

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

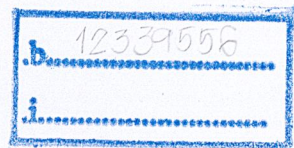
การควบคุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส
POWER FACTOR CONTROL FOR SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR



T117496



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117496
วัน,เดือน,ปี..... 5 ส.ค. 2554



ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2553

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การควบคุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส
POWER FACTOR CONTROL FOR SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR



โดย
นาย ชัย กังวานสุระ
นาย ธีรพล อังควาณิช
นาย ธีรภูมิ แสงเพชร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

ผศ.ดร. เฉลิมชาติ มานพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

ผู้จัดทำ

1. นาย ชัย กังวานสุระ
2. นาย ธีรพล อังควานิช
3. นาย ธีรภูมิ แสงเพชร



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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เณลิมาชาติ มานพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

นาย ชาย กังวานสุระ

นาย ณัฐพล อังควานิช

นาย ณัฐภูมิ แสงเพชร

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. เฉลิมชาติ มานพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอผลการควบคุมตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสขนาด $\frac{1}{4}$ แรงม้า, 220V, 50Hz โดยใช้เทคนิคการควบคุมเฟสในการปรับแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์เพื่อให้ได้เพาเวอร์แฟคเตอร์สูงสุดให้กับทุกโหลด โดยไม่สนใจความเร็วในการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟส ซึ่งจะใช้วิธีการเรียงกระแสในช่วงมุมเฟสต่างๆ โดยทำการสร้างชุดตรวจจับเพาเวอร์แฟคเตอร์เพื่อป้อนสัญญาณกลับมาที่ไอซีเบอร์ TCA-785 เพื่อส่งสัญญาณทรigger ไปขับขาเกตของไทรแอก โดยผ่านวงจรแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง เพื่อป้องกันความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าสูงของวงจรกำลัง ซึ่งวิธีการควบคุมนี้จะเป็นวิธีการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหนึ่งเฟสให้สามารถตอบสนองกับทุกการเปลี่ยนแปลงของภาระ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER FACTOR CONTROL FOR SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR

Chay Kangwansura

Nattapol Angkavanich

Nattapum Sangpet

Assoc.Prof.Dr.Vijit Kinnares Supervisor

Asst.Prof.Dr.Chalermchat Manop Supervisor

2010

ABSTRACT

This project proposes a power factor control method of a ¼ HP, 220V, 50Hz single phase induction motor, by using the “phase control” method, by changing voltage feeding to control maximum power factor in any load. TCA-785 is used for generating the pulse signal, fed to thyristor(Triac)’s gate by using the opto couple to isolate between control circuit and power circuit. This IC will prevent the damage from the high voltage in power circuit.

This method will control the single phase motor to response to a load change in order to save energy and can be applied to industrial applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณต่อความกรุณาที่ รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ และ ผศ.ดร. เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จ ลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ว่าที่ร้อยโท โกวิท ภูณลาด คุณสุชาติ คำลือ อาจารย์ วัฒน โยธิตา ผู้ให้คำปรึกษาภายในห้องโครงการ PMC ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ และผู้จัดทำต้องขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ(lab) ที่คอยเอาใจใส่คอยถามไถ่ตลอดเวลา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ให้ผู้จัดทำเรียนหนังสือจนจบในครั้งนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา III และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 ทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 1 เฟส.....	2
2.1.1 ทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวางของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	2
2.1.2 การเกิดแรงบิด (Production of Torque).....	3
2.2 ประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว.....	5
2.2.1 มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors).....	5
2.2.2 มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors).....	7
2.2.3 มอเตอร์คาปาซิเตอร์ (Capacitor Motors).....	10
2.2.4 มอเตอร์แบบบังขั้ว (Shaded-pole Motors).....	10
2.2.5 มอเตอร์แบบฮีสเทอรีซิส (Hysteresis Motors).....	13
2.2.6 มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์ (Reluctance-Start Motors).....	15
2.2.7 มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motors).....	16
2.3 คุณสมบัติ (Characteristics).....	17
2.4 Power Thyristor.....	19
2.4.1 ลักษณะรูปร่างของไทรสเตอร์กำลัง.....	20
2.4.2 หลักการทำงานของไทรสเตอร์.....	21
2.4.3 คุณสมบัติของไทรสเตอร์ (Thyristors Characteristics).....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 การหยุดทำงาน (Commutation)	23
2.4.5 Turn – off Time ของ SCR.....	27
2.4.6 การหากำลังสูญเสีย (Power Loss) ในไทรสเตอร์.....	28
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง.....	29
3.1 คุณสมบัติของออปแอมป์.....	29
3.2 วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ (Inverting Amplifier)	30
3.3 วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)	31
3.4 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier)	31
3.5 วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน (Voltage Follower ,Buffer).....	32
3.6 วงจรขยายผลต่าง (Difference Amplifier)	33
3.7 วงจรอินทิเกรต (Integrator)	33
3.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)	34
3.9 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	35
3.10 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)	36
3.11 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง.....	37
3.12 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	39
3.13 วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์.....	40
3.14 วงจรกำลัง.....	41
3.15 วงจรตรวจจับกระแส.....	41
3.16 วงจรตรวจจับแรงดัน.....	42
3.17 วงจรผลต่างและอินทิเกรต.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติผู้เขียน	หน้า
.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **VI** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงทิศทางของการเกิดของกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว..... 3
2.2	แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ..... 3
2.3	แสดงการไหลของฟลักซ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว..... 4
2.4	แสดงแรงบิดที่โรเตอร์..... 4
2.5	มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors) 5
2.6	มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors) 6
2.7	กระแสของมอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors) 6
2.8	คุณลักษณะแรงบิดความเร็ว (torque-speed characteristics) 7
2.9	มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors) 8
2.10	มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors) 8
2.11	กระแสของมอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors) 9
2.12	มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors) 9
2.13	มอเตอร์คาปาซิเตอร์ (Capacitor Motors) 10
2.14	มอเตอร์แบบบังขั้ว (Shaded-pole Motors) 11
2.15	ฟลักแม่เหล็กที่เกิดที่กระแสที่เวลาใดๆ..... 12
2.16	ฟลักแม่เหล็กที่เกิดที่กระแสที่เวลาใดๆ..... 12
2.17	ฟลักแม่เหล็กที่เกิดที่กระแสที่เวลาใดๆ..... 12
2.18	มอเตอร์แบบฮีสเทอรีซิส (Hysteresis Motors) 13
2.19	มอเตอร์แบบฮีสเทอรีซิส (Hysteresis Motors) 14
2.20	มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์..... 15
2.21	มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motors) 16
2.22	คุณลักษณะของแรงบิด – ความเร็ว (torque-speed characteristics) 17
2.23	แสดงคุณลักษณะความเร็วต่อกำลังขาออกของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด..... 18
2.24	แสดงคุณลักษณะประสิทธิภาพต่อกำลังขาออกของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด..... 18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 แสดงคุณลักษณะตัวประกอบกำลังต่อกำลังขาออก ของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด.....	19
2.26 โครงสร้างของไทรสเตอร์.....	19
2.27 แสดงสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์.....	20
2.28 แสดงแบบจำลองของไทรสเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์สองตัว.....	20
2.29 แสดงรูปร่างของไทรสเตอร์กำลังแบบสตัด.....	21
2.30 แสดงรูปร่างของไทรสเตอร์กำลังแบบดิสก์.....	21
2.31 แสดงการจัดไบแอสให้วงจรสมมูลของไทรสเตอร์.....	22
2.32 ลักษณะการไหลของกระแสในทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว.....	22
2.33 กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของไทรสเตอร์.....	23
2.34 รูปร่างการหยุดนำกระแสแบบธรรมชาติ.....	24
2.35 รูปคลื่นสัญญาณการหยุดนำกระแสแบบธรรมชาติ.....	24
2.36 หลักการการหยุดนำกระแสแบบบังคับ.....	25
2.37 แสดงตัวอย่างวงจรหยุดนำกระแสจริงแบบบีบบังคับ.....	26
2.38 แสดงการเก็บประจุของคาปาซิเตอร์.....	26
2.39 แสดง reverse recovery time.....	27
2.40 แสดงการเกิดกำลังสูญเสีย.....	28
3.1 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์.....	29
3.2 วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ.....	30
3.3 วงจรขยายรวมสัญญาณ.....	31
3.4 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ.....	31
3.5 วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน.....	32
3.6 วงจรขยายผลต่าง.....	33
3.7 วงจรอินทิเกรต.....	34
3.8 (a) Block Diagram แสดงลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	35
(b) สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	35
3.9 (a) ลักษณะของวงจรรองความถี่ต่ำ.....	35
(b) กราฟของการรองความถี่ต่ำผ่าน.....	35
3.10 (a) ลักษณะของวงจรรองความถี่สูง.....	36
(b) กราฟของการรองความถี่สูง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 (a) ลักษณะของวงจรรองความถี่เป็นช่วง.....	38
(b) กราฟของการกรองความถี่เป็นช่วง.....	38
3.12 แสดงการทำงานของหมุดของชุดอุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลัง.....	40
3.13 วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์.....	40
3.14 แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณแรงดันกระแสดตรง.....	41
3.15 วงจรกำลัง.....	41
3.16 วงจรตรวจจับกระแส.....	42
3.17 วงจรตรวจจับแรงดัน.....	42
3.18 วงจรผลต่างและวงจรมินิโมเดม.....	43
3.19 แสดงวงจรชุดตรวจจับเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	44
4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพาวเวอร์แฟกเตอร์ระหว่างแรงดันที่พิกัด และควบคุมแรงดันให้ได้ความเร็วที่พิกัด.....	46
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแรงดันที่พิกัด และควบคุมแรงดันให้ได้ความเร็วที่พิกัด.....	46
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพาวเวอร์แฟกเตอร์ด้วยวิธีต่างๆ.....	48
4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างที่แรงดันที่พิกัด และใช้วงจรควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์.....	48
4.5 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะสภาวะโหลดเบา.....	49
4.6 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะสภาวะโหลดหนัก.....	49
4.7 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 0.45 Kg.....	50
4.8 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 0.75 Kg.....	50
4.9 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 1.25 Kg.....	51
4.10 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 1.75 Kg.....	51
4.11 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 2.25 Kg.....	52
4.12 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 2.50 Kg.....	52
4.13 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะโหลด 2.75 Kg.....	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองจ่ายแรงดันที่พิกัด (220V)	45
4.2 ผลการทดลองควบคุมแรงดันให้ความเร็วคงที่ที่พิกัด (1450rpm)	45
4.3 ผลการทดลองควบคุมแรงดันให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ดีที่สุด.....	47
4.4 ผลการทดลองควบคุมแรงดันให้พาวเวอร์แฟกเตอร์คงที่ โดยใช้ชุดควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **X** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันนี้จะพบว่าในโรงงานอุตสาหกรรมแทบทุกแห่งจะต้องมีเครื่องจักรไฟฟ้าที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปพลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ นั่นก็คือ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลสำหรับพลังงานกลที่ได้นั้นจะนำไปใช้ในงานประเภทต่างๆขึ้นอยู่กับลักษณะของงานในแต่ละโรงงาน เช่น ใช้เป็นพัดลม, ปั๊มน้ำ, เครื่องบด, และเครื่องม้วน เป็นต้น เราเรียกลักษณะของงานที่ต้องใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในการเปลี่ยนรูปพลังงานว่า “ภาระของมอเตอร์” ซึ่งลักษณะงานแต่ละชนิดก็จะเป็นภาระที่ต่างกันของมอเตอร์ เช่น ภาระเบา ปานกลาง หรือหนัก อาจจะคงที่หรือเป็นช่วงระยะเวลาซึ่งเป็นคุณสมบัติของแต่ละงาน ซึ่งภาระของมอเตอร์นี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ กล่าวคือ เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ภาระเบาจะมีประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ เนื่องจากมอเตอร์เกิดการสูญเสียที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าหากโรงงานที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังให้กับภาระเบาเป็นจำนวนมากก็จะทำให้เกิดการสูญเสียที่สูงตามไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวด้วยวิธีการควบคุมเฟสเพื่อปรับแรงดันให้ได้ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ที่ดีในทุกโหลด

1.2.2 เพื่อแก้ไขปัญหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ต่ำที่ภาระโหลดน้อยๆ

1.2.3 เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการออกแบบ และสร้างชุดควบคุมตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนเฟส แบบ Capacitor Start ขนาด ¼ แรงม้า, 220V, 50Hz โดยใช้เทคนิคการควบคุมเฟสในการปรับแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์สูงสุดให้กับทุกโหลด

1.3.1 ศึกษาการทำงานของชุดควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

1.3.2 ศึกษาการทำงานของชุดควบคุม PI คอนโทรลเลอร์แบบอนาล็อก

1.3.3 ออกแบบและสร้างชุดควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

1.3.4 ศึกษาและทดลองการควบคุมและวงจรต่างๆที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโครงการนี้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสาร หรือติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ของโครงการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

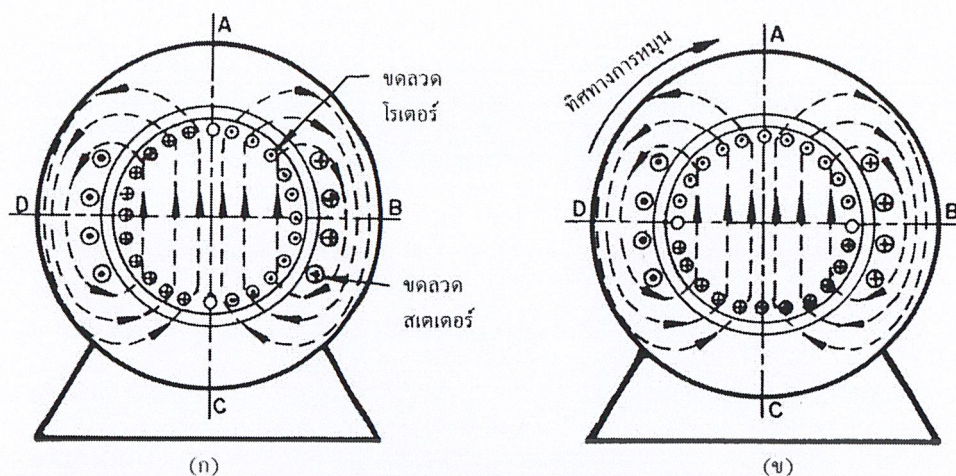
2.1 ทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 1 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบหนึ่งเฟสมีโครงสร้างคล้ายกับมอเตอร์ 3 เฟส แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่สเตเตอร์ของแบบ 1 เฟสมีการพันขดลวดในลักษณะแบบเฟสเดียว และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเพียง 1 เฟส ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์จึงไม่ใช่สนามแม่เหล็กที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโรตอร์เหมือนกับในกรณีของมอเตอร์ 2 เฟส หรือ 3 เฟสที่ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟส หรือ 3 เฟส จึงเป็นเหตุให้สนามแม่เหล็กที่เกิดการกลับไปกลับมาอยู่ที่สเตเตอร์นั้นไม่สามารถทำให้มอเตอร์เกิดแรงบิดและหมุนขึ้นได้ในขณะที่โรตอร์นั้นยังหยุดอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวมันเอง แต่จะหมุนได้ก็ต่อเมื่อโรตอร์ถูกทำให้หมุนด้วยกรรมวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งหมายถึงต้องทำให้เริ่มหมุนด้วยมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ ก่อน และเมื่อมอเตอร์ถูกช่วยทำให้หมุนไปทิศทางใดทิศทางหนึ่งก่อนแล้ว จะทำให้เกิดแรงบิดและอัตราเร่งขึ้นในโรตอร์นั้นจนกระทั่งได้ความเร็วเต็มพิกัดของมัน

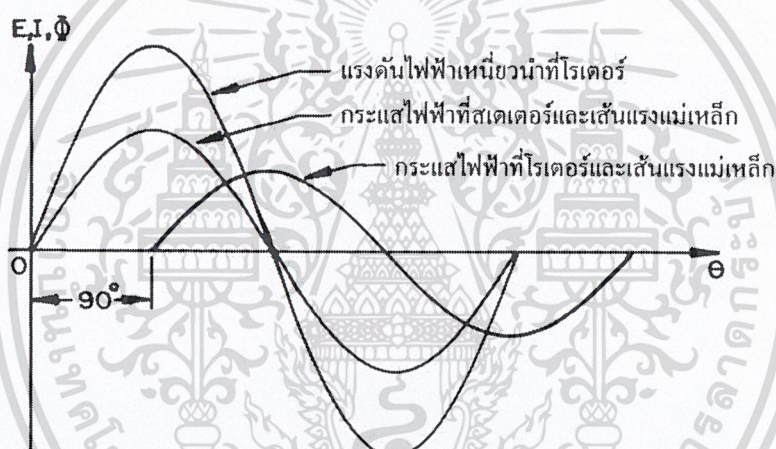
2.1.1 ทฤษฎีสสนามแม่เหล็กขวางของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส จากรูปที่ 2.1(ก) ถ้าโรตอร์อยู่ในสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในโรตอร์ (ลักษณะคล้ายกับกรณีของหม้อแปลงไฟฟ้า) พร้อมกับส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในโรตอร์และเกิดสนามแม่เหล็กในโรตอร์ โดยที่สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำนี้จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์และมีค่าเท่ากัน ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่โรตอร์นั้นคือโรตอร์จะไม่หมุน เนื่องจากการหักล้างกันระหว่างสนามแม่เหล็กที่ สเตเตอร์กับโรตอร์ ดังนั้นจึงไม่เกิดการหมุนหรือไม่เกิดแรงบิดเริ่มหมุนขึ้นในมอเตอร์ แต่แรงบิดจะเกิดขึ้นในโรตอร์และโรตอร์หมุนได้ โดยการที่ตัวนำในโรตอร์ตัดกับสนามแม่เหล็กซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น กระแสไฟฟ้าจะไหลอยู่ในแท่งตัวนำในโรตอร์ ถ้าตัวนำที่โรตอร์ถูกทำให้หมุนไปจากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B ซึ่งทำมุมฉากกับตำแหน่งเดิม ตัวนำโรตอร์จะเกิดการตัดผ่านสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ข) ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กก็จะแยกออกเป็น 2 ระบบคือต่างเฟสกันอยู่ 90 องศา และกระแสไฟฟ้าในสเตเตอร์และโรตอร์ก็จะมีเฟสที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วกระแสไฟฟ้าที่โรตอร์จะต่างเฟสกับกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์ เพราะเนื่องจากว่าที่โรตอร์นั้นความถี่เปลี่ยนแปลง โดยที่ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่โรตอร์จะขึ้นอยู่ กับความเร็วรอบของโรตอร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองนี้แสดงได้ดังรูปที่

2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



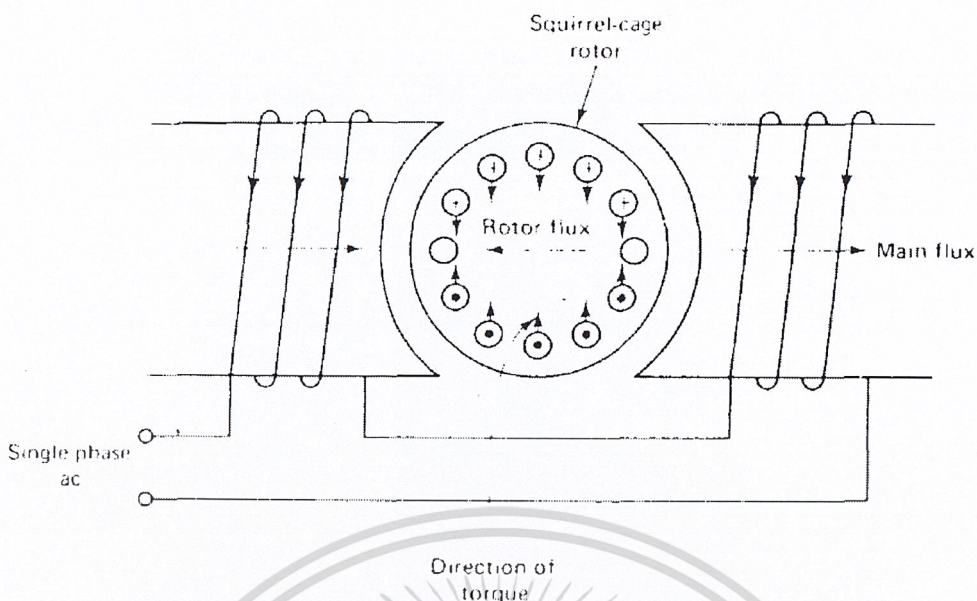
รูปที่ 2.1 แสดงทิศทางของการเกิดของกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว



รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.1.2 การเกิดแรงบิด (Production of Torque) จากการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์อินดักชัน 3 เฟส เราทราบว่าขดลวดสเตเตอร์ 3 เฟส จะสร้างสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนตัวตัดกับตัวนำของโรเตอร์ จึงเกิดการเหนี่ยวนำและแรงบิดทำให้ โรเตอร์หมุนไม่ได้อธิบายได้ดังนี้คือ

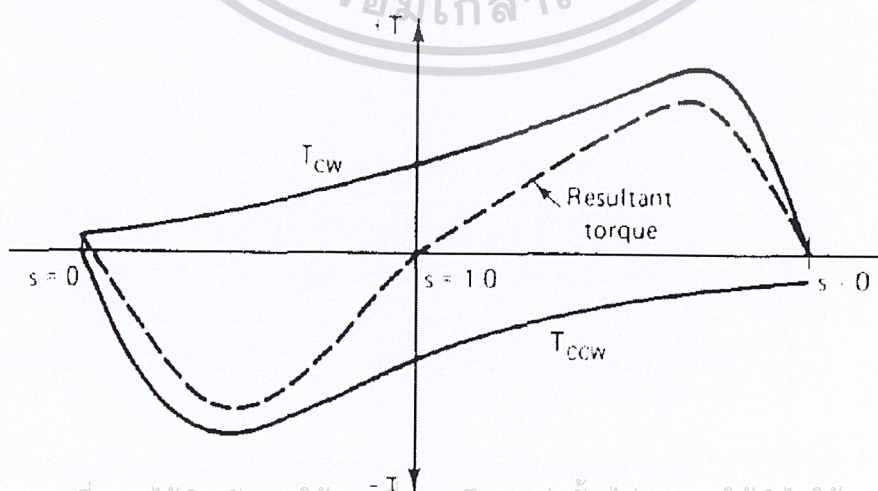
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของฟลักซ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

ลำดับแรกเราจะพิจารณาลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดสเตเตอร์เฟสเดียว กล่าวคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดสเตเตอร์ โดยสมมติว่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าดังกล่าวเป็นรูปคลื่นไซน์อย่างแท้จริง ฟลักซ์แม่เหล็กที่ไหลผ่านตัวนำของโรเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นไซน์ดังกล่าว

การเกิดรูปคลื่นสนามแม่เหล็กในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจะมีลักษณะย้อนกลับมาทุก ๆ ครึ่ง cycle ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์ ลักษณะเช่นนี้ฟลักซ์แม่เหล็กหลัก (main flux) จากขดลวดสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในแท่งตัวนำของโรเตอร์ ในขณะเดียวกัน กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัวนำโรเตอร์ (rotor flux) ด้านกับฟลักซ์แม่เหล็กหลัก ซึ่งเป็นไปตามกฎของเลนซ์ดังรูป 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 2.4 แสดงแรงบิดที่โรเตอร์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในโรเตอร์จะทำให้เกิดแรงบิดที่โรเตอร์ 2 ส่วน คือ แรงบิดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (T_{cw}) และแรงบิดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (T_{ccw}) ที่มีขนาดเท่ากัน (รูป 2.4) ลักษณะเช่นนี้โรเตอร์จะหยุดนิ่ง ($s=1$)

แม้ว่าแรงบิดที่เป็นผลลัพธ์ (resultant torque) ในสภาพหยุดนิ่งจะมีค่าเป็นศูนย์ ($T_{cw} = T_{ccw}$) แต่ถ้ามีแรงใดๆ กระทำต่อโรเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง แรงบิดนี้จะไม่เป็นศูนย์อีกต่อไป และมอเตอร์จะหมุนในทิศทางของแรงที่ทำให้เกิดการเริ่มต้นหมุนต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีความเร็วที่พิกัด

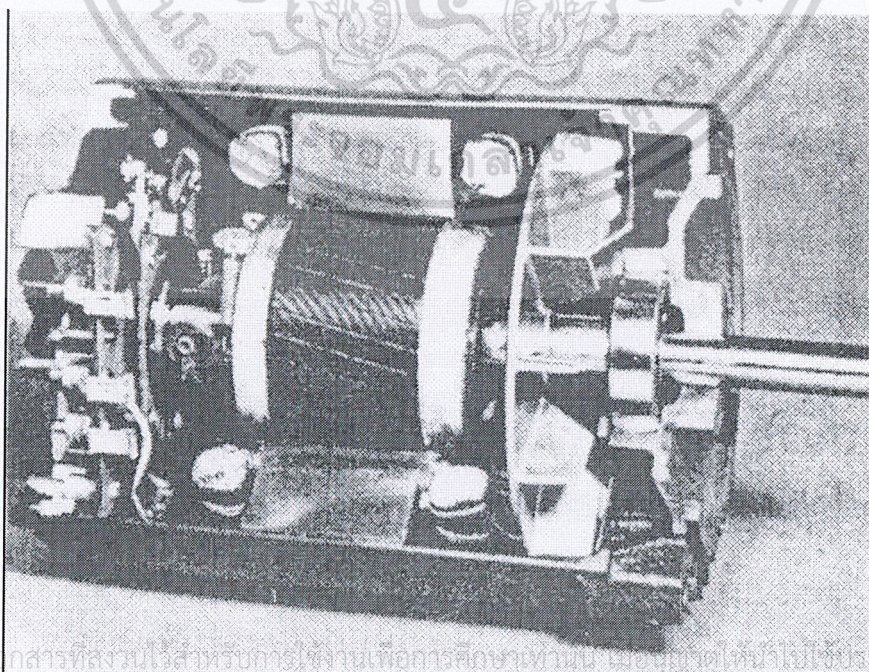
จากเหตุผลดังกล่าวนี้เราจึงมีวิธีการทำให้มอเตอร์เฟสเดียวเริ่มต้นหมุนได้ด้วยตัวเองหลายวิธีและแต่ละวิธีมักใช้เป็นชื่อเรียกมอเตอร์เหล่านั้น

2.2 ประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

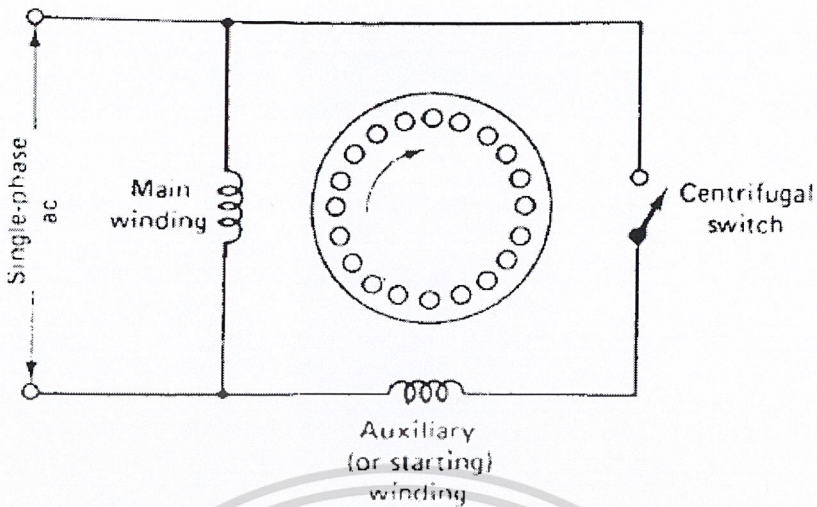
มอเตอร์เฟสเดียวแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มตามความแตกต่างทางด้านโครงสร้าง ดังนี้

1. มอเตอร์อินดักชันเฟสเดียว (single-phase induction motors)
2. มอเตอร์แบบบังขั้ว (shaded-pole motors)
3. มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (universal motors)
4. มอเตอร์แบบซิงโครนัสเฟสเดียว (single-phase synchronous motors)

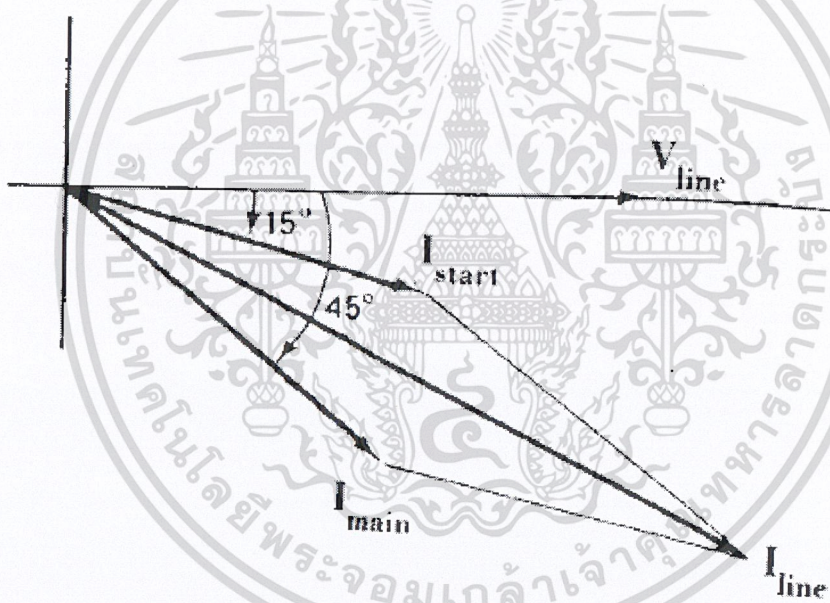
2.2.1 มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors) มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กันมาก เพราะนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้หลายชนิด เช่น ใช้กับตู้เย็น เครื่องซักผ้า พัดลม ฯลฯ ส่วนประกอบที่สำคัญ (รูป 2.5 และ 2.6) คือ ขดลวดช่วยหมุนหรือขดลวดเริ่มต้นหมุน (auxiliary winding or starting winding) วางตัวอยู่ในสล๊อตห่างจากขดลวดหลักหรือขดลวด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่รูปที่ 2.5 มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors) ครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors)



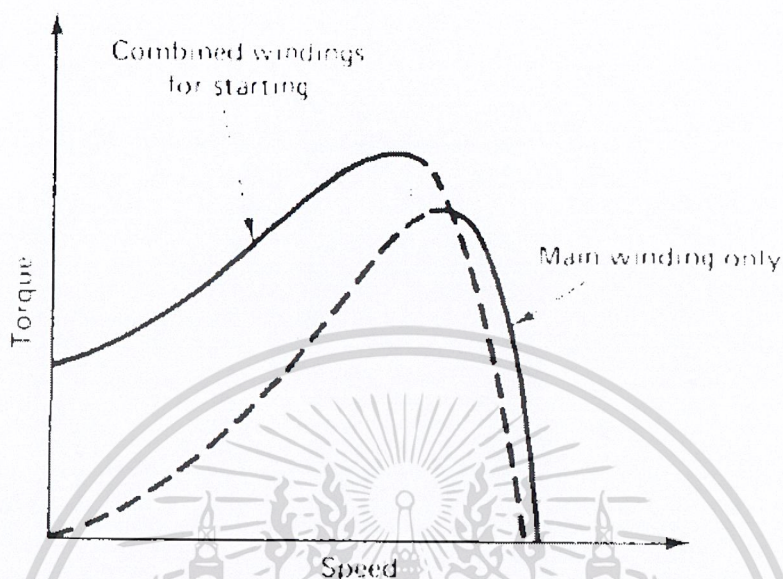
รูปที่ 2.7 กระแสของมอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-phase Induction Motors)

สำหรับหมุน (main winding or running winding) เป็นมุม 90 องศาไฟฟ้า ขดลวดเริ่มต้นหมุนจะมีความต้านทานสูงแต่มีรีลักแตนซ์ต่ำและมีขนาดเล็กกว่าขดลวดหลักซึ่งมีความต้านทานต่ำแต่มีค่ารีลักแตนซ์สูง

จากการวางตัวและขนาดของขดลวดทั้ง 2 ชุด ทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน (I_{start}) ล้าหลังแรงดันไฟฟ้าที่สาย (V_{line}) เป็นมุมไม่มากนัก แต่กระแสไฟฟ้าในขดลวดหลัก (I_{main}) จะล้าหลัง V_{line} มากกว่า I_{start} (รูป 2.7) ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนและเกิดการ เหนี่ยวนำที่โรเตอร์ โดย T_{cv} และ T_{ccv} มีค่าไม่เท่ากันอีกต่อไป มอเตอร์จึง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนไปได้ และถ้าสลับสายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดมอเตอร์ในสภาพปกติสนามแม่เหล็กจะหมุนกลับทิศทางทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางได้



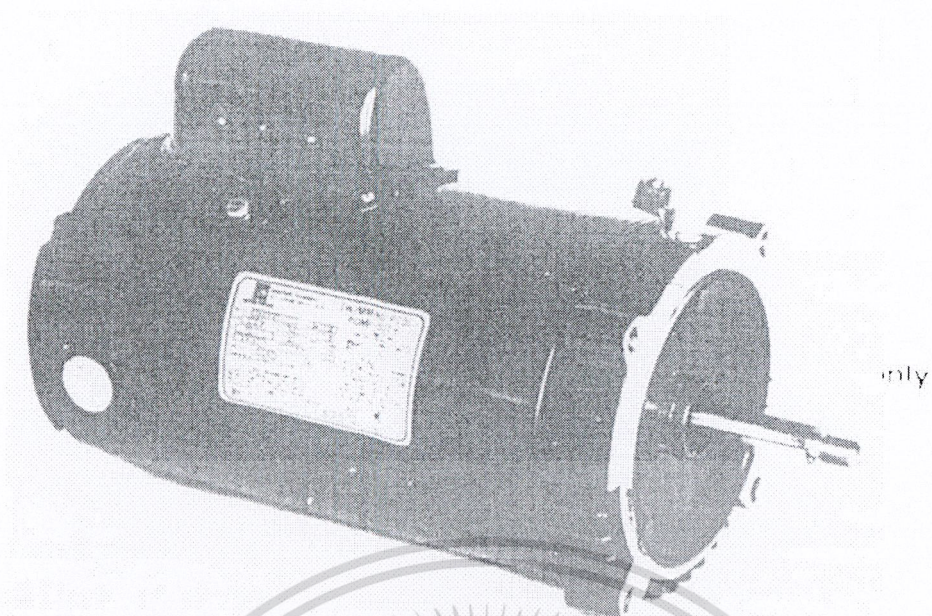
รูปที่ 2.8 คุณลักษณะแรงบิดความเร็ว (torque-speed characteristics)

เมื่อมอเตอร์มีความเร็วประมาณ 70-75% ของความเร็วซิงโครนัส สวิตช์หนีศูนย์กลาง (centrifugal switch) จะตัดวงจรขดลวดเริ่มต้นหมุนออก ณ ตำแหน่งนี้ มอเตอร์จะเหลือขดลวดหลักเพียงชุดเดียว (main winding only) แต่มอเตอร์จะสร้างแรงบิดได้ใกล้เคียงกับขณะมีขดลวดเริ่มต้นหมุนต่อรวมอยู่ด้วย (combined winding for starting) ซึ่งจะเห็นได้จาก curve ของคุณลักษณะแรงบิดความเร็ว (torque-speed characteristics) ของมอเตอร์ดังรูป 2.8

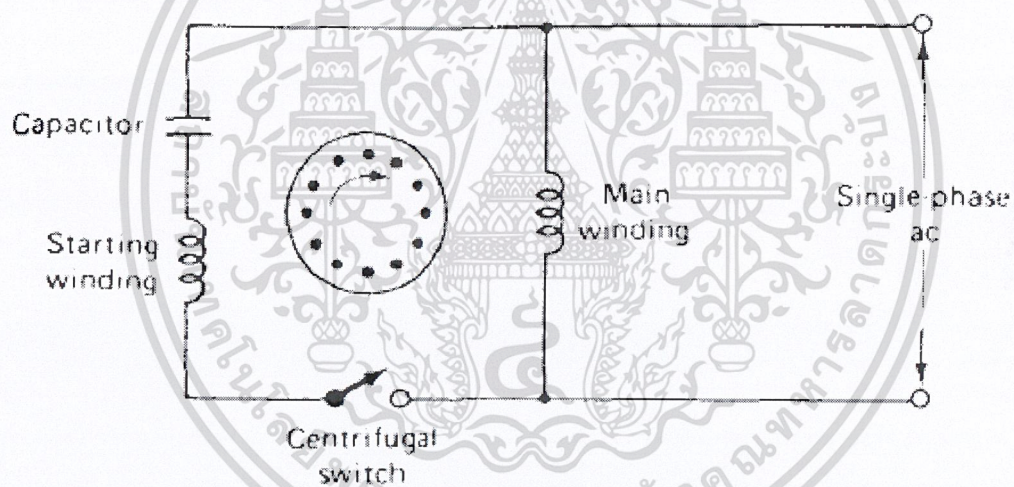
พึงระลึกไว้เสมอว่าขดลวดเริ่มต้นหมุนถูกออกแบบให้ใช้ในช่วงเริ่มต้นหมุนเท่านั้น ดังนั้นกรณีที่สวิตช์หนีศูนย์กลางเสีย และต่อวงจรขดลวดเริ่มต้นหมุนไว้ตลอดเวลา จะทำให้อุณหภูมิของมอเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในที่สุดขดลวดจะไหม้ได้

2.2.2 มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors) แรงบิดของมอเตอร์แบบแยกเฟสจะเป็นสัดส่วนกับฟลักแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็ก, กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโรเตอร์และมุมกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดหลักกับขดลวดเริ่มต้นหมุน ถ้าเราต่อคาปาซิเตอร์ขนาดเหมาะสมอนุกรมกับขดลวดเริ่มต้นหมุนจะทำให้ I_{start} นำหน้าแรงดันไฟฟ้าที่สายเกือบ 90 องศา (รูป 2.11) ก็จะได้มอเตอร์ตัวใหม่มีแรงบิดเริ่มต้นสูงกว่ามอเตอร์แบบแยกเฟสที่ไม่มีค่าคาปาซิเตอร์ต่ออยู่ เราเรียกมอเตอร์ประเภทนี้ว่ามอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูป 2.9 และรูป 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

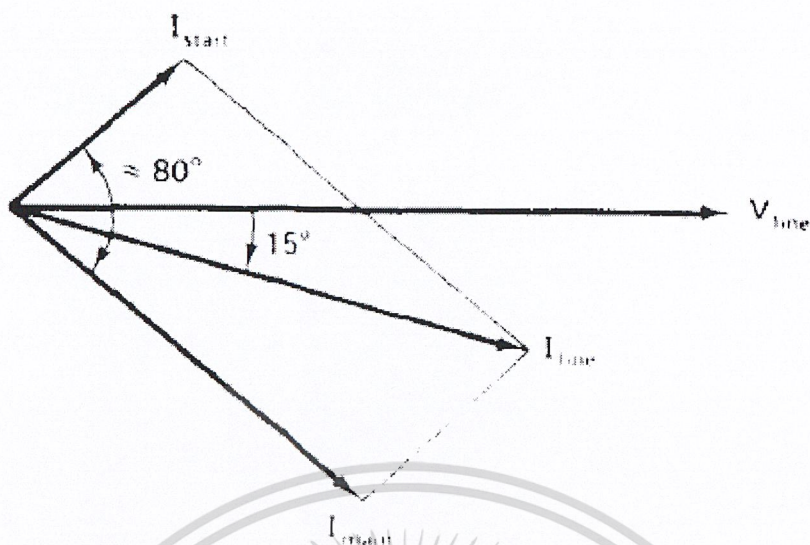


รูปที่ 2.9 มอเตอร์แบบเริ่มตันหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors)



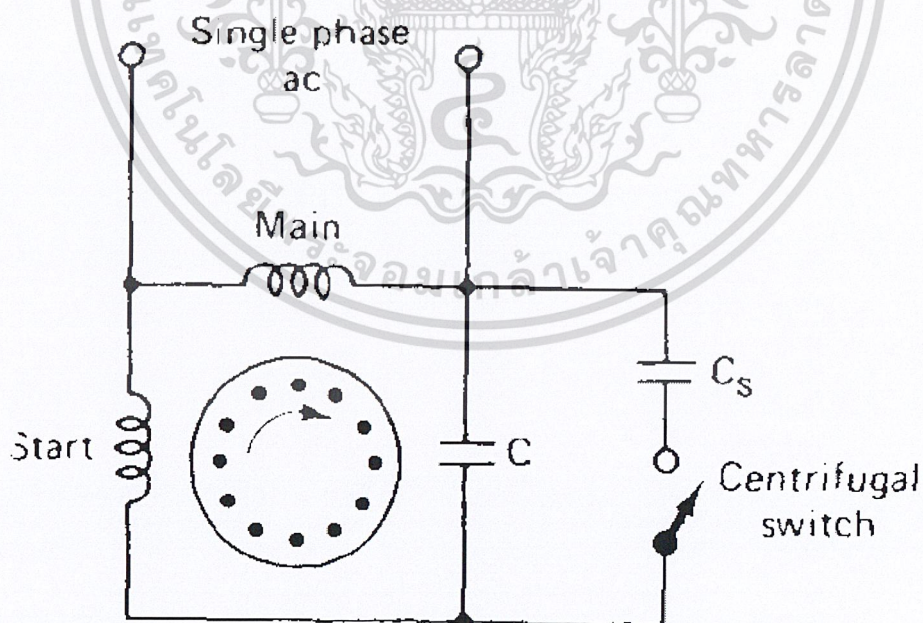
รูปที่ 2.10 มอเตอร์แบบเริ่มตันหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กระแสของมอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors)

มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์มีวิธีกลับทิศทางการหมุนเหมือนกับมอเตอร์แยกเฟส

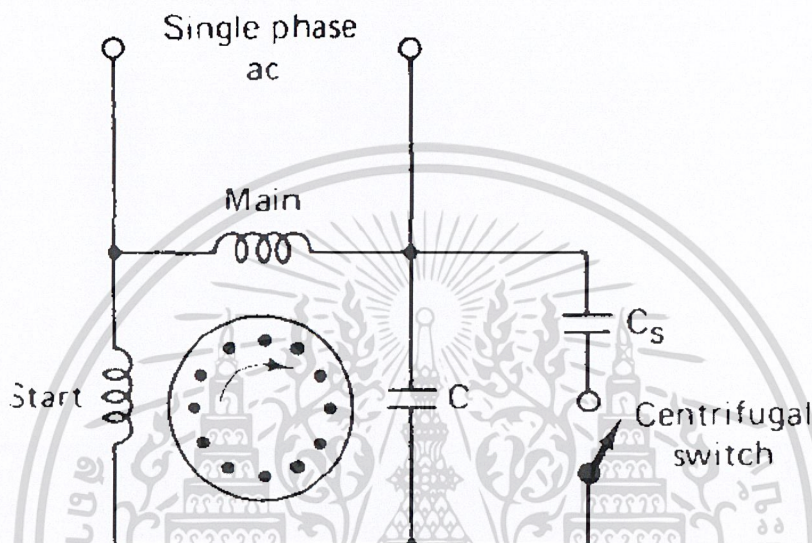


รูปที่ 2.12 มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Start Motors)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบรูป 2.8 กับรูป 2.12 จะเห็นว่ามอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูงกว่าและเนื่องจากกลับทิศทางการหมุนได้จึงนิยมใช้ในเครื่องซักผ้า, เครื่องเป่าอากาศ, เครื่องเป่าผม, ปัม และคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น

2.2.3 มอเตอร์คาปาซิเตอร์ (Capacitor Motors) แม้ว่ามอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยคาปาซิเตอร์จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูงกว่ามอเตอร์แบบแยกเฟสซึ่งไม่มีคาปาซิเตอร์ แต่ก็มีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำกว่ามอเตอร์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 มอเตอร์คาปาซิเตอร์ (Capacitor Motors)

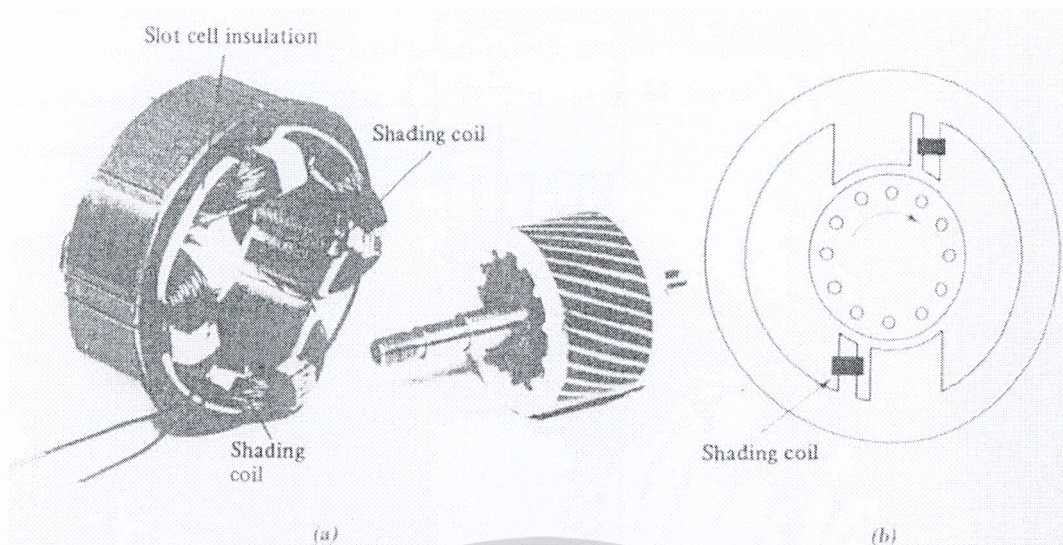
มอเตอร์คาปาซิเตอร์จะมีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่ในวงจรขณะเริ่มต้นหมุน 2 ตัว คือ คาปาซิเตอร์สำหรับเริ่มต้นหมุนเท่านั้น (C_s) กับคาปาซิเตอร์ที่ใช้ทั้งขณะเริ่มต้นหมุนและขณะหมุน (C) ดังรูป 2.13 (โดย C_s จะมีความจุประมาณ 3 เท่าของ C) เมื่อความเร็วของมอเตอร์ถึงประมาณ 75% ของความเร็วซิงโครนัส สวิตช์หนีศูนย์กลางจะตัด C_s ออกให้เหลือเพียง C ต่อกับวงจรเท่านั้น เราจะได้มอเตอร์แบบแยกเฟสที่มีแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูงทำให้ค่า power factor สูงและหมุนได้เร็วซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายประเภท เช่น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

และถ้าสลับสายไฟฟ้าที่เข้าสู่ขดลวดของมอเตอร์ในสภาพปกติ ทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ ทางตรงกันข้ามเช่นเดียวกับมอเตอร์แบบแยกเฟส

2.2.4 มอเตอร์แบบบังขั้ว (Shaded-pole Motors) การหมุนของโรเตอร์ในมอเตอร์อินดักชันประเภทต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วเกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนของขดลวดสเตเตอร์ 2 ชุด แต่การหมุนของโรเตอร์ในมอเตอร์แบบบังขั้วเกิดจากการเลื่อนตัวของฟลักแม่เหล็ก

รวมที่บริเวณด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กเพื่อไปเหนี่ยวนำโรเตอร์ให้หมุนไปได้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

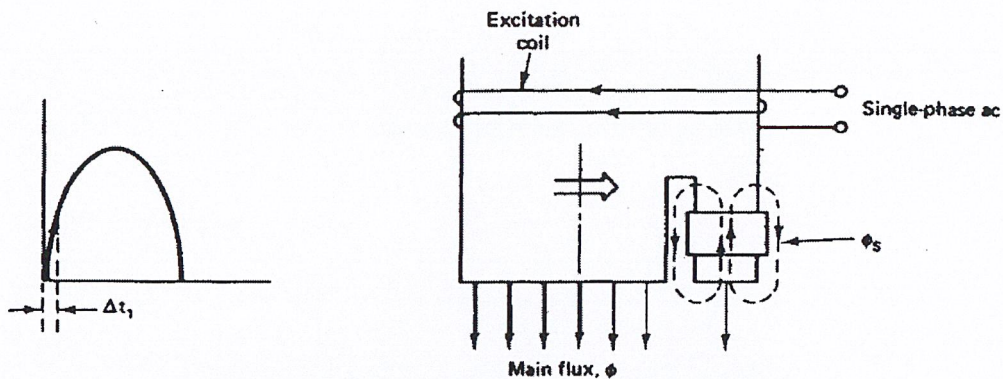


รูปที่ 2.14 มอเตอร์แบบบังขั้ว (Shaded-pole Motors)

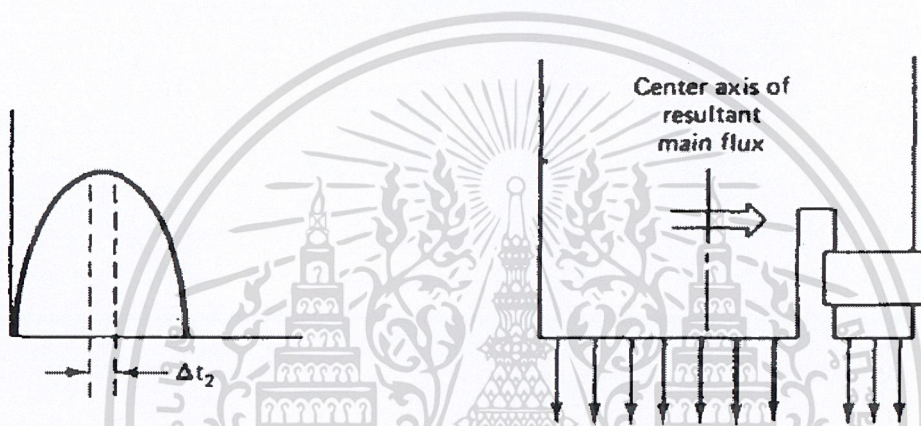
รูป 2.14 แสดงภาพมอเตอร์แบบบังขั้ว จะเห็นได้ว่าขั้วแม่เหล็กถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่เล็กกว่าจะถูกล้อมรอบและลัดวงจรด้วยขดลวดทองแดง ซึ่งเรียกว่า ขดลวดบังขั้ว (shading coil) ส่วนของขั้วแม่เหล็กที่ถูกลัดวงจรด้วย shading coil เราเรียกว่าส่วนของขั้วที่ถูกบังไว้ (shading pole)

เมื่อขดลวดที่ทำให้เกิดการกระตุ้น (excitation coil) ได้รับความกระแสสลับ ตำแหน่งของ ฟลักซ์แม่เหล็กจะเลื่อนจากส่วนที่ไม่ได้บังขั้วมายังส่วนที่ถูกบังไว้ ดังนั้นจึงเกิดการเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ผลที่ได้คือ ทำให้โรเตอร์หมุนไปตามทิศทางการเคลื่อนตัวของฟลักซ์แม่เหล็กรวมนั้น

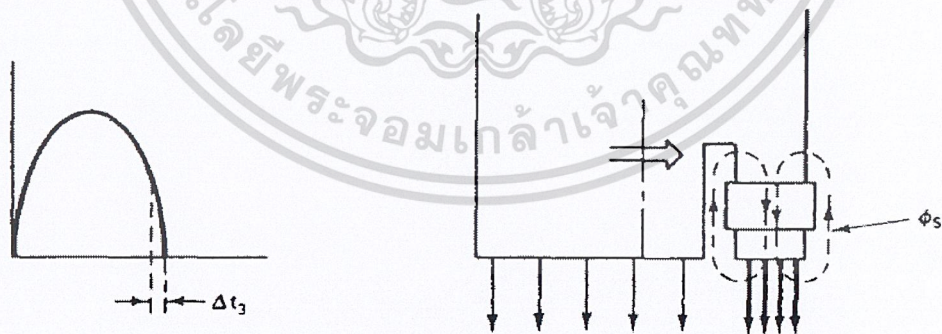
การเคลื่อนตัวของฟลักซ์แม่เหล็กรวมนอธิบายได้โดยการพิจารณารูปคลื่นด้านบวกของกระแส ไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดซึ่งพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็กที่เวลาชั่วขณะใด ๆ (รูป 2.15 - 2.17) ส่วนรูปคลื่นด้านลบจะแสดงผลเช่นเดียวกับรูปคลื่นด้านบวก แต่แสดงสภาพแม่เหล็กดังกล่าวเป็นขั้วได้ (เราจะอธิบายการ เคลื่อนตัวของฟลักซ์แม่เหล็กรวมเฉพาะขั้วเหนือเท่านั้น คือ พิจารณาที่รูปคลื่นด้านบวก)



รูปที่ 2.15 ฟลักแม่เหล็กที่เกิดที่กระแสที่เวลาใดๆ



รูปที่ 2.16 ฟลักแม่เหล็กที่เกิดที่กระแสที่เวลาใดๆ



รูปที่ 2.17 ฟลักแม่เหล็กที่เกิดที่กระแสที่เวลาใดๆ

จากรูป 2.15 - 2.17 เมื่อรูปคลื่นด้านบวกของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ excitation coil เริ่มเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปทางบวก (Δt_1) จะมีการสะสมฟลักแม่เหล็กที่บริเวณขั้วแม่เหล็กที่ไม่ได้ถูกบังขั้วไว้ (ϕ) ในทำนองเดียวกันฟลักแม่เหล็ก ϕ_s ในส่วนที่ถูกบังขั้วจะมีการสะสมไว้เช่นกัน การเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน มีอยู่ผู้ให้พิมพ์ใช้ซึ่งมีภาระงานการคำนวณที่ยุ่งยากและไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟลักแม่เหล็กดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ shading coil จากกฎของเลนซ์กล่าวว่าการเหนี่ยวนำนี้จะไหลในทิศทางต้านกับการเปลี่ยนแปลงของฟลักแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้านี้ขึ้นมา ดังนั้น ϕ_s ในส่วนที่ถูกบังขั้วจะถูกหน่วงจนมีผลให้เกิดการเลื่อนแนวของด้านซ้ายมือไม่ใช่บริเวณกึ่งกลางขั้ว)

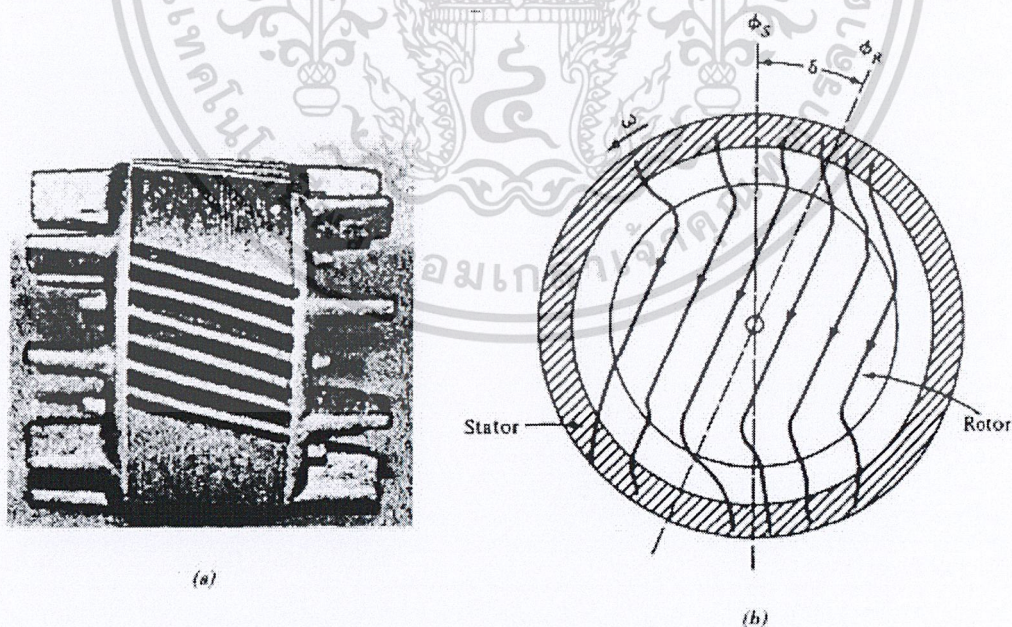
เมื่อรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าใน excitation coil เพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดที่ Δt_2 (รูป 2.16) ฟลักแม่เหล็กจะไม่มีเปลี่ยนแปลง จึงไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ shading coil ดังนั้น ϕ_s จึงไม่มีผลต่อ ϕ ผลที่เกิดขึ้น คือ แนวของฟลักแม่เหล็กที่เป็นผลลัพท์จะเลื่อนตัวมาอยู่ที่แนวศูนย์กลางของขั้ว (center axis of resultant main flux)

เมื่อนำรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าลดลงมาที่ Δt_3 (รูป 2.17) ค่า ϕ จะลดลง แต่กระแสไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำใน shading coil จะพยายามคงค่า ϕ ไว้ ผลของปฏิกิริยาดังกล่าว คือ ทำให้แนวของฟลักแม่เหล็กรวมเลื่อนไปสู่ศูนย์กลางขั้วของส่วนที่ถูกบังไว้

การเลื่อนแนวของฟลักแม่เหล็กที่เป็นผลลัพท์แต่ละตำแหน่งจะส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำในตัวขั้วของโรเตอร์ทำให้โรเตอร์หมุนได้ (ตามทิศทางแนวของฟลักแม่เหล็กที่เป็นผลลัพท์นั้น)

มอเตอร์แบบบังขั้วนี้จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำและมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก ส่วนใหญ่จะสร้างมอเตอร์เหล่านี้ให้มีขนาดระหว่าง 1/250 hp ถึง 1/20 hp เพื่อใช้กับงานที่ไม่ต้องคำนึงถึง ประสิทธิภาพของมอเตอร์ เช่น ของเด็กเล่น และพัดลมบางประเภท

2.2.5 มอเตอร์แบบฮีสเตอร์ซิส (Hysteresis Motors)



รูปที่ 2.18 มอเตอร์แบบฮีสเตอร์ซิส (Hysteresis Motors)

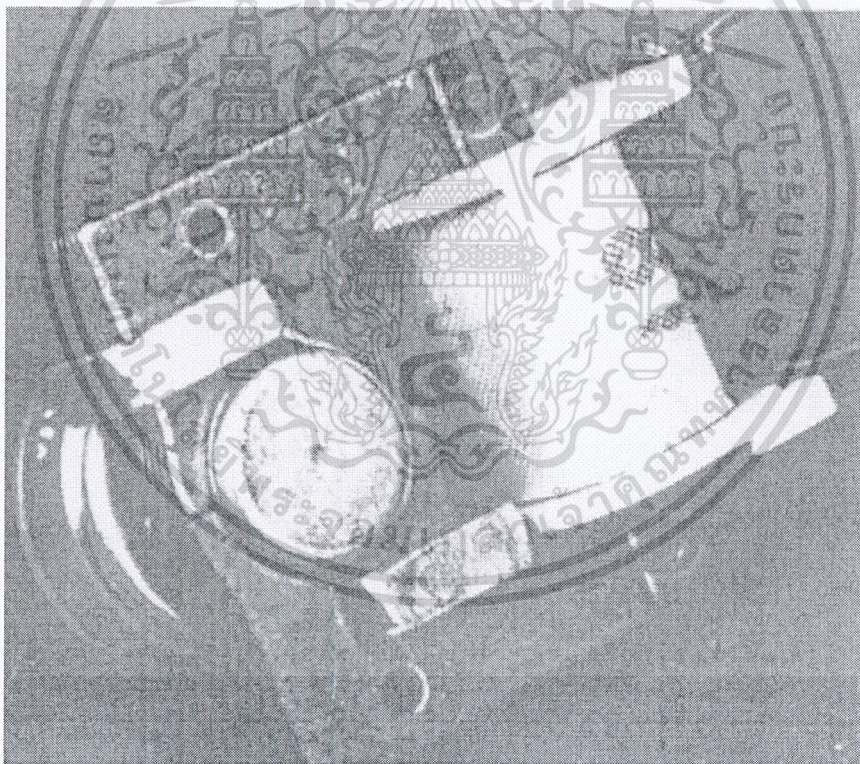
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์แบบฮีสเตอร์ซิสเป็นมอเตอร์ที่สร้างแรงบิดได้โดยอาศัยหลักการเกิดฮีสเตอร์ซิสในโลหะตัวนำแม่เหล็ก และหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส

โรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยวัสดุตัวนำแม่เหล็กชนิดพิเศษและส่วนที่เป็นฉนวนแม่เหล็กในที่นี้คือ อากาศดังรูป 2.18 และมีสเตเตอร์เช่นเดียวกับมอเตอร์แบบบั้งข้าว

จากหลักการของมอเตอร์แบบบั้งข้าว เราทราบว่า จะเกิดการเลื่อนแนวของฟลักแม่เหล็กที่เป็นผลลัพธ์เพื่อเหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอก ส่งผลให้มอเตอร์หมุนได้ และเมื่อนำหลักการดังกล่าวมาใช้กับโรเตอร์ของมอเตอร์แบบฮีสเตอร์ซิส จะเห็นได้ว่าขณะฟลักแม่เหล็กที่เป็นผลลัพธ์เคลื่อนตัวตัดกับโรเตอร์จะเกิดการเหนี่ยวนำและทำให้เกิดฮีสเตอร์ซิสขึ้นบริเวณวัสดุตัวนำแม่เหล็กจึงมีฟลักแม่เหล็กตกค้างที่โรเตอร์

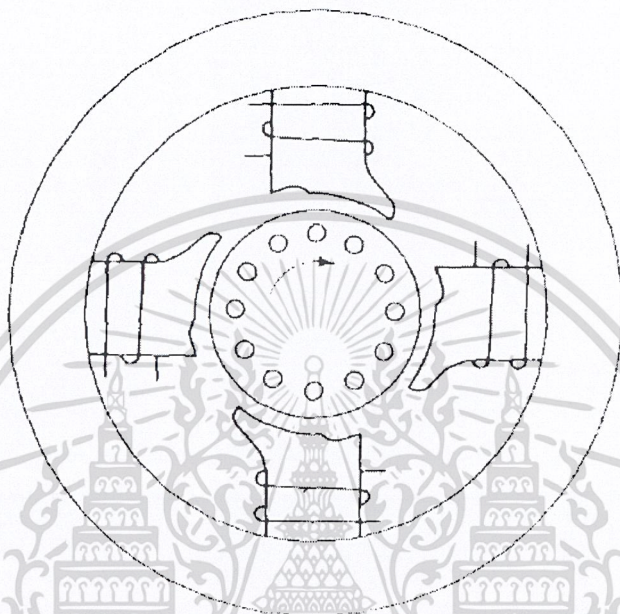
ปฏิกริยาของฟลักแม่เหล็กของทั้งสองส่วนนี้ทำให้ฟลักแม่เหล็กเหนี่ยวนำในโรเตอร์ (ϕ_R) และฟลักแม่เหล็กของสเตเตอร์ (ϕ_s) มีมุมต่างกันเป็นมุม δ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดที่มุมดังกล่าว ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นจึงขึ้นอยู่กับรูปร่างของ hysteresis loop ของวัสดุแต่ละชนิดให้เหมาะสม จึงจะได้มอเตอร์ที่มีความเร็วซิงโครนัสตามต้องการ $PI = V_S \times I_{AK}$



รูปที่ 2.19 มอเตอร์แบบฮีสเตอร์ซิส (Hysteresis Motors)

มอเตอร์ชนิดนี้จะมีอัตราเร่งสูง นั่นคือ จะเปลี่ยนจากสภาพหยุดอยู่กับที่เข้าสู่สภาพหมุนตามปกติได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นขณะเริ่มต้นหมุนจึงมีลักษณะนุ่มนวลและมีความเร็วคงที่ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเร็วคงที่ เช่น เป็นตัวขับเคลื่อนในนาฬิกาไฟฟ้า (รูป 2.19) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์ (Reluctance-Start Motors) รีลักแตนซ์ คือ ความต้านทานของสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์นี้มีหลักการคล้ายกับมอเตอร์ชนิดบั้งข้าว คือ อาศัยความไม่เท่ากันของค่ารีลักแตนซ์ ซึ่งเกิดจากขั้วแม่เหล็กที่มี air gap กว้างไม่เท่ากัน โรเตอร์จะหมุนจากส่วนที่มี air gap กว้างไปยังบริเวณที่แคบ



รูปที่ 2.20 มอเตอร์แบบเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์

มอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์มีรายละเอียดของโครงสร้างดังรูป 2.20 ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ 4 ขั้ว ที่ปลายขั้วมีลักษณะยื่นไม่เท่ากัน ดังนั้นความกว้างของ air gap จึงไม่เท่ากัน ช่วงที่มี air gap กว้างจะมีค่ารีลักแตนซ์มาก ส่วนบริเวณที่มี air gap แคบจะมีรีลักแตนซ์ต่ำ

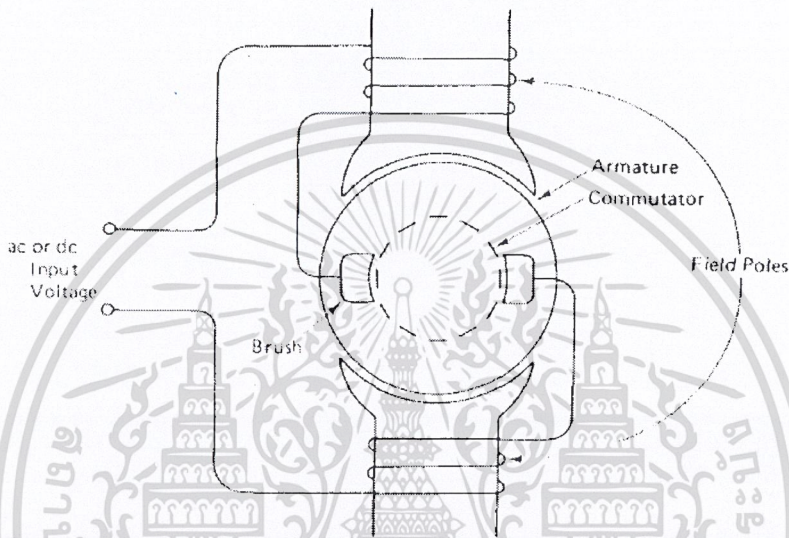
เมื่อขดลวดฟิวส์ได้รับการกระตุ้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะสร้างฟลักแม่เหล็กขึ้น 2 ส่วนที่มีลักษณะไม่ in phase กัน ในส่วนที่มีรีลักแตนซ์สูงจะสร้างฟลักแม่เหล็กที่ in phase กับกระแสไฟฟ้า ส่วนที่มีรีลักแตนซ์ต่ำจะสร้างฟลักแม่เหล็กล่าหลังแรงดันไฟฟ้าเกือบ ดังนั้นมอเตอร์จึงมีปฏิกิริยาคลายกับมีขดลวด 2 ชุด วางตัวอยู่ในสล็อตโดยมุมต่างเฟสกัน (เช่นเดียวกับมอเตอร์แบบแยกเฟส) และเป็นตัวการทำให้กระแสไฟฟ้ามุมต่างเฟสกันจึงสร้างสนามแม่เหล็กหมุนไปเหนี่ยวนำโรเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์จึงหมุนไปได้ 90 องศา

มอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยรีลักแตนซ์นำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนัก เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำมากและมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนประมาณ 50% ของแรงบิดสูงสุดซึ่งสูงกว่าแรงบิดขณะขับโหลดเต็มที่เพียงเล็กน้อย มอเตอร์นี้จะทำงานเมื่อความเร็วสลิบ (slip speed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าสูงและควบคุมความเร็วได้โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ มอเตอร์ชนิดนี้กลับทิศทางการหมุนไม่ได้ เนื่องจากสาเหตุหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว

2.2.7 มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motors) มอเตอร์ยูนิเวอร์แซลเป็นมอเตอร์เฟสเดียวที่ใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรงได้ การต่อขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดฟิลด์เหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมอเตอร์อนุกรม (Series motor) ดังรูป 2.21

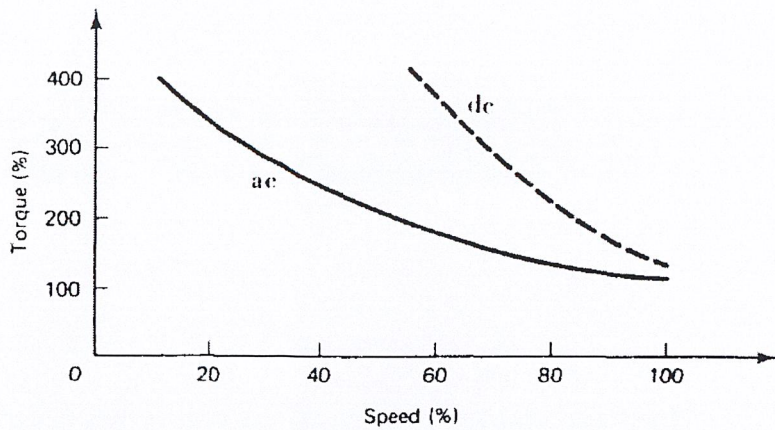


รูปที่ 2.21 มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motors)

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์และขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นค่าเดียวกัน เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีรูปคลื่นทั้งบวกและลบเข้าสู่ขดลวดทั้งสองจะทำให้เกิดแรงบิดและการหมุนในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

แม้ว่าแรงบิดที่เกิดจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (ac) จะมีทิศทางเดียวกัน แต่ขนาดรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าจะมีลักษณะเปลี่ยนไปมาเป็นช่วง ๆ ดังนั้นคุณลักษณะของแรงบิด – ความเร็ว (torque-speed characteristics) เมื่อเทียบกับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (dc) ให้กับขดลวดทั้งสองจึงแตกต่างกัน (รูป 2.22) ทั้งนี้เพราะขณะจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้ขดลวดฟิลด์จะทำให้เกิดค่ารีแอกแตนซ์ขึ้นและมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมค่ารีแอกแตนซ์ดังกล่าว ดังนั้นค่า power output จึงลดลงมากกว่า (รูป 2.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 คุณลักษณะของแรงบิด – ความเร็ว (torque-speed characteristics)

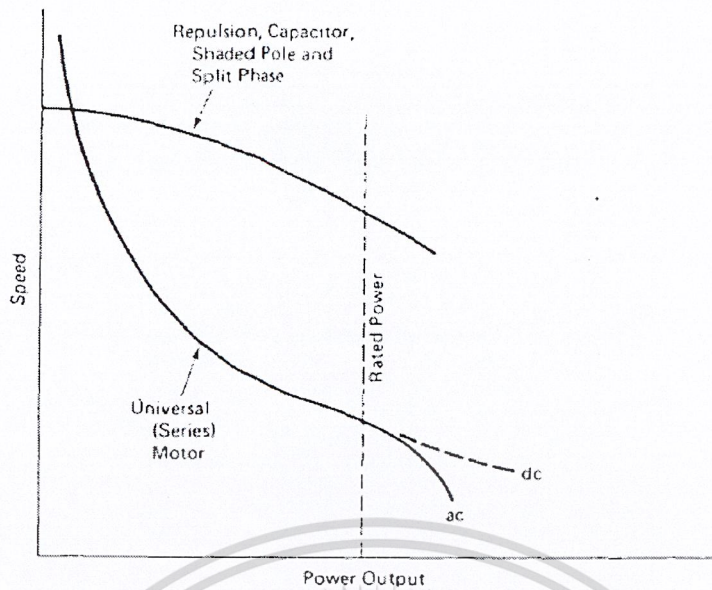
การที่ power output ลดลงนี้สามารถชดเชยได้โดยการพันอาร์เมเจอร์ให้ขดลวดมีจำนวนรอบมากขึ้น แต่การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ commutation ตามมา แต่ปัญหาดังกล่าวจะลดลงได้ถ้าเลือกวัสดุที่ใช้ทำแปรงถ่าน, ขนาดของแปรงถ่าน และแรงกดแปรงถ่านได้เหมาะสม

ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์ยูนิเวอร์แซลกับมอเตอร์อนุกรมแบบธรรมดา คือ มอเตอร์ยูนิเวอร์แซลจะมีความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กต่ำและมีความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่า ดังนั้นมอเตอร์ชนิดนี้จึงมีช่องว่างของ air gap แคบมาก ในขณะที่ขั้วแม่เหล็กจะมีพื้นที่หน้าตัดกว้างและสั้นกว่ามอเตอร์อนุกรมธรรมดา

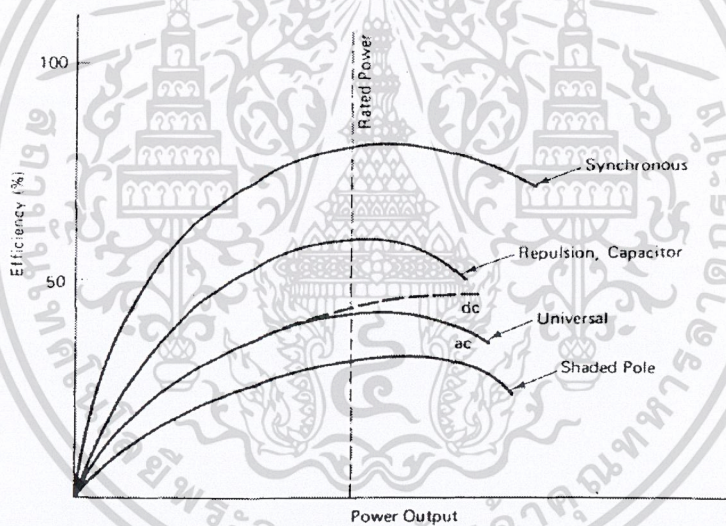
มอเตอร์ยูนิเวอร์แซลมักมีความเร็วอยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000 รอบ/นาที ความเร็วสูงเช่นนี้ไม่มีอันตรายแม้ไม่มีโหลดก็ตาม เพราะภายในมอเตอร์ติดตั้ง gear bar ป้องกันไม่ให้ความเร็วสูงเกินไปหรือต่อโหลดโดยตรงกับแกนของมอเตอร์ขณะเริ่มต้นหมุน เช่น เครื่องปั่นน้ำแข็ง หรือเครื่องบดอาหาร เป็นต้น ถ้าความเร็วของมอเตอร์สูงเกินไปลดให้ต่ำลงได้ โดยใช้เฟืองทดให้ความเร็วลดลงตามความต้องการของโหลด

2.3 คุณลักษณะ (Characteristics)

รูป 2.23 ถึง 2.25 แสดงคุณลักษณะแบบฉบับของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด curve ที่แสดงนี้ไม่ใช่ curve ที่ได้จากการคำนวณ แต่เป็น curve แสดงภาพคุณลักษณะเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของมอเตอร์ต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในบทนี้

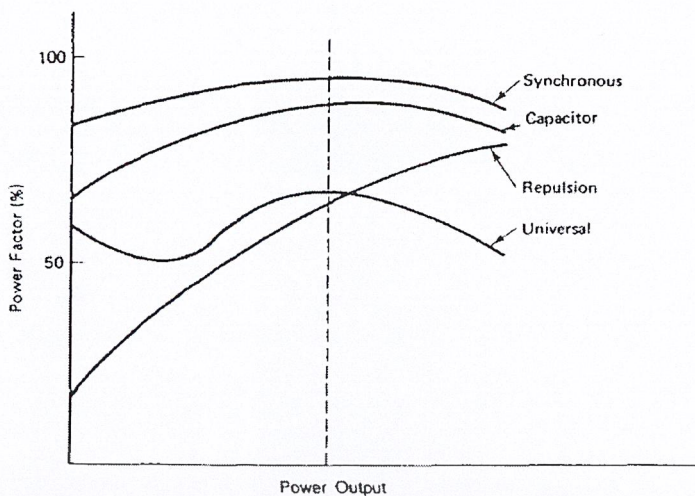


รูปที่ 2.23 แสดงคุณลักษณะความเร็วต่อกำลังขาออกของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด



รูปที่ 2.24 แสดงคุณลักษณะประสิทธิภาพต่อกำลังขาออกของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด

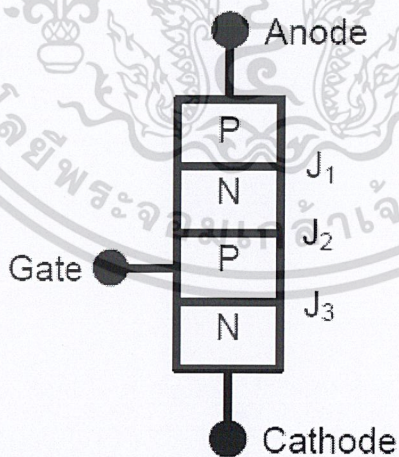
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงคุณลักษณะตัวประกอบกำลังต่อกำลังขาออกของมอเตอร์เฟสเดียวแต่ละชนิด

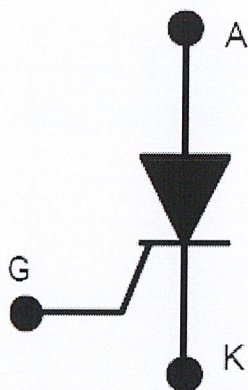
2.4 Power Thyristor

ไทรสเตอร์ประเภทเอสซีอาร์ (SCR: Silicon Controlled Rectifier) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้งานอย่างกว้างขวางในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น และมี 3 รอยต่อ และมีขาใช้งานอยู่ 3 ขา คือ แอโนด แคโทด และ เกต ดังแสดงในรูปที่ 2.26

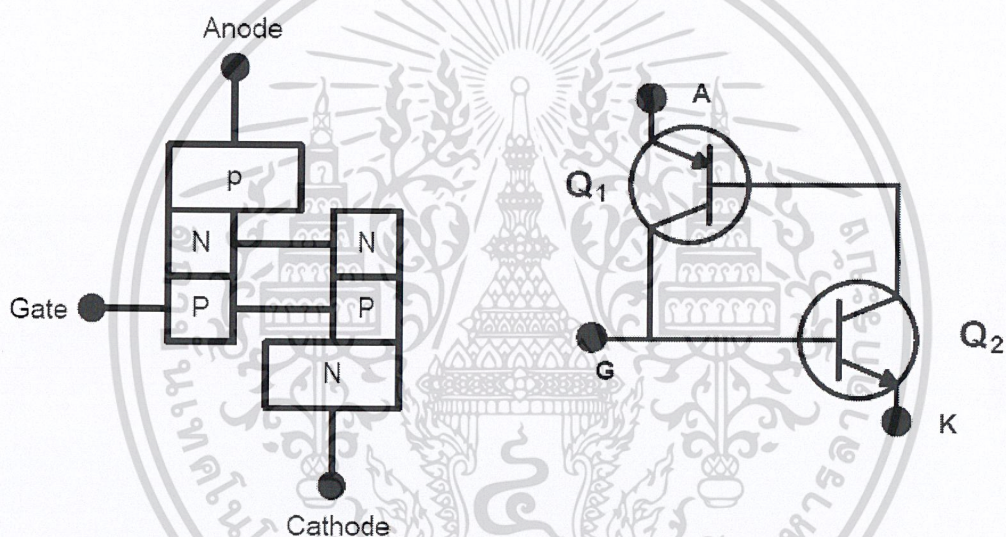


รูปที่ 2.26 โครงสร้างของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์



รูปที่ 2.28 แสดงแบบจำลองของไทรสเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์สองตัว

2.4.1 ลักษณะรูปร่างของไทรสเตอร์กำลัง ไทรสเตอร์ขนาดใหญ่แบบที่ใช้งานทั่วไป แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภทคือ แบบมีส่วนยื่นหรือแบบสตั๊ด (Stud Type) และแบบดิสก์ (Disk Type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(STR) 2N1913
TO-94, 110 amps, 200v.

รูปที่ 2.29 แสดงรูปร่างของไทรสเตอร์กำลังแบบสตัด



(STR) C358NX95
Westinghouse hockey puck SCR rated at 1,000 volts, 225
amps, 1/2" by 1-1/2". Also part number: T627081ES4DN.

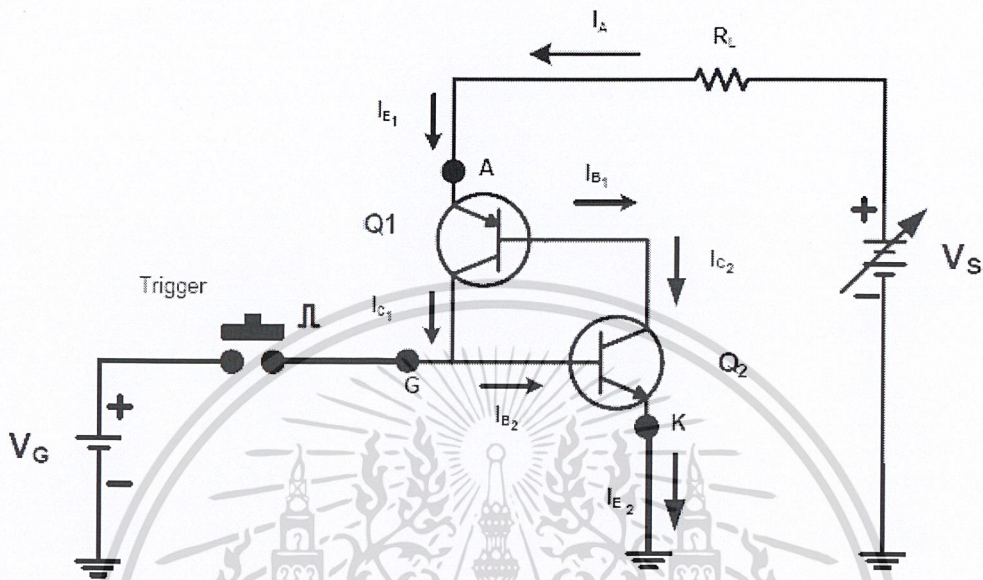
รูปที่ 2.30 แสดงรูปร่างของไทรสเตอร์กำลังแบบดิสก์

ในรูปที่ 2.29 - 2.30 จะแสดงรูปร่างของไทรสเตอร์กำลังแบบสตัดและแบบดิสก์ ลักษณะทั่วไปจะเหมือนกับไดโอดกำลังแต่จะมีขาเกทเส้นเล็กๆ สำหรับการกระตุ้นให้ไทรสเตอร์ทำงาน สำหรับตัวถังของไทรสเตอร์กำลังแบบสตัด บริเวณด้านล่างจะมีเกลียวสำหรับขันยึดติดกับแผ่นระบายความร้อน (Heat sink) ส่วนไทรสเตอร์แบบดิสก์นี้ระบายความร้อนด้วยการประกบแผ่นระบายความร้อนทั้งสองด้าน

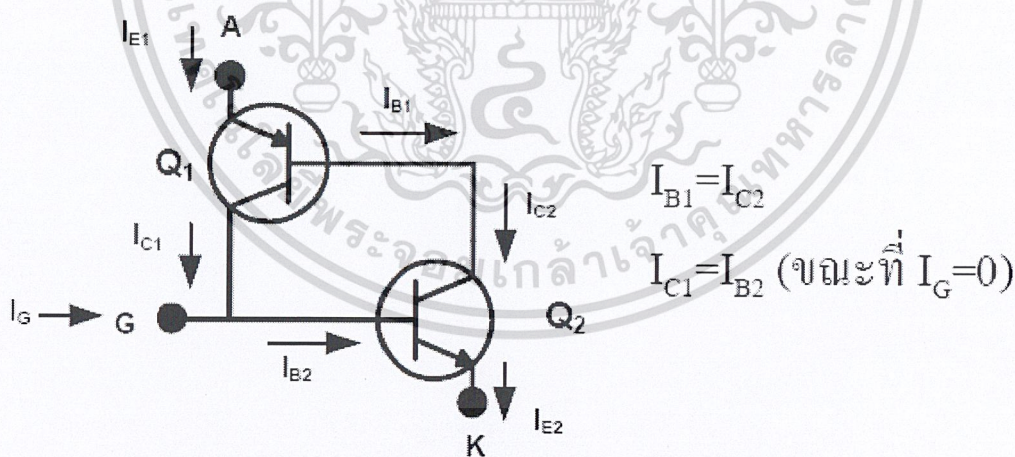
2.4.2 หลักการทำงานของไทรสเตอร์ การทำงานของไทรสเตอร์นี้เราสามารถจำลองการทำงานโดยใช้ ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ทำให้เข้าใจการทำงานของไทรสเตอร์ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ในวงจรสมมูลจะเป็นวงจรป้อนกลับแบบบวก ในสภาวะที่จ่ายไฟให้กับแอโนดและแคโทด เมื่อมีการกระตุ้นที่เกทด้วยไฟบวก Q2 จะได้รับการไบแอส ตรงที่ขาเบส กระแส I_{B2} ทำให้ Q2 นำกระแสเป็นผลทำให้ I_{c2} ไหล แต่ $I_{c2} = I_{B1}$ เมื่อ I_{B1} ไหลออก

จากขาเบสของ Q1 ทำให้ Q1 ได้รับไบแอสตรงที่ขาเบสทำให้ Q1 นำกระแส มีกระแส I_{EV} ไหลผ่านขาอิมิตเตอร์ไปยังขาคอลเล็กเตอร์ (I_{c1}) ของ Q1 กระแส I_{c1} จะไหลไป ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมกับกระแส I_G ที่นำมากกระตุ้น Q2 ให้นำกระแส ทำให้ I_{B2} ได้รับกระแสมากขึ้น ทำให้ Q2 นำกระแสมากขึ้นตาม และถ้าหยุดจ่ายกระแส I_G ให้กับ Q2 Q2 ก็สามารถนำกระแสได้จาก I_{C1} ทำให้ Q2 และ Q1 นำกระแสได้ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะหยุดจ่ายกระแส I_G



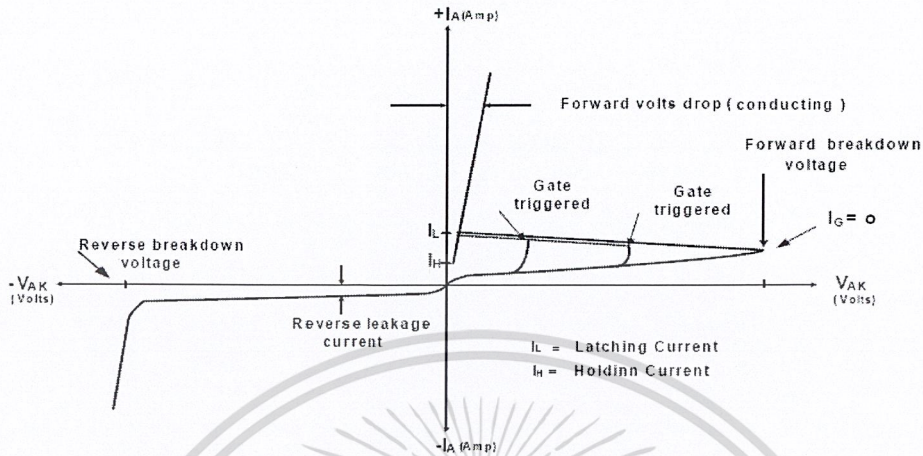
รูปที่ 2.31 แสดงการจัดไบแอสให้วงจรสมมูลของไทรสเตอร์



รูปที่ 2.32 ลักษณะการไหลของกระแสในทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว

2.4.3 คุณลักษณะของไทรสเตอร์ (Thyristors Characteristics) ไทรสเตอร์ประเภท เอสซีอาร์ จะทำงานเมื่อขาแอนโอดเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาแคโทดดังรูปที่ 2.31 โดยต้องมีการกระตุ้นขาเกตด้วยไฟบวกเท่านั้น ถ้าไม่มีการกระตุ้นที่ขาเกต ($I_G = 0$) ไทรสเตอร์จะไม่เอกสอรันนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำกระแส ถ้าเพิ่มแรงดันที่แอโนด (V_s) ขึ้นไปจนถึงจุดที่ไทรสเตอร์ทนไม่ได้ (Forward breakdown voltage) ไทรสเตอร์ก็อาจได้รับความเสียหายถ้าไม่มีวงจรมองกัน ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของไทรสเตอร์

การไบแอสกลับ (Reverse Bias) หรือจ่ายแรงดันเข้าที่ขั้วแอโนดเป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วแคโทด การทริกที่ขั้วเกตด้วยแรงดันบวกหรือลบ ไทรสเตอร์จะไม่นำกระแส จะมีแต่กระแสรั่วไหลเล็กๆ (Reverse leakage current) และถ้าเพิ่มแรงดันลบที่ขั้วแอโนดมากขึ้น จนถึงจุดที่ไทรสเตอร์ทนไม่ได้ (Reverse breakdown voltage) ไทรสเตอร์จะได้รับความเสียหาย

จากกราฟเมื่อมีแรงดันจุดชนวนที่เกต กระแสแอโนด (I_{AK}) ต่ำสุดที่ไทรสเตอร์ เริ่มนำกระแสคือ I_L และเมื่อลด กระแสแอโนดลงเรื่อยๆ จนต่ำกว่า I_H เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสและจะหยุดนำตลอดไป จนกว่าจะมีการกระตุ้นเกตด้วยแรงดันบวกอีกครั้ง

2.4.4 การหยุดทำงาน (Commutation) ไทรสเตอร์ ขณะที่ไทรสเตอร์ได้รับการกระตุ้นที่เกตแล้ว จะทำงานค้างตลอดไป ขั้วเกตไม่สามารถที่ควบคุมให้หยุดทำงานได้ วิธีการที่จะทำให้ไทรสเตอร์หยุดนำกระแสคือ ต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวมันลดลงให้ต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (I_H) เป็นเวลานานกว่าเทรินออฟไทม์ (Turn off time) ของตัวมัน ส่วนมากกระบวนการที่ใช้หยุดไทรสเตอร์จะทำให้เกิดการถ่ายโอนกระแสจากตัวเอสซีอาร์ไปยังส่วนอื่นของวงจร หรือเพิ่มวงจรมองกันการหยุดกระแสของไทรสเตอร์

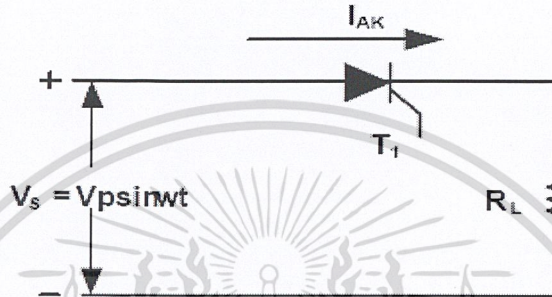
เทคนิคในการหยุดกระแสของไทรสเตอร์ (SCR) แบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ

1. การหยุดกระแสแบบธรรมชาติ (Line Commutation or Natural Commutation)
2. การหยุดกระแสแบบบีบบังคับ (Forced Commutation)
3. การหยุดนำกระแสโดยจัดโหลดให้เหมาะสม (Load Commutation) (ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึง)

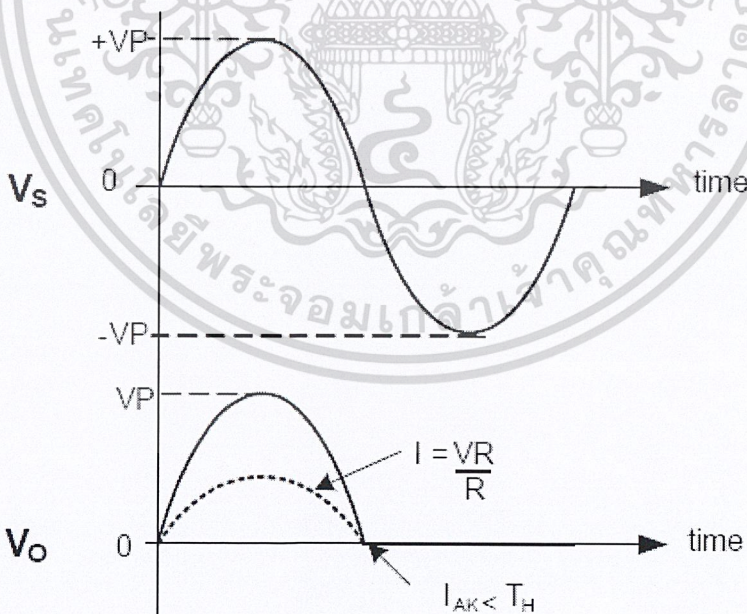
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.1 การหยุดกระแสแบบธรรมชาติ (Natural Commutation) ถ้าป้อนแรงดัน ac (แรงดันอินพุต) ในรูปที่ 2.34 ให้กับไทรสเตอร์ทุกๆ ด้านลบของรูปคลื่นจะทำให้เกิดแรงดันไบแอสกลับตกรวมที่ไทรสเตอร์ ทำให้กระแส I_{AK} น้อยกว่า Holding current (I_H) ส่งผลให้ไทรสเตอร์หยุดนำกระแสดังแสดงในรูปที่ 2.35

การหยุดเอสซีอาร์ประเภทนี้เป็นไปตามธรรมชาติของรูปคลื่นแรงดันอินพุต จึงเรียกการหยุดกระแสประเภทนี้ว่า การหยุดกระแสแบบธรรมชาติ



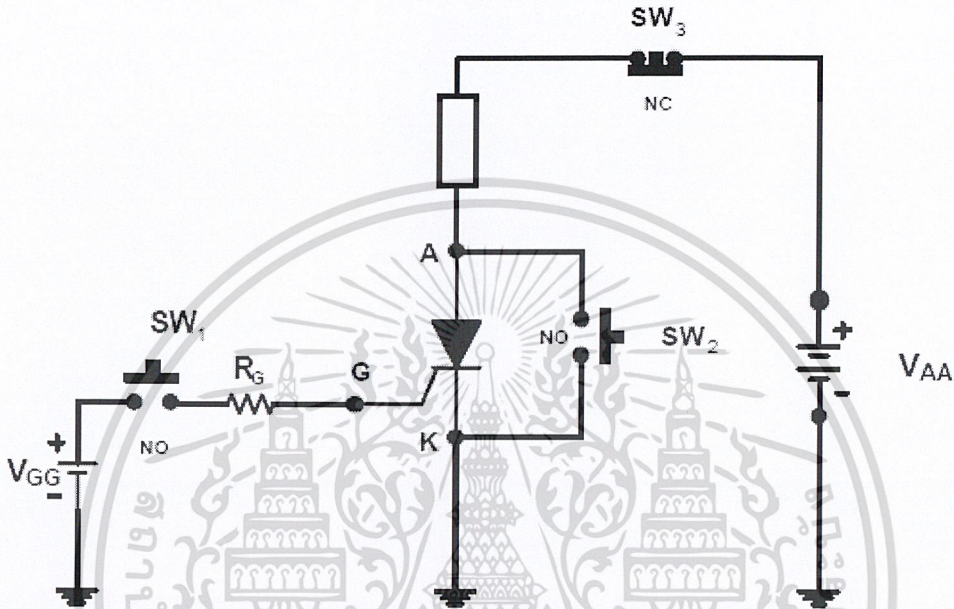
รูปที่ 2.34 รูปวงจรการหยุดนำกระแสแบบธรรมชาติ



รูปที่ 2.35 รูปคลื่นสัญญาณการหยุดนำกระแสแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.2 การหยุดนำกระแสแบบบีบบังคับ (Forced Commutation) การหยุดนำกระแสแบบบีบบังคับ เป็นการบังคับให้กระแส I_{AK} ให้มีค่าเป็นศูนย์โดยการเพิ่มวงจรที่เรียกว่า วงจรหยุดนำกระแส (Commutation Circuits) เข้าไปในวงจรที่ใช้ไทรสเตอร์ควบคุมอยู่ การหยุดนำกระแสแบบบีบบังคับมีหลายประเภทแต่ในที่นี้จะยกตัวอย่างหลักการการหยุดนำกระแส ดังในรูปที่ 2.36

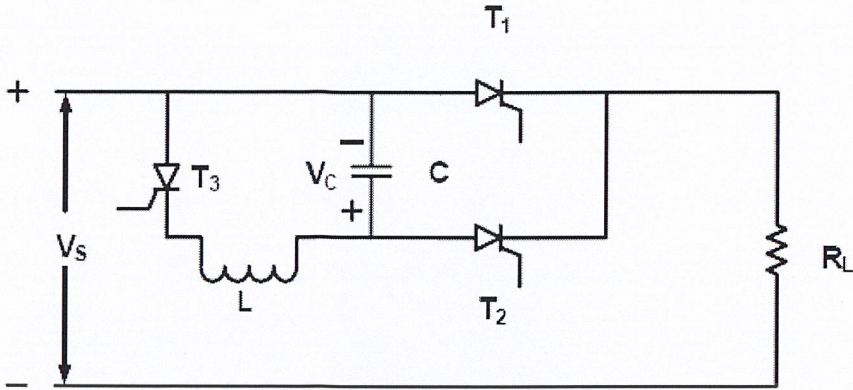


รูปที่ 2.36 หลักการการหยุดนำกระแสแบบบีบบังคับ

การต่อสวิตช์ ขนาน เอสซีอาร์ จากรูปที่ 2.36 เมื่อกด SW_1 เอสซีอาร์จะถูกกระตุ้นให้นำกระแสและจะไม่สามารถควบคุมให้หยุดนำกระแสด้วย SW_1 อีกการทำให้หยุดนำกระแสจะต้องกด SW_2 เมื่อ SW_2 ทำงานกระแสจะไหลผ่าน SW_2 ทั้งหมดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะเป็นศูนย์ทำให้กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสโวลต์ดิ่ง เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส

การต่อสวิตช์ อนุกรมกับ เอสซีอาร์ จากรูปที่ 2.36 เมื่อกด SW_3 จะตัดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์โดยตรงทำให้กระแสที่ไหลผ่านต่ำกว่ากระแสโวลต์ดิ่งของตัวมัน ทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสและจะหยุดนำกระแสตลอดไปจนกว่าจะมีการทริกใหม่ที่เกทอีกครั้ง เวลาที่ไขกุด SW_2 และ SW_3 จะต้องกดให้มีเวลามากกว่า Turn – off Time ของ SCR ในวงจรจริงที่ใช้งาน สวิตช์ที่ใช้หยุดเอสซีอาร์จะแทนด้วยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดปัญหาด้านความเร็วและการอาร์คของหน้าสัมผัส ดังแสดงวงจรที่ใช้งานจริงดังในรูปที่ 2.37

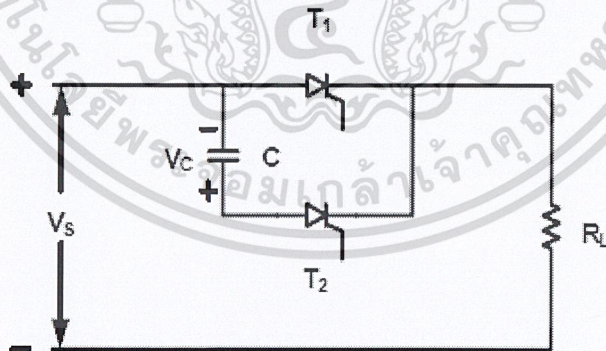
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 แสดงตัวอย่างวงจรหยุดนำกระแสจริงแบบบีบบังคับ

การทำงาน จากรูปที่ 2.37 วงจรหยุดนำกระแสประกอบด้วยเอสซีอาร์ 3 ตัวคือ เอสซีอาร์ 1 (T_1) ทำหน้าที่ควบคุมกระแสจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลด เอสซีอาร์ 2 (T_2) ทำหน้าที่หยุด T_1 และ T_3 ทำหน้าที่ในการชาร์จประจุย้อนกลับให้กับคาปาซิเตอร์

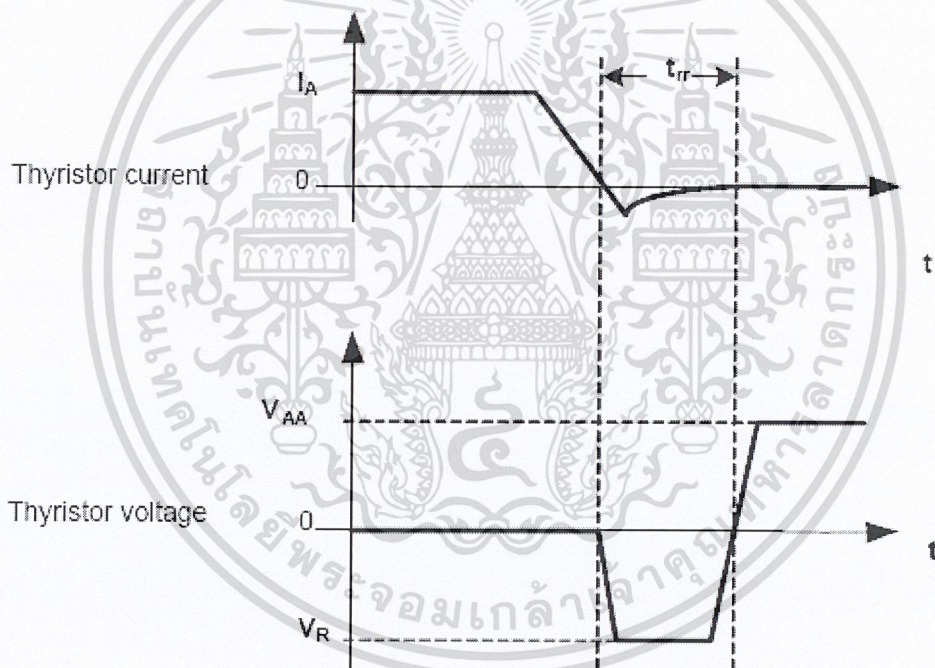
สมมติว่าคาปาซิเตอร์ ได้รับการชาร์จประจุจนมีค่า $V_c = V_s$ มีขั้วปรากฏดังรูปที่ 2.38 ขณะที่ T_1 นำกระแส จะมีกระแสไหลไปสู่โหลดเมื่อต้องการให้ T_1 หยุดนำกระแส จะต้อง ทริกให้ T_2 นำกระแส T_1 จะถูกไบแอสกลับโดยแรงดันที่คาปาซิเตอร์ (V_c) T_1 จะหยุดนำกระแส และคาปาซิเตอร์จะคายประจุเพื่อจ่ายกระแสให้โหลดแทน



รูปที่ 2.38 แสดงการเก็บประจุของคาปาซิเตอร์

เมื่อคาปาซิเตอร์คายประจุจาก $-V_c$ เป็นศูนย์ แล้วชาร์จประจุ (V_c) จนมีค่าเท่ากับ V_s นั่นคือกระแสที่คาปาซิเตอร์จะลดลงเป็นศูนย์ T_2 ก็จะหยุดนำกระแสแบบธรรมชาติ เมื่อ T_3 นำกระแสจะทำให้เกิดการชาร์จประจุย้อนกลับจาก $V_c = -V_c$ T_3 จะหยุดนำกระแสด้วยตัวเอง เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 Turn – off Time ของ SCR (t_q หรือ t_{off}) Turn – off Time ของ SCR เป็นระยะเวลาตั้งแต่การทำให้กระแสไหลผ่าน SCR ไหลย้อนกลับแล้วกลับสู่ศูนย์ (ช่วงเวลา SCR กลับคืนสภาวะใหม่เรียกว่า reverse recovery time : t_{rr}) จนถึงเวลาที่สามารถจ่ายแรงดันฟอร์เวิร์ดไบอัสอีกครั้งโดยที่ SCR ไม่นำกระแส t_q จะบอกค่าอยู่ใน data sheet ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดต่าง ๆ เช่นอุณหภูมิที่ Junction , กระแสหรือแรงดัน เช่น data sheet ต่อไปนี้ $I_F = 150A$, $T_j = 125^\circ C$, $\frac{di}{dt} = 50A/sec$, $\frac{dv}{dt} = 20 V/S$, $T_{off} = 60 \mu s$ ซึ่งจะหมายถึงกระแสที่ไหลผ่าน SCR ในทาง Forward ไม่เกิน 150A , อุณหภูมิไม่เกิน $125^\circ C$, อัตราการลดของกระแส Forward ต้องไม่น้อยกว่า 50 A/sec , อัตราการเพิ่มของแรงดันไม่เกิน 20 V/sec และ SCR ยังคงรักษาสภาวะหยุดนำกระแสเป็นเวลานานอีก $60 \mu s$ จึงเริ่มจ่ายแรงดันได้อีกครั้งดังในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 แสดง reverse recovery time

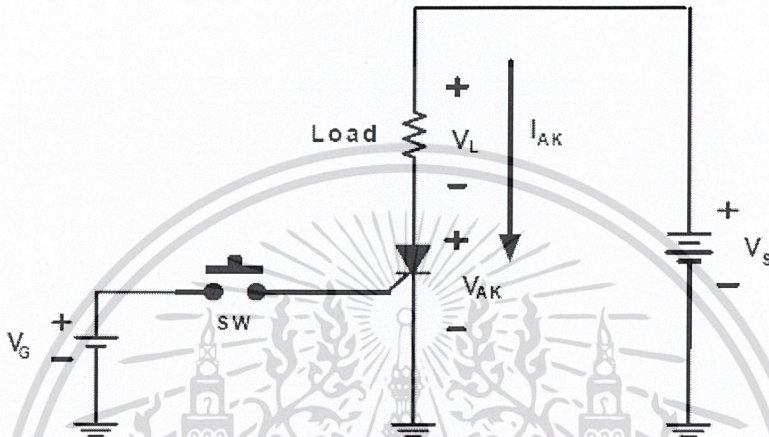
SCR แบ่งตามคุณสมบัติของ turn – off time เป็น 2 ชนิด คือ

- Phase control SCR. มีระยะ Turn – off Time ประมาณ 50-250 μs . ส่วนมากจะใช้ในวงจร AC to DC (Rectifier)

- Fast switching SCR. มีระยะ Turn – off Time ประมาณ 5 – 50 μs . จะใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วงจร Copper, Inverter
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การหาค่ากำลังสูญเสีย (Power Loss) ในไทรสเตอร์ เมื่อแรงดันที่ขาเกตได้รับ การกระตุ้นด้วยแรงดันบวก ไทรสเตอร์จะนำกระแสตลอดไปกระแส I_{AK} ที่ไหลผ่านทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมแอนโอดและแคโทด (V_{AK}) แรงดันที่ตกคร่อมจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในตัวไทรสเตอร์ ดังแสดงรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 แสดงการเกิดกำลังสูญเสีย

กำลังสูญเสีย (Power loss) สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Power loss} = V_{AK} \times I_{AK} \quad \text{Watt} \quad (2.18)$$

การหาประสิทธิภาพของวงจร (η) ที่ใช้ไทรสเตอร์ควบคุมโหลด

$$\eta = \frac{PO}{PI} \times 100 \quad \% \quad (2.19)$$

เมื่อ กำลังที่เอาต์พุต (PO) และกำลังที่จ่ายเข้ามาทางอินพุต (PI) สามารถหาได้จาก

$$PO = V_L \times I_{AK} \quad \text{watt} \quad (2.20)$$

$$PI = V_S \times I_{AK} \quad \text{watt} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

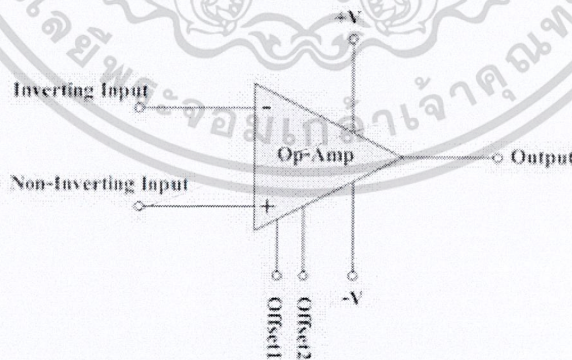
บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการทำงานทั้งหมดและการออกแบบของอุปกรณ์นั้น จะขอกล่าวถึงทฤษฎีโดยคร่าวๆ ของวงจรต่างๆ ที่ใช้ในตัวอุปกรณ์เสียก่อน ว่ามีหลักการทำงานพื้นฐานอย่างไร

3.1 คุณสมบัติของออปแอมป์

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นชื่อย่อสำหรับเรียกวงจรขยายที่มาจาก Operating Amplifier เป็นวงจรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมาก ใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่ออนุกรมกัน ภาคหนึ่ง คือ วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลด้านทางเข้า วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลภาคที่สอง วงจรเลื่อนระดับและวงจรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีต่างๆ ไปคือไอซีออปแอมป์มีขาอินพุต 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศาจากสัญญาณทางด้านเข้า



รูปที่ 3.1 แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์

คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

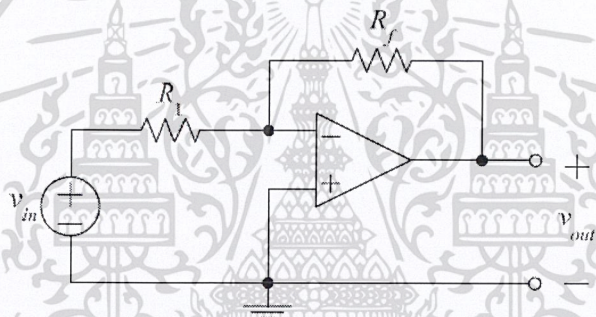
1. อัตราขยายมีค่าสูงมากเป็นอนันต์
2. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์
3. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติให้ลบเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความกว้างของแบนด์วิท (Bandwidth) ในการขยายสูงมาก
5. สามารถขยายสัญญาณได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC
6. การทำงานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เมื่อศึกษาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้วพบว่า ออปแอมป์ได้รวมข้อดีของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอนันต์และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งไฟกระแสดลบและไฟกระแสดรตรง การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราขยายก็สามารถทำได้โดยการป้อนกลับ (Feed Back) เพื่อมาลดอัตราขยายลง และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ อิมพีแดนซ์ทางอินพุตมีอิมพีแดนซ์สูงมาก จึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสวิกอินพุทไหลเลยลักษณะเช่นนี้จึงทำให้วงจรทางอินพุทไม่ไหลดวงจรส่งกำลังในส่วนหน้า เช่นเดียวกับที่เอาท์พุทมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์สามารถนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้ดี

3.2 วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ (Inverting Amplifier)



รูปที่ 3.2 วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณ

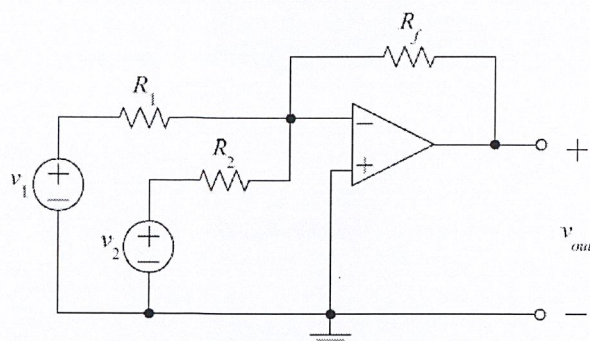
วงจรขยายกลับขั้วสัญญาณนี้จะมีแรงดันทางต้านเอาต์พุตเป็น

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1} V_{in} \quad (3.1)$$

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายเป็น $-\frac{R_f}{R_1}$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 และ R_f นั้นเอง ส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับขั้วของสัญญาณ คือถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวก แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลบ ในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)



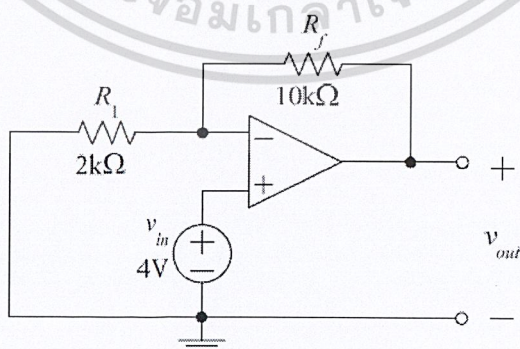
รูปที่ 3.3 วงจรขยายรวมสัญญาณ

วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{out} = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 \right) \quad (3.2)$$

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายสำหรับ V_1 เป็น $-\frac{R_f}{R_1}$ และมีอัตราขยายสำหรับ V_2 เป็น $-\frac{R_f}{R_2}$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 , R_2 และ R_f นั้นเอง โดยแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะเป็นการบวกกันของแรงดันทั้งสอง(ที่ทำการขยายแล้ว)

3.4 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier)



รูปที่ 3.4 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

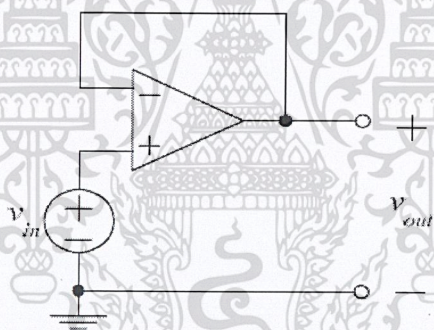
วงจรรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณนี้จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_{in} \quad (3.3)$$

ดังนั้นวงจรมีอัตราขยายเป็น $1 + \frac{R_f}{R_1}$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 และ R_f นั้นเอง โดยอัตราขยายที่เป็นบวกแสดงถึงการไม่กลับขั้วของสัญญาณ คือถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวกแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวก ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบแรงดันเอาต์พุตก็จะมีค่าเป็นลบ

3.5 วงจรรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน (Voltage Follower หรือ Buffer)

วงจรรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเท่ากับแรงดันทางด้านอินพุตเมื่อพิจารณาวงจรรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณดังรูปที่ 3.4 เมื่อ R_f มีค่าเป็น 0 (ศูนย์) และ R_1 มีค่าเป็น ∞ (อนันต์) จะได้วงจรรดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน

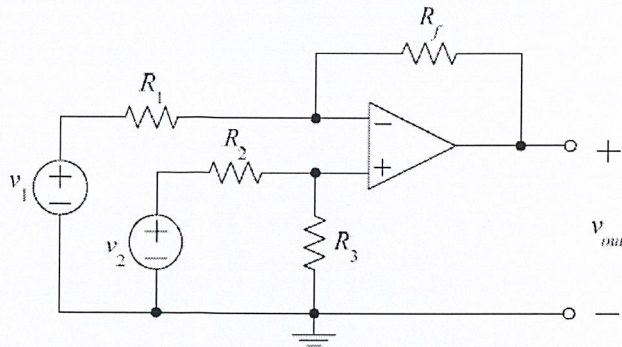
ซึ่งถ้าพิจารณาสมการที่ 3.2 โดยกำหนดค่าตัวต้านทาน $R_f = 0$ และ $R_1 = \infty$ แล้ววงจรมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น

$$V_{out} = V_{in} \quad (3.3)$$

ดังนั้นวงจรมีอัตราขยายเป็น 1 หรือก็คือไม่มีการขยายสัญญาณนั่นเอง(แรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่าเท่ากับแรงดันทางด้านอินพุต) เราจึงเรียกวงจรรดังรูป 3.5 นี้ว่าวงจรรแรงดันไฟฟ้าตาม(Voltage Follower) หรือ (Buffer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรขยายผลต่าง (Difference Amplifier)



รูปที่ 3.6 วงจรขยายผลต่าง

วงจรขยายผลต่างนี้จะมีแรงดันทางต้านเอาต์พุตเป็น

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_1} \right) \left(\frac{1 + R_1/R_f}{1 + R_2/R_3} \right) (V_2 - V_1) \quad (3.4)$$

ถ้ากำหนดให้อัตราส่วนของ $\frac{R_1}{R_f}$ และ $\frac{R_2}{R_3}$ มีค่าเท่ากันคือ

$$\frac{R_1}{R_f} = \frac{R_2}{R_3} \quad (3.5)$$

จะได้สมการ (3.5) เป็น

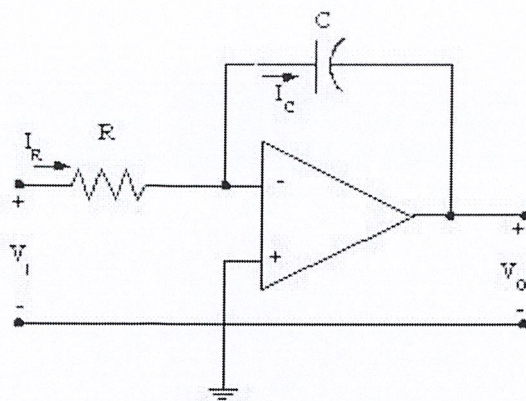
$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_1} \right) (V_2 - V_1) \quad (3.6)$$

ดังนั้นวงจรนี้จะมีอัตราขยายเป็น $\frac{R_f}{R_1}$ โดยทำการขยายผลต่างระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุตทั้งสอง ($V_2 - V_1$)

3.7 วงจรอินทิเกรต (Integrator)

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรต (Integrator) จะขึ้นอยู่กับการอินทิเกรต (Integral) บนเวลาของสัญญาณอินพุต ซึ่งจะมีค่าคงตัวเวลาของอาร์ซี (RC Time Constant) ของวงจรจะกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของวงจรอินทิเกรต ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรอินทิเกรต

ความสัมพันธ์ของวงจร จากสมการ

$$I_R = I_C \quad (3.7)$$

$$i_R = \frac{V_i}{R} \quad (3.8)$$

$$i_R = C \frac{dV_c}{dt} = -C \frac{dV_o}{dt} \quad (3.9)$$

แทนค่า i_R และ i_C ได้

$$\frac{V_i}{R} = -C \frac{dV_o}{dt} \quad (3.11)$$

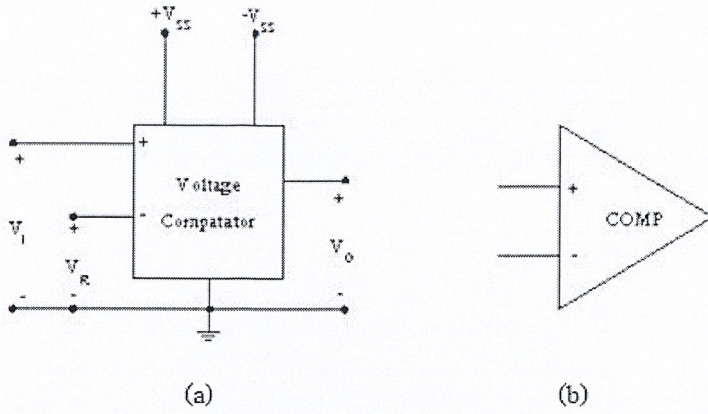
ดังนั้น

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_i dt \quad (3.12)$$

3.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)

เป็นวงจรที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ที่ขาอินพุตขาหนึ่ง กับระดับแรงดันเปรียบเทียบที่ขาอินพุตอีกขาหนึ่ง และระดับแรงดันของเอาต์พุตจะถูกจำกัดอยู่ที่แรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์ (+V_{SS} และ -V_{SS})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

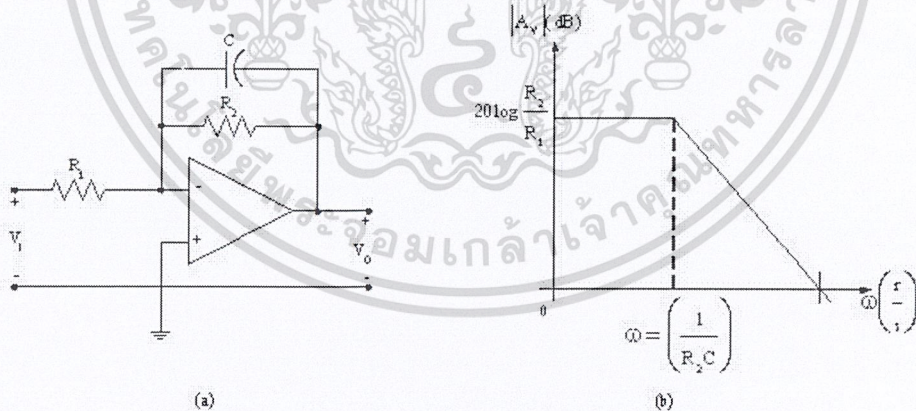


รูปที่ 3.8 (a) Block Diagram แสดงลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน
(b) สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้า $V_I > V_R$ จะได้ว่า $V_O = +V_{SS}$ แต่ถ้า $V_I < V_R$ จะได้ว่า $V_O = -V_{SS}$

3.9 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

ในการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางครั้ง เราต้องการให้สัญญาณบางความถี่ผ่านเข้าไปได้เท่านั้น โดยที่สัญญาณซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากนั้นจะถูกกำจัดออกไป ในวงจรกรองความถี่ต่ำนั้น จะไม่ให้สัญญาณที่ความถี่สูง ๆ ผ่านไปได้ ซึ่งวงจรเป็นดังรูป 3.9(a)



รูปที่ 3.9 (a) ลักษณะของวงจรกรองความถี่ต่ำ
(b) กราฟของการกรองความถี่ต่ำผ่าน

สามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จาก

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2/R_1}{1+j\omega R_2 C} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ค่าที่ได้ ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ A_v

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(j\omega R_2 C)^2}} \quad (3.14)$$

พิจารณาที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะได้ $\omega R_2 C \ll 1$ ดังนั้นสมการที่ 3.14 จะเป็น

$$|A_v| \cong \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3.15)$$

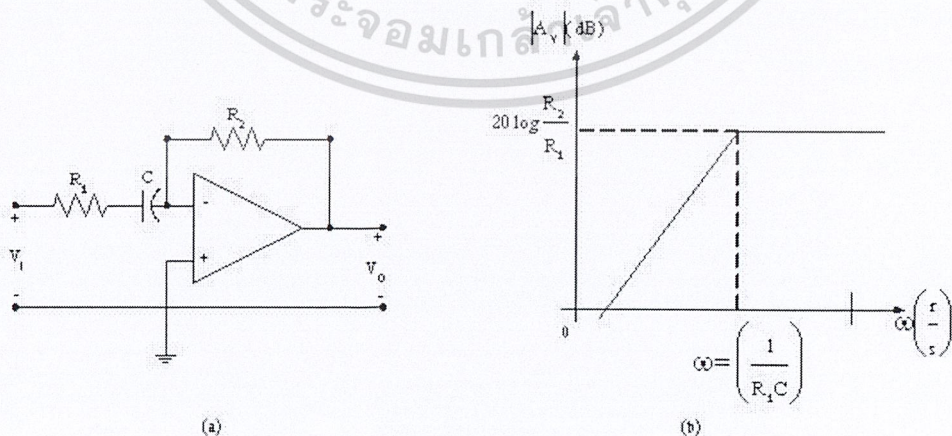
พิจารณาที่ความถี่สูงมาก ๆ จะได้ $\omega R_2 C \gg 1$ ดังนั้นสมการที่ 3.15 จะเป็น

$$|A_v| \cong \frac{R_2/R_1}{\omega R_2 C} = \frac{1}{\omega R_2 C} \quad (3.16)$$

สามารถนำไปเขียนกราฟได้ โดยความถี่ต่ำ กราฟจะมีความชันเป็น 0 ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเท่ากับ -20 dB/decade (อัตราขยายลดลง 20 dB ต่อความถี่ที่เพิ่มขึ้น 10 เท่า) และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด $\omega = \frac{1}{R_2 C}$ และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 3.9(b)

3.10 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูง เป็นวงจรที่กรองไม่ให้ความถี่ต่ำ ๆ ผ่านไปได้ ลักษณะของวงจรเป็นดังรูป 3.10(a)



รูปที่ 3.10 (a) ลักษณะของวงจรกรองความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (b) กราฟของการกรองความถี่สูง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาอัตราขยายของวงจรได้จาก

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2/R_1}{1-j/\omega R_1 C} \quad (3.16)$$

แต่ค่าที่ได้ ยังเป็นจำนวนเชิงซ้อน ต้องทำการใส่ค่าสัมบูรณ์ให้กับ A_v

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(j/\omega R_1 C)^2}} \quad (3.17)$$

พิจารณาที่ความถี่ต่ำมาก ๆ จะได้ $\omega R_2 C \ll 1$ ดังนั้นสมการที่ 3.17 จะเป็น

$$|A_v| \cong \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3.18)$$

พิจารณาที่ความถี่สูงมาก ๆ จะได้ $\omega R_2 C \gg 1$ ดังนั้นสมการที่ 3.18 จะเป็น

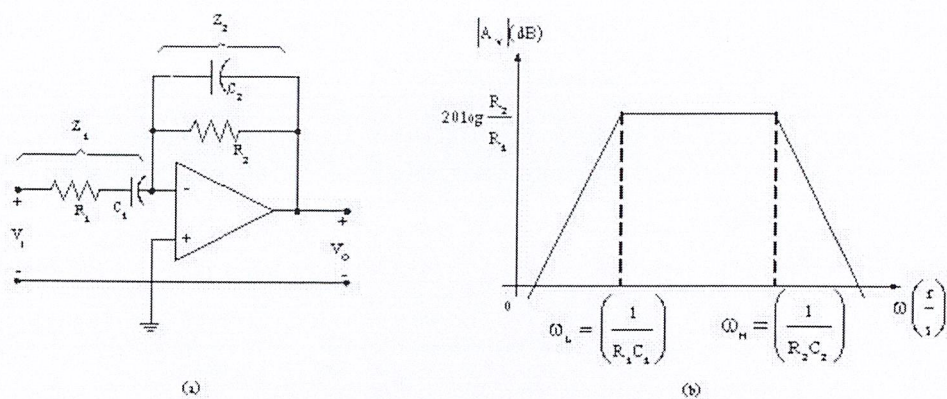
$$|A_v| \cong \frac{R_2/R_1}{1/\omega R_1 C} = \omega R_2 C \quad (3.19)$$

สามารถนำไปเขียนกราฟได้ โดยความถี่ต่ำ กราฟจะมีความชันเป็น +20 dB/decade ส่วนความถี่สูงจะมีความชันเท่ากับ 0 และเส้นทั้งสองตัดกันที่จุด $\omega = \frac{1}{R_1 C}$ และสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 3.10(b)

3.11 วงจรกรองความถี่เป็นช่วง

เป็นวงจรที่ยอมให้บางความถี่ผ่านไปได้เท่านั้น ซึ่งรวมทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำและกรองความถี่สูงเข้าไว้ด้วยกัน มีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 3.11(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 (a) ลักษณะของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง

(b) กราฟของการกรองความถี่เป็นช่วง

โดยที่

$$Z_1 = R_1 - \frac{j}{\omega C_1} \quad (3.20)$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2} \quad (3.21)$$

อัตราขยายของวงจรเป็น

$$A_v = \frac{-Z_2}{Z_1} = \frac{-R_2/R_1}{(1 + j\omega R_2 C_2) \left(1 + \frac{j}{\omega C_1 R_1}\right)} \quad (3.22)$$

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1 + (j\omega R_2 C_2)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{j}{\omega C_1 R_1}\right)^2}} \quad (3.23)$$

พิจารณาช่วงเป็นสามช่วง คือ ช่วงความถี่ระหว่าง ω_L และ ω_M , ช่วงความถี่สูง $\omega \gg \omega_M$ และช่วงความถี่ต่ำ $\omega \ll \omega_L$ ช่วงความถี่ระหว่าง ω_L และ ω_M (Mid-Frequency Range) จะได้ $\omega R_2 C_1 \gg 1$ และ $\left(\frac{1}{\omega R_1 C_1}\right) \ll 1$ จะได้อัตราขยายเป็น

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0} \cdot \sqrt{1+0}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3.24)$$

ช่วงความถี่สูง $\omega \gg \omega_M$ จะได้ $\left(\frac{1}{\omega R_1 C_1}\right) \ll 1$ แต่ $\omega R_2 C_2$ จะได้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+(j\omega R_2 C_2)^2} \cdot \sqrt{1+0}} = \frac{1}{\omega R_1 C_2} \quad (3.25)$$

ช่วงความถี่ต่ำ $\omega \ll \omega_L$ จะได้ $\omega R_2 C_1 \gg 1$ แต่ $(1/\omega R_1 C_1)$ เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

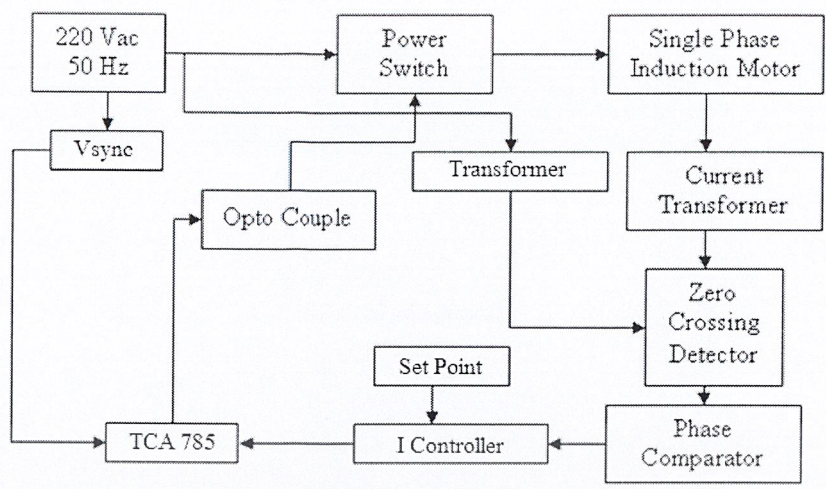
$$|A_v| = \frac{R_2/R_1}{\sqrt{1+0} \cdot \sqrt{1+\left(\frac{j}{\omega C_1 R_1}\right)^2}} = \omega R_2 C_1 \quad (3.26)$$

เมื่อได้ความถี่ทั้งสามช่วง สามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป 3.11(b)

3.12 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับเพาเวอร์แฟคเตอร์

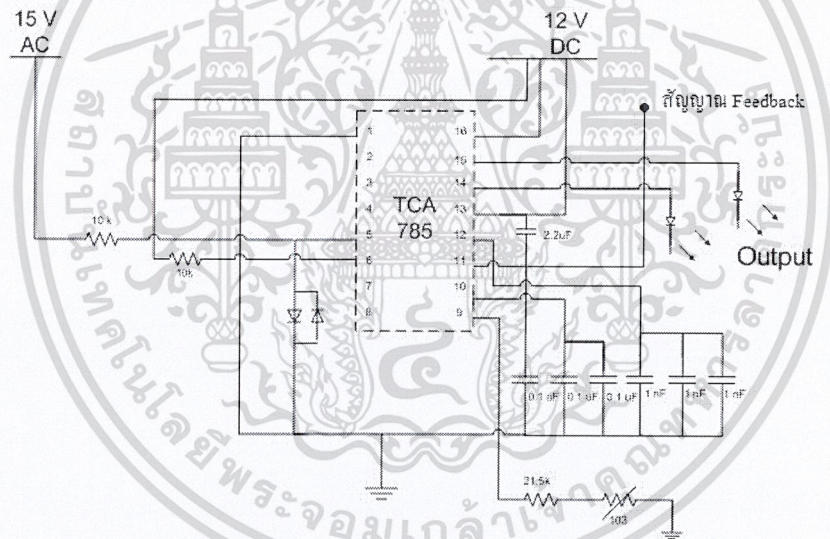
หลักการทำงานของชุดประหยัดพลังงานมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยการควบคุมตัวประกอบกำลังนั้นสามารถทำได้โดยใช้ Current Transformer จับกระแสในสายไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อที่จะนำมาคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยการนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันซึ่งใช้หม้อแปลงในการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเพื่อที่จะสามารถนำมาป้อนเข้าวงจร Zero Crossing ได้ เมื่อผ่านวงจร Zero Crossing แล้วสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณพัลส์ นำสัญญาณที่ผ่านวงจร Zero Crossing แล้วมาเปรียบเทียบกับด้วยวงจร Phase Comparator สัญญาณที่ได้นำไปผ่านการกรองเพื่อที่จะเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากนั้นนำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาหาค่าความผิดพลาดด้วยวงจร Differential Amplifier ในส่วนนี้เราจะสามารถหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ต้องการได้ด้วยการปรับแรงดันที่เป็นแรงดันอ้างอิง หลังจากนั้นนำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ผ่านวงจรอินทิเกรต แล้วจึงนำสัญญาณที่ผ่านวงจรอินทิเกรตไปป้อนกลับเข้าสู่ TCA-785 เพื่อทำการปรับสัญญาณทริกไธริสเตอร์โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานทั้งหมดของชุดอุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลัง

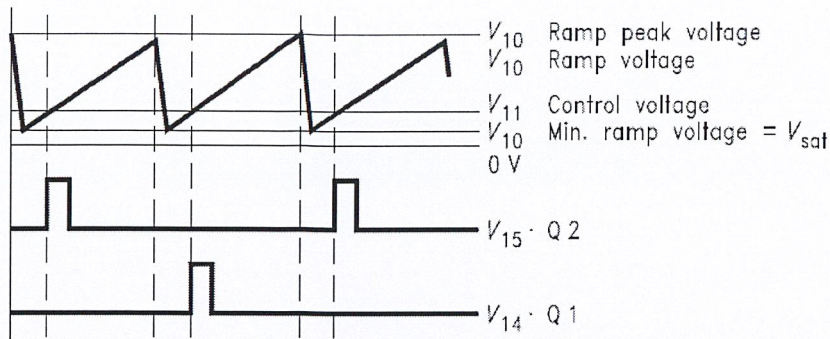
3.13 วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์



รูปที่ 3.13 วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์

วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์ เราได้ใช้ IC เบอร์ TCA785 ในการสร้างสัญญาณทริกเกอร์ซึ่ง เราจะป้อนสัญญาณแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าที่ขา 11 ของ TCA 785 เพื่อให้ตัดกับสัญญาณสามเหลี่ยมตามรูปที่ 3.14 แล้วจะได้สัญญาณทริกเกอร์ไปขับขาคัดต่อไป

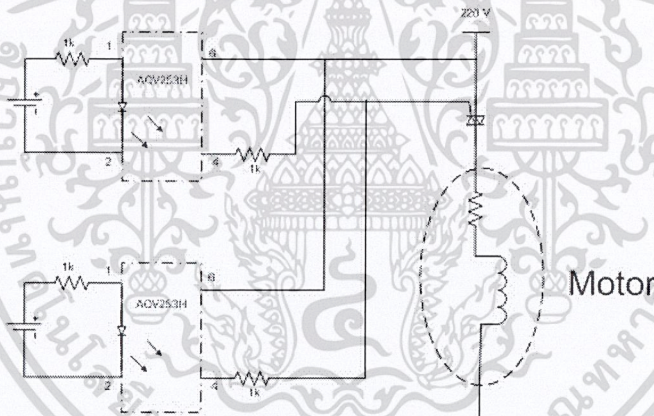
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณแรงดันกระแสตรง

3.14 วงจรกำลัง

วงจรกำลังนั้นทำหน้าที่ขับขาเกตของไทรแอก โดยในการออกแบบนี้ เราได้เลือกไทรแอกเบอร์ BTA12 มาใช้ในการออกแบบ โดยจะนำสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์มาผ่านออตคัปเปอร์ซึ่งในที่นี้เราได้ใช้ AQV253H เพื่อแยกกราวด์ระหว่างภาควงจรควบคุมและวงจรกำลังออกจากกัน

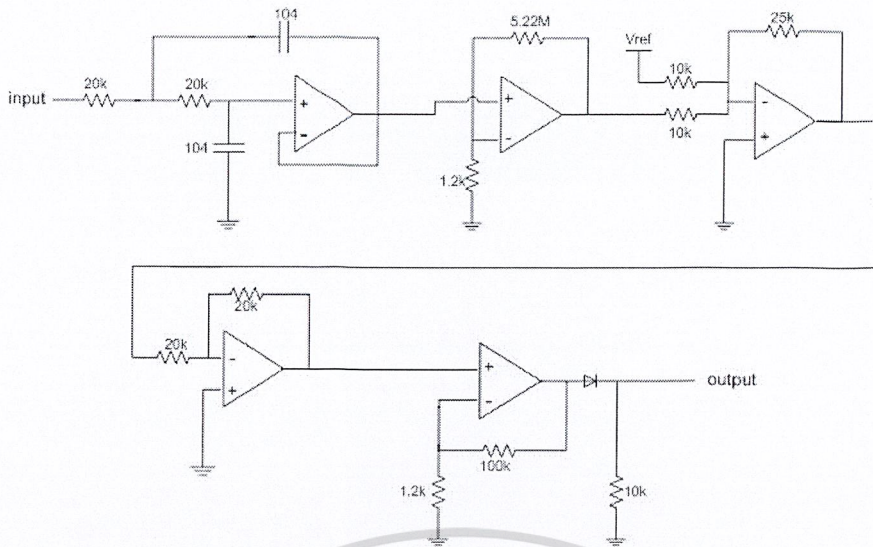


รูปที่ 3.15 วงจรกำลัง

3.15 วงจรตรวจจับกระแส

วงจรตรวจจับกระแส นั้น เราได้ใช้ C.T.(Current Transformer) นั้น จับกระแสของมอเตอร์แล้วนำมาผ่านวงจรรองความถี่ เพื่อกรองฮาร์มอนิกออกทั้งหมด เหลือเพียงความถี่มูลฐาน (Fundamental) แล้วนำมาผ่านวงจรขยาย เนื่องจากสัญญาณที่เรากรองได้มานั้นมีแอมพิจูดต่ำ เมื่อผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว จึงผ่านวงจรsumming เพื่อปรับ offset ให้เท่ากับศูนย์ แล้วจึงกลับเฟสสัญญาณอีกที เพื่อให้ได้สัญญาณที่ถูกต้อง แล้วจึงนำสัญญาณผ่านวงจรตัดศูนย์ต่อไป ตามรูปที่ 3.16

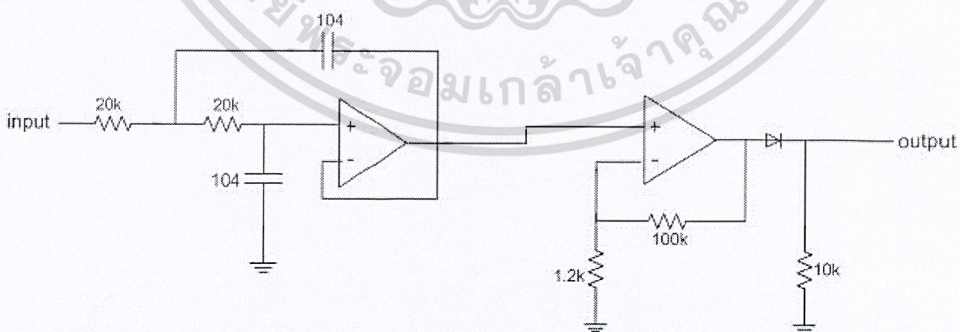
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงจรตรวจจับกระแส

3.16 วงจรตรวจจับแรงดัน

วงจรตรวจจับแรงดันนั้น เราได้นำแรงดันจากแหล่งจ่ายมอเตอร์แปลงแรงดันลงมาให้ 9V จะเห็นได้ว่าถ้าทำลักษณะนี้ เราจะได้แรงดันรูปคลื่นที่มีเฟสเดียวกันกับแหล่งจ่ายทุกประการ แล้วจึงนำแรงดันที่ได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำซึ่งมีคุณลักษณะเหมือนกับที่ใช้วงจรตรวจจับกระแสทุกประการ เนื่องจากเมื่อกรองความถี่แล้วรูปคลื่นที่ได้จะมีลักษณะของมุมเฟสเลื่อนออกไป จึงได้ใช้วิธีนี้กับวงจรตรวจจับแรงดันด้วย เพื่อให้รูปคลื่นมุมเฟสมีลักษณะที่เลื่อนออกไปเป็นมุมที่เท่ากัน จากนั้นจึงได้นำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรตัดศูนย์เช่นกัน ตามรูปที่ 3.17

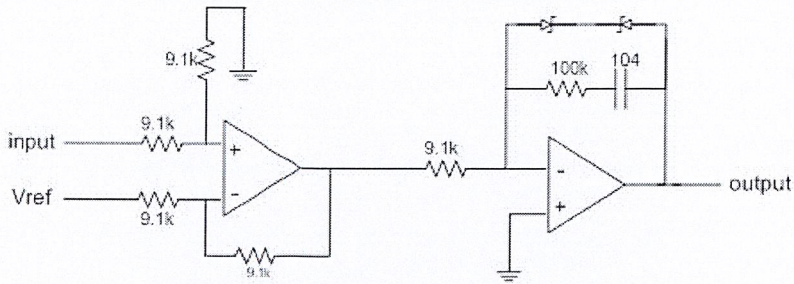


รูปที่ 3.17 วงจรตรวจจับแรงดัน

3.17 วงจรผลต่างและอินทิเกรต

เมื่อเราได้รูปคลื่นที่ของแรงดันและกระแสมาแล้วนั้นเราจะใช้ IC เบอร์ CD4046 เพื่อที่จะเปรียบเทียบมุมเฟสแล้วผ่านวงจรกรอง แล้วนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาเข้า

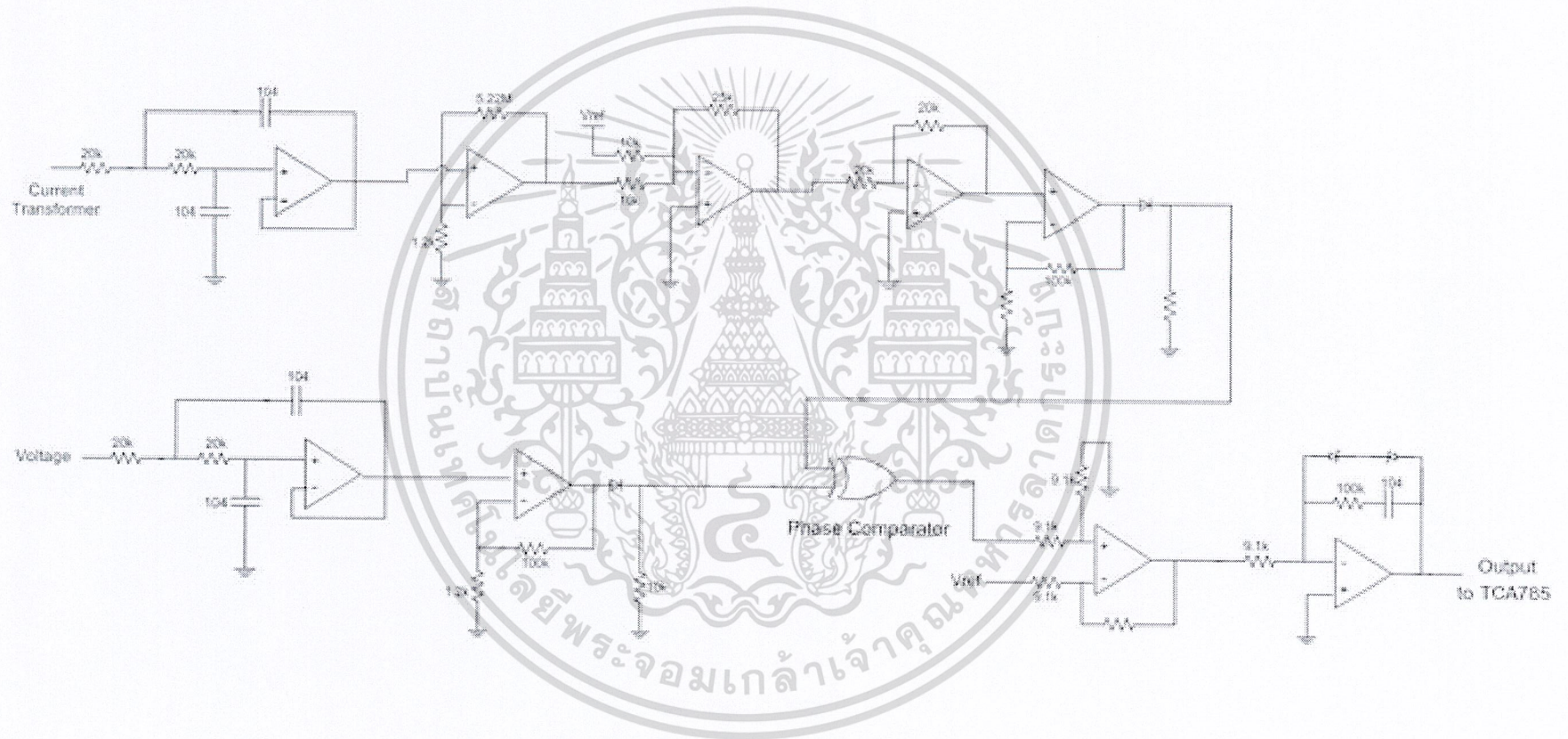
วงจรผลต่างเทียบกับแรงดันอ้างอิงเพื่อหาผลต่าง แล้วจึงนำไปอินทิเกรตโดยมีการลิมิตแรงดันเอาต์พุตโดยซีเนอร์ไดโอดตามรูปที่



รูปที่ 3.18 วงจรผลต่างและวงจรมินทิเกรต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรชุดตรวจจับเฟสเวอร์ฟลักเตอร์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

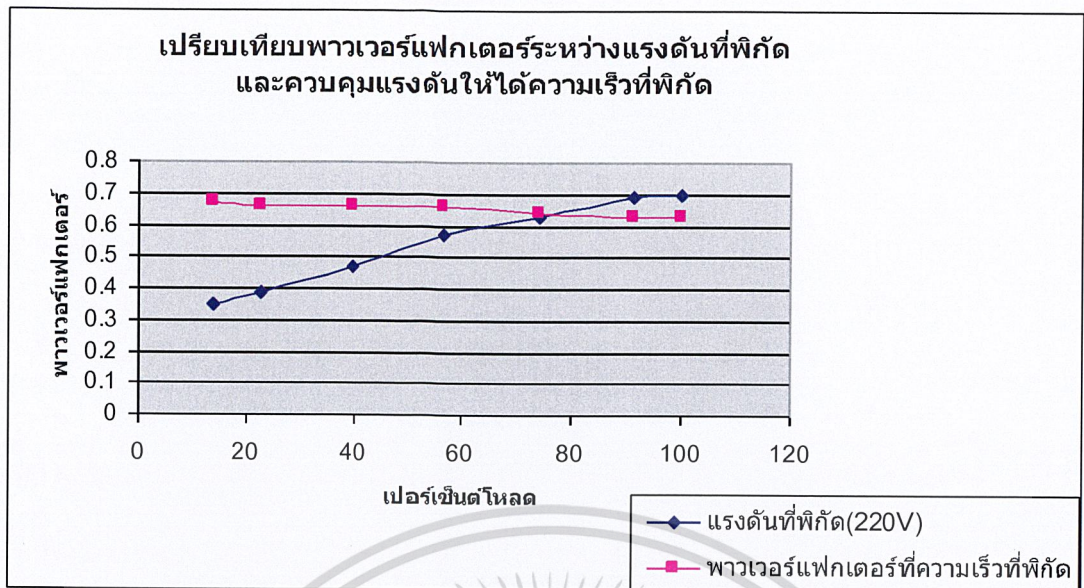
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองจ่ายแรงดันที่ฟัด (220V)

	โหลด(Kg)							
	0	0.2	0.45	0.95	1.45	2.15	2.45	2.70
V(V)	220	220	220	220	220	220	220	220
I(A)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.10	2.20	2.30	2.30
DPF	0.28	0.35	0.39	0.47	0.57	0.63	0.69	0.70
PF	0.28	0.34	0.38	0.47	0.55	0.62	0.68	0.69
Pin	130	150	170	220	260	310	350	360
rpm	1494	1488	1482	1473	1461	1450	1439	1433
Pout	0	18.23	31.81	68.02	103.42	138.32	181.58	193.57
%	0	12.15	18.77	30.91	39.77	44.61	51.88	53.76

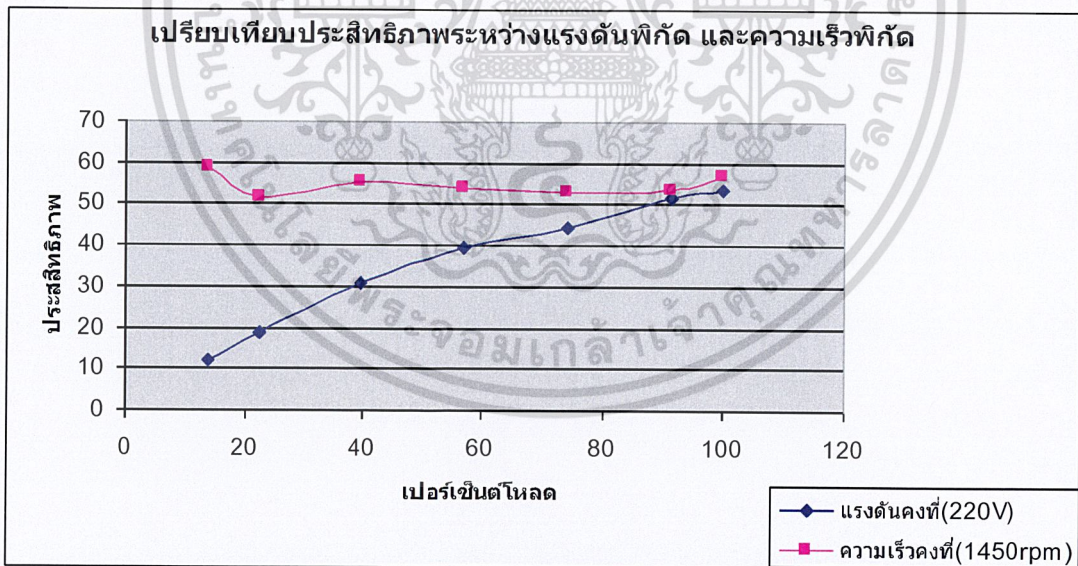
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองควบคุมแรงดันให้ความเร็วคงที่ที่ฟัด (1450rpm)

	โหลด(Kg)							
	0	0.2	0.45	0.95	1.45	2.15	2.45	2.70
V(V)	26.2	69.3	96	140	173	202	220	220
I(A)	0.23	0.64	0.91	1.36	1.72	2.08	2.44	2.50
DPF	0.67	0.66	0.66	0.66	0.64	0.63	0.63	0.66
PF	0.66	0.65	0.65	0.67	0.64	0.66	0.62	0.64
Pin	4	30	60	120	190	260	340	340
Rpm	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450
Pout	0	17.77	31.08	66.82	102.42	138.41	181.95	194.11
%	0	59	51.8	55.68	53.90	53.23	53.51	57.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพาวเวอร์แฟกเตอร์ระหว่างแรงดันที่พิกัดและควบคุมแรงดันให้ได้ความเร็วที่พิกัด



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแรงดันที่พิกัดและควบคุมแรงดันให้ได้ความเร็วที่พิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

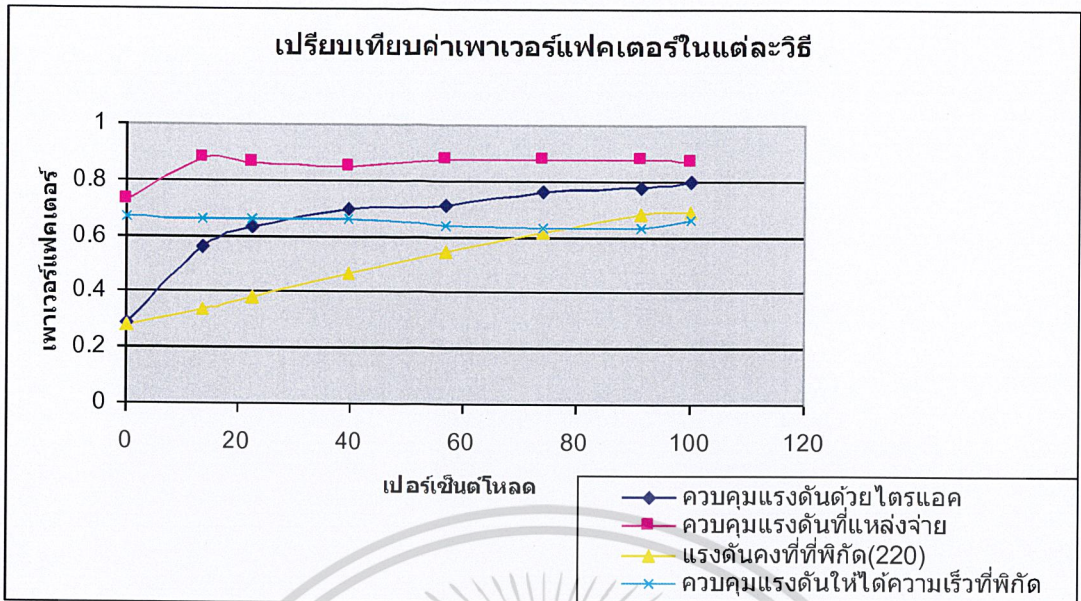
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองควบคุมแรงดันให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีที่สุด

	โหลด(Kg)							
	0	0.2	0.45	0.95	1.45	2.15	2.45	2.70
V(V)	28	58	72	96	114	131	149	155
I(A)	0.19	0.92	1.30	1.70	2.20	2.50	2.60	2.70
DPF	0.67	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.88
PF	0.73	0.88	0.86	0.85	0.88	0.88	0.88	0.88
Pin	60	50	80	140	250	310	350	380
Rpm	1454	1322	1310	1325	1328	1340	1355	1360
%THDi	61.0	61.4	61.4	53.7	48.0	43.6	37.9	34.9
%THDv	49.8	55.7	64.9	49.3	45.8	42.8	35.6	33.7
Pout	0	16.19	28.12	61.81	94.00	127.83	170.97	183.70
%	0	32.38	35.15	43.70	37.6	41.23	48.84	48.34

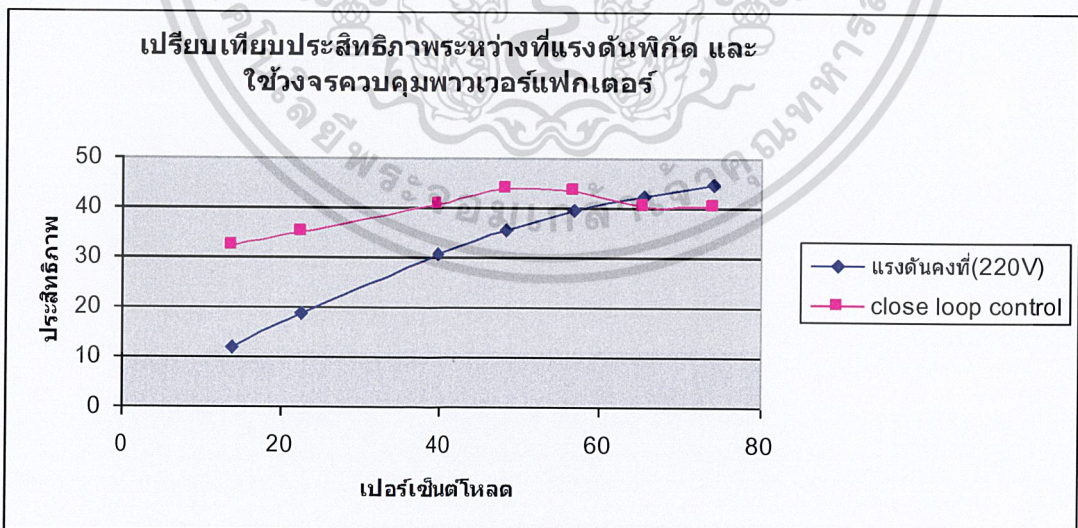
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองควบคุมแรงดันให้พาวเวอร์แฟกเตอร์คงที่ โดยใช้ชุดควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์

	โหลด(Kg)					
	0.45	0.95	1.45	2.15	2.45	2.70
V(V)	107.2	130.9	148.7	169.1	179.6	198.6
I(A)	1.30	1.64	1.93	2.13	2.34	2.41
DPF	0.71	0.72	0.72	0.70	0.73	0.67
PF	0.57	0.63	0.66	0.66	0.69	0.66
Pin	78	133	191	240	291	316
Rpm	1440	1421	1412	1415	1403	1418
%THDi	59.7	53.1	47.3	39.1	34.3	23.4
%THDv	54.9	45.0	39.6	31.6	27.2	18.7
Pout	30.91	65.62	100.00	130.43	177.04	191.55
%	39.62	49.33	52.36	54.34	61.00	60.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

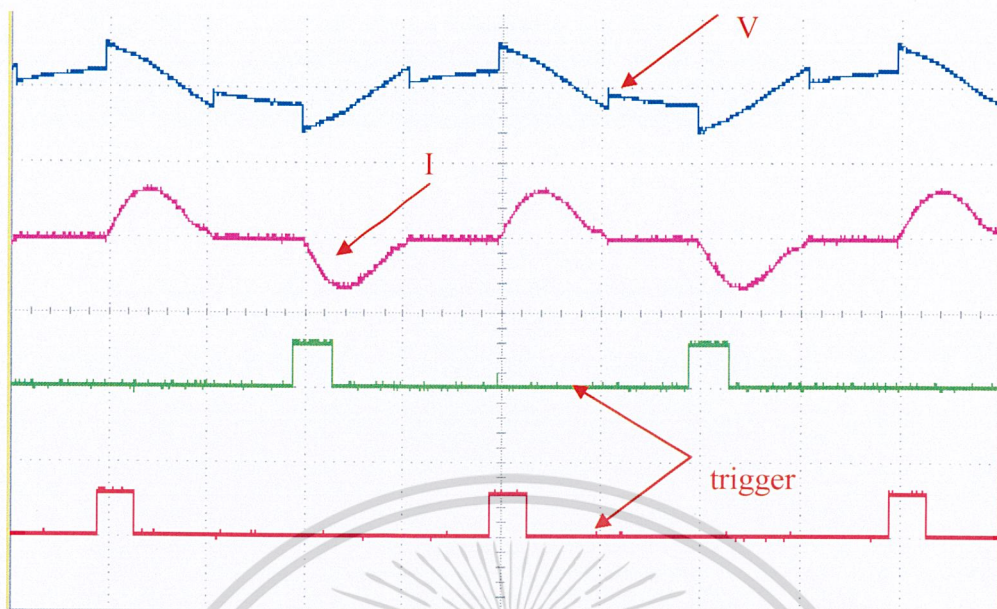


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพาวเวอร์แฟกเตอร์ด้วยวิธีต่างๆ

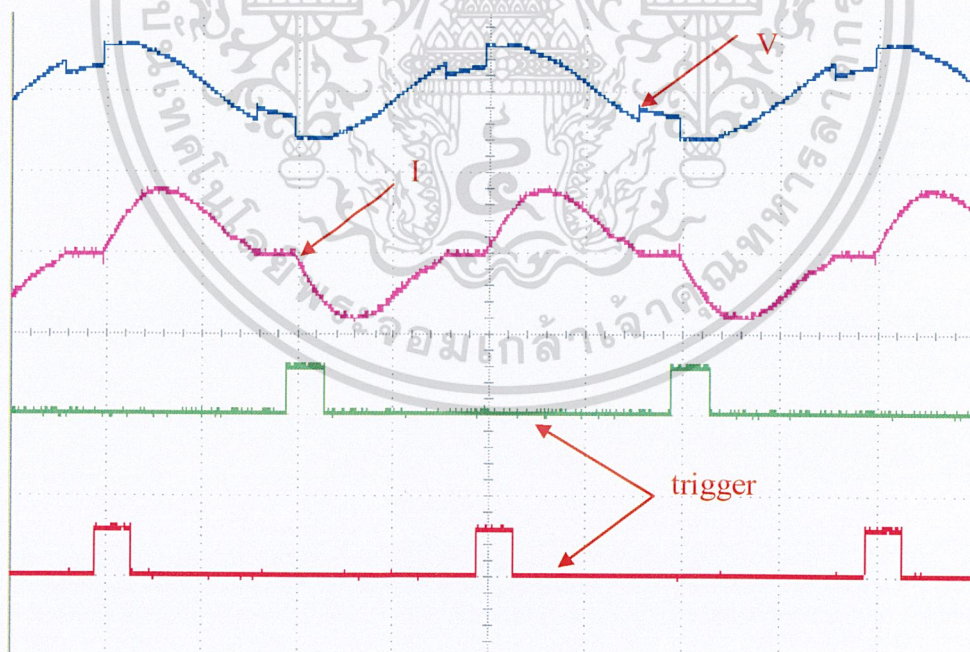


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างที่แรงดันที่พิกัดและใช้วงจรควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

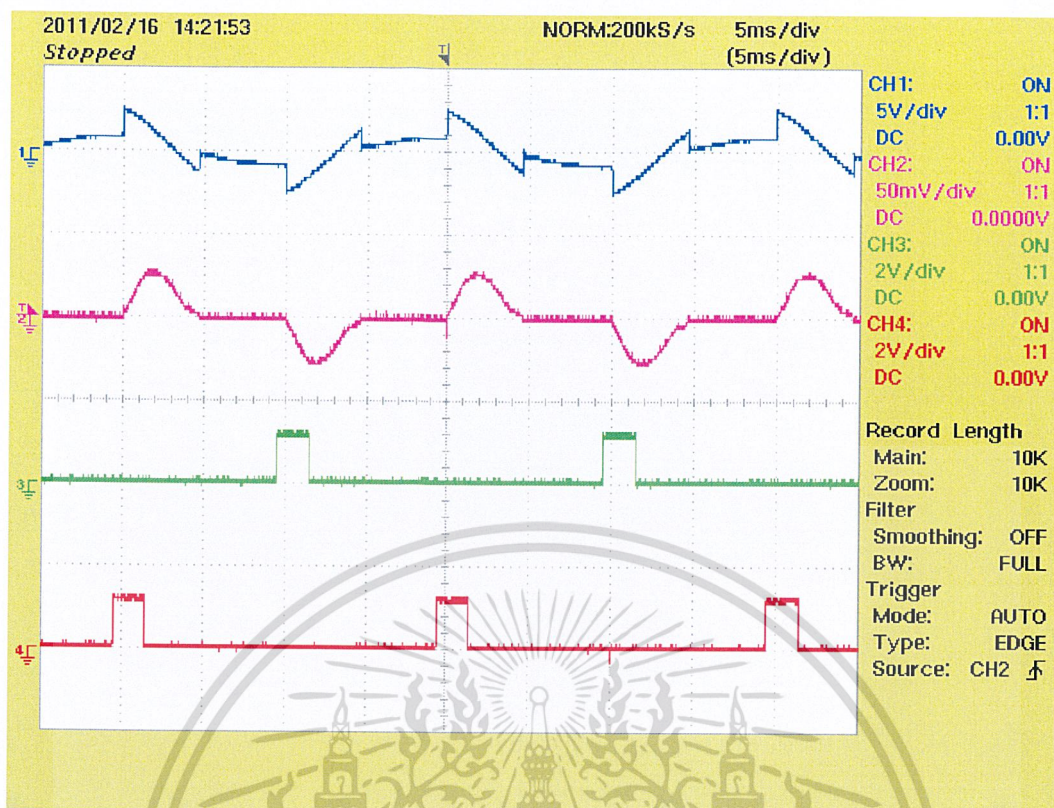


รูปที่ 4.5 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่สภาวะโหลดเบา

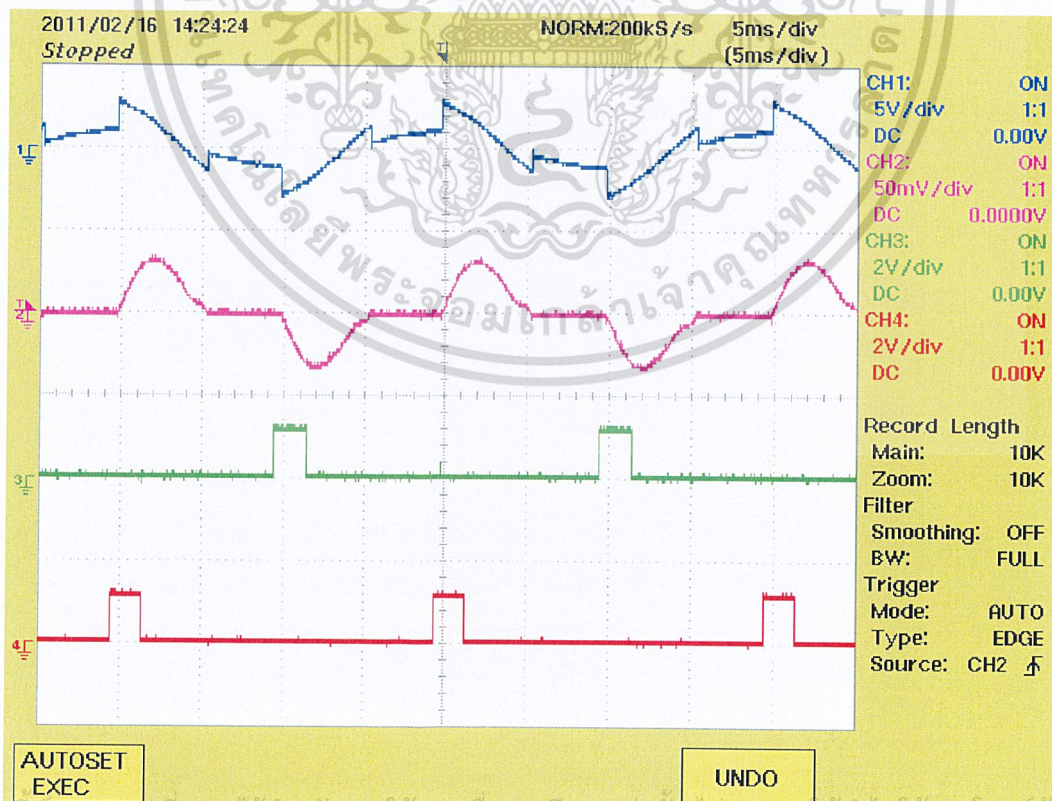


รูปที่ 4.6 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่สภาวะโหลดหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

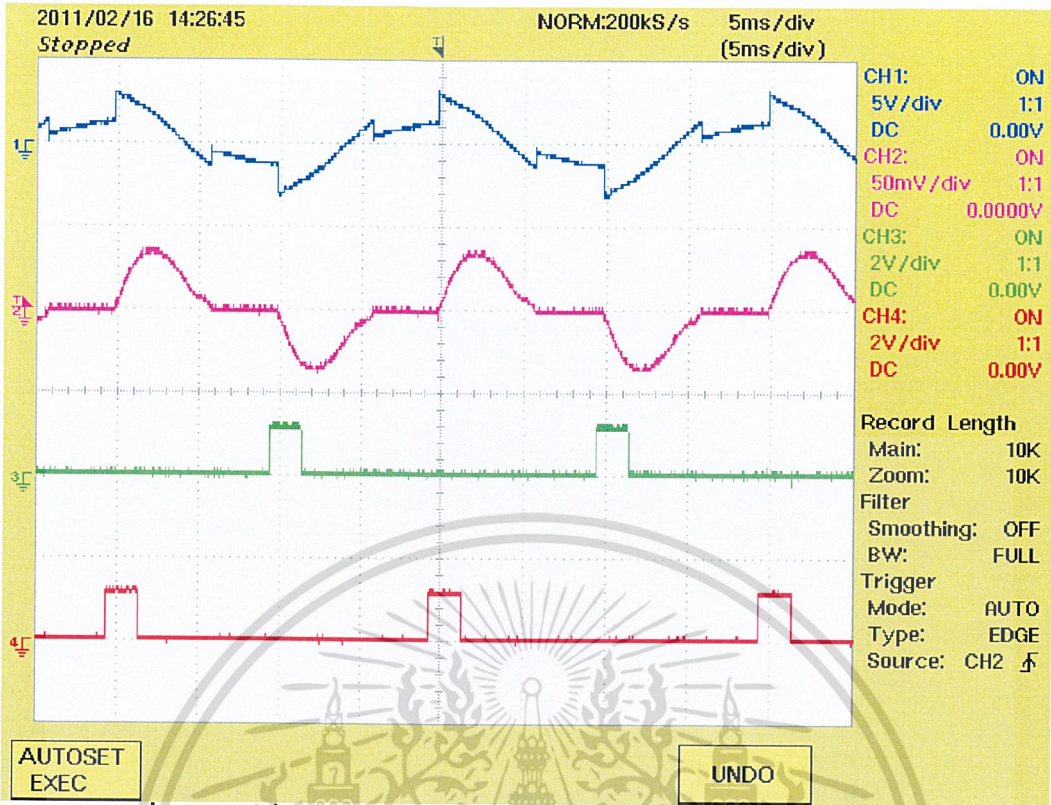


รูปที่ 4.7 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 0.45 Kg

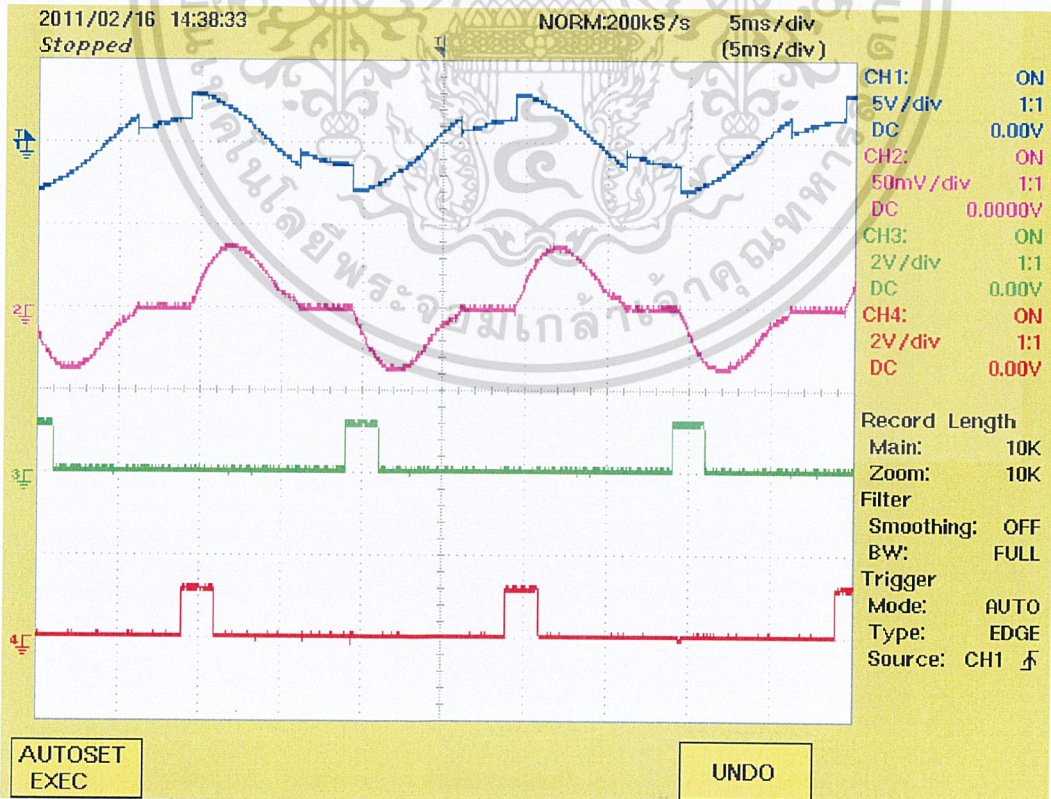


รูปที่ 4.8 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 0.75 Kg

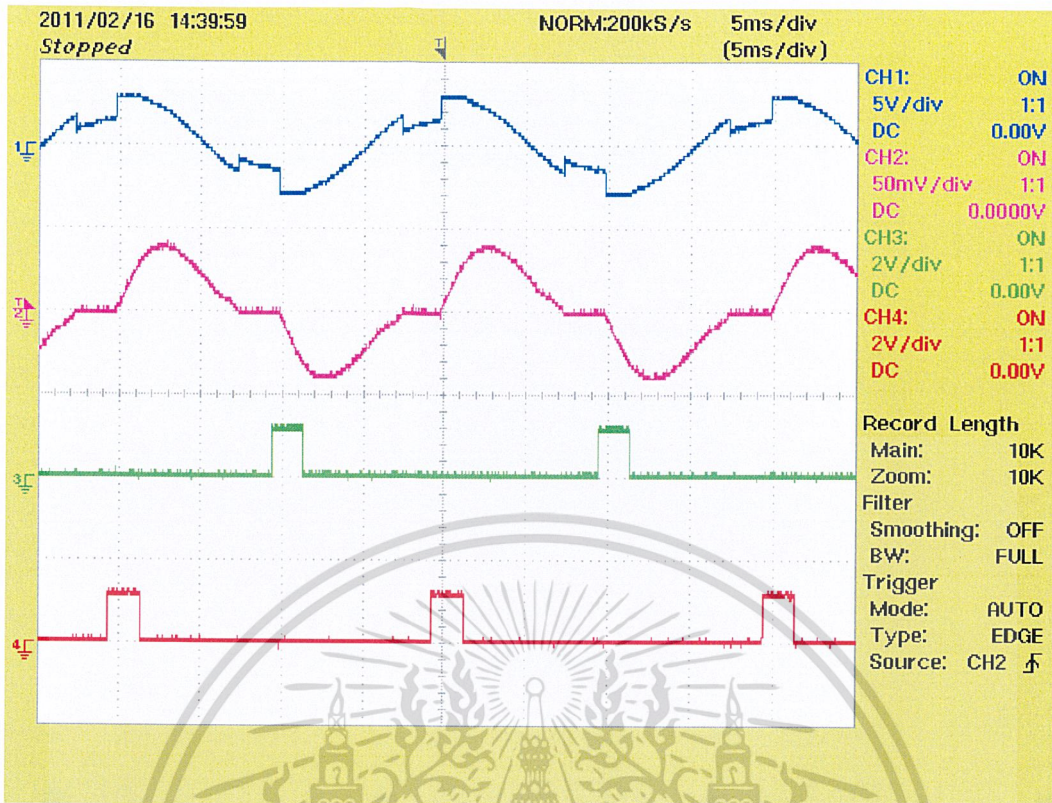
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



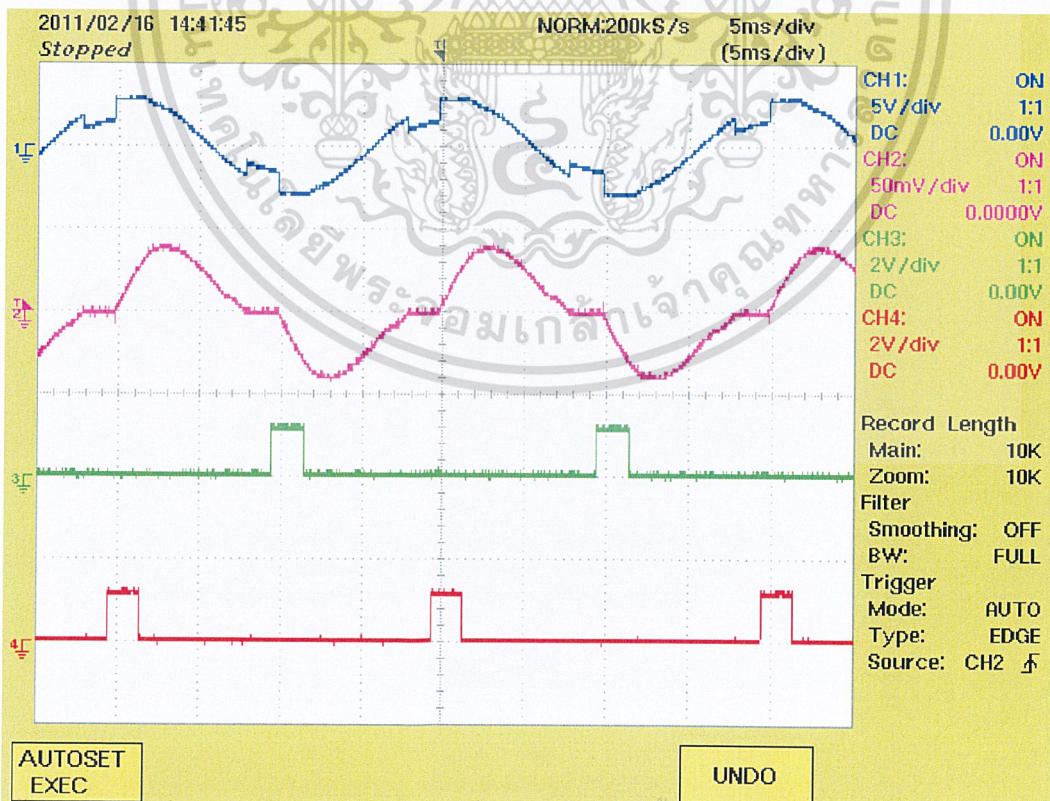
รูปที่ 4.9 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 1.25 Kg



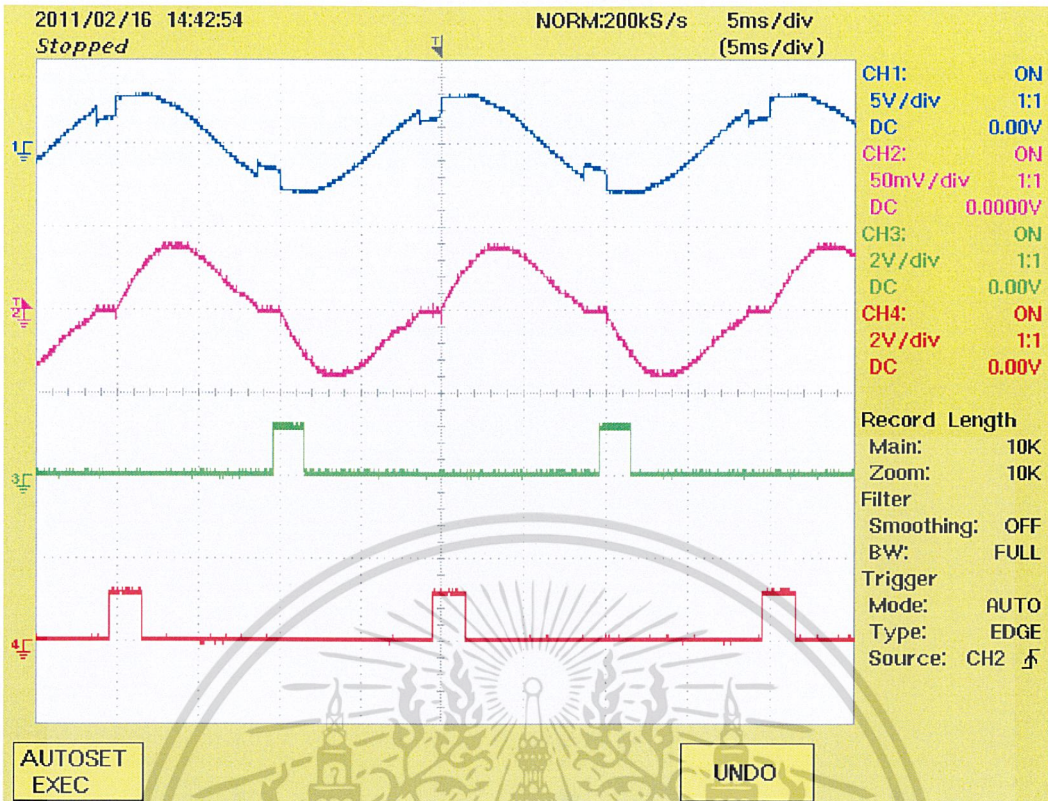
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.10 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 1.75 Kg
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 2.25 Kg



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.12 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 2.50 Kg
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 รูปคลื่นกระแส แรงดันและสัญญาณทริกในขณะที่โหลด 2.75 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการทดลองที่ได้จากการใช้ชุดควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์โดยใช้วิธีการควบคุมเฟส สรุปได้ว่าสามารถควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์ให้สูงขึ้นได้ (ที่ 0.7 p.f.) ซึ่งเป็นการลดการสูญเสียพลังงานที่เสียเปล่าในขณะที่มอเตอร์ทำงานในลักษณะของโหลดเบา โดยสามารถเปรียบเทียบได้จากตารางผลการทดลอง และกราฟที่เห็นได้ชัดว่าเมื่อใช้ชุดควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์แล้วสามารถลดกำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ลงได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับมอเตอร์ในสภาวะที่โหลดเบา ในการใช้ชุดควบคุมพาวเวอร์แฟกเตอร์นั้นจะต้องวิเคราะห์ถึงผลเสียในการควบคุมภาระที่สูงๆถ้าใช้งานที่ภาระน้อยๆเป็นหลักก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้ในระดับหนึ่ง และข้อดีอีกอย่างของการควบคุมแบบลูปปิดอนาล็อกคือราคาต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ ข้อเสียของวงจรควบคุมนี้คือกระแสฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นเนื่องจากไคร์เรเตอร์ และข้อเสียของการควบคุมแบบอนาล็อกคือความยุ่งยากในการปรับค่าให้ได้ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่ต้องการโดยที่ไม่สามารถตั้งเงื่อนไขในการสตาร์ทของมอเตอร์ได้เลย ซึ่งถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำได้และสามารถควบคุมได้หลากหลายรูปแบบ ข้อเสนอแนะของการใช้คือ ควรใช้กับลักษณะงานที่ไม่ต้องการการควบคุมในเรื่องของความเร็วย้อนของมอเตอร์ และเป็นงานในลักษณะที่โหลดเบาจึงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Jeff Keljik, **Electric Motor and Motor Controls**, International Thomson – Delmar Publishing Company, Inc., 1995.
- [2] Robert Boylestad And Louis Nashelsky, **Electronic Devices and Circuit Theory**, 7th Edition, Prentice – Hall, Inc., 1998.
- [3] Cyrik W. Lander, **Power Electronic**, 1th Edition, Mcgraw – Hill, 1993.
- [4] Donald P. Leach, **Discrete and Integrated Circuit Electronics**, Santa Clara University, 1992.
- [5] วีระ รัตนยาภิรักษ์ ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ, “ การควบคุมประสิทธิภาพและตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ,” Industrial Technology Review, 106., 2546.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

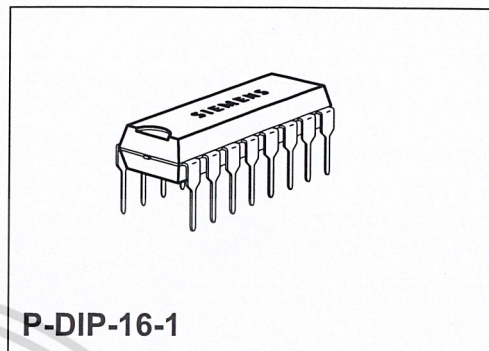
Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

Features

- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



P-DIP-16-1

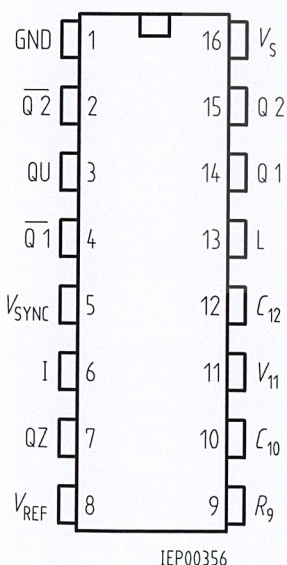
Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180° . Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.

Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\bar{Q}2$	Output 2 inverted
3	$\bar{Q}U$	Output U
4	$\bar{Q}2$	Output 1 inverted
5	V_{SYNC}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	QZ	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V_s	Supply voltage



Pin Configuration (top view)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำเป็นเอกสารเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_5). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor C_{10} of which is charged by a constant current (determined by R_9). If the ramp voltage V_{10} exceeds the control voltage V_{11} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180° .

For every half wave, a positive pulse of approx. $30 \mu s$ duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor C_{12} . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

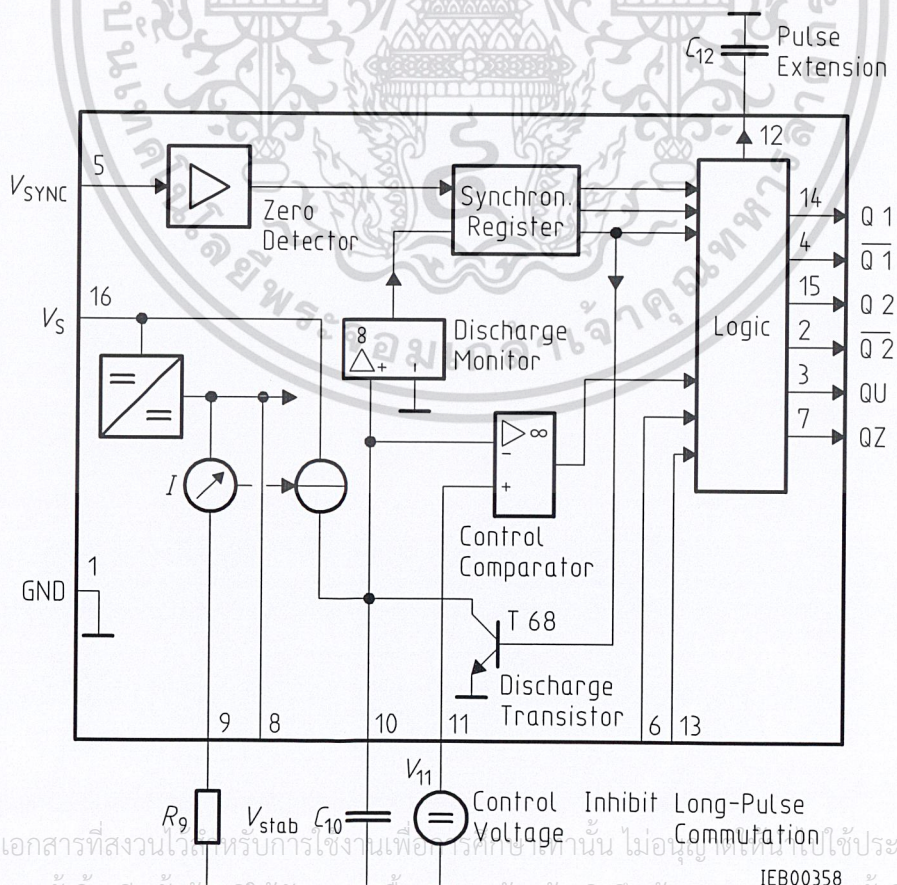
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

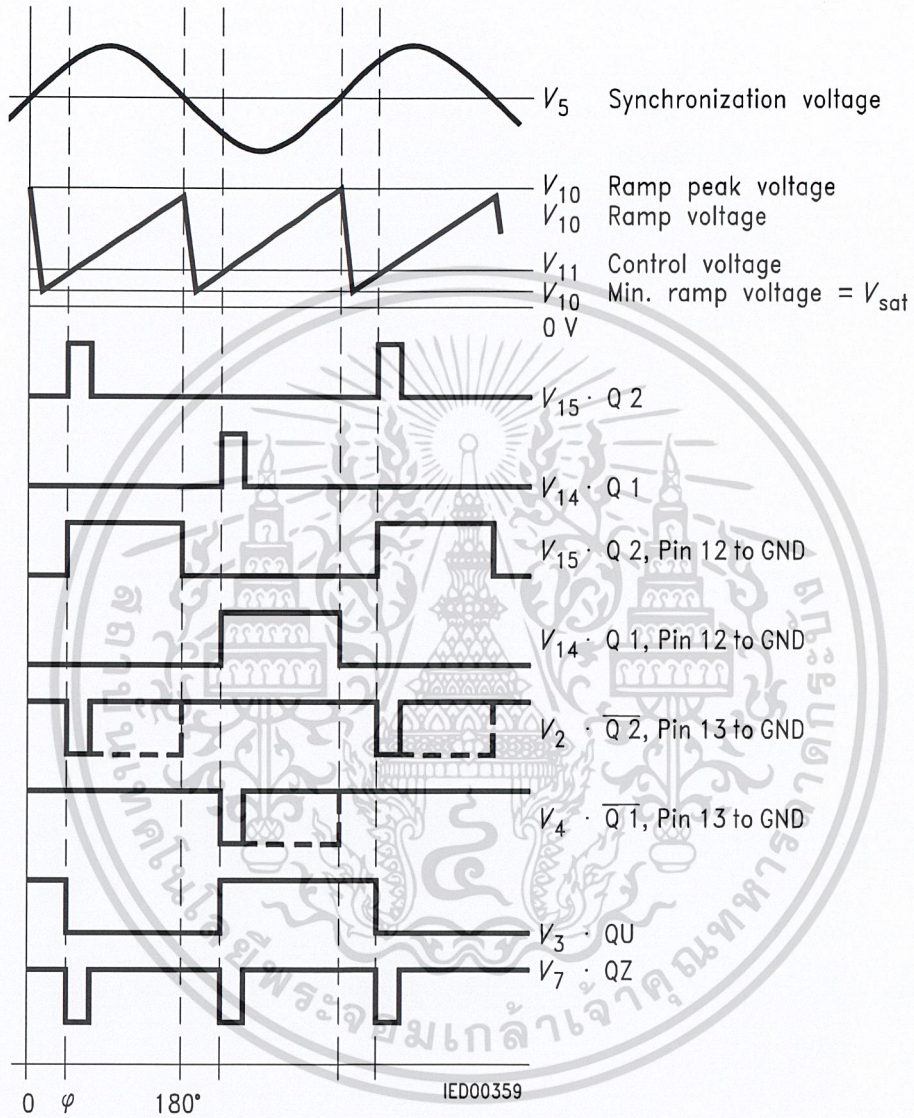
The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$.

Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ to full pulse length ($180^\circ - \varphi$).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 IEB00358

Block Diagram



Pulse Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	V_S	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_Q	- 10	400	mA
Inhibit voltage	V_6	- 0.5	V_S	V
Control voltage	V_{11}	- 0.5	V_S	V
Voltage short-pulse circuit	V_{13}	- 0.5	V_S	V
Synchronization input current	I_5	- 200	± 200	μA
Output voltage at pin 14, 15	V_Q		V_S	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_Q		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_Q		V_S	V
Junction temperature	T_j		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{stg}	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

Operating Range

Supply voltage	V_S	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	- 25	85	$^{\circ}C$

Characteristics

$8 \leq V_S \leq 18 V$; $- 25^{\circ}C \leq T_A \leq 85^{\circ}C$; $f = 50 Hz$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 V$ $C_{10} = 47 nF$; $R_9 = 100 k\Omega$	I_S	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current R_2 varied	$I_{5 rms}$	30		200	μA	1
Offset voltage	ΔV_5		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	V_{11}	0.2		$V_{10 peak}$	V	1
Input resistance	R_{11}		15		$k\Omega$	5

Characteristics (cont'd)

$8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}$; $-25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}$; $f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	I_{10}	10		1000	μA	
Max. ramp voltage	V_{10}			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	V_{10}	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	R_9	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	t_f		80		μs	1
Inhibit pin 6						
switch-over of pin 7						
Outputs disabled	V_{6L}		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	V_{6H}	4	3.3		V	1
Signal transition time	t_r	1		5	μs	1
Input current	I_{6H}		500	800	μA	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	μA	1
$V_6 = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-5		5	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_S = 12 \text{ V}$; $C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-20		20	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_S = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage						
between 2 following						
half-waves, $V_S = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		± 1		%	
Long pulse switch-over						
pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	V_{13H}	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	V_{13L}		2.5	2	V	1
Input current	I_{13H}			10	μA	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CEO}			10	μA	2.6
$V_Q = V_S$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2 \text{ mA}$						

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics (cont'd)
 $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage – $I_Q = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15H}$	$V_s - 3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_Q = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	t_p	20	30	40	μs	1
Pulse width (short pulse) with C_{12}	t_p	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control Reference voltage Parallel connection of 10 ICs possible	V_{REF}	2.8	3.1	3.4	V	1
TC of reference voltage	α_{REF}		2×10^{-4}	5×10^{-4}	1/K	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BTA/BTB12 and T12 Series

SNUBBERLESS™, LOGIC LEVEL & STANDARD

12A TRIACs

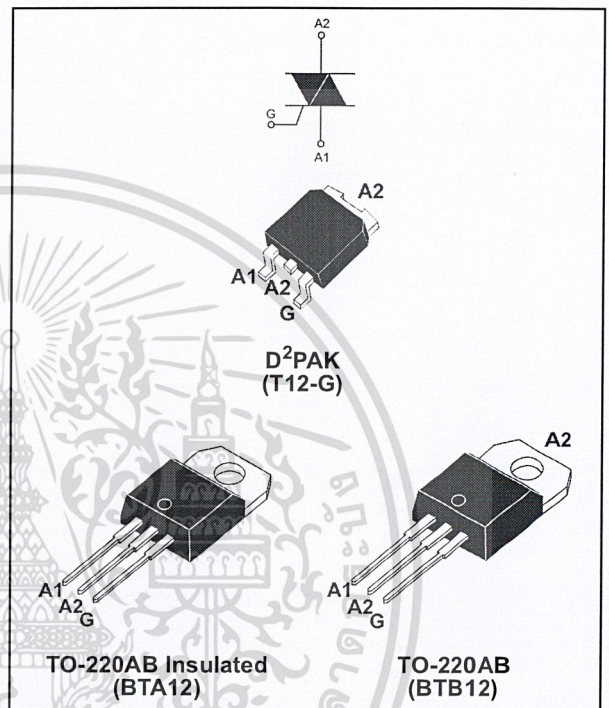
MAIN FEATURES:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	12	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT}(Q_1)$	10 to 50	mA

DESCRIPTION

Available either in through-hole or surface-mount packages, the BTA/BTB12 and T12 triac series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers,...

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T12 series) are specially recommended for use on inductive loads, thanks to their high commutation performances. By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V RMS) complying with UL standards (File ref.: E81734)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter		Value	Unit	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	D ² PAK/TO-220AB	$T_c = 105^\circ\text{C}$	12	A
		TO-220AB Ins.	$T_c = 90^\circ\text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz	t = 20 ms	120	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	126	
I^2t	I^2t Value for fusing	tp = 10 ms		78	A ² s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, tr ≤ 100 ns	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ\text{C}$	50	A/μs
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	tp = 10 ms	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	tp = 20 μs	$T_j = 125^\circ\text{C}$	4	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	°C

BTA/BTB12 and T12 Series

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

■ SNUBBERLESS™ and LOGIC LEVEL (3 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		T12	BTA/BTB12			Unit
				T1235	SW	CW	BW	
I _{GT} (1)	V _D = 12 V R _L = 30 Ω	I - II - III	MAX.	35	10	35	50	mA
V _{GT}		I - II - III	MAX.	1.3			V	
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125°C	I - II - III	MIN.	0.2			V	
I _H (2)	I _T = 100 mA		MAX.	35	15	35	50	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III	MAX.	50	25	50	70	mA
		II		60	30	60	80	
dV/dt (2)	V _D = 67 %V _{DRM} gate open T _j = 125°C		MIN.	500	40	500	1000	V/μs
(dI/dt) _c (2)	(dV/dt) _c = 0.1 V/μs T _j = 125°C		MIN.	-	6.5	-	-	A/ms
	(dV/dt) _c = 10 V/μs T _j = 125°C			-	2.9	-	-	
	Without snubber T _j = 125°C			6.5	-	6.5	12	

■ STANDARD (4 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		BTA/BTB12		Unit
				C	B	
I _{GT} (1)	V _D = 12 V R _L = 30 Ω	I - II - III IV	MAX.	25 50	50 100	mA
V _{GT}		ALL	MAX.	1.3		V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125°C	ALL	MIN.	0.2		V
I _H (2)	I _T = 500 mA		MAX.	25	50	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III - IV	MAX.	40	50	mA
		II		80	100	
dV/dt (2)	V _D = 67 %V _{DRM} gate open T _j = 125°C		MIN.	200	400	V/μs
(dV/dt) _c (2)	(dI/dt) _c = 5.3 A/ms T _j = 125°C		MIN.	5	10	V/μs

STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
V _T (2)	I _{TM} = 17 A	tp = 380 μs T _j = 25°C	MAX.	1.55	V
V _{to} (2)	Threshold voltage		MAX.	0.85	V
R _d (2)	Dynamic resistance		MAX.	35	mΩ
I _{DRM}	V _{DRM} = V _{RDM}	T _j = 25°C	MAX.	5	μA
I _{RDM}		T _j = 125°C		1	mA

Note 1: minimum I_{GT} is guaranteed at 5% of I_{GT} max.

Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit	
R _{th(j-c)}	Junction to case (AC)		D ² PAK/TO-220AB	1.4	°C/W
			TO-220AB Insulated	2.3	
R _{th(j-a)}	Junction to ambient	S = 1 cm ²	D ² PAK	45	°C/W
			TO-220AB TO-220AB Insulated	60	

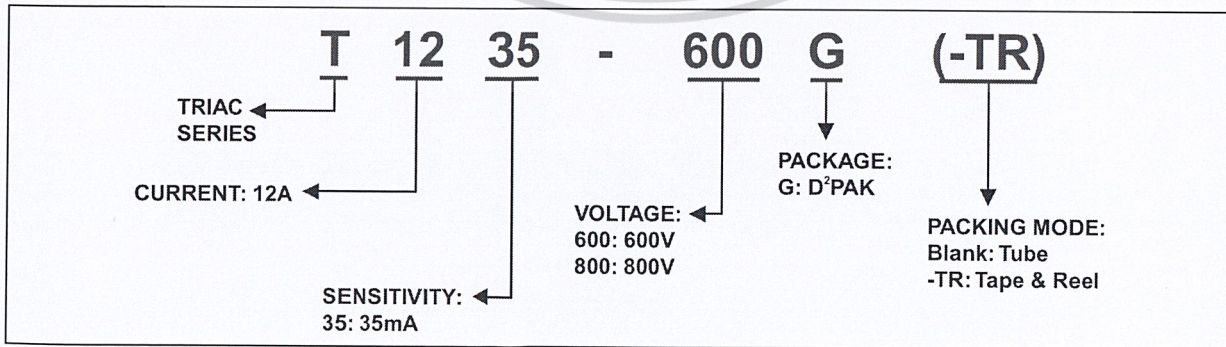
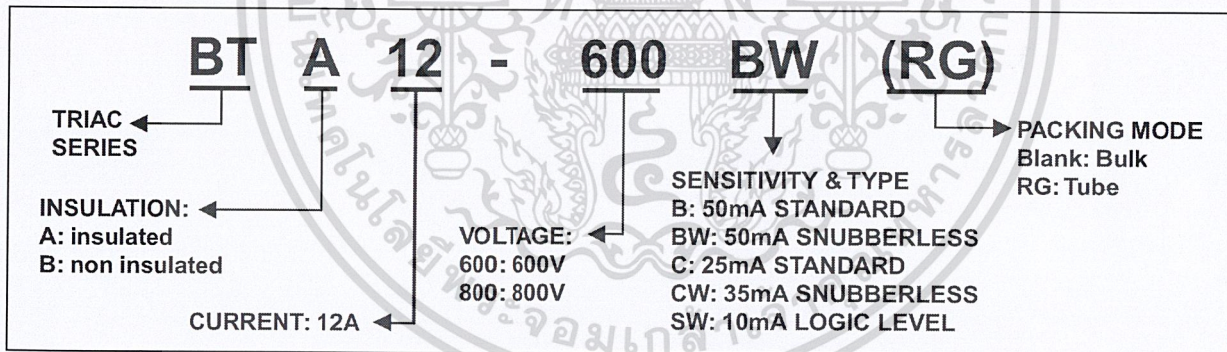
S = Copper surface under tab

PRODUCT SELECTOR

Part Number	Voltage (xxx)		Sensitivity	Type	Package
	600 V	800 V			
BTA/BTB12-xxxB	X	X	50 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxBW	X	X	50 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxC	X	X	25 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxCW	X	X	35 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxSW	X	X	10 mA	Logic level	TO-220AB
T1235-xxxG	X	X	35 mA	Snubberless	D ² PAK

BTB: non insulated TO-220AB package

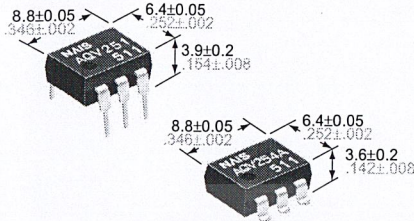
ORDERING INFORMATION



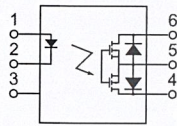
NAIS

HE (High-function Economy) Type [1-Channel (Form A) Type]

PhotoMOS RELAYS



mm inch



FEATURES

1. Highly sensitive and low on-resistance
2. Controls various types of loads such as relays, motors, lamps and solenoids.
3. Optical coupling for extremely high isolation
5,000 Vrms I/O isolation available.
4. Low-level off state leakage current
5. Eliminates the need for a power supply to drive the power MOSFET
A power supply used to drive the power MOSFET is unnecessary because of the built-in optoelectronic device. This results in easy circuit design and small PC board area.
6. Low thermal electromotive force (Approx. 1 μ V)

TYPICAL APPLICATIONS

- High-speed inspection machines
- Telephone equipment
- Data communication equipment

TYPES

1. I/O isolation voltage: 1,500 V AC

Output rating*		Part No.				Packing quantity	
		Through hole terminal		Surface-mount terminal			
Load voltage	Load current	Tube packing style		Tape and reel packing style		Tube	Tape and reel
				Picked from the 1/2/3-pin side	Picked from the 4/5/6-pin side		
40 V	500 mA	AQV251	AQV251A	AQV251AX	AQV251AZ	1 tube contains 50 pcs. 1 batch contains 500 pcs.	1,000 pcs.
60 V	400 mA	AQV252	AQV252A	AQV252AX	AQV252AZ		
100 V	350 mA	AQV255	AQV255A	AQV255AX	AQV255AZ		
200 V	250 mA	AQV257	AQV257A	AQV257AX	AQV257AZ		
250 V	200 mA	AQV253	AQV253A	AQV253AX	AQV253AZ		
400 V	150 mA	AQV254	AQV254A	AQV254AX	AQV254AZ		
1,000 V	30 mA	AQV259	AQV259A	AQV259AX	AQV259AZ		
1,500 V	20 mA	AQV258	AQV258A	AQV258AX	AQV258AZ		

2. I/O isolation voltage: Reinforced 5,000 V

Output rating*		Part No.				Packing quantity	
		Through hole terminal		Surface-mount terminal			
Load voltage	Load current	Tube packing style		Tape and reel packing style		Tube	Tape and reel
				Picked from the 1/2/3-pin side	Picked from the 4/5/6-pin side		
250 V	200 mA	AQV253H	AQV253HA	AQV253HAX	AQV253HAZ	1 tube contains 50 pcs. 1 batch contains 500 pcs.	1,000 pcs.
400 V	150 mA	AQV254H	AQV254HA	AQV254HAX	AQV254HAZ		

*Indicate the peak AC and DC values.

Note: For space reasons, the package type indicator "X" and "Z" are omitted from the seal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bsolute maximum ratings (Ambient temperature: 25°C 77°F)

Item	Sym- bol	Type of con- nection	AQV251(A)	AQV252(A)	AQV255(A)	AQV257(A)	AQV253(A)	AQV254(A)	AQV259(A)	AQV258(A)	AQV253H(A)	AQV254H(A)	Remarks	
LED forward current	I _F		50 mA											
LED reverse voltage	V _R		3 V											
Peak forward current	I _{FP}		1 A										f = 100 Hz, Duty factor +0.1%	
Power dissipation	P _{in}		75 mW											
Load voltage (Peak AC)	V _L		40 V	60 V	100 V	200 V	250 V	400 V	1,000 V	1,500 V	250 V	400 V		
Continuous load current	I _L	A	0.5 A	0.4 A	0.35 A	0.25 A	0.2 A	0.15 A	0.03 A	0.02 A	0.2 A	0.15 A	A connection: Peak AC, DC B, C connection: DC	
		B	0.7 A	0.6 A	0.45 A	0.35 A	0.3 A	0.18 A	0.04 A	0.025 A	0.3 A	0.18 A		
		C	1.0 A	0.8 A	0.70 A	0.5 A	0.4 A	0.25 A	0.05 A	0.04 A	0.4 A	0.25 A		
Peak load current	I _{peak}		1.8 A	1.5 A	1.0 A	0.75 A	0.6 A	0.5 A	0.09 A	0.06 A	0.6 A	0.5 A	A connection: 100 ms (1 shot) V _L = DC	
Power dissipation	P _{out}		360 mW											
Power dissipation	P _T		410 mW											
Isolation voltage	V _{iso}		1,500 V AC							5,000 V AC				
Temperature	Operating	T _{opr}	-40°C to +85°C -40°F to +185°F										Non-condensing at low temperatures	
	Storage	T _{slg}	-40°C to +100°C -40°F to +212°F											

Electrical characteristics (Ambient temperature: 25°C 77°F)

Item	Sym- bol	Type of con- nection	AQV251(A)	AQV252(A)	AQV255(A)	AQV257(A)	AQV253(A)	AQV254(A)	AQV259(A)	AQV258(A)	AQV253H(A)	AQV254H(A)	Condition	
LED operate current	Typical	I _{Fon}	0.9 mA									1.4 mA	I _L = Max.	
	Maximum		3 mA											
LED turn off current	Minimum	I _{Foff}	0.4 mA										I _L = Max.	
	Typical		0.8 mA									1.3 mA		
LED dropout voltage	Typical	V _F	1.14 V (1.25 V at I _F = 50 mA)										I _F = 5 mA	
	Maximum		1.5 V											
On resistance	Typical	R _{on}	A	0.6 Ω	0.74 Ω	1.8 Ω	2.6 Ω	5.5 Ω	12.4 Ω	85 Ω	345 Ω	5.5 Ω	12.4 Ω	I _F = 5 mA I _L = Max. Within 1 s on time
	Maximum		1 Ω	1.4 Ω	2.5 Ω	4 Ω	8 Ω	16 Ω	200 Ω	500 Ω	8 Ω	16 Ω		
	Typical	R _{on}	B	0.3 Ω	0.37 Ω	0.9 Ω	1.4 Ω	2.7 Ω	6.2 Ω	60 Ω	345 Ω	2.7 Ω	6.2 Ω	I _F = 5 mA I _L = Max. Within 1 s on time
	Maximum		0.5 Ω	0.7 Ω	1.25 Ω	2 Ω	4 Ω	8 Ω	100 Ω	500 Ω	4 Ω	8 Ω		
	Typical	R _{on}	C	0.15 Ω	0.18 Ω	0.45 Ω	0.7 Ω	1.4 Ω	3.1 Ω	30 Ω	160 Ω	1.4 Ω	3.1 Ω	I _F = 5 mA I _L = Max. Within 1 s on time
	Maximum		0.25 Ω	0.35 Ω	0.63 Ω	1 Ω	2 Ω	4 Ω	50 Ω	250 Ω	2 Ω	4 Ω		
Off state leakage current	Maximum	—	1 μA						10 μA		1 μA		I _F = 0 V _L = Max.	
Switching speed	Turn on time*	Typical	1.7 ms	1.4 ms	0.9 ms	1.5 ms	0.8ms	0.8ms	0.6ms	0.35 ms	2.4ms	1.8ms	I _F = 5 mA I _L = Max.	
		Maximum	3 ms		2 ms	3 ms	2 ms		1 ms		4 ms	3 ms		
	Turn off time*	Typical	0.07 ms		0.09 ms	0.1 ms	0.06 ms	0.05 ms	0.04 ms		0.06 ms	0.05 ms	I _F = 5 mA I _L = Max.	
		Maximum	0.2 ms											
Capacitance	Typical	C _{iso}	1.3 pF										f = 1 MHz V _B = 0	
	Maximum		3 pF											
Initial I/O isolation resistance	Minimum	R _{iso}	1,000 MΩ										500 V DC	

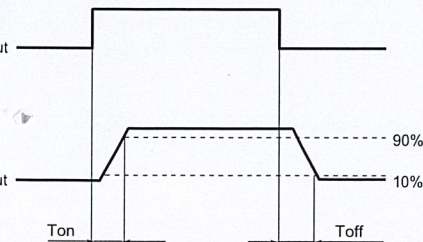
Recommendable LED forward current

Standard type: 5 mA

Reinforced type: 5 to 10 mA

on/Turn off time

For type of connection, see Page 31.



■ For Dimensions, see Page 27.

■ For Schematic and Wiring Diagrams, see Page 31.

■ For Cautions for Use, see Page 36.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741

Operational Amplifier

General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

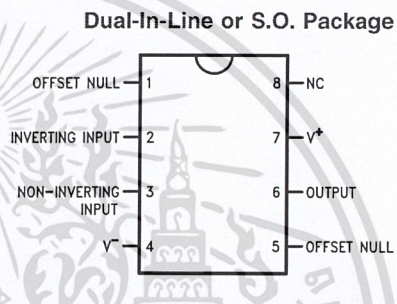
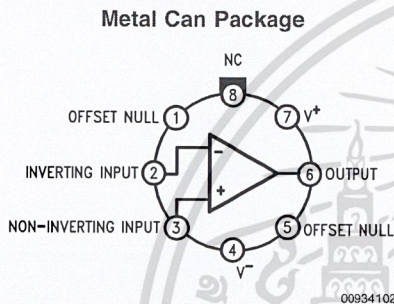
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Features

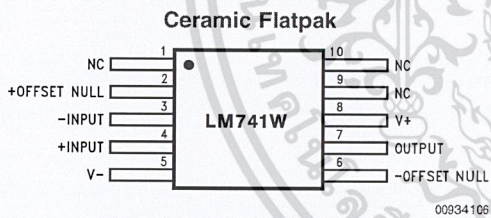
Connection Diagrams



Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

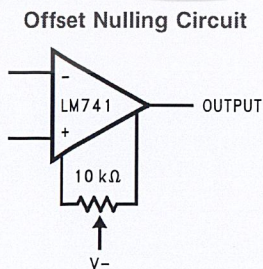
Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E



Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
	Average Input Offset Voltage Drift			15							
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	±10			±15			±15			mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		$\text{M}\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50						50	200	20	200	V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$	32						25		15		V/mV V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$ $V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10										V/mV V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16										V V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 12	± 14		± 12	± 14			V V
					± 10	± 13		± 10	± 13			
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35								mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40						25		mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90			dB
	$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95									dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$ $R_S \leq 50\Omega$	86	96									dB
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$				77	96		77	96			dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	Rise Time	0.25	0.8				0.3		0.3		μs
		Overshoot	6.0	20				5		5		%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5									MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7				0.5		0.5			V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$						1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$		80	150								mW mW
	$V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$											mW mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$							60	100			mW mW
								45	75			

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

MC14046B

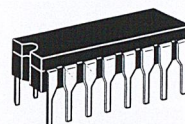
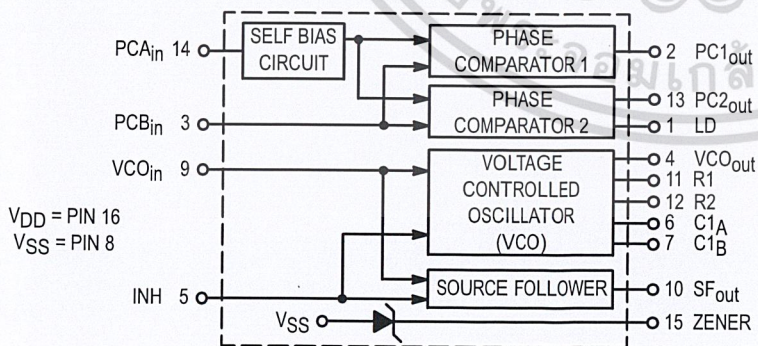
Phase Locked Loop

The MC14046B phase locked loop contains two phase comparators, a voltage-controlled oscillator (VCO), source follower, and zener diode. The comparators have two common signal inputs, PCA_{in} and PCB_{in} . Input PCA_{in} can be used directly coupled to large voltage signals, or indirectly coupled (with a series capacitor) to small voltage signals. The self-bias circuit adjusts small voltage signals in the linear region of the amplifier. Phase comparator 1 (an exclusive OR gate) provides a digital error signal $PC1_{out}$, and maintains 90° phase shift at the center frequency between PCA_{in} and PCB_{in} signals (both at 50% duty cycle). Phase comparator 2 (with leading edge sensing logic) provides digital error signals, $PC2_{out}$ and LD, and maintains a 0° phase shift between PCA_{in} and PCB_{in} signals (duty cycle is immaterial). The linear VCO produces an output signal VCO_{out} whose frequency is determined by the voltage of input VCO_{in} and the capacitor and resistors connected to pins C1A, C1B, R1, and R2. The source-follower output SF_{out} with an external resistor is used where the VCO_{in} signal is needed but no loading can be tolerated. The inhibit input INH , when high, disables the VCO and source follower to minimize standby power consumption. The zener diode can be used to assist in power supply regulation.

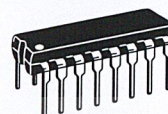
Applications include FM and FSK modulation and demodulation, frequency synthesis and multiplication, frequency discrimination, tone decoding, data synchronization and conditioning, voltage-to-frequency conversion and motor speed control.

- Buffered Outputs Compatible with MHTL and Low-Power TTL
- Diode Protection on All Inputs
- Supply Voltage Range = 3.0 to 18 V
- Pin-for-Pin Replacement for CD4046B
- Phase Comparator 1 is an Exclusive Or Gate and is Duty Cycle Limited
- Phase Comparator 2 switches on Rising Edges and is not Duty Cycle Limited

BLOCK DIAGRAM



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



DW SUFFIX
SOIC
CASE 751G

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBDW SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.

PIN ASSIGNMENT

LD	1	16	V_{DD}
$PC1_{out}$	2	15	ZENER
PCB_{in}	3	14	PCA_{in}
VCO_{out}	4	13	$PC2_{out}$
INH	5	12	R2
C1A	6	11	R1
C1B	7	10	SF_{out}
V_{SS}	8	9	VCO_{in}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



ประวัติผู้เขียน



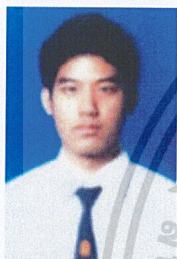
นาย ชาย กังวานสุระ

เกิดวันที่ 12 สิงหาคม 2532

ที่อยู่ 99/52 ถนน รามคำแหง เขต สะพานสูง กทม. 10240

จบการศึกษาจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

E-mail: wk.shine@yahoo.com



นาย ธานีพล อังควานิช

เกิดเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2532

ที่อยู่ 79/101 ซอย รามคำแหง150 ถนน รามคำแหง เขต สะพานสูง
กทม. 10240

จบการศึกษาจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

E-mail : macnattapol@hotmail.com



นาย ธิญภูมิ แสงเพชร

เกิดเมื่อวันที่ 27 มกราคม 2532

ที่อยู่ 31 หมู่ 3 ตำบลเวียง อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย 57140

จบการศึกษาจาก โรงเรียนจุฬามารณราชวิทยาลัย เชียงราย

E-mail : j_kung_pcc@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้