



ปีการศึกษา 2535

ชุดทดลองเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์



อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

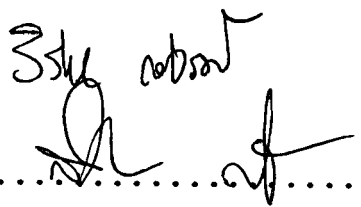
03274C

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2535
ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์

ผู้จัดทำ

1. นาย ปัญญา มาลีวัตร 34161217
2. นาย อภิลิทธิ ศรีแก้วบวร 34161241


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032748

ชุดทดลองเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์

นาย ปัญญา มาลีวัตร 34161217

นาย อภิสัทธ์ ศรีแก้ววร 34161241

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน คือชุดทดลอง 3 เฟสอินเวอร์เตอร์ ชุดทดลอง 3 เฟสคอนเวอร์เตอร์ ชุดทดลองการควบคุมสแตปีงมอเตอร์ ชุดทดลองการทดสอบเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ชุดทดลองทั้งหมดนี้มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการศึกษาวิชาเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะช่วยให้นักศึกษาเข้าใจ ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER ELECTRONICS TRAINNING MODULE

PANYA MALEEWAT

APISIT SPIKAOBORRWOPRN

ADVISOR

SINGTHONG PATTANASETTHAHON

1993

ABSTRACT

This project can be separated into four parts. The first three phase converter circuit. Second three phase inverter circuit. Third stepping motor control circuit. Fourth machine characteristic test. These present principle and application of circuit. Experimentation of circuit, For study in power electronics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทนำ

บทที่1 การทดลอง stepping motor control

1.1 สเตปปิ่งมอเตอร์และการควบคุม	1
1.2 การออกแบบวงจร	10
1.3 การทดลอง	12
1.4 ผลการทดลอง	14
1.5 สรุปผลการทดลอง	15

บทที่2 การทดลอง 3 phase converter

2.1 วงจร 3 phase converter	16
2.2 การออกแบบวงจร	29
2.3 การทดลอง	35
2.4 ผลการทดลอง	40
2.5 สรุปผลการทดลอง	45

บทที่3 การทดลอง 3 phase inverter

3.1 วงจร 3 phase inverter	46
3.2 การออกแบบวงจร	53
3.3 การทดลอง	56
3.4 ผลการทดลอง	57
3.5 สรุปผลการทดลอง	59

บทที่4 การทดลองการทดสอบคุณสมบัติ

4.1 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง	60
4.2 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ	61
4.3 การออกแบบชุดทดลอง	63
4.4 การทดลอง	65
4.5 ผลการทดลอง	69
4.6 สรุปผลการทดลอง	70

บทนำ

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรง(three phase converter) โดยใช้อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์เปลี่ยนไฟกระแสสลับที่มีแรงดันคงที่เป็นค่าแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายสู่โหลด กรณีที่ใช้ไดโอดเราไม่สามารถควบคุมแรงดันเฉลี่ยได้ แต่กรณีที่ใช้เอสซีอาร์เราสามารถควบคุมได้สามารถนำไปใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงเป็นต้น three phase converter ในปฏิยานิพนธ์นี้สามารถใช้สำหรับการศึกษาการทำงานของวงจรและลักษณะสัญญาณที่ได้จากวงจร three phase converter โดยใช้แรงดันกระแสสลับค่าต่างๆ เท่านั้น

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ3เฟส(three phase inverter) สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับในลักษณะสแตปได้ โดยใช้อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสสลับโดยเปลี่ยนความถี่ เป็นต้น วงจร 3 phase inverter ในปฏิยานิพนธ์นี้สามารถใช้ศึกษาหลักการการทำงานของวงจรและศึกษาสัญญาณแรงดันกระแสสลับ 3 เฟสในลักษณะ 6 สแตป ที่สามารถปรับความถี่ได้ โดยใช้แรงดันกระแสตรงค่าต่างๆ เท่านั้น

การควบคุมสแตปปีงมอเตอร์ (stepping motor control) สามารถทำได้โดยการกระตุ้นขดลวดของสแตปปีงมอเตอร์ ให้หมุนตามลำดับเฟส ตามลักษณะการกระตุ้นแบบต่างๆ ซึ่งสามารถทำให้หมุนได้ทั้งแบบเป็นสแตปและแบบต่อเนื่อง โดยความเร็วของการหมุนขึ้นอยู่กับความถี่ของวงจรกระตุ้น สแตปปีงมอเตอร์สามารถใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น การควบคุมตำแหน่ง การควบคุมความเร็ว เป็นต้น วงจรสแตปปีงมอเตอร์คอนโทรลในปฏิยานิพนธ์นี้สามารถเลือกการกระตุ้นมอเตอร์แบบ one-step และ two-step โดยสามารถควบคุมความถี่ของการหมุนได้ในย่านกว้างพอสมควร เพื่อศึกษาการทำงานของสแตปปีงมอเตอร์

การทดสอบคุณลักษณะของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ (DC machine and AC machine characteristic test) คุณสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้าแบบต่างๆ เป็นสิ่งจำเป็นที่ควรรู้เพื่อเลือกใช้เครื่องกลไฟฟ้าให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ในปฏิยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดอนุกรม โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดอนุกรมขนาดเล็กมาทดสอบแทนและทำการทดสอบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดอินดักชันขนาดเล็กมาทดสอบแทนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลอง

STEPPING MOTOR CONTROL

สแต็ปปีงมอเตอร์มีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างคือ

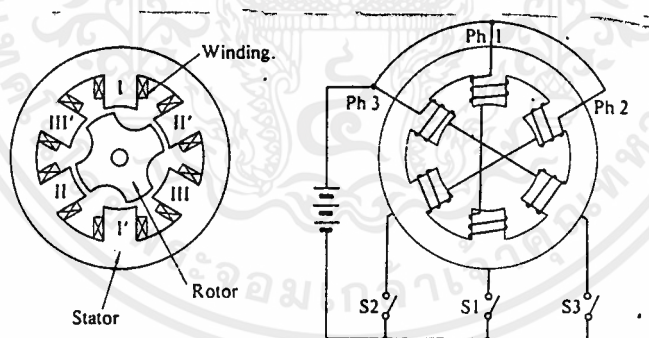
-ไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณป้อนกลับเพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็ว นั่นคือสามารถควบคุมแบบระบบเปิดได้ลดความยุ่งยากทางวงจรควบคุมลง แต่ยังให้การควบคุมตำแหน่งและความเร็วที่เที่ยงตรง

- เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลไปเป็นการเคลื่อนที่ทางกล ดังนั้นการติดต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลก็เป็นไปได้โดยง่ายและวงจรขยายกำลังจากสัญญาณดิจิทัลที่ใช้ก็มีราคาถูกกว่าวงจรขยายกำลังเชิงเส้นอีกด้วย

- การออกแบบวงจรควบคุมสามารถทำได้ง่ายกว่าวงจรควบคุมแบบเซอร์โวและยังสามารถออกแบบวงจรให้สแต็ปปีงมอเตอร์ทำงานหรือหยุดได้ทันทีทันใด

ชนิดและการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์

สแต็ปปีงมอเตอร์แบ่งออกได้เป็นหลายชนิดด้วยกัน เช่น Variable - reluctance hybrid, linear แต่ในที่นี้กล่าวเพียงแบบ Variable-reluctance และ permanent magnet ดังรูปที่ 1

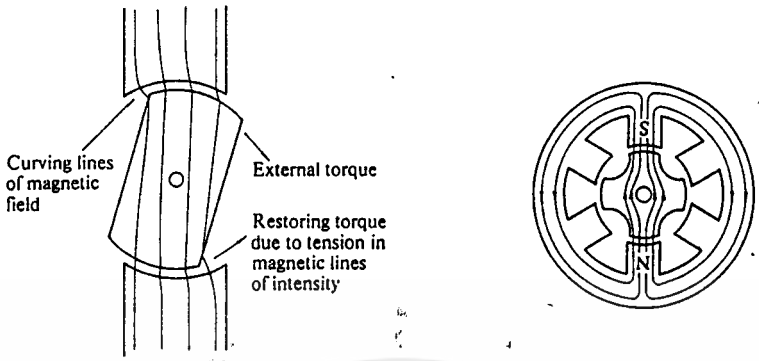


รูปที่ 1 ภาพหน้าตัดและการพันขดลวดของ VR สแต็ปปีงมอเตอร์แบบ 3 เฟส

Variable-reluctance หรือ VR มอเตอร์ จะเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจการทำงานของสแต็ปปีงแบบอื่นารูปที่ 1 เป็นรูปหน้าตัดและยังแสดงถึงการพันขดลวดของ VR มอเตอร์แบบ 3 เฟส มีขั้วเหนือและขั้วใต้อยู่ตรงข้ามกัน

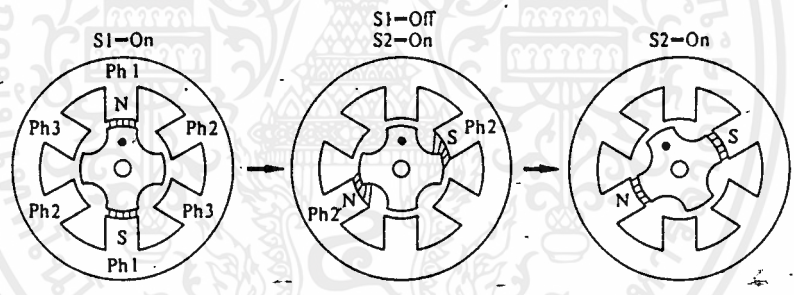
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 คู่ โดยจะพันขดลวดอนุกรมกันไปแต่ละชุดถ้าเกิดการกระตุ้นขั้นที่เฟส 1, 2, 3 จะเป็นขั้วได้ และจะมีอีก 3 ขั้วเป็นขั้วเหนือทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากเหล็กผสมซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุที่มีความซึมซับสูงสามารถให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้มาก ตามรูปที่ 2



รูปที่2 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก

การทำงานจะเริ่มจากการกระตุ้นที่เฟส1 ก่อน s1 on ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2 ตัวโรเตอร์จะพยายามวางตำแหน่งตัวเองให้อยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุด ในแนว 1-1'



รูปที่3 แสดงขั้นตอนการหมุนเมื่อมีการกระตุ้นเฟสจากเฟส 1 ไปยังเฟส 2

ในขณะที่เริ่มต้นที่จะกระตุ้นเฟส 2 <S1 off S2 on> ดังรูปที่ 3 เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่อยู่ในแนวทางเดินที่สะดวก จึงทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้น ตัวโรเตอร์ก็จะพยายามปรับตัวเองเพื่อให้ค่าความต้านทานน้อยที่สุดด้วยการหมุนทวนเข็มนาฬิกาซึ่งแรงบิดที่ใช้ในการหมุน เกิดจากแรงของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไปหยุดที่ตำแหน่งที่ค่าความต้านทานน้อยที่สุดนั่นคือหมุนไปหนึ่งสเตป ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเตปของการหมุนไปหนึ่งรอบ <S> มุมที่เปลี่ยนไปหนึ่งสเตป ๐ จำนวนเฟสของสเตเตอร์ <m> และจำนวนฟันของมอเตอร์ <N> แสดงดังสมการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s = 360/0 = mN \quad \dots\dots\dots(1)$$

จากสมการที่ 1 ยังทำให้ทราบอีกว่าถ้าจะลดค่า θ ให้น้อยลงอาจทำได้ด้วยการเพิ่มค่า m และ N ให้สูงขึ้น และลดช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ให้มีค่าน้อยๆ เพื่อให้เกิดแรงบิดสูงสุดและยังมีผลต่อความเที่ยงตรงของตำแหน่งมากยิ่งขึ้นด้วย

โหมดการทำงานของสเตปป์มอเตอร์

ถ้าจะแบ่งตามอัตราเร็วของสเตปแต่ละสเตปจะแบ่งได้เป็น 2 โหมด คือ

1. หมุนเป็นสเตป
2. หมุนแบบต่อเนื่อง

การหมุนเป็นสเตปและมีเวลาหยุดนิ่งก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสเตปถัดไปก็จะเรียกรการทำงานในโหมดนี้ว่า การหมุนเป็นสเตปดังในรูปที่ 4 (ก)

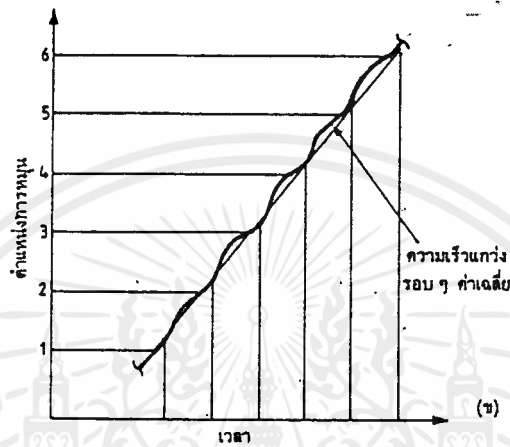
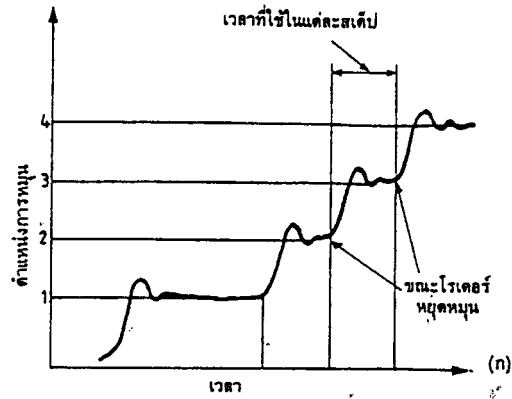
ถ้าเพิ่มอัตราเร็วแต่ละสเตปให้เร็วขึ้น และเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่มีการหยุดนิ่งจะเรียกว่าการหมุนแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 4 (ข) ซึ่งจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว $\langle \eta \rangle$ กับอัตราเร็ว $\langle f \rangle$ และจำนวนสเตป $\langle s \rangle$ ได้ดังสมการ

$$n = 60f/s \quad \dots\dots\dots\langle 2 \rangle$$

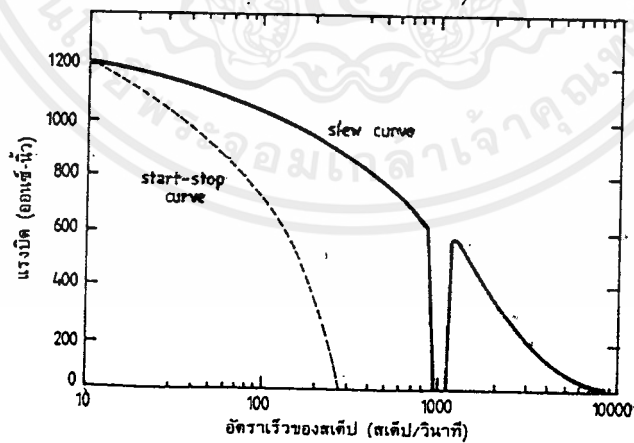
กราฟคุณลักษณะของสเตปป์มอเตอร์

กราฟคุณลักษณะของสเตปป์มอเตอร์จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว อัตราเร็วของสเตปกับแรงบิด ดังรูปที่ 5 สำหรับกราฟเส้นประเรียกว่า start - stop curve เป็นกราฟที่อยู่ในโหมดการหมุนเป็นสเตป และเป็นกราฟที่แสดงถึงแรงบิดที่มอเตอร์สามารถเริ่ม และหยุดหมุนได้โดยปราศจากการผิดพลาดแม้ที่อัตราเร็วที่สเตปต่างๆกัน และกราฟอีกเส้น คือ slew curve ซึ่งทำงานอยู่ในโหมดการหมุนแบบต่อเนื่อง จะเป็นกราฟที่แสดงแรงบิดสูงที่สุดที่สเตปป์มอเตอร์สามารถที่จะกระทำได้ที่อัตราเร็วของสเตปต่างๆกัน ถ้ามีการใช้งานสเตปป์มอเตอร์เหนือกราฟนี้ ก็อาจจะทำให้เกิดความในทางตรงกันข้ามถ้าใช้งานอยู่ใต้กราฟนี้แม้จะควบคุมแบบระบบเปิดก็มั่นใจได้ว่าทั้งตำแหน่งและความเร็วผิดพลาดที่สามารถที่จะกระทำได้ที่อัตราเร็วของสเตปต่างๆกัน โดยตำแหน่งของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป} = \text{มุมใน 1 สเตป} * \text{ชนวนพัลส์ที่ป้อนให้} \quad \dots\dots\dots\langle 3 \rangle$$



รูปที่ 4 กราฟแสดงสแต็ปของการหมุนในโหมดการทำงานแบบ
 ก) หมุนเป็นสแต็ป
 ข) หมุนต่อเนื่อง



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วกับแรงบิดของการทำงานทั้ง 2 โหมด
 ของสแต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับช่วงที่เป็นเส้นกราฟที่ขาดหายไปของ slew curve นั้นเป็นย่านรีโซแนนซ์ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการพิจารณาการใช้งานเพราะช่วงนี้เป็นช่วงที่ไม่เสถียรภาพ และควบคุมไม่ได้

วิธีการกระตุ้น

การที่จะทำให้สแตมป์มอเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องเหมือนกับ การหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะต้องมีจ่ายพัลส์เป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง วิธีการที่จะกระตุ้นเฟสมีด้วยกันหลายวิธี แต่จะอธิบายเพียง 3 วิธี คือ

- 1) การกระตุ้นแบบเฟสเดียว (single phase excitation) เป็นการกระตุ้นเฟสเพียงเฟสเดียวเท่านั้นที่จังหวะสัญญาณนาฬิกาหนึ่งๆ
- 2) การกระตุ้นแบบเฟสคู่ (two phase excitation) ก็จะมีการกระตุ้นเฟสสองเฟสพร้อมกันในจังหวะสัญญาณนาฬิกาหนึ่งๆ
- 3) การกระตุ้นแบบกึ่งสเตป (half step excitation) จะเป็นการรวมกันทั้งสองแบบแรกเข้าด้วยกันโดยจะกระตุ้นเฟสแบบที่หนึ่ง และแบบที่สองสลับกันไป ดังรูปที่ 6

จังหวะสัญญาณนาฬิกา	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เฟส 1	█			█			█			█	
เฟส 2		█			█			█			█
เฟส 3			█			█			█		

(ก)

จังหวะสัญญาณนาฬิกา	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เฟส 1	█	█			█	█			█	█	
เฟส 2		█	█			█	█			█	█
เฟส 3			█	█			█	█			█

(ข)

จังหวัดสมุทร นาทिका	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เฟส 1	█	█				█	█	█			
เฟส 2		█	█	█				█	█	█	
เฟส 3				█	█	█				█	█

(ก)

รูปที่ 6 ตารางแสดงการกระตุ้นเฟส

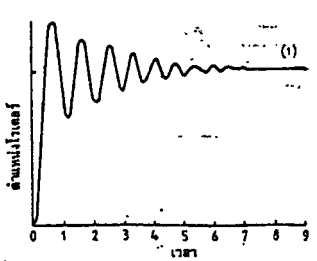
- ก) แบบเฟสเดียว
- ข) แบบเฟสคู่
- ค) แบบกึ่งสเตป

ในการกระตุ้นเฟสแบบคู่ จะมีทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กไม่เป็นเส้นตรงเหมือนการกระตุ้นแบบเฟสเดียว ดังรูปที่ 7 (ก) แต่ถึงกระนั้นค่ามุมที่เปลี่ยนไปในหนึ่งสเตปก็ยังมีค่าเท่าเดิมเหมือนกับการกระตุ้นแบบเฟสเดียว ค่ามุมที่เปลี่ยนไปในหนึ่งสเตปจะมีค่าลดลงครึ่งหนึ่ง การกระตุ้นแบบเฟสคู่จะเกิดแรงบิดได้มากกว่าการกระตุ้นแบบเฟสเดียว ขณะเดียวกันยังสามารถเข้าตำแหน่งในแต่ละสเตปได้เร็วกว่า ดังรูปที่ 7 (ข)

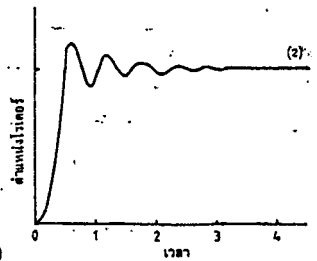
ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการกระตุ้นเฟสแบบกึ่งสเตป คือสามารถลดผลกระทบเนื่องจากย่านเรโซแนนซ์ได้แต่ความถี่ต่างๆจะมีค่าแรงบิดลดลง ดังรูปที่ 7 (ค) และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับทิศทางของลำดับเฟสที่ถูกกระตุ้นด้วย



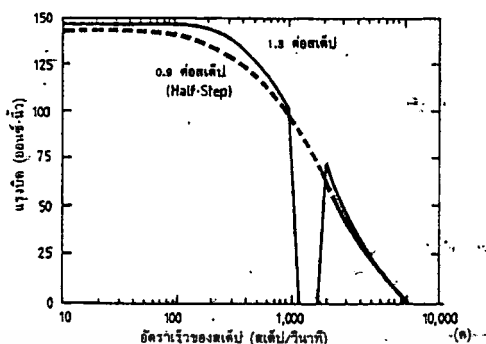
(น)



(1)



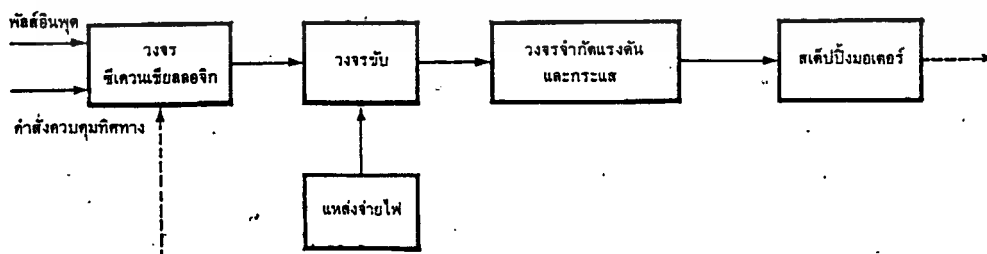
(2)



- รูปที่ 7 (ก) แสดงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก
- (ข) แสดงการเข้าตำแหน่งของโรเตอร์ที่สเต็ปหนึ่งๆ ของแบบ
(1) กระตุ้นแบบเฟสเดียว (2) กระตุ้นแบบเฟสคู่
- (ค) กราฟคุณลักษณะของการกระตุ้นเฟสแบบกึ่งสเต็ป (เส้นประ) และเฟสคู่

การควบคุมสเต็ปिंगมอเตอร์

บล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมสเต็ปिंगมอเตอร์ดังรูปที่ 8 เป็นวงจรรีเลย์คอนเวียลลจิกจะรับพัลส์อินพุต และคำสั่งควบคุมทิศทางแล้วจึงผลิตพัลส์ที่ใช้ในการกระตุ้นเฟสของมอเตอร์ออกไป แต่จะมีระดับของสัญญาณต่ำจึงต้องนำสัญญาณนี้ผ่านวงจรรีบเพื่อให้ระดับสัญญาณสูงขึ้น และจะมีวงจรถักกระแสและแรงดันทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้วงจรรีบ และมอเตอร์จากบล็อกไดอะแกรมจะเห็นได้ว่า ไม่จำเป็นต้องต่อวงจรเอ็นโคดเดอร์ป้อนสัญญาณกลับเพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็ว แต่ในบางครั้งในกรณีที่มีความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของแกนหมุนของมอเตอร์กับตำแหน่งของโหลดไม่ตรงกันนั้น เกิดจากการผิดพลาดของเฟืองเกียร์ก็จำเป็นต้องมีการใช้สัญญาณป้อนกลับเพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็วให้ถูกต้อง



รูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมสเต็ปึงมอเตอร์

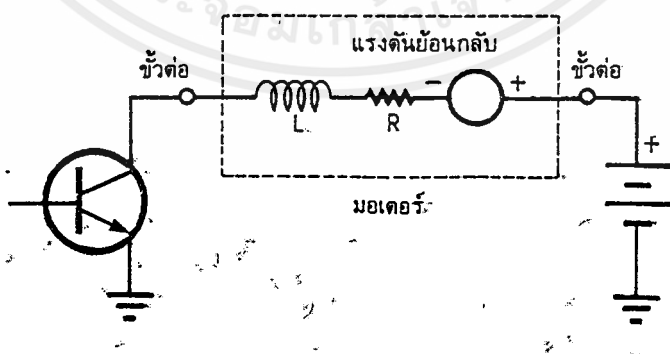
วงจรที่เคาน์เรี่ยลลจิก

การออกแบบวงจรที่เคาน์เรี่ยลลจิก ความแตกต่างของวงจรขึ้นอยู่กับ ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ไอซีประเภทใดมาใช้ในวงจร วิธีการกระตุ้นเฟส จำนวนเฟสของสเตปป์มอเตอร์ และรวมถึงจุดประสงค์ของการใช้งานว่าต้องการใช้งานเฉพาะทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง

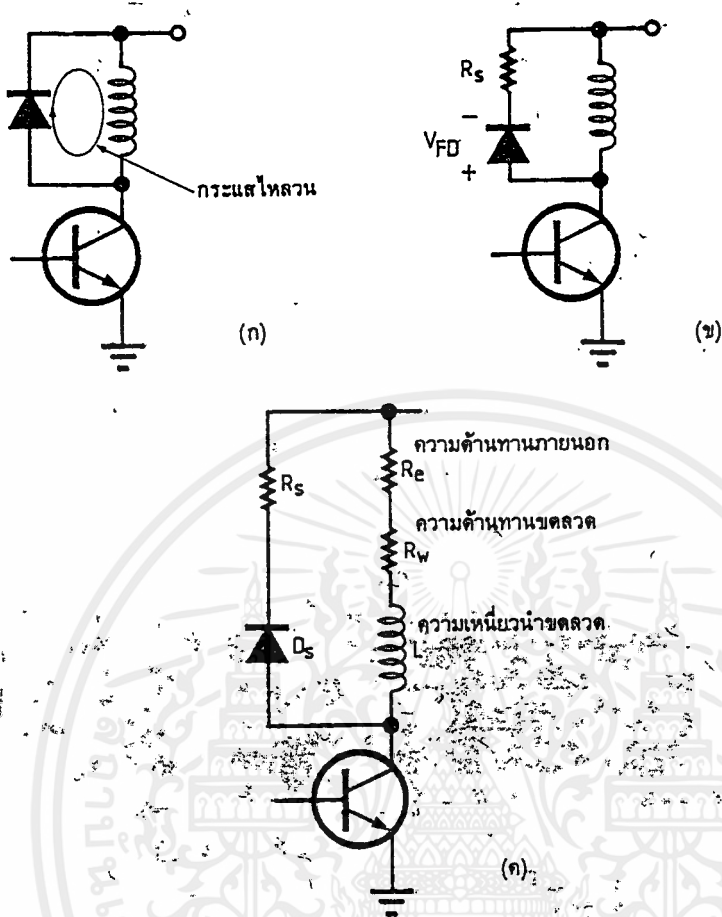
วงจรขั้ว

เมื่อเขียนวงจรสมมูลของขดลวดในสเตปป์มอเตอร์ก็จะได้เป็นตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับความต้านทาน และในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนจะผลิตแรงดันย้อนกลับขึ้นที่ขดลวดวงจรสมมูล ดังรูปที่ 9

แรงดันย้อนกลับนี้จะเป็นอันตรายต่อทรานซิสเตอร์มาก ในขณะที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ off จึงต้องมีวงจรขั้วเพรสเซอร์ (suppressor) เข้าไปเพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์ไม่ให้เกิดความเสียหาย วงจรขั้วเพรสเซอร์ที่ง่ายที่สุดคือ ต่อไดโอดคร่อมกับขดลวด ดังรูปที่ 10(ก) กระแสย้อนกลับจะไหลวนลูปผ่านไดโอดขณะที่ทรานซิสเตอร์ off ทำให้เกิดแรงเบรก (braking torque) ขึ้น ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความต้านทานอนุกรมเข้ากับไดโอด ดังรูปที่ 10(ข) เพื่อทำให้เวลาในการแกว่งของกระแสไหลวนลดลงเร็วขึ้นแต่ก็มีผลให้การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่คอลแลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ด้วยเช่นกัน ปัญหาอีกอย่างหนึ่ง คือหลังจากทรานซิสเตอร์ถูกกระตุ้นเฟสให้อยู่ในสภาวะ on จะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะที่ขั้วด้วยกระแสเต็มพิกัด ซึ่งผลอันนี้เกิดจากค่าคงที่อินเน็องมาจากคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำโดยจะมีผลทำให้แรงบิดลดลงและผลตอบสนองช้าลง วิธีแก้ปัญหาก็อย่างหนึ่ง คือการต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวด ดังรูปที่ 10(ค) เพื่อลดค่าคงที่ให้น้อยลงแต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้สูญเสียพลังงานขึ้นในตัวต้านทานด้วย



รูปที่ 9 วงจรสมมูลของขดลวดขณะที่สเตปป์มอเตอร์กำลังหมุน



รูปที่10 การป้องกันทรานซิสเตอร์ในวงจรขับ

(ก) การใช้ไดโอดซีฟเพรสเซอร์

(ข) ไดโอด รีซีสเตอร์ ซีฟเพรสเซอร์

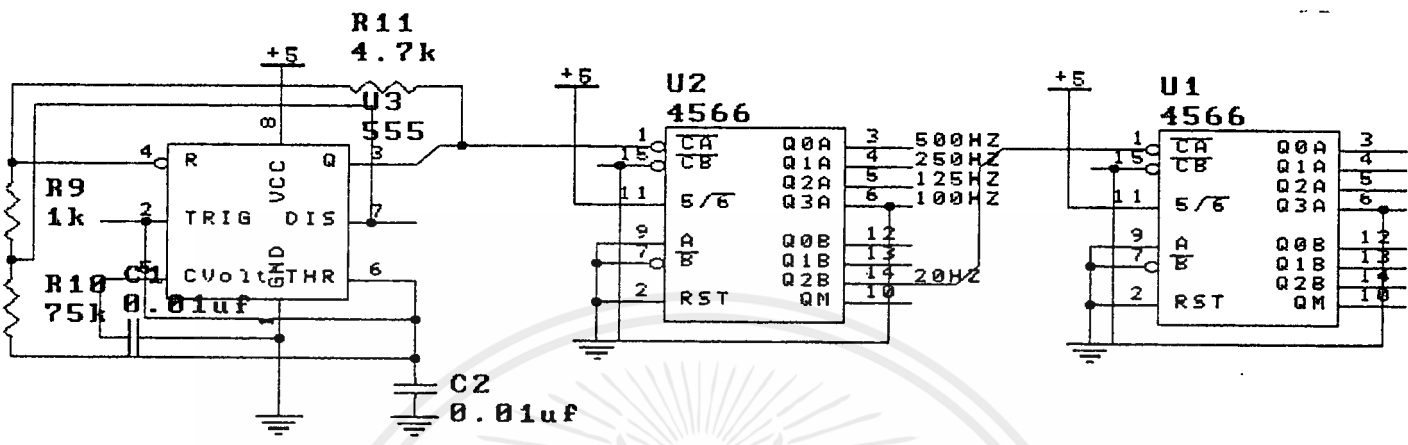
(ค) การต่อความต้านทาน R ในวงจรขดลวดของมอเตอร์เพื่อลดค่าคงที่เวลา

การออกแบบวงจร STEPPING MOTOR

วงจรควบคุมมอเตอร์แบบ Open loop ประกอบด้วยวงจร 3 ส่วนคือ

1. วงจรกำเนิดพัลส์และสร้างความถี่

วงจรกำเนิดพัลส์ใช้ไอซีเบอร์ 555 ผลิตความถี่ 1KHZ



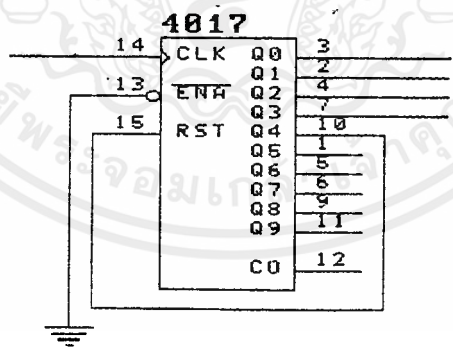
วงจรที่1 วงจร oscillator

ส่วนวงจรเลือกความถี่ใช้ไอซีเบอร์ 4566 มีวงจรหาร 5 และหาร 10 อยู่ในตัวเดียวกัน

2. วงจรที่ควบคุมเขี้ยว

2.1 แบบ one phase

วงจรกระตุ้นแบบ one phase ใช้ไอซี CMOS 4017 โดยให้นับโหมด 4

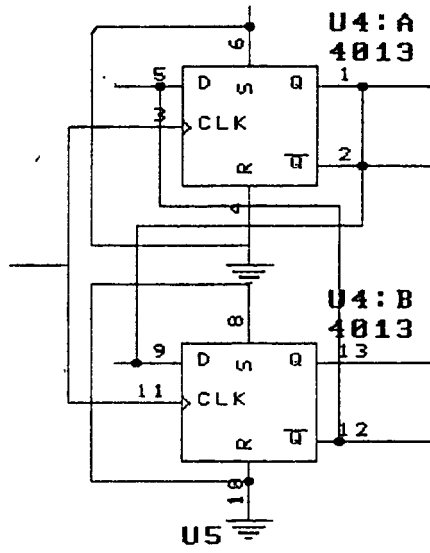


รูปที่2 การกระตุ้นแบบ one-phase

2.2 แบบ two phase

วงจรกระตุ้นแบบtwo phase ใช้ไอซีเบอร์ 4013 ออกแบบให้เป็นแบบ two phase

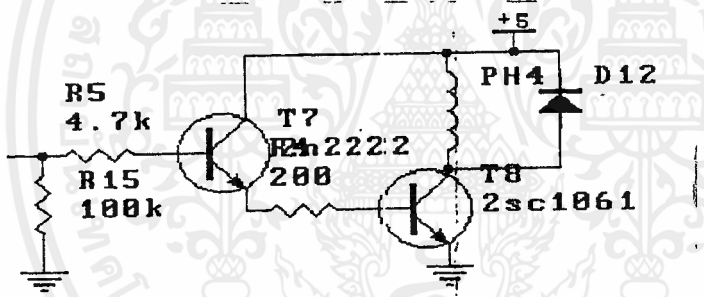
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3 การกระตุ้นแบบ two-phase

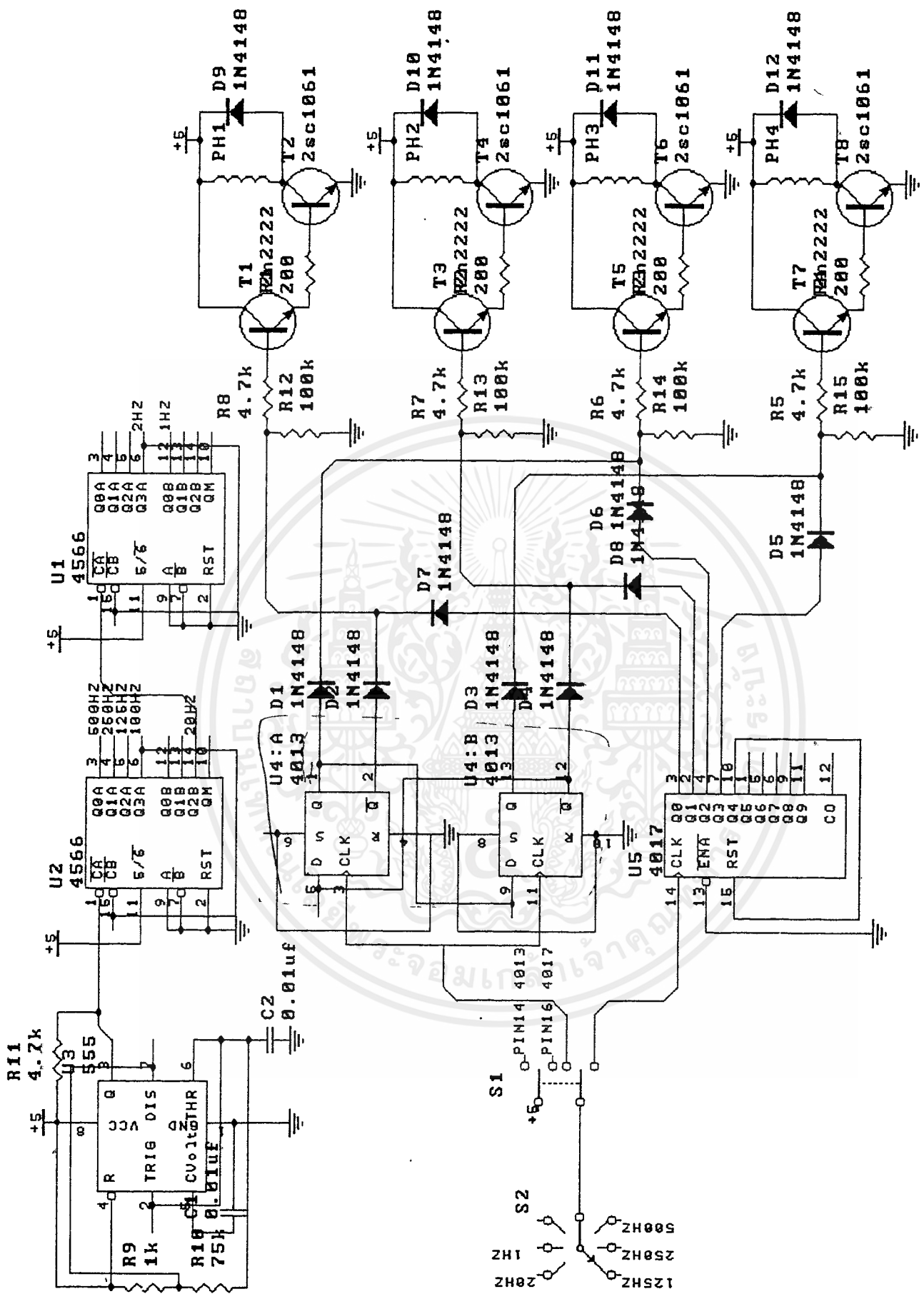
3. วงจรขับมอเตอร์

วงจรขับมอเตอร์ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 ต่อตัวเรียงกันกับ 2SC1061 เพื่อให้อัตราการขยายสูงและสามารถทนต่อมอเตอร์ที่ใช้กระแสสูงๆได้โดยไม่เกิดอันตรายต่อวงจรขับ



รูปที่4 วงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำออก หนึ่งวัน อีกหนึ่งวันให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง STEPPING MOTOR CONTROL

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ stepping motor
- 2) เพื่อศึกษาหลักการกระตุ้นให้ stepping motor ทำงาน

อุปกรณ์การทดลอง

- 1) ชุดทดลอง stepping motor 1 ชุด
- 2) stepping motor 4phase 1 ตัว
- 3) oscilloscope 4 ch 1 เครื่อง
- 4) สายต่อสัญญาณ

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อสายของ stepping motor กับชุดทดลอง ตามลำดับเฟส
- 2) ปรับสวิตช์โหมดการกระตุ้นไปที่ one-phase excitation
- 3) ปรับสวิตช์เลือกความถี่ไปที่ 100 Hz
- 4) ใช้ oscilloscope 4 channel วัดที่จุดเอาต์พุทของชุดทดลอง .ph1, ph2, ph3
ph4
- 5) เปิด power supply บันทึกรูปคลื่นที่ได้ทั้ง 4 ch โดยปรับ oscilloscope
ให้สามารถเห็นรูปคลื่นได้พร้อมกันทั้งหมด
- 6) เขียนลำดับการกระตุ้นลงในตาราง

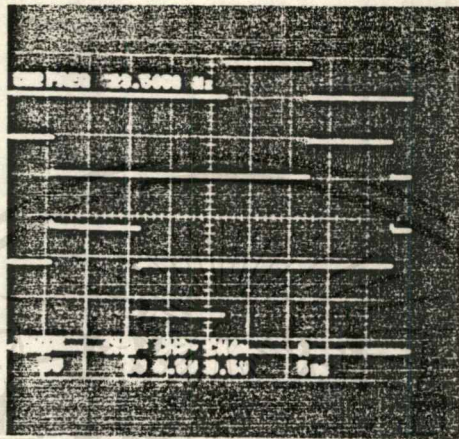
PH1					
PH2					
PH3					
PH4					
CK	1	2	3	4	5

- 7) ทดลองเปลี่ยนความถี่ให้น้อยลงและสูงขึ้นสังเกตมอเตอร์เริ่มหยุดหมุนที่ความถี่เท่าใด
- 8) ปิด power supply
- 9) ปรับสวิตช์เลือกการกระตุ้นไปที่ two phase excitation
- 10) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึง 5 บันทึกรูปคลื่นทั้ง 4 channel
- 11) สรุปผลการทดลอง

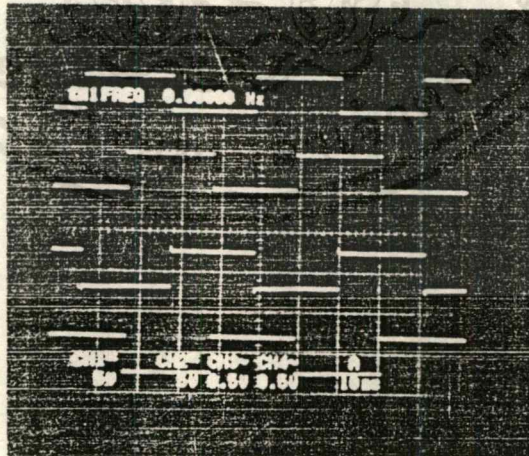


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง
STEPPING MOTOR CONTROL



ภาพแสดงการกระตุ้นเฟสแบบ one-phase



ภาพแสดงการกระตุ้นเฟสแบบ two-phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

วงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ทั้งแบบ one-phase และ two phase โดยสามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 1-500 Hz

สำหรับความถี่ 1-20Hz มอเตอร์หมุนช้ามากทำให้ทรานซิสเตอร์รับกำลังนำกระแส นานเกินไปทำให้ทรานซิสเตอร์ร้อนมากถ้าใช้งานนานๆดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงที่ความถี่ต่ำๆ สาเหตุที่ทำให้ทรานซิสเตอร์ร้อนที่ความถี่ต่ำอาจเป็นเพราะออกแบบวงจรรับกำลังไม่ดีพอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

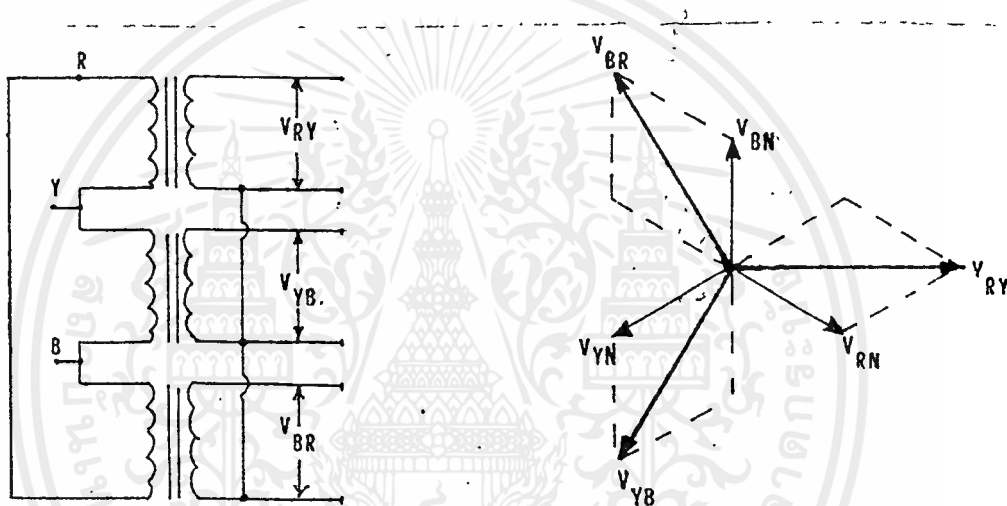
ชุดทดลอง

THREE PHASE CONVERTER

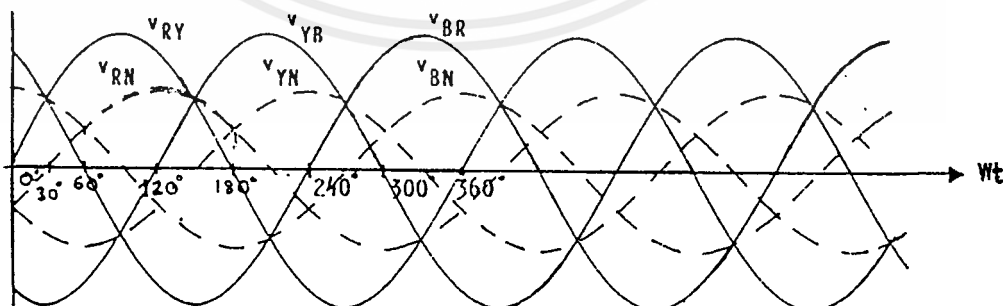
วงจรเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงจากระบบ 3 เฟส สำหรับการใช้งานที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ระบบ 3 เฟส ด้วยเหตุผลดังนี้

- 1) เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีสภาวะสมดุลทั้ง 3 เฟส
- 2) มีประสิทธิภาพและประหยัด
- 3) แรงดันเอาต์พุทเรียบขึ้น

ในระบบไฟ 3 เฟสที่ใช้หม้อแปลง 1 เฟส จำนวน 3 ตัวต่อร่วมกันดังแสดง ในรูปที่ 1 และแสดง vector diagram ของแรงดันที่ขดทุติยภูมิเพื่อต่อลักษณะที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข)



รูปที่ 1 vector diagram ของแรงดันที่ขดทุติยภูมิสำหรับการต่อหม้อแปลงแบบ delta - star



รูปที่ 2 แรงดันในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

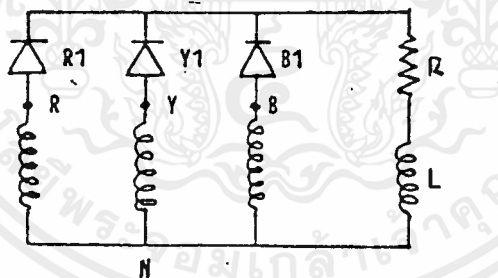
เมื่อ V_{r_v} เป็นแรงดันอ้างอิง ตามที่แสดงในรูป 2 สามารถเขียนเป็นสมการแทนได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{r_v} &= V_{m(1-1)} \sin(\omega t) = \sqrt{2} V_{rms(1-1)} \sin(\omega t) \\ V_{v_b} &= V_{m(1-1)} \sin(\omega t - 120) = \sqrt{2} V_{rms(1-1)} \sin(\omega t - 120) \\ V_{b_r} &= V_{m(1-1)} \sin(\omega t - 240) = \sqrt{2} V_{rms(1-1)} \sin(\omega t - 240) \\ V_{r_n} &= V_{r_v} / \sqrt{3} = V_{m(1-1)} / \sqrt{3} \sin(\omega t - 30) \\ V_{v_n} &= V_{v_b} / \sqrt{3} = V_{m(1-1)} / \sqrt{3} \sin(\omega t - 150) \\ V_{b_n} &= V_{b_r} / \sqrt{3} = V_{m(1-1)} / \sqrt{3} \sin(\omega t - 270) \\ V_{m(1-1)} &= \sqrt{3} V_{m(1-n)} , \quad V_{m(1-1)} = \sqrt{2} V_{rms(1-1)} \\ V_{rms(1-1)} &= \sqrt{3} V_{rms(1-n)} , \quad V_{m(1-n)} = \sqrt{2} V_{rms(1-n)} \end{aligned}$$

THREE PHASE UNCONTROL CONVERTER

HALF WAVE CIRCUIT

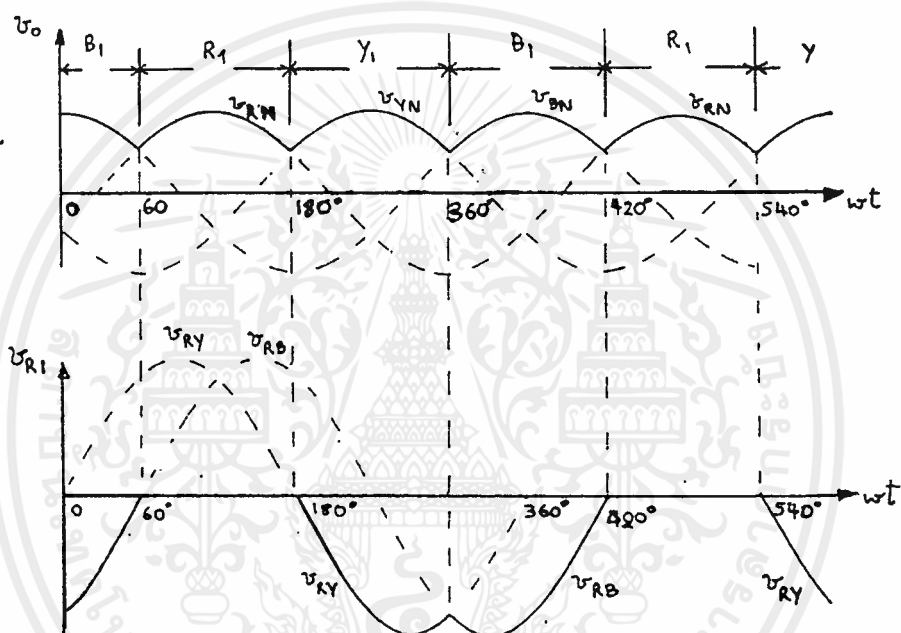
การแปลงไฟกระแสสลับ 3 เฟสเป็นไฟกระแสตรงชนิดครึ่งคลื่นใช้ไดโอดเป็นตัวแปลงไฟ ดังรูปที่ 3 แรงดันเอาต์พุทไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้นอกจากเปลี่ยนทางอินพุท แรงดันเอาต์พุทจึงจะเปลี่ยน



รูปที่ 3 three phase half wave circuit

ไดโอดจะนำกระแสเมื่อได้รับแรงดันฟอเวิต นั่นคือ R_1 จะนำกระแสในช่วง $V_{r_n} > V_{v_n}$ และ R_1 จะหยุดนำกระแสเมื่อได้รับรีเวิตไบอัส คือ $V_{r_n} < V_{v_n}$ และ Y_1 จะนำกระแสระหว่าง $V_{v_n} > V_{b_n}$ เรกติไฟเออร์แต่ละตัวจะนำกระแสเป็นมุม 120 องศา เมื่อให้ V_{r_v} เป็นแรงดันอ้างอิง

เรกติไฟเออร์ หรือไดโอด	ช่วงที่เรกติไฟเออร์ นำกระแส	
R_1	60-180	ช่วงนำกระแสเริ่มจากขณะที่ V_{br} เปลี่ยนจากบวกเป็นลบจนกระทั่งแรงดัน V_{ry} เป็นลบ
Y_1	180-300	ช่วงนำกระแสเริ่มจาก V_{ry} เป็นลบจนกระทั่งแรงดัน V_{yb} เป็นลบ
B_1	300-420	ช่วงนำกระแสเริ่มจาก V_{yb} เป็นลบ จนกระทั่ง V_{br} เป็นลบ

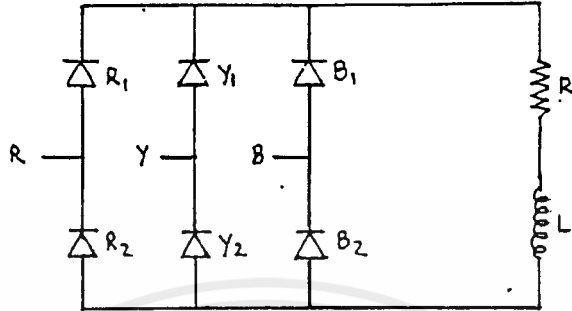


รูปที่ 4 แรงดันเอาต์พุต และแรงดันคร่อมไดโอด R_1 ของวงจรในรูปที่ 3

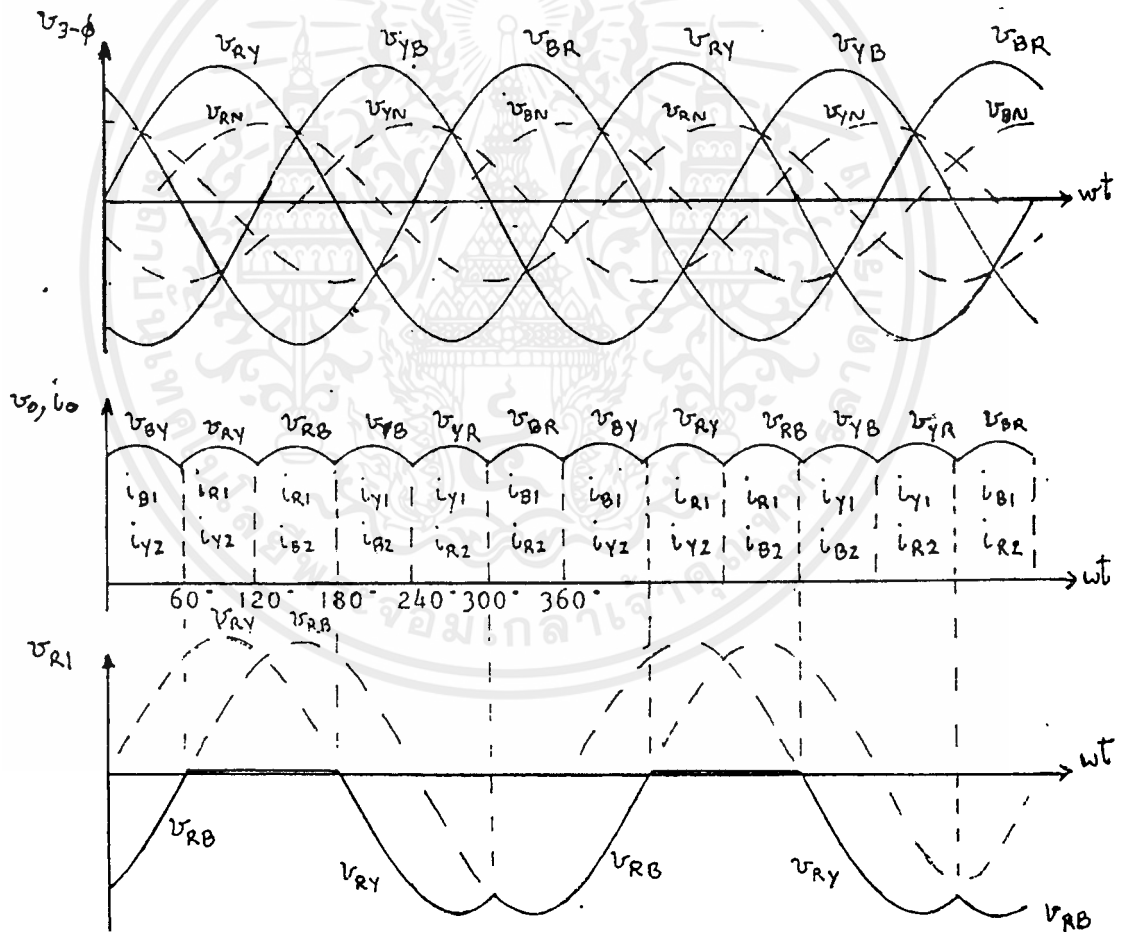
ในรูปที่ 4 แสดงแรงดันเอาต์พุตและแรงดันคร่อมไดโอด R_1 ชนิดของโหลดไม่มีผลต่อช่วงการทำงานเหล่านี้ขณะที่ไดโอดนำกระแสแรงดันตกคร่อมไดโอดจะมีค่าประมาณ 1 โวลต์ ช่วงมุม 60 ถึง 180 แต่ในช่วงระหว่าง 180-300 ไดโอด Y_1 กำลังนำกระแสขั้วคาโทดของ R_1 จึงต่อกับเฟส Y และขั้วแอโนดของ R_1 ต่อกับ R แรงดัน V_{ry} เป็นลบ ไดโอด R_1 จะได้รับรีเวิร์ดไบแอสและช่วงระหว่างมุม 300-360 แรงดันคร่อมไดโอด R_1 จะเป็นลบ ทำให้ไดโอด R_1 ได้รับรีเวิร์ดไบแอส

FULL WAVE CIRCUIT

ข้อดีของการแปลงไฟกระแสสลับ 3 เฟสเป็นไฟกระแสตรงในลักษณะของfull wave bridge คือ มี ripple น้อยและไม่มี d.c.magnetization ในหม้อแปลงวงจรสามารถเปลี่ยนแปลงการต่อได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 three phase full wave circuit



รูปที่ 6 แสดงช่วงการนำกระแส แรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อม R1 ของวงจรรูปที่ 5

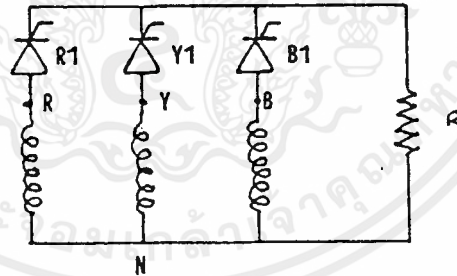
วงจรที่ใช้ไดโอดทั้งหมดไม่สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักตีฟ ไดโอดที่ต่ออนุกรมกันทำหน้าที่เป็น flywheeling diode ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่ม flywheeling diode อีกตัว แรงดันเอาต์พุตและแรงดันคร่อมไดโอดและช่วงการนำกระแสแสดง ดังรูปที่ 6

เมื่อ R1 Y2 นำกระแส line voltage V_{ry} จะปรากฏคร่อมโหลด เหมือนกับเมื่อ R1 และ B2 นำกระแส line voltage V_{rb} จะปรากฏที่โหลดดังนั้นแรงดันที่โหลดจะเป็น V_{ry} , V_{rb} , v_b , V_{yr} , V_{br} , ... ขึ้นอยู่กับว่าไดโอดตัวไหนนำกระแสแรงดันเฉลี่ยที่เอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_o(\text{ave}) &= \frac{3}{\pi} \int_{60^\circ}^{120^\circ} V_{ry} d(\omega t) \\ &= \frac{3}{\pi} \int_{60^\circ}^{120^\circ} 2V_{rms}(1-l) \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{3}{2} V_{rms}(1-l) (-\cos \omega t) \Big|_{60^\circ}^{120^\circ} \\ &= \frac{3}{2\pi} V_{rms}(1-l) \end{aligned}$$

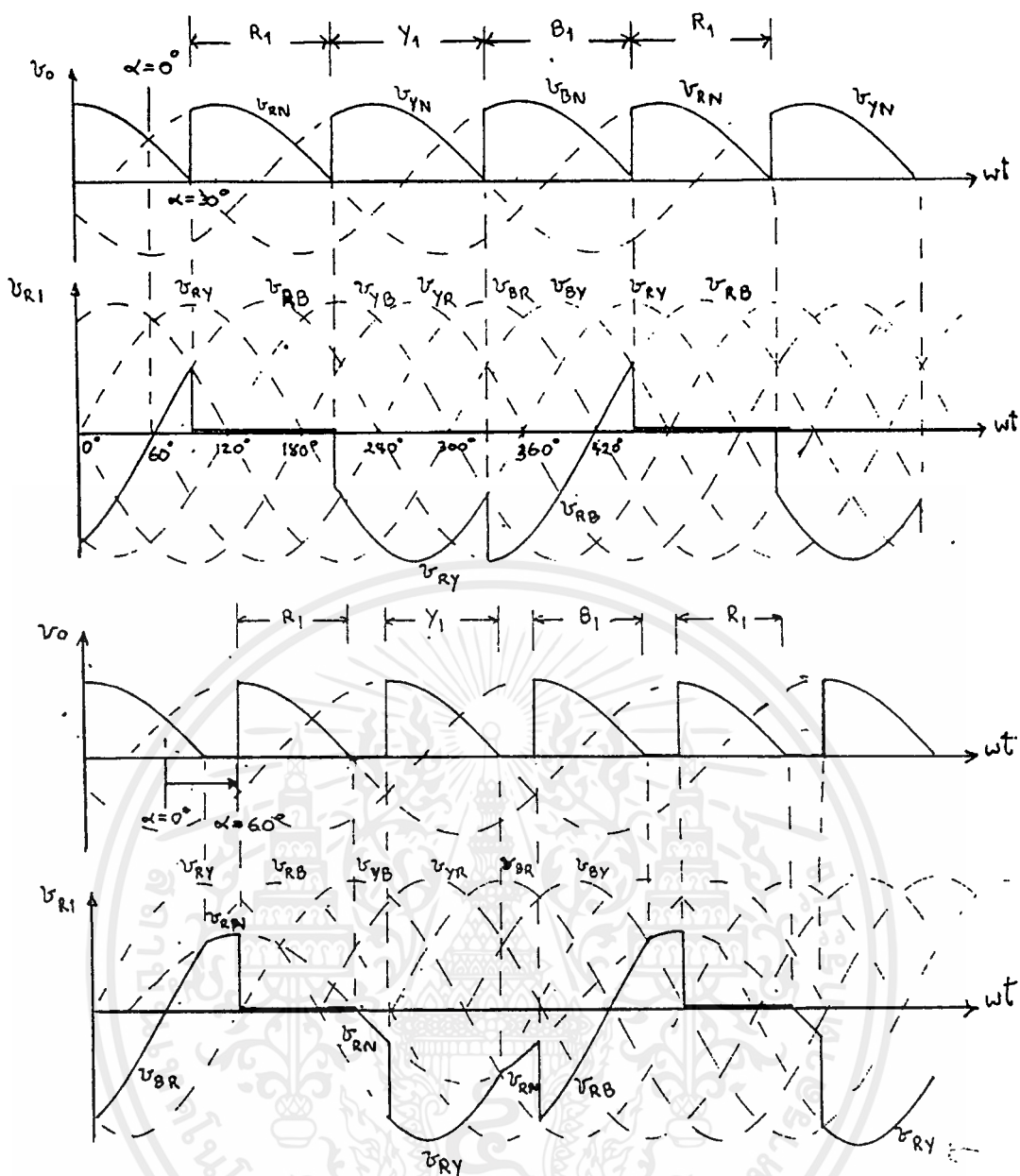
THREE PHASE CONTROL THYRISTOR CONVERTER HALF WAVE CIRCUIT

การแปลงไฟสลับ 3 เฟส แบบครึ่งคลื่นเป็นการใช้เอสซีอาร์เป็นตัวแปลงดังรูปที่ 7 แรงดันเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนมุมตริค



รูปที่ 7 three phase half wave circuit

สัญญาณตริคเกอร์เอสซีอาร์แต่ละตัวจะเข้าไป 60 องศาจากเวลาที่ได้รับพอสเวดไบ อัสนั่นหมายความว่า ถ้ามุมตริคเอสซีอาร์ R_1 ที่มุมตริค 30 องศา คือเอสซีอาร์หนึ่ง R_1 จะถูกตริคที่มุม 90 องศาโดยให้ V_{r-x} เป็นแรงดันอ้างอิง



รูปที่ 8 แรงดันเอาต์พุตและแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ของวงจรในรูปที่ 7

เมื่อโหลดเป็นความต้านทาน

เมื่อเอสซีอาร์ตัวหนึ่งนำกระแส line voltage จะตกคร่อมเอสซีอาร์ที่ไม่นำกระแส ขณะที่โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียวจะมีการนำกระแสสองแบบคือ

1) การนำกระแสอย่างต่อเนื่อง คือ $\alpha < 30$ องศาในกรณีที่เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสเนื่องจากได้รับ line voltage เป็นลบ ดังตัวอย่าง เมื่อ $\alpha = 30$ เอสซีอาร์ R_1 นำกระแสจาก 90 ถึง 210 หรือ 180 องศา นับจาก V_{rN} มีเวลาเป็นศูนย์ที่เวลา Y_1 ถูกทริกให้นำกระแส R_1 จะถูกบังคับให้หยุดนำกระแสเนื่องจาก V_{rY} เป็นลบ ดังนั้นแรงดันสัณฐานเอาต์พุต และแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ R_1 ในรูปที่ 8

2) การนำกระแสไม่ต่อเนื่องสำหรับ $\alpha > 30$ ในกรณีนี้ phase voltage จะตกสู่ศูนย์ก่อนที่เอสซีอาร์จะถูกทริกเพราะกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ลดลงต่ำกว่ากระแสยึด จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยธรรมชาติในช่วงระหว่างที่ไม่มีเอสซีอาร์ตัวใดนำกระแสจะมีเฉพาะ phase voltage ตกคร่อมเอสซีอาร์ดังแสดงสัญญาณของแรงดันเอาท์พุท และแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ R1 ในรูปที่ 8

แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย V_o โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว

สำหรับการนำกระแสอย่างต่อเนื่อง $\alpha < 30$

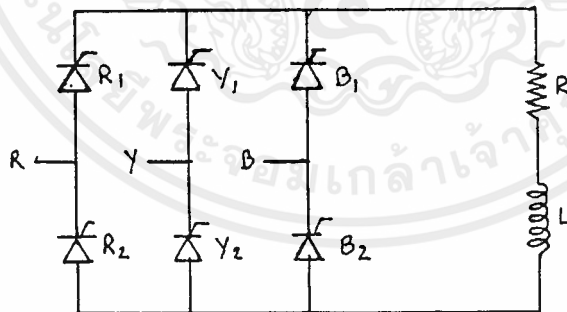
$$\begin{aligned} V_o &= \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha+30^\circ}^{\alpha+150^\circ} \sqrt{2}V_{rms}(1-n) \sin \omega t \, d(\omega t) \\ &= \frac{3V_{rms}(1-n)}{\sqrt{2}\pi} (-\cos(\omega t)) \Big|_{\alpha+30^\circ}^{\alpha+150^\circ} \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{2}\pi} V_{rms}(1-n) \cos \alpha \end{aligned}$$

สำหรับการนำกระแสไม่ต่อเนื่อง $30 < \alpha < 150$

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha+30^\circ}^{180^\circ} \sqrt{2}V_{rms} (i-n) \sin \omega t \, d(\omega t) \\ &= \frac{3V_{rms}(1-n)}{\sqrt{2}\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\alpha+30^\circ}^{180^\circ} \\ &= \frac{3V_{rms}(1-n)}{\sqrt{2}\pi} (1 + \cos(\alpha+30)) \end{aligned}$$

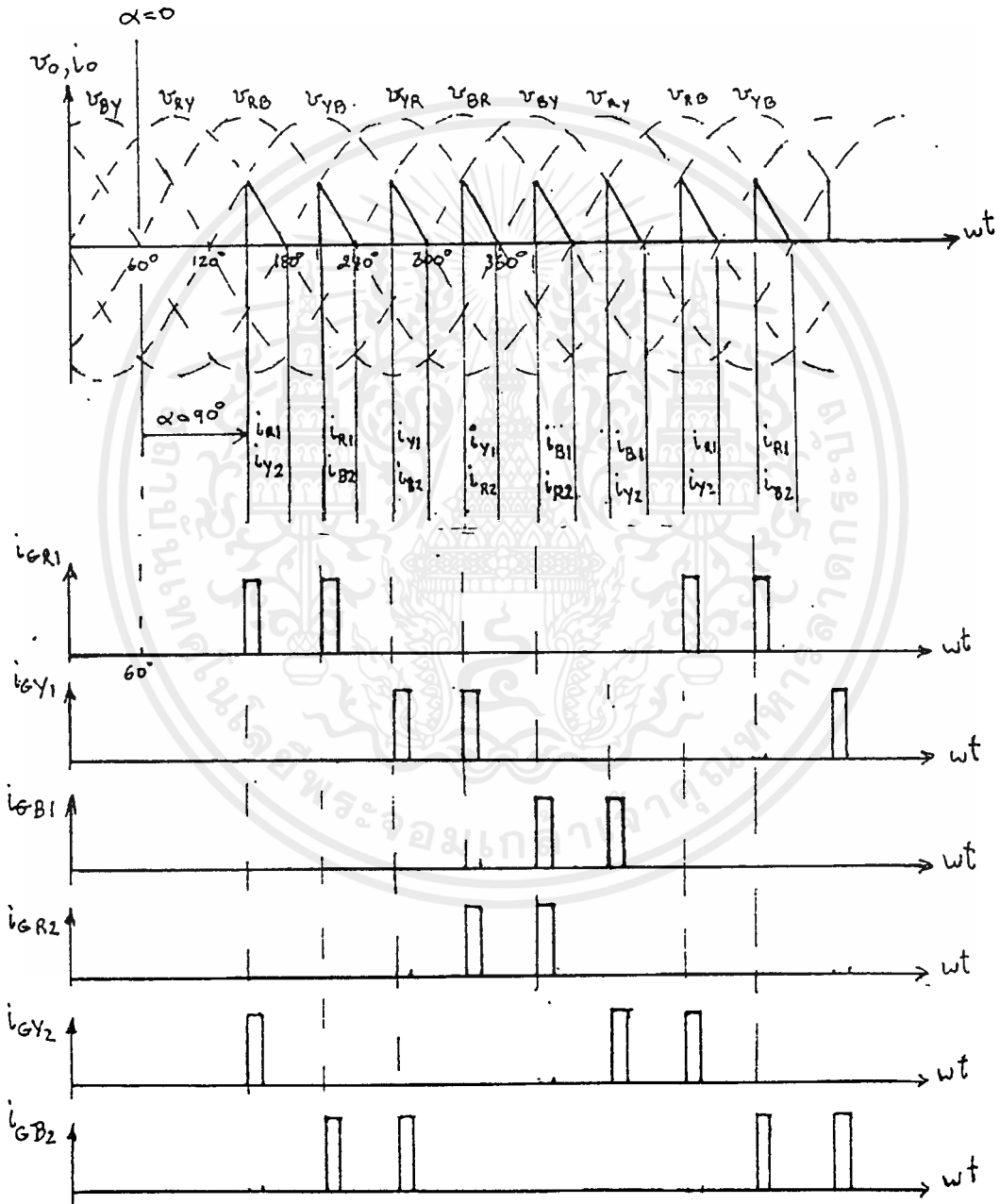
FULL WAVE CIRCUIT

การแปลงไฟกระแสสลับ 3 เฟสแบบเต็มคลื่น โดยเอสซีอาร์ทั้งหมดดังวงจรรูปที่ 9 โหลดเป็นความต้านทาน เอสซีอาร์แต่ละตัวจะนำกระแสในช่วงของมุมต่างๆกันดังเช่น



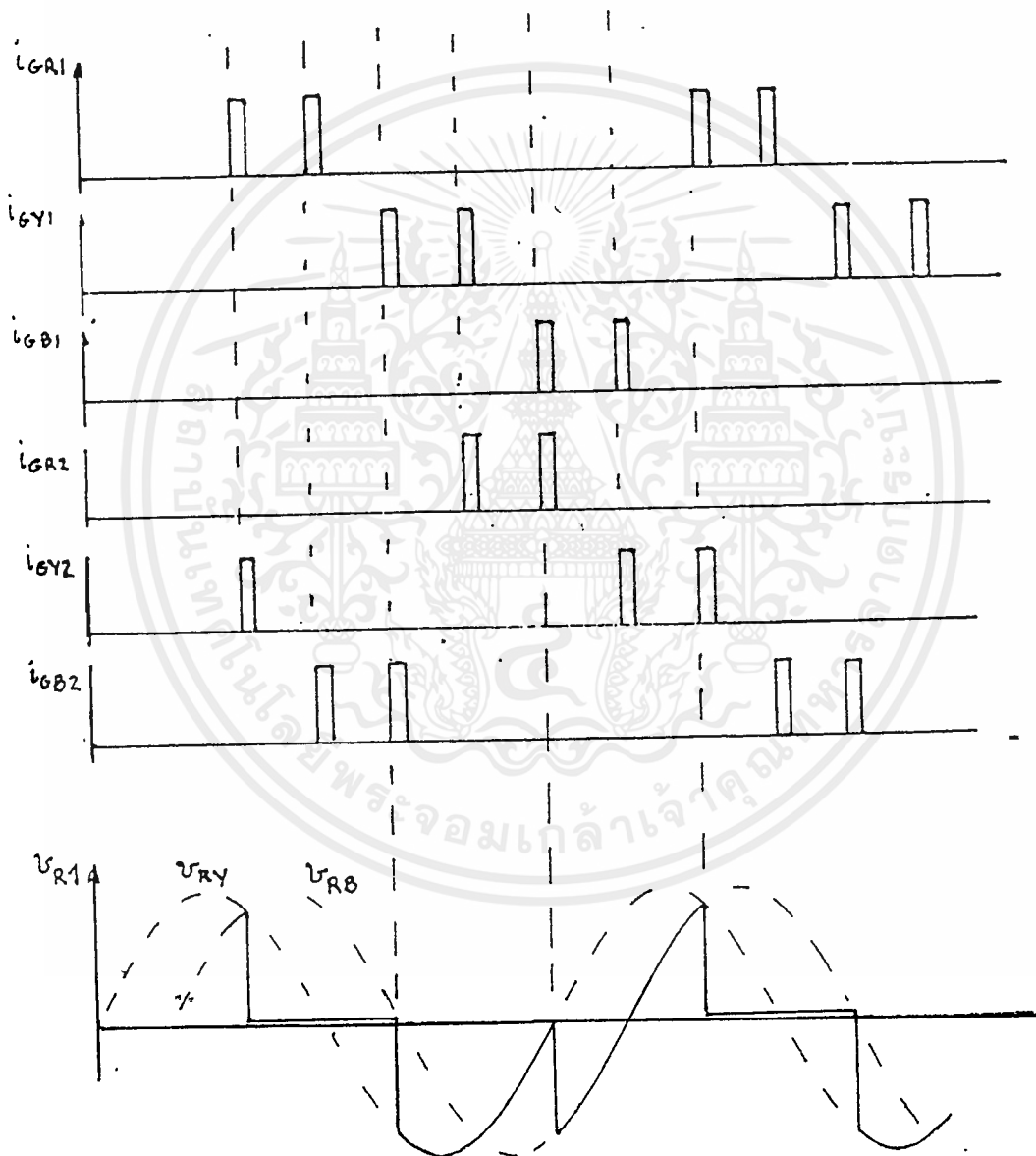
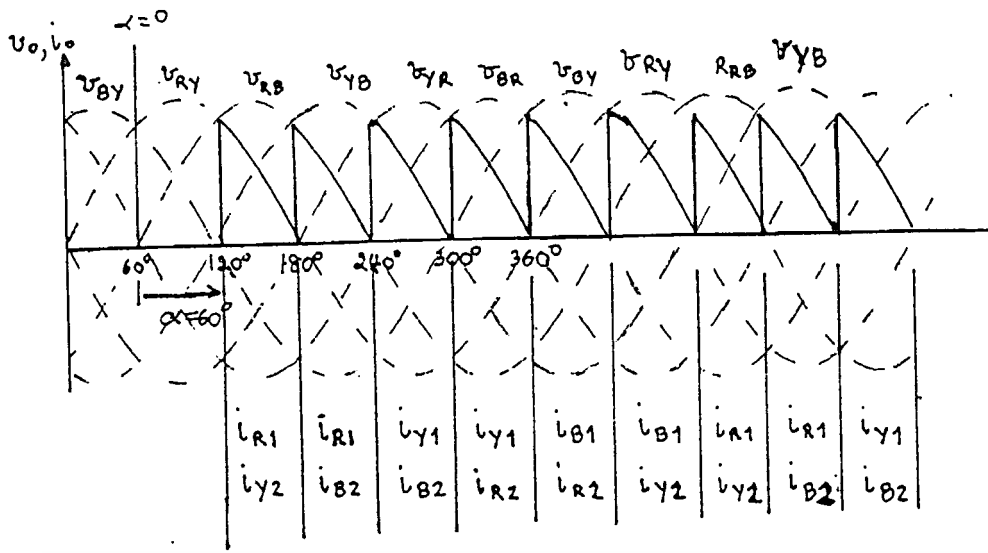
รูปที่ 9 three phase full wave circuit
เอสซีอาร์ ช่วงการนำกระแส $\alpha=0$ ช่วงการนำกระแสสำหรับ $\alpha=30$

	ดังรูปที่ 9	ดังรูปที่ 10
R_1	60 ถึง 180	90 ถึง 210
R_2	240 ถึง 360	270 ถึง 30
Y_1	180 ถึง 300	210 ถึง 330
Y_2	360 ถึง 120	30 ถึง 150
B_1	300 ถึง 420	330 ถึง 450
B_2	120 ถึง 240	150 ถึง 270



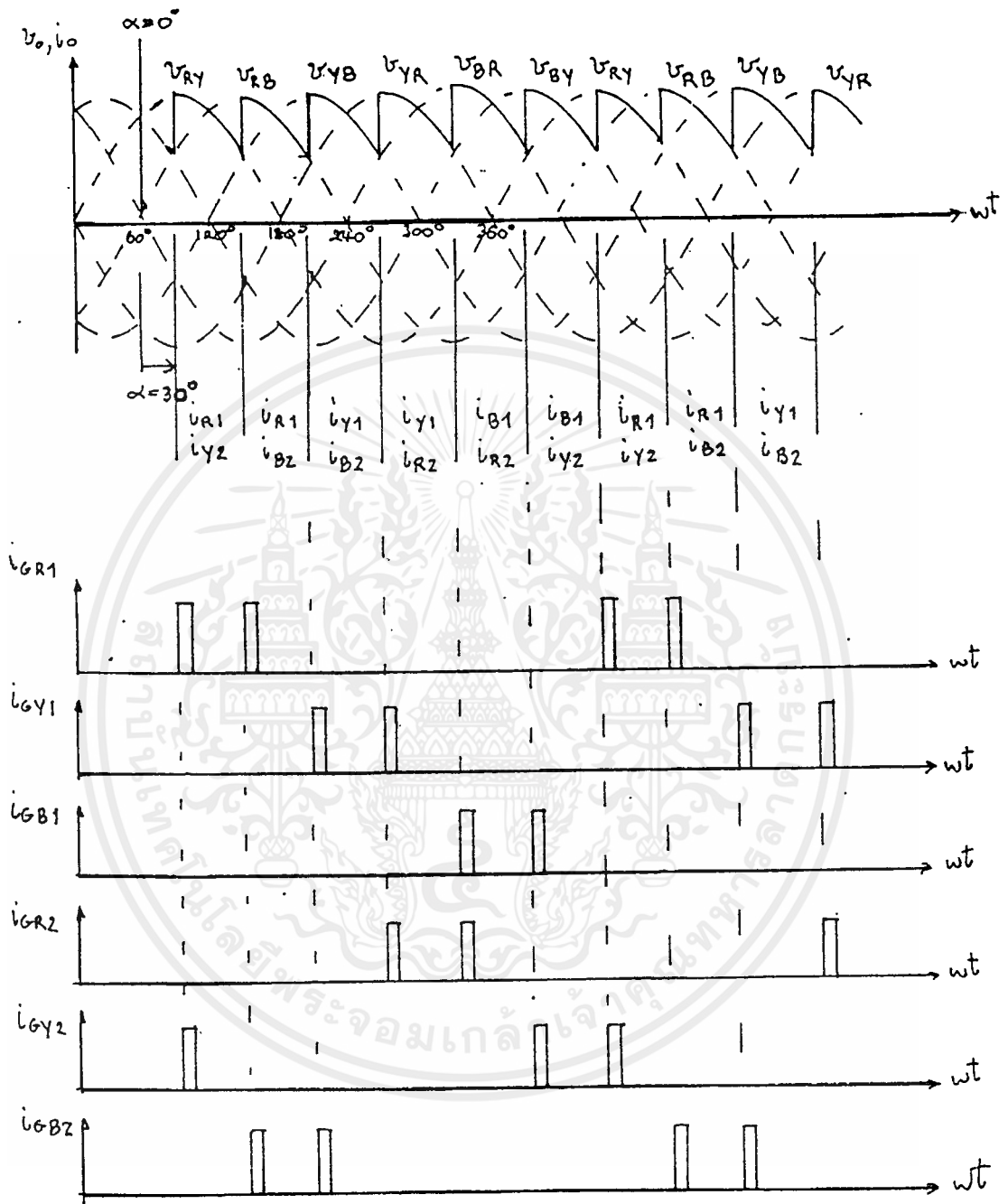
แรงดันตกคร่อมโพลต์ที่เป็นค่าความต้านทานที่ $\alpha = 90$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันตกคร่อมโหลดที่เป็นค่าความต้านทานที่ $\alpha = 60$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันตกคร่อมโพลดที่เป็นค่าความต้านทานที่ $\alpha = 30$
 รูปที่ 10 แรงดันคร่อมโพลดที่เป็นความต้านทานของวงจรรูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 10 จะสังเกตเห็นว่า $0 < \alpha < 60$ เป็นสภาวะการนำกระแสอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น $\alpha = 30$ ดังแสดงในรูปที่ 10(ค) คือมุมที่ 90 มีสัญญาณทริกให้เอสซีอาร์ R1 และ Y2 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านเฟส R สู่เฟส Y โดยเริ่มนำกระแสจากมุม 90 ถึง 150 มีสัญญาณทริกเอสซีอาร์และให้นำกระแสจะมีกระแสไหลจากเฟสสู่เฟสโดยเริ่มนำกระแสจากมุมถึงการที่เอสซีอาร์นำกระแสจะมีผลทำให้SCR ได้รับรีเวอร์ไบอัสจะหยุดนำกระแสที่มุม ก็มีสัญญาณทริกSCRและให้นำกระแสจากเฟสสู่เฟสจากมุมถึงในการที่ SCR นำกระแสจะมีผลทำให้SCR ได้รับรีเวอร์ไบอัสและหยุดนำกระแสที่มุม แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{3}{\pi} \int_{60^\circ+\alpha}^{120^\circ+\alpha} V_{ry} d(wt) \\
 &= \frac{3}{\pi} \int \sqrt{2}V_{rms}(1-l) \sin wt d wt \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} V_{rms}(1-l) \cos \alpha
 \end{aligned}$$

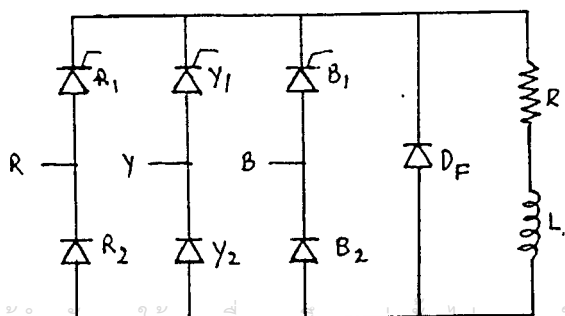
สำหรับ $60 < \alpha < 120$

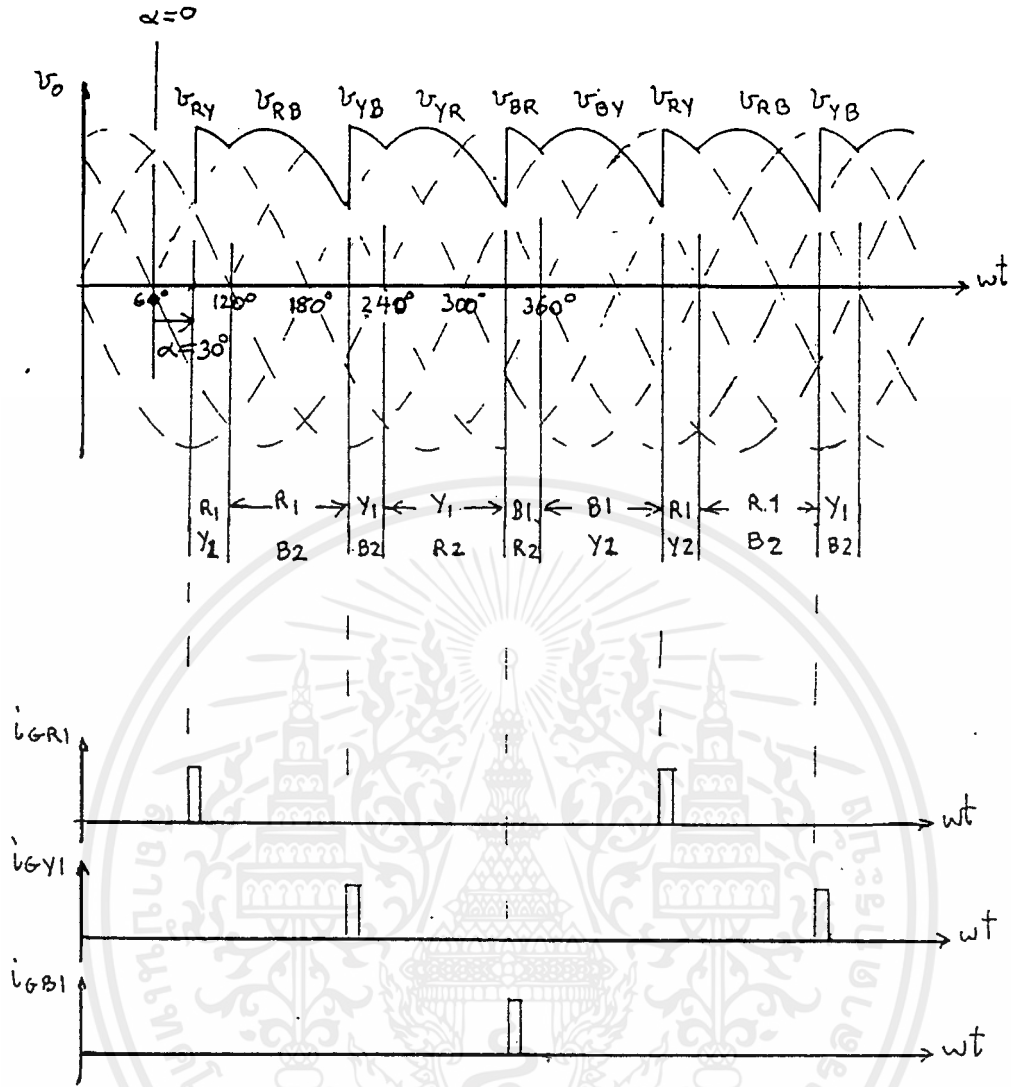
เป็นสภาวะที่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น ดังรูปที่ 9(ก) คือที่มุม มีสัญญาณทริกเกอร์ให้SCR และนำกระแสและมีกระแสไหลจากเฟสสู่เฟสโดยเริ่มนำกระแสจากมุมถึง SCR และจะหยุดนำกระแสที่มุม เพราะได้รับรีเวอร์ไบอัสแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{3}{\pi} \int_{\alpha+60}^{180} V_{ry} d wt \\
 &= \frac{3}{\pi} \int \sqrt{2}V_{rms}(1-l) \sin wt d wt \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} V_{rms}(1-l) (1 + \cos(\alpha+60))
 \end{aligned}$$

THREE PHASE HALF CONTROL CONVERTER

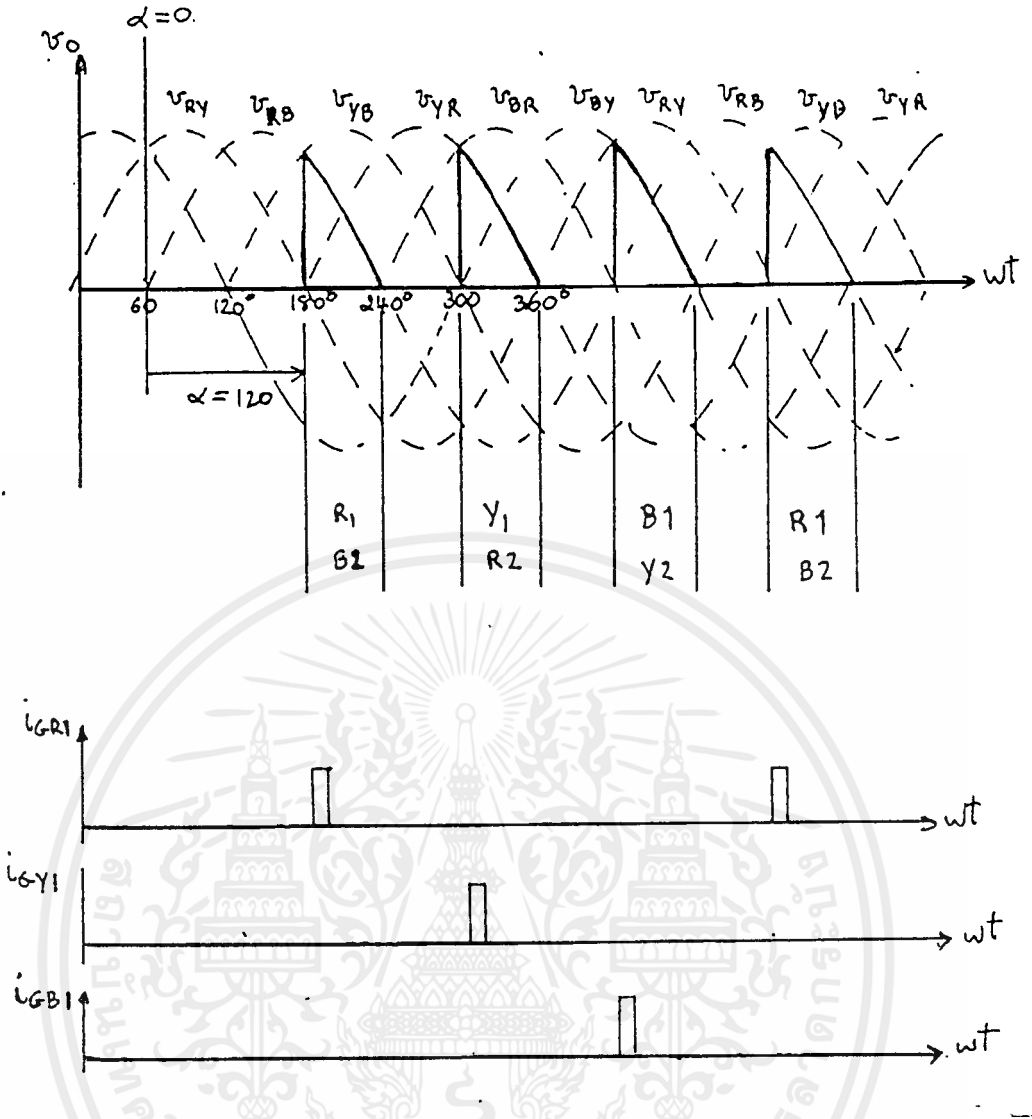
วงจรดังรูปที่ 11 แอนโอดของไดโอดต่อเข้าด้วยกัน ในรูปที่ 12 แสดงสัญญาณแรงดันคร่อมโหลดเมื่อมีมุมทริก $\alpha = 30$ คือมีสัญญาณทริกSCR R1 ที่มุม 90 ให้นำกระแสจะมีกระแสไหลจากเฟส R ผ่านไดโอดสู่เฟสเมื่อถึงมุม 120 แรงดันเฟสสูงกว่าเฟส Y จึงทำให้กระแสที่ผ่านไดโอด Y1 เปลี่ยนไปไหลผ่าน B2 แทนและเมื่อถึงมุม 210 ก็มีสัญญาณทริกเกอร์SCR Y1 ให้นำกระแสผ่านทางไดโอด B2 ดังแสดงสัญญาณทริกและช่วงเวลา ที่ SCR และไดโอดนำกระแส ดังรูปที่ 12





รูปที่ 12 สัญญาณของแรงดันคร่อมโหนดที่ $\alpha = 30$

รูปที่ 13 แสดงสัญญาณคร่อมโหนดและสัญญาณทริกแก่ SCR มุมทริกเกอร์เท่ากับ 120 องศา จะมีสัญญาณทริก SCR R1 ที่มุม 180 องศา SCR R1 จะนำกระแสไหลจากเฟส R ไปเฟส B จนกระทั่ง V_{rb} ลดลงสู่ศูนย์



รูปที่ 13 สัญญาณแรงดันคร่อมโพลด เมื่อ $\alpha=120$
 จะสังเกตว่าสามารถเปลี่ยนมุมทริกตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

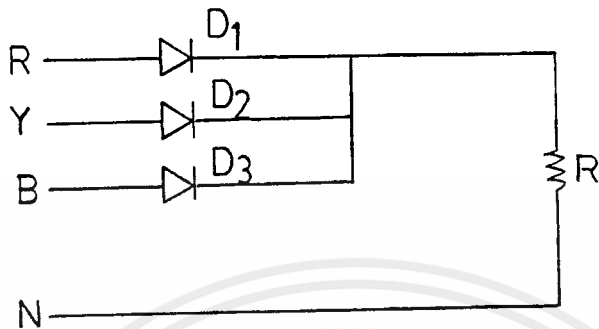
$$\begin{aligned}
 V_o(\text{ave}) &= \frac{3}{2\pi} \left(\int_{60^\circ}^{120^\circ} V_{ry} d wt + \int_{120^\circ}^{180^\circ+\alpha} V_{rb} d wt \right) \\
 &= \frac{3}{2} \left(\int_{60^\circ}^{120^\circ} \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{\sqrt{3}} \sin wt d wt + \int_{120^\circ}^{180^\circ+\alpha} \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{\sqrt{3}} \sin(wt-60^\circ) d wt \right)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

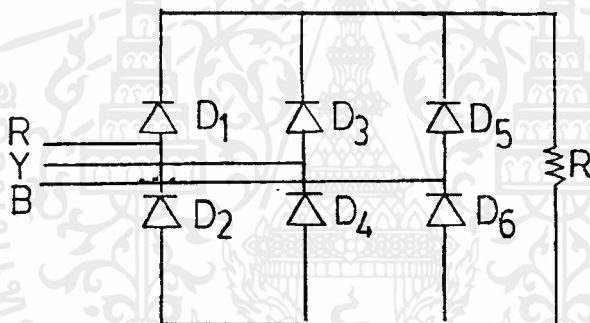
การออกแบบวงจร CONVERTER

UNCONVERTER CONVERTER CIRCUIT

วงจร converter ที่ไม่สามารถควบคุมแรงดันได้ ใช้ไดโอดเรกติไฟเออร์เบอร์ 4001 โดยมีค่าความต้านทานค่ามาก ๆ ต่อเป็นโหลดเอาไว้เพื่อไม่ให้มีกระแสไหลมากเกินไปเพราะอาจเป็นอันตรายต่อไดโอดได้



วงจร HALF WAVE



วงจร FULL WAVE

รูปที่1 วงจร half wave และวงจร full wave

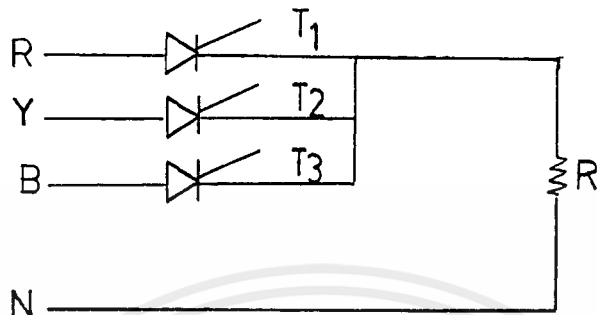
CONTROLLED CONVERTER CIRCUIT

วงจร CONVERTER ที่สามารถควบคุมแรงดันตกคร่อมโหลดได้ ประกอบด้วยวงจรสองส่วน คือ

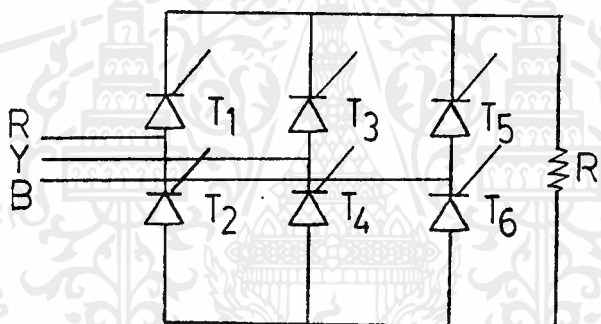
1. วงจรขยายกำลัง

วงจรขับกำลังใช้ SCR เบอร์ TIC 106 D เป็นตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด โดย SCR สามารถนำกระแสได้เมื่ออาโนดได้รับแรงดันบวกเมื่อเทียบกับคาโทด และมีแรงดันบวกเมื่อเทียบกับคาโทด เกิดเป็นระยะเวลาจนกระทั่งกระแสไหลผ่าน SCR มีค่ามาก

กว่ากระแสไหลตั้งและ SCR จะหยุดนำกระแสเมื่อกระแสไหลผ่านตัวมันมีค่าน้อยกว่ากระแสไหลตั้งเมื่อใช้ SCR กับไฟกระแสสลับในขณะที่แรงดันตกกลงเป็น 0 กระแสที่ไหลผ่าน SCR จะเป็น 0 ด้วย SCR จะหยุดนำกระแสด้วย



(ก) วงจรขยายกำลัง HALF WAVE



(ข) วงจรขยายกำลัง FULL WAVE

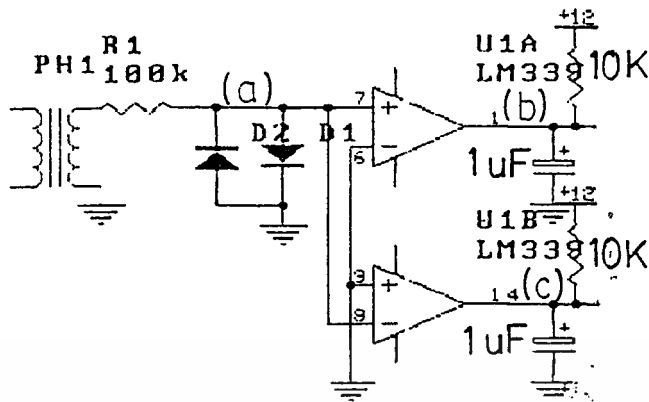
รูปที่ 2 (ก) วงจรขยายกำลัง halfwave

(ข) วงจรขยายกำลัง fullwave

2. วงจรทริก SCR

2.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 50 Hz

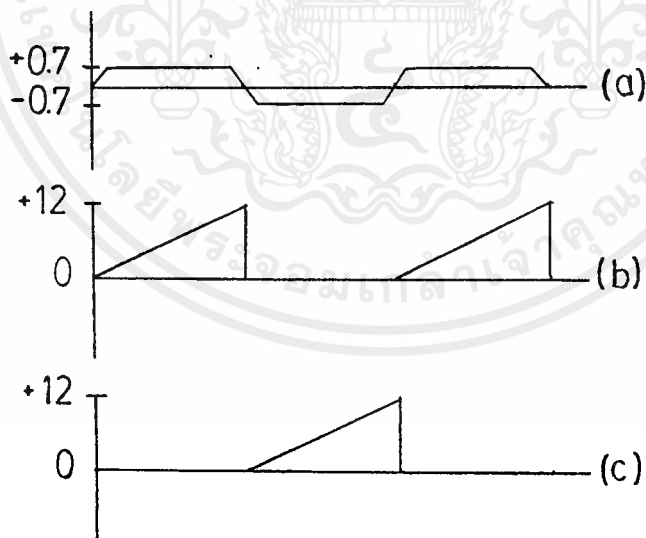
วงจรสร้างสัญญาณแรมป์ใช้ออปแอมป์เบอร์ LM339 ต่อเป็นวงจร zero crossing detector สัญญาณ sin ความถี่ 50 Hz ที่เข้ามาทางอินพุทจะถูกทำให้ลดลงเหลือ +/- 0.7 V โดยไดโอด D1 และ D2 ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกิน ดังนั้นที่เอาท์พุทของออปแอมป์จะได้สัญญาณพัลส์ ความถี่ 50 Hz เนื่องจากการเปรียบเทียบแรงดันที่ออปแอมป์



รูปที่3 วงจรสร้าง ramp

จากวงจรจะเห็นได้ว่าออปแอมป์ตัวบนจะทำหน้าที่สร้างพัลส์จากแรงดัน sine ช่วงบวก และตัวล่างจะสร้างแรงดัน sine ช่วงลบ ดังนั้นสัญญาณที่เอาท์พุทของออปแอมป์ทั้ง 2 ตัวจะกลับเฟสกันเพื่อจุดประสงค์ในการนำไปควบคุมแรงดันไฟกระแสสลับช่วงบวก และช่วงลบนั่นเอง

เมื่อเราต่อคาปาซิเตอร์ค่า 1 uF ที่เอาท์พุทของออปแอมป์กับกราวด์ พัลส์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งตามลักษณะการชาร์จของคาปาซิเตอร์ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสัญญาณแรมป์ดังรูป

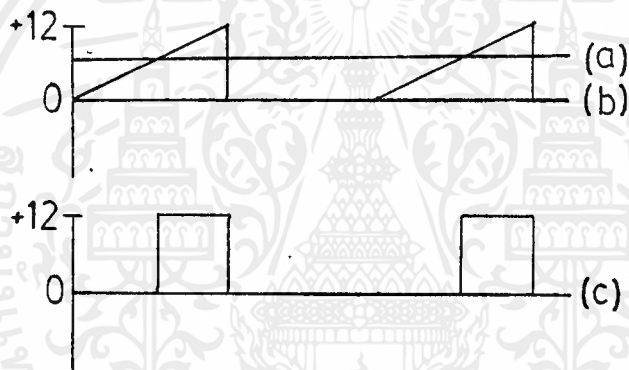
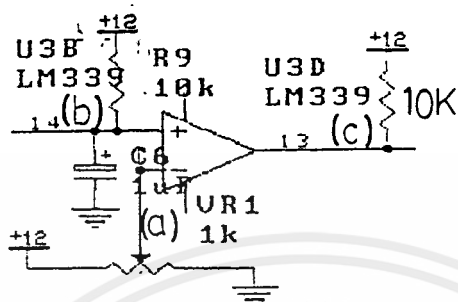


รูปที่4 การสร้างสัญญาณ

2.2) วงจรสร้างสัญญาณควบคุมทริก SCR

วงจรควบคุมมุมทริกโดยใช้ออปแอมป์ เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณอินพุทระหว่างแรงดัน

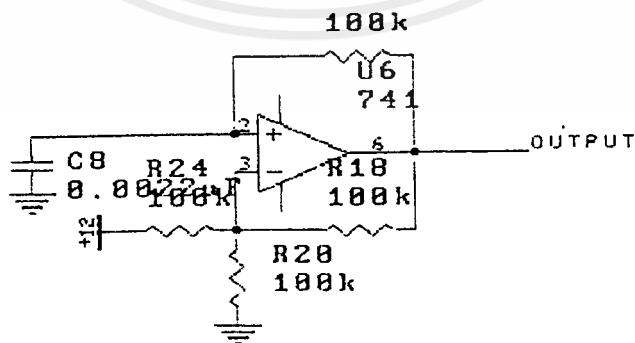
กระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง +Vcc กับสัญญาณแรมป์ 100Hz ดังนั้นแรงดันทางเอาต์พุตของออปแอมป์สามารถปรับความกว้างพัลส์ได้ จากการปรับแรงดันไฟกระแสตรงที่อินพุตของออปแอมป์ ซึ่งสัญญาณนั้นจะเป็นตัวควบคุมระยะเวลาการนำกระแสของ SCR ในแต่ละลูกคลื่นนั่นเอง



รูปที่ 5 การปรับมุมทริก SCR

2.3) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 5KHz

วงจรกำเนิดพัลส์ใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 ต่อเป็นวงจร square wave oscillator

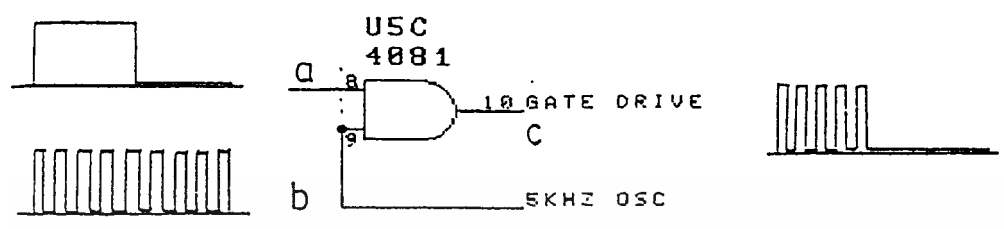


รูปที่ 6 วงจร square wave oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) วงจรรวมสัญญาณควบคุมมูทริกกับสัญญาณพัลส์ 5 KHz

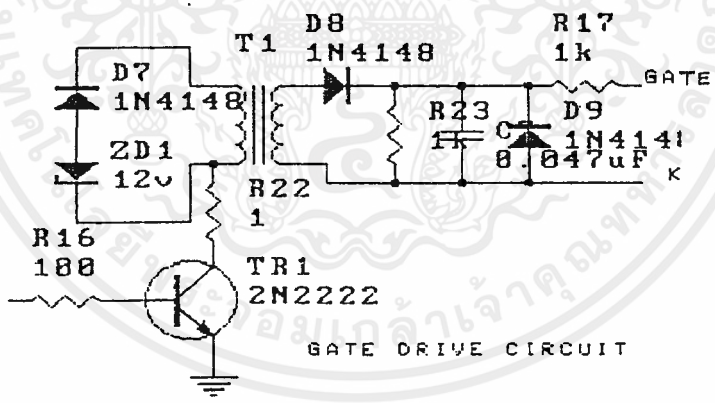
วงจรรวมสัญญาณทำได้โดยใช้ไอซีเบอร์ 4081 ซึ่งวงจรภายในเป็นวงจรรวมแอนด์เกต สัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุตจึงมีสัญญาณเป็นพัลส์ 100Hz ที่มีพัลส์ 5KHz ผสมอยู่ด้วยเพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ ของพัลส์ทรานฟอเมอร์



รูปที่7 วงจรรวมสัญญาณ

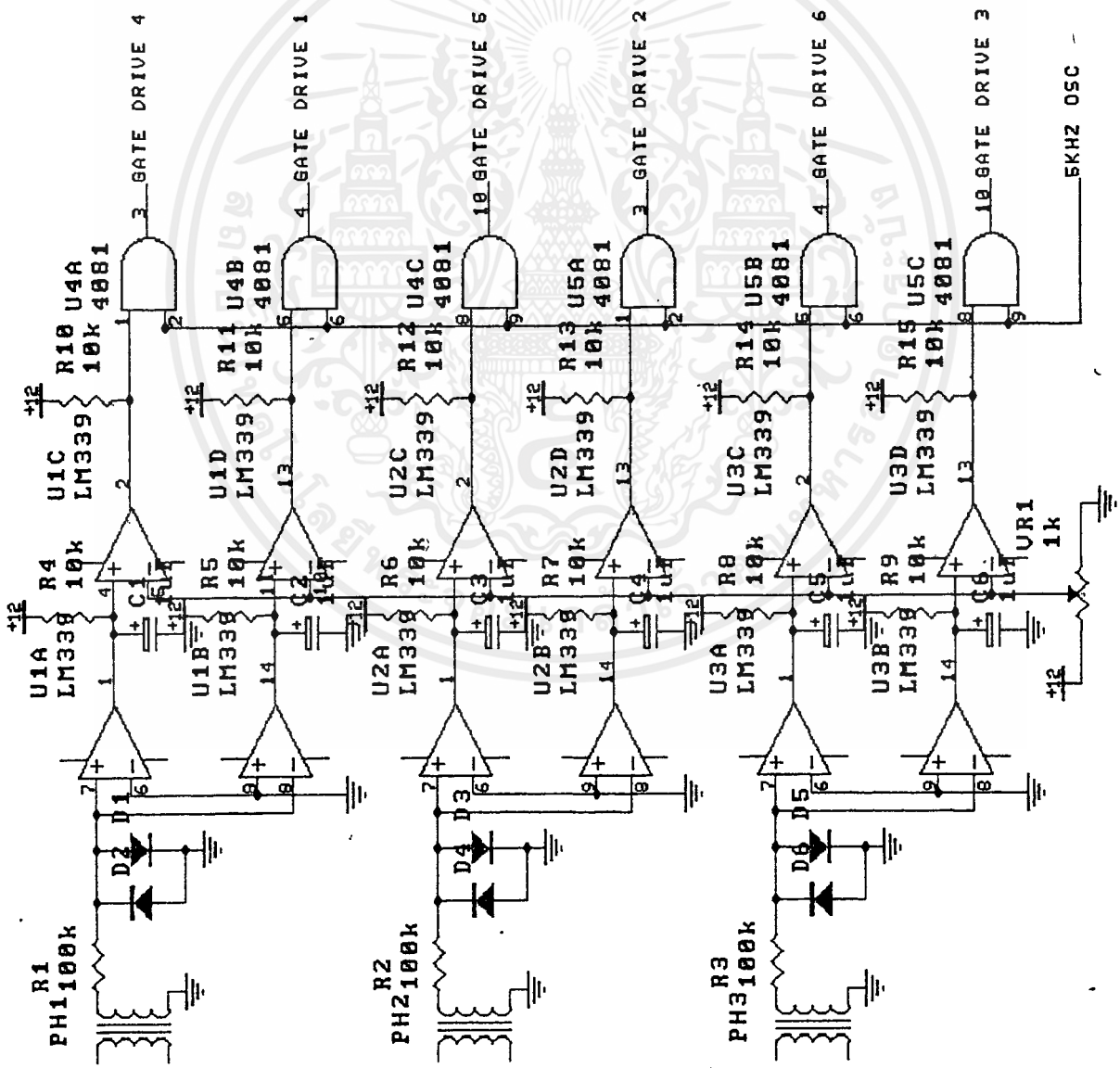
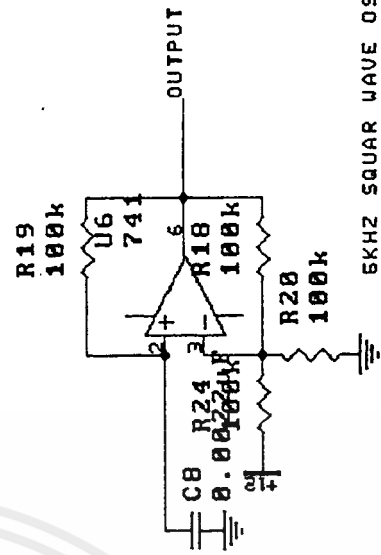
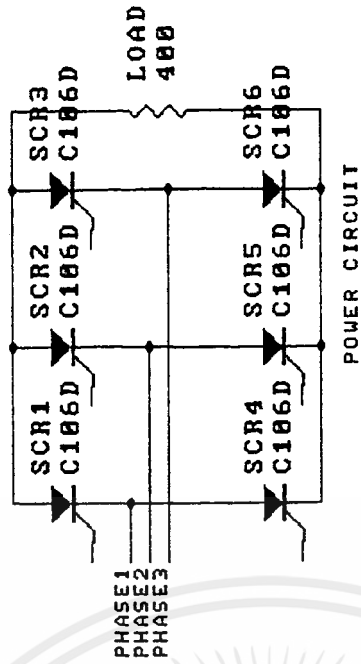
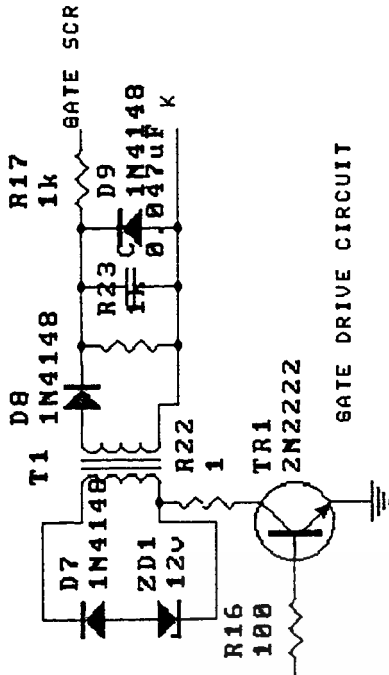
2.5) วงจรขับเกตของ SCR

วงจรขับเกตใช้พัลส์ทรานฟอเมอร์ เพื่อแยกกราวด์ของวงจรกำลังกับวงจรทริกเกอร์ ออกจากกัน โดยใช้ทานด้านปฐมภูมิใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 เป็นตัวขับอีกทีหนึ่งเพื่อให้ได้กระแสเอาต์พุตเพียงพอสำหรับการนำกระแสของ SCR



รูปที่6 วงจรทริกเกอร์ SCR

เนื่องจากสัญญาณที่ได้ทางทุติยภูมิของพัลส์ทรานฟอเมอร์เป็นสัญญาณกระแสสลับ ดังนั้นจึงนำไดโอดมาต่อเอาไว้เพื่อให้แรงดันทริกเกอร์เป็นแรงดันช่วงบวกผ่านไปได้นำไปต่อกับเกตของ SCR ในวงจรกำลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การทดลอง THREE PHASE CONVERTER

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษารูปคลื่นของสัญญาณที่ได้จากวงจร converter
- 2) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจร converter

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) oscilloscope 1 เครื่อง
- 2) มัลติมิเตอร์ 1 ตัว
- 3) ชุดทดลอง converter
- 4) สายต่อวงจร

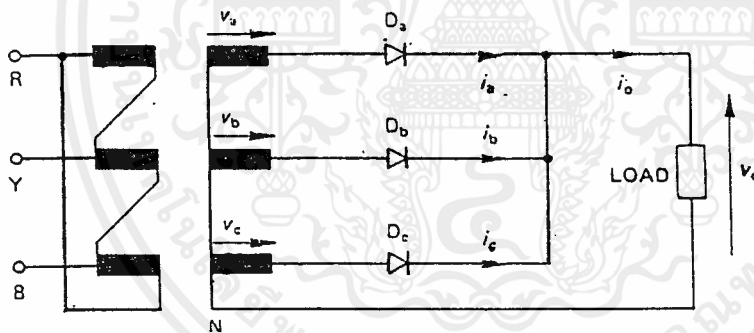
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1

THREE PHASE UNCONTROL CONVEERTER

HALF WAVE CIRCUIT

- 1) ต่อวงจรตามรูป



- 2) บันทึกสัญญาณแรงดัน V_a , V_b , V_c บนกราฟที่มีคาบเวลาเดียวกัน

- 3) บันทึกสัญญาณที่ตกคร่อม LOAD บนกราฟ

- 4) เปรียบเทียบสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดกับสัญญาณแรงดันทั้งสามเฟส บันทึกผล

- 5) ให้ multimeter วัดแรงดันตกคร่อม LOAD บันทึกผลในตารางเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{โดย } V_o \text{ (average load voltage)} &= \frac{3}{2\pi} \int \frac{\sqrt{2}}{2} E \sin \omega t \, d(\omega t) \\ &= 1.17E \end{aligned}$$

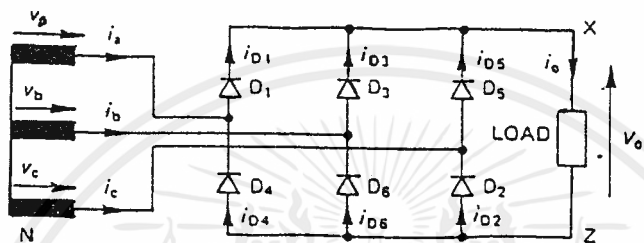
$$I_o \text{ (average load current)} = V_o / R_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_a	V_b	V_c	V_o	V_o คำนวณ

FULL WAVE CIRCUIT

1) ต่อดวงจรตามรูป



- 2) บันทึกสัญญาณแรงดันเฟส V_a , V_b , V_c บนกราฟที่มีคาบเวลาเดียวกัน
- 3) บันทึกสัญญาณแรงดัน ตกคร่อมโหลด บนกราฟ
- 4) เขียนกราฟเปรียบเทียบสัญญาณที่ตกคร่อมโหลด กับแรงดันทั้งสามเฟส
- 5) ใช้มัลติมิเตอร์ วัดแรงดันที่ตกคร่อมโหลดบันทึกผล

V_a	V_b	V_c	V_o	V_o คำนวณ

6) เปรียบเทียบผลจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

$$\text{average DC voltage } V_o = \frac{6}{2\pi} \int_0^{2\pi} E \sin \omega t \, d(\omega t)$$

$$I_o = V_o / R_L$$

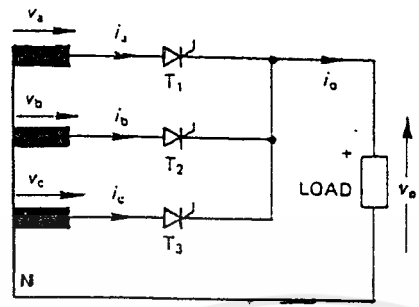
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

THREE PHASE CONTROL CONVERTER

HALF WAVE CONTROL CIRCUIT

1) ต่วงจรตามรูป



2) ปรับมุม trigger ไว้ที่ $\alpha=30$ องศา

3) บันทึกแรงดันเฟส V_a, V_b, V_c ลงบนคาบเวลาเดียวกัน

4) เขียนกราฟเปรียบเทียบสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดกับแรงดันทั้ง 3 เฟส

5) ใช้ multimeter วัดแรงดันตกคร่อมโหลดเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ

$$V_o = 3/3 E \cos\alpha \quad (0 < \alpha < \pi/6)$$

$$V_o = 3E / \sqrt{2\pi} (1 + \cos(\alpha + \pi/6)) \quad , \quad (\pi/6 < \alpha < 8\pi/6)$$

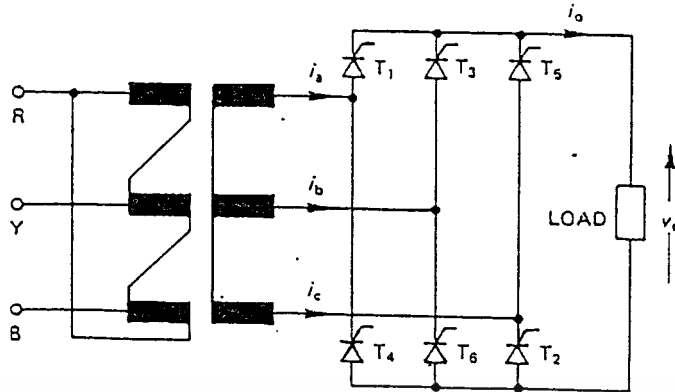
$$I_o = V_o / R_L$$

V_a	V_b	V_c	V_o	V_o คำนวณ

6) เปลี่ยนมุม trigger เป็นมุม $\alpha = 60, 90$ ตามลำดับบันทึกผล

FULL WAVE CONTROL CIRCUIT

1) ต่อดวงจรตามรูป

2) ปรับมุม trigger ไว้ที่มุม $\alpha=30$ องศา3) บันทึกสัญญาณแรงดัน V_a V_b V_c และ สัญญาณแรงดันตกคร่อม

4) เขียนกราฟเปรียบเทียบสัญญาณที่ตกคร่อมโหนดกับสัญญาณแรงดันสามเฟส

5) ใช้ multimeter วัดแรงดันตกคร่อมโหนดเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ

$$V_o = 3E / \sqrt{2\pi} (1 + \cos\alpha), \quad 0 < \alpha < \pi/3$$

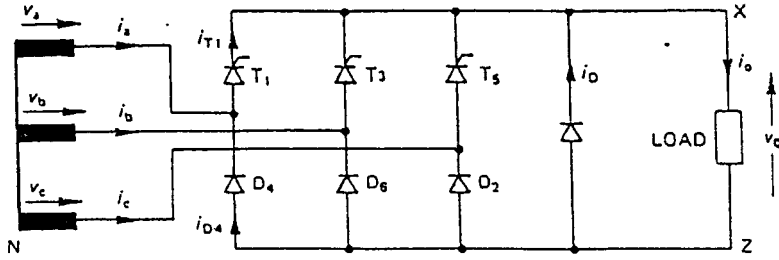
$$I_o = V_o / R_L$$

V_a	V_b	V_c	V_o	V_o คำนวณ

6) ปรับมุม trigger เป็นมุม $\alpha=60, 90$ องศาตามลำดับบันทึกผล

ตอนที่ 3 THREE PHASE HALF CONTROL CONVERTER

1) ต่อดังรูปตามรูป



- 2) ปรับมุม trigger ไว้ที่มุม $\alpha = 30$ องศา
- 3) บันทึกสัญญาณแรงดัน V_a, V_b, V_c และสัญญาณแรงดันตกคร่อม LOAD
- 4) เปรียบเทียบสัญญาณที่ตกคร่อมโหลดกับสัญญาณแรงดันทั้งสามเฟส
- 5) ใช้ multimeter วัดแรงดันตกคร่อมโหลด เปรียบเทียบกับการคำนวณ

$$V_o = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \cos \alpha, \quad 0 < \alpha < 2\pi/3$$

$$= \frac{3\sqrt{2}E}{\pi} (1 + \cos(\alpha + \pi/3)), \quad \pi/3 < \alpha < 2\pi/3$$

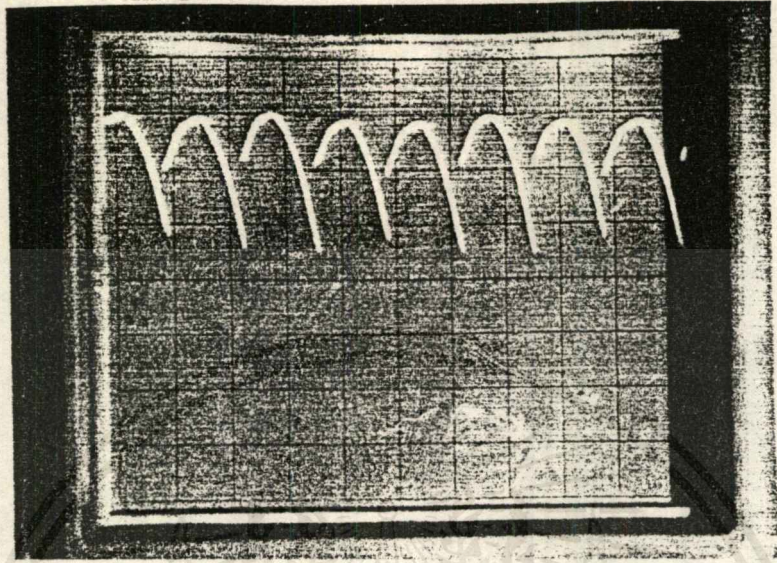
$$I_o = V_o / R_L$$

V_a	V_b	V_c	V_o	V_o คำนวณ

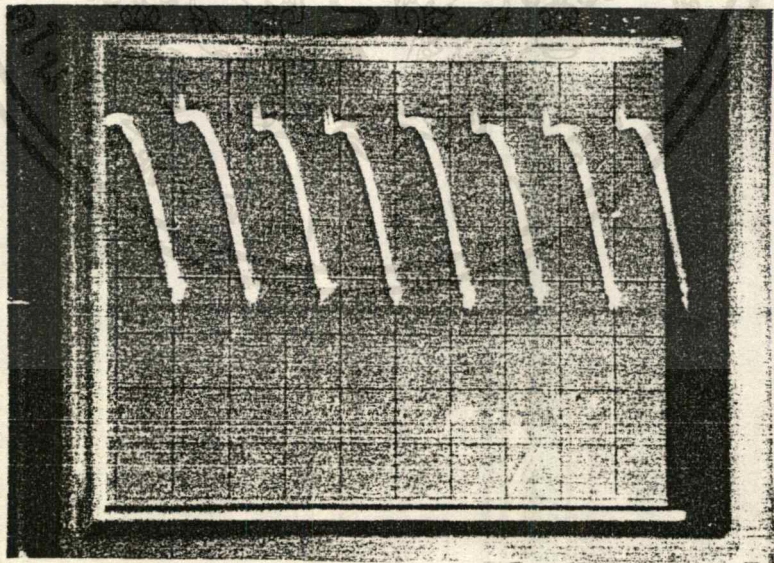
6) เปลี่ยน trigger เป็นมุม $\alpha = 60, 90$ องศาตามลำดับ บันทึกผล

ผลการทดลอง

THREE PHASE HALF WAVE CONTROL CIRCUIT

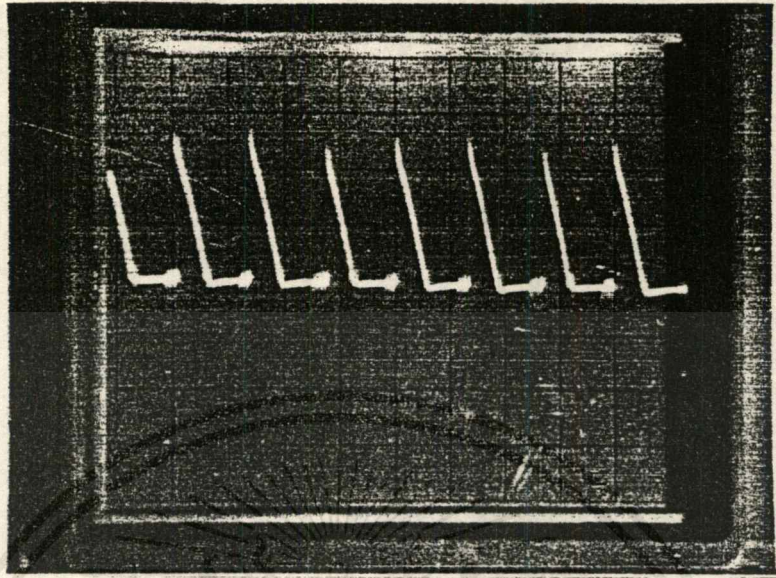


ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโหลดความต้านทานที่ $\alpha=30$



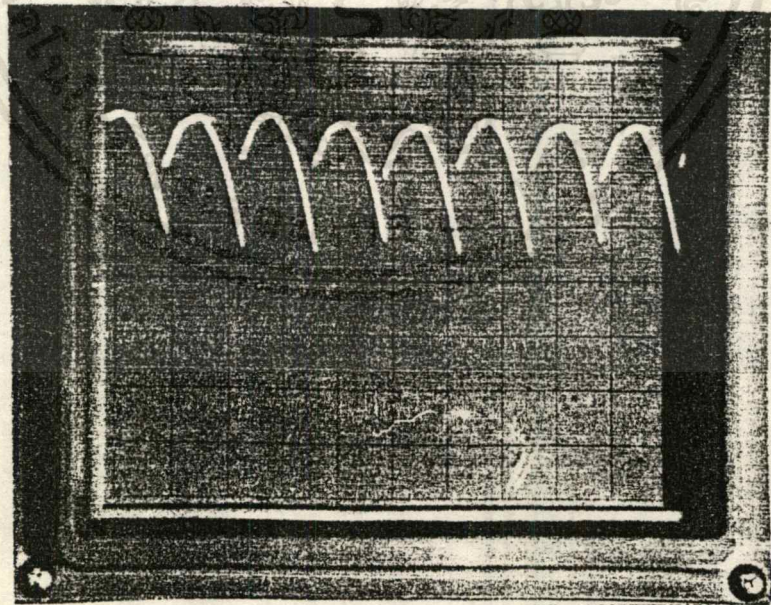
ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโหลดความต้านทานที่ $\alpha=60$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



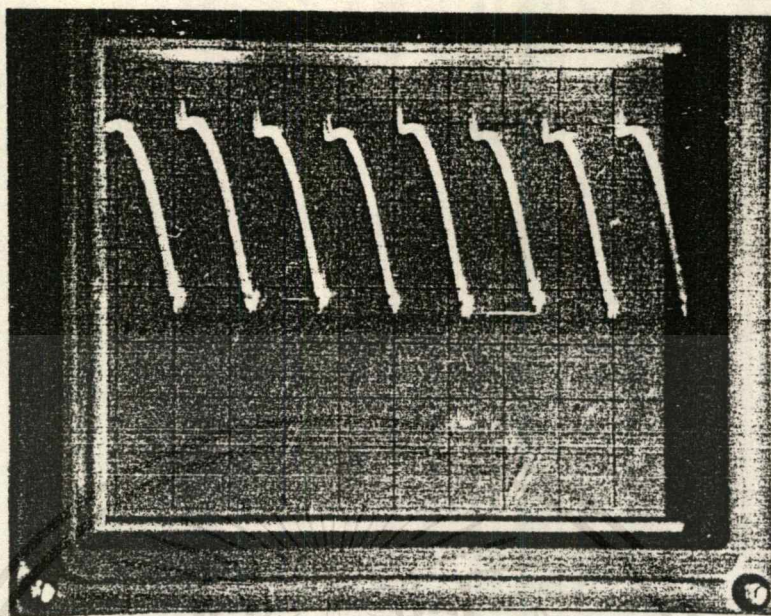
ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมหลอดความต้านทานที่ $\alpha=90$

THREE PHASE FULL WAVE CONTROL CIRCUIT

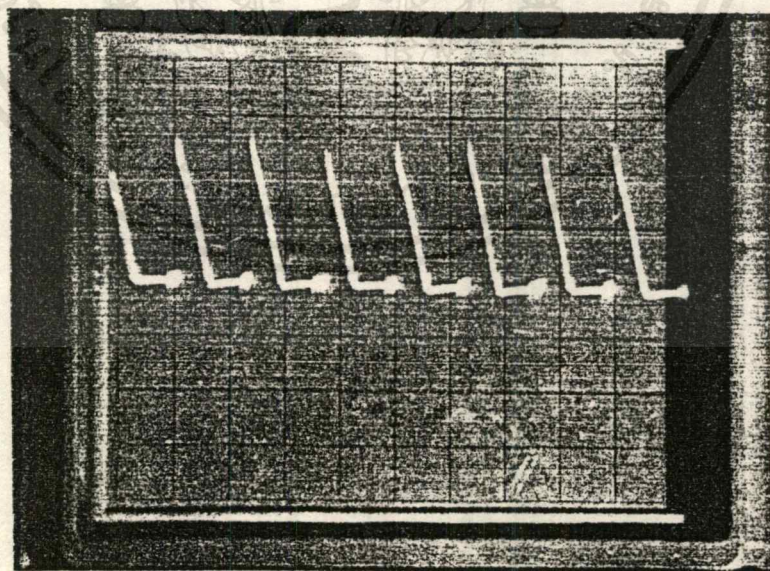


ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมหลอดความต้านทานที่ $\alpha=30$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



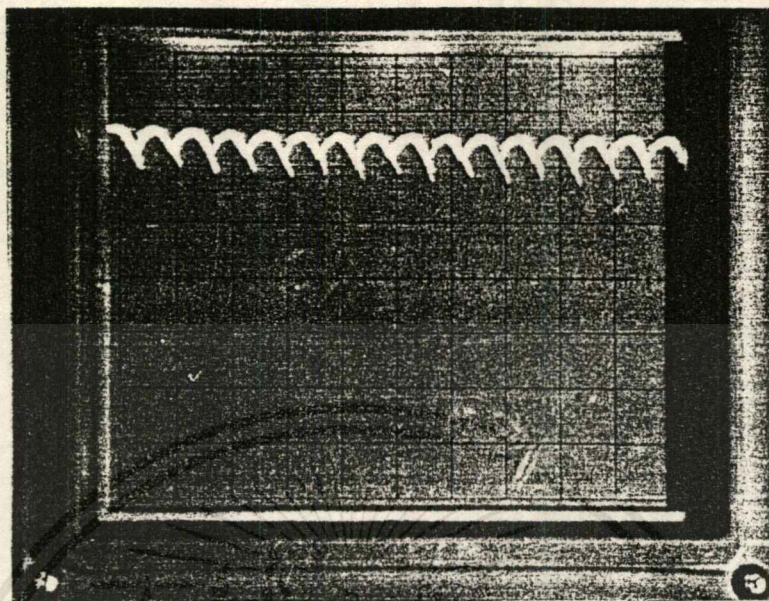
ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโหนดความต้านทานที่ $\alpha=60$



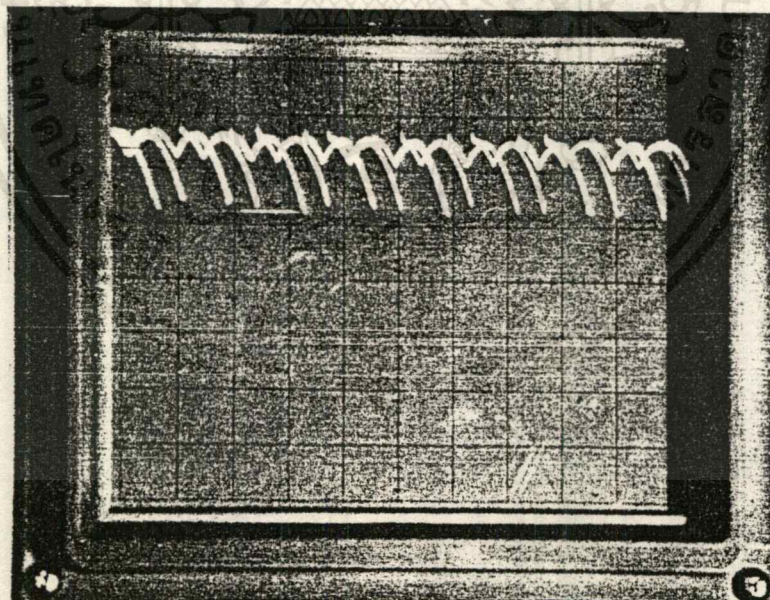
ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโหนดความต้านทานที่ $\alpha=90$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THREE PHASE HALF CONTROL CIRCUIT

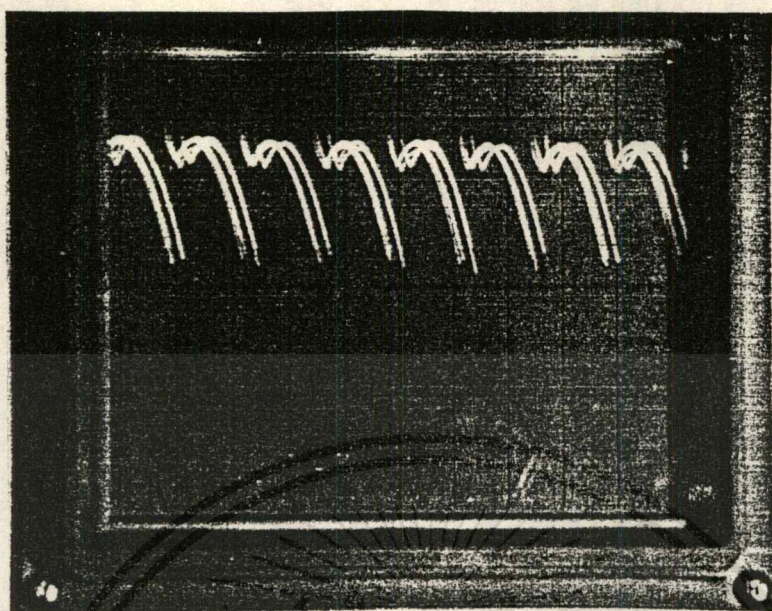


แสดงแรงดันตกคร่อมโหลดค่าความต้านทาน $\alpha=30$

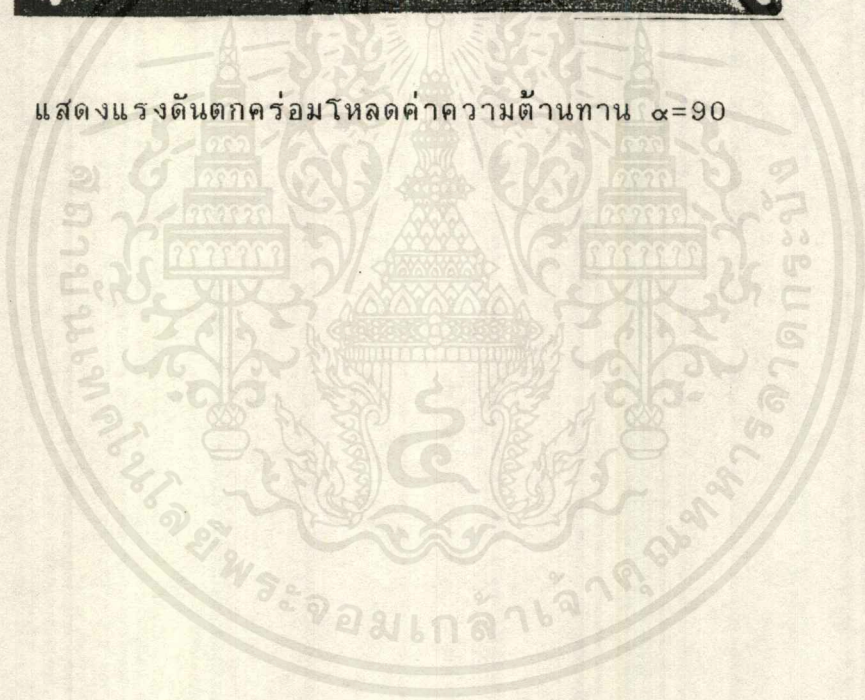


แสดงแรงดันตกคร่อมโหลดค่าความต้านทาน $\alpha=60$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงแรงดันตกคร่อมโหลดค่าความต้านทาน $\alpha=90$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

วงจร 3 phase converter ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองนี้ใช้งานที่แรงดัน 20 Vrms โดยสามารถปรับมุมทริก SCR เพื่อควบคุมแรงดัน ที่ตกคร่อมโหลดได้ตั้งแต่มุม $\alpha=60$ องศาถึง 120 องศา เนื่องจากวงจรภาคจ่ายไฟได้มาจากวงจรแปลงไฟจากแรงดันไฟกระแสสลับ 3 phase โดยตรงแล้วนำมาเรกกูเลตให้ได้แรงดันไฟตรง 12 V เพื่อจ่ายให้วงจรควบคุมscr ดังนั้นถ้าหากต้องการใช้ชุดทดลองที่แรงดันสูงกว่านี้ก็สามารถทำได้โดยการออกแบบภาคจ่ายไฟให้ได้แรงดันไฟ 12V เท่านั้นการประกอบวงจรทำได้ไม่เท่าที่ควร เนื่องจากเวลามีจำกัดอย่างไรก็ตามผู้จัดทำหวังว่าชุดทดลองนี้จะเป็นแนวทางสำหรับศึกษาเพื่อพัฒนาวงจรให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลอง

THREE PHASE INVERTER

วงจรอินเวอร์รท์ทำหน้าที่แปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ และสามารถปรับแรงดันและความถี่ของไฟกระแสสลับได้ ตัวอย่างการใช้งานอินเวอร์เตอร์ได้แก่

- แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับสำรอง
- แหล่งจ่ายไฟต่อเนื่อง
- วงจรขับนำมอเตอร์ไฟสลับแบบปรับความเร็วได้
- เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ
- อุปกรณ์แปรผันพลังงานที่ปลายทางของสายส่งไฟตรงให้เป็นไฟกระแสสลับเพื่อจ่ายให้แก่ผู้ใช้

การทำงานของอินเวอร์เตอร์จะเป็นการทำงานแบบสวิตช์ซึ่งไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันไฟสลับมักจะมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม หรือลักษณะอื่นที่ไม่ใช่รูปไซน์ (ยกเว้นว่ามีกรรงหรือการใช้เทคนิคอื่นเพื่อปรับรูปสัญญาณรูปคลื่นให้เกือบเป็นไซน์

องค์ประกอบที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เป็นสวิตช์ ซึ่งได้แก่ ไทริสเตอร์และทรานซิสเตอร์ เป็นต้น แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป

ไทริสเตอร์มีข้อดี คือทนกระแสและแรงดันได้สูง จุดชนวนได้ง่ายแต่มีข้อด้อยคือทำให้หยุดนำกระแสได้ยาก อีกทั้งไม่สามารถสวิตช์ที่ความถี่สูงๆนัก (ต่ำกว่า 10 KHz)

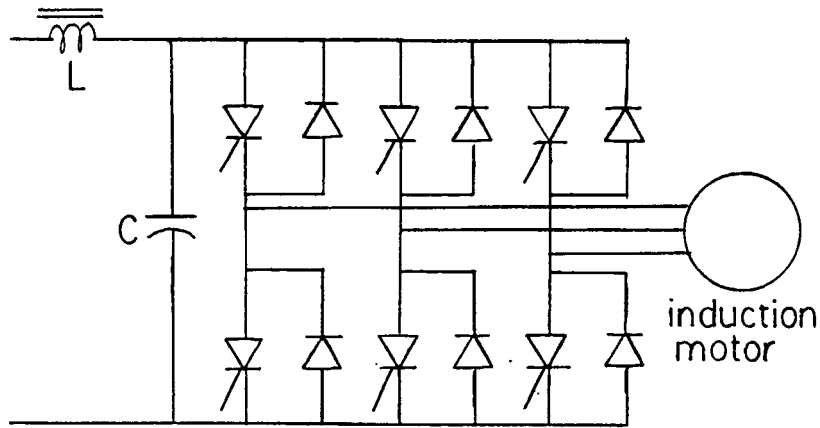
ทรานซิสเตอร์มีข้อดีคือ สวิตช์ที่ความถี่สูงถึงร้อยกิโลเฮิรตซ์แต่ไม่แข็งแรงทนทานเท่ากับไทริสเตอร์ เรานิยมใช้ไทริสเตอร์ในการทำอินเวอร์เตอร์ที่มีกำลังไม่สูงนัก

เนื่องจากคุณสมบัติของระบบจะขึ้นอยู่กับชนิดของอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ดังนั้นเราอาจจะจำแนกระบบออกตามชนิดของอินเวอร์เตอร์ได้เป็น voltage-fed inverter drive และ current-fed inverter drive

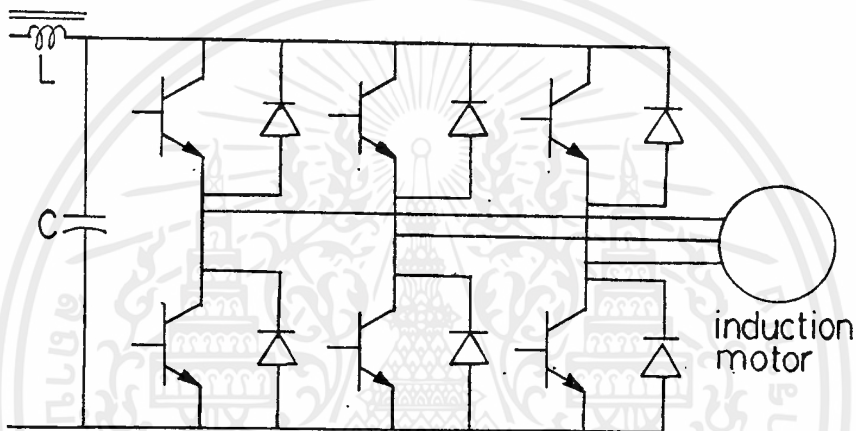
1. VOLTAGE-FED INVERTER DRIVE

Voltage-fed inverter โดยทั่วไปอาจจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ square-wave inverter หรือ six step inverter และ pulse width modulaed (pwm) inverter ดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

การที่เราเรียกอินเวอร์เตอร์แบบนี้ว่า Voltage-fed inverter ก็เนื่องจากการที่เรามี filter capacitor มีค่ามาก ทำให้แรงดันที่อินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่และแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์จะคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด



รูปที่1 Square wave inverter



รูปที่2 PWM inverter

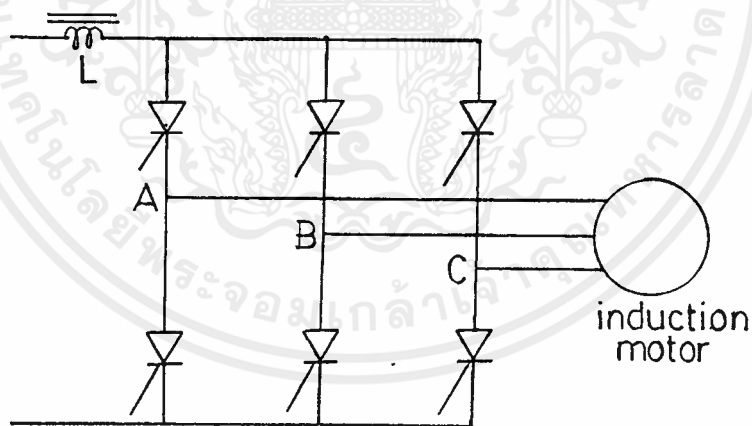
square wave inverter นั้นจะควบคุมแรงดันออกโดยการควบคุมแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ตั้งนั้นวงจรด้านขาเข้าของ square wave inverter จึงใช้ SCR เพื่อจะให้ได้สามารถควบคุมแรงดันออกได้ ส่วน PWM inverter นั้นจะควบคุมแรงดันออกโดยการควบคุมการสวิตช์ ซึ่งในหนึ่งคาบจะมีการสวิตช์หลายครั้ง และโดยการแปรเวลาในการสวิตช์ปิด เปิด จะทำให้สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันออกได้ตามต้องการตั้งนั้นจึงไม่จำเป็นต้องควบคุมแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้ และโดยทั่วไปวงจรด้านขาเข้าของอินเวอร์เตอร์มีไว้สำหรับให้กระแสที่เกิดจาก reactive power ไหลผ่าน

ข้อดีของการใช้ การควบคุมแรงดัน คือ เราสามารถควบคุมแรงบิดของมอเตอร์โดยการควบคุมความเร็ว โดยวิธีควบคุมแรงดันจะทำได้โดยไม่ต้องมีการป้อนกลับหรือถ้าระบบป้อนกลับเกิดขัดข้องก็จะไม่เป็นอันตรายต่อระบบ เพียงแต่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

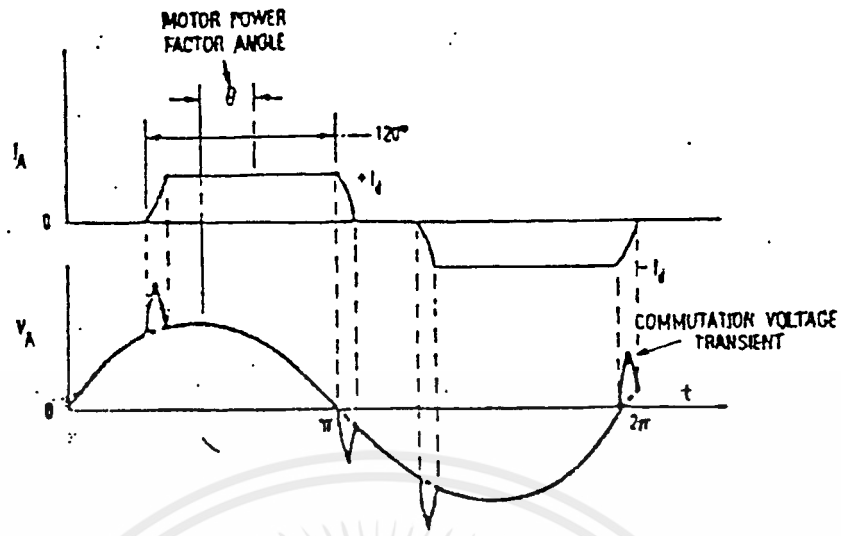
ของความเร็วขึ้นเท่านั้นสำหรับข้อเสียของ control voltage คือหากเกิดความผิดพลาดในการควบคุมสวิตช์จะทำให้เกิดปัญหา short-through ซึ่งอาจจะทำให้วงจรเพาเวอร์เสียหายได้

2. CURRENT-FED INVERTER

อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วยวงจรcontrolled rectifierและcurrent filter choke โดยมีคาปาซิเตอร์เป็นวงจรทางด้านขาเข้า และมี current mode inverterเป็นวงจรทางด้านออกดังรูปที่3 controlled rectifierและfilter choke จะทำหน้าที่เป็น variable dc ควบคุมการไหลของกระแสเข้าสู่มอเตอร์ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นกระแสสามเฟสซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ ดังรูปที่4แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันในแต่ละเฟสของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วย current-fed จะเห็นได้ว่ากระแสของมอเตอร์มีลักษณะเป็น quasi-sine wave ซึ่งมีขนาดตอนนำกระแสคงที่เท่ากับกระแสของแหล่งกำเนิดกระแสเนื่องจากจะมีสวิตช์คู่เดียวเท่านั้นที่นำกระแสในแต่ละครึ่ง ส่วนแรงดันเฟสของมอเตอร์นั้นจะมีลักษณะเกือบเป็น sine wave โดยจะมี spike เนื่องจากการ commutation อยู่ด้วย



รูปที่3 ระบบควบคุมความเร็วที่ขับเคลื่อนด้วย current-fed inverter

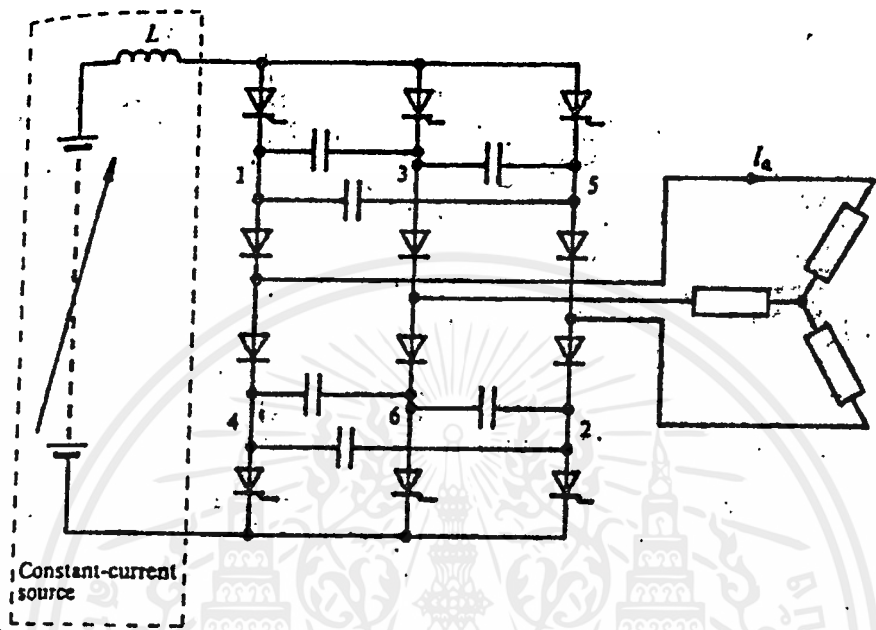


รูปที่ 4 ลักษณะของกระแสและแรงดันในแต่ละเฟสของมอเตอร์
ที่ขับเคลื่อนด้วย current-fed inverter

เราจะเห็นได้ว่าการใช้ current-fed inverter ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีข้อดีหลายประการ คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถทำงานได้ทั้ง 4 ควอดแดรนต์ โดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ over current หรือ short through ดังเช่นใน voltage fed inverter drive จึงไม่จำเป็นต้องใช้ high speed fuse นอกจากนี้ เรายังสามารถใช้ phase control SCR แทนการใช้ fast switching SCR สำหรับข้อเสียของ current fed inverter คือทำงานแบบ open loop ไม่ได้ filter chock มีขนาดใหญ่มากและหนัก ด้านอินพุทเป็น control rectifier ซึ่งจะทำให้เพอร์เวอร์แพดเตอร์ของระบบมีค่าต่ำ เมื่อโหลดน้อยๆ ช่วงความถี่ในการใช้งานต่ำกว่า voltage fed inverter ไม่สามารถทำงานได้ดีที่ no load และการควบคุมมอเตอร์หลายตัวโดยใช้อินเวอร์เตอร์ตัวเดียวทำได้ยาก

FORCE COMMUTATED INVERTER

จะสามารถทำได้โดยมีอินดักเตอร์ขนาดใหญ่ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปโอดที่ต่ออนุกรมกับเอสซีอาร์เพื่อไม่ให้คาปาซิเตอร์คายประจุผ่านโหลด



รูปที่ 6

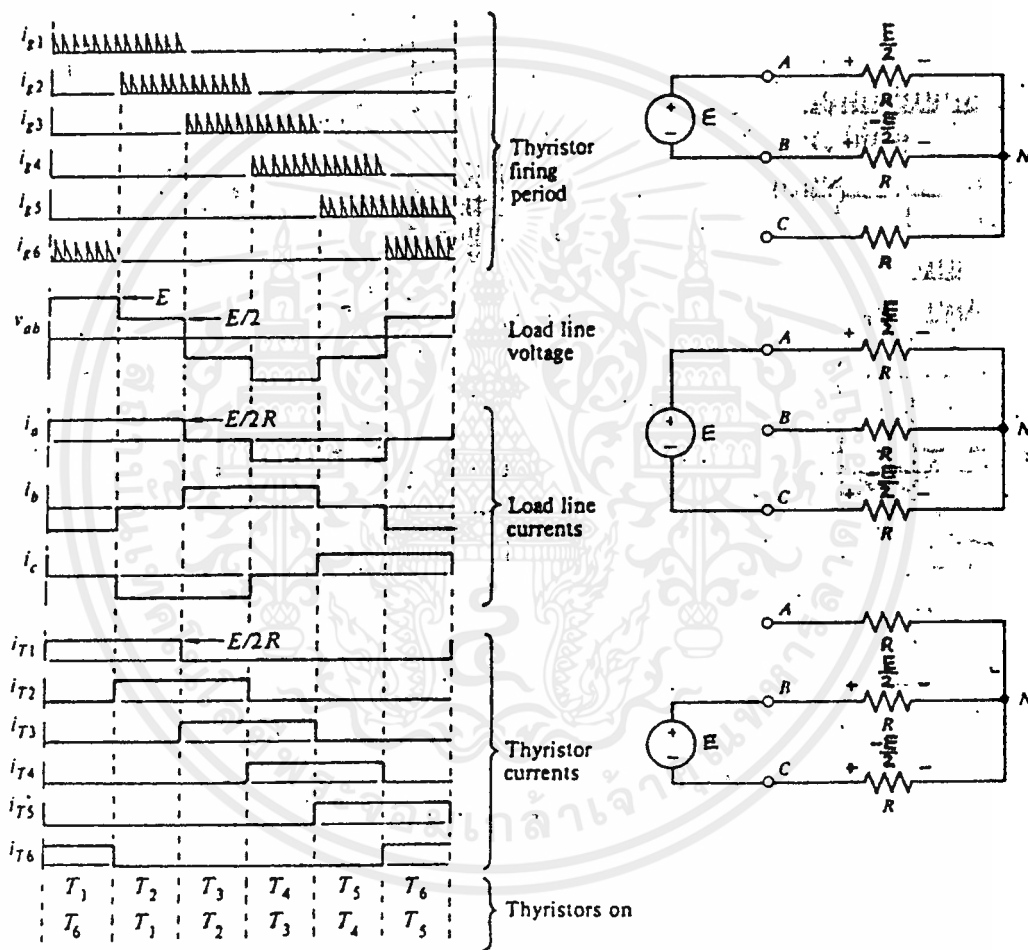
จากรูปที่ 6 เมื่อเอสซีอาร์ T_1 และ T_2 ถูกทริกให้นำกระแสคาปาซิเตอร์ทั้งสองจะคายประจุให้ทางซ้ายมือมีแรงดันเป็นบวก และเมื่อเอสซีอาร์ T_3 และ T_4 ถูกทริกให้นำกระแสคาปาซิเตอร์จะจ่ายรีเวอร์ไบอัสให้เอสซีอาร์ T_1 และ T_2 หยุดนำกระแส

จากรูปด้านล่างเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสทุกๆ เวลาจะมีเอสซีอาร์สองตัวนำกระแสพร้อมกัน เมื่อเอสซีอาร์ T_3 ถูกทริกให้นำกระแส เอสซีอาร์ T_4 จะถูกทำให้หยุดนำกระแส ข้อดีของอินเวอร์เตอร์แบบนี้ คือ

- 1 สามารถใช้เอสซีอาร์ชนิดทั่วไปได้
- 2 การมีอินดักเตอร์ค่าสูงต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟจะทำให้มีกระแสไหลผ่านคงที่จึงทำให้ถ้าเกิดมีการลัดวงจร กระแสจะไม่ไหลมาก
- 3 ไม่จำเป็นต้องมี commtating reactor

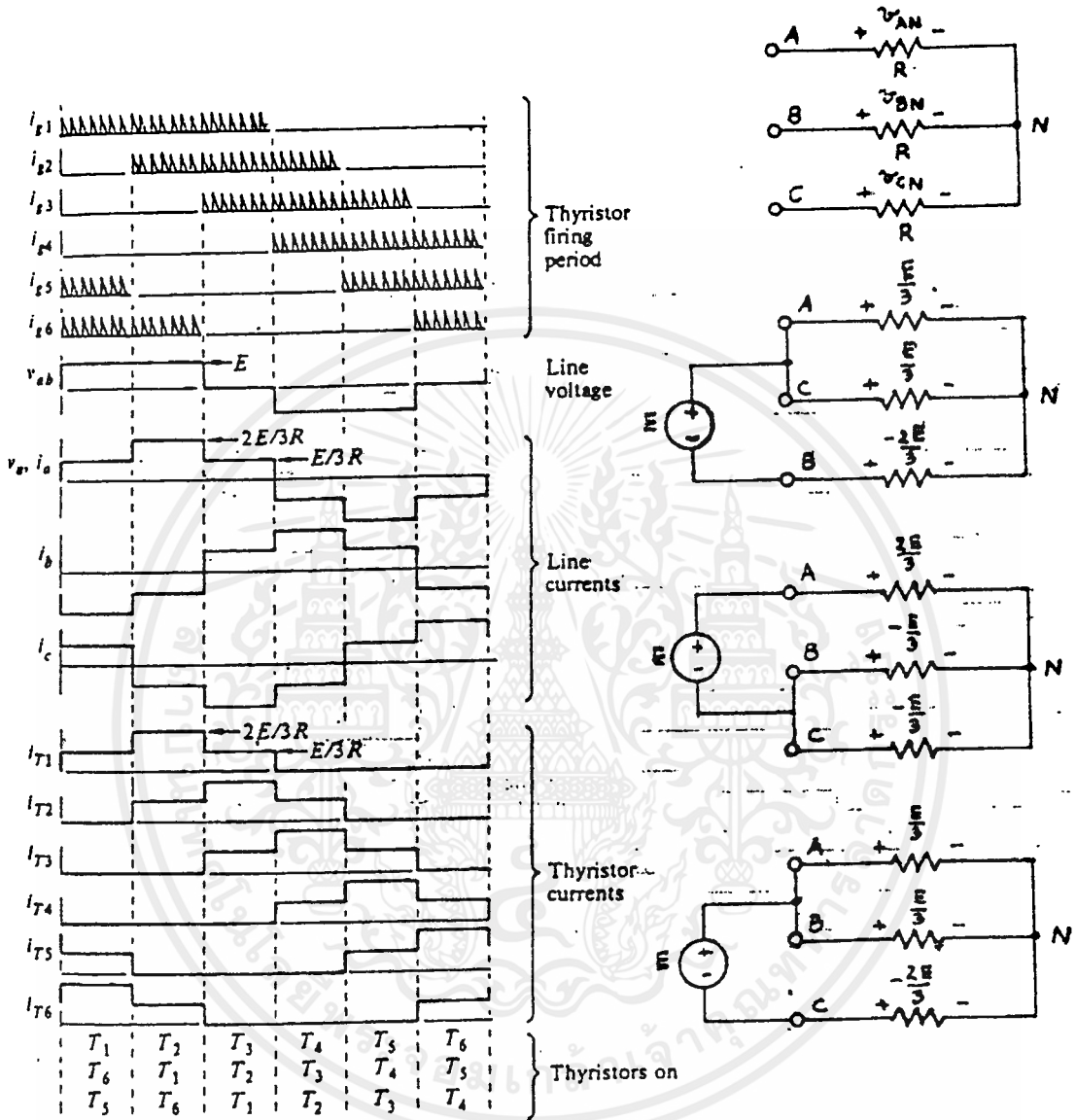
วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสควบคุมให้เอสซีอาร์แต่ละตัวนำกระแส 120 องศา รูปคลื่นดังแสดงดังรูปโดยกำหนดให้จุดสุดท้าย 120 องศาวงจรคอมมิวเตชันจะเริ่มทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

รูปคลื่นในรูป แสดงกระแสที่ไหลในโหลดเป็น quasi square wave ด้วยการที่เอสซีอาร์แต่ละตัวนำกระแสเพียงหนึ่งในสามของไซเคิล ในวงจรรูป แทนเอสซีอาร์ด้วยสวิตช์แหล่งจ่ายกระแสตรงถูกสวิตช์เข้าโหลดที่ต่อลักษณะ 3 เฟสเป็น 6 จังหวะ คือ $T_1T_6, T_2T_1, T_3T_2, T_4T_3, T_5T_4, T_6T_5$ ความเร็วในการสวิตช์ขึ้นอยู่กับความถี่เอาท์พุทที่ต้องการรูปคลื่นที่แสดงในรูปเป็น line voltage ถ้าโหลดเป็นอินดักทีฟ กระแสที่ไหลในโหลดจะไหลผ่านไดโอด จึงเสมือนกับสวิตช์ปิดวงจรรานกว่า 120 องศา ของไซเคิล



รูปที่ 7 อินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส ด้วยการทริกตลอด 120 องศา และโหลดเป็นความต้านทาน

การทำงานของอินเวอร์เตอร์ ในกรณีที่เอสซีอาร์นำกระแสเป็นมุม 180 องศาของไซเคิลซึ่งเอสซีอาร์ 3 ตัวจะนำกระแสพร้อมกัน คือแหล่งจ่ายไฟกับโหลด โดยเอสซีอาร์หนึ่งตัวในด้านหนึ่งกับเอสซีอาร์อีกสองตัวในอีกด้านหนึ่งดังแสดงรูปคลื่นต่างๆดังรูปจะได้ line voltage เป็น quasi-square wave



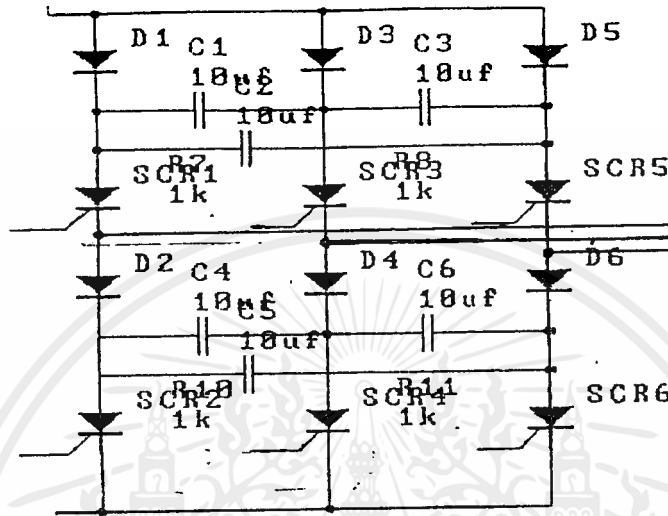
รูปที่ 8 อินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส ด้วยการทริกตลอด 180 องศา และโหลดเป็นความต้านทาน

การออกแบบวงจร INVERTER

วงจร INVERTER 3 เฟสแบบ current-fed inverter โดยใช้หลักการ force commutation ประกอบด้วยวงจร 2 ส่วนคือ

1. วงจรกำลังและคอมมิวเตชัน

วงจรกำลังเลือกใช้ SCR เบอร์ TIC106D เป็นวงจรหลัก ส่วนวงจรคอมมิวเตชันประกอบด้วย ไดโอดและคาปาซิเตอร์



รูปที่ 1 วงจร commutation

วงจรคอมมิวเตชันสามารถออกแบบได้โดยมีเงื่อนไข 2 ประการ

1) เมื่อ dv/dt หรืออัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่คร่อมเอาโนดกับคาโทดค่าสูงสุดที่ไม่ทำให้ SCR นำกระแสได้โดยไม่มีกรตริก

$$2E/RC < dv/dt$$

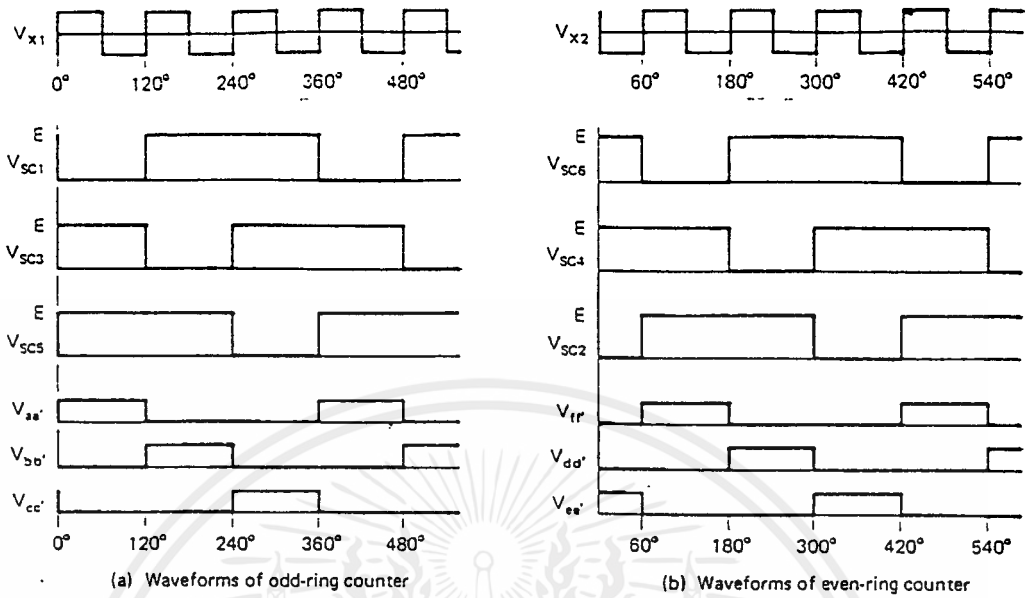
2.) เมื่อ t_o (turn off time) คือระยะเวลาที่กระแสไหลผ่าน SCR กลับสู่ 0 จนถึงเวลาที่สามารถจ่ายแรงดันพื่อเว็ดอีกครั้ง โดยที่ SCR ไม่นำกระแส

$$t_o = 0.6931RC$$

2. วงจรควบคุม SCR

วงจรควบคุม SCR เลือกใช้การกรตริกแบบ 120 องศา เมื่อพิจารณาการนำกระแสของ SCR1, SCR2, SCR5 และการนำกระแสของ SCR2, SCR4, SCR6 จะเป็นลักษณะวงจรรing

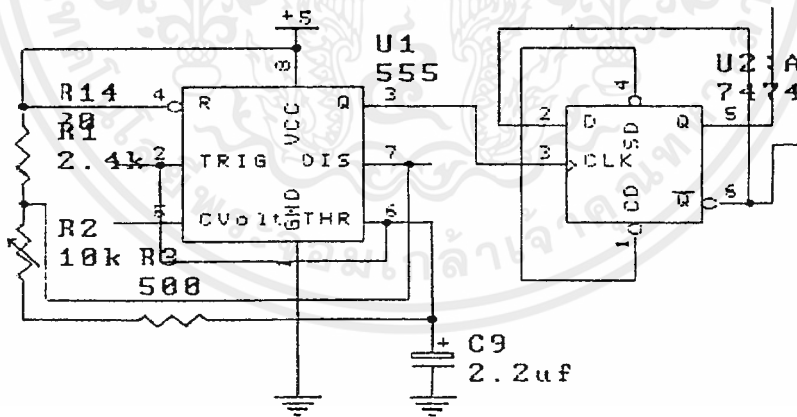
counter 2 ชุด โดยแต่ละชุดมีสัญญาณพัลส์ทางด้านอินพุตกลับเฟสกัน ดังนั้น เราจึงสามารถแบ่ง วงจรควบคุม SCR ออกเป็น 3 วงจรคือ



รูปที่ 2 สัญญาณทริกเกอร์

2.1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

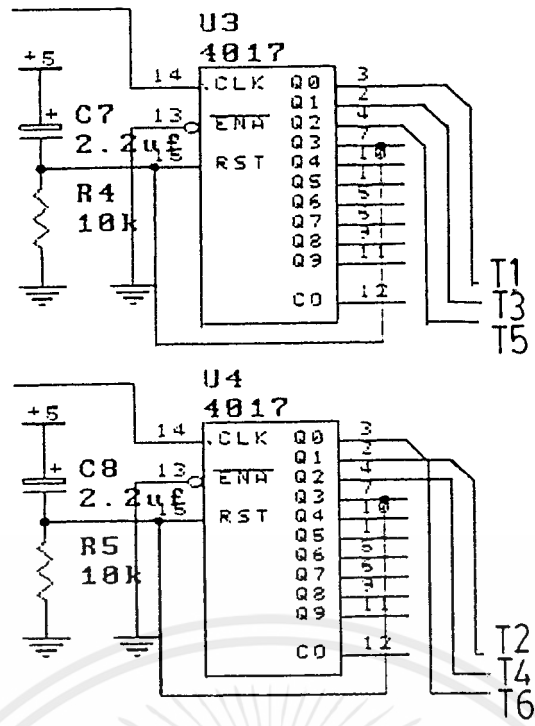
วงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซีเบอร์ 555 ต่อเป็นวงจร astable multivibrator และนำพัลส์ที่ได้มาจัดรูปคลื่นที่ duty cycle 50% โดยใช้ไอซีเบอร์ TTL 7476



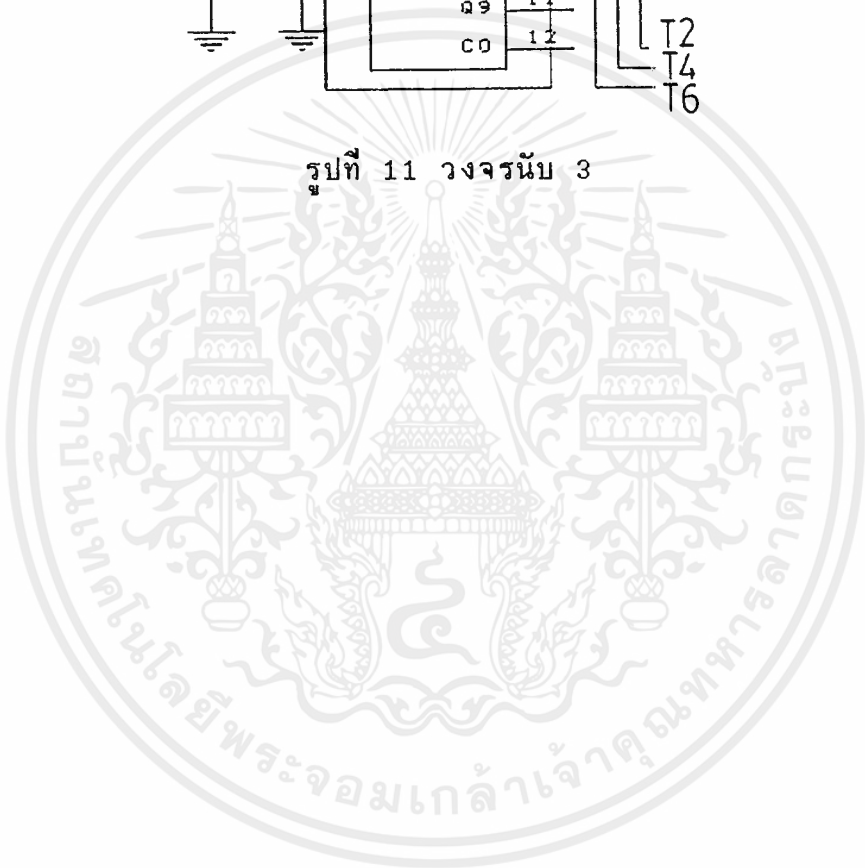
รูปที่ 3 วงจร oscillator

2.2) วงจร ring counter

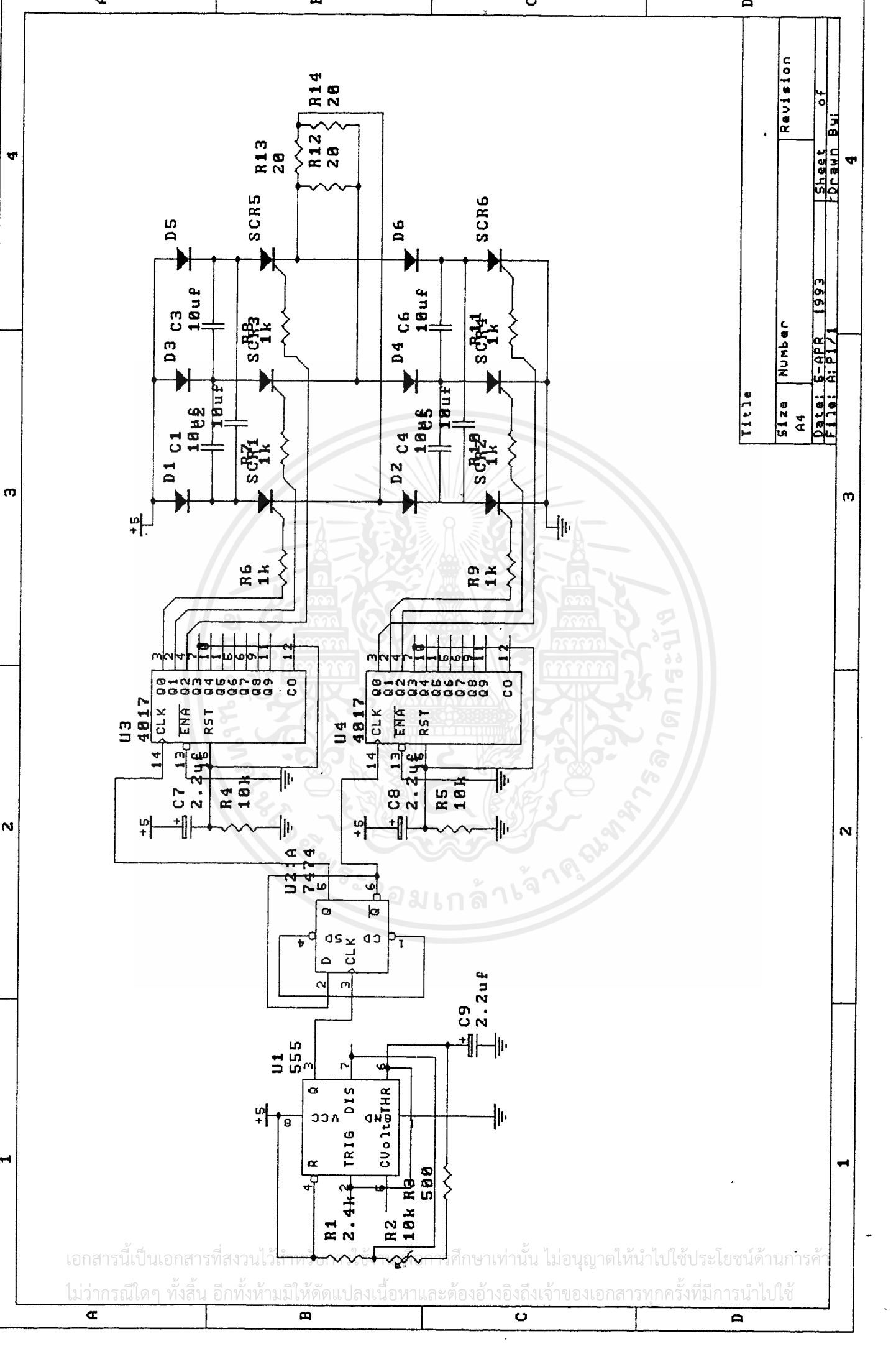
ใช้ไอซีเบอร์ 4017 เป็นวงจรมับลิบแต่วงจรนี้ต้องการเพียง 3 เท่านั้นต้องต่อขา 13 เข้ากับขา 15 ซึ่งเป็นขารีเซ็ตและเพื่อให้การนับทั้งสองชุดพร้อมกันที่ Q0 จึงต้องรีเซ็ตด้วยการต่อ RCไว้กับแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 11 วงจรนับ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	
Size	Number
A4	
Date: 5-APR 1993	Revision
File: A:PI/1	Sheet of
	Drawn By: of
	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ให้ครูอาจารย์ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

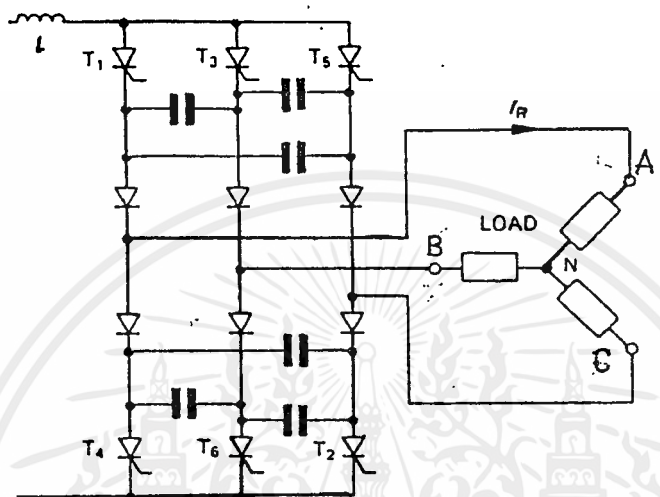
การทดลอง THREE PHASE INVERTER

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจร 3 phase inverter
- 2) เพื่อศึกษารูปคลื่นที่ได้จากวงจร 3 phase inverter

ลำดับขั้นการทดลอง

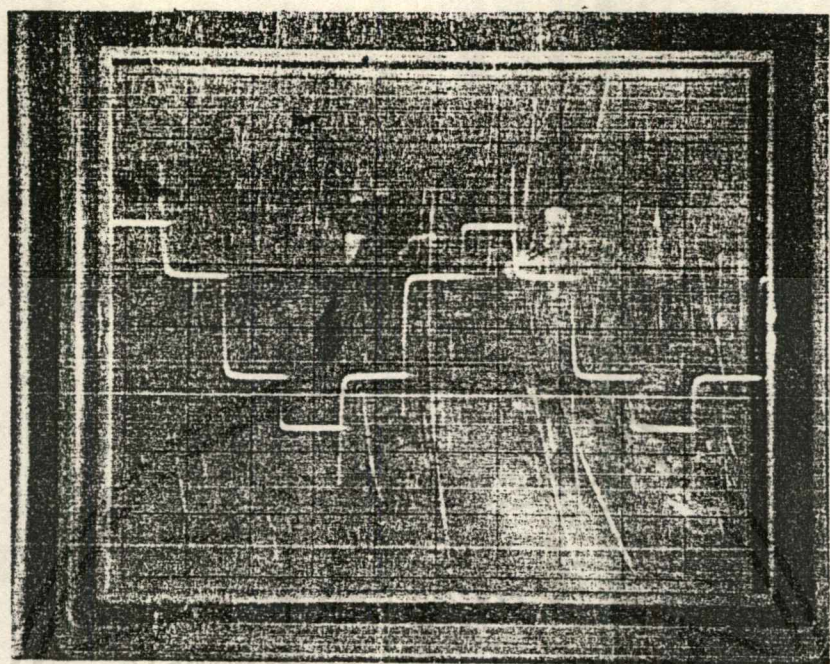
- 1) ต่อวงจรตามรูป โดยโหลดต่อแบบสตาร์



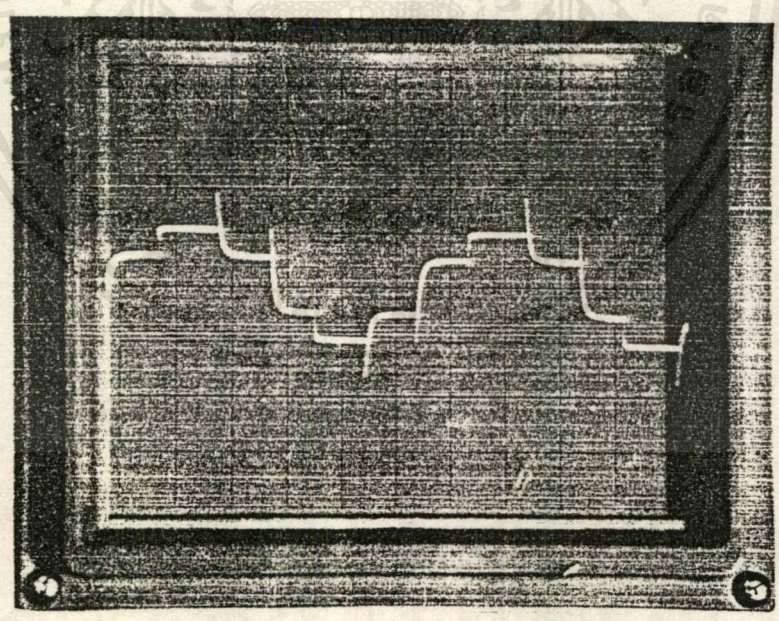
- 2) ปรับ supply ไว้ที่ 5 V
- 3) บันทึกสัญญาณแรงดันเฟส R Y โดยเทียบกับ N พร้อมกันทั้ง สามเฟส โดยวัดสัญญาณระหว่าง RY YB หรือ BR
- 4) ปรับความถี่ให้สูงขึ้นหรือต่ำลง วัดแรงดันตกคร่อมโหลด
- 5) ปิด supply เปลี่ยน โหลดเป็นเดลต้า
- 6) บันทึกสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมเฟส RY YB BR
- 7) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ได้ระหว่างโหลดแบบ สตาร์ และเดลต้า
- 8) เปรียบเทียบสัณฐานที่วัดได้ กับ ทฤษฎี
- 9) สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

THREE PHASE INVERTER CIRCUIT

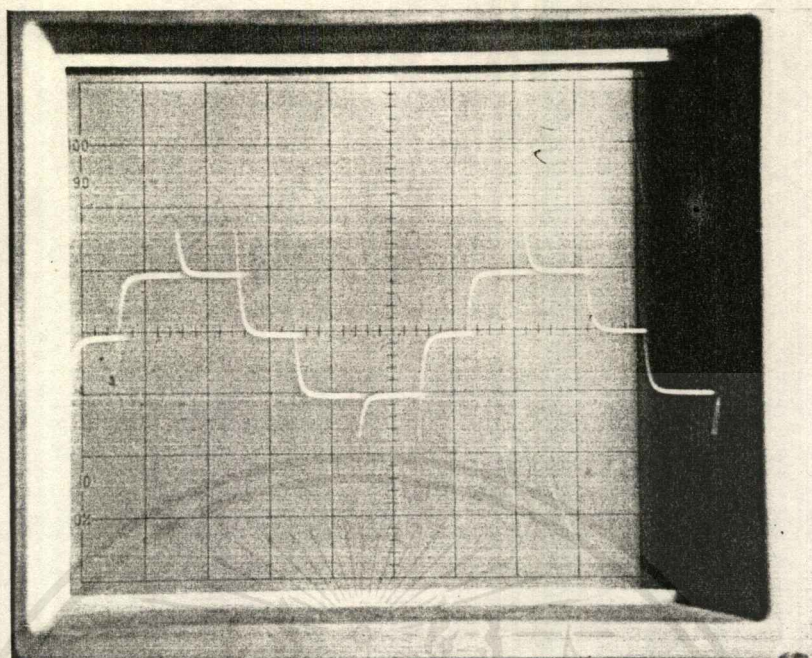


ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโหลดความต้านทานแบบเดลต้า 1 เฟส

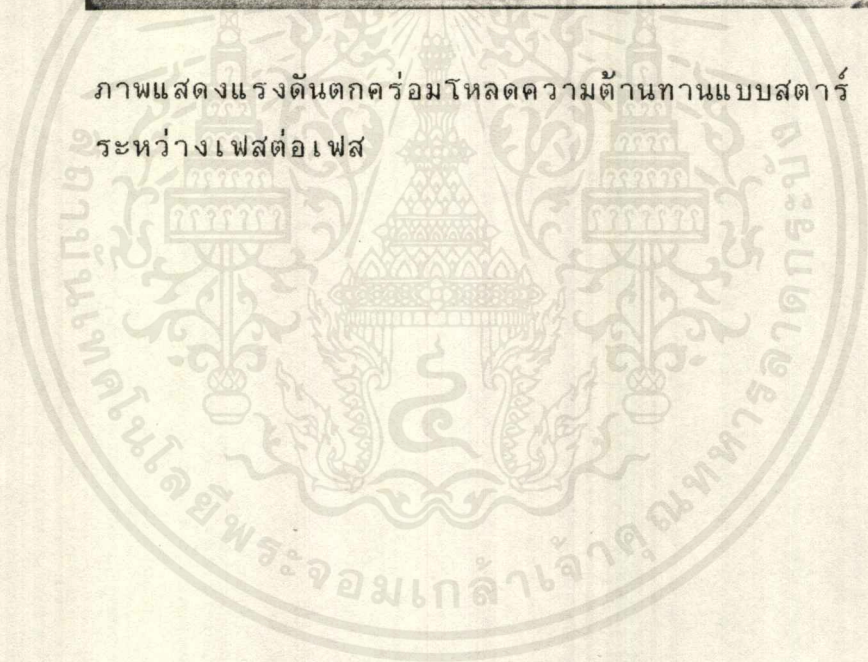


ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโหลดความต้านทานแบบสตาร์
แต่ละเฟสเทียบกับจุดร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดงแรงดันตกคร่อมโพลิตความต้านทานแบบสตาร์
ระหว่างเฟสต่อเฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

วงจร 3 phase inverter ที่สร้างขึ้นเป็นชุดทดลองนี้สามารถใช้งานได้ที่แรงดัน 5 โวลต์ โดยสามารถปรับความถี่ของคาบเวลาได้ประมาณ 50-250 HzF โดยใช้กับโหลด เป็นความต้านทานที่มีการต่อแบบ สตาร์และเดลต้า มีค่าประมาณ 20-100 โอห์มต่อเดส สาเหตุที่ทำให้ช่วงของแรงดันต่ำ เนื่องจากไม่สามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน โหลด กับคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับค่าแรงดันที่สูงกว่านี้ได้หาต้องการแรงดันที่สูงกว่านี้อาจต้องใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบอื่น

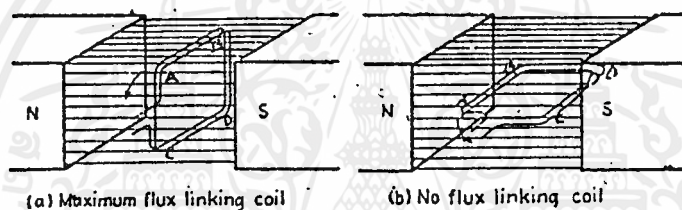


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC AND AC MACHINE CHARACTERISTICS TEST

หลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เกิดจากการที่ตัวนำวิ่งผ่านสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มคงที่ค่าหนึ่งด้วยอัตราเร็วจำนวนหนึ่ง นั่นก็คือเกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลาขึ้นดังนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำนั้นซึ่งเป็นไปตามกฎการเหนี่ยวนำดังรูป แสดงถึงขดลวดแบบง่ายๆ ขดหนึ่งขดหนึ่งที่วิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็กถาวรที่มีขั้ว N และขั้ว S โดยที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอทุกๆ จุด จากขั้วทั้งสองนั้นจากรูป (a) เป็นตำแหน่งที่เส้นแรงแม่เหล็กที่มาคล้องขดลวดมีค่าสูงสุด จากรูป B เป็นตำแหน่งที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กมาคล้องขดลวดจากรูป (a) แม้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กมาคล้องขดลวดใหม่แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดสูงสุด



รูปแสดงขดลวดแบบธรรมดาที่หมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่อขดลวดเครื่องที่ทวนเข็มนาฬิกา ไป $1/4$ รอบ ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ไปคล้องขด AB ลดลงจาก ϕ Weber ลงไปเป็นศูนย์เพราะฉะนั้นการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) ในช่วงนี้คือ

$$E_{av} = N\phi/t \text{ volt}$$

เมื่อ N = จำนวนรอบของตัวนำในขดลวดนั้น t = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไป $1/4$ รอบ นั่นคือ $t = 1/4s$ เมื่อ S = จำนวนรอบต่อวินาทีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่าง $1/4$ ของรอบคือ

$$E_{av} = 4N\phi S$$

ชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้า เมื่อกำหนดให้

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (weber)

z = จำนวนตัวนำทั้งหมดของ armature

p = จำนวนขั้วแม่เหล็กบน stator

g = จำนวนแฉกที่ขนานกันใน armature

s = จำนวนรอบต่อนาทีของการหมุน armature

e = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นในแฉกที่ขนานกันแฉงใดแฉง

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นต่อตัวเหนี่ยวนำ = $d\phi/dt$ โวลต์

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดตัวนำหนึ่งตัวในหนึ่งรอบคือ $d\phi = Qp$ (weber)

จำนวนรอบต่อวินาที = $s/60$

เวลาที่ต้องการในหนึ่งรอบ = $60/s$ วินาที

ดังนั้นตามกฎการเหนี่ยวนำของ faraday จึงได้

แรงเคลื่อนไฟต่อตัวนำ = $d\phi/dt = \phi ps/60$ โวลต์

สำหรับเครื่องกำเนิดที่พันแบบ wave

จำนวนที่ขนานกัน = a

จำนวนตัวนำที่ต่ออนุกรมในหนึ่งแฉง = $z/2$

แรงเคลื่อนที่ได้ต่อแฉง = $\phi psz/60a$ โวลต์

= $\phi ps/60$ ($p=a$) โวลต์

โดยทั่วไปแล้วแรงเคลื่อนไฟที่ได้ = $\phi zsp/60a$ โวลต์

$a = 2$ สำหรับแบบ wave

$a = p$ สำหรับแบบ lap

จะเห็นได้ว่า $z, p, a, 60$ ต่างเป็นค่าคงที่ของเครื่องแต่ละตัวอยู่แล้วค่าที่เปลี่ยนแปลงมีเพียง 2 ตัวเท่านั้นคือ ϕ กับ s ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ค่า e เปลี่ยนไปดังนั้นจึงได้สมการ

$$E = K_u \phi s$$

เมื่อ K_u = ค่าคงที่ของการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

$$= zp/60a$$

ตามความจริงแล้วค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำไม่อาจวัดได้ในขณะที่มีโหลด แต่ว่าจะวัดได้เมื่อตอนที่เครื่องไม่ได้รับโหลด หรือ open circuit เท่านั้น

ชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ

เราทราบว่าแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในตัวนำขณะเคลื่อนตัวตัดฟลักแม่เหล็กในแนวตั้งฉากมีค่าเป็น

$$e_{ind} = VB \cdot t$$

$$e_{ind} = \text{แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำ}$$

$$v = \text{ความเร็วในการเคลื่อนตัวตัดฟลักแม่เหล็ก}$$

$$B = \text{ความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็ก}$$

$$t = \text{ความยาวของตัวนำที่เคลื่อนตัวตัดกับฟลักแม่เหล็ก}$$

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ 1 รอบมีค่า

$$e_{ind} = 2VBt \sin \theta$$

$$\text{แทนค่า } \theta = \omega t$$

$$e_{ind} = 2VBt \sin \omega t$$

แทนพื้นที่หน้าตัดของขดลวด $A = 2W$ และ $V = rWm$

$$e_{ind} = ABWm \sin \omega t$$

แทนค่าฟลักแม่เหล็กสูงสุดที่ตัดกับขดลวด $\phi = AB$

$$e_{ind} = \phi W \sin \omega t$$

ตัวขดลวดมีจำนวน Nc รอบ

$$e_{ind} = Nc\phi W$$

$$\text{เมื่อ } W = 2\pi f$$

$$E = 2\pi Nc\phi f$$

แรงดัน rms ของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าเป็น

$$E_g = 0.707 E_{max}$$

$$E_g = 4.44 Nc\phi f$$

$$E_g = \text{แรงดันไฟฟ้า rms}$$

$$\phi = \text{ฟลักแม่เหล็กสูงสุดต่อขั้ว}$$

$$f = \text{ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า}$$

$$Nc = \text{จำนวนรอบของขดลวด}$$

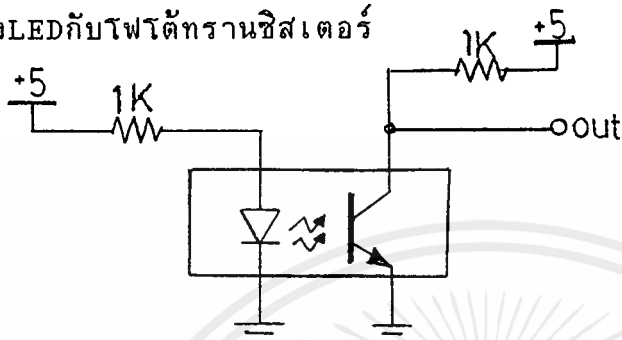
การออกแบบวงจร

การออกแบบชุดทดลองนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

1. วงจรนับ

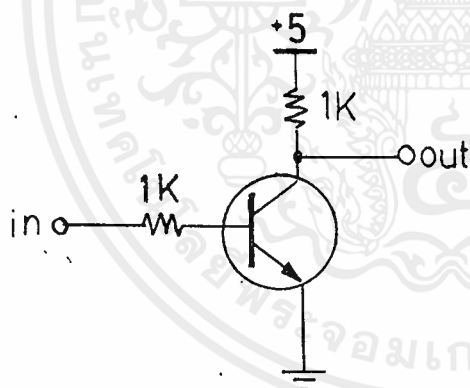
วงจรรนับแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ

1.1 วงจรอินพุตพัลส์ใช้ optoelectronic ภายในประกอบด้วย LED และโฟโตทรานซิสเตอร์จัดวงจรให้ได้ออกจิก "1" เมื่ออยู่สภาวะปกติและได้ออกจิก "0" เมื่อมีสิ่งตัดผ่านระหว่าง LED กับโฟโตทรานซิสเตอร์



1.2 วงจรฐานเวลา 1 วินาที

วงจรรฐานเวลา 1 วินาที ใช้ timer 555 จัดวงจรแบบออสเตเบิลมัลติไวเบเตอร์ให้ได้ $T_{on} = 1$ วินาที และ $T_{off} = 0.5$ วินาที



1.3 วงจรกลับเฟส

วงจรรกลับเฟสใช้ทรานซิสเตอร์ 2N2222 โดยนำแรงดันที่ตกคร่อมชาคอลลแลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ไปใช้งาน

1.4 วงจรรนับสองหลัก

วงจรรนับใช้ TTL7490 เป็นตัวรับอินพุตพัลส์และเป็นตัวนับ BCD ผ่านวงจรแลตเบอร์ 7475 ส่งไปยัง 7448 ทำหน้าที่เปลี่ยน BCD เป็นรหัสเลขฐานสิบโดยแสดงที่ 7 segment

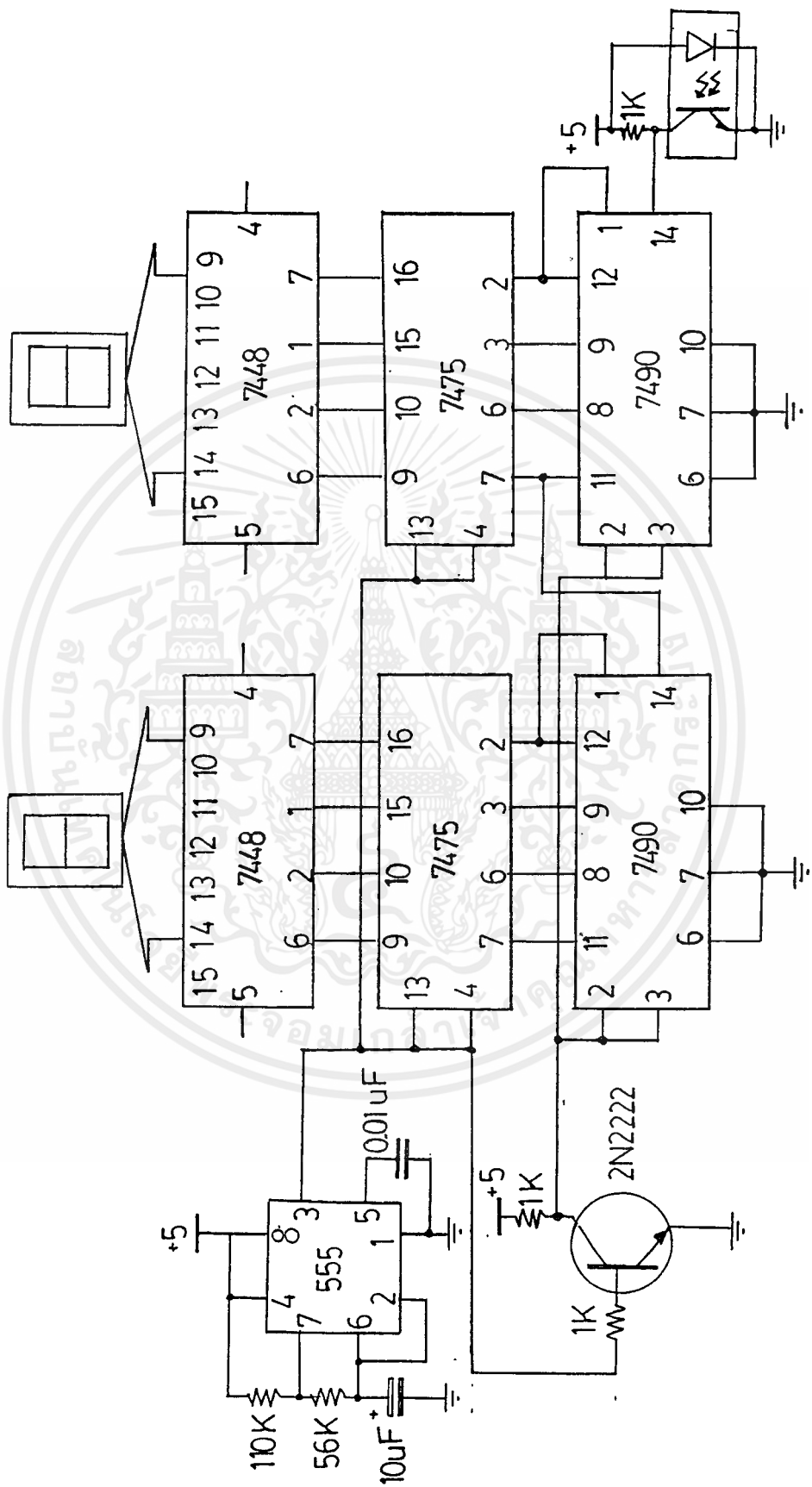
แกนของมอเตอร์จะถูกติด encoder เอาไว้ขณะที่มอเตอร์หมุน encoder จะไปตัดแสงที่ opto electronic ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ขึ้นมาเท่ากับจำนวนรอบที่หมุน ซึ่งถ้าขณะนั้นสัญญาณนี้ขา EN ของ 7475 เป็นลอจิก "1" วงจรนับก็จะนับไปเรื่อย ๆ จนขา EN เป็นลอจิก "0" วงจรจะแลตค่าสูงสุดไว้จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ 2N2222 จะกลับเฟสกันกับที่เอาท์พุทของ TIMER555 ทำให้ขณะที่วงจรแลตทำงานก็จะทำให้ 7490 รีเซตเป็นศูนย์ด้วยนั่นคือวงจรเตรียมเริ่มนับในช่วงเวลาต่อไปตั้งนั้นเมื่อ 555 ผลิตพัลส์จำนวน 1 วินาที วงจรก็จะนับไปเรื่อยจนกว่ามีพัลส์ช่วง 0.5 วินาที เข้ามาจะทำให้แรงจำนวนค่าสูงสุดที่นับได้ใน 1 วินาที และทำการรีเซตวงจรมันให้เริ่มนับใหม่นั้นเอง

2. วงจรเครื่องกลไฟฟ้า

มอเตอร์กระแสตรง เป็นเซอร์โวมอเตอร์แบบอนุกรมใช้แรงดันไฟ 12 V 1 A

มอเตอร์กระแสสลับ เป็นอินดักชั่นมอเตอร์เฟสเดียว 220 V 50 Hz





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง D.C MACHINE AND A.C MACHINE CHARACTERISTIC TEST

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบคุณสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม
2. เพื่อให้ทราบคุณสมบัติของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับแบบอินดักชัน

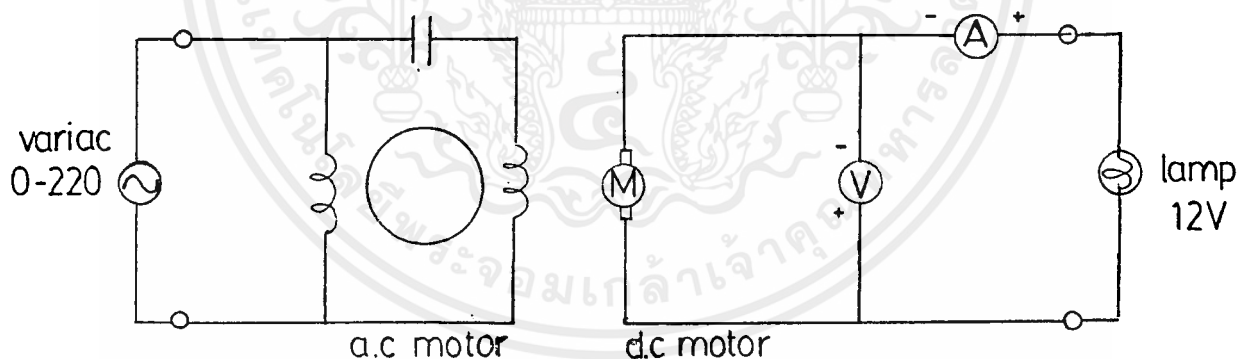
เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|------------------------------|-----------|
| 1. D.C servo motor 12 V | 1 ตัว |
| 2. A.C induction motor 220 V | 1 ตัว |
| 3. variac 0-220 V | 1 ตัว |
| 4. power supply 0-30 V | 1 ตัว |
| 5. multimeter | 1 ตัว |
| 6. เครื่องวัดความเร็วรอบ | 1 เครื่อง |

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 D.C GENERATOR TEST

1. ต่อวงจรตามรูป ปรับ variac ไว้ที่ตำแหน่ง 0 โวลต์
2. ต่อ DC voltmeter และ DC ammeter ทางด้าน DC motor



รูปที่ 1

3. เพิ่มแรงดันที่ variac ครั้งละ 10 V บันทึกค่าแรงดันและกระแสและความเร็วรอบทางด้าน DC motor ลงในตารางจนกระทั่งถึง 220 V
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเร็วรอบและกระแสกับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

variac(V)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
V_c (V)											
I_1 (A)											
n(รอบ/นาที)											

ตารางที่ 1.1

5. ปรับ variac ไว้ที่ 220 V
6. เพิ่มโหลดไฟ 12 V 1 A ขนาดเพิ่มเข้าไปอีกครึ่งละโหลดบันทึกแรงดันและกระแสในตาราง
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน

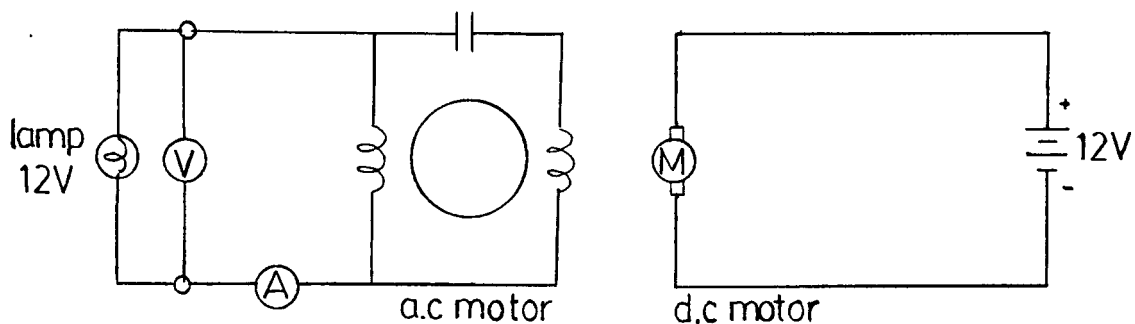
load (โหลด)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_c (V)										
I_1 (A)										

ตารางที่ 2

ตอนที่ 3 AC GENERATOR TEST

1. ต่อดังจรรยาบรรณ โดยเปลี่ยนคาปาซิเตอร์ที่อินดักชันเป็นแบตเตอรี่แทน
2. ต่อ AC voltmeter และ AC ammeter ทางด้าน AC motor ต่อโหลดไฟขนาดเป็นโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2

3. ปรับ power supply ไว้ที่ 0 V
4. เพิ่มแรงดันที่ power supply ครั้งละ 1 V บันทึกกระแส แรงดัน และความเร็วรอบทางด้านจนถึง 12 V ลงในตาราง

SUPPLY (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_1 (V)												
I_1 (A)												
n (รอบ/นาที)												

ตารางที่ 3

5. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเร็วรอบ และกระแสกับความเร็วรอบ
6. ปรับ power supply ไว้ที่ 12 V
7. เพิ่มโหลดไฟขนานโหลดเดิมอีกครั้งละ 1 หลอด บันทึกกระแสและแรงดัน ลงในตาราง

load(โหลด)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_s (V)										
I_1 (A)										

ตารางที่ 4

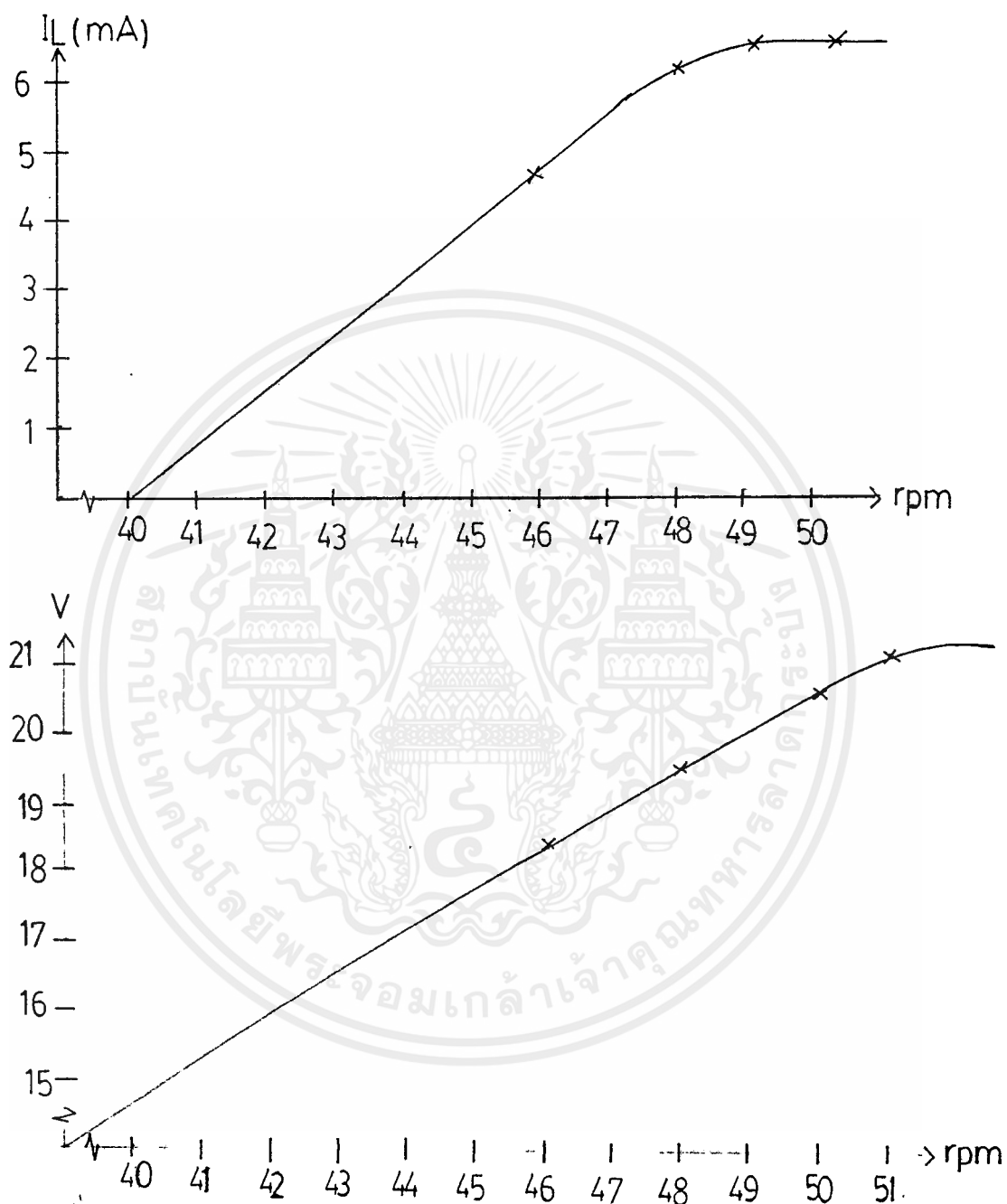
8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน



ผลการทดลอง

DC motor and AC motor machine charactersitic test

DC generater test



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วรอบ
และแรงดันกับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

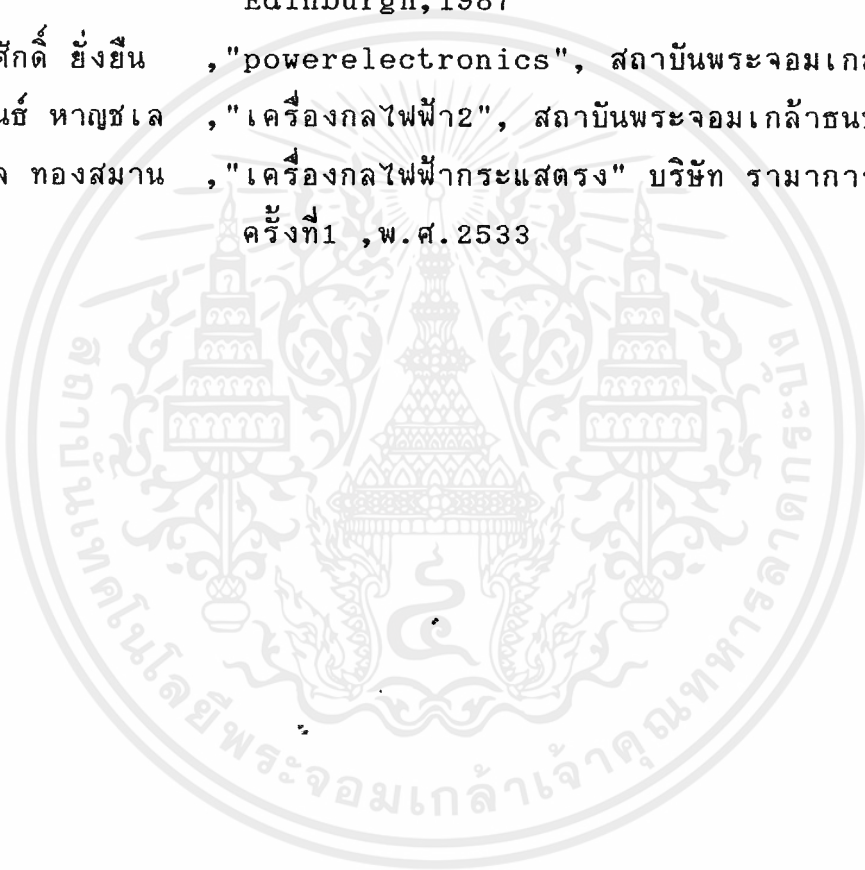
ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อนำ AC MOTOR มาทำเป็น MOTOR และ DC MOTOR มาทำเป็น GENERATOR สามารถผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงได้ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความเร็วนของส่วนที่ทำเป็นมอเตอร์

ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อนำ DC MOTOR มาทำเป็น MOTOR และ AC MOTOR มาทำเป็น GENERATOR ไม่สามารถผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับได้ เพราะ AC MOTOR เป็นแบบโพรงกระรอกซึ่งที่อาร์เมเจอร์ไม่มีขดลวดพันอยู่จึงเป็นแกนเหล็กขรรมดาเท่านั้น ดังนั้นเมื่ออาร์เมเจอร์หมุนก็ไม่มี การตัดของเส้นแรงแม่เหล็กจึงไม่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น



บรรณานุกรม

- B.K BOSE , "powerelectronics and ac drives", Schenectady,
new york
- TAKASHI KENJO , "stepping motor and microprocessor", Institute
of Vocational Training Kanagawa , Japan
- B.W WILLIAMS , "powerelectronics" Heriot-wattt University ,
Edinburgh, 1987
- อุดมศักดิ์ ยั่งยืน , "powerelectronics", สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี, 2531
- สัมพันธ์ หาญชเล , "เครื่องกลไฟฟ้า2", สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี , 2528
- มงคล ทองสมาน , "เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง" บริษัท รามาการพิมพ์ จำกัด,
ครั้งที่1 , พ.ศ. 2533



กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่มนี้ ไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดีหากปราศจากกำลังใจและความช่วยเหลือของบุคคลเหล่านี้ ซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ให้คำแนะนำ

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมที่ให้ความสะดวกในด้านสถานที่และเครื่องมือการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

2

INTERNALLY COMPENSATED, HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIERS

... designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

- No Frequency Compensation Required
- Short-Circuit Protection
- Offset Voltage Null Capability
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low-Power Consumption
- No Latch Up

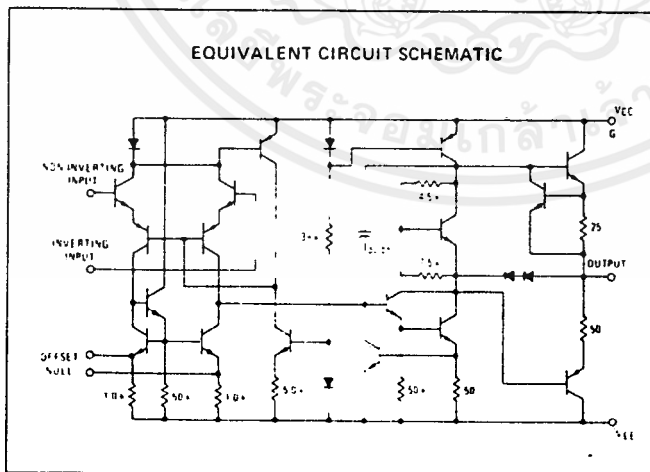
MAXIMUM RATINGS ($T_A = -25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	MC1741C	MC1741	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+18 -18	+22 -22	Vdc Vdc
Input Differential Voltage	V_{ID}	≈ 30		Volts
Input Common Mode Voltage (Note 1)	V_{ICM}	≈ 15		Volts
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t_S	Continuous		
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to +70	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range Metal and Ceramic Packages Plastic Packages	T_{stg}	-65 to +150 -55 to +125		$^\circ\text{C}$

NOTES:

1. For supply voltages less than -15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage
2. Supply voltage equal to or less than 15 V

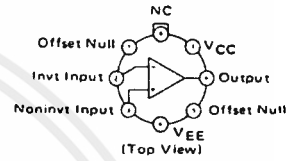
EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC



MC1741
MC1741C

OPERATIONAL AMPLIFIER

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT



G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 601



P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

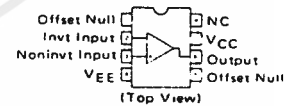


U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Alternate	Temperature Range	Package
MC1741CD	—	0 $^\circ\text{C}$ to +70 $^\circ\text{C}$	SO-8
MC1741CG	LM741C, $\mu\text{A}741\text{HC}$		Metal Can
MC1741CP1	LM741CN, $\mu\text{A}741\text{TC}$	55 $^\circ\text{C}$ to +125 $^\circ\text{C}$	Plastic DIP
MC1741CU	—		Ceramic DIP
MC1741G	—	55 $^\circ\text{C}$ to +125 $^\circ\text{C}$	Metal Can
MC1741U	—		Ceramic DIP

MC1741, MC1741C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	MC1741			MC1741C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}$)	V_{IO}	-	1.0	5.0	-	2.0	6.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	20	200	-	20	200	nA
Input Bias Current	I_{IB}	-	80	500	-	80	500	nA
Input Resistance	r_i	0.3	2.0	-	0.3	2.0	-	M Ω
Input Capacitance	C_i	-	1.4	-	-	1.4	-	pF
Offset Voltage Adjustment Range	V_{IOR}	-	± 15	-	-	± 15	-	mV
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 12	± 13	-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L \geq 2.0\text{ k}$)	A_v	50	200	-	20	200	-	V/mV
Output Resistance	r_o	-	75	-	-	75	-	Ω
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$)	CMRR	70	90	-	70	90	-	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$)	PSRR	-	30	150	-	30	150	$\mu\text{V/V}$
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10\text{ k}$) ($R_L \geq 2\text{ k}$)	V_O	± 12 ± 10	± 14 ± 13	-	± 12 ± 10	± 14 ± 13	-	V
Output Short-Circuit Current	I_{OS}	-	20	-	-	20	-	mA
Supply Current	I_D	-	1.7	2.8	-	1.7	2.8	mA
Power Consumption	P_C	-	50	85	-	50	85	mW
Transient Response (Unity Gain - Non-Inverting) ($V_i = 20\text{ mV}$, $R_L \geq 2\text{ k}$, $C_L \leq 100\text{ pF}$) Rise Time ($V_i = 20\text{ mV}$, $R_L \geq 2\text{ k}$, $C_L \leq 100\text{ pF}$) Overshoot ($V_i = 10\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}$, $C_L \leq 100\text{ pF}$) Slew Rate	t_{LH} t_{OS} SR	-	0.3 15 0.5	- - -	-	0.3 15 0.5	- - -	μs % V/ μs

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = T_{low}$ to T_{high} unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	MC1741			MC1741C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}\Omega$)	V_{IO}	-	1.0	6.0	-	-	7.5	mV
Input Offset Current ($T_A = 125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$) ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$)	I_{IO}	-	7.0 85 -	200 500 -	-	-	- 300	nA
Input Bias Current ($T_A = 125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$) ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$)	I_{IB}	-	30 300 -	500 1500 -	-	-	- 800	nA
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	± 12	± 13	-	-	-	-	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$)	CMRR	70	90	-	-	-	-	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$)	PSRR	-	30	150	-	-	-	$\mu\text{V/V}$
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10\text{ k}$) ($R_L \geq 2\text{ k}$)	V_O	± 12 ± 10	± 14 ± 13	-	± 10	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain ($R_L \geq 2\text{ k}$, $V_{out} = \pm 10\text{ V}$)	A_v	25	-	-	15	-	-	V/mV
Supply Currents ($T_A = 125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$)	I_D	-	1.5 2.0	2.5 3.3	-	-	-	mA
Power Consumption ($T_A = +125^\circ\text{C}$) ($T_A = -55^\circ\text{C}$)	P_C	-	45 60	75 100	-	-	-	mW

$T_{high} = 125^\circ\text{C}$ for MC1741 and 70°C for MC1741C
 $T_{low} = -55^\circ\text{C}$ for MC1741 and 0°C for MC1741C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1741, MC1741C

2

FIGURE 1 – BURST NOISE versus SOURCE RESISTANCE

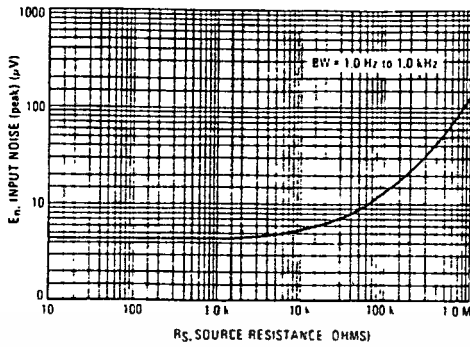


FIGURE 2 – RMS NOISE versus SOURCE RESISTANCE

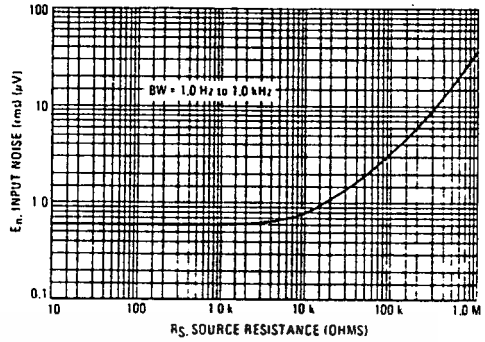


FIGURE 3 – OUTPUT NOISE versus SOURCE RESISTANCE

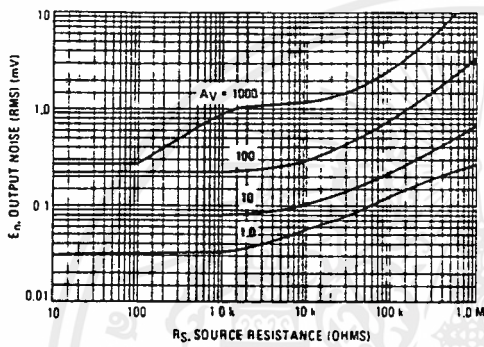


FIGURE 4 – SPECTRAL NOISE DENSITY

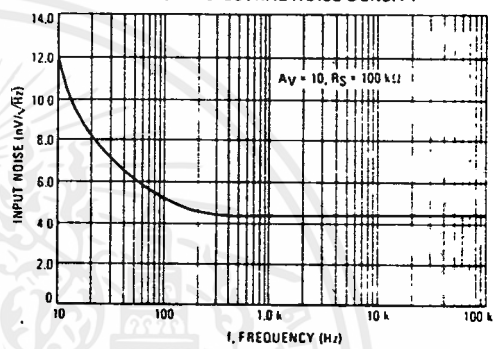
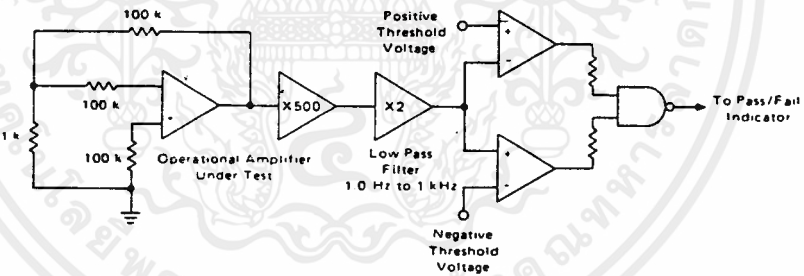


FIGURE 5 – BURST NOISE TEST CIRCUIT



Unlike conventional peak reading or RMS meters, this system was especially designed to provide the quick response time essential to burst (popcorn) noise testing.

The test time employed is 10 seconds and the 20 μ V peak limit refers to the operational amplifier input thus eliminating errors in the closed-loop gain factor of the operational amplifier under test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1741, MC1741C

TYPICAL CHARACTERISTICS
 $V_{CC} = +15 \text{ Vdc}$, $V_{EE} = -15 \text{ Vdc}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

FIGURE 6 - POWER BANDWIDTH
 (LARGE SIGNAL SWING versus FREQUENCY)

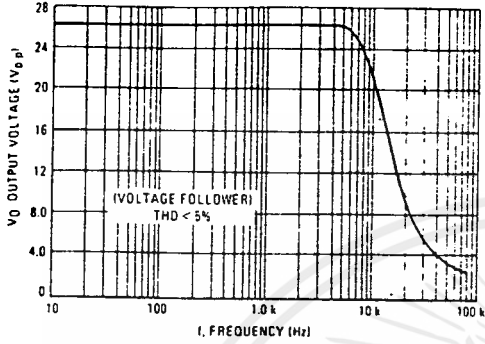


FIGURE 7 - OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE

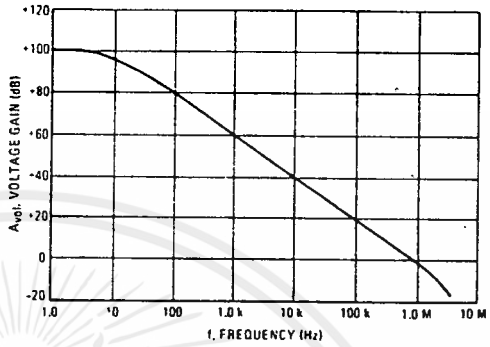


FIGURE 8 - POSITIVE OUTPUT VOLTAGE SWING
 versus LOAD RESISTANCE

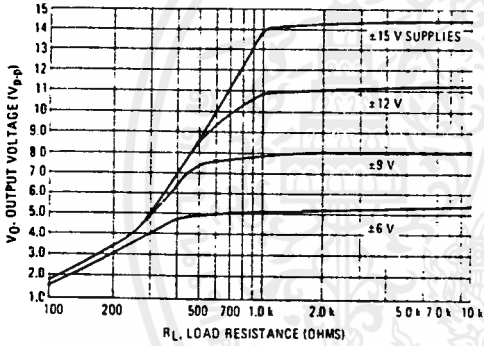


FIGURE 9 - NEGATIVE OUTPUT VOLTAGE SWING
 versus LOAD RESISTANCE

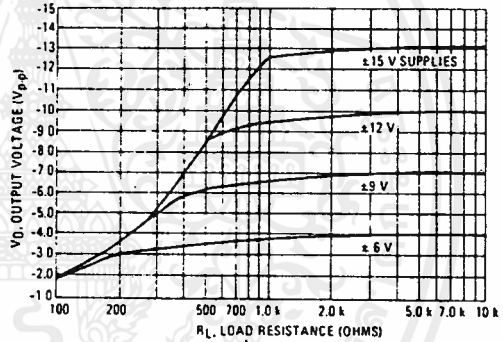


FIGURE 10 - OUTPUT VOLTAGE SWING versus
 LOAD RESISTANCE (Single Supply Operation)

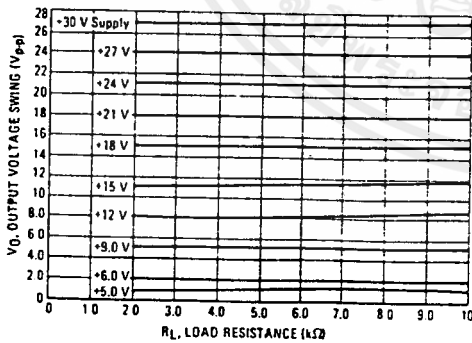
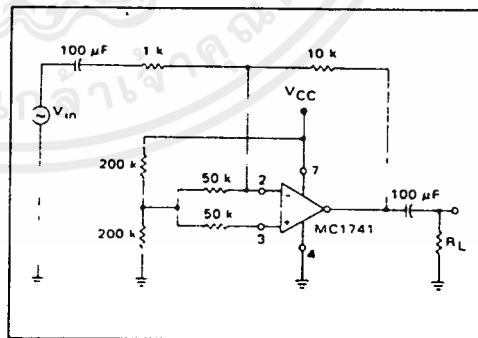


FIGURE 11 - SINGLE SUPPLY INVERTING AMPLIFIER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC1741, MC1741C

2

FIGURE 12 — NONINVERTING PULSE RESPONSE

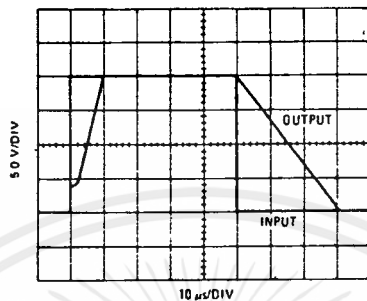


FIGURE 13 — TRANSIENT RESPONSE TEST CIRCUIT

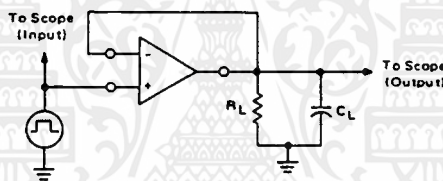
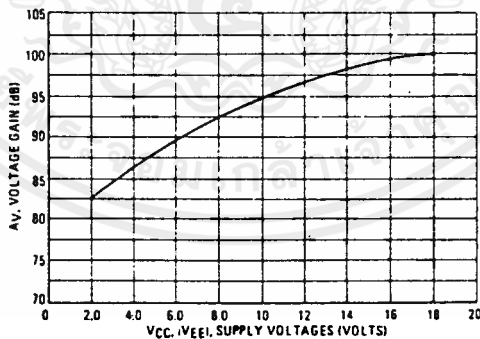


FIGURE 14 — OPEN LOOP VOLTAGE GAIN
versus SUPPLY VOLTAGE



MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

2

QUAD SINGLE SUPPLY COMPARATORS

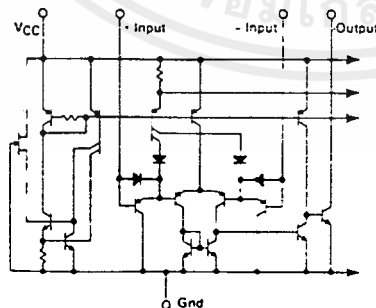
These comparators are designed for use in level detection, low-level sensing and memory applications in Consumer Automotive and Industrial electronic applications.

- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current — 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current — ±5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage — ±1.0 mV (Typ LM139A Series)
- Input Common-Mode Voltage Range to Gnd
- Low Output Saturation Voltage — 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage LM139, A/LM239, A/ LM339A/LM2901 MC3302	V _{CC}	+36 or ±18 +30 or ±15	Vdc
Input Differential Voltage Range LM139, A/LM239, A/LM339, A/LM2901 MC3302	V _{IDR}	36 30	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V _{ICR}	-0.3 to V _{CC}	Vdc
Output Short-Circuit to Gnd (Note 1)	I _{SC}	Continuous	
Input Current (V _{in} < -0.3 Vdc) (Note 2)	I _{in}	50	mA
Power Dissipation (at T _A = 25°C)	P _D		
Ceramic Package		1.0	Watts
Derate above 25°C		8.0	mW/°C
Plastic Package		1.0	Watts
Derate above 25°C		8.0	mW/°C
Junction Temperature	T _J		°C
Ceramic & Metal Package		175	
Plastic Package		150	
Operating Ambient Temperature Range	T _A		°C
LM139, A		-55 to +125	
LM239, A		-25 to +85	
MC3302		-40 to +85	
LM2901		-40 to +105	
LM339, A		0 to +70	
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

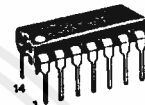
FIGURE 1 — CIRCUIT SCHEMATIC (Diagram shown is for 1 comparator)



LM139, A
LM239, A LM2901
LM339, A MC3302

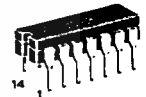
QUAD COMPARATORS

**SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT**



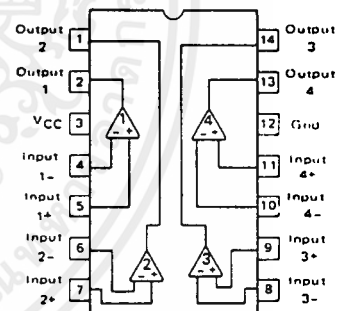
**N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646**

**J, L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632**



**D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)**

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
LM139J, AJ	-55°C to +125°C	Ceramic DIP
LM239D, AD	-25°C to +85°C	SO-14
LM239J, AJ LM239N, AN		Ceramic DIP Plastic DIP
LM339D, AD	0°C to +70°C	SO-14
LM339J, AJ LM339N, AN		Ceramic DIP Plastic DIP
LM2901D LM2901N	-40°C to +105°C	SO-14 Plastic DIP
MC3302L MC3302P	40°C to +85°C	Ceramic DIP Plastic DIP

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM139,A, LM239,A, LM339,A, LM2901, MC3302

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +5.0 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	LM139A			LM239A/339A			LM139			LM239/339			LM2901			MC3302		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Input Offset Voltage (Note 4)	-1.0	±2.0	±2.0	-1.0	±2.0	±2.0	-1.0	±2.0	±2.0	-1.0	±2.0	±2.0	-1.0	±2.0	±2.0	-1.0	±2.0	±2.0
Input Bias Current (Notes 4, 5) (Output in Linear Range)	-	25	100	-	25	250	-	25	100	-	25	250	-	25	250	-	25	500
Input Offset Current (Note 4)	-	±3.0	±25	-	±6.0	±50	-	±3.0	±25	-	±5.0	±50	-	±5.0	±50	-	±3.0	±100
Input Common-Mode Voltage Range	0	V _{CC}	-1.5	0	V _{CC}	-1.5	0	V _{CC}	-1.5	0	V _{CC}	-1.5	0	V _{CC}	-1.5	0	V _{CC}	-1.5
Supply Current	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0
R _L = ∞ (For All Comparators) R _L = ∞, V _{CC} = 30 Vdc	-	50	200	-	50	200	-	200	-	200	-	200	-	200	-	2	30	-
Voltage Gain	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	500
Large Signal Response Time	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-
V _I = TTL Logic Swing. V _{ref} = 1.4 Vdc, V _{OL} = 5.0 Vdc, R _L = 5.1 kΩ	-	6.0	16	-	6.0	16	-	6.0	16	-	6.0	16	-	6.0	16	-	6.0	16
Response Time (Note 6) V _{OL} = 5.0 Vdc, R _L = 5.1 kΩ	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	500
Output Sink Current	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-
V _I (1) ≥ +1.0 Vdc, V _I (2) = 0, V _O ≤ 1.5 Vdc	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-
Saturation Voltage	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	500
V _I (1) ≥ +1.0 Vdc, V _I (2) = 0, I _{lim} ≤ 4.0 mA	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-
Output Leakage Current	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-
V _I (1) ≥ +1.0 Vdc, V _I (2) = 0, V _O = +5.0 Vdc	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-

PERFORMANCE CHARACTERISTICS (V_{CC} = ±5.0 Vdc, T_A = T_{low} to T_{high} (Note 3))

Characteristic	LM139A			LM239A/339A			LM139			LM239/339			LM2901			MC3302		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Input Offset Voltage (Note 4)	-	±4.0	-	-	±4.0	-	-	±9.0	-	-	±9.0	-	-	±15	-	-	±40	-
Input Bias Current (Notes 4, 5) (Output in Linear Range)	-	300	-	-	400	-	-	300	-	-	400	-	-	500	-	-	1000	-
Input Offset Current (Note 4)	-	±100	-	-	±180	-	-	±100	-	-	±150	-	-	±200	-	-	±300	-
Input Common-Mode Voltage Range	0	V _{CC}	-2.0	0	V _{CC}	-2.0	0	V _{CC}	-2.0	0	V _{CC}	-2.0	0	V _{CC}	-2.0	0	V _{CC}	-2.0
Saturation Voltage	-	700	-	-	700	-	-	700	-	-	700	-	-	700	-	-	700	-
V _I (1) ≥ +1.0 Vdc, V _I (2) = 0, I _{lim} ≤ 4.0 mA	-	1.0	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	1.0	-
Output Leakage Current	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-
V _I (1) ≥ +1.0 Vdc, V _I (2) = 0, V _O = 30 Vdc	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-
Differential Input Voltage	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-
All V _I ≠ 0 Vdc	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-

NOTES:

- The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of V_{CC}. Output short circuits to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
- This magnitude of input current will only occur if the leads are driven more negative than ground or the negative supply voltage. This is due to the input PNP collector-base junction becoming forward biased, acting as an input clamp diode. There is also a lateral PNP parasitic transistor action which can cause the output voltage of the comparators to go to the V_{CC} voltage level for ground if overdrive is large during the time that an input is driven negative. This will not destroy the device when limited to 100 ns and no more than 100 mA input current is allowed to flow into the input when the input is driven negative.
- LM139/239A — T_{low} = -55°C, T_{high} = +125°C
LM239/339A — T_{low} = -40°C, T_{high} = +85°C
LM339/239A — T_{low} = -25°C, T_{high} = +85°C
MC3302 — T_{low} = -40°C, T_{high} = +85°C
- At the output switch point, V_O = 1.4 Vdc, R_S = 100 Ω, 5.0 Vdc ≤ V_{CC} ≤ 30 Vdc, with the inputs over the full common-mode range 10 Vdc to V_{CC} - 1.5 Vdc.
- The bias current flows out of the inputs due to the PNP input stage. This current is virtually constant, independent of the output state.
- The response time specified is for a 100 mV input step with 5.0 mV overdrive. For larger signals, 300 ns is typical.

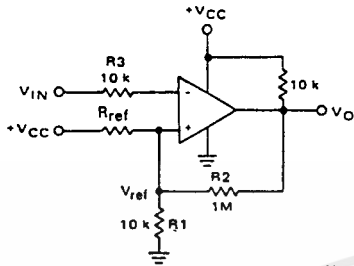


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM139,A, LM239,A, LM339,A, LM2901, MC3302

2

FIGURE 2 — INVERTING COMPARATOR WITH HYSTERESIS



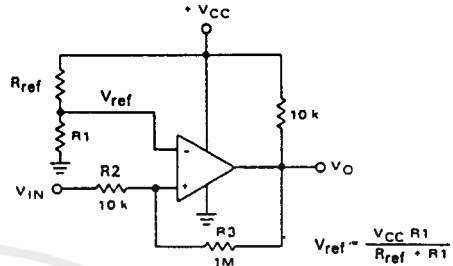
$$V_{ref} \approx \frac{V_{CC} R_1}{R_{ref} + R_1}$$

$$R_3 \approx R_1 // R_{ref} // R_2$$

$$V_H \approx \frac{R_1 // R_{ref}}{R_1 // R_{ref} + R_2} (V_{Omax} - V_{Omin})$$

$$R_2 \gg R_{ref} // R_1$$

FIGURE 3 — NON-INVERTING COMPARATOR WITH HYSTERESIS



$$V_{ref} \approx \frac{V_{CC} R_1}{R_{ref} + R_1}$$

$$R_2 \approx R_1 // R_{ref}$$

Amount of Hysteresis V_H

$$V_H \approx \frac{R_2}{R_2 + R_3} (V_{Omax} - V_{Omin})$$

TYPICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = +15$ Vdc, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (each comparator) unless otherwise noted.)

FIGURE 4 — NORMALIZED INPUT OFFSET VOLTAGE

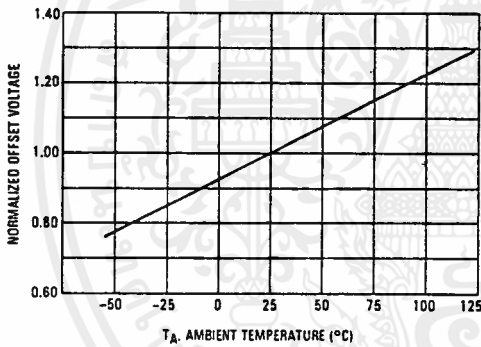


FIGURE 5 — INPUT BIAS CURRENT

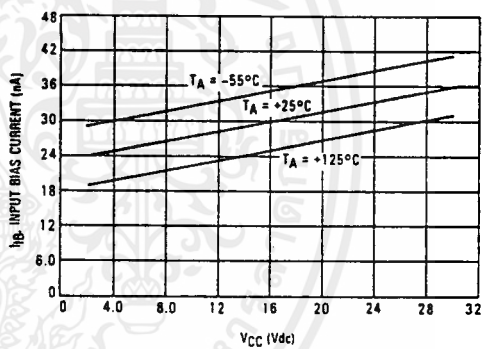
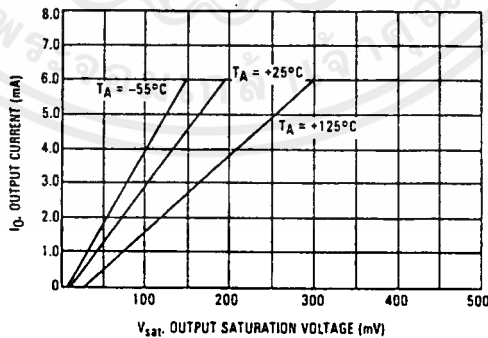


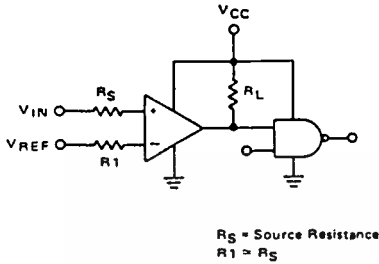
FIGURE 6 — OUTPUT SINK CURRENT versus OUTPUT SATURATION VOLTAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

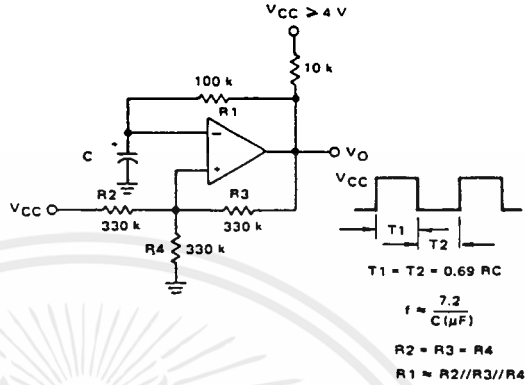
LM139,A, LM239,A, LM339,A, LM2901, MC3302

FIGURE 7 — DRIVING LOGIC



LOGIC	DEVICE	V _{CC} Volts	R _L k Ω
CMOS	1/4 MC14001	+15	100
TTL	1/4 MC7400	+5	10

FIGURE 8 — SQUAREWAVE OSCILLATOR



APPLICATIONS INFORMATION

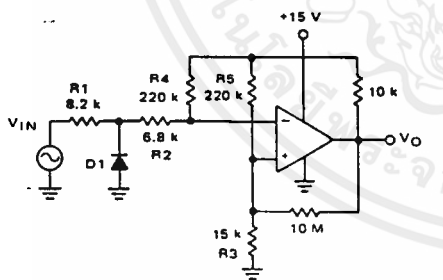
These quad comparators feature high gain, wide bandwidth characteristics. This gives the device oscillation tendencies if the outputs are capacitively coupled to the inputs via stray capacitance. This oscillation manifests itself during output transitions (V_{OL} to V_{OH}). To alleviate this situation input resistors < 10 k Ω should be used. The addition of positive feedback (<10 mV) is

also recommended.

It is good design practice to ground all unused input pins.

Differential input voltages may be larger than supply voltages without damaging the comparator's inputs. Voltages more negative than -300 mV should not be used.

FIGURE 9 — ZERO CROSSING DETECTOR (Single Supply)

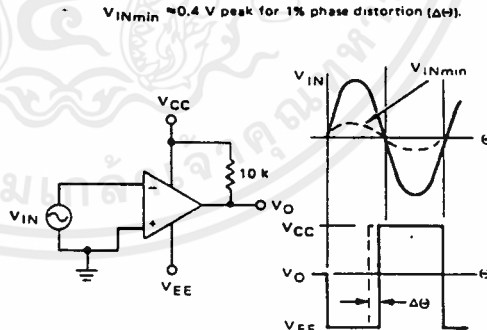


D1 prevents input from going negative by more than 0.6 V

$R_1 + R_2 = R_3$

$R_3 < \frac{R_5}{10}$ for small error in zero crossing

FIGURE 10 — ZERO CROSSING DETECTOR (Split Supplies)





CD4017BM/CD4017BC Decade Counter/Divider with 10 Decoded Outputs CD4022BM/CD4022BC Divide-by-8 Counter/Divider with 8 Decoded Outputs

General Description

The CD4017BM/CD4017BC is a 5-stage divide-by-10 Johnson counter with 10 decoded outputs and a carry out bit.

The CD4022BM/CD4022BC is a 4-stage divide-by-8 Johnson counter with 8 decoded outputs and a carry-out bit.

These counters are cleared to their zero count by a logical "1" on their reset line. These counters are advanced on the positive edge of the clock signal when the clock enable signal is in the logical "0" state.

The configuration of the CD4017BM/CD4017BC and CD4022BM/CD4022BC permits medium speed operation and assures a hazard free counting sequence. The 10/8 decoded outputs are normally in the logical "0" state and go to the logical "1" state only at their respective time slot. Each decoded output remains high for 1 full clock cycle. The carry-out signal completes a full cycle for every 10/8 clock input cycles and is used as a ripple carry signal to any succeeding stages.

Features

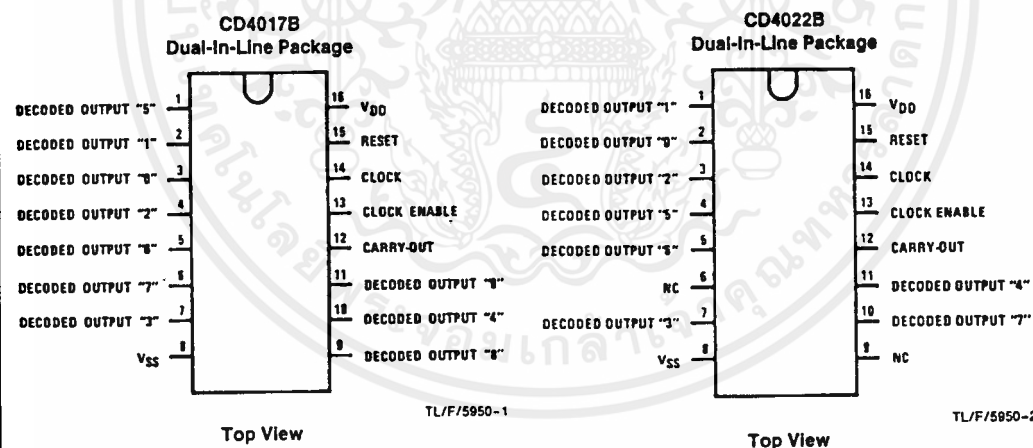
- Wide supply voltage range
- High noise immunity
- Low power
- TTL compatibility
- Medium speed operation
- Low power
- Fully static operation

3.0V to 15V
0.45 V_{DD} (typ.)
Fan out of 2 driving 74L
or 1 driving 74LS
5.0 MHz (typ.)
with 10V V_{DD}
10 μW (typ.)

Applications

- Automotive
- Instrumentation
- Medical electronics
- Alarm systems
- Industrial electronics
- Remote metering

Connection Diagrams



Order Number CD4017B* or CD4022B*

*Please look into Section 8, Appendix D for availability of various package types.

5

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5 V_{DC} to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5 V_{DC} to V_{DD} + 0.5 V_{DC}
Storage Temperature (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	+3 V_{DC} to +15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4017BM, CD4022BM	-55°C to +125°C
CD4017BC, CD4022BC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics CD4017BM, CD4022BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		5		0.3	5		150	μA
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		10		0.5	10		300	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		20		1.0	20		600	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$		1.5			1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$		3.0			3.0		3.0	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$	3.5		3.5			3.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$	7.0		7.0			7.0		V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.25		-0.2	-0.36		-0.14		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-0.62		-0.5	-0.9		-0.35		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-1.8		-1.5	-3.5		-1.1		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		-10^{-5}	-0.1		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		10^{-5}	0.1		1.0	μA

DC Electrical Characteristics CD4017BC, CD4022BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		20		0.5	20		150	μA
		$V_{DD} = 10V$		40		1.0	40		300	μA
		$V_{DD} = 15V$		80		5.0	80		600	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
$V_{DD} = 15V$		14.95		14.95	15		14.95		V	

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed, they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

Note 3: I_{OL} and I_{OH} are tested one output at a time.

DC Electrical Characteristics CD4017BC, CD4022BC (Note 2) (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
V_{IL}	Low Level Input Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$ $V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V \text{ or } 4.5V$ $V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V \text{ or } 9.0V$ $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V \text{ or } 13.5V$		1.5 3.0 4.0				1.5 3.0 4.0	1.5 3.0 4.0	V V V
V_{IH}	High Level Input Voltage	$ I_O < 1.0 \mu A$ $V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V \text{ or } 4.5V$ $V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V \text{ or } 9.0V$ $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V \text{ or } 13.5V$	3.5 7.0 11.0		3.5 7.0 11.0			3.5 7.0 11.0		V V V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$ $V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$ $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	0.52 1.3 3.6		0.44 1.1 3.0	0.88 2.25 8.8		0.36 0.9 2.4		mA mA mA
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$ $V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$ $V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-0.2 -0.5 -1.4		-0.16 -0.4 -1.2	-0.36 -0.9 -3.5		-0.12 -0.3 -1.0		mA mA mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$ $V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		-0.3 0.3		-10^{-5} 10^{-5}	-0.3 0.3		-1.0 1.0	μA μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed, they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

Note 3: I_{OL} and I_{OH} are tested one output at a time.

AC Electrical Characteristics*

$T_A = 25^\circ C, C_L = 50 \text{ pF}, R_L = 200k, t_{rCL}$ and $t_{fCL} = 20 \text{ ns}$, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units	
CLOCK OPERATION							
t_{PHL}, t_{PLH}	Propagation Delay Time Carry Out Line	$V_{DD} = 5V$		415	800	ns	
		$V_{DD} = 10V$		160	320	ns	
		$V_{DD} = 15V$		130	250	ns	
	Carry Out Line	$V_{DD} = 5V$	} $C_L = 15 \text{ pF}$	240	480	ns	
		$V_{DD} = 10V$		85	170	ns	
		$V_{DD} = 15V$		70	140	ns	
	Decode Out Lines	$V_{DD} = 5V$		500	1000	ns	
		$V_{DD} = 10V$		200	400	ns	
		$V_{DD} = 15V$		160	320	ns	
t_{TLH}, t_{THL}	Transition Time Carry Out and Decode Out Lines	t_{TLH}	$V_{DD} = 5V$		200	360	ns
			$V_{DD} = 10V$		100	180	ns
			$V_{DD} = 15V$		80	130	ns
	t_{THL}	$V_{DD} = 5V$		100	200	ns	
		$V_{DD} = 10V$		50	100	ns	
		$V_{DD} = 15V$		40	80	ns	
f_{CL}	Maximum Clock Frequency	$V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$	} Measured with Respect to Carry Output Line	1.0 2.5 3.0	2 5 6	MHz MHz MHz	
t_{WL}, t_{WH}	Minimum Clock Pulse Width	$V_{DD} = 5V$			125	250	ns
		$V_{DD} = 10V$			45	90	ns
		$V_{DD} = 15V$		35	70	ns	
t_{rCL}, t_{fCL}	Clock Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5V$			20	μs	
		$V_{DD} = 10V$			15	μs	
		$V_{DD} = 15V$			5	μs	
t_{SU}	Minimum Clock Inhibit Data Setup Time	$V_{DD} = 5V$		120	240	ns	
		$V_{DD} = 10V$		40	80	ns	
		$V_{DD} = 15V$		32	65	ns	
C_{IN}	Average Input Capacitance			5	7.5	pF	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

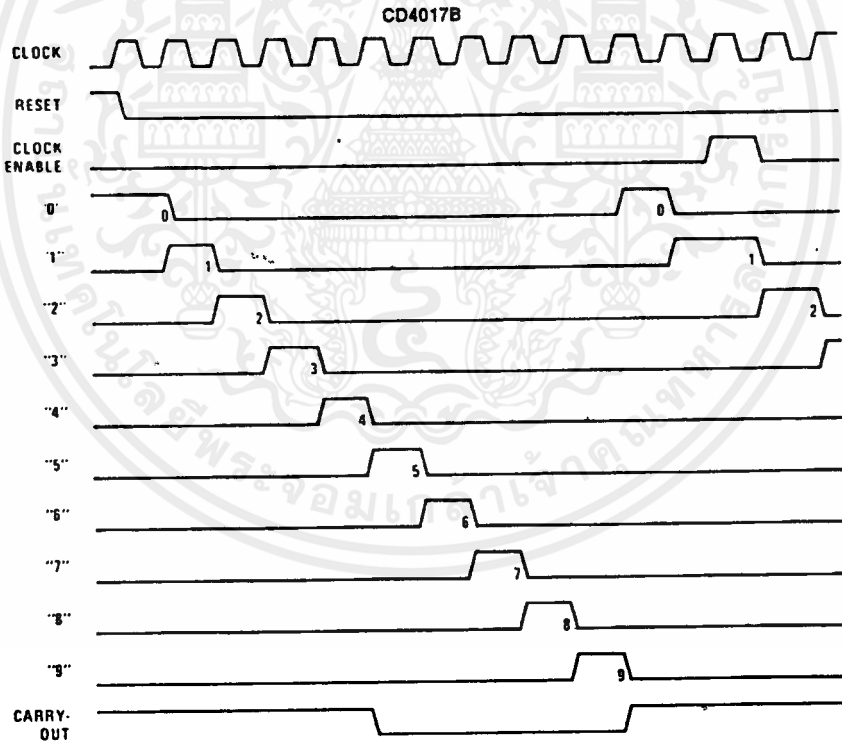
AC Electrical Characteristics*

T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200k, t_{rCL} and t_{rCLL} = 20 ns, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
RESET OPERATION						
t _{PHL} , t _{PLH}	Propagation Delay Time Carry Out Line	V _{DD} = 5V		415	800	ns
		V _{DD} = 10V		160	320	ns
		V _{DD} = 15V		130	250	ns
	Carry Out Line	V _{DD} = 5V	C _L = 15 pF	240	480	ns
		V _{DD} = 10V		85	170	ns
		V _{DD} = 15V		70	140	ns
	Decode Out Lines	V _{DD} = 5V		500	1000	ns
		V _{DD} = 10V		200	400	ns
		V _{DD} = 15V		160	320	ns
t _w	Minimum Reset Pulse Width	V _{DD} = 5V		200	400	ns
		V _{DD} = 10V		70	140	ns
		V _{DD} = 15V		55	110	ns
t _{REM}	Minimum Reset Removal Time	V _{DD} = 5V		75	150	ns
		V _{DD} = 10V		30	60	ns
		V _{DD} = 15V		25	50	ns

*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

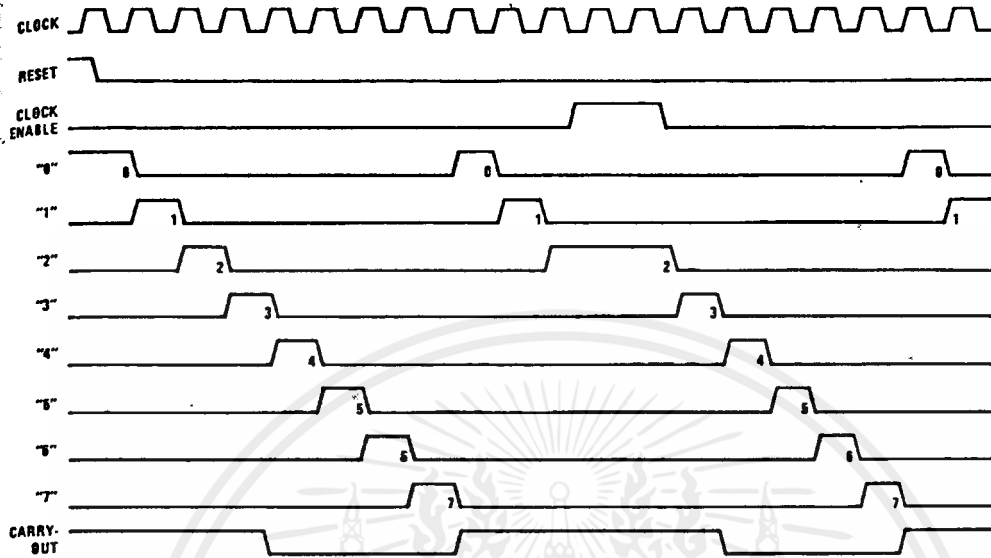
Timing Diagrams



TL/F/5950-3

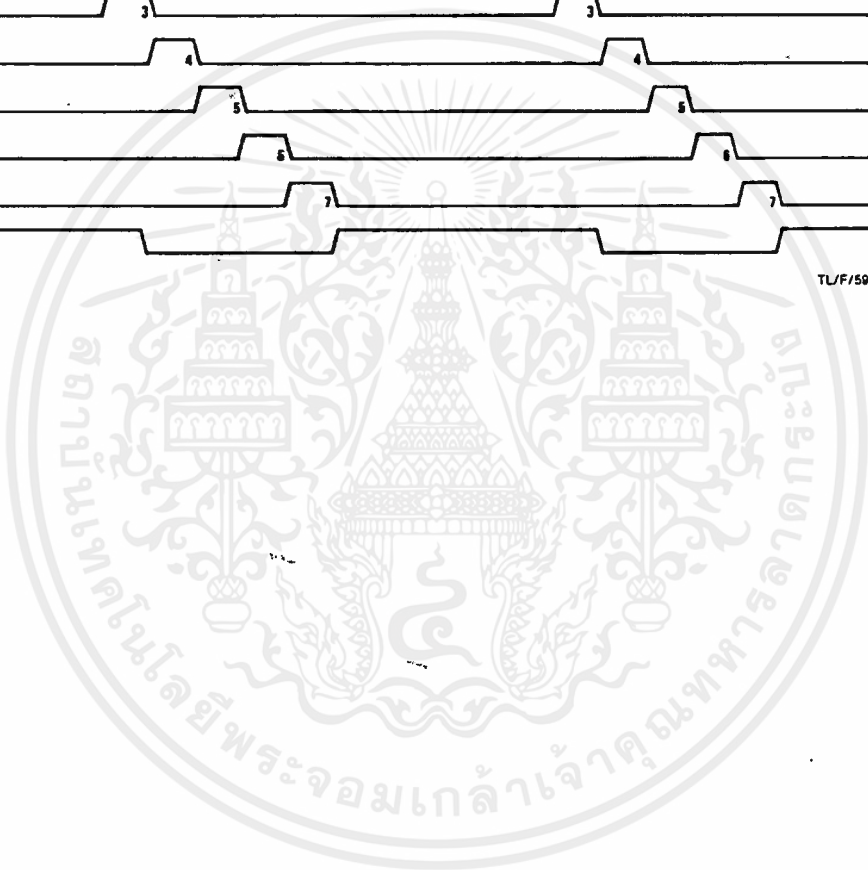
Timing Diagrams (Continued)

CD4022B



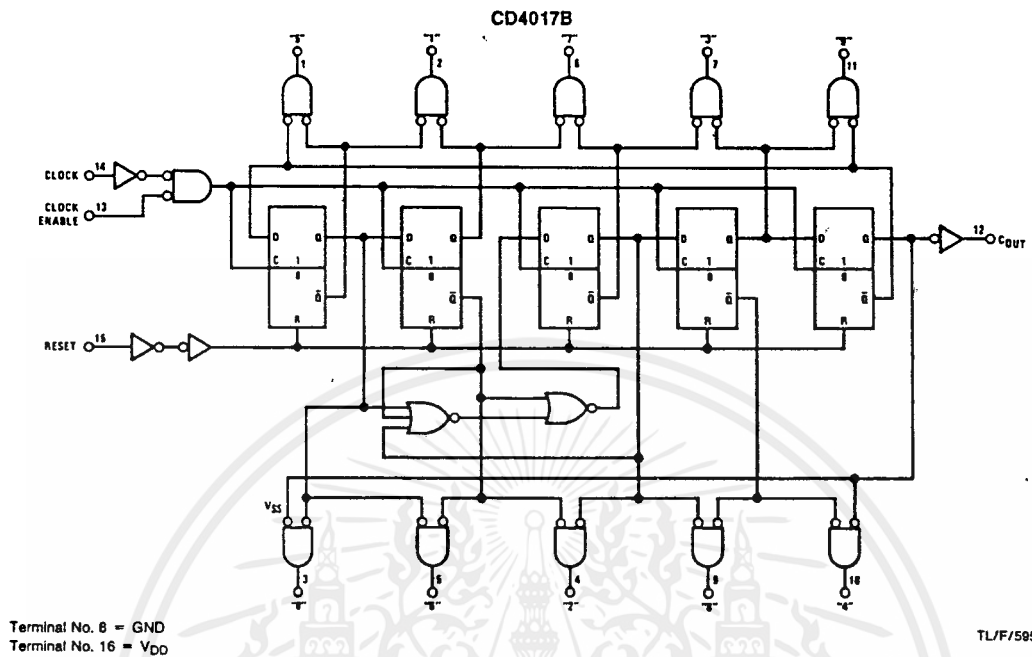
TL/F/5950-4

CD4017BM/CD4017BC/CD4022BM/CD4022BC

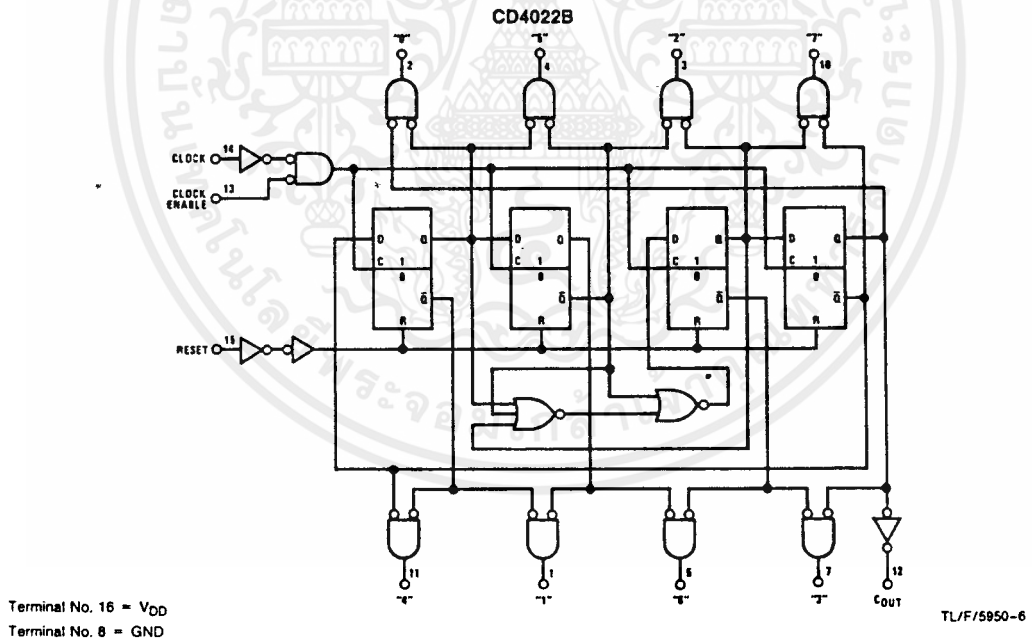


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Logic Diagrams



TL/F/5950-5



TL/F/5950-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้