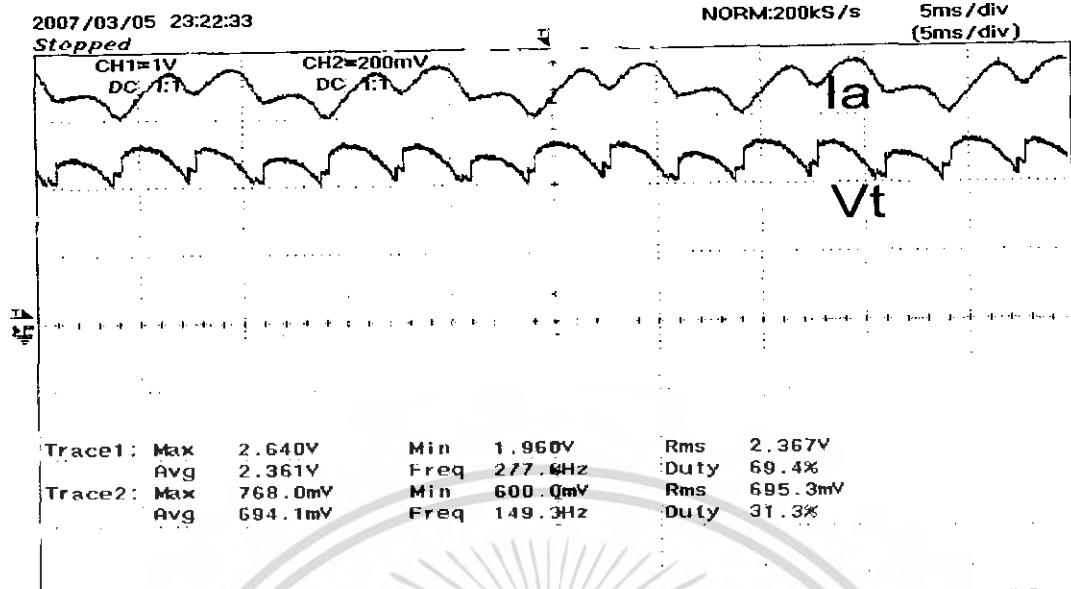


รูปที่ 4.27 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1100W
(คอนเวอร์เตอร์ ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

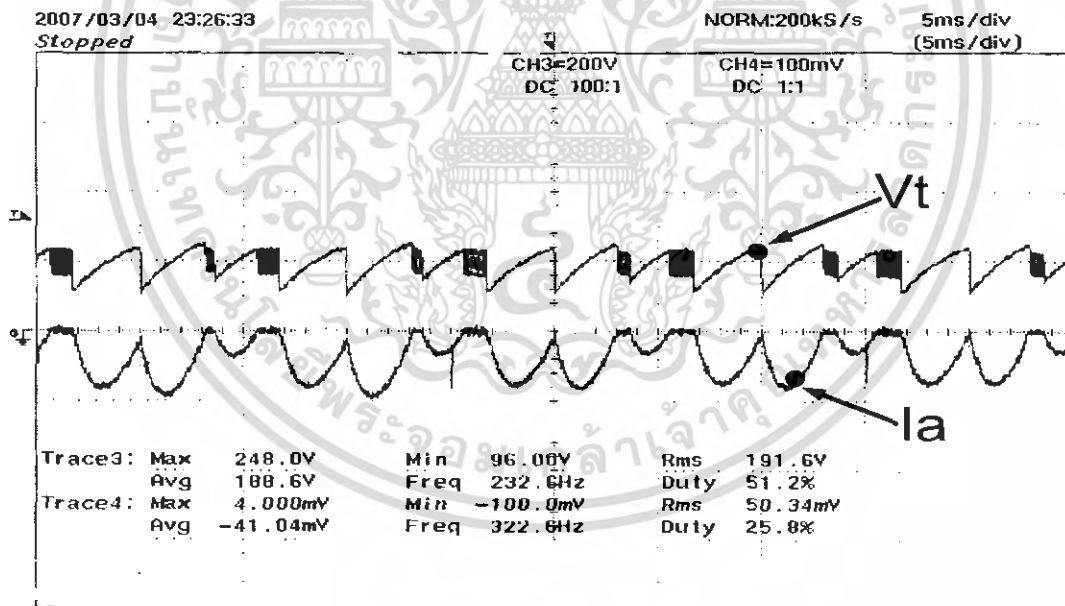


รูปที่ 4.28 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 1600W
(คอนเวอร์เตอร์ ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

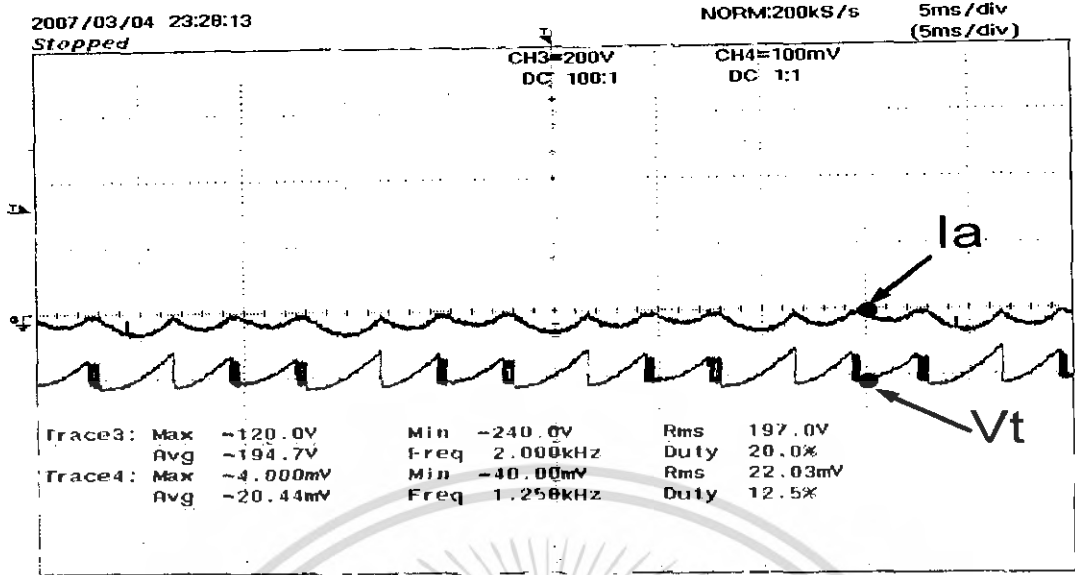


รูปที่ 4.29 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W
(คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

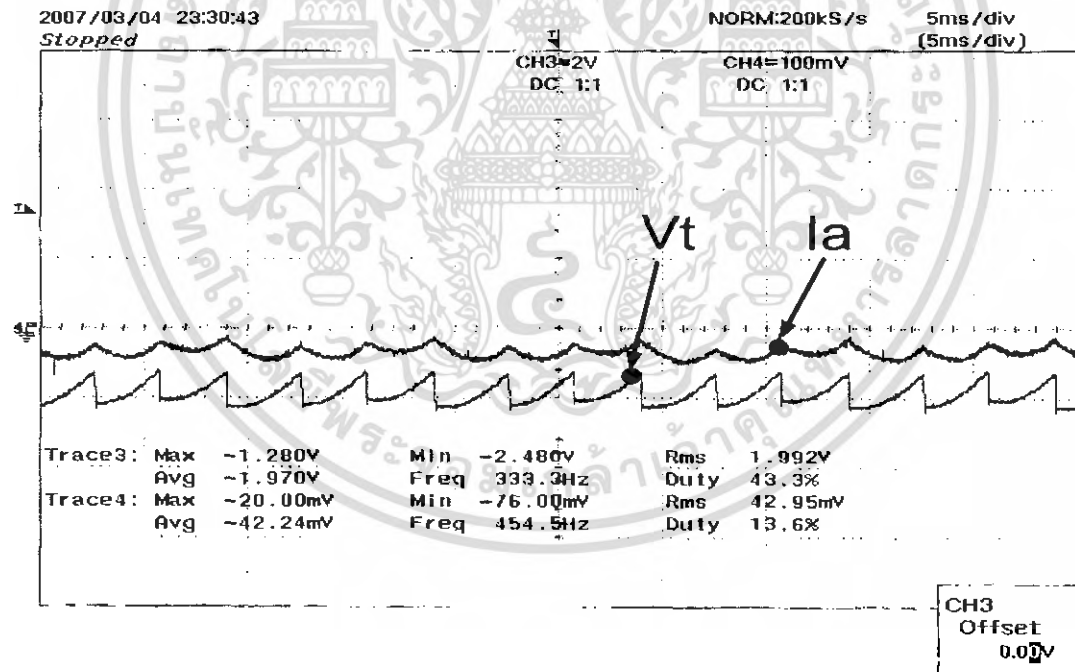


รูปที่ 4.30 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 2 โหมด Forward braking
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

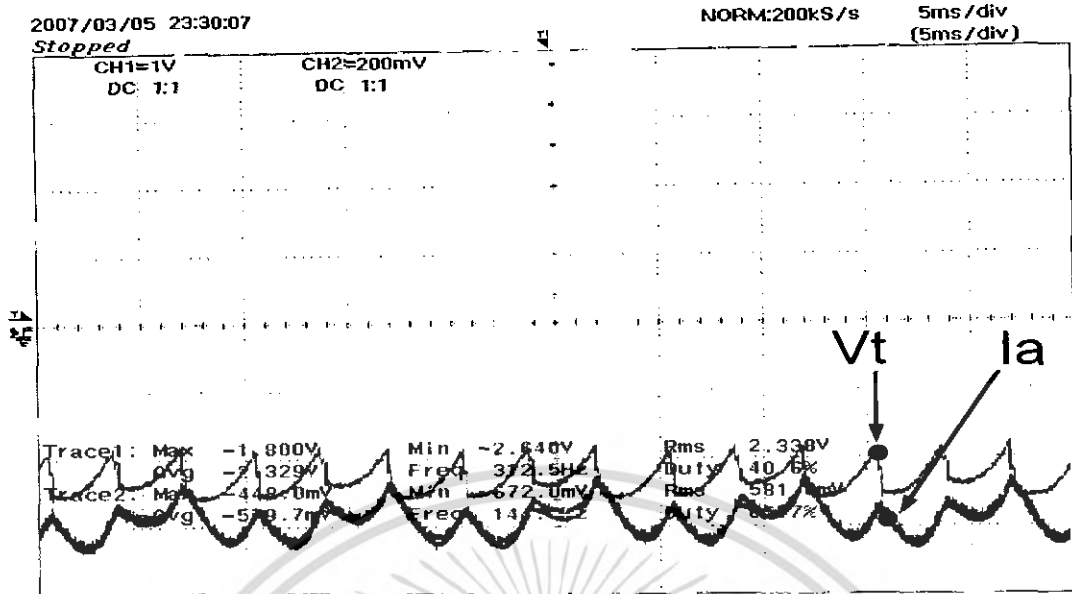


รูปที่ 4.31 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 โหมด Reverse Motoring ไม่มีโหลด
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

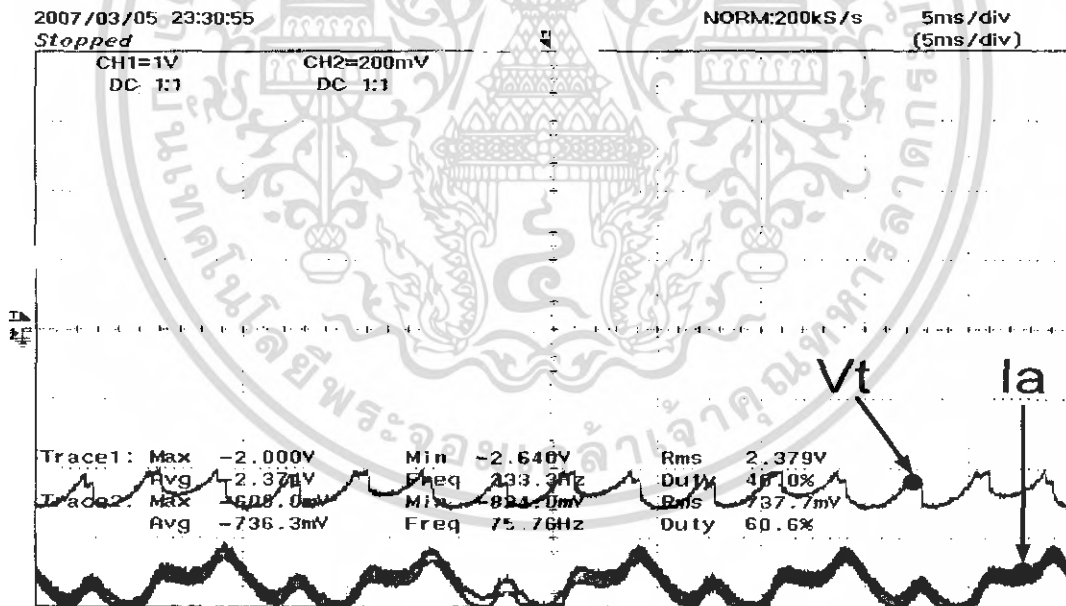


รูปที่ 4.32 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 500W
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 1600W
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)



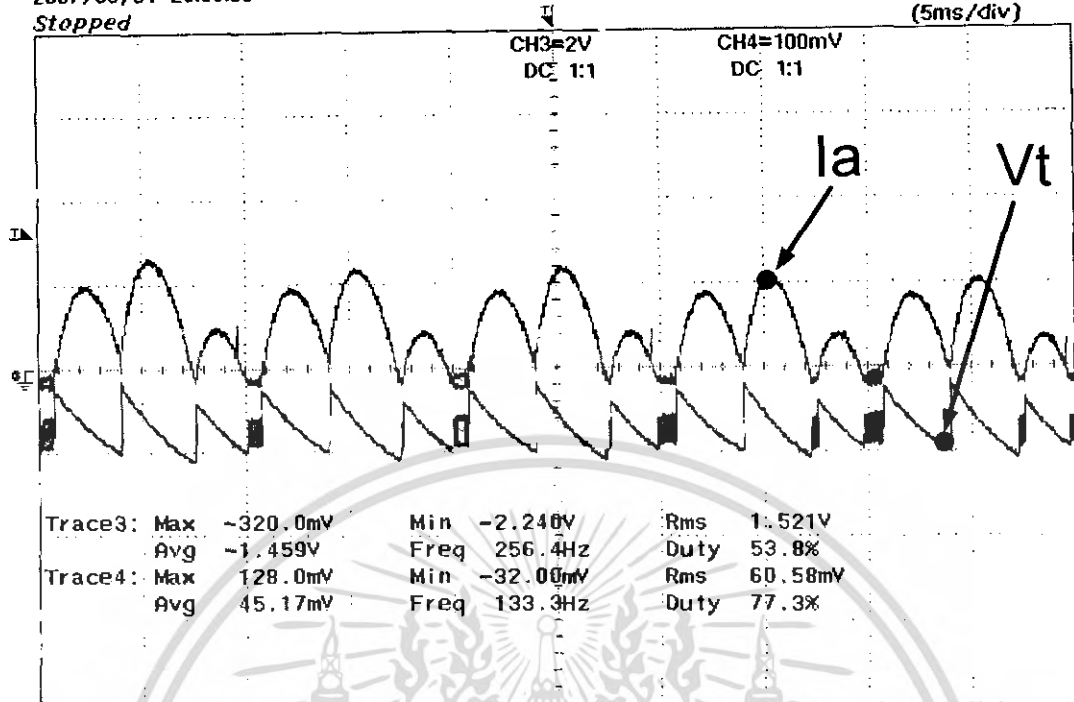
รูปที่ 4.34 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 3 โหมด Reverse Motoring โหลด 2200W
(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2007/03/04 23:39:58
Stopped

NORM:200kS/s

5ms/div
(5ms/div)

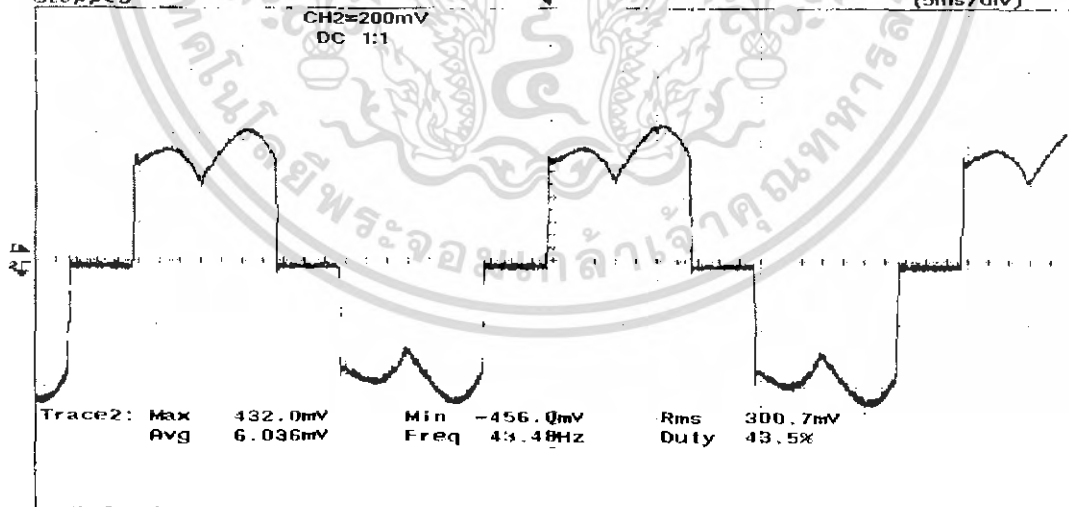


รูปที่ 4.35 การทำงานในควอดแรนต์ที่ 4 โหมด Reverse braking
(คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter)

2007/03/05 23:36:52
Stopped

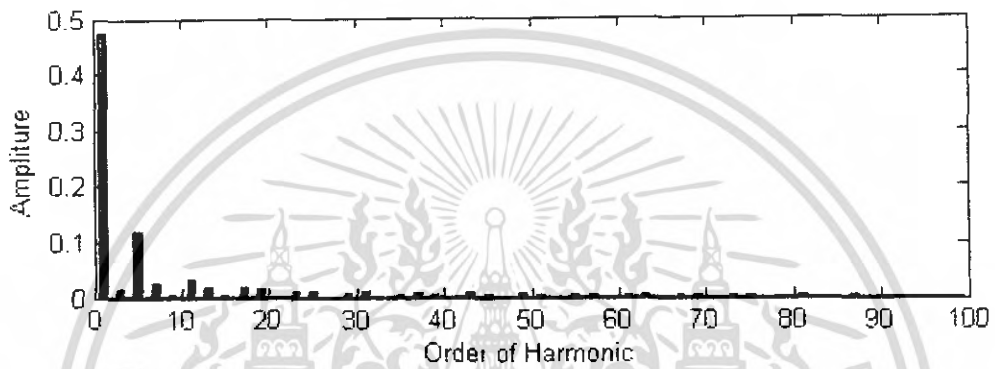
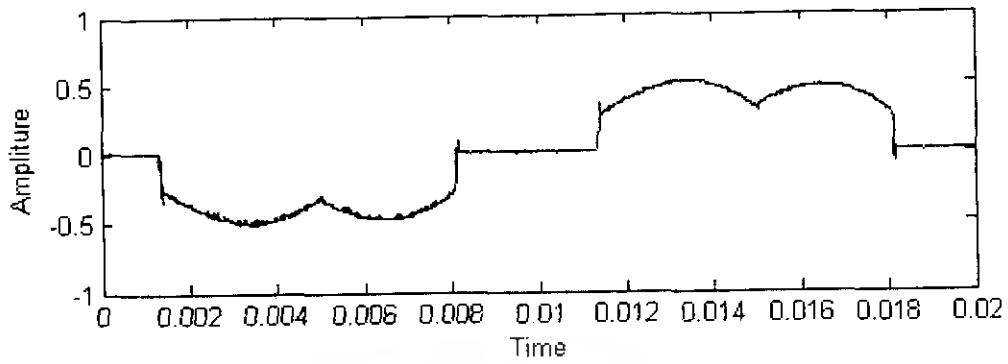
NORM:200kS/s

5ms/div
(5ms/div)

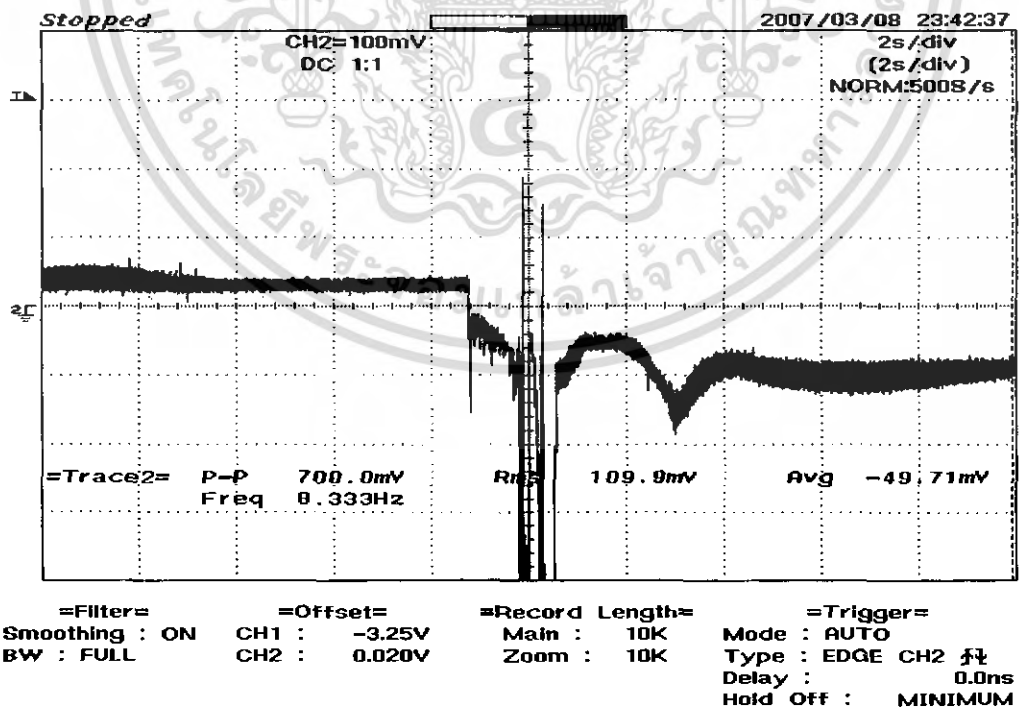


รูปที่ 4.36 กระแสอินพุตจาก Supply

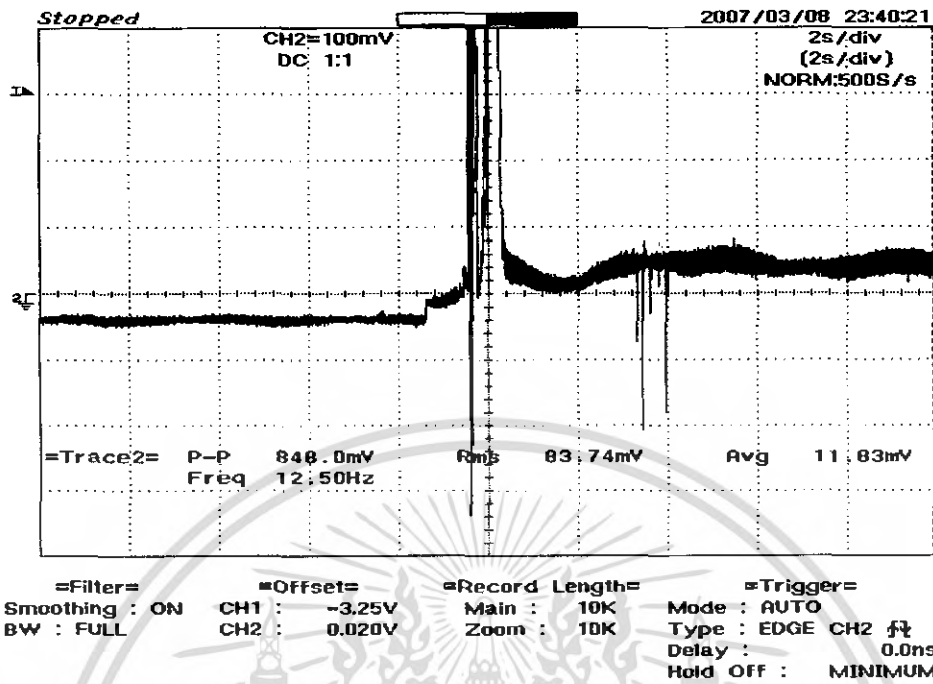
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



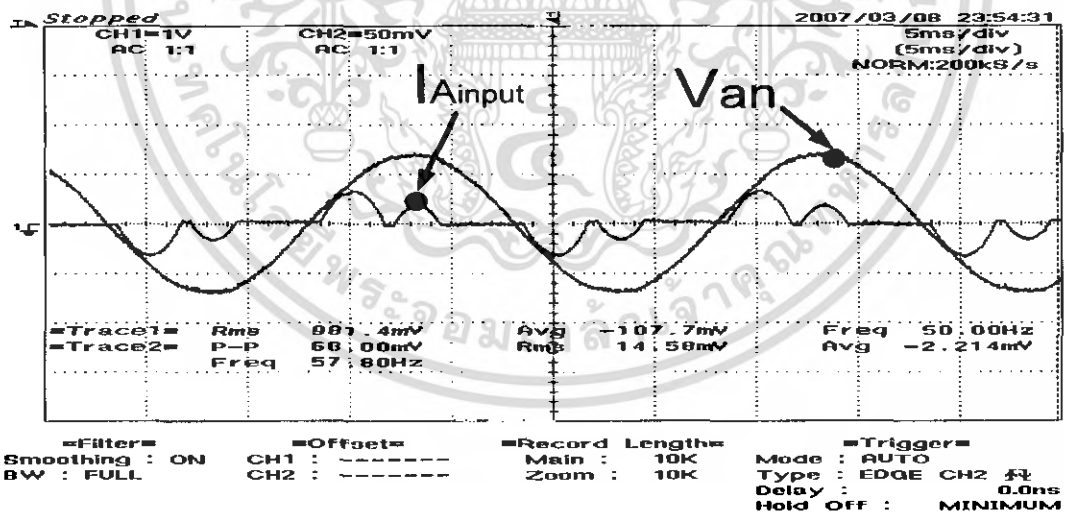
รูปที่ 4.37 กระแส Input และฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของ กระแส Inputสเปกตรัมจะสูงที่ลำดับ $6n+1, 6n-1$



รูปที่ 4.38 กระแส อาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนต์ที่ 1 ไปควอดแรนต์ที่ 2 และ 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

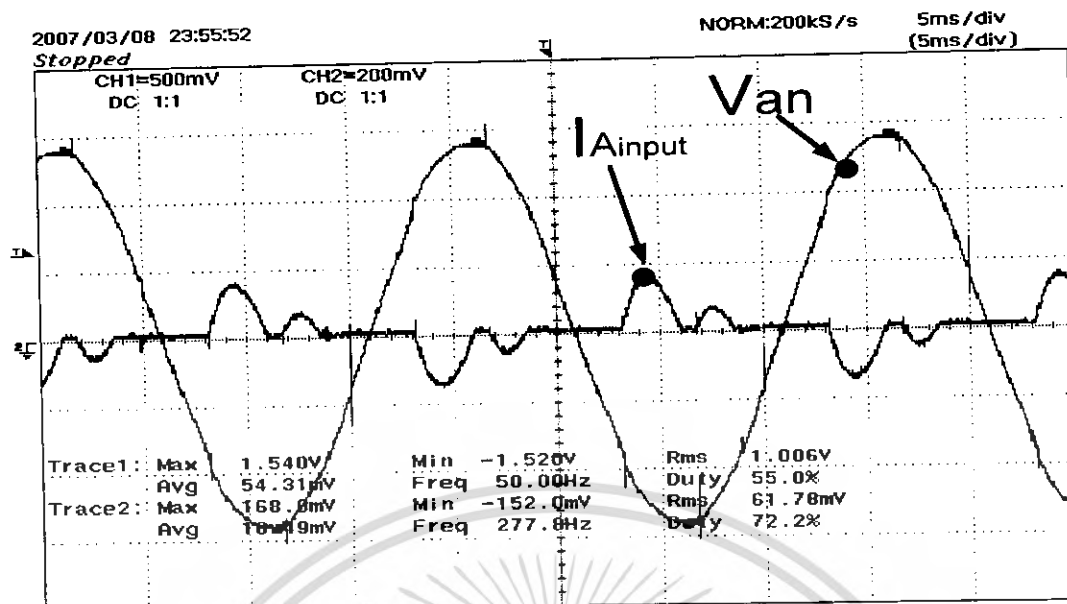


รูปที่ 4.39 กระแส อาร์เมเจอร์ขณะที่เปลี่ยนจากควอดแรนต์ที่ 3 ไปควอดแรนต์ที่ 4 และ 1



รูปที่ 4.40 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์ 1 โหมด Forward Motoring โหลด 2200W (คอนเวอร์เตอร์ ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

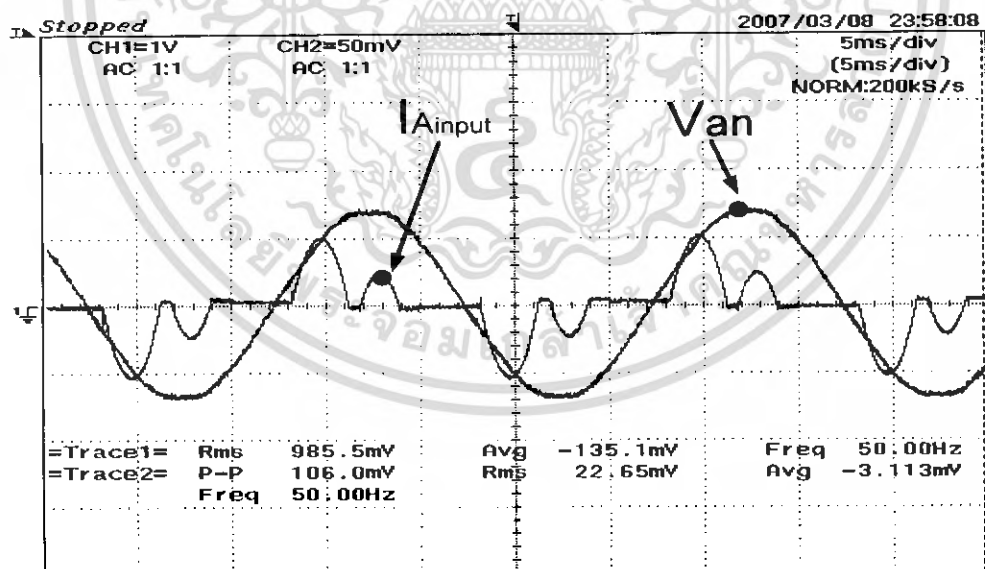
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์ที่ 2 โหมด

Forward braking

(คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$, Inverter)



=Filter=
Smoothing : ON
BW : FULL

=Offset=
CH1 : -----
CH2 : -----

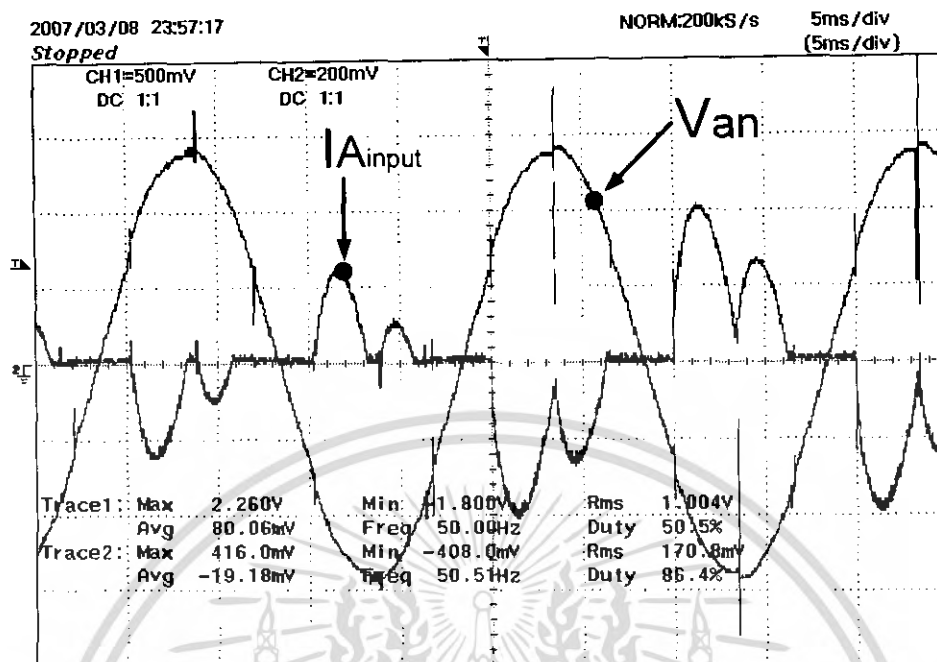
=Record Length=
Main : 10K
Zoom : 10K

=Trigger=
Mode : AUTO
Type : EDGE CH2 \updownarrow
Delay : 0.0ns
Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ 4.42 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์ที่ 1 โหมด Reverse

Motoring (คอนเวอร์เตอร์ 2 ทำงานที่ $0 < \alpha < 90$, Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 กระแสอินพุตที่เฟส A และแรงดันอินพุต Van ขณะทำงานที่ควอดแรนต์ที่ 4 โหมด Reverse braking (คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานที่ $90 < \alpha < 180$.Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

- 1) ในโครงการนี้เป็นการควบคุม DC Motor แบบแยกกระตุ้น แบบ Phase control โดยใช้ SCR ในวงจรกำลัง Dual Thyristor converter ที่สามารถใช้ในการเบรกแบบคืนพลังงานได้
- 2) ใช้ Microcontroller ds PIC30F4011 ในการควบคุมการทำงานของระบบ
- 3) โครงการนี้สามารถ control speed ของมอเตอร์ และทำงานได้ทั้ง 4 Quadrant
- 4) ใช้ programe Mathlab Simmulink ในการศึกษาหลักการทำงาน และหลักวิธีการ Control วงจร
- 5) โครงการนี้ ใช้การ Close loop speed control จาก Encoder เพื่อรักษา speed ให้คงที่ โดยใช้การควบคุมแบบ PI control

ข้อเสนอแนะ

- 1) ในโครงการนี้ใช้การ close loop speed control อย่างเดียว ควรจะ close loop กระแสอาร์เมเจอร์ ด้วย เพื่อรักษาให้ทอร์กของระบบคงที่ และตอบสนองต่อโหลดเร็วขึ้น
- 2) ในโครงการนี้ที่อินพุท ยังคงที่ Phase sequence อยู่ควรจะเขียนโปรแกรมรองรับทุก Phase sequence เพื่อเหมาะกับการใช้งานจริง
- 3) ที่ความเร็วสูงๆ การ Regenerative Breaking และการสับเปลี่ยน quadrant ยังมีปัญหา ควรจะพัฒนาให้ดีกว่านี้
- 4) ในการลดความเร็วของมอเตอร์ DC Motor ยังใช้วิธีลดมุมจุดฉนวนอยู่ ควรจะใช้วิธีสร้างทอร์กต้าน เพื่อลดความเร็ว ให้เร็วขึ้น เพื่อการตอบสนองโหลดที่ดี

บรรณานุกรม

- [1] W.Shephev, LN.Hulley and D.T.W. Liang, **Power electronic and motor control** , University of Bradford English 1995
- [2] Guy seguier, **POWER ELECTRONIC Converter AC-DC Conversion** , New york st : Kogan page Ltd,1986
- [3] N.Mohan, T.M.Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter,Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [4] Joseph Vithagathil,**POWER ELECTRONICS Principles and Applications**, acid-free paper,1995
- [5] วีระเชษฐ์ ชันเงิน,วุฒิปล ธาราธิ์รเศรษฐ์,อิเล็กทรอนิกส์กำลัง **POWER ELECTRONICS**,พิมพ์ครั้งที่3,กรุงเทพฯ:ห้างหุ้นส่วนจำกัดวี.เจ.พรินติ้ง,2548
- [6] พรจิต ประทุมสุวรรณม, **พื้นฐานการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง**,พิมพ์ครั้งที่2,กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์,2548
- [7] ศิวะ หงษ์นภา , **หลักการและการประยุกต์ใช้งานดีซีไดรฟ์**, กรุงเทพฯ: กู๊ดวิลส์ไดเร็คชั่น จำกัด,2547
- [8] นคร ภักดีชาติ , **คู่มือการทดลอง dspic Microcontroller เบื้องต้นด้วยภาษาC กับ MPLAB C30**,กรุงเทพฯ: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
- [9] สุภาพ สุราสา **เครื่องกลไฟฟ้า1** ,ขอนแก่น:สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น,2543
- [9] สำเริง รัตมีวิศวะ, ดำรง จินขาวซ่า, **ทฤษฎีการนำไปใช้งานออปแอมป์**, กรุงเทพฯ
- [10] สมชาย อรุณรุ่งรัตมี , **ออปแอมป์และการประยุกต์ไอซีเชิงเส้น**,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมหลัก ที่ใช้ในโครงการนี้

ส่วนที่ 1 ตั้งค่าต่างๆ ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

```
.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:  
-----
```

ส่วนที่ 2 กำหนดค่าที่ใช้ในโปรแกรม

```
.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 Alpha,2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.bss speed,2
.bss Ref,2
.bss select,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
.global __T4Interrupt
.global __T5Interrupt
.global __CNInterrupt
```

ส่วนที่ 3 เริ่มต้นโปรแกรม

```
.text
__reset: MOV #__SP_init, W15
MOV #__SPLIM_init, W0
MOV W0, SPLIM
NOP
CLR W0
MOV W0,W14
REPEAT #12
MOV W0,[++W14]
CLR W14
NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MAIN:      CALL  set_value      ; ไปเรียกโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการตั้งค่า รีจิสเตอร์
           MOV   #200,W0
           MOV   W0,Ki
           MOV   #200,W0
           MOV   W0,Kp
           MOV   #0,W0
           MOV   W0,SUM
           MOV   #0,W0
           MOV   W0,U
           MOV   #200,W12
           CALL  Delay_W12ms

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

           BSET  IEC0,#T1IE      ตอบรับให้ อินเทอร์รัปต์ ทำงาน
           BSET  IEC0,#T2IE
           BSET  IEC0,#T3IE
           BSET  IEC1,#T4IE
           BSET  IEC1,#T5IE

           BSET  ADCSSL,#CSSL6
           BSET  ADCON1,#ADON
           BCLR  ADCON1,#DONE

ADCdone:   BTSS  ADCON1,#DONE    รอให้ ADC สุ่มสัญญาณ เสร็จ
           BRA   ADCdone

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR   POSCNT
BSET  QEICON,#QEIM2    เริ่มการทำงานของ โมดูล รับ Encoder
BSET  T4CON,#TON
BSET  IEC0,#CNIE
CLR           W13
STOP: BTSS  PORTD,#RD0    กดปุ่ม เพื่อ หยุดการทำงาน
      BRA   __reset
      BSET  LATB,#RB8
      BSET  LATF,#RF4

```

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

```

Right: BTSS  QEICON,#UPDN    บอกทิศทางของการหมุน
      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    รับ สัญญาณ อนาล็อกเข้ามาคำนวณ
ADD  #5,W3
MOV  #20340,W4
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

```

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV #30621,W2          รับความเร็วเข้ามาคำนวณ
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

```

;***** (Select Quadrant)*****

```

MOV  W13,W6          เลือกการทำงานแต่ละจุดภาค
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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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
GOTO Regen_Q4

RUN_Nomal: NOP                      เริ่มต้น PI Control
CPSGTW4,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
CPSGTW7,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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV SUM,W5
ADD W6,W5,W6
MOV W6,SUM
GOTO END_PI
;-----
NO:      SUB W2,W4,W3
        MOV W3,Error_2
        MOV Kp,W5
        MUL.UU W3,W5,W6
        MUL.UU W7,#2,W6
        MOV SUM,W5
        SUB W5,W6,W7
        MOV W7,U
        MOV #20,W5
MIN_1:  CPSGTW7,W5
        GOTO MIN
        GOTO SUM_2
MIN:    MOV W5,U
        GOTO SUM_2
SUM_2:  NOP
        MOV Ki,W3
        MOV Error_2,W5
        MUL.UU W3,W5,W6
        MUL.UU W7,#2,W6
        MOV SUM,W5
        SUB W5,W6,W6
        MOV W6,SUM
        GOTO END_PI
;-----
END_PI: MOV #23500,W9
        MOV U,W3
        SUB W9,W3,W5
        MOV W5,Alpha

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***** (Push Switch For Break)*****

```
BTSS PORTB,#RB7      กดปุ่มเพื่อ เบรก
GOTO Regen
```

```
Trig_1:      MOV #200,W9
             MOV Alpha,W8
             CPSLT W8,W9
             GOTO Trig
             MOV #200,W8
```

```
Trig:        NOP      ป้อนค่าเข้า ใน ไทเมอร์
             CLR PR1
             CLR PR2
             CLR PR3
             MOV W8,PR1
             MOV W8,PR2
             MOV W8,PR3
             BCLR W13,#0
```

```
WAIT_CN:    BTSS W13,#0      รอการอินเตอร์รัปจาก Zero Crossing
             BRA WAIT_CN
             BCLR W13,#0
```

```
END_SET:    GOTO STOP      วนไปเริ่ม โปรแกรมใหม่
```

***** (Main Programs)*****

```
Regen:      BSET W13,#2      ทำงาน ช่วงเบรก คืนพลังงาน
             BTSS W13,#1
             GOTO Regen_Q4
             GOTO Regen_Q2
Regen_Q4:   BCLR LATE,#RE0
             BCLR LATE,#RE1
             BCLR LATE,#RE2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCLR LATE,#RE3
BCLR LATE,#RE4
BCLR LATE,#RE5
BSET W13,#1
MOV #10000,W5
MOV speed,W6
ADD W5,W6,W6
MOV W6,Alpha
MOV #3200,W7
MOV speed,W6
CPSGTW6,W7
GOTO Turn_Left
GOTO Trig_1

```

Turn_Left:

```

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

CLR SUM
CLR U

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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCLR LATE,#RE8
BCLR W13,#1
MOV #10000,W5
MOV speed,W6
ADD W5,W6,W6
MOV W6,Alpha
MOV #3200,W7
MOV speed,W6

```

```

CPSGTW6,W7
GOTO Turn_Right
GOTO Trig_1

```

Turn_Right:

```

BCLR LATF,#RF0
BCLR LATF,#RF1
BCLR LATF,#RF2
BCLR LATF,#RF3
BCLR LATF,#RF6
BCLR LATE,#RE8

CLR SUM
CLR U

BCLR QEICON,#SWPAB

BCLR W13,#2
GOTO STOP

```

โปรแกรม ตอบรับ เมื่อ อินเตอร์รัป จากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ จากภายนอก เพื่อ เช็กรการ
เข้ามา ของ Zero Crossing

__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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C_W2,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN3_1
BSET T3CON,#TON

GOTO END_CN
CN3_1:
MOV C_W0,W0
MOV C_W3,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN2_0
BSET T2CON,#TON

GOTO END_CN
CN2_0:
MOV C_W0,W0
MOV C_W4,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN4_1
BSET T1CON,#TON
GOTO END_CN
CN4_1:
MOV C_W0,W0
MOV C_W5,W1

CPSEQ W0,W1
BRA CN3_0
BSET T3CON,#TON

GOTO END_CN
CN3_0:
MOV C_W0,W0
MOV C_W6,W1

CPSEQ W0,W1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        BRA    END_CN
        BSET  T2CON,#TON
        GOTO  END_CN
END_CN:  NOP
        RETFIE

```

*****Timer Interrupt*****

โปรแกรม ตอบรับ การอินเตอร์รัปจาก ไทเมอร์ ทั้ง 4 ตัว

__T1Interrupt:

```

        BCLR  IFS0,#T1IF
        BCLR  T1CON,#TON
        CLR   TMR1
        BTSS  W13,#1
        GOTO  C1_T1_ON
        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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BSET LATE,#RE2
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 LATF,#RF6
            BCLR LATF,#RF2
            GOTO END_T1

SET_RF1:   BCLR LATE,#RE1
            BSET LATF,#RF1
            BCLR LATE,#RE8

            GOTO END_T1

;-----
C1_T3_ON:  BTSS PORTB,#RB2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        BRA    SET_RE1
        BCLR  LATF,#RF6
        BSET  LATE,#RE4
        BCLR  LATE,#RE2
        GOTO  END_T3

SET_RE1:    BCLR  LATF,#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
            RETFIE

.end

```

โปรแกรมย่อย ที่ตั้งค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ

```
.equ __30F4011, 1
```

```
.include "p30f4011.inc"
```

```
-----
```

```
; Subroutine: set_value
```

```
-----
```

```
.global set_value
```

```
set_value:
```

```
CLR W0
```

```
CLR W1
```

```
CLR W2
```

```
CLR W3
```

```
CLR W4
```

```
CLR W5
```

```
CLR W6
```

```
CLR W7
```

```
CLR W8
```

```
CLR W9
```

```
CLR W10
```

```
CLR W11
```

```
CLR W13
```

```
CLR TMR1
```

```
CLR TMR2
```

```
CLR TMR3
```

```
CLR TMR4
```

```
CLR TMR5
```

```
CLR IFS0
```

```
CLR IFS1
```

```
CLR IFS2
```

```
CLR IEC0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR   IEC1

CLR   U1MODE
CLR   U2MODE
CLR   U1STA
CLR   U1RXREG
CLR   U1TXREG
CLR   CNEN1
CLR   CNEN2
CLR   CNPU1
CLR   CNPU2

BCLR  LATD,#RD1

INT_PORT:
BCLR  ADCSSL,#CSSL6
BCLR  ADCON1,#ADON
MOV   #0x0001,W0
MOV   W0,TRISD
MOV   #0x0000,W0
MOV   W0,TRISE
MOV   #0x0000,W0
MOV   W0,TRISF

INT_TMR1:
MOV   #0x0010,W0
MOV   W0,T1CON
CLR   TMR1
CLR   PR1

INT_TMR2:
MOV   #0x0010,W0
MOV   W0,T2CON
CLR   TMR2
CLR   PR2

INT_TMR3:
MOV   #0x0010,W0
MOV   W0,T3CON
CLR   TMR3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CLR   PR3
INT_TMR4:                       MOV   #0x0030,W0
                                MOV   W0,T4CON
                                CLR   TMR4
                                CLR   PR4
                                MOV   #11520,W0
                                MOV   W0,PR4
INT_TMR5:                       MOV   #0x0010,W0
                                MOV   W0,T5CON
                                CLR   TMR5
                                CLR   PR5
INT_CN:                         MOV   #0x00BF,W0
                                MOV   W0,ADPCFG
                                MOV   #0x00FF,W0
                                MOV   W0,TRISB
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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

END_READ:      NOP
                BCLR CNEN2,#CN17IE
                BCLR CNEN2,#CN18IE
                BCLR CNPU2,#CN17PUE
                BCLR CNPU2,#CN18PUE

```

```

                BSET CNEN1,#CN2IE
                BSET CNEN1,#CN3IE
                BSET CNEN1,#CN4IE
                BSET CNPU1,#CN2PUE
                BSET CNPU1,#CN3PUE
                BSET CNPU1,#CN4PUE

```

```

INT_INTR:      CLR IEC0
                CLR IFS0
                CLR IPC0
                CLR IPC1
                CLR IPC5
                CLR IPC3
                MOV #0x3000,W0
                MOV W0,IPC0
                MOV #0x3300,W0
                MOV W0,IPC1
                MOV #0x0550,W0
                MOV W0,IPC5
                MOV #0x7000,W0
                MOV W0,IPC3
                BCLR IFS0,#T1IF
                BCLR IFS0,#T2IF
                BCLR IFS0,#T3IF
                BCLR IFS1,#T4IF
                BCLR IFS1,#T5IF
                BCLR IFS0,#CNIF

```

```

;*****

```

```

INT_QEI:      MOV #0x0362,W0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV W0,QEICON
MOV #0x0310,W0
MOV W0,DFLTCON
MOV #2000,W0
MOV W0,MAXCNT

```

```

INT_ADC:    MOV #0x00EE,W0
            MOV W0,ADCON1
            MOV #0x0300,W0
            MOV W0,ADCON2
            MOV #0x073F,W0
            MOV W0,ADCON3
            MOV #0x00D6,W0
            MOV W0,ADCHS
            CLR  ADCSSL
            RETURN

```

โปรแกรมย่อยที่ใช้หน่วงเวลา

```

.equ _30F4011, 1
.include "p30f4011.inc"

```

```

;Subroutine: Delay_W12ms

```

```

.global Delay_W12ms

```

```

Delay_W12ms: DO #10000,END_1ms
              DO W12,END_W12
              NOP
              NOP
END_W12:     NOP
END_1ms:    NOP
              RETURN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



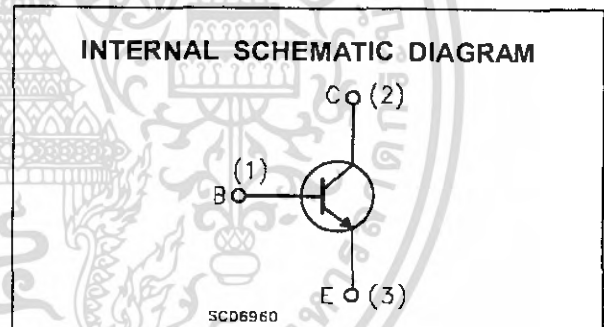
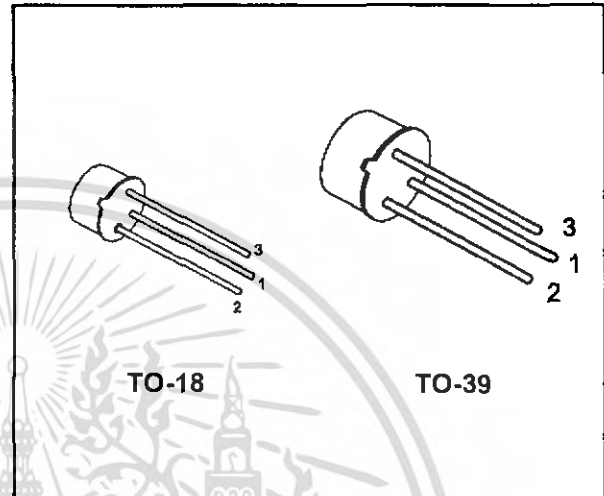
2N2219A
2N2222A

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

THERMAL DATA

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

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

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

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

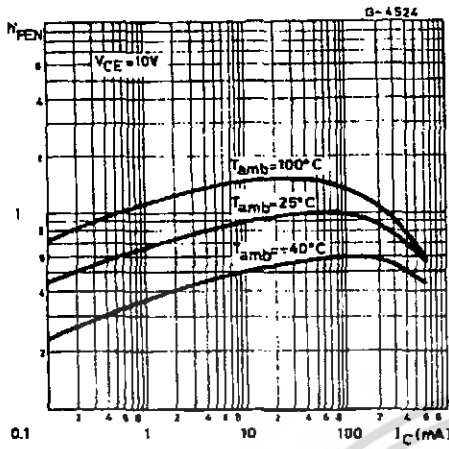
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
NF	Noise Figure	$I_C = 0.1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $f = 1\text{KHz}$ $R_g = 1\text{K}\Omega$		4		dB
h_{ie}	Input Impedance	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$	2 0.25		8 1.25	$\text{k}\Omega$ $\text{k}\Omega$
h_{re}	Reverse Voltage Ratio	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$			8 4	10^{-4} 10^{-4}
h_{oe}	Output Admittance	$I_C = 1 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$ $V_{CE} = 10 \text{ V}$	5 25		35 200	μS μS
t_d^{**}	Delay Time	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA}$ $I_{B1} = 15 \text{ mA}$ $V_{BB} = -0.5 \text{ V}$			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

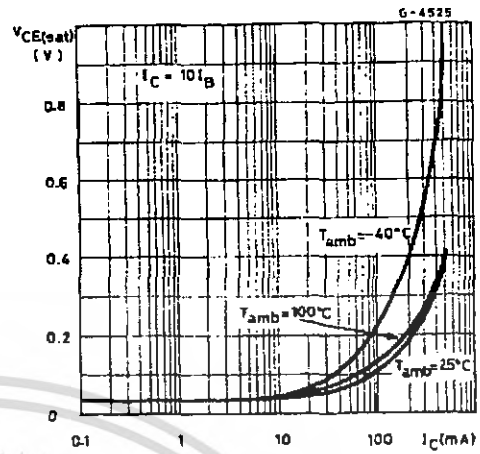
* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle $\leq 1\%$

** See test circuit

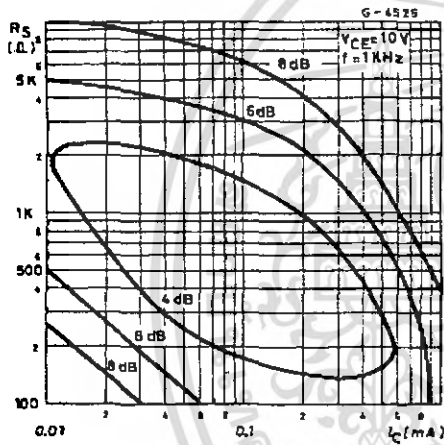
Normalized DC Current Gain.



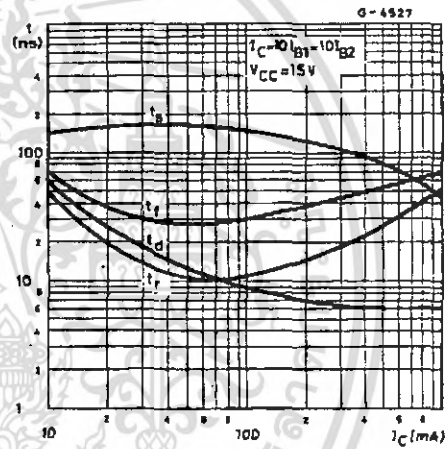
Collector-emitter Saturation Voltage.



Contours of Constant Narrow Band Noise Figure.



Switching Time vs. Collector Current.



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.

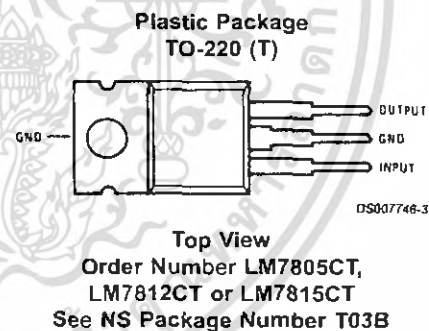
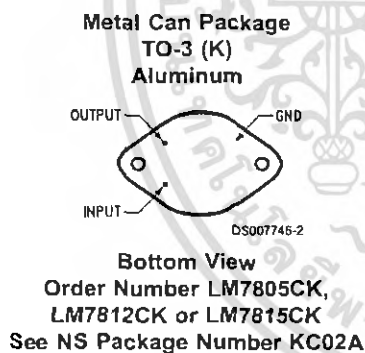
Features

- 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

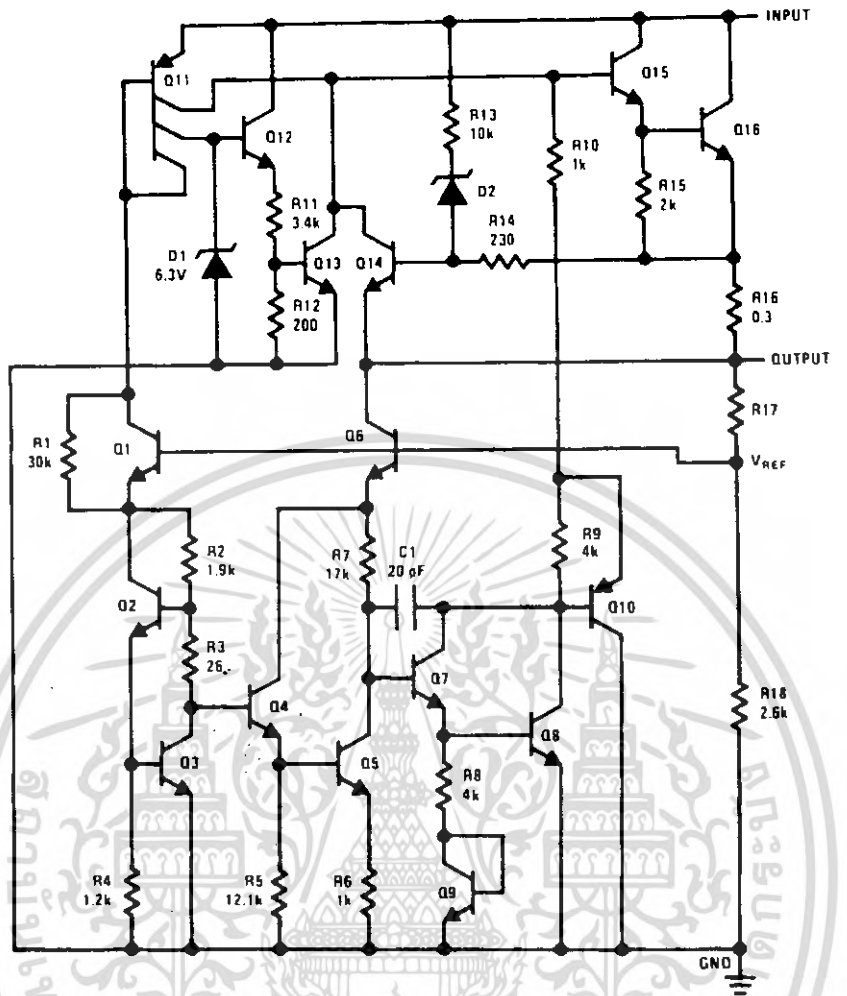
Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Connection Diagrams



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.

Output Voltage	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)

°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°C, 5 mA ≤ I _O ≤ 1A		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P _D ≤ 15W, 5 mA ≤ I _O ≤ 1A		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}		(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
V _O	Line Regulation	I _O = 500 mA	T _J = 25°C	3			4			4			mV
			ΔV _{IN}	(7 ≤ V _{IN} ≤ 25)			(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
		0°C ≤ T _J ≤ +125°C	ΔV _{IN}	50			120			150			mV
			ΔV _{IN}	(8 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(15 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(18.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
		I _O ≤ 1A	T _J = 25°C	50			120			150			mV
			ΔV _{IN}	(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.6 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.7 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
0°C ≤ T _J ≤ +125°C	ΔV _{IN}	25			60			75			mV		
	ΔV _{IN}	(8 ≤ V _{IN} ≤ 12)			(16 ≤ V _{IN} ≤ 22)			(20 ≤ V _{IN} ≤ 26)			V		
V _O	Load Regulation	T _J = 25°C	5 mA ≤ I _O ≤ 1.5A	10			12			12			mV
			250 mA ≤ I _O ≤ 750 mA	25			60			75			mV
		5 mA ≤ I _O ≤ 1A, 0°C ≤ T _J ≤ +125°C	50			120			150			mV	
I _O	Quiescent Current	I _O ≤ 1A	T _J = 25°C	8			8			8			mA
			0°C ≤ T _J ≤ +125°C	8.5			8.5			8.5			mA
ΔI _O	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I _O ≤ 1A		0.5			0.5			0.5			mA
		T _J = 25°C, I _O ≤ 1A		1.0			1.0			1.0			mA
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}		(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.8 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.9 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
V _N	Output Noise Voltage	T _A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		40			75			90			μV
		ΔV _{IN} / ΔV _{OUT}	Ripple Rejection	I _O ≤ 1A, T _J = 25°C or f = 120 Hz	62			55			54		
I _O ≤ 500 mA, 0°C ≤ T _J ≤ +125°C	62			55			54			dB			
V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}			(8 ≤ V _{IN} ≤ 18)			(15 ≤ V _{IN} ≤ 25)			(18.5 ≤ V _{IN} ≤ 28.5)			V	
R _O	Dropout Voltage	T _J = 25°C, I _{OUT} = 1A		2.0			2.0			2.0			V
	Output Resistance	f = 1 kHz		8			18			19			mΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน³เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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_{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_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$, $I_o \leq 1\text{ A}$	7.5			14.6			17.7			V

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

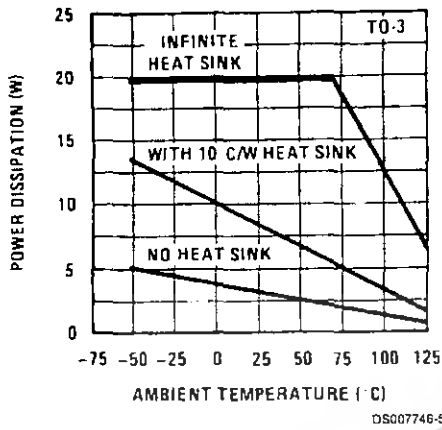
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22\ \mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1\ \mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10\text{ ms}$, duty cycle $\leq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

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

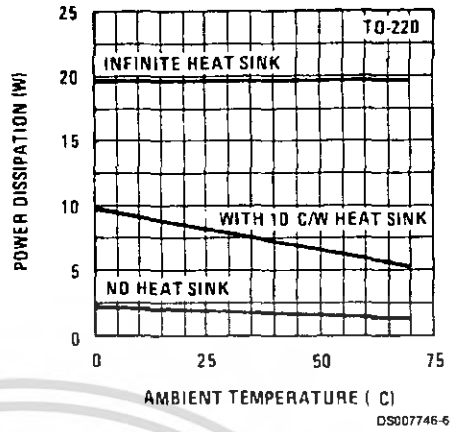


Typical Performance Characteristics

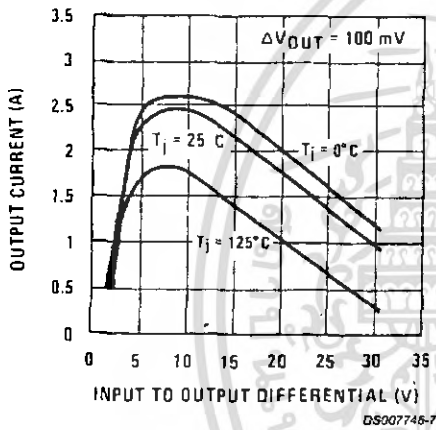
Maximum Average Power Dissipation



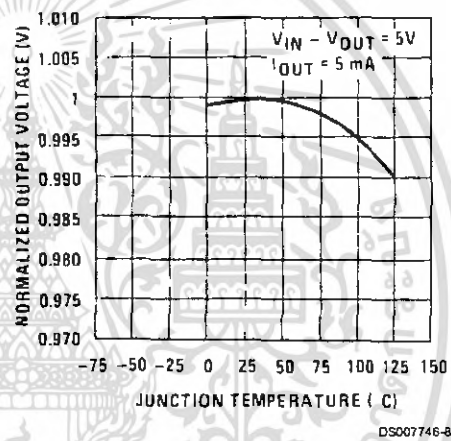
Maximum Average Power Dissipation



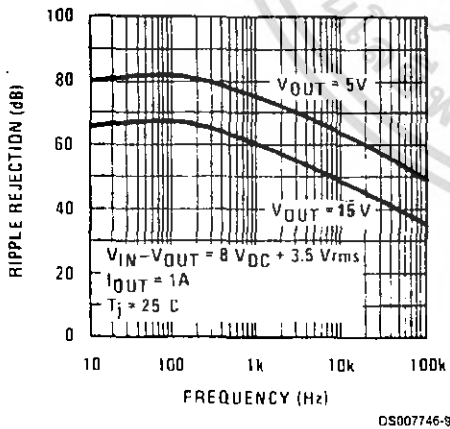
Peak Output Current



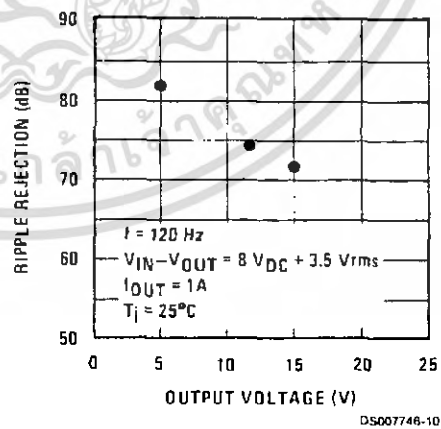
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_j = 25^\circ\text{C}$)



Ripple Rejection

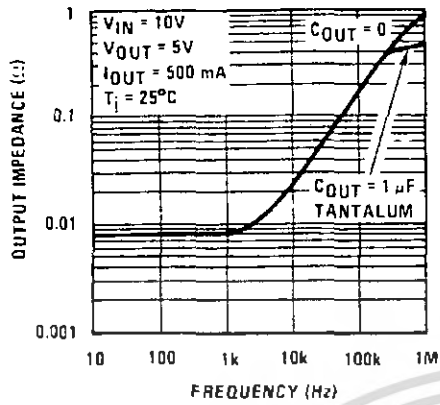


Ripple Rejection

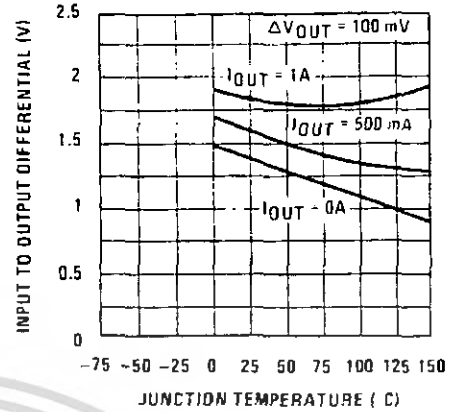


Typical Performance Characteristics (Continued)

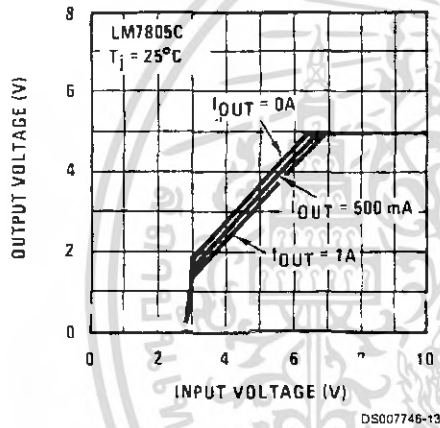
Output Impedance



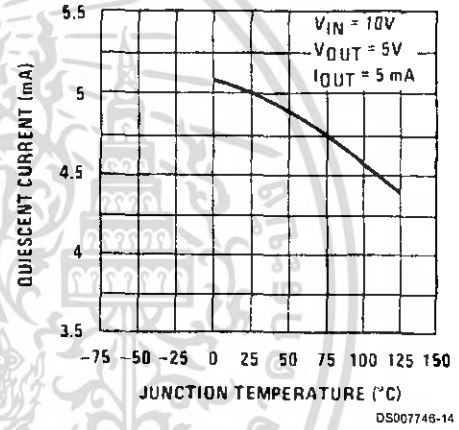
Dropout Voltage



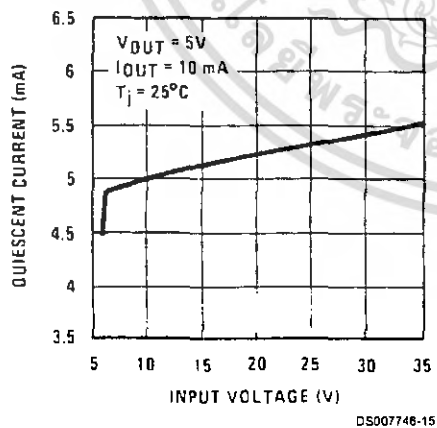
Dropout Characteristics



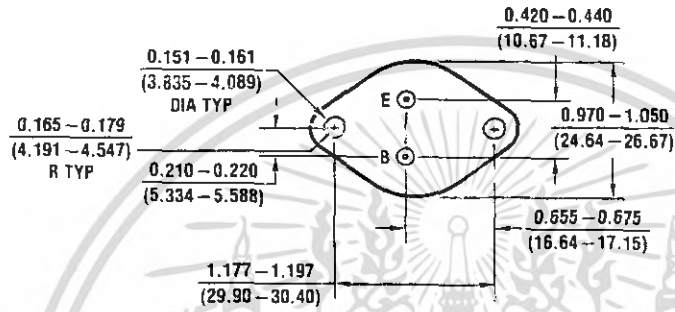
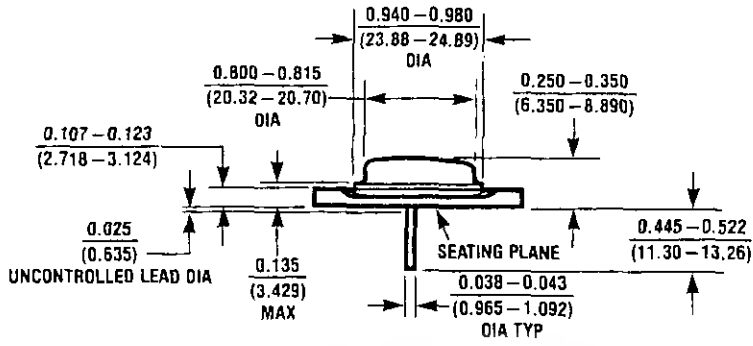
Quiescent Current



Quiescent Current

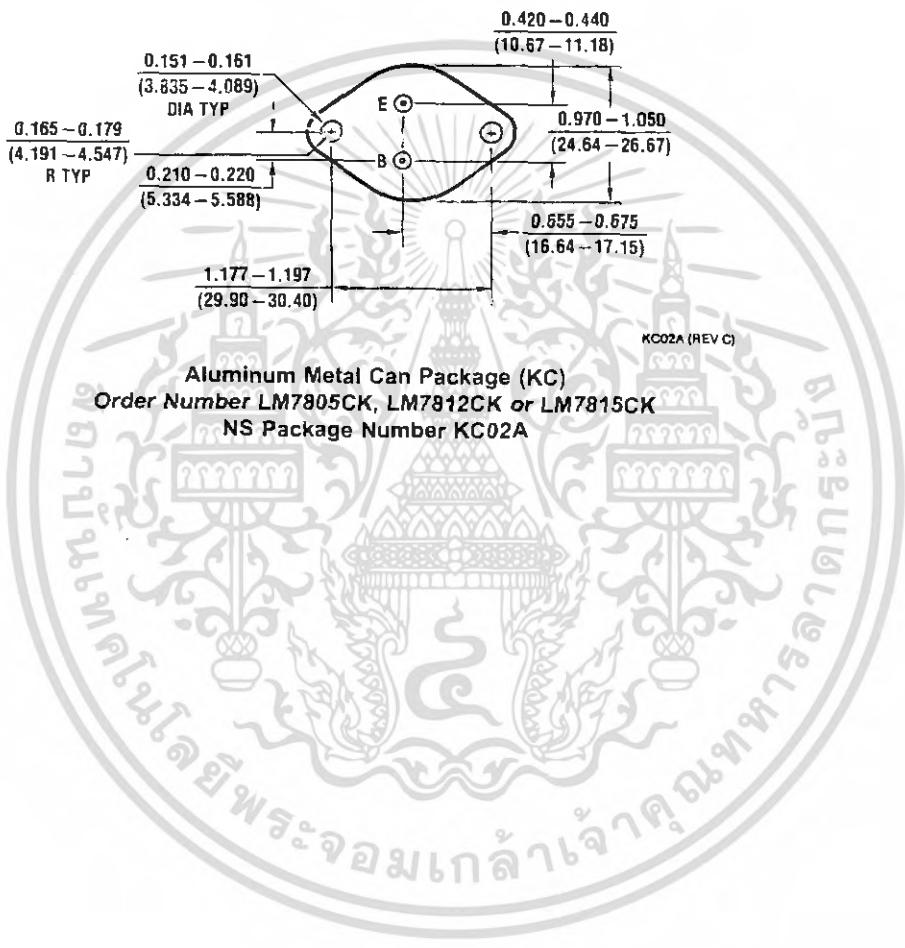


Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

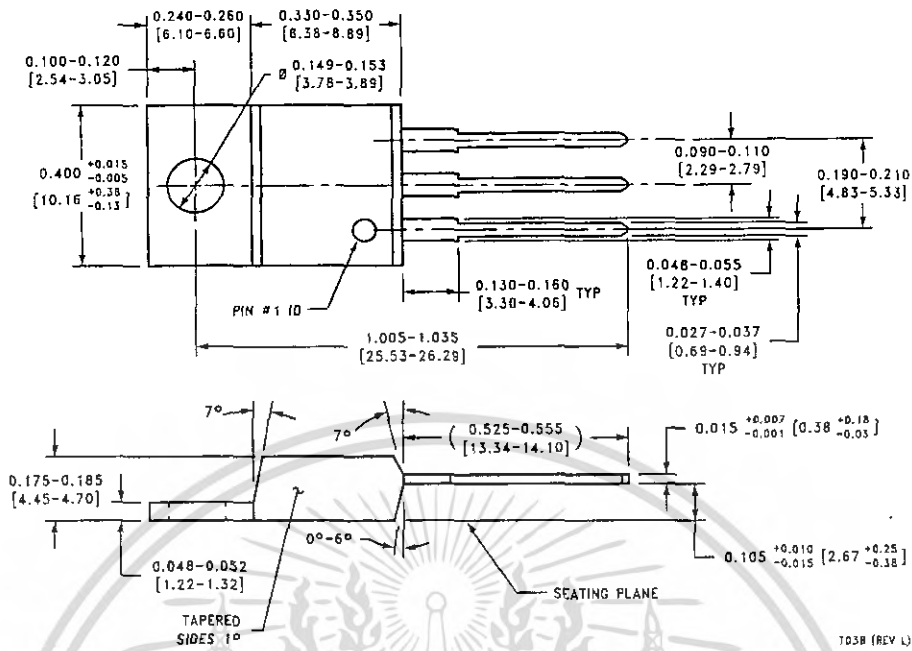


Aluminum Metal Can Package (KC)
 Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
 NS Package Number KC02A

KC02A (REV C)



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



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.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been downloaded from:

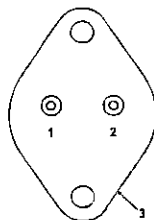
www.DatasheetCatalog.com

Datasheets for electronic components.



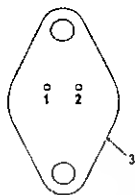
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 AMP NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR



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

K Package – TO-3



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

R Package – TO-66

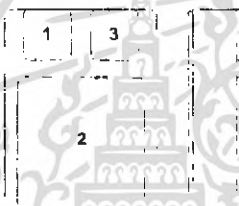


Pin 1 – Ground
 Pin 2 – V_{IN}
 Pin 3 – V_{OUT}
 Case – V_{IN}

G Package – TO-257

IG Package – TO-257*

Isolated Case on IG package



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

SMD Package – SMD1

Ceramic Surface Mount

FEATURES

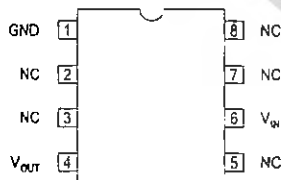
- OUTPUT VOLTAGES OF -5, -12, -15V
- 0.01% / V LINE REGULATION
- 0.3% / A LOAD REGULATION
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSISTOR SOA PROTECTION
- 1% VOLTAGE TOLERANCE OPTION (-A VERSIONS)

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)

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

Parameter	Test Conditions	IP7905A IP120A-05			IP7905, IP120-05 LM120-05			Units	
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$I_O = 500\text{mA}$ $V_{IN} = -10\text{V}$	-4.95	-5	-5.05	-4.9	-5	-5.1	V	
	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$ $V_{IN} = -7.5\text{V to } -20\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	-4.85		-5.15	-4.8		-5.2		
Low Supply	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$ $V_{IN} = -7\text{V to } -20\text{V}$	-4.75		-5.15	-4.75		-5.25	V	
Line Regulation	$I_O = 0.5 I_{MAX}$	$V_{IN} = -7\text{V to } -25\text{V}$		3	10		3	25	mV
		$V_{IN} = -7.5\text{V to } -20\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		3	10		3	50	
	$V_{IN} = -8\text{V to } -12\text{V}$ $I_O \leq I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		1	4		1	25		
Load Regulation	$V_{IN} = -10\text{V}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$		10	25		10	75	mV
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$		4	15		4	25	
	$V_{IN} = -10\text{V}$ $I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		7	25		7	50		
Quiescent Current	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -10\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		1	1.9		1	1.9	mA	
			1	2		1	2		
Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $V_{IN} = -10\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		0.2	0.4		0.2	0.4	mA	
			0.2	0.5		0.2	0.5		
	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -7\text{V to } -25\text{V}$ $V_{IN} = -8\text{V to } -25\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$		0.1	0.4		0.1	0.4		
Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $V_{IN} = -10\text{V}$		40	400		40	400	μV	
Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$ $V_{IN} = -8\text{V to } -18\text{V}$	$I_O \leq I_{MAX}$	66	80		54	80	dB	
		$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	66	80		54	80		
Dropout Voltage	$I_O = I_{MAX}$		1.1	2.3		1.1	2.3	V	
Output Resistance	$f = 1 \text{ kHz}$		5			5		$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$V_{IN} = -35\text{V}$		0.6	1.2		0.6	1.2	A	
Peak Output Current	$V_{IN} = -10\text{V}$		2.4	3.3		2.4	3.3	A	
Average Temperature Coefficient of V_O	$I_O = 5\text{mA}$		0.2	2		0.2	2	$\text{mV}/^\circ\text{C}$	
Input Voltage required to maintain line regulation	$I_O \leq I_{MAX}$		-7.3			-7.3		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
 $I_{MAX} = 1.0\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Test Conditions	IP7912A IP120A-12			IP7912, IP120-12 LM120-12			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Output Voltage	$I_O = 500\text{mA}$ $V_{IN} = -19\text{V}$	-11.88	-12	-12.12	-11.76	-12	-12.24	V
	$V_{IN} = -14.8\text{V to } -27\text{V}$ $P_D \leq P_{MAX}$ $I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	-11.64		-12.36	-11.52		-12.48	
Low Supply	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$ $V_{IN} = -14.5\text{V to } -27\text{V}$	-11.40		-12.36	-11.40		-12.60	V
Line Regulation	$I_O = 0.5 I_{MAX}$	$V_{IN} = -14.5\text{V to } -30\text{V}$	4	18	4	120	mV	
		$V_{IN} = -14.8\text{V to } -27\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	4	18	4	200		
	$I_O \leq I_{MAX}$ $V_{IN} = -16\text{V to } -22\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	1	4	1	25			
Load Regulation	$V_{IN} = -19\text{V}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	12	32	12	80	mV	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	4	19	4	60		
	$V_{IN} = -19\text{V}$ $I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	8	60	8	120			
Quiescent Current	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -19\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	0.2	0.4	0.2	0.4	mA		
	$I_O = 5\text{mA to } I_{MAX}$ $V_{IN} = -19\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	0.2	0.5	0.2	0.5			
Quiescent Current Change	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -14.5\text{V to } -30\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	0.1	0.4	0.1	0.4	mA		
	$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $V_{IN} = -15\text{V to } -30\text{V}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	0.1	0.5	0.1	1.0			
Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $V_{IN} = -19\text{V}$		75	960	75	960	μV	
Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$ $V_{IN} = -15\text{V to } -25\text{V}$	$I_O \leq I_{MAX}$	58	72	56	72	dB	
		$I_O \leq 0.5 I_{MAX}$ $T_J = -55 \text{ to } 150^\circ\text{C}$	58	72	56	72		
Dropout Voltage	$I_O = I_{MAX}$	1.1	2.3	1.1	2.3	V		
Output Resistance	$f = 1 \text{ kHz}$	8		8		$\text{m}\Omega$		
Short Circuit Current	$V_{IN} = -35\text{V}$	0.6	1.2	0.6	1.2	A		
Peak Output Current	$V_{IN} = -19\text{V}$	2.4	3.3	2.4	3.3			
Average Temperature Coefficient of V_O	$I_O = 5\text{mA}$	0.5	4.8	0.5	4.8	$\text{mV}/^\circ\text{C}$		
Input Voltage required to maintain line regulation	$I_O \leq I_{MAX}$	-14.5		-14.5		V		

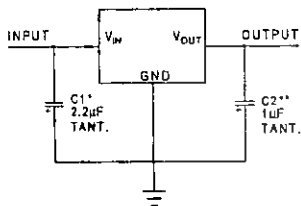
1) All characteristics are measured with a capacitor across the input of $0.22\mu\text{F}$ and a capacitor across the output of $0.1\mu\text{F}$.
 All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_p \leq 10\text{ms}$, $\delta \leq 5\%$). Output 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
 $I_{MAX} = 1.0\text{A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

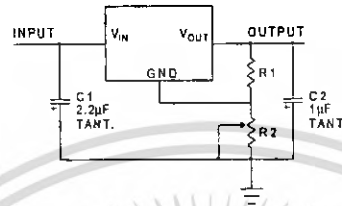
Parameter	Test Conditions	IP7915A IP120A-15			IP7915, IP120-15 LM120-15			Units	
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
V _O Output Voltage	I _O = 500mA V _{IN} = -23V	-14.85	-15	-15.15	-14.7	-15	-15.3	V	
	V _{IN} = -17.9V to -30V P _D ≤ P _{MAX} I _O = 5mA to I _{MAX} T _J = -55 to 150°C	-14.55		-15.45	-14.4		-15.6		
V _O Low Supply	I _O = 5mA to I _{MAX} P _D ≤ P _{MAX} V _{IN} = -17.5V to -30V	-14.25		-15.45	-14.25		-15.75	V	
V _O Line Regulation	I _O = 0.5 I _{MAX}	V _{IN} = -17.5V to -30V		4	22		4	150	mV
		V _{IN} = -17.9V to -30V T _J = -55 to 150°C		4	22		4	250	
	I _O ≤ I _{MAX} V _{IN} = -20V to -26V T _J = -55 to 150°C		2	10		2	75		
V _O Load Regulation	V _{IN} = -23V	I _O = 5mA to 1.5A		12	35		12	80	mV
		I _O = 250mA to 750mA		4	21		4	75	
	V _{IN} = -23V	I _O = 5mA to I _{MAX} T _J = -55 to 150°C		9	75		9	150	
I _Q Quiescent Current	I _O ≤ 0.5 I _{MAX} V _{IN} = -23V	T _J = -55 to 150°C		1	1.9		1	1.9	mA
				1	2		1	2	
ΔI _Q Quiescent Current Change	I _O = 5mA to I _{MAX} V _{IN} = -23V	T _J = -55 to 150°C		0.2	0.4		0.2	0.4	mA
				0.2	0.5		0.2	0.5	
	I _O ≤ 0.5 I _{MAX}	V _{IN} = -17.5V to -30V		0.1	0.4		0.1	0.4	
		V _{IN} = -18.5V to -30V T _J = -55 to 150°C		0.1	0.5		0.1	1.0	
V _N Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz V _{IN} = -23V		90	1200		90	1200	μV	
ΔV _{IN} / ΔV _O Ripple Rejection	f = 120Hz V _{IN} = -18.5V to -28.5V	I _O ≤ I _{MAX}		56	70		54	70	dB
		I _O ≤ 0.5 I _{MAX} T _J = -55 to 150°C		56	70		54	70	
V _{DO} Dropout Voltage	I _O = I _{MAX}		1.1	2.3		1.1	2.3	V	
R _O Output Resistance	f = 1 kHz		9			9		mΩ	
I _{sc} Short Circuit Current	V _{IN} = -35V		0.6	1.2		0.6	1.2	A	
I _{pk} Peak Output Current	V _{IN} = -23V		2.4	3.3		2.4	3.3	A	
Average Temperature Coefficient of V _O	I _O = 5mA		0.6	6		0.6	6	mV/°C	
Input Voltage required to maintain line regulation	I _O ≤ I _{MAX}	-17.5				-17.5		V	

- 1) All characteristics are measured with a capacitor across the input of 0.22μF and a capacitor across the output of 0.1μF.
All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_p ≤ 10ms, δ ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.
- 2) Test Conditions unless otherwise stated: P_{MAX} = 10W for TO-220SM, P_{MAX} = 1W for Cerdip, P_{MAX} = 20W for all other package devices. I_{MAX} = 1.0A, T_J = 25°C. ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

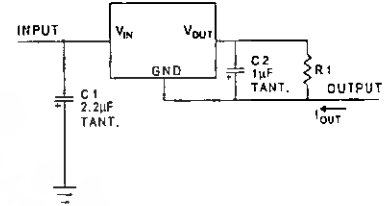
APPLICATIONS INFORMATION



Fixed Output Regulator



Adjustable Output Regulator



Current Regulator

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

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

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: To order, add the package identifier to the part number. eg. IP7900AK IP120SG
P7900A	✓	✓	✓	✓	✓	-55 to +150°C	
P7900	✓	✓	✓	✓	✓	"	
P120A	✓	✓	✓	✓	✓	"	
P120	✓	✓	✓	✓	✓	"	
LM120	✓	✓	✓	✓	✓	"	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KA78XX/KA78XXA

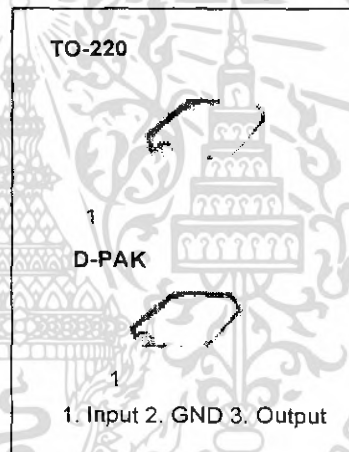
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

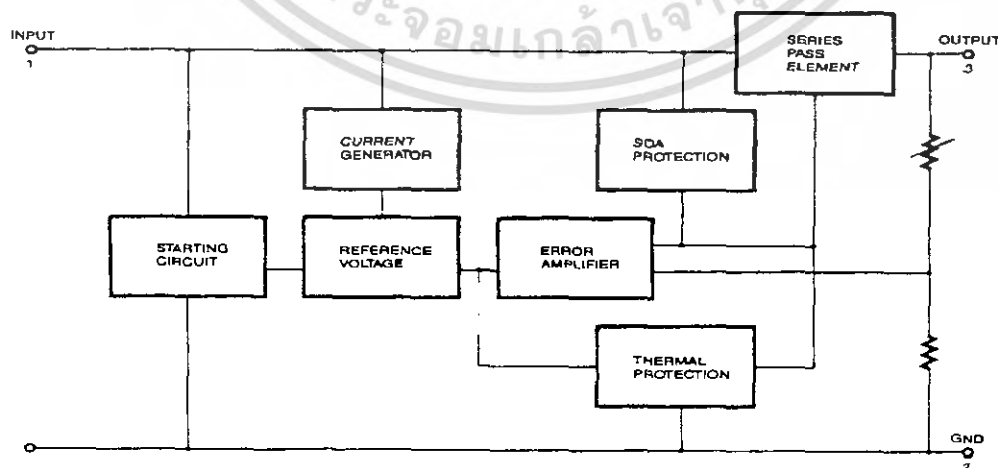
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

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



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	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ 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	ΔI_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	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	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	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	19	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 10.5\text{V to } 23\text{V}$	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	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.05	0.5	mA	
		$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	-	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_{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_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

- 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	ΔI_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_{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_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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 (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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	ΔI_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_{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_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{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	ΔI_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_{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_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	VO	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	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	IQ	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_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	VN	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	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	VDrop	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	rO	$f = 1\text{KHz}$	-	22	-	m Ω	
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	ΔI_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_{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_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{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		50
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	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	ΔI_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_{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_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	m Ω
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	I_{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 (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	VO	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	18	-	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	I_{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	ΔI_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_{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_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	-	10	
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	-	3	60	
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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	18	-	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	I_{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 °C	14.7	15	15.3	V	
		I _O = 5mA to 1A, P _O ≤ 15W V _I = 17.7V to 30V	14.4	15	15.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	V _I = 17.9V to 30V I _O = 500mA	-	10	150	mV	
		V _I = 20V to 26V	-	5	150		
		T _J = +25 °C	V _I = 17.5V to 30V	-	11		150
			V _I = 20V to 26V	-	3		75
Load Regulation (Note1)	Regload	T _J = +25 °C I _O = 5mA to 1.5A	-	12	100	mV	
		I _O = 5mA to 1.0A	-	12	100		
		I _O = 250mA to 750mA	-	5	50		
Quiescent Current	I _Q	T _J = +25 °C	-	5.2	6.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI _Q	V _I = 17.5V to 30V, T _J = +25 °C	-	-	0.8	mA	
		V _I = 17.5V to 30V, I _O = 500mA	-	-	0.8		
		I _O = 5mA to 1.0A	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	ΔV/ΔT	I _O = 5mA	-	-1.0	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V _N	f = 10Hz to 100KHz T _A = +25 °C	-	10	-	μV/V _O	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz, I _O = 500mA V _I = 18.5V to 28.5V	-	58	-	dB	
Dropout Voltage	V _{Drop}	I _O = 1A, T _J = +25 °C	-	2.0	-	V	
Output Resistance	r _O	f = 1KHz	-	19	-	mΩ	
Short Circuit Current	I _{SC}	V _I = 35V, T _A = +25 °C	-	250	-	mA	
Peak Current	I _{PK}	T _J = +25 °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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I_{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	
		$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	-	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	ΔI_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_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	20	-	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA
Peak Current	I_{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

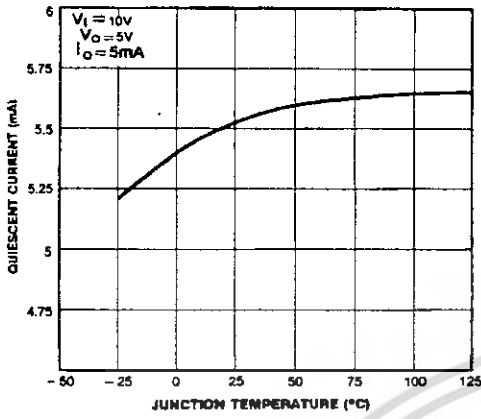


Figure 1. Quiescent Current

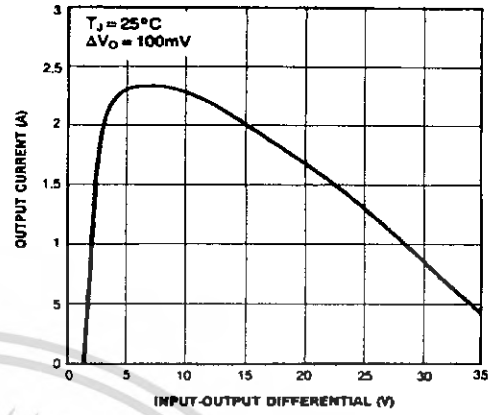


Figure 2. Peak Output Current

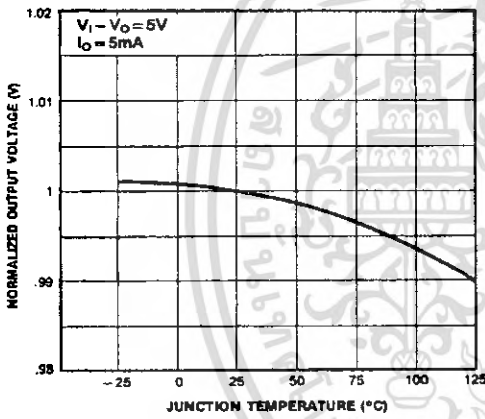


Figure 3. Output Voltage

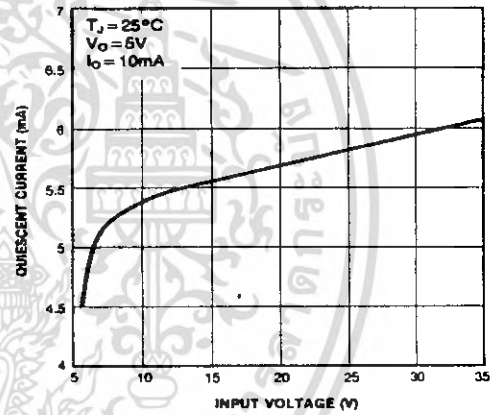


Figure 4. Quiescent Current

Typical Applications

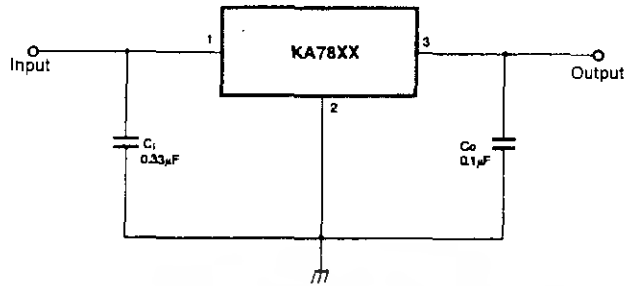


Figure 5. DC Parameters

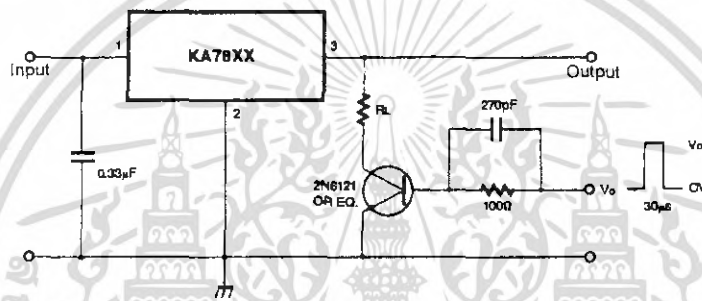


Figure 6. Load Regulation

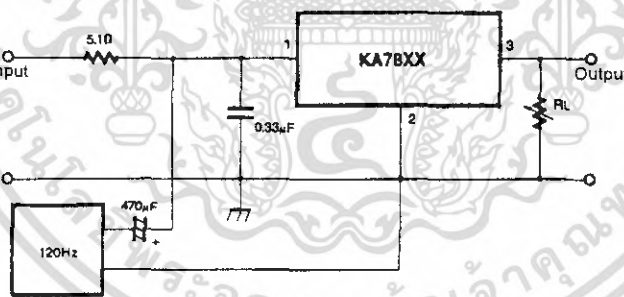


Figure 7. Ripple Rejection

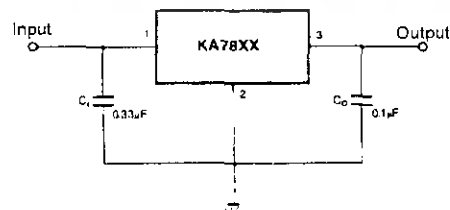
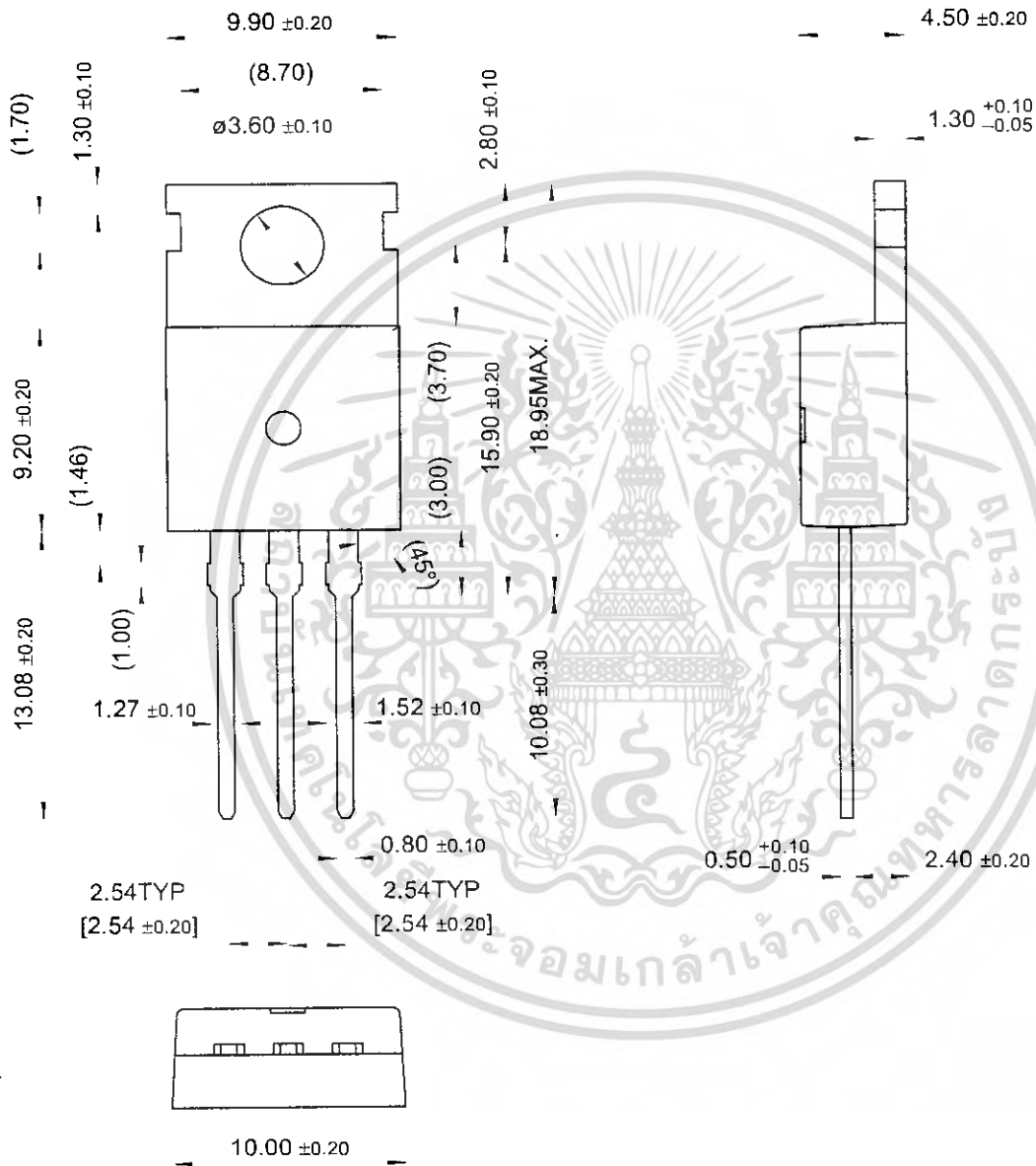


Figure 8. Fixed Output Regulator

Mechanical Dimensions

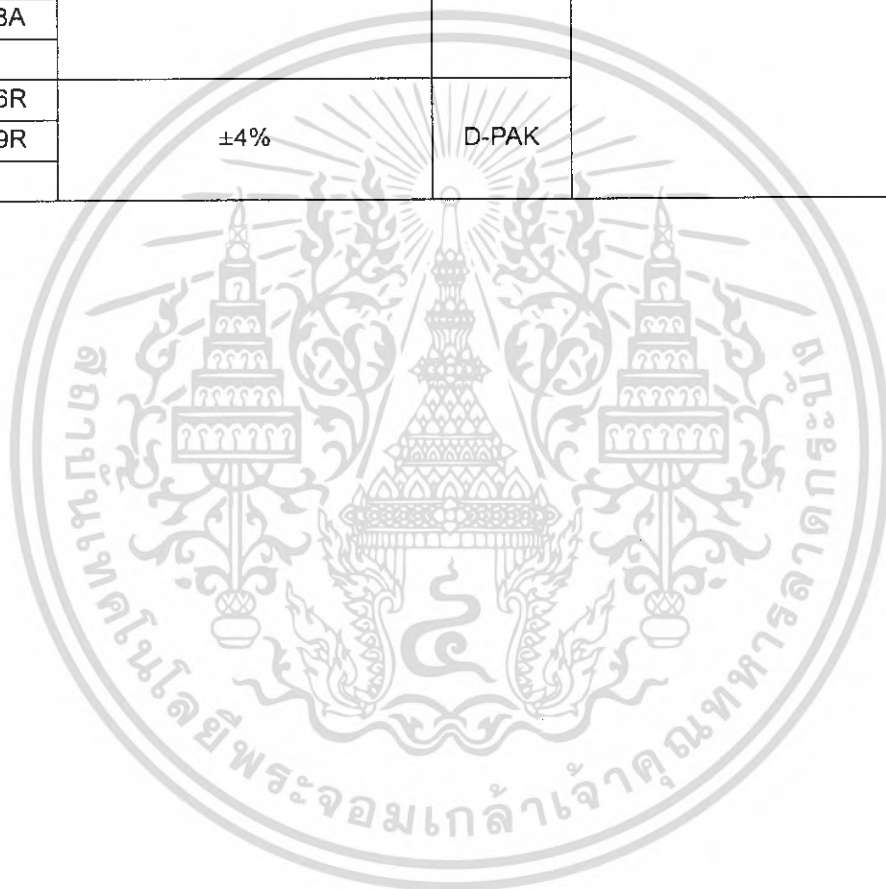
Package

TO-220



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			



LM741

Single Operational Amplifier

Features

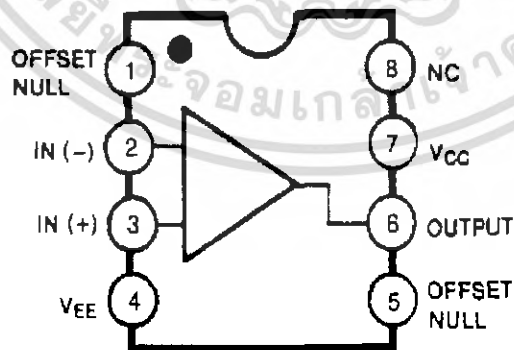
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

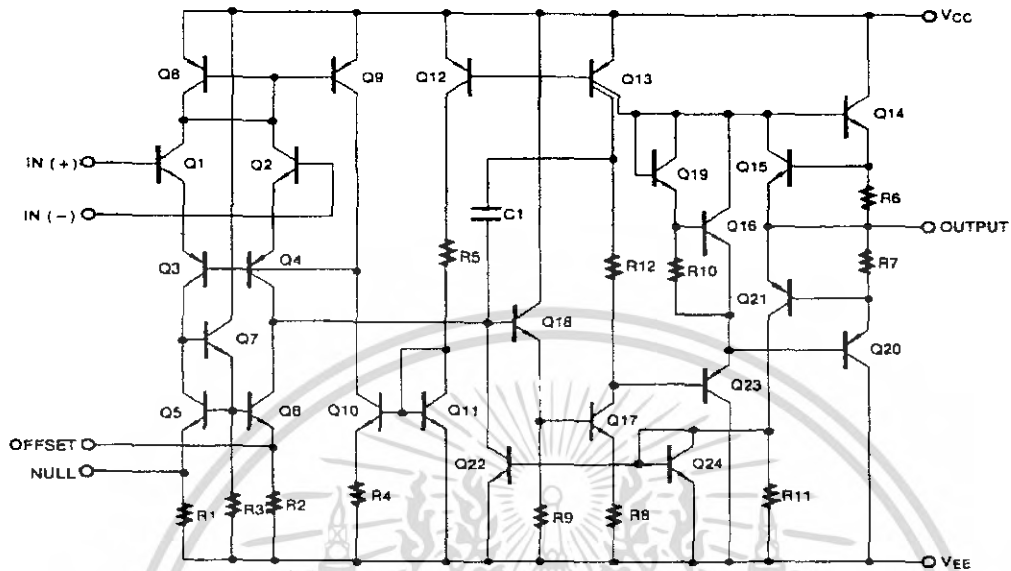
The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.



Internal Block Diagram



Schematic Diagram

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

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	± 18	V
Differential Input Voltage	$V_I(\text{DIFF})$	30	V
Input Voltage	V_I	± 15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range LM741C LM741I	T_{OPR}	0 ~ +70 -40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

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

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 10K\Omega$	-	2.0	6.0	mV
		$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	20	200	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	80	500	nA
Input Resistance (Note 1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	$M\Omega$
Input Voltage Range	$V_I(R)$	-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2K\Omega$, $V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	-	V/mV
		$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	-	25	-	mA
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$, $R_L \geq 10K\Omega$	-	-	-	V
		$R_L \geq 2K\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 10K\Omega$	± 12	± 14	-	
		$R_L \geq 2K\Omega$	± 10	± 13	-	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$, $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
		$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$, $R_S \leq 10K\Omega$	77	96	-	
Transient Response	Rise Time	T_R	-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS	-	10	-	%
Bandwidth		BW	-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	-	0.5	-	V/ μs
Supply Current		I_{CC}	-	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	μA		
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	M Ω	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	-	-	-	V
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	-	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	± 12	± 14	-	
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	± 10	± 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 5V	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	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

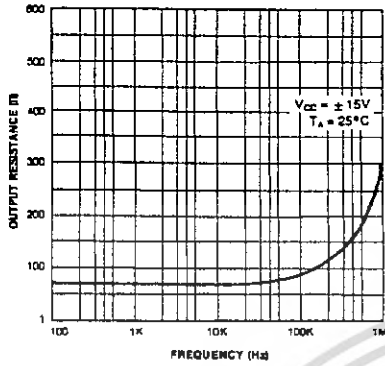


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

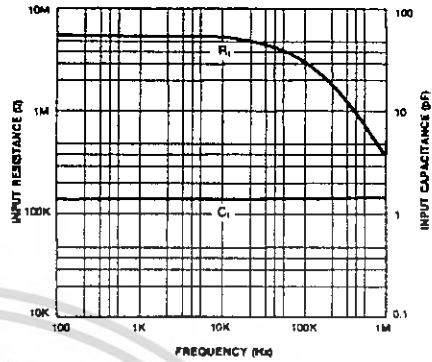


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

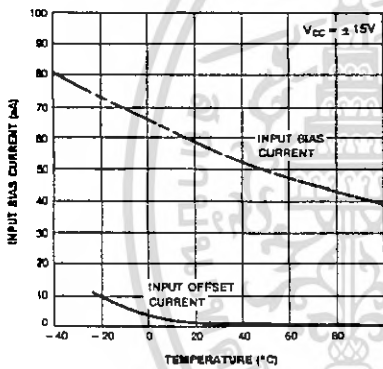


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

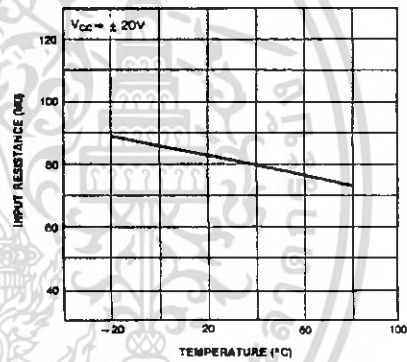


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

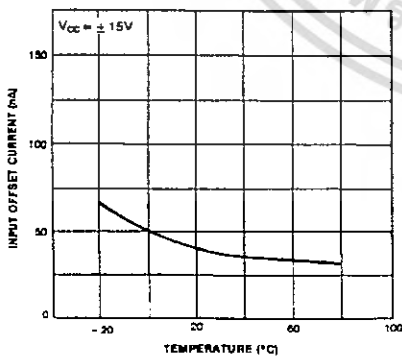


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

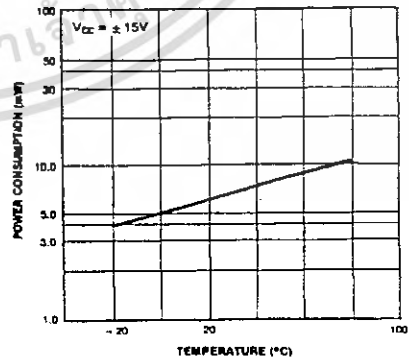


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

Typical Performance Characteristics (continued)

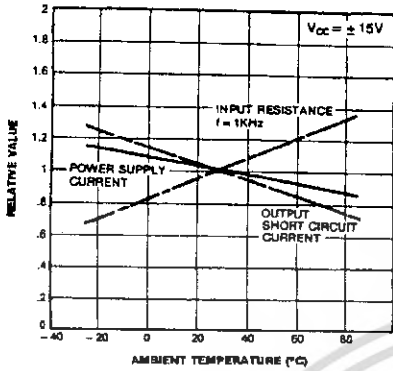


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

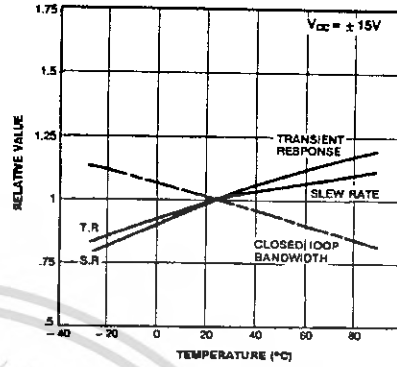


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

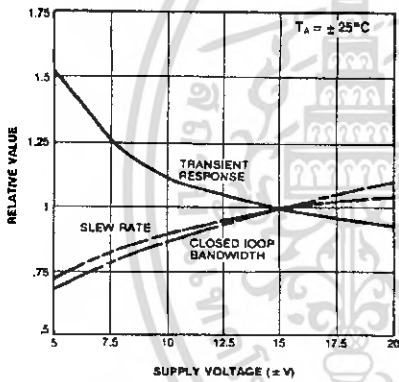


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

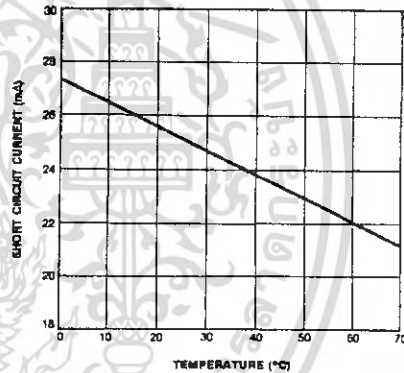


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

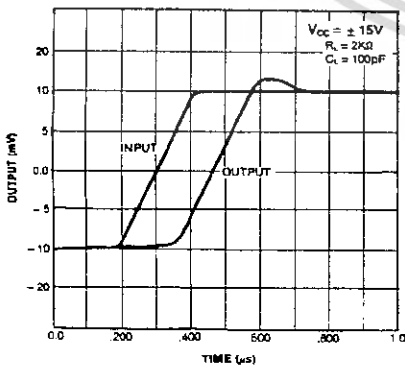


Figure 11. Transient Response

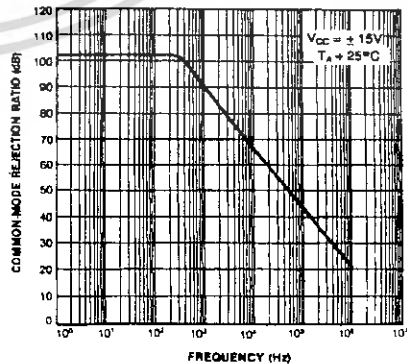


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

Typical Performance Characteristics (continued)

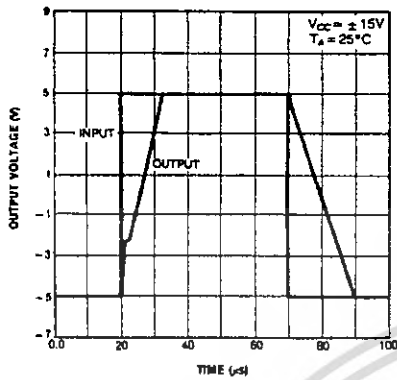


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

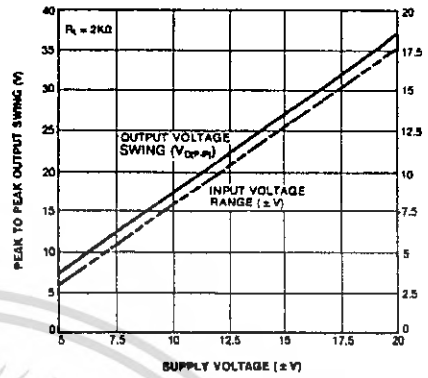


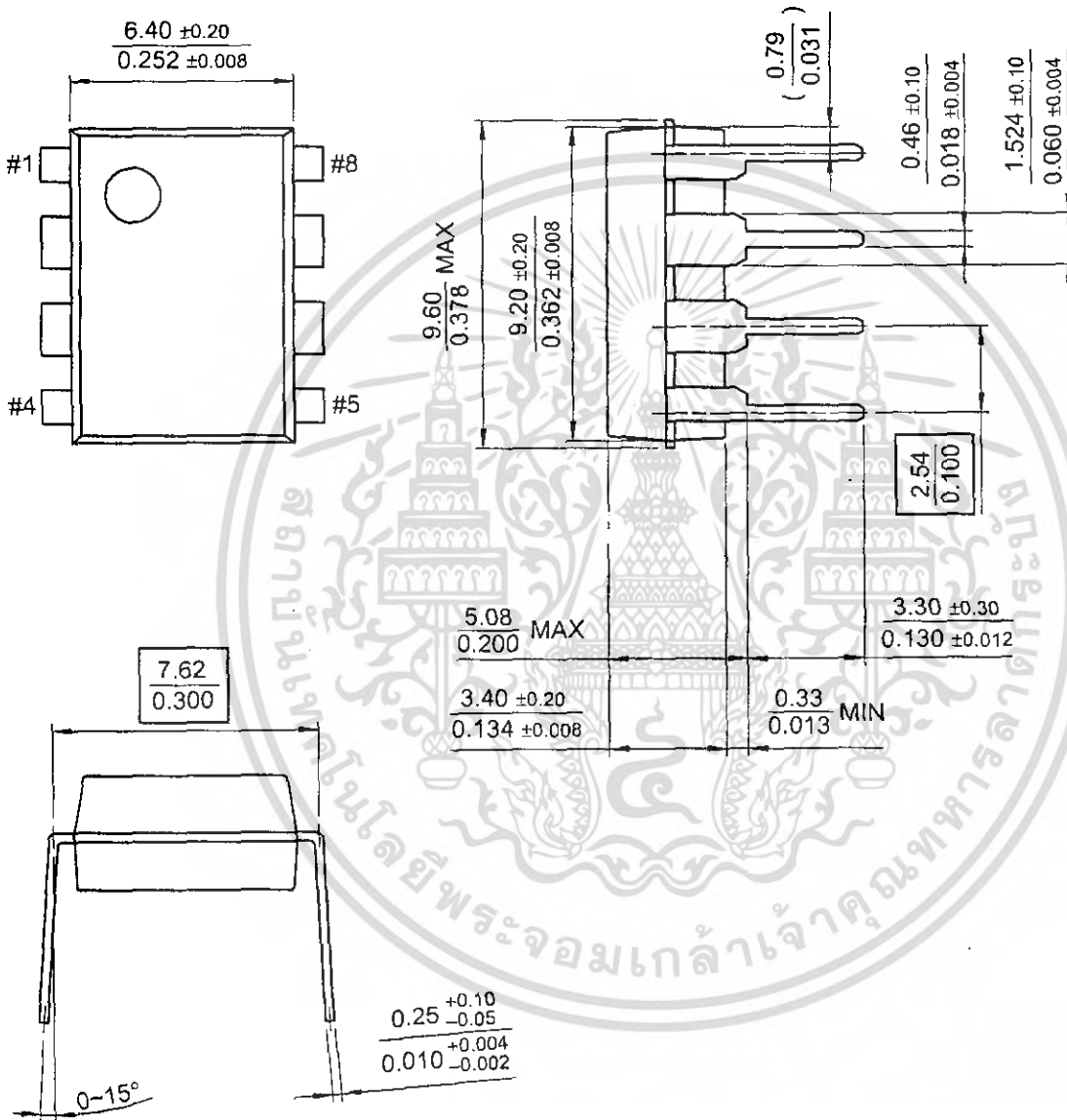
Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage



Mechanical Dimensions

Package

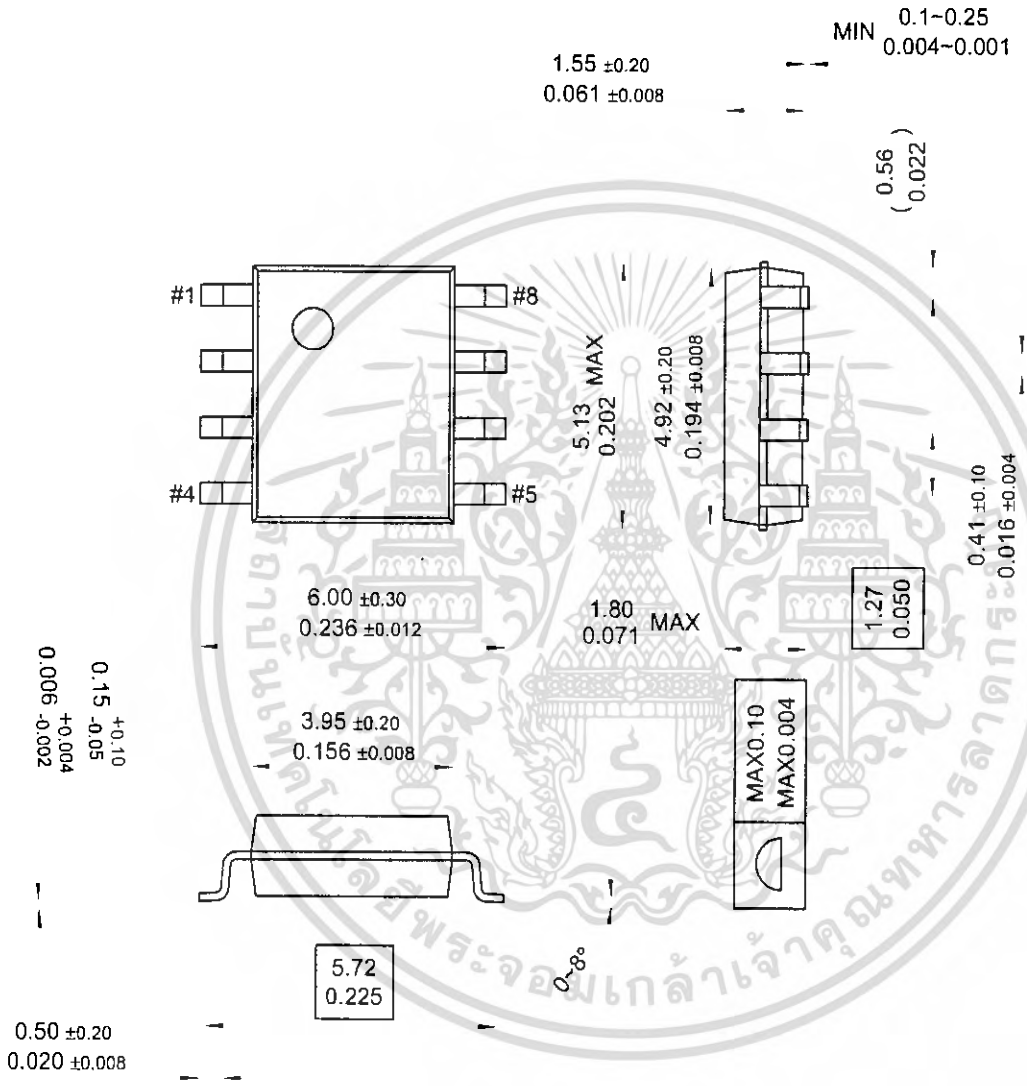
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



Ordering Information

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



DISCLAIMER

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

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



BTW67 and BTW69 Series

STANDARD

50A SCRs

MAIN FEATURES:

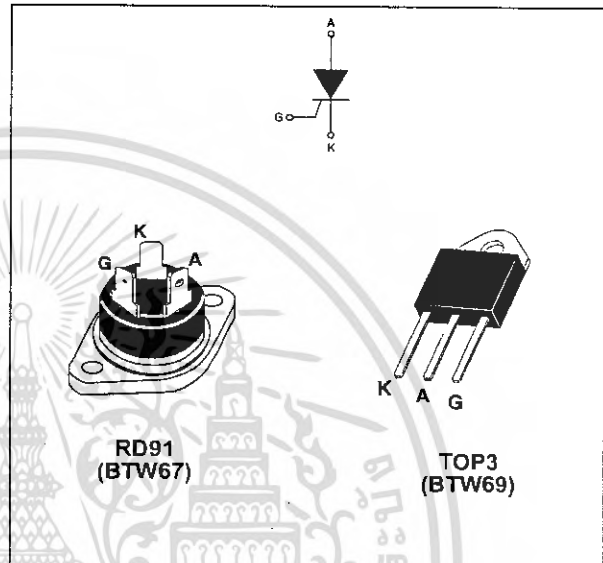
Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	50	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 to 1200	V
I_{GT}	80	mA

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 A^2s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100 \text{ ns}$	$F = 60 \text{ Hz}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	50 $\text{A}/\mu\text{s}$
I_{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

BTW67 and BTW69 Series

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

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
I _{GT}	V _D = 12 V R _L = 33 Ω	MIN.	8	mA	
		MAX.	80		
V _{GT}		MAX.	1.3	V	
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ	T _j = 125°C	MIN.	0.2	V
I _H	I _T = 500 mA Gate open		MAX.	150	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}		MAX.	200	mA
dV/dt	V _D = 67 % V _{DRM} Gate open	T _j = 125°C	MIN.	1000	V/μs
V _{TM}	I _{TM} = 100 A t _p = 380 μs	T _j = 25°C	MAX.	1.9	V
V _{t0}	Threshold voltage	T _j = 125°C	MAX.	1.0	V
R _d	Dynamic resistance	T _j = 125°C	MAX.	8.5	mΩ
I _{DRM} I _{RRM}	V _{DRM} = V _{RRM}	T _j = 25°C	MAX.	10	μA
		T _j = 125°C		5	mA

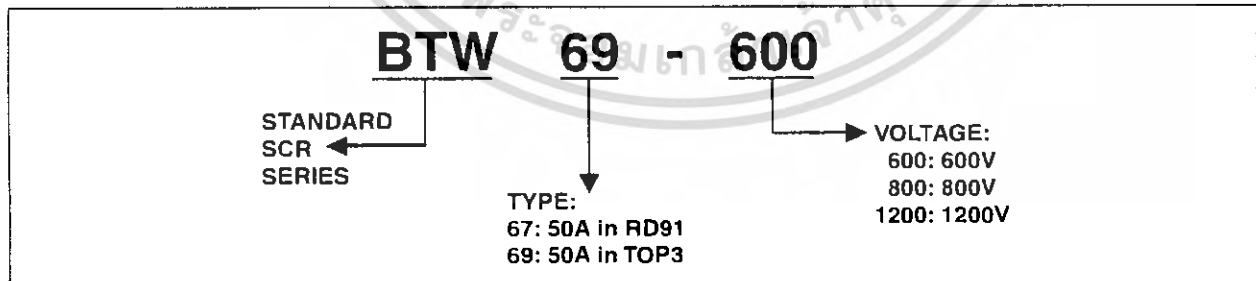
THERMAL RESISTANCES

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

PRODUCT SELECTOR

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

ORDERING INFORMATION



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.

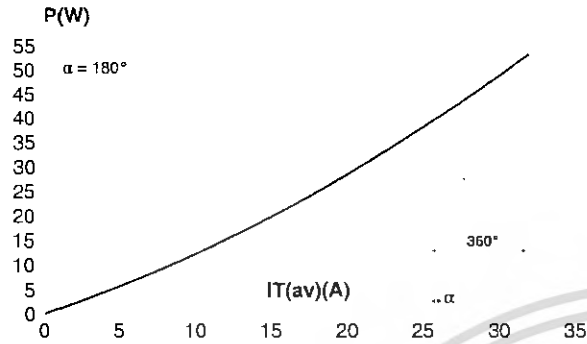


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.

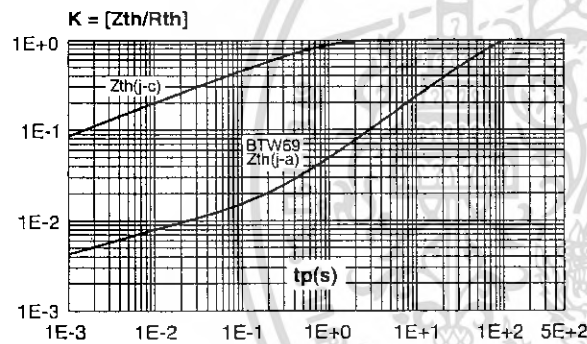


Fig. 5: Surge peak on-state current versus number of cycles.

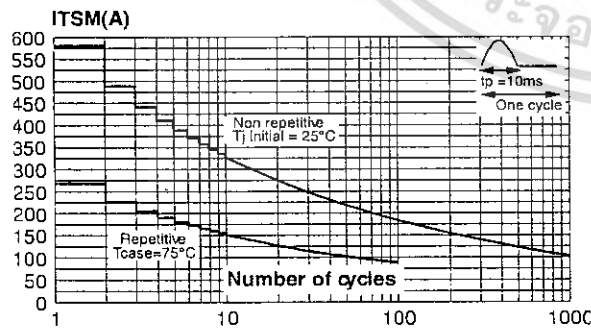


Fig. 2: Average and D.C. on-state current versus case temperature.

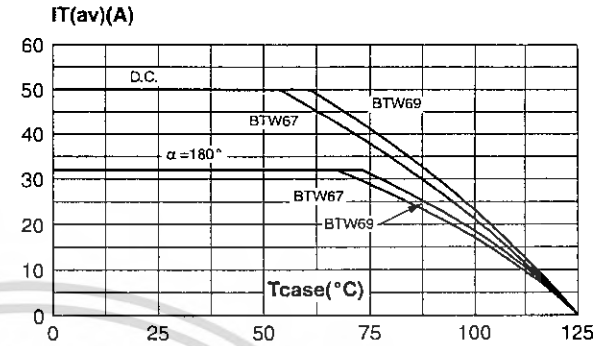


Fig. 4: Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature.

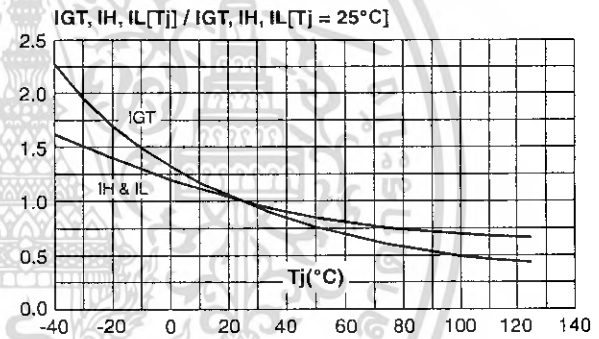
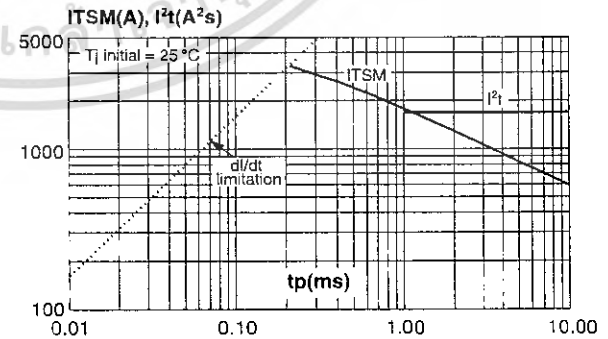
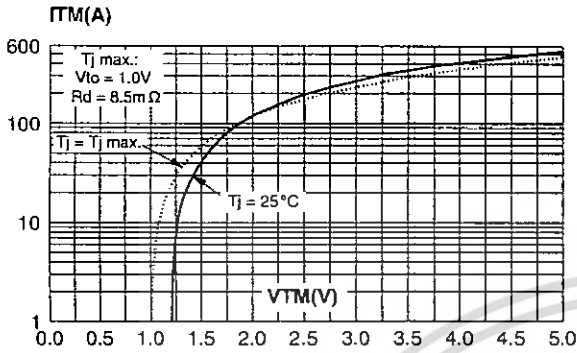


Fig. 6: Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width tp < 10ms, and corresponding value of I²t.



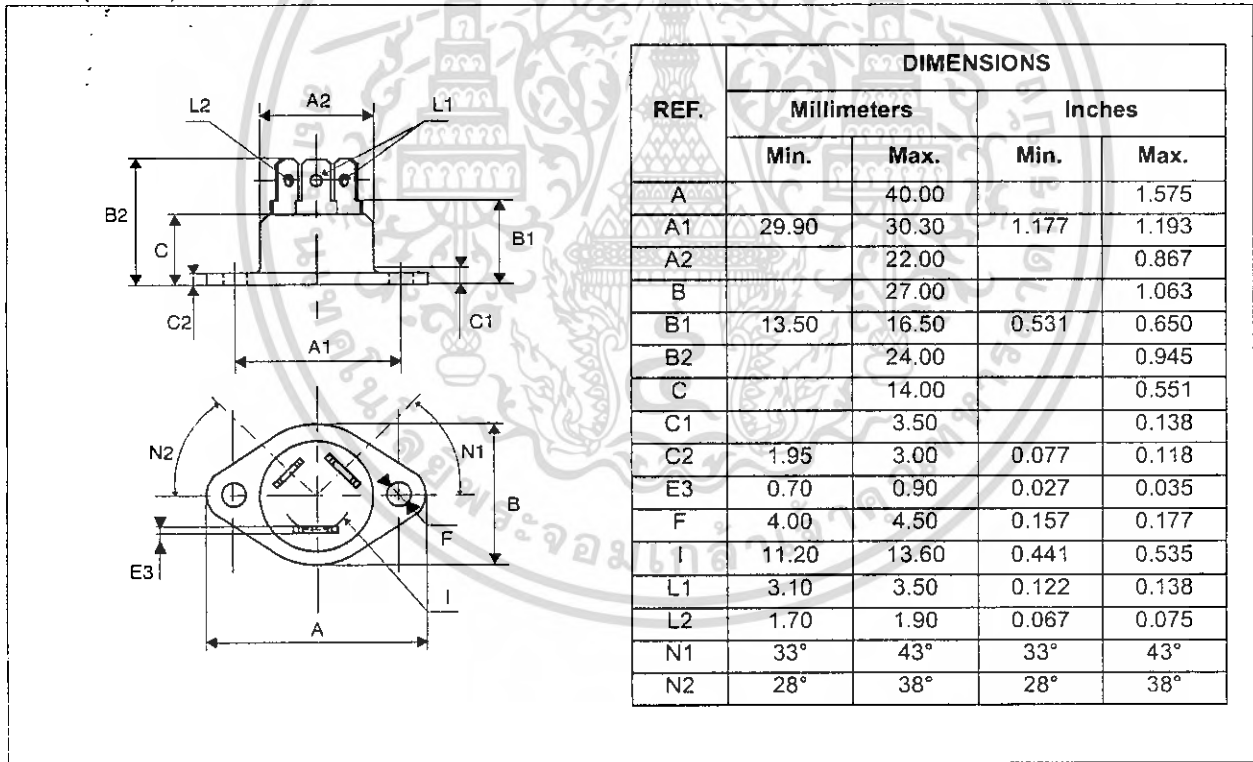
BTW67 and BTW69 Series

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



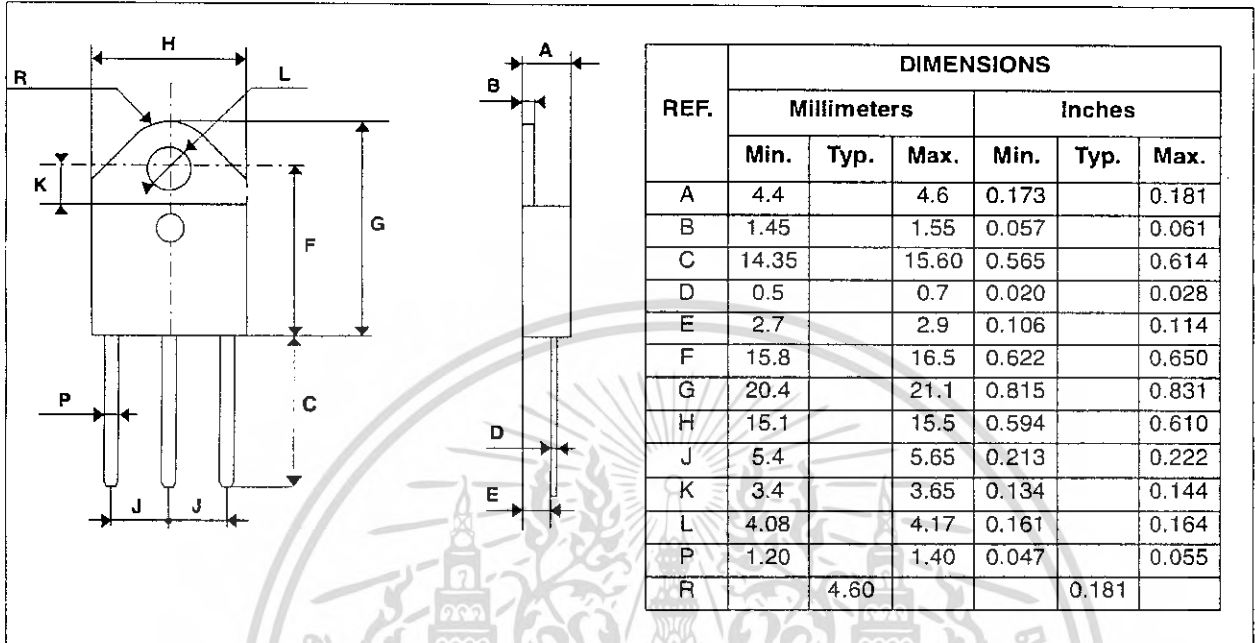
PACKAGE MECHANICAL DATA

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>



This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้