

การควบคุมความเร็วรถ เครื่องไฟฟ้ากระแสดตรง



ชนิดกระตุ่นแยก

DC. DRIVE

โดย

นาย เกรียงศักดิ์ วิสุทธิเมธีกร 291013

นาย ไพวัลย์ บุญศิริคำชัย 291134

วิทยาลัยเทคนิคพระจอมเกล้า

สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

ปริญญาโทบริหารศึกษา 2532

ภาควิชา ไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง  
DC. DRIVE

โดย

เกรียงศักดิ์ วิสุทธิเมธีกร 291013  
ไพวัลย์ บุญศิริคำชัย 291134

( สุวงษ์ รสมหงส์ )

( วีระศักดิ์ วงศ์วิรัตน์ )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

### ผู้ร่วมงาน

- |                    |               |        |
|--------------------|---------------|--------|
| 1 นาย เกรียงศักดิ์ | วิสุทธิเมธีกร | 291013 |
| 2 นาย ไพวัลย์      | บุญศิริคำชัย  | 291134 |

### อาจารย์ที่ปรึกษา

- |                    |         |
|--------------------|---------|
| อาจารย์ สุวงษ์     | โสมพงศ์ |
| อาจารย์ วีระศักดิ์ | วงศ์วาท |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการรื้อสร้างถึงการออกแบบ การสร้าง และการทดลองระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก ( Separately Excited DC Motor ) โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ชนิดวงจรถัดกระแสไฟฟ้าแบบควบคุมได้สามเฟส ( Three Phase Controlled Rectifier ) โดยใช้อุปกรณ์สามเฟสกระแสสลับ เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

เทคนิคการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้อุปกรณ์เฟสคอนโทรล เป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยการเปลี่ยนค่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบจะแปรผันตามค่าแรงดันที่เคจ

ในการควบคุมแรงดันที่เคจ โดยใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์เป็นตัวยกซึ่ง ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันที่เคจโดยการป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเกตของทรานซิสเตอร์ เพื่อปรับค่ามุมที่นำกระแส ( มุมแอลฟา ) โดยเมื่อค่ามุมแอลฟามาก แรงดันที่เคจทางด้านเอาต์พุตที่ได้จะน้อยลงและเมื่อมุมแอลฟาน้อยลงแรงดันที่เคจทางด้านเอาต์พุตที่ได้จะมากขึ้น และในโครงการนี้ได้ทดสอบป้อนกลับของสัญญาณความเร็วรอบ โดยนำสัญญาณจากเครื่องวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ มาป้อนเข้าวงจรควบคุมเพื่อปรับค่ามุมแอลฟา ซึ่งทำให้สามารถปรับความเร็วรอบได้โดยอัตโนมัติ สามารถตอบสนองต่อการทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ และระบบที่สร้างขึ้นมีหลักการทำงานง่าย สร้างได้ไม่ยาก ประหยัด และหาซื้ออุปกรณ์ได้ทั่วไป

## สารบัญ

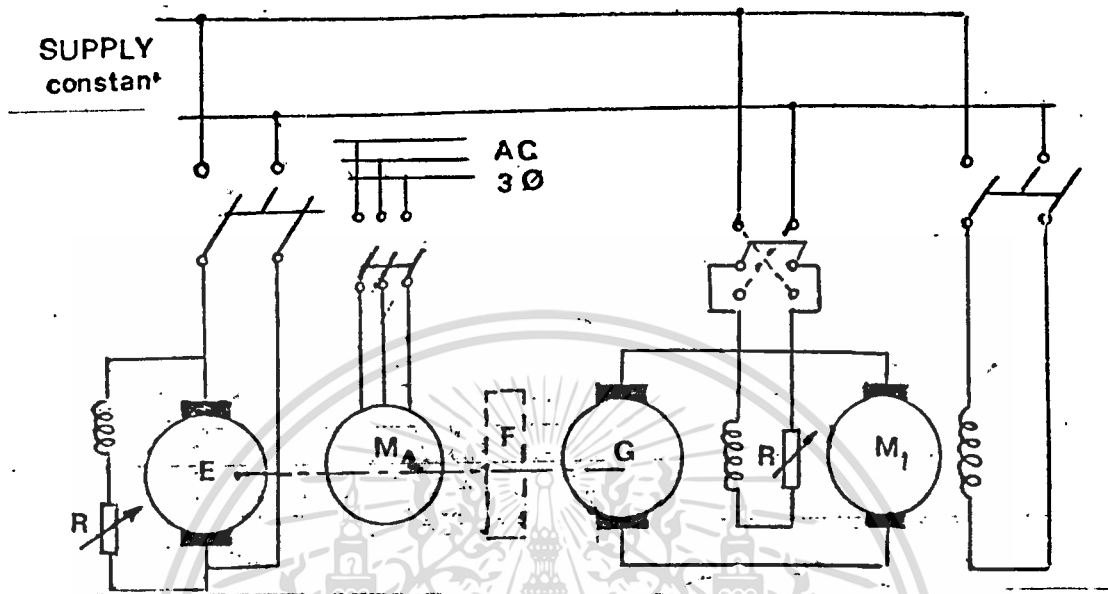
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	6
บทที่ 3	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	38
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	42
บทที่ 5	สรุป	54
ภาคผนวก		57
หนังสืออ้างอิง		69
กิตติกรรมประกาศ		70

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงถูกนำมาใช้กันมากในระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ในช่วงที่กว้างมาก โดยสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำ จนถึงความเร็วที่พิกัดของมอเตอร์ และนิยมใช้เป็นตัวต้นกำลัง ทั้งนี้เพราะมอเตอร์ชนิดนี้สามารถให้กำลังบิดเริ่มต้นสูง โดยเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก ทั้งนี้เพราะการควบคุมศักดาไฟฟ้าที่วงจรมอเตอร์เมเจอร์ และการควบคุมปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก ( Flux ) ภายในมอเตอร์สามารถแยกการควบคุมเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งทำให้มอเตอร์ชนิดนี้ง่ายต่อการควบคุม

การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้ในอดีต จะมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งส่วนมากจะเป็นการควบคุมแบบลูบเปิด เช่น ระบบควบคุมความเร็วรอบโดยวิธีปรับปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กภายในมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมแบบนี้ง่ายและราคาถูก แต่มีข้อจำกัดคือ จะมีผลให้กำลังบิด ( Torque ) ของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง การควบคุมความเร็วรอบอีกแบบหนึ่ง ได้แก่ ระบบควบคุมแบบ Word-Leonard ระบบนี้ใช้มอเตอร์กระแสสลับที่มีความเร็วรอบคงที่ มาขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะให้ศักดาไฟฟ้าและกระแสที่ เพื่อนำไปป้อนให้กับมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ขับโหลด ระบบนี้สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้โดยการปรับเส้นแรงแม่เหล็ก ( Flux ) คือปรับกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่องจนถึงพิกัดความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง แต่การควบคุมความเร็ววิธีนี้มีข้อเสียคือการตอบสนองช้า มีขนาดใหญ่ และราคาแพง



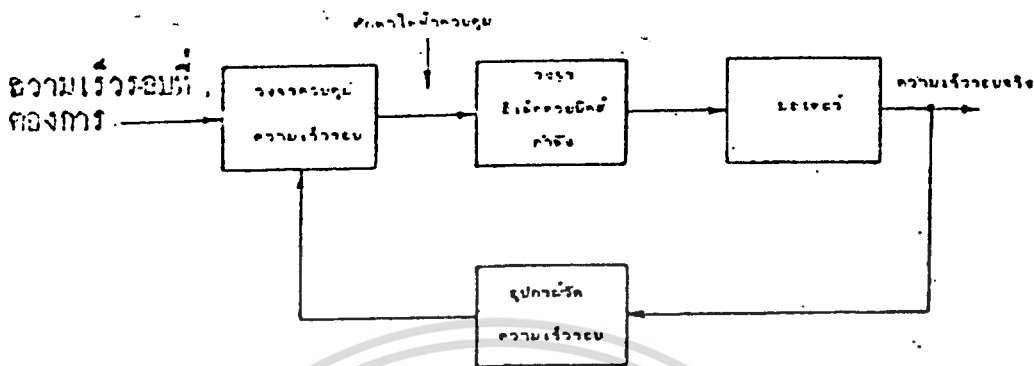
รูปที่ 1.1 วงจรควบคุมด้วยวิธีการของ Ward-Leonard  
 M<sub>1</sub> : มอเตอร์กระแสตรงที่ต้องการควบคุมความเร็ว  
 G : เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ที่ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์กระแสตรง M<sub>1</sub>  
 M<sub>2</sub> : มอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้หมุนที่ความเร็วรอบคงที่ที่เสถียรที่สุด โดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์แบบอินดักชัน 3 เฟส  
 E : เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ที่สร้างแรงเคลื่อนคงที่

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ด้านเพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์ ( Power Semiconduct ) ที่ใช้ในวงจรเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ ( Power Electronic ) เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไทริสเตอร์ โดยเฉพาะไทริสเตอร์ เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่รู้จักกันแพร่หลายได้แก่ ซิลิคอนคอนโทรลเรกติไฟเออร์ ( Silicon Controned Rectifier ) หรือเรียกกันย่อว่า เอสซีอาร์ ( SCR ) ซึ่งมีขีดจำกัดกระแสเป็นพันแอมแปร์ และทนแรงดันไฟฟ้าได้หลายพันโวลต์ ทำให้เกิดการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อนำมาใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เช่น มอเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์ ซึ่งการนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาควบคุมการทำงานนี้ จะช่วยให้ระบบสามารถตอบสนองการทำงานได้ดีขึ้น ขนาดจะเล็กลง ราคาถูกลง

แนวความคิดในการทำปฏิกิริยาอินพุตนี้จะนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งวงจรตัวที่ใช้มีชื่อเรียกว่าวงจรคัทกระแสไฟฟ้าแบบควบคุมได้ชนิดเฟสเดียว Single Phase Controlled Rectifier และไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกเปลี่ยนมาได้นี้ จะนำไปขับมอเตอร์โดยป้อนเข้าที่ขั้วอาร์เมเจอร์ (Armature Coil) ของมอเตอร์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังนี้สามารถเปลี่ยนระดับตักค่าไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยที่เข้ามอเตอร์ได้ ทำให้สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ ทั้งนี้เพราะความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกจะแปรผันกับตักค่าไฟฟ้าที่ขั้วอาร์เมเจอร์ ในวงจรนี้ได้ใช้ไดโอดร่วมกันระหว่างตักค่าที่ป้อนให้ขั้วฟิลด์ (Field Coil) กับขั้วอาร์เมเจอร์ เพื่อเป็นการประหยัดและสะดวกในการใช้งาน และได้เค็มไดโอดเข้าไปอีกตัวหนึ่ง เพื่อหาหน้าตาให้กระแสไหลวนที่เกิดขึ้น (เกิดจากพลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวดอินดักเตอร์จ่ายออกมา) ไหลย้อนกลับเข้าป้อนให้กับมอเตอร์อีกครั้งหนึ่ง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องป้อนเข้ามอเตอร์ซึ่งไดโอดตัวนี้เราเรียกว่า ฟรีวีลิ่งไดโอด (Free Wheeling Diode) ส่วนสำคัญที่ทำให้อัตราการประหยัดคือ การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมโดยตรงเข้ากับวงจรกำลัง โดยจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงสุดของวงจรกำลังจะเป็นจุดตักค่าไฟฟ้าเป็นศูนย์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นการประหยัดอุปกรณ์ที่ใช้เป็นคัตแยก (Isorator) อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์ โดยนำตัวความต้านทานต่ออนุกรมเข้ากับมอเตอร์เพื่อวัดกระแสที่เข้ามอเตอร์แล้วนำมาใช้เป็นป้อนกลับของกระแส

ในการทำปฏิกิริยาอินพุตนี้ จะใช้ SCR ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งสามารถปรับตักค่าไฟฟ้าที่จะจ่ายให้โหลดได้โดยการปรับมุมของสัญญาณทริกที่ขาเกตของ เอสซีอาร์ ทำให้สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ ทั้งนี้เพราะความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง จะแปรผันตรงตักค่าไฟฟ้าที่ขั้วอาร์เมเจอร์ และสามารถออกแบบระบบควบคุมความเร็วแบบ ป้อนกลับ (Closed Loop) ซึ่งการทำงานแบบป้อนกลับนี้มีข้อดีหลายอย่างคือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน การตอบสนองต่อการทำงานรวดเร็วขึ้น ช่วยให้มีความเร็วคงที่ตามต้องการมากยิ่งขึ้น และลดผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโหลด ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถแสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมอย่างง่าย คือ

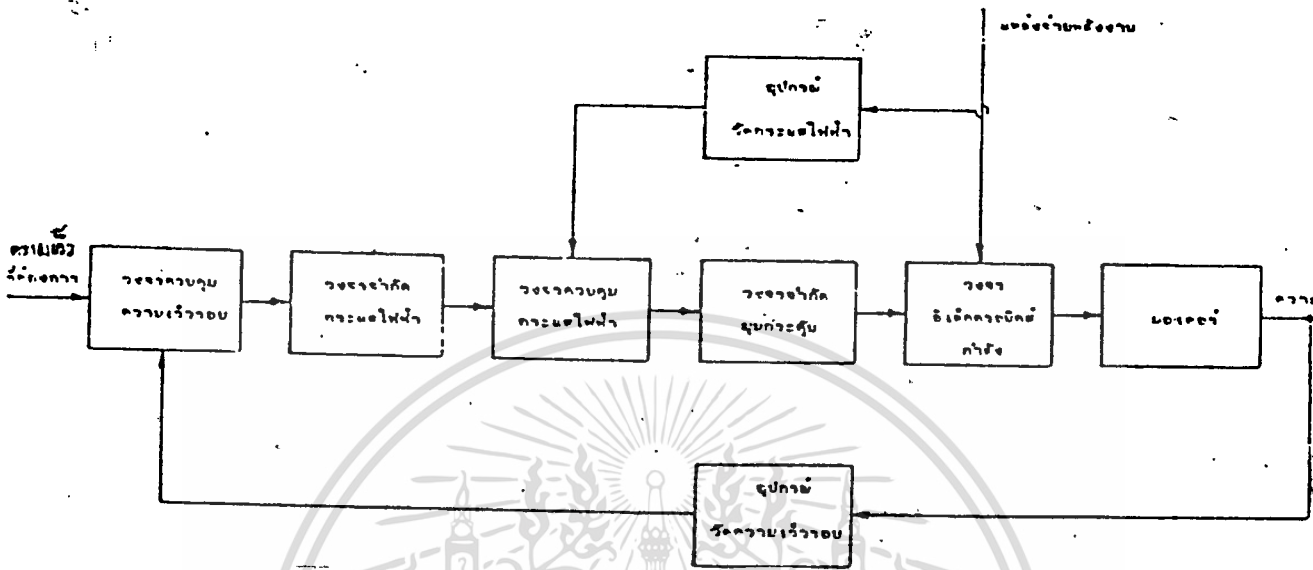


รูปที่ 1.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบลูบปิด

จากรูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบป้อนกลับ ซึ่งใช้วงจรควบคุมความเร็วรอบทำหน้าที่เปรียบเทียบความเร็วรอบที่ต้องการ กับการปรับสัญญาณคำสั่งกับความเร็วรอบจริง จากนั้นวงจรควบคุมจะสร้างศักย์ไฟฟ้าควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรถวลเชิงบวกอีกชั้นหนึ่ง

ระบบป้อนกลับอีกชั้นหนึ่งคือการควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับโหลด กล่าวคือ เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลด ดังนั้นเพื่อให้ความเร็วรอบคงที่ตามที่ต้องการ มอเตอร์จะดึงกระแสมากขึ้น ถ้าเพิ่มโหลดมากเกินขีดของมอเตอร์ มอเตอร์จะดึงกระแสมากเกินไปจนเกิดความเสียหายที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ได้ จึงต้องมีการป้อนกลับโดย วงจรควบคุมความเร็วรอบจะเปรียบเทียบความเร็วรอบที่ต้องการกับความเร็วรอบจริง จากนั้น วงจรควบคุมความเร็วรอบจะส่งศักย์ไฟฟ้าควบคุมเพื่อควบคุมระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์ โดยที่ก่อนจะเข้าวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้านั้น จะต้องผ่านวงจรถวลกระแสไฟฟ้าก่อน วงจรนี้จะจำกัดศักย์ไฟฟ้าควบคุมที่ได้จากวงจรควบคุมความเร็วรอบเพื่อป้องกันไม่ทำให้ระบบควบคุมกระแส บังคับให้กระแสไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์เกินขีด เมื่อวงจรถวลเปรียบเทียบกับศักย์ไฟฟ้าควบคุมนี้กับกระแสที่ไหลเข้าจริงแล้ว ก็จะส่งศักย์ไฟฟ้าควบคุม ผ่านวงจรถวลกระแสไฟฟ้าควบคุม ซึ่งวงจรนี้จะจำกัดศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด เพื่อป้องกันไม่ห้มอเตอร์ได้รับศักย์ไฟฟ้าเกินขีด

ระบบนี้จะมีการทำงานเมื่อมีโหลด คือเมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดมากขึ้น ความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

ความเร็วรอบของมอเตอร์ก็จะลดลง วงจรควบคุมความเร็วรอบก็จะควบคุมวงจรควบคุมกระแส ซึ่งจะควบคุมให้สัญญาณกระตุ้นลุ่มมกระตุ้นลง ทำให้สัปดาห์ที่ไหลลคเพิ่มขึ้น ทำให้อมอเตอร์มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ

- ระบบการทวงานดังกล่าว สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้
- 1) วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และวงจรสร้างสัญญาณควบคุมการนำกระแส
  - 2) อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ และอุปกรณ์วัดกระแส (Sensor)
  - 3) ระบบควบคุม และวงจรควบคุม
- ซึ่งจะแยกกล่าวถึงแต่ละส่วนรายละเอียด ละเอียดต่อไป

## บทที่ 2

### วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การควบคุมการ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ระบายใช้เพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์ เป็นการ เปลี่ยนค่าแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายสู่โหลด ระบายใช้ เอสซีอาร์ เป็นตัว เปลี่ยนจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่มีแรงดันคงที่

วงจรควบคุมการ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำไปใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น

- 1) ควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง
- 2) เครื่องชับลดหะ
- 3) เครื่องแปลงไฟเพื่อจ่ายให้กับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงชนิดกระแสตรง

เนื้อหาของบทนี้จะ อธิบายถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งใช้ในการ ชัวมอเตอร์กระแสตรง วงจรนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นวงจรกำลัง ซึ่งได้แก่ วงจรตัดกระแสไฟฟ้าแบบควบคุมไฟฟ้า และส่วนที่สอง เป็นวงจรสร้างสัญญาณจุดจนวน ำใช้ปรับมุมของสัญญาณจุดจนวน เพื่อปรับค่าสัญญาณที่จ่ายโหลดของวงจร เฟสคอนโทรล วงจรตัดกระแสที่ควบคุมได้แบบเฟสเคียว

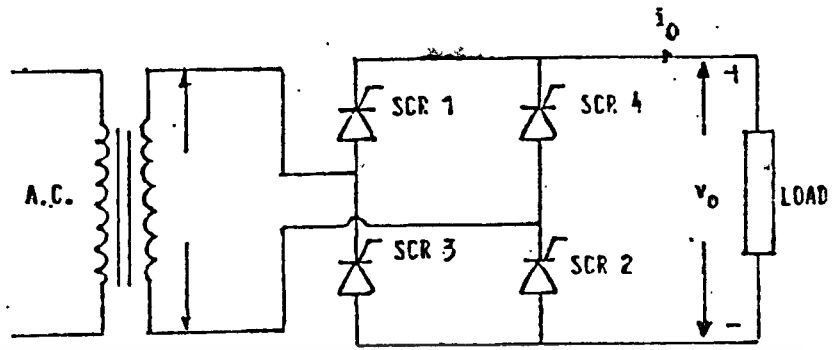
ในวงจรตัดกระแส ที่ทำการ เปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง นั้น จะใช้หลักการทางวนจรการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจาก เอสซีอาร์ตัวหนึ่ง ซึ่งขบวนการดังกล่าวถูก เรียกว่าการคอมมิวเตชันแบบธรรมชาติ (Natural Commutation) กล่าวคือ ในขณะที่เอสซีอาร์ตัวหนึ่งกำลังทำงานอยู่ และขณะนั้นเอสซีอาร์อีกตัวหนึ่งได้เริ่มทำงานขึ้นมา จึงทำให้เอสซีอาร์ตัวแรกหยุดทำงานทันที เนื่องจากมีศักค่าไฟฟ้าลบมาตกคร่อมตัวมัน วงจรกระแสแบบควบคุมได้นี้ ราคาถูก ส่วนมากนิยมมาใช้ในอุตสาหกรรม เพราะได้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 95 % เนื่องจากมีการสูญเสียในตัวเอสซีอาร์น้อยมาก ซึ่งวงจรตัดกระแสแบบควบคุมได้มีอยู่หลายชนิด ดังตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้

Circuit	Type	Typical hp	Ripple frequency	Quadrant operation
	Half-wave	Below $\frac{1}{2}$ hp	$f_s$	
	Semi-converter	Up to 20 hp (100 hp in traction systems)	$2f_s$	
	Full-converter	Up to 20 hp (100 hp in traction systems)	$2f_s$	
	Dual-converter	Up to 20 hp	$2f_s$	

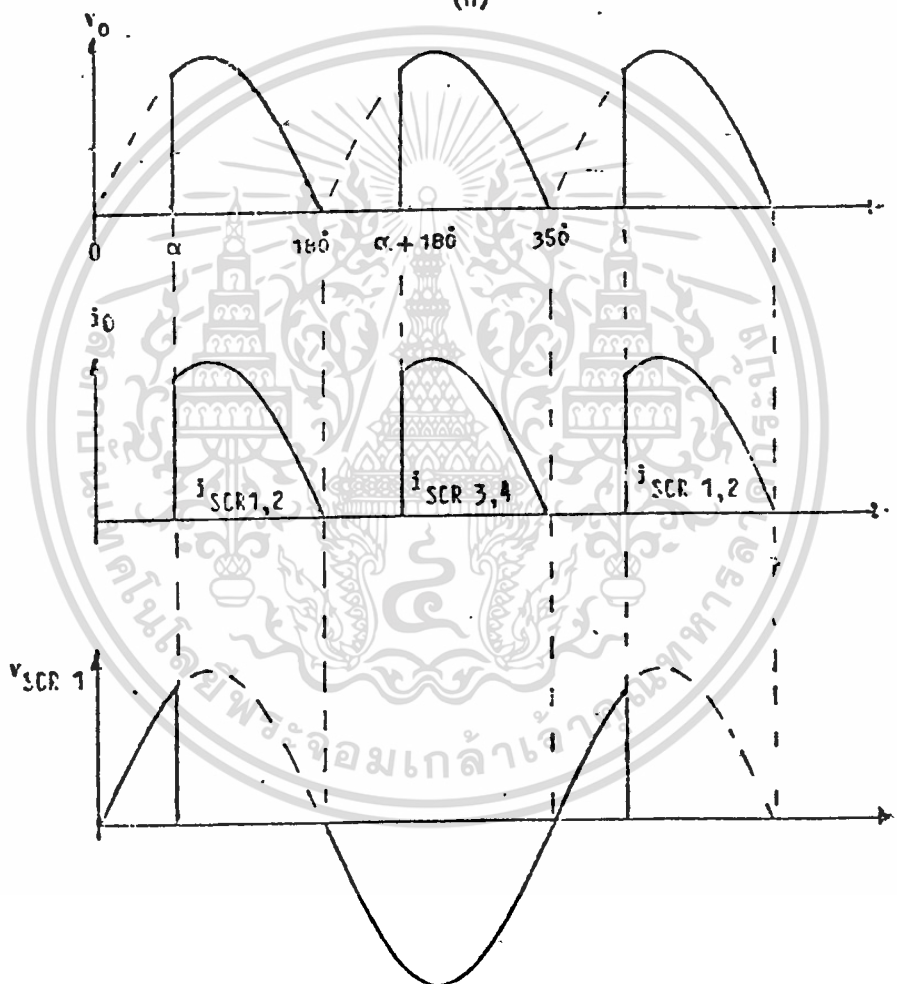
รูปที่ 2.1 วงจรสัณฐานกระแสไฟฟ้าแบบเฟสเดียวชนิดต่างๆ

รูปที่ 2.1 เป็นการแสดงวงจรสัณฐานกระแสไฟฟ้าเฟสเดียวชนิดต่างๆ วนที่นี้จะขอยกตัวอย่างหลักการทางานของวงจรสัณฐานกระแสไฟฟ้า แบบควบคุมได้เต็มสี่ชนิดเฟสเดียวแบบ Full Converter ซึ่งเป็นวงจรมเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ บริดจ์ โดยควบคุมเต็มจะประกอบด้วย เอสวีอาร์ 4 ตัว ดังแสดงในรูป 2.2 ในการควบคุมแบบนี้ จะสามารถจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ คือ วนกรสิที่ไหลล เป็นมอ เคอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข) โทลคเป็นความต้านทาน

รูปที่ 2.2 (ก) วงจร พูลคอนเวอ์เตอร์  
 (ข) ลักษณะสัญญาณของโวลท์เตจและกระแส กรณีโหลดเป็นโหลดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลด เป็นความต้านทานอย่างเดี่ยว แสดงในรูปที่ 2.2(ข) หากการทริก เอสซีอาร์ 1 ให้น้ำกระแสที่มุม แอลฟา เอสซีอาร์ จะนำกระแสจนกระทั่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับเป็นศูนย์ แรงดันเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ

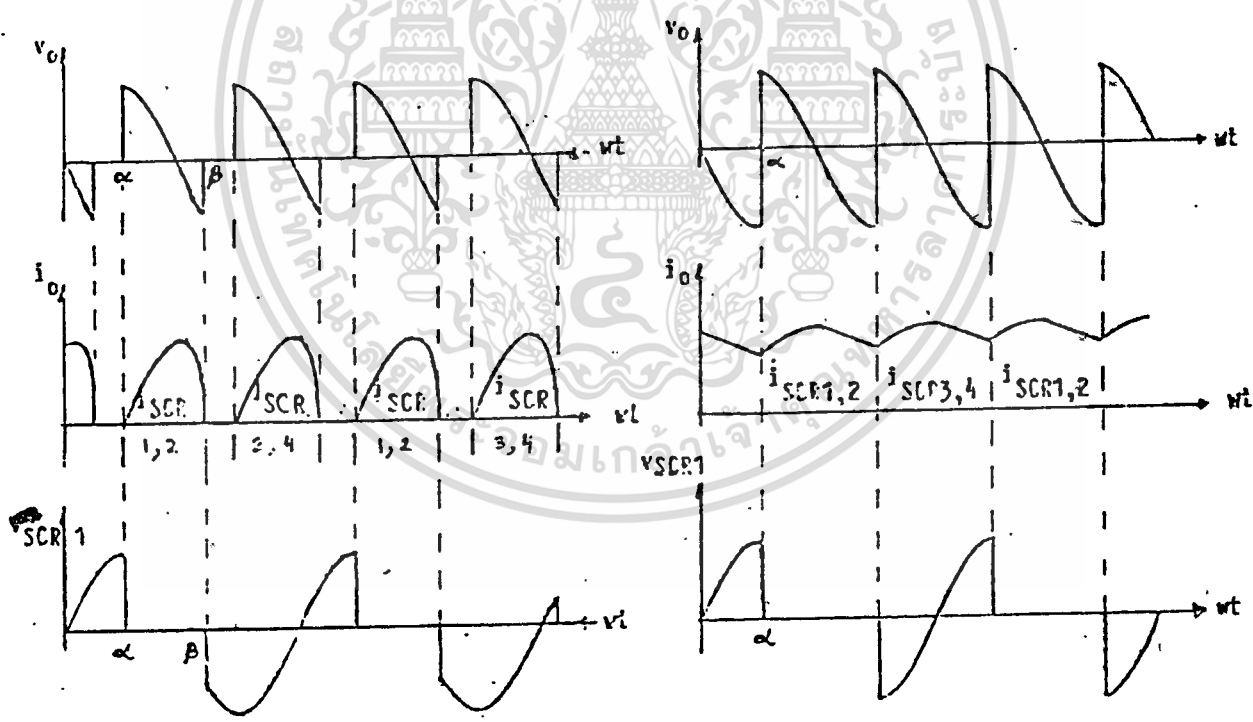
$$V_o(\text{ave}) = ((\sqrt{2})V / \pi) \cdot (1 + \cos \alpha) \quad (2.1)$$

สัญญาณของแรงดัน ขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลกลับไม่ต่อเนื่อง หากการทริก เอสซีอาร์ 1 ให้น้ำกระแสที่มุมแอลฟา และ เอสซีอาร์ จะหยุดนำกระแสที่มุมเบต้า ดังในรูปที่ 2.3(ก) ซึ่งมีแรงดันเฉลี่ยที่โหลดเท่ากับ

$$V_o(\text{ave}) = ((\sqrt{2})V / \pi) \cdot (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.2)$$

สัญญาณของแรงดัน ขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลกลับอย่างต่อเนื่อง เริ่มทริก เอสซีอาร์ 1 และ 2 ให้น้ำกระแสที่มุม แอลฟา เอสซีอาร์ ทั้งสองหยุดนำกระแสที่มุม 180°+ และเริ่มทริก เอสซีอาร์ 3 และ 4 ให้น้ำกระแสที่มุม 180°+ ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ข) แรงดันเฉลี่ยที่โหลดมีค่าเท่ากับ

$$V_o(\text{ave}) = ((2\sqrt{2})V / \pi) \cdot \cos \alpha \quad \alpha < \pi/2 \quad (2.3)$$



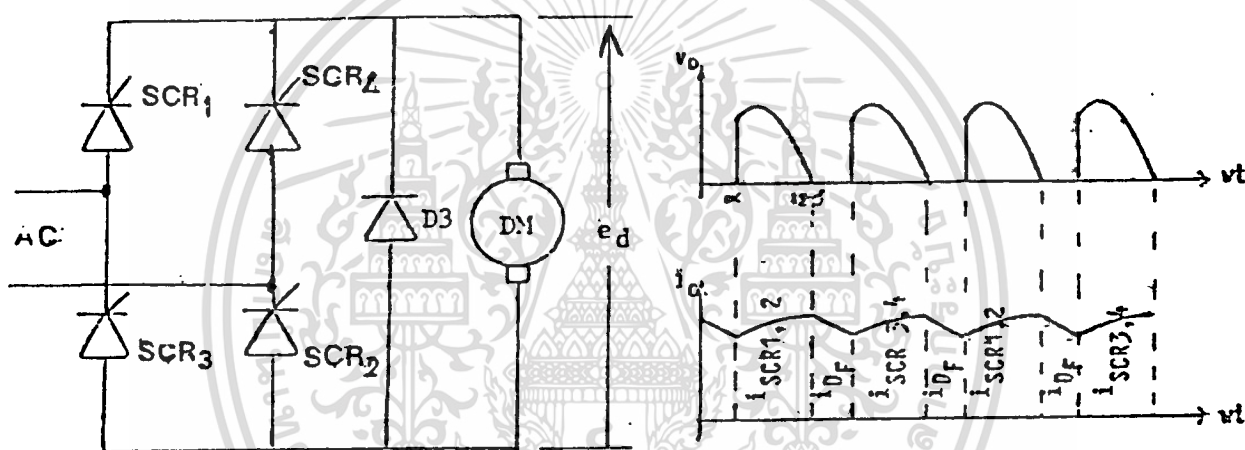
(ก) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด กระแสไหลกลับไม่ต่อเนื่อง

(ข) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด กระแสไหลกลับต่อเนื่อง

รูปที่ 2.3 ลักษณะสัญญาณของวงจร พูลคอนเวอร์เตอร์ กรณีโหลด เป็น อินดักทีฟ

สัญญาณของแรงดัน ขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด ที่มี Flywheel Diode ต่อ ขนานอยู่ เมื่อทริกเอสซีอาร์กำหนดกระแสที่มุม แอลฟา และ เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส เมื่อแรงดันตกเป็นศูนย์ หรือที่มุม  $180^\circ$  กระแสจากโหลดจะไหลผ่าน Flywheel Diode แทน จะได้สัญญาณของแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แรงดันเฉลี่ยที่โหลดมีค่าเท่ากับ

$$V_o(ave) = ((\sqrt{2}) V / \pi) \cdot (1 + \cos\alpha) \quad (2.4)$$

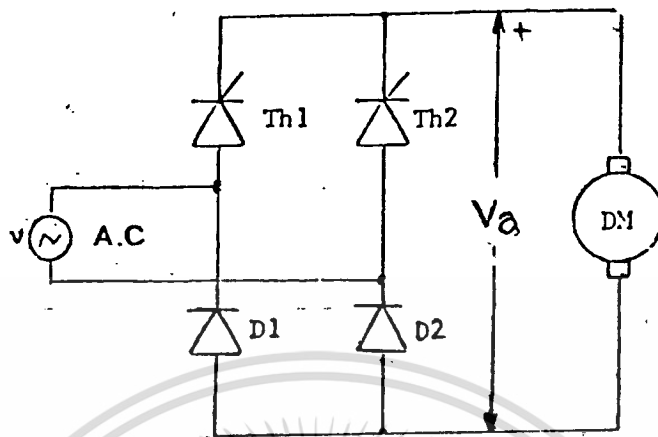


(ก) วงจร Full-Converter  
กรณีต่อ flywheel diode

(ข) ลักษณะสัญญาณของแรงดัน  
และกระแส

รูปที่ 2.4 วงจร พูลคอนเวอร์เตอร์ กรณีต่อ พรีวิลลิงไดโอด

ถ้าเปลี่ยนเอสซีอาร์ 2 และ 3 เป็นไดโอดแทน วงจรนี้จะถูกเรียกว่า วงจร  
ตัดกระแสไฟฟ้าแบบควบคุมได้ครึ่งเดียว ( Single Phase Half Controlled  
Rectifier) หรือวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ (Semi-Converter) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจร เซมิคอนเวอร์เตอร์

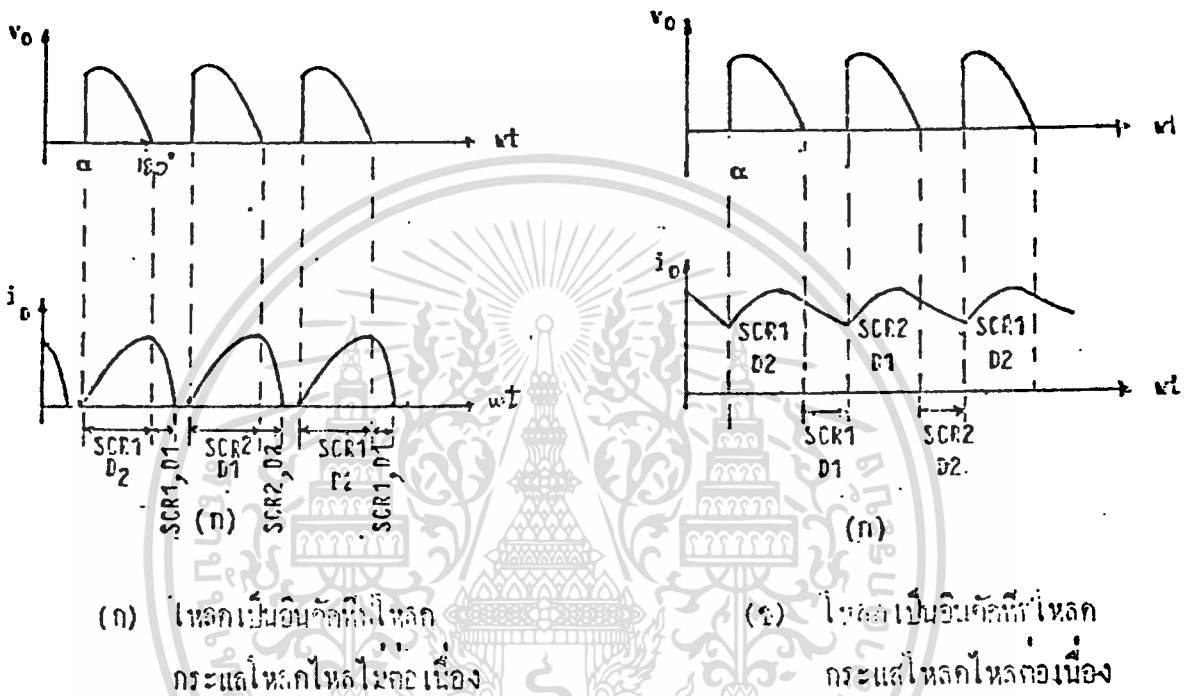
ในวงจรรูปที่ 2.5 เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 1 ให้น่ากระแสเมื่อได้รับฟอร์เวอร์ไบอัส จะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 1, D<sub>2</sub> และโหลด และ เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้น่ากระแสเมื่อเอสซีอาร์ 2 ได้รับฟอร์เวอร์ไบอัส จะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 2, D<sub>1</sub> และโหลด

ในกรณีที่โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดี่ยว เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 1 ให้น่ากระแสที่มุม  $\alpha$  เอสซีอาร์ก็จะนำกระแสที่มุมนั้น จนกระทั่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับตกเป็นศูนย์ หรือที่มุม  $180^\circ$  แรงดันเฉลี่ยที่โหลดจะมีค่าเท่ากับ  $2V/\pi (1 + \cos\alpha)$  สัญลักษณ์แรงดันที่โหลดเหมือนกับที่แสดงในรูปที่ 2.2

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 1 ให้น่ากระแสที่มุมแอลฟา กระแสจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ D<sub>2</sub> เมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟสลับ ตกเป็นศูนย์หรือที่มุม  $180^\circ$  กระแสไหลจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ ไครอด D<sub>1</sub> แทน จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านโหลดตกลงเป็นศูนย์ จึงทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้น่ากระแสที่มุม  $180^\circ + \alpha$  ซึ่งมีลักษณะการนำกระแสเหมือนกับอธิบายผ่านมา

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 1 ให้น่ากระแสที่มุม  $\alpha$  กระแสจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ D<sub>2</sub> เมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับตกเป็นศูนย์หรือที่มุม  $180^\circ$  กระแสจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ ไครอด D<sub>1</sub> แทน กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะไหลต่อเนื่องจนกระทั่งทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้น่ากระแส ซึ่งในการทริกเอสซีอาร์ 2 จะทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

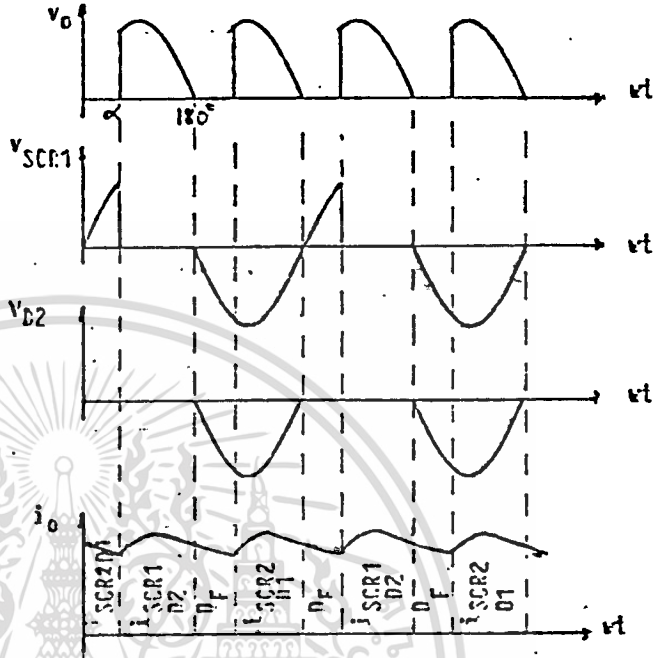
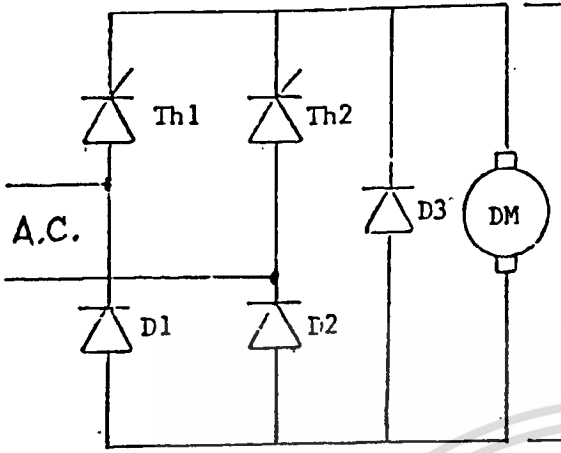
เอสซอร์ 1 หมุดนำกระแส ลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแสทั้งสองกรณีดังกล่าว จะเป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแสของวงจร  
เซมิคอนเวอร์เตอร์ กรณีไหลล เป็นอินคัลทิฟ

าวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ถ้าเพิ่มไครอดคกคร่อมไหลล จะทำให้การทางานของวงจรดีขึ้น อดยจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสเหนียวนาที่ตกค้างอยู่ในอินคัลเตอร์ ำให้ไหล ำไหลลอีกทีหนึ่ง และป้องกันไม่ำให้ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมไหลลมีค่าเป็นลบ วงจรนี้จะช่วยำให้เอสซอร์ำให้กระแสไฟฟ้าที่ตกค้างอยู่ในอินคัลเตอร์ ขณะทีเอสซอร์หมุดนำกระแส ำยคือออกมาป้อนำให้ไหลลครยผ่านทางพรวิลลิ่งไครอดำได้มากขึ้น จึงทำำให้กระแสไฟฟ้ำมีแนวร้นมทีจะค่อเนื่องำได้ง่ายขึ้น ซึ่งลักษณะของวงจรและสัญญาณค่างวจะแสดงค้งรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจร Semi-Converter มีไดโอด flywheel diode

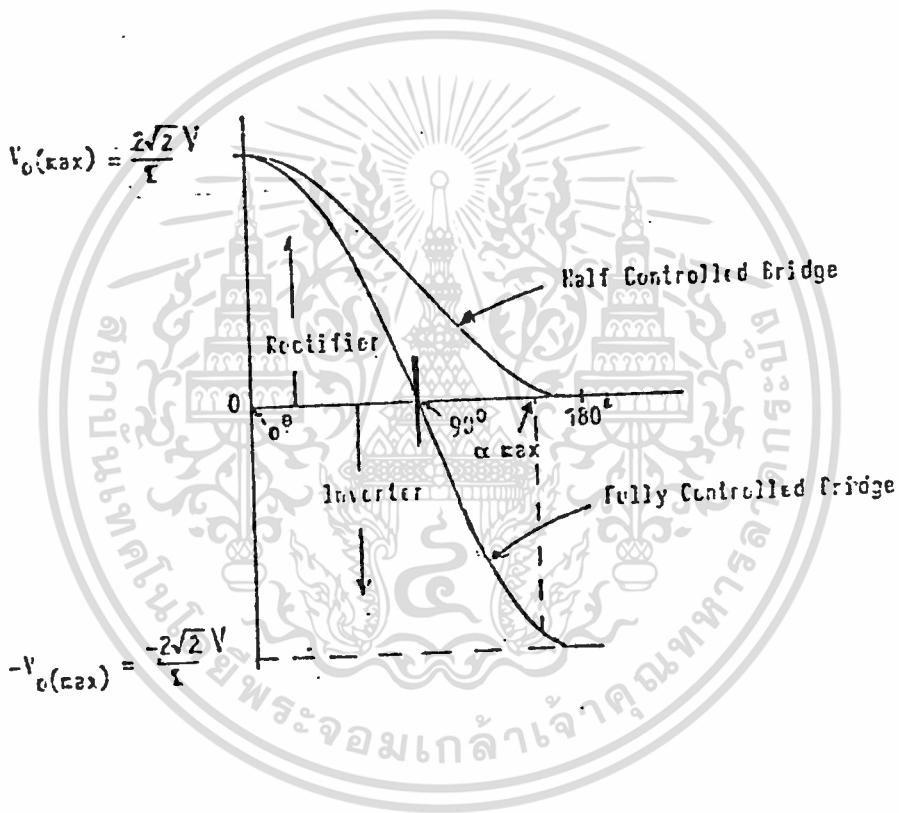
(ข) ลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแส

รูปที่ 2.7 วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ และลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแส กรณีต่อพรีวลิ่งโครด

สิ่งที่น่าสังเกตคือ เมื่อนำพรีวลิ่งโครดออก รูปของสัญญาณจะเหมือนเดิม เพราะว่ามันช่วงที่  $V_{SCR2}$  เริ่มเป็นลบ เอสซีอาร์ 1 ยังนำกระแสอยู่เนื่องจากผลของอินดักเตอร์ในวงจร แต่  $V_{D1}$  เป็นศูนย์ เพราะว่าโครด  $D1$  นำกระแสเมื่อเอาพรีวลิ่งโครดออกกระแสไฟฟ้าจะไหลย้อนกลับจากโครด ผ่านไปเอสซีอาร์ 1 แล้วไหลเข้าไปในโหลดอีก และ จะเป็นเช่นนี้จนกว่าพลังงานอินดักเตอร์จะหมดหรือเมื่อเอสซีอาร์ 2 เริ่มทำงาน ลักษณะการทำงานของเอสซีอาร์ 2 จะเหมือนกับเอสซีอาร์ 1 และมีมันจะสลับกันทำงานไปเรื่อยๆ เหตุที่ดองนำพรีวลิ่งโครดเพราะต้องการให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสเร็ว และ เตรียมที่จะนำกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง เมื่อมีสัญญาณเทรคมาจุดฉนวน

ในลักษณะของวงจร Full Converter ถ้ามุมเทรค  $(\alpha) > 90$  องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเฉลี่ยที่โหลด  $V_o(ave)$  จะมีค่าเป็นลบในสภาวะนี้ถ้าที่โหลดมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ หรือ e.m.f. ที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง จะจ่ายสู่แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ เรียกว่า เป็นสภาวะของ Regenerative หรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) ดังรูปกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ยที่โหลดกับมุมทริก



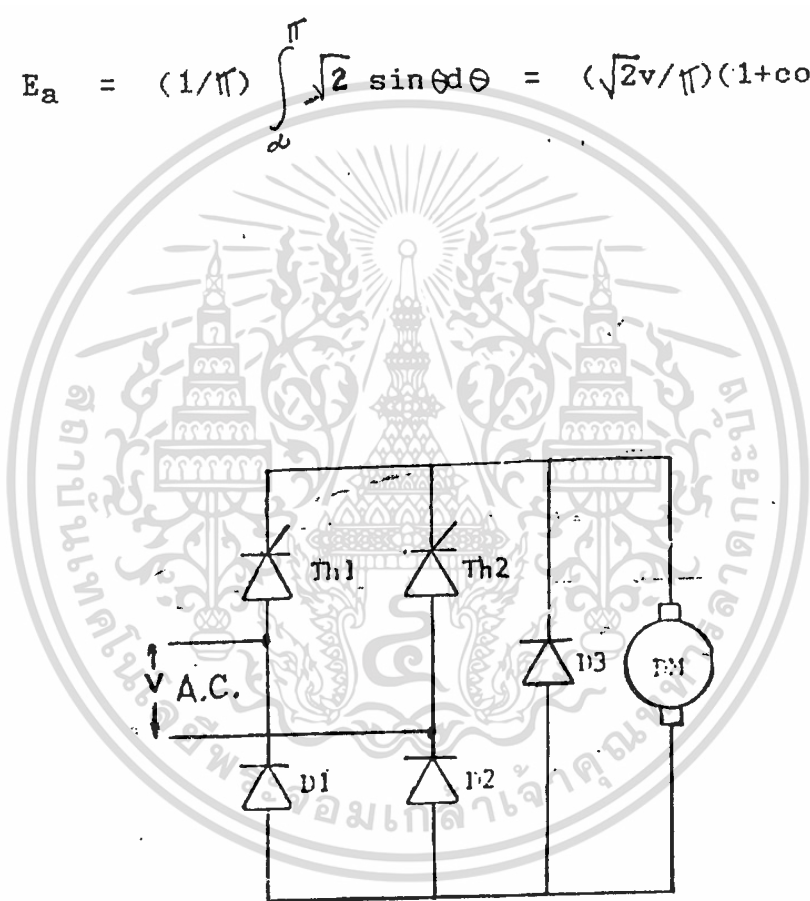
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ยที่โหลดกับมุมทริก

จากกราฟจะเห็นว่า ถ้ากระแสต่อเนื่องแล้ววงจรแบบ ฮาล์ฟ-คอนเวอเตอร์ จะไม่สามารถปรับมุมให้เกิน 90 องศา ซึ่งจะต่างกับวงจรแบบ เซมิคอนเวอเตอร์ ซึ่งสามารถปรับมุมได้เกิน 90 องศา ฉะนั้นในอุตสาหกรรมทั่วไปจะใช้วงจรตัวนำกระแสไฟฟ้าแบบควบคุมได้ครึ่งเดียว เป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เพราะว่าประสิทธิภาพของ 2 ตัวแต่ข้อเสียของวงจรแบบ เซมิคอนเวอเตอร์ คือ จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) ของไฟฟ้กระแสสลับที่จ่ายให้จอร์นี้ต่ำ เนื่องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระแสมีรูปร่างที่ผิดจากของเดิม และวงจรนี้ยังไม่สามารถที่จะนำใบควบคุมมอเตอร์ได้

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำงานปรกติชนิดนี้ จะเป็นวงจรที่กระแสไฟฟ้าแบบควบคุมมาแค่ครึ่งเดียวชนิดเฟสเดียว หรือวงจรแบบเซมิคอนเวอเตอร์ ซึ่งลักษณะของสัญญาณได้อธิบายไปแล้ว สมการของระดับศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ป้อนให้วงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์คือ

$$E_a = (1/\pi) \int_{\omega}^{\pi} \sqrt{2} \sin \theta d\theta = (\sqrt{2}v/\pi)(1+\cos \omega)$$



รูปที่ 2.9 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เซ

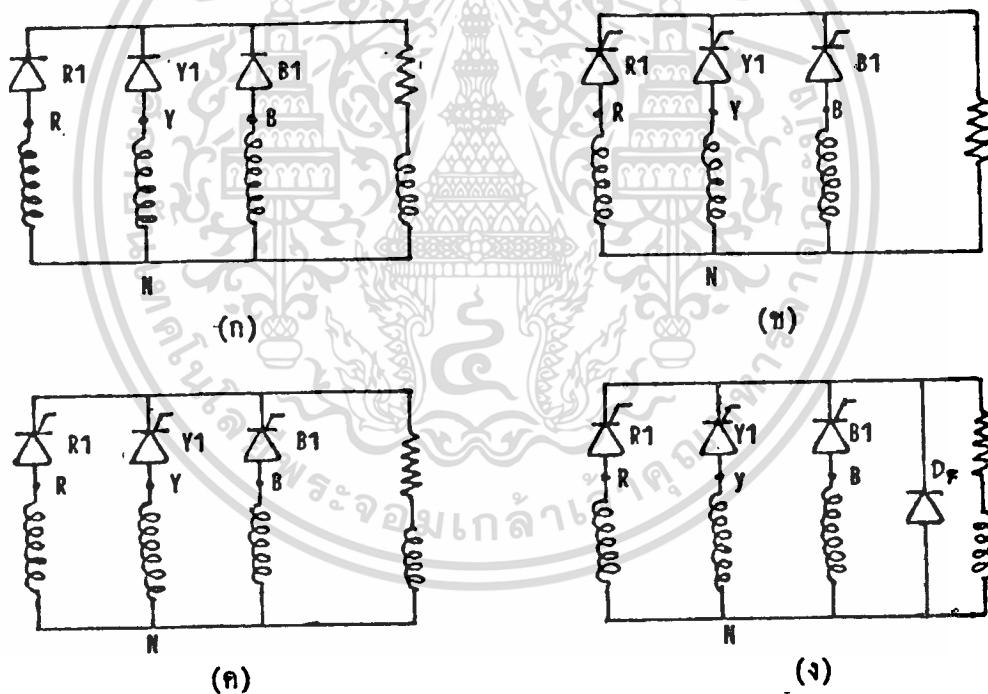
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรคิกกระแสแบบครึ่งคลื่น 3 เฟส

การแปลงไฟกระแสสลับ 3 เฟส เป็นไฟกระแสตรงชนิดครึ่งคลื่น มีการต่อวงจรได้ 4 แบบ คือ

1) ใช้ไดโอดเป็นตัวแปลงไฟ ดังแสดงในรูป 2.10(ก) แรงดันเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลง นอกจากเปลี่ยนแรงดันอินพุต แรงดันเอาต์พุตจึงจะเปลี่ยน

2) ใช้เอสซีอาร์เป็นตัวแปลงไฟ ดังแสดงในรูป 2.10 (ข)-(ง) แรงดันเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเปลี่ยนมุมทริกเกอร์ ในรูป 2.10 (ข) เมื่อโหลดเป็นความต้านทานอย่างเฉื่อย (ค) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด (ง) มีฟิลลิ่งลิ่ง ไดโอด

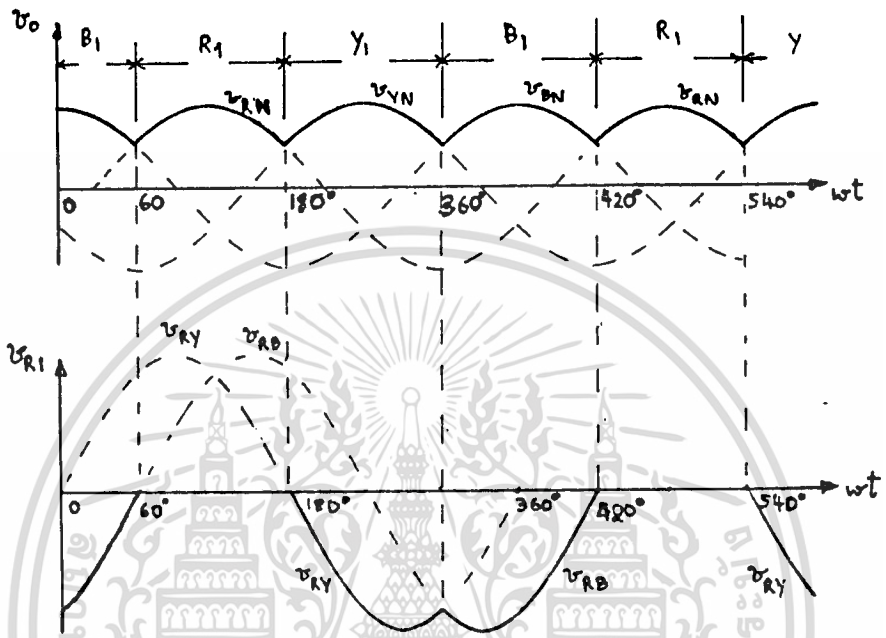


รูปที่ 2.10 แสดงวงจรคิกกระแสแบบครึ่งคลื่น 3 เฟส

ไดโอดจะนำกระแสเมื่อได้รับแรงดันฟอร์เวิร์ด นั่นคือ R จะนำกระแสในช่วง  $V_{RN} > V_{YN}$  และ R1 จะหยุดนำกระแสเมื่อได้รับรีเวอร์คไบอัส คือ  $V_{RN} < V_{YN}$  และ Y1 จะนำกระแสระหว่าง  $V_{YN} > V_{BN}$  เรคตีไฟเออร์แต่ละตัวจะนำกระแสเป็นมุม  $120^\circ$  เมื่อได้  $V_{RY}$  เป็นแรงดันอ้างอิง จะได้ช่วงที่เรคตีไฟเออร์นำกระแสดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรคตีไฟเออร์ หรือไดโอด	ช่วงที่เรคตีไฟเออร์ นำกระแส	
$R_1$	$60^\circ - 180^\circ$	ช่วงนำกระแสเริ่มจากขณะ แรงดัน $V_{R_Y}$ เป็นลบ
$Y_1$	$180^\circ - 300^\circ$	ช่วงนำกระแสเริ่มจาก $V_{R_Y}$ เป็นลบ จนกระทั่งแรงดัน $V_{Y_O}$ เป็นลบ
$B_1$	$300^\circ - 420^\circ (60^\circ)$	ช่วงนำกระแสเริ่มจาก $V_{Y_O}$ เป็นลบจนกระทั่งแรงดัน $V_{R_X}$ เป็นลบ

ในรูป 2.11 แสดงแรงดันเอาท์พุท และ แรงดันคร่อมไดโอด  $R_1$  ชนิดของโหลดจะไม่มีผลต่อช่วงการนำกระแสเหล่านี้ ขณะที่ไดโอดนำกระแสแรงดันคร่อมไดโอดจะมีค่าประมาณ 1 โวลต์ ไดโอดจะไม่นำกระแสเป็นมุม  $240^\circ$  เมื่อ  $R_1$  กำลังนำกระแส แรงดันตกคร่อมประมาณ 1 โวลต์ คือ ช่วงมุม  $60^\circ - 180^\circ$  แต่ในช่วงระหว่าง  $180^\circ - 300^\circ$  ไดโอด  $Y_1$  กำลังนำกระแส ขั้วคาโธดของ  $R_1$  จึงต่อกับเฟส Y และ ขั้วแอนอดของ  $R_1$  ต่อกับเฟส R แรงดัน  $V_{R_Y}$  เป็นลบ ไดโอด  $R_1$  จะได้รับรีเวอร์สไบอัส และ ช่วงระหว่างมุม  $300^\circ - 360^\circ$  แรงดันตกคร่อมไดโอด  $R_1$  คือ  $V_{R_X}$  จะเป็นลบ ทำให้ไดโอด  $R_1$  ได้รับรีเวอร์สไบอัสเพราะว่า ไดโอด  $B_1$  กำลังนำกระแส

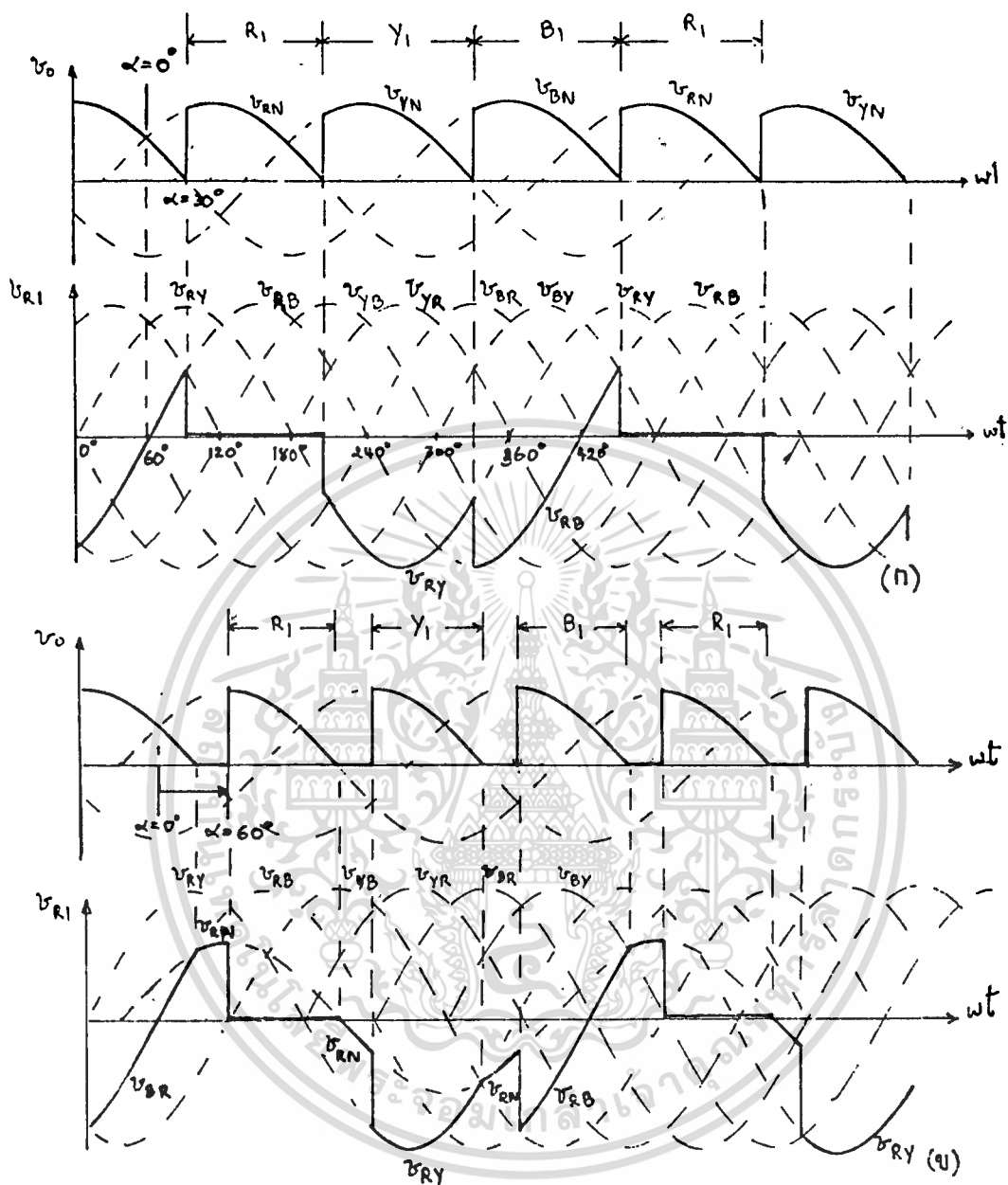


รูปที่ 2.11 แรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อมไดโอด  $R_1$  ของวงจร  
ในรูป 2.10(ก)

ในวงจรรูป 2.10 (ข) ใช้เอสซีอาร์ 3 ตัว เป็นวงจร 3 phase half wave rectifier สัญญาณเทริกเกอร์เอสซีอาร์แต่ละตัวจะเข้าไป 60° นับจากเวลาที่ได้รับฟอร์เวอร์คาบยัส นั่นหมายความว่า ถ้าเทริกเกอร์เอสซีอาร์  $R_1$  ที่มุมเทริกเกอร์ 30° คือ เอสซีอาร์  $R_1$  จะถูกเทริกที่มุม 90° โดยให้  $V_{RY}$  เป็นแรงดันอ้างอิง

1) การนำกระแสอย่างต่อเนื่อง คือ  $\alpha < 30^\circ$  ในกรณีนี้เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสเนื่องจากได้รับ line voltage เป็นลบ ดังตัวอย่าง เมื่อ  $\alpha = 30^\circ$  เอสซีอาร์  $R_1$  นำกระแสจาก  $90^\circ - 210^\circ$  หรือ  $180^\circ$  นับจาก  $V_{RN}$  มีแรงดันเป็นศูนย์ ที่เวลา  $Y_1$  ถูกเทริกให้นำกระแส  $R_1$  จะถูกบังคับให้หยุดนำกระแสเนื่องจาก  $V_{RY}$  เป็นลบ ดังแสดงสัญญาณของแรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อมเอสซีอาร์  $R_1$  ในรูป 2.12(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

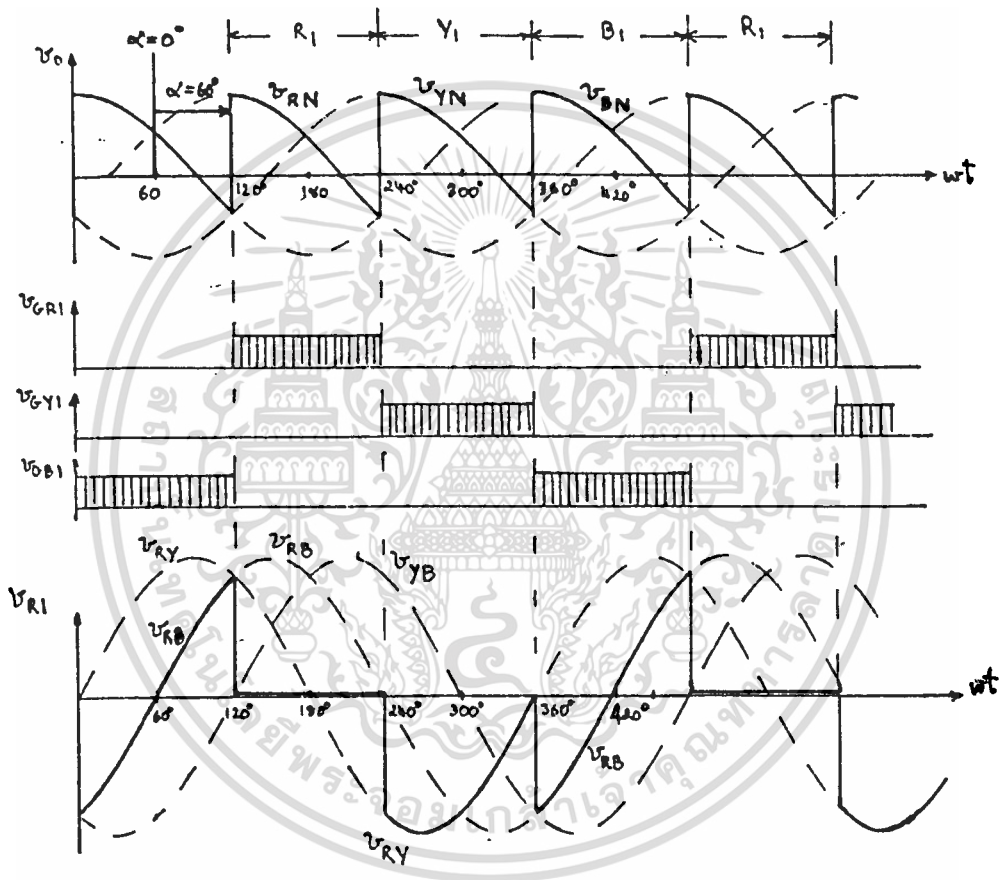


รูปที่ 2.12 แรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อมเอสซีอาร์ของวงจร  
รูป 2.10 (ข) เมื่อโหลดเป็นความต้านทาน

2) การนำกระแสไม่ต่อเนื่อง สำหรับ  $\alpha > 30^\circ$  ในกรณีนี้ phase voltage จะตกลงศูนย์ก่อนที่เอสซีอาร์จะถูกทริ เพราะกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ลดลงต่ำกว่า กระแสยึด (holding current) จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยธรรมชาติ ในช่วงระหว่างที่ไม่มีเอสซีอาร์ตัวนำกระแส จะมีเฉพาะ phase voltage ตก คร่อมเอสซีอาร์ดังแสดงสัญญาณของแรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อมเอสซีอาร์  $R_1$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.26 (ข)

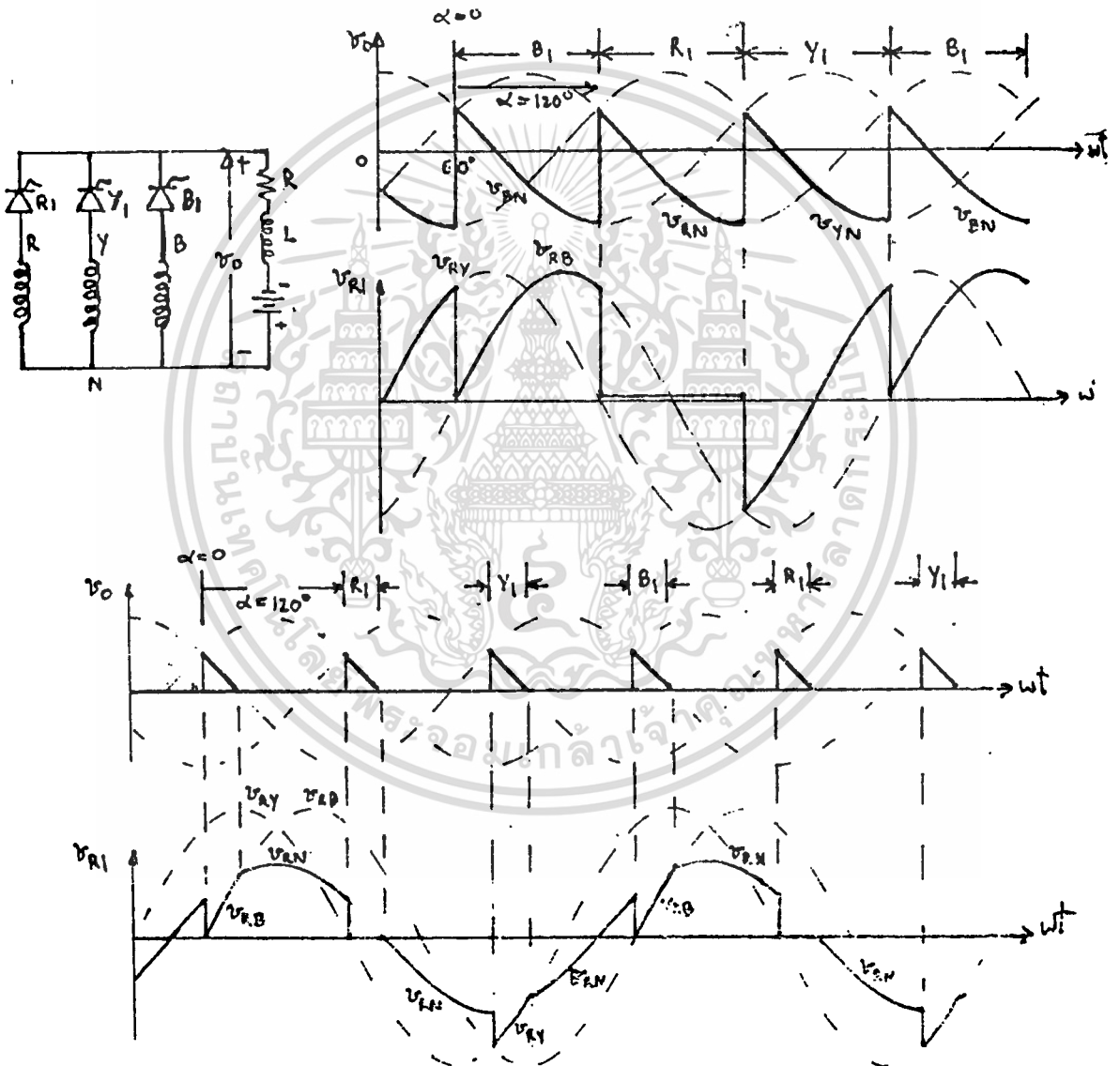
นางวงจรรูป 2.10(ค) เมื่อโหลดเป็นอินคัตที่พหุผล ซึ่งงานกรณีที่เป็นภาระนา กระแสอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง เอสซีอาร์ตัวต่อไปถูกทริกวัทนากะแสแรงคั่นเอาท์พุท และแรงคั่นคร่อมเอสซีอาร์  $R_1$  และสัญญาณทริกเกอร์ แสดงนางรูป 2.13



รูปที่ 2.13 แรงคั่นเอาท์พุทและแรงคั่นคร่อมเอสซีอาร์  $R_1$  และ สัญญาณทริกเกอร์ของวงจรรูป 2.10(ค) เมื่อโหลด เป็นอินคัตที่พหุผล แรงคั่นเอาท์พุทนี่คือ

เมื่อ  $\alpha = 90^\circ$  ;  $\cos \alpha = 0$  แรงคั่นเอาท์พุทเฉลี่ยจะเท่ากับศูนย์ สำหรับ  $\alpha$  มากกว่า  $90^\circ$  ค่า  $\cos \alpha$  จะเป็นลบ นางกรณีนี้ เรคตีไฟเออร์จะทาหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ ถ้ามีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงอยู่ที่โหลด ดังแสดงนางรูป 2.14(ก) แต่เมื่อไม่มีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่โหลด การนากระแสจะไม่ไหลอย่างต่อเนื่องดังแสดง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป (ข) ในกรณีที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่โหลด จะมีการนำกระแสอย่างค้อมเนื่อง ดังแสดงในรูป 2.14(ก) เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสเมื่อเอสซีอาร์คิวต่อไปถูกทริกที่นำกระแส เป็นการจ่ายรีเวอร์สไบอัสแก่เอสซีอาร์ที่กำลังนำกระแสอยู่ให้หยุดนำกระแส ถ้าเวลาที่เอสซีอาร์ได้รับรีเวอร์สไบอัสน้อยกว่า turn-off time ของเอสซีอาร์เอสซีอาร์ก็จะไม่หยุดนำกระแส จะเกิดสภาวะลัดวงจรระหว่าง 2 เฟส

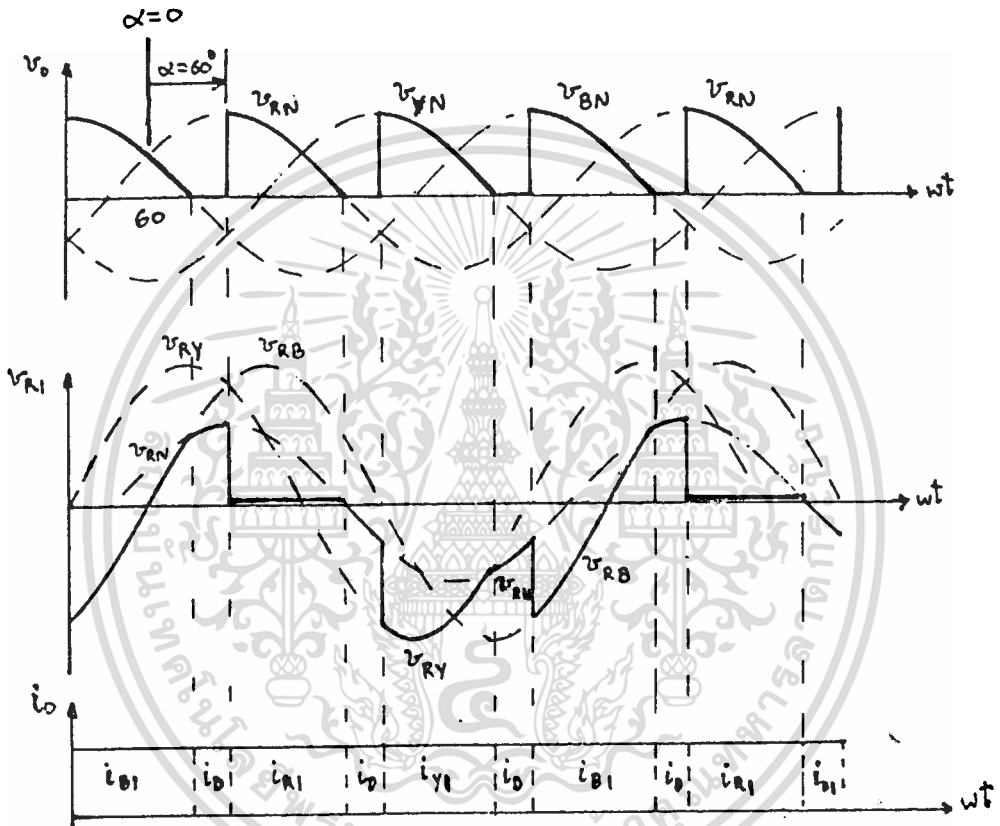


รูปที่ 2.14 แรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อมเอสซีอาร์เมื่อ  $\alpha > 90^\circ$

(ก) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่โหลด

(ข) ไม่มีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่โหลด

ในกรณีวงจรรูป 2.10(ง) เมื่อมี พรีวิลลิง ใดระลอก ต่อขนานกับโหลด เอสซีอาร์จะไม่นำกระแสในช่วงคลื่นเป็นลบ เนื่องจาก พรีวิลลิง ใดระลอก จะนำกระแสในกรณีที่  $\alpha > 30^\circ$  แรงดันเอาต์พุตและแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ 1 และ กระแสไหลในโหลดแสดงในรูป 2.15



รูป 2.15 แรงดันเอาต์พุต,แรงดันคร่อมเอสซีอาร์ และกระแสโหลดของวงจรรูป 4.10(ง)

ในกรณีที่กระแสไหลต่อเนื่องโดย พรี-วิลลิง ใดระลอก นำกระแส หรือ  $30^\circ < \alpha < 150^\circ$

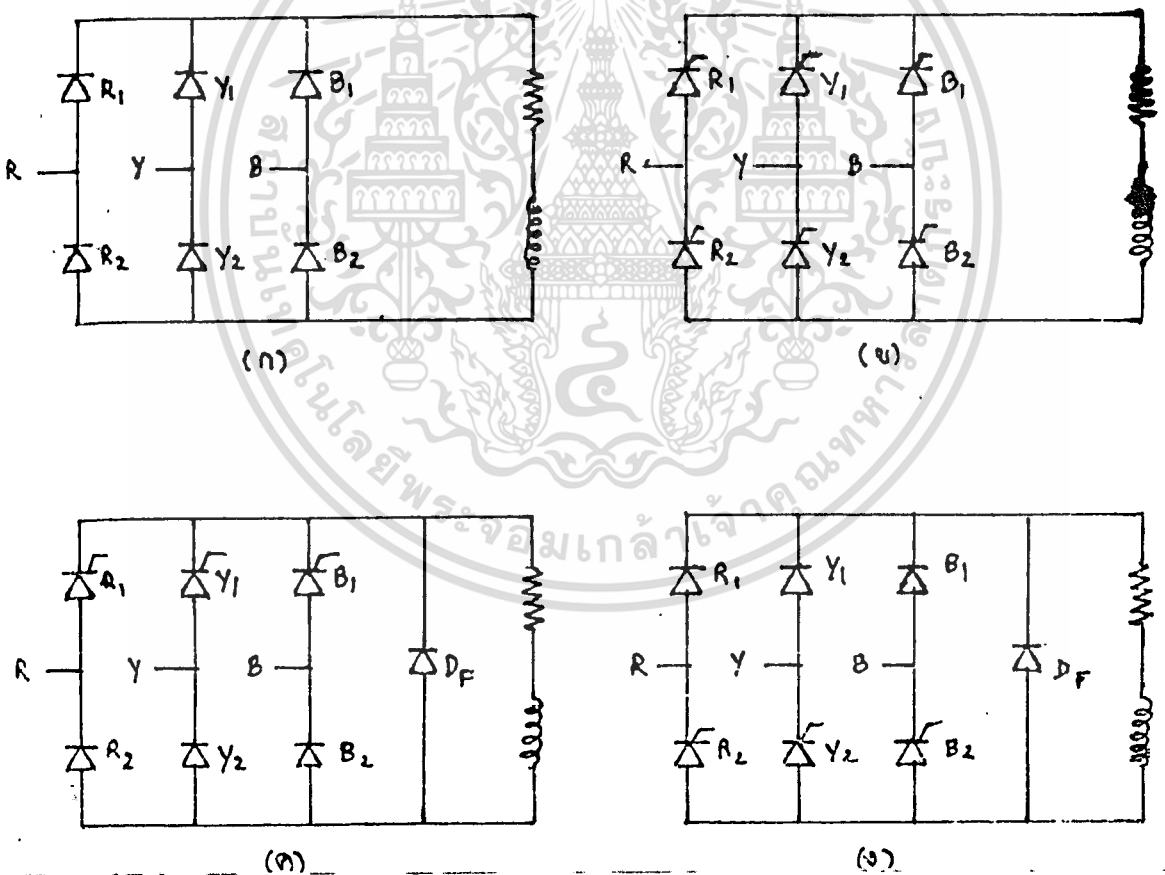
ในกรณีที่กระแสไหลต่อเนื่อง โดยการทริก เอสซีอาร์ตัวหนึ่งให้นำกระแสเพื่อจ่ายรีเวอร์สไบัสเอสซีอาร์เดิมที่นำกระแสอยู่ให้หยุดนำกระแส หรือ  $0 < \alpha < 30^\circ$

วงจรศักระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟส

ข้อดีของการแปลงไฟกระแสสลับ 3 เฟส เป็นไฟกระแสตรงในลักษณะของวงจรศักระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟส คือ

1) มี ripple น้อย

2) ไม่มี DC. Magnetization ในหม้อแปลงวงจร สามารถเปลี่ยนแปลงการต่อได้ดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรศักระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟสชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16(ก) เป็นวงจรที่ใช้ไดโอดทั้งหมด ไม่สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด ไดโอดที่ต่ออนุกรมกัน (เช่น  $B_1$  และ  $B_2$ ) ทาหน้าที่เป็น พรีวอลติง-ไดโอด ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเพิ่ม พรีวอลติง-ไดโอด อีกตัว แรงดันเอาต์พุต และ แรงดันคร่อมไดโอด และ กระแส แสดงในรูป 2.17

รูป 2.16(ข) เป็นแบบฟูลบริค ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานกลับคืนให้กับแหล่งจ่ายไฟได้ และ ไม่ต้องมี พรีวอลติง-ไดโอด ขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด

รูป 2.16(ค) และ (ง) เป็นแบบควบคุมได้ครึ่งคลื่น พร้อมกับมี พรีวอลติงไดโอด เมื่อ บริคซ์ไม่มากกระแส ในรูป 2.16(ค) เอสซีอาร์ต่อคาทรอดร่วมกันและ ไดโอดต่อแอนดกร่วมกัน การที่ต่อคาทรอดของเอสซีอาร์ร่วมกันไม่ต้องใช้ฟิลต์ ทรานพอเมอร์ เพื่อไอโซเลตคาทรอด ให้แยกกันจากวงจรทริกเกอร์ ในวงจรมันจะต้องมีแผ่นระบายความร้อนอย่างน้อย 4 แผ่น และในกรณีรูป 2.16(ง) แอนดของเอสซีอาร์ต่อร่วมกันจำเป็นต้องใช้ ฟิลต์-ทรานพอเมอร์ และถ้าเลือกไดโอดที่มีขั้วอาณคเป็นน็อดยึดกับแผ่นระบายความร้อน จะใช้แผ่นระบายความร้อนเพียง 2 แผ่น

เมื่อ  $R_1$ ,  $Y_2$  นำกระแส Line voltage  $V_{RY}$  จะปรากฏคร่อมที่โหลด เหมือนกับเมื่อ  $R_1$  และ Line Voltage จะปรากฏที่โหลด ดังนั้นแรงดันที่โหลดจะเป็น  $V_{RY}$ ,  $V_{RB}$ ,  $V_{YB}$ ,  $V_{BR}$ ,  $V_{BY}$ , ... ขึ้นกับว่าไดโอดตัวไหนนำกระแส

วงจรคัทกระแสแบบเต็มคลื่น (Fully Controlled three phase bridge) อดยใช้เอสซีอาร์ทั้งหมด ดังวงจรรูป 2.16(ข)

ตัวอย่างเช่น  $\alpha = 30^\circ$  ดังแสดงในรูป 2.18(ค) คือ มุมที่  $90^\circ$  มีสัญญาณทริกที่เอสซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  นำกระแสจะมีกระแสไหลจากเฟส R สู่เฟส Y อดยเริ่มนำกระแสจากมุม  $90^\circ$  ถึง  $150^\circ$  มีสัญญาณทริกเอสซีอาร์ ที่มุม  $150^\circ$  มีสัญญาณทริกเอสซีอาร์  $R_1$  และ  $B_2$  ให้นำกระแส จะมีกระแสไหลจากเฟส R สู่เฟส B อดยเริ่มนำกระแสจากมุม  $150^\circ$  ถึง  $210^\circ$  ในการที่เอสซีอาร์  $B_2$  นำกระแสจะมีผลทำให้เอสซีอาร์  $Y_2$  ได้รับรีเวอร์คไบอัสและหยุดนำกระแสที่มุม  $150^\circ$  และที่มุม  $210^\circ$  ก็มีสัญญาณทริกเอสซีอาร์  $Y_1$  และ  $B_2$  ให้นำกระแสจากเฟส Y สู่เฟส B จากมุม  $\approx 90^\circ$

ได้รับรีเวอร์คไบอัส และหยุดนำกระแสที่มุม  $210^\circ$

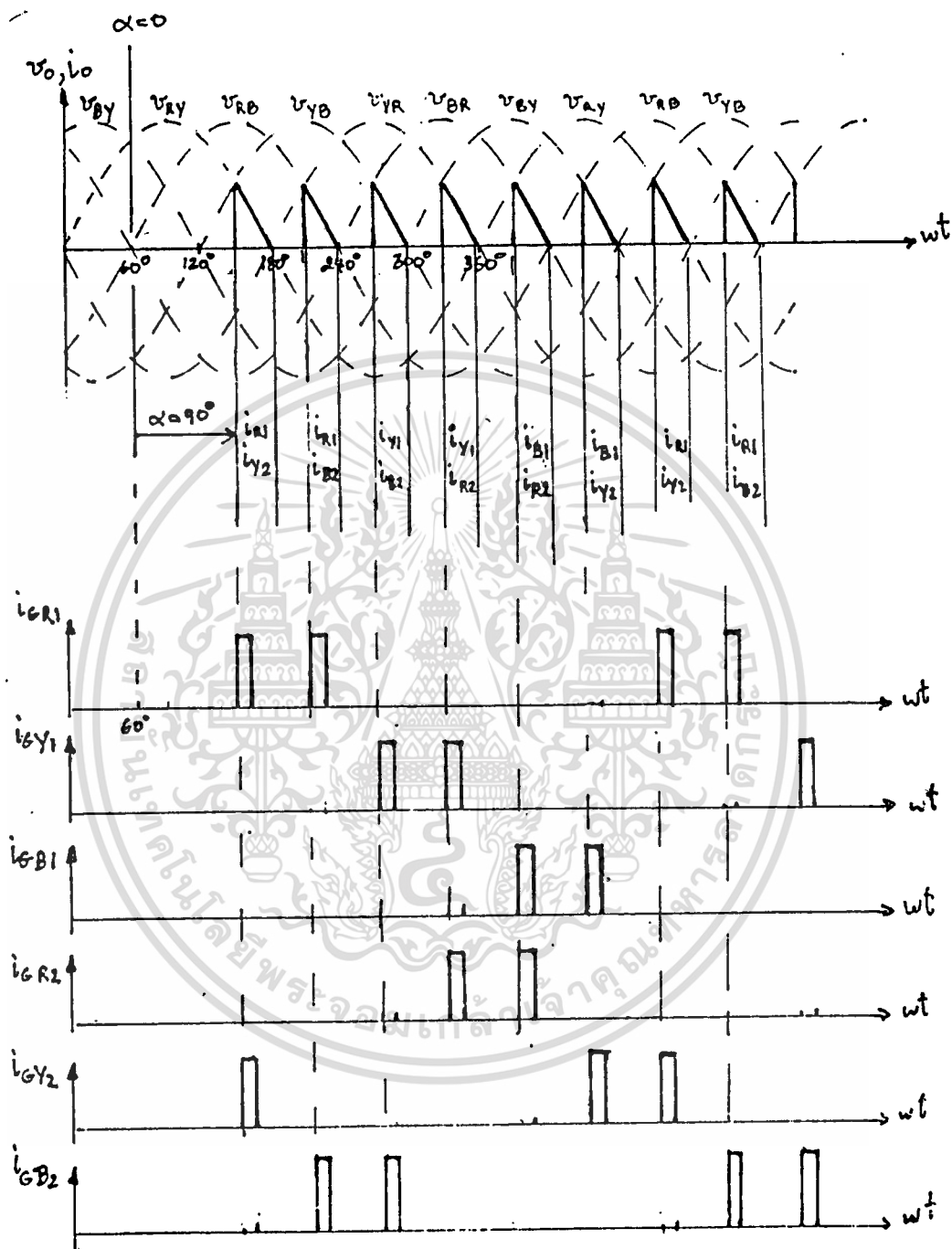
โหลดเป็นความต้านทาน

เอสซีอาร์แต่ละตัวจะนำกระแสในช่วงของ

มุมต่างวกันดัง เช่น

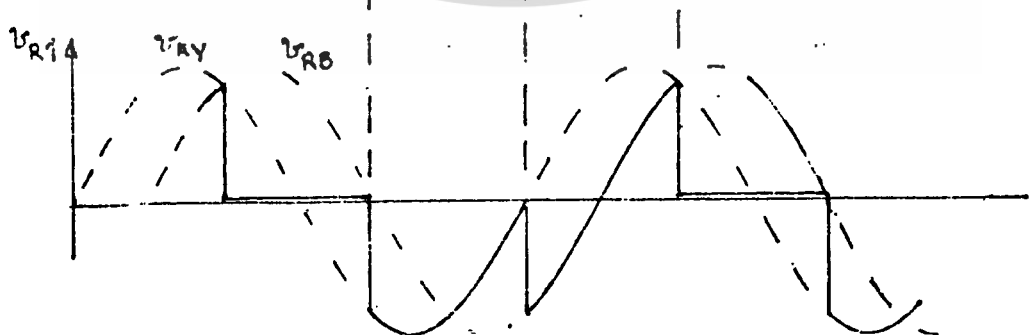
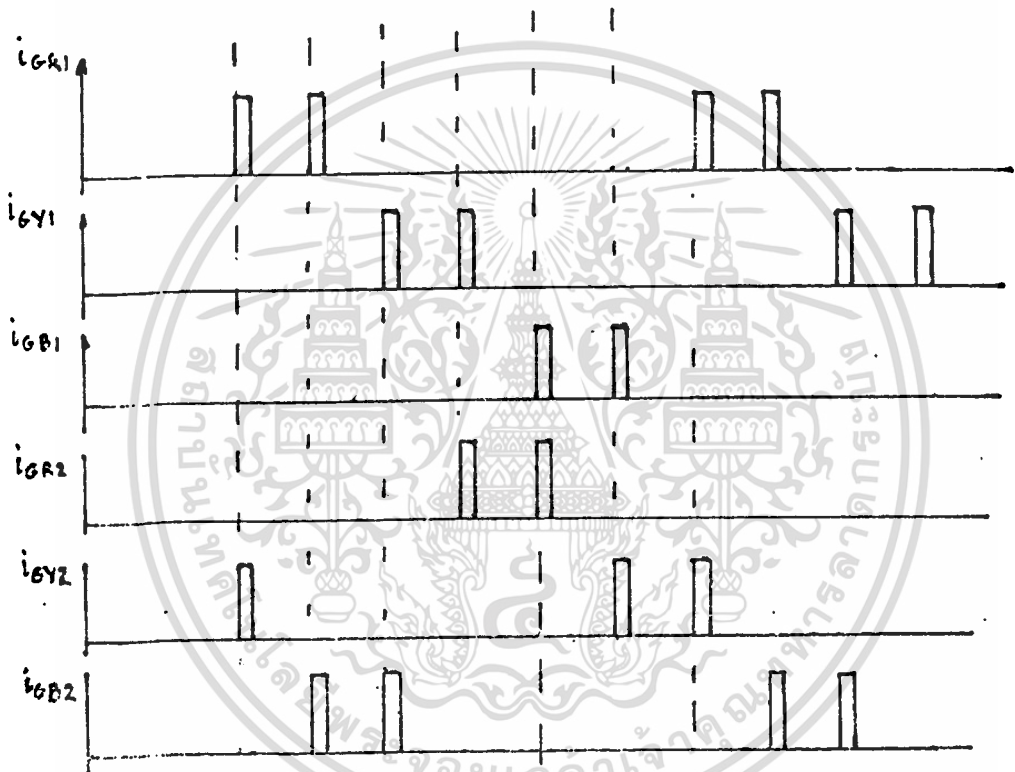
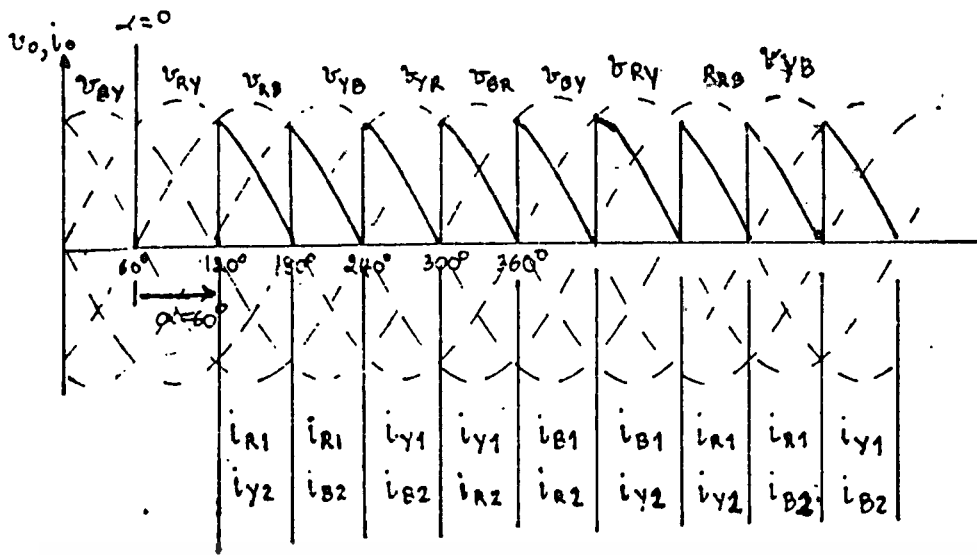
เอลซีอาร์	ช่วงการนำกระแสสำหรับ $= 0^\circ$ ในรูป 2.17	ช่วงการนำกระแสสำหรับ $= 30^\circ$ ในรูป 2.18(ค)
$R_1$ $R_2$	$60^\circ - 180^\circ$ $240^\circ - 360^\circ$	$90^\circ - 210^\circ$ $270^\circ - 30^\circ$
$Y_1$ $Y_2$	$180^\circ - 300^\circ$ $360^\circ - 120^\circ$	$210^\circ - 330^\circ$ $30^\circ - 150^\circ$
$B_1$ $B_2$	$300^\circ - 60^\circ$ $120^\circ - 240^\circ$	$360^\circ - 120^\circ$ $150^\circ - 270^\circ$

$\alpha$  สำหรับ  $60^\circ < \alpha < 120^\circ$  เป็นสภาวะที่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง เช่น  $= 90^\circ$  ดังแสดงในรูป 2.18(ก) คือที่มุม  $150^\circ$  มีสัญญาณทริกให้เอลซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  นำกระแส จะมีกระแสไหลจากเฟส R สู่เฟส B โดยเริ่มนำกระแสจากมุม  $150^\circ$  ถึง  $180^\circ$  เอลซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  จะหยุดนำกระแสที่มุม  $180^\circ$  เพราะได้รับรีเวิร์ตไบอัส และที่มุม  $210^\circ$  ก็จะมีสัญญาณทริกให้เอลซีอาร์  $R_1$  และ  $B_2$  นำกระแส จะมีกระแสไหลจากเฟส R สู่เฟส B โดยเริ่มนำกระแสจากมุม  $210^\circ$  ถึง  $240^\circ$  เอลซีอาร์  $R_1$  และ  $B_2$  จะหยุดนำกระแสที่มุม  $240^\circ$  เพราะ  $V_{\alpha}$  เป็นลบ



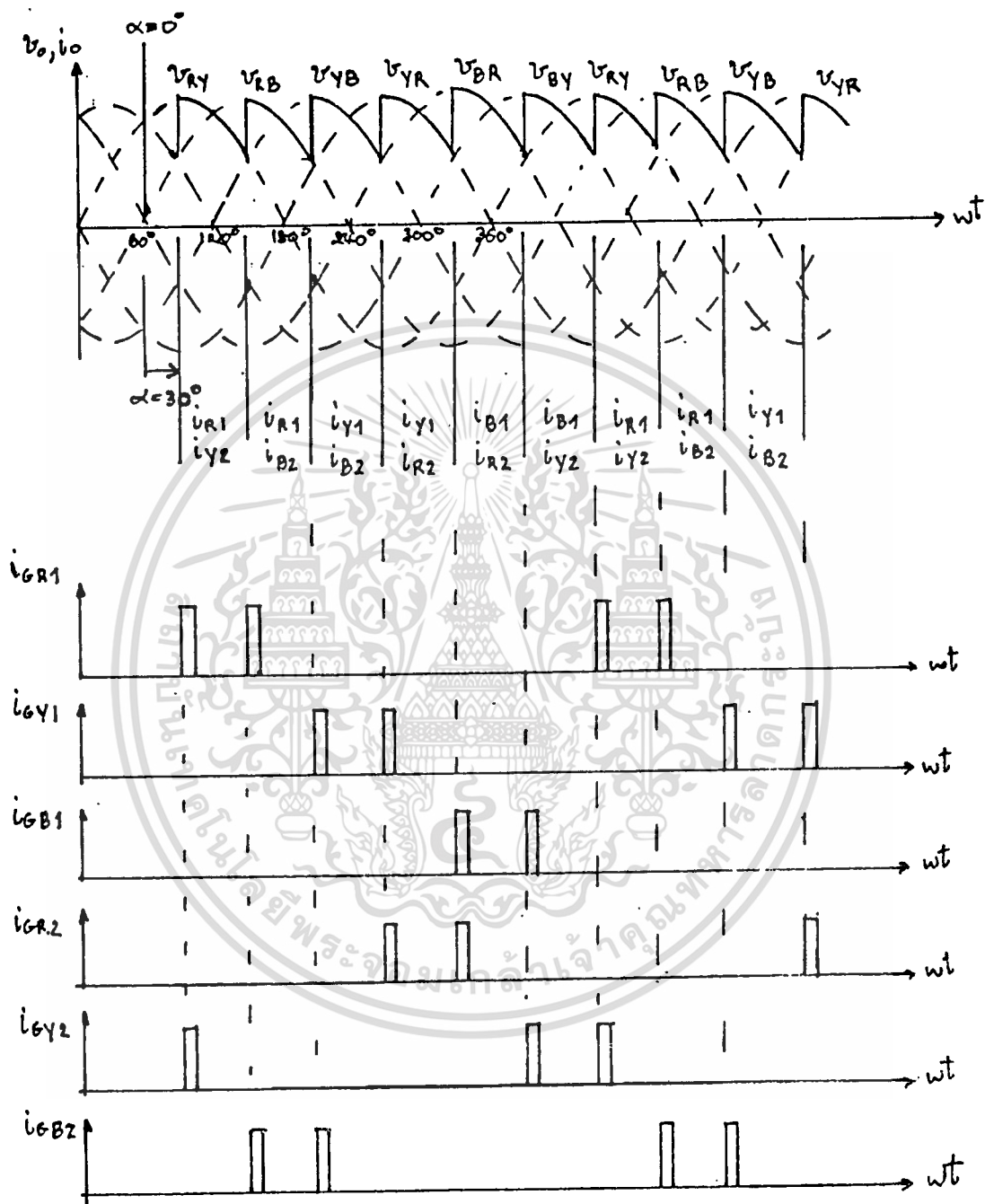
รูปที่ 2.18(ก) แรงดันคร่อมรโหลดที่เป็นความต้านทานที่มุม  $90^\circ$  ของวงจรควบคุมแบบเต็มคลื่น 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18(ข) แรงดันคร่อมโหลดที่เป็นความต้านทานที่มุม  $60^\circ$  ของวงจรควบคุมแบบเติมคลื่น 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



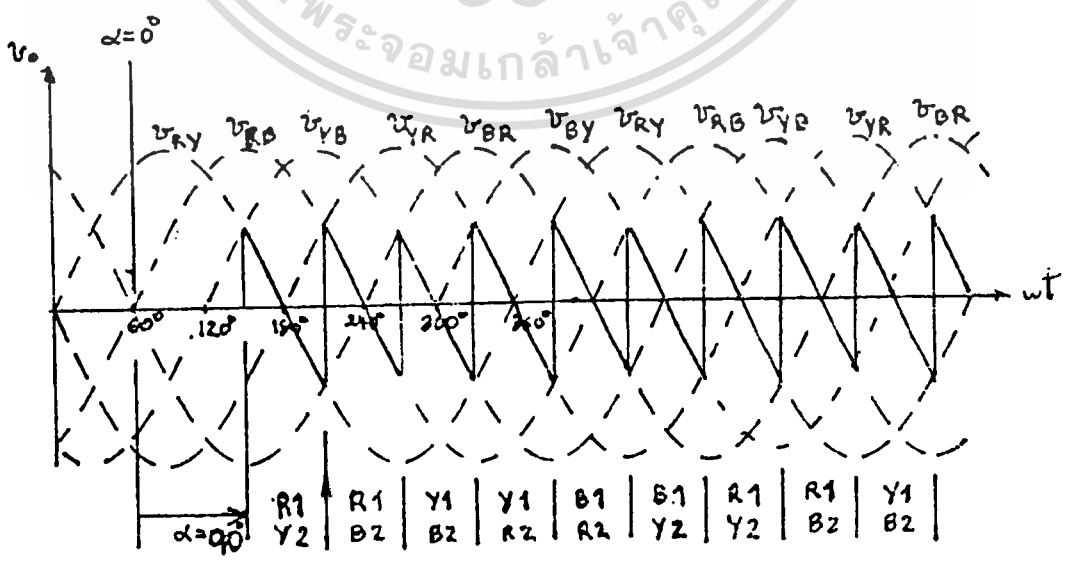
รูปที่ 2.18(ค) แรงดันคร่อมรโหลดที่เป็นความต้านทานที่มุม  $60^\circ$  ของวงจรควบคุมแบบเต็มคลื่น 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ  $60^\circ < \alpha < 120^\circ$  เป็นสภาวะที่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง เช่น  $\alpha = 90^\circ$  ดังแสดงในรูป 2.18(ก) คือที่มุม 150 มิลลิแอม培รีให้เอสซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  นำกระแส และจะมีกระแสไหลจากเฟส R สู่อุปกรณ์ Y โดยเริ่มนำกระแสจากมุม 150 ถึง 180 เอสซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  จะหยุดนำกระแสที่มุม 180 เพราะได้รับรีเวอร์คาบัส ที่มุม 210 ถึง 240 เอสซีอาร์  $R_1$  และ  $B_2$  จะหยุดนำกระแสที่มุม 240 เพราะ  $V_{RB}$  เป็นลบ

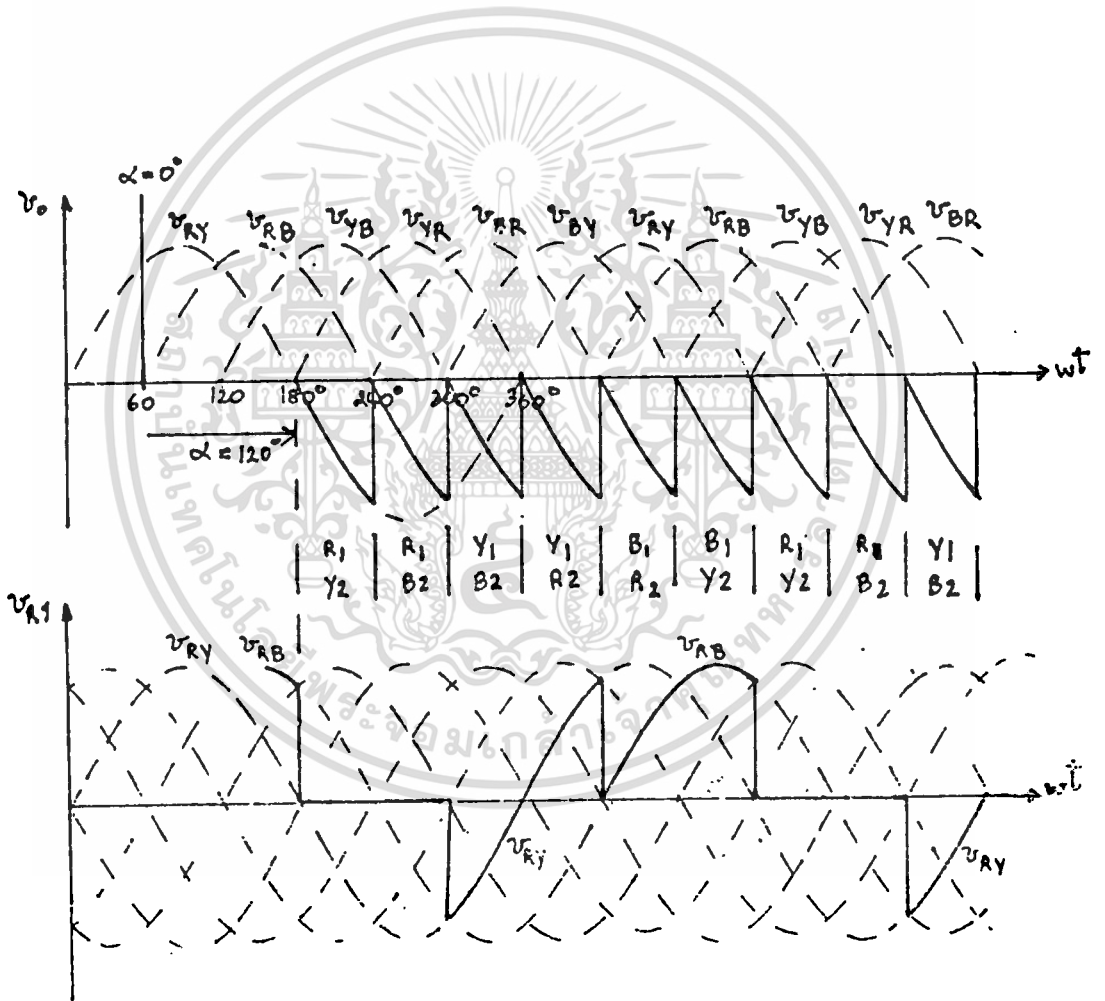
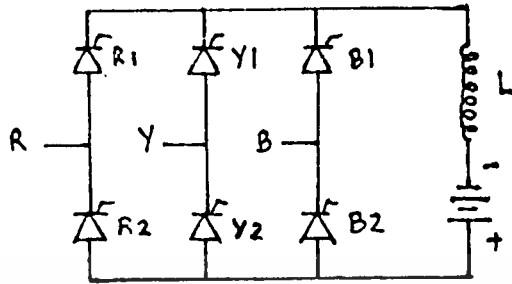
โหลดเป็นอินดักทีฟโหลดที่มุมทริกเกอร์  $0 < \alpha < 60^\circ$  แรงดันคร่อมโหลดจะเหมือนกับโหลดที่เป็นความต้านทานอย่างเฉยๆ ดังรูป 2.18(ก) และ (ข) สำหรับมุมทริกเกอร์  $60 < \alpha < 120$  จะแตกต่างจากโหลดที่เป็นความต้านทานอย่างเฉยๆ เช่น  $\alpha$  เท่ากับ  $90$  ดังรูป 2.19(ก) คือที่มุม 150 จะมีสัญญาณทริกเอสซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  ให้นำกระแส จะมีกระแสไหลจากเฟส R สู่อุปกรณ์ Y 150 จนถึงมุม 180 เอสซีอาร์  $R_1$  และ  $Y_2$  จะยังนำกระแสต่อไปอีก เนื่องจากกระแสในอินดักทีฟโหลดยังคงรักษาให้ไหลต่อเนื่องเพราะเกิด back emf. และเมื่อถึงมุม 210 ก็มีสัญญาณทริกเอสซีอาร์  $R_1$  และ  $B_2$  ให้นำกระแส ซึ่งจะทาให้เอสซีอาร์  $Y_2$  ได้รับรีเวอร์คาบัส เอสซีอาร์  $Y_2$  จึงหยุดนำกระแส

เมื่อ  $\alpha$  เท่ากับ  $90$  แรงดันเอาต์พุต  $V(ave) = 0$  วัตต์ และเมื่อ  $90 < \alpha < 120$  แรงดันเอาต์พุตจะเป็นลบ เช่น  $\alpha = 120$  ดังรูป 2.19(ข) เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงต่อที่โหลด เช่น โหลดเป็นมอเตอร์กระแสตรงหรือ แบตเตอรี่ พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อที่โหลดจะจ่ายสู่แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ



รูปที่ 2.19(ก) แรงดันคร่อมโหลดที่เป็นอินดักทีฟโหลดที่มุม  $90^\circ$

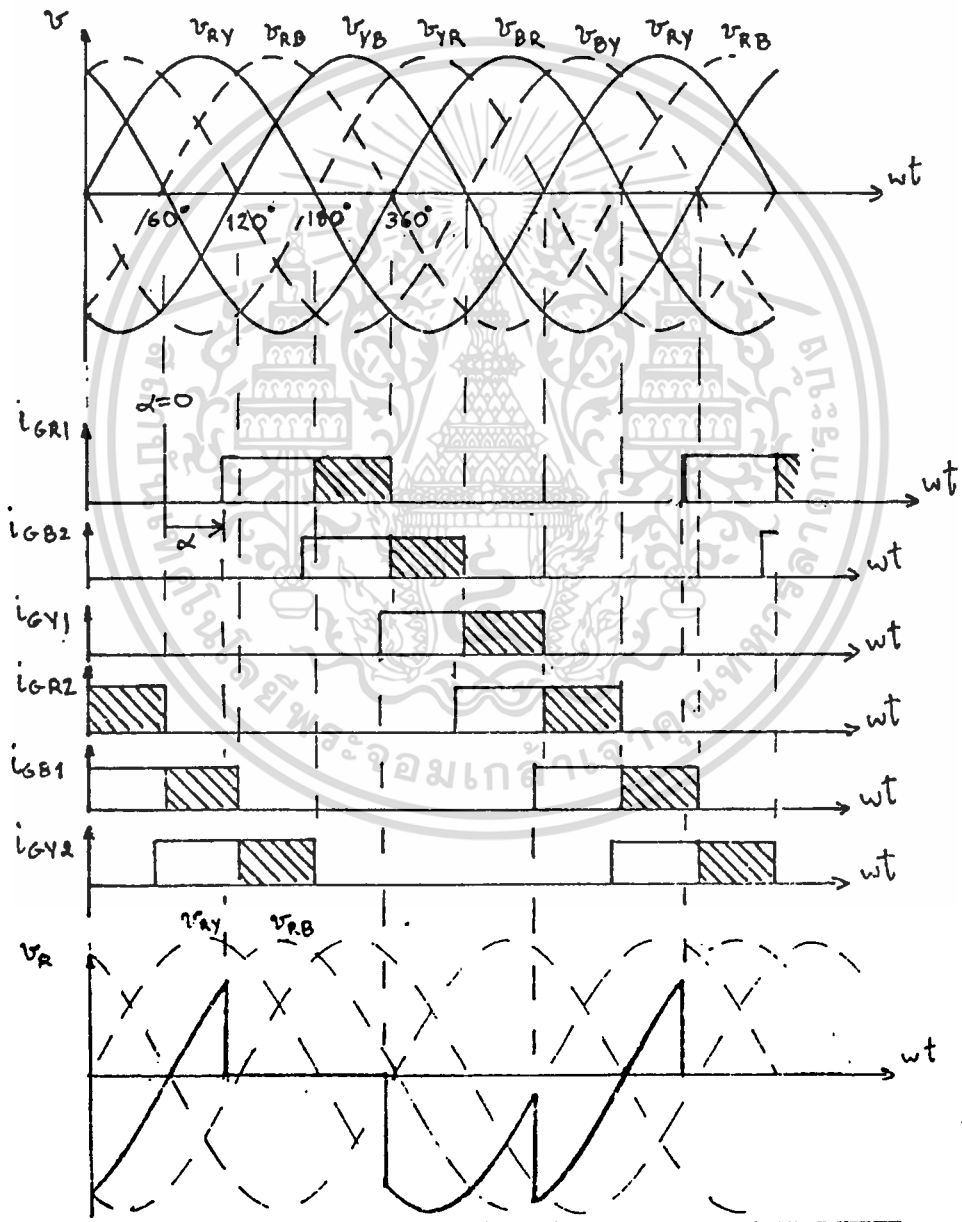
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19(ข) วงจรควบคุมกระแสแบบเต็มคลื่น 3 เฟสที่มีโหลด เป็นอินดักทีฟโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

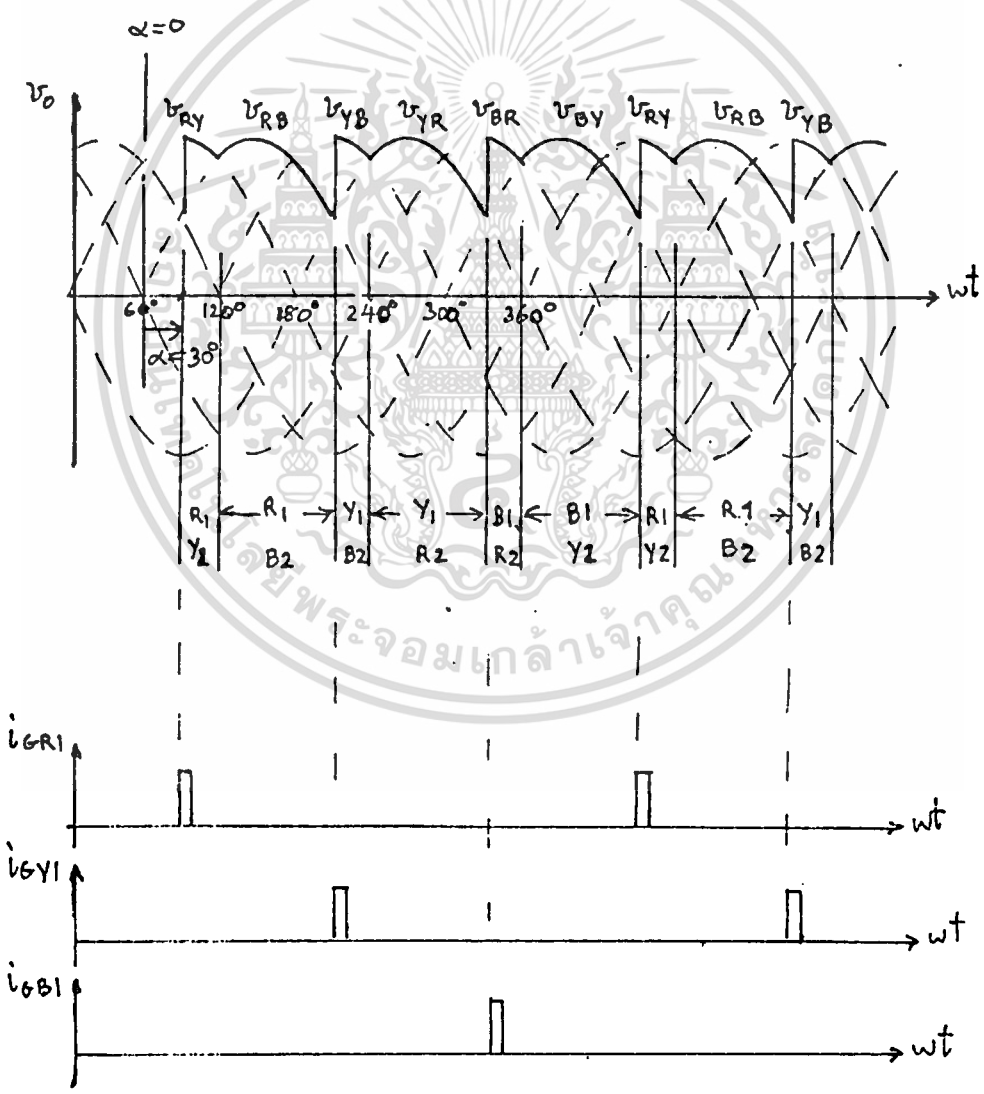
วงจรสร้างสัญญาณทริก เอสซีอาร์บางวงจรจะเป็นพัลส์ความถี่สูงระดับ 10 ถึง 30 กิโลเฮิร์ต ซึ่งมีความกว้างคั้งแสดงในรูป 2.20 จะเห็นได้ว่าถ้ามุมทริก เกอร์  $\alpha = 120^\circ$  จะไม่มีคู่แทนถูกทริกให้มากระแสพร้อมกันจึงไม่มีกระแสไหลผ่าน ทโหลด และถ้าสัญญาณทริกในบริเวณที่แลเงาไว้ไม่มีมุมทริกระหว่าง  $60^\circ$  ถึง  $120^\circ$  จะไม่มีเอสซีอาร์คู่แทนถูกทริกให้มากระแสพร้อมกัน จะเห็นได้ว่าสัญญาณทริก เอสซีอาร์  $R_1$  ใช้สัญญาณของแรงดัน  $V_{RB}$  ครึ่งเซเคลบวกเป็นสัญญาณเชิงครานส์ สำหรับสัญญาณทริก เกอร์เอสซีอาร์ตัวอื่นได้แสดงในรูป 2.20



รูปที่ 2.20 สัญญาณทริก เกอร์เอสซีอาร์ในวงจรควบคุมกระแส แบบเต็มคลื่น

วงจรศักระแสแบบครึ่งคลื่น

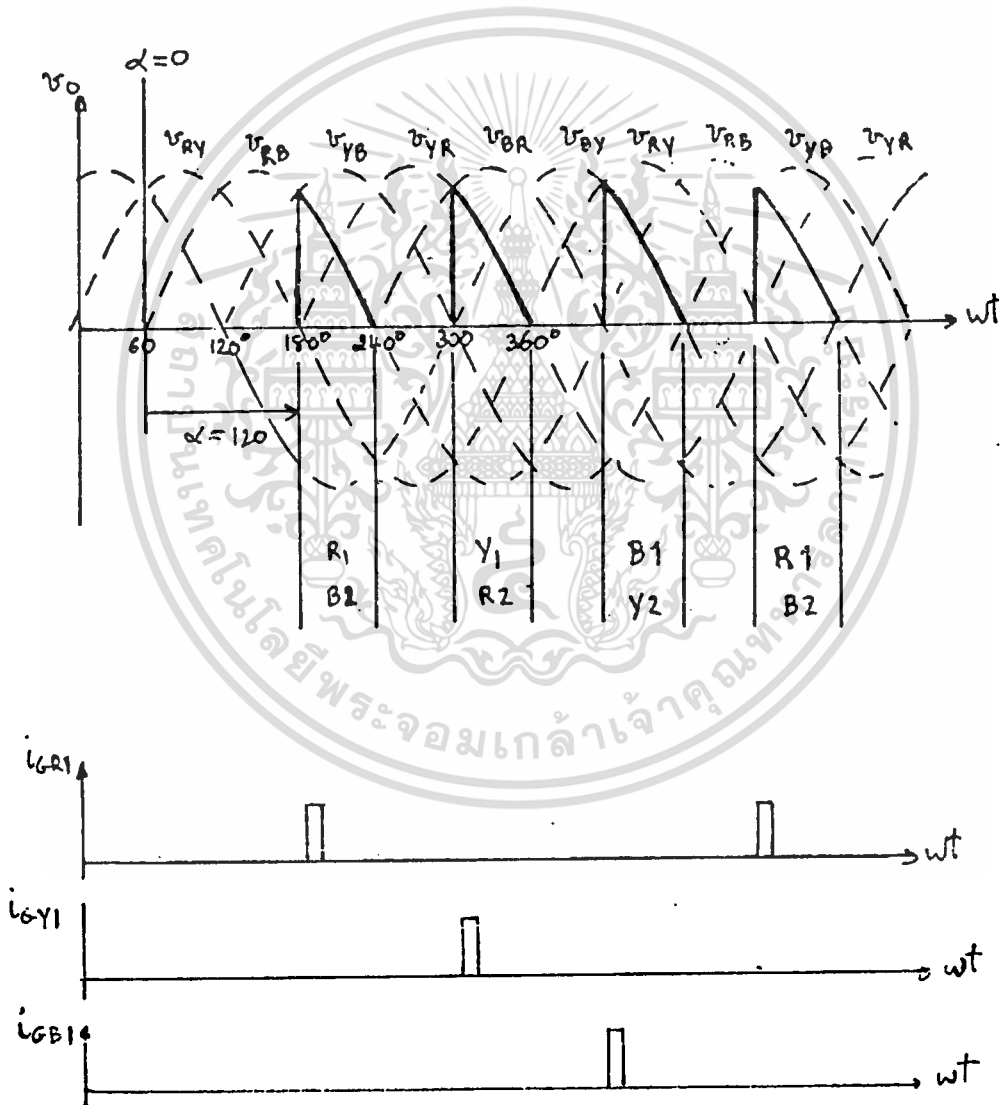
วงจรแบบนี้ได้แสดงดังรูป 2.16(ค) หัวอาร์นคของไครอดต่อเข้าด้วยกัน ดังรูป 2.21 แสดงสัญญาณแรงดันคร่อมโวลต์เมื่อมุมทริกเกอร์ เท่ากับ 30 คือมีสัญญาณทริกเอสซอร์  $R_1$  ที่มุม 90 วัตินากระแส จะมีกระแสไหลจาก เฟส R ผ่านไครอด  $Y_2$  สู่อุปกรณ์ Y เพราะแรงดันเฟส R สูงกว่าเฟส Y เมื่อถึงมุม 120 แรงดันเฟส Y สูงกว่าเฟส B จึงทำให้กระแสที่ไหลผ่านไครอด  $Y_2$  เปลี่ยนไปไหลผ่าน  $B_2$  แทน และเมื่อถึงมุม 210 ก็มีสัญญาณทริกเอสซอร์  $Y_1$  วัตินากระแส ผ่านทาง  $B_2$  ดังแสดงสัญญาณทริกและช่วงเวลาทีเอสซอร์และไครอดนากระแสในรูป 2.21



รูปที่ 2.21 สัญญาณของแรงดันคร่อมโวลต์ที่มุม 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 2.22 แสดงสัญญาณของแรงดันคร่อมรีเลย์และสัญญาณทริกเกอร์แก่เอสซีอาร์ เมื่อมุมทริกเกอร์  $\alpha$  เท่ากับ  $120^\circ$  จะมีสัญญาณทริกเกอร์เอสซีอาร์  $R_1$  จำนวน 180 เอสซีอาร์  $R_1$  จะนำกระแสให้ไหลจากเฟส R สู่อุปกรณ์ B จนกระทั่ง  $V_{RB}$  ลดลงสู่ศูนย์ สำหรับในกรณีที่รีเลย์เกิดความต้านทาน กระแสจะตกลงสู่ศูนย์ เอสซีอาร์  $R_1$  ก็จะหยุดนำกระแสแต่ถ้าเป็นอินคัลติเพรทรีลเลย์ กระแสจะลดลงเป็นศูนย์หลังจากแรงดัน  $V_{RB}$  เป็นศูนย์แล้วและมีสัญญาณทริกเกอร์เอสซีอาร์  $Y_1$  ที่มุม  $300^\circ$



รูปที่ 2.22 สัญญาณของแรงดันคร่อมรีเลย์ที่มุมทริกเกอร์  $120^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

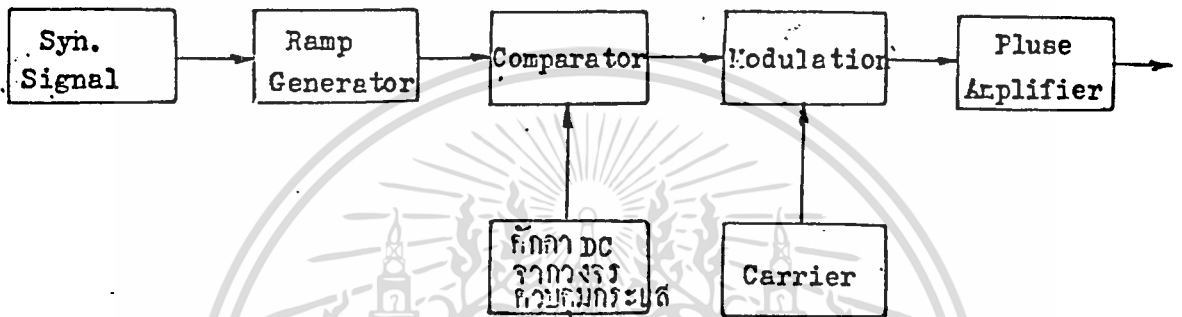
จะสังเกตว่า สามารถเปลี่ยนมุมทริกเกอร์ ตั้งแต่ 0 จนถึงมุม 180 เมื่อ  $\alpha = 180$  แรงดันเอาต์พุตจะเป็นศูนย์วาลท์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสร้างสัญญาณจุดฉนวน (Trigger Circuit) ของเอสซีอาร์

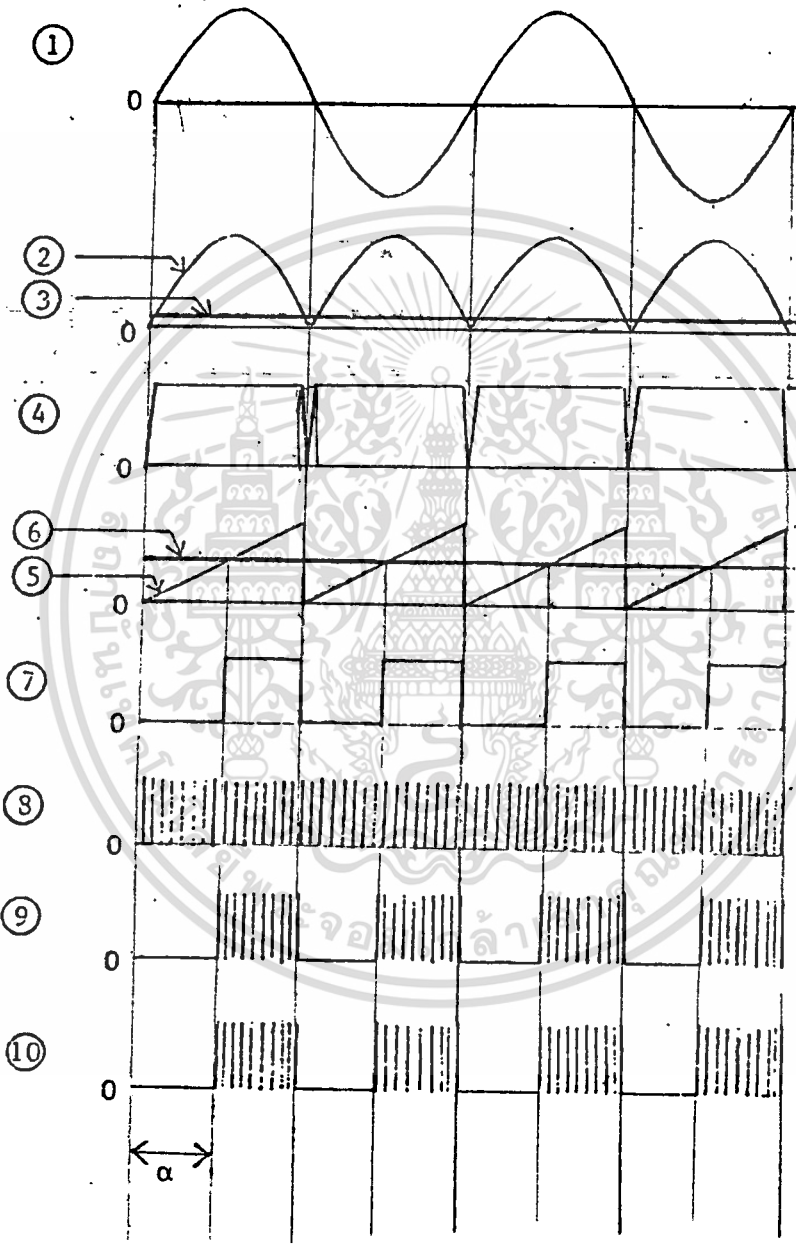
วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นนั้น เป็นส่วนที่หาหน้าที่ควบคุมเอสซีอาร์ ให้เริ่มและหยุดทำงาน ดังนั้น จึงเป็นส่วนที่จะควบคุมศักดาไฟฟ้าตรงที่ทางออกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อจ่ายกำลังให้แก่มอเตอร์ ซึ่งมีลำดับการทำงานของวงจร ดังรูป



รูปที่ 2.23 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณจุดฉนวน

วงจรสร้างสัญญาณจุดฉนวน มีหลักการทำงานดังนี้คือ

กระแสสลับ 220 โวลต์ จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณเสกคาสลับ 15 โวลต์ผ่านไดโอด ทำให้ได้สัญญาณเสกคาไฟฟ้าตรงชนิดเต็มคลื่น (Full Wave) ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกแปลงให้เป็น สัญญาณแรมป์ (Ramp Signal) ดังรูปคลื่นที่ (5) สัญญาณแรมป์ที่ได้นี้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับศักดาไฟฟ้าตรงที่ได้จากวงจรควบคุมกระแสตรง(6) จุดซึ่งศักดาไฟฟ้าควบคุมและสัญญาณแรมป์ตัดกันจะทำให้เกิดสัญญาณจุดฉนวนที่ได้ออกมาดังรูปคลื่นที่ (7) สัญญาณจุดฉนวนที่ได้นี้ จะถูกนำไปผสม (modulation) กับสัญญาณพัลส์ (Pulse) เล็กดังรูปที่(8) ซึ่งเมื่อรวมกันแล้ว จะได้สัญญาณออกมามาดังรูปคลื่นที่(9),(10) จากนั้นจึงนำสัญญาณมาขยายโดยการ Pulse Amplifier เพื่อให้มีศักดาที่เหมาะสม จึงจะได้สัญญาณจุดฉนวนที่สมบูรณ์ สัญญาณจุดฉนวนที่ได้นี้จะมีเฟสเดียวกับศักดาไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ดังนั้น ถ้าศักดาไฟฟ้าควบคุมเบสิชเปลี่ยนแปลงไป มุมจุดฉนวนก็จะเบสิชเปลี่ยนแปลงไปด้วย กล่าวคือ ถ้าศักดาไฟฟ้าควบคุมเพิ่มขึ้น มุมจุดฉนวนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และจากวงจรกล่าวถึงนี้ เราได้กำหนดความสูงของสัญญาณแรมป์เป็น 5 โวลต์ ดังนั้น เมื่อศักดาไฟฟ้าควบคุมมีพิสัย 0-5 โวลต์ พิสัยของมุมจุดฉนวนก็จะเป็น 0 องศา ถึง 180 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะและสัญญาณที่ส่วนต่างๆของวงจรสร้างสัญญาณจุดฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ต้องใช้ Pulse Amplifier แบบที่ใช้หม้อแปลงเป็นวงจรส่วนขยาย สัญญาณจุดฉนวน เพราะว่าถ้าวงจรสร้างสัญญาณจุดฉนวนและวงจรกำลังต่อกันโดยตรงแล้ว จะมีปัญหาการวิเคราะห์ระบบกราวด์ และปัญหาเนื่องจากวงจรสร้างสัญญาณจุดฉนวนอาจจะเสียหายได้เมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาด จึงจำเป็นต้องแยกวงจรออกจากกันโดยการใช้ไอโซเลท (Isolate)

วงจรแยกวงจรจุดฉนวนออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

จุดประสงค์ของวงจรนี้เพื่อกันไม่ให้กระแสไฟฟ้ามาทำลายวงจรจุดฉนวน เมื่อเกิดการลัดวงจรในบริเวณใดส่วนหนึ่งของวงจรกำลัง วงจรนี้มีอุปกรณ์สำคัญคือ อีโอบริค (opto coupler / isolater) ซึ่งเป็น ไอซี ที่ทำหน้าที่เป็นตัวไอโซเลท ซึ่งภายในจะประกอบด้วย ไดโอดเปล่งแสง (Pn Infrared Emitting Diode) เป็นตัวรับสัญญาณทรานซิสเตอร์แล้ว เปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง และทรานซิสเตอร์ (NPN Photo transistor) ดังรูป

อีโอบริคที่ใช้ในวงจรนี้จะใช้เบอร์ 4N25 ซึ่งคุณสมบัติของอุปกรณ์นี้จะแสดงไว้ที่ภาคผนวกท้ายเล่ม

### บทที่ 3

#### มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ได้รับความนิยมนอย่างสูง เมื่อนำมาใช้ขับเคลื่อนในอุตสาหกรรมทั้งนี้เพราะว่ามอเตอร์ชนิดนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบได้ง่าย โดยเปลี่ยนแปลงระดับศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขั้วอาร์เมเจอร์ หรือ เปลี่ยนแปลงปริมาณสนามแม่เหล็กที่ขั้วฟิลล์ของมอเตอร์เท่านั้น ต่อมาเมื่อวิวัฒนาการของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดกึ่งตัวนำได้เจริญอย่างรวดเร็ว จึงได้เกิดการพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์ กว้าง เพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีผลทำให้สามารถออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานได้ทีละละและสะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง จึงเป็นที่นิยมใช้กันในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะงานที่ต้องการขับเคลื่อนที่ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดก็ตาม

ในการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง จำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติของมอเตอร์วงจรเสมือนทางไฟฟ้า และโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ด้วย ในรูปที่ 3.1 จะเป็นการอธิบายวงจรเสมือนทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรง ทิศทางการไหลของกระแสเข้าขั้วอาร์เมเจอร์เป็นบวก ทำให้ศักดาไฟฟ้าคร่อมมอเตอร์เป็นบวก และ ส่งพลังงานเข้ามอเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุน แรงบิดของมอเตอร์ที่เปลี่ยนมาจากพลังงานไฟฟ้า จะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงบิดจากโหลด และ แรงบิดจากแรงเสียดทานของมอเตอร์

#### ชนิดของมอเตอร์

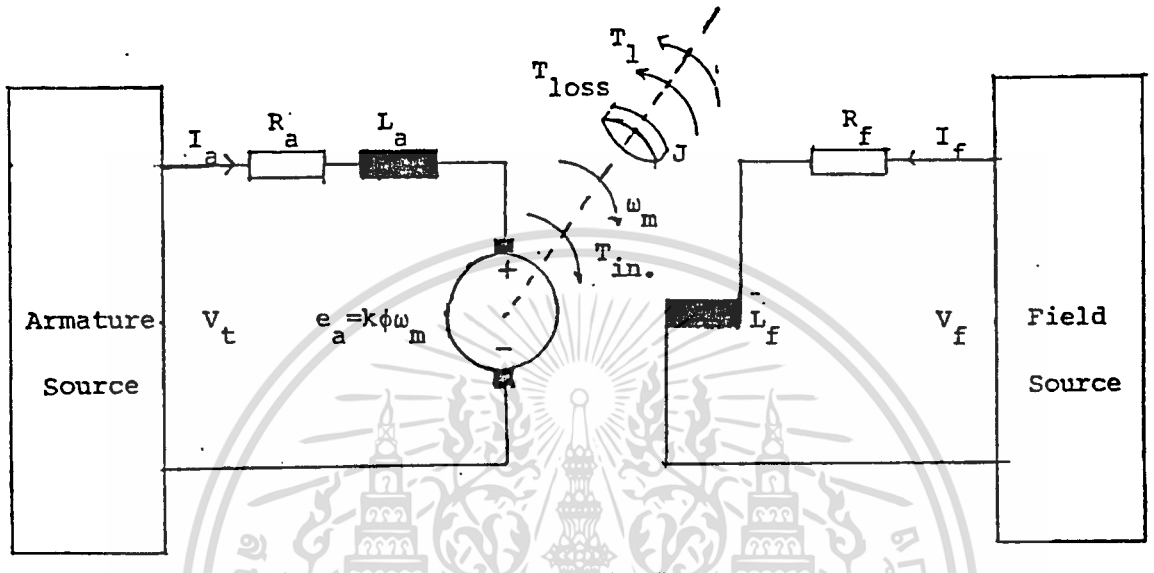
มอเตอร์กระแสตรงสามารถแบ่งตามลักษณะของวงจรฟิลล์ได้ 3 แบบคือ

- 1) มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (Series Field DC. Motor) เป็นการชดเชยฟิลล์อนุกรมกับวงจรอาร์เมเจอร์
- 2) มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน (Shunt Field DC. Motor) เป็นการชดเชยฟิลล์ขนานกับวงจรอาร์เมเจอร์
- 3) มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separate Field DC. Motor) เป็นการแยกวงจรของชดเชยฟิลล์กับวงจรอาร์เมเจอร์ ซึ่งวงจรไฟฟ้าเลี้ยงจะแยกเป็นอิสระต่อกัน

สมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรงมีดังนี้

$$V_f = R_{fif} + L_{fdif}/dt \quad v. \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรเสมือนทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรง

$$V_t = K\phi\omega_m + L_a di_a/dt + R_a i_a \quad \text{v.} \quad (3.2)$$

$$V_L = K\phi i_a - J d\omega_m/dt - B\omega_m \quad \text{v.} \quad (3.3)$$

แต่เมื่อมอเตอร์อยู่ในสภาวะที่เสถียรภาพ ค่า  $i_f$ ,  $i_a$ ,  $\omega_m$  จะคงที่ สมการของมอเตอร์จะเป็นดังนี้

$$V_f = R_f i_f \quad \text{v.} \quad (3.4)$$

$$V_t = K\phi\omega_m + R_a i_a \quad \text{v.} \quad (3.5)$$

$$T_L = K\phi i_a - T_{loss} \quad \text{v.} \quad (3.6)$$

ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากมอเตอร์หมุน (Back emf.)

$$e_a = K\phi\omega_m = F(i_f) \quad \text{v.} \quad (3.7)$$

สมการแรงบิดภายในมอเตอร์ คือ

$$T = K\phi i_a \quad \text{N.m} \quad (3.8)$$

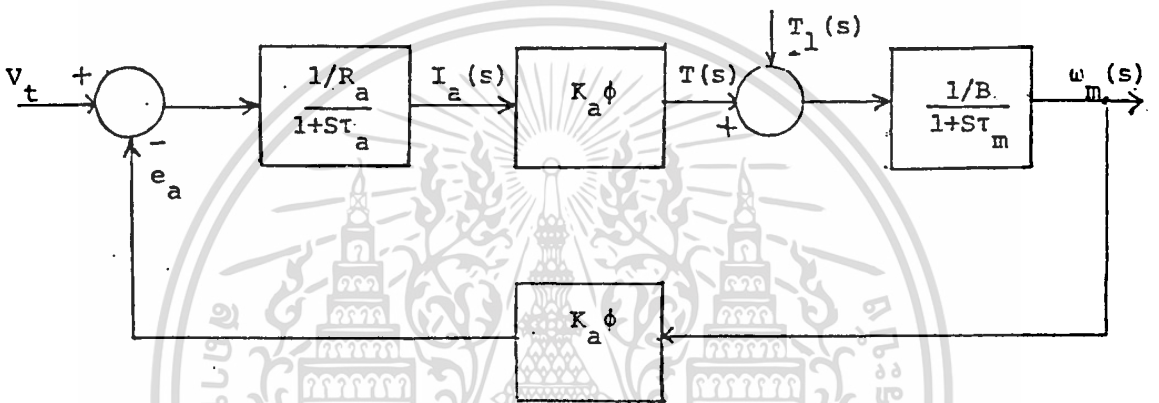
แทนค่า  $i_a$  ในสมการที่ (3.5)

$$\omega_m = V_t/K\phi - R_a T/(K\phi)^2 \quad \text{rad/s} \quad (3.9)$$

$$T = T_L + T_{loss}(B\omega_m) \quad \text{N.m} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.2 จะแสดง Block Diagram ของ DC. Motor ซึ่งได้มาจาก การแก้สมการคณิตศาสตร์ (Laplace Transform) จากสมการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรง  
 จากรูป 3.2  $T_a = L_a/R_a =$  Electrical time constant of Motor Armature ect.  
 $T_m = J/B =$  Mechanical time constant of Motor

ค่าคงที่ของเวลาทั้งสองนี้ เราจะนำมาใช้คำนวณการสร้างความควบคุม (Controller) ย้อนกลับวิธีที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้น สามารถทำให้ uly ปรับระดับศักดาไฟฟ้าที่จะป้อนให้ขั้วของอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ( $V_t$ ) ถ้า ความต้านทานของขั้วอาร์เมเจอร์ที่มีค่าน้อย ระดับศักดาไฟฟ้าที่ขั้วอาร์เมเจอร์จะ แปรผันโดยตรงกับความเร็วของมอเตอร์และเป็นอิสระกับแรงบิดของไหลล วิธีที่จะ ควบคุมความเร็วของมอเตอร์อีกวิธีหนึ่งคือการปรับกระแสเข้าขั้วฟิลด์ของมอเตอร์ ( $I_f$ ) ซึ่งเป็นการปรับพรีคส์ต่อขั้วแม่เหล็ก ( $\phi$ ) ของมอเตอร์นั่นเอง ถ้าชั้หัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองวิธีรวมกันจะสามารถปรับความเร็วได้ในช่วงกว้างมากขึ้น

ถ้าปรับกระแสไฟฟ้าให้คงที่ที่ติดัก จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดเป็นเส้นตรง มีความชันเป็นค่าลบน้อยๆ ดังรูปที่ 3.3 ถ้าเปลี่ยนค่าโวลท์แดงที่อาร์เมเจอร์ไปอีกค่าหนึ่ง ค่าแรงของ เส้นตรงที่ติดักกับเส้นของแรงบิดก็จะเปลี่ยนไปด้วย ถ้าขั้วอาร์เมเจอร์ได้รับระดับศักดาที่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถควบคุมให้หมุนจากความเร็วรอบต่ำจนถึงความเร็วรอบปกติ ดังกราฟรูป 3.3 โดยที่  $V_{t1} > V_{t2}$  ถ้าค่าของแรง ฉะยของมอเตอร์และโหลดมีค่าบวก เมื่อลดระดับศักดาไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ให้เป็นศูนย์ทันทีทันใด มอเตอร์จะยังไม่หยุดหมุน เนื่องจากมอเตอร์มีแรง ฉะยอยู่ และทำให้เกิดแรง เคลื่อนไฟฟ้ากลับทิศทางขึ้น ( $-V_t$ ) ที่ขั้วอาร์เมเจอร์ และจะจ่ายพลังงานกลับออกมาให้กับแหล่งจ่ายไฟ เต็ม ซึ่งเราจะเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) และมอเตอร์จะ หมุนช้าลง เพื่อจะจนหยุดหมุนเมื่อมอเตอร์หมดแรง ฉะย

#### การหยุดมอเตอร์กระแสตรง

เนื่องจากถ้าปล่อยให้มอเตอร์หยุดหมุนเองอาจต้องใช้เวลามาก ซึ่ง บางครั้งหรืองานบางอย่างมีความจำเป็นต้องให้มอเตอร์หยุดหมุนโดยเร็ว หรือหยุด งานทันทีทันใด จึงต้องมีการช่วยหยุดมอเตอร์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1) การเบรคโดยใช้ความฉะย จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับการเบรคใน รถยนต์ ส่วนประกอบจะเป็น งานเบรค ผ้าเบรค และส่วนจ่ายกำลังเบรค ซึ่ง อาจเป็นคอนแทคไฟฟ้า หรือเป็นแบบไฮดรอลิกก็ได้ งานกรสิที่เบรคโดยใช้ไฟฟ้าไป บังคับผ้าเบรคนั้น แรงเบรคฉะยตรงกับไฟฟ้าที่ป้อน วิธีนี้สามารถเบรคได้ โดยมอเตอร์ที่มีแรง ฉะยสูง โดยเมื่อตัดแหล่งจ่ายไฟออก เบรคจะทำงานทันที

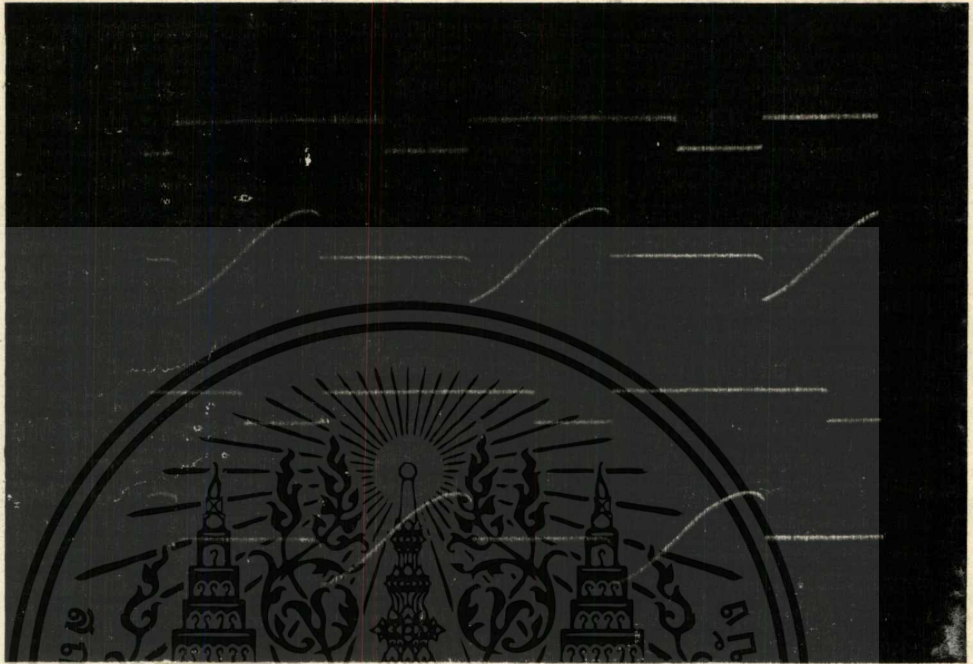
#### 2) การเบรคโดยทางไฟฟ้า

I) Dynamic Brake วิธีนี้จะอาศัยหลักการคือ เมื่อตัดแหล่งจ่ายไฟ ที่จ่ายให้มอเตอร์ออกไปแล้ว มอเตอร์จะหมุนช้าลงเรื่อยๆ ซึ่งมอเตอร์จะยังมีแรง เคลื่อนเหนียวๆ เหลืออยู่ ดังนั้นถ้าต่อตัวความต้านทานเข้าที่วงจรรอาร์เมเจอร์ จะ มีกระแสซึ่งเกิดจากแรง เคลื่อนเหนียวๆ นี้ไหลผ่านตัวความต้านทาน ทั้งนี้เพราะ มอเตอร์จะ เปลี่ยนความ ฉะยของมอเตอร์ ซึ่งเป็นพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยส่วนหนึ่งด้วย ดังนั้นมอเตอร์จะหยุดหมุนเร็วว่าปกติ

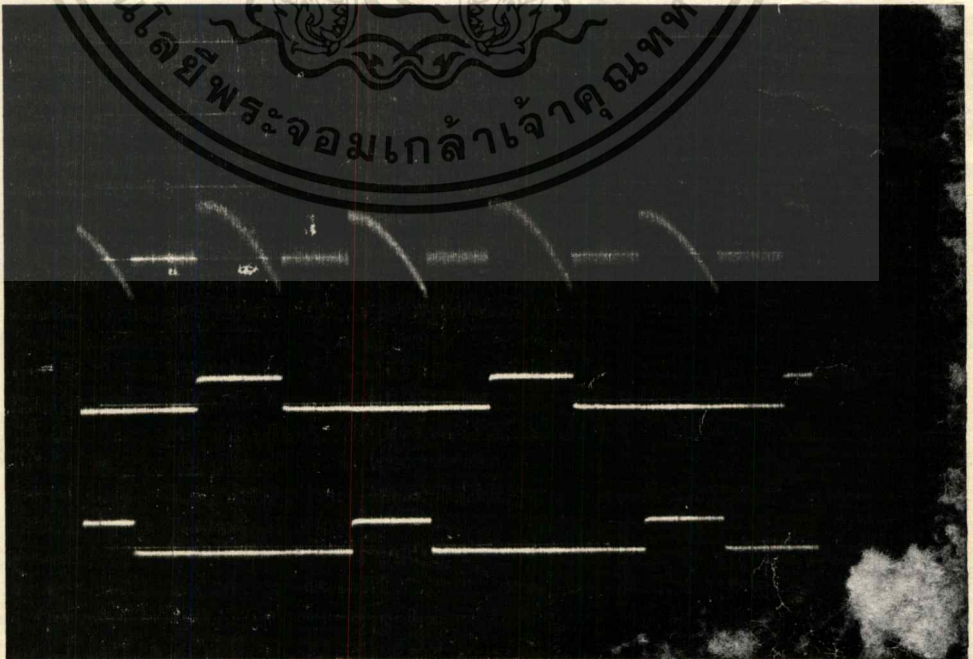
II) Plugging วิธีนี้เป็นการสลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้ กับมอเตอร์ชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนเร็วมาก แต่วิธีนี้จะทำให้เกิด ความร้อนมาก เนื่องจากมีกระแสไหลในอาร์เมเจอร์สูงมาก เกิดประกายไฟขึ้นที่ แปรงด้าน ทำให้อายุการดำเนินงานสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.2(ก) กราฟแสดงมุมที่นำกระแสและโวลต์ของเอสซีอาร์



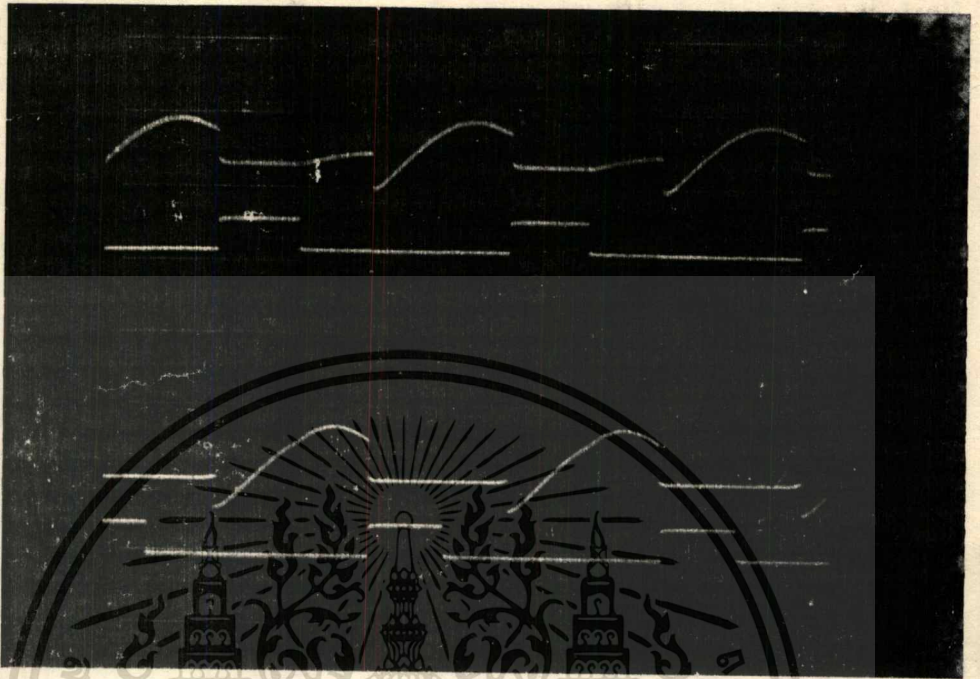
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.2(ก) ใช้กราฟแสดงมุมที่นำกระแสและกระแสไหลต่อประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองโหลดความต้านทาน

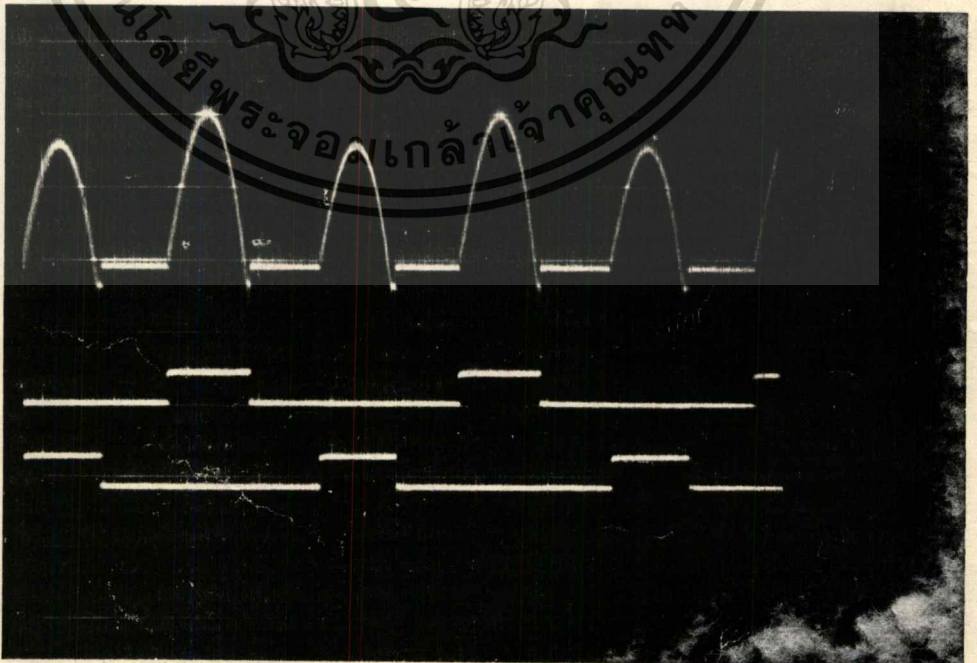
มุมทริก	โวลต์เตจ (V)	กระแส (A)
0	220	0.75
	220	1.5
	220	2.5
	215	4.75
	210	7.5
60	160	0.5
	155	2.5
	155	3.5
	150	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

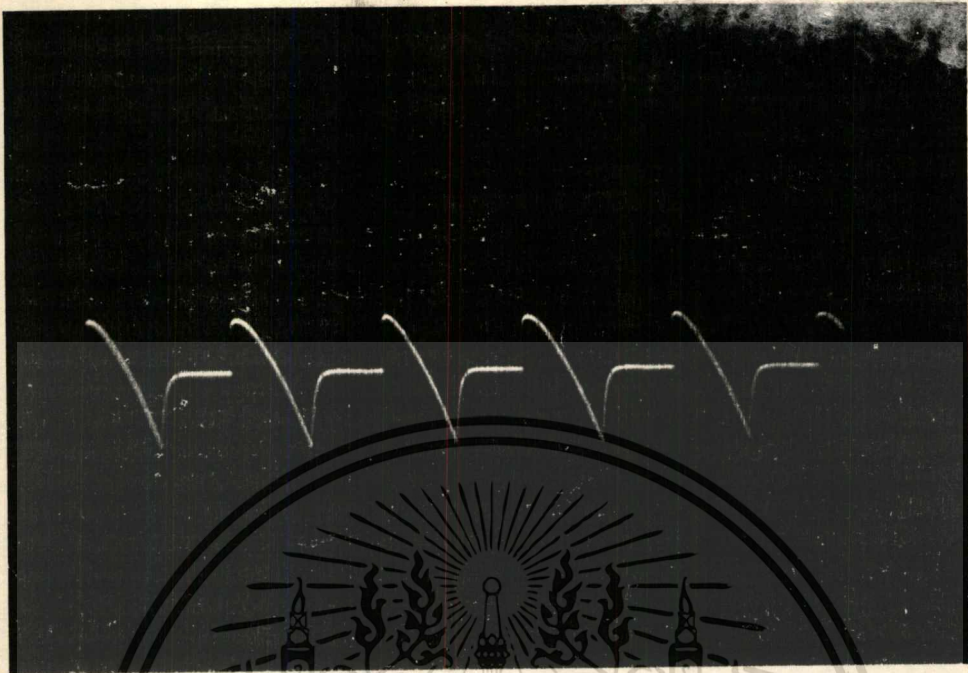
โพลตมอเตอร์



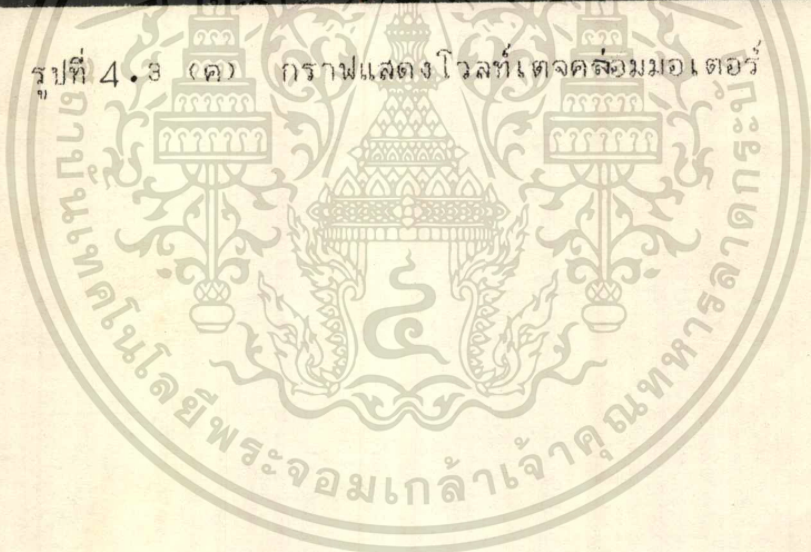
รูปที่ 4.3. ความถี่ของสัญญาณ และเวลาที่เฉยของแอลซีอาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า  
รูปที่ 4.4. การขึ้นและลงของสัญญาณ และระยะเวลาที่เฉยของแอลซีอาร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (ค) กราฟแสดงโวลต์เตจคอสโมเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของโหลตมอเตอร์

มุมทริก	โวลต์เตจ $E_u$ (V)	กระแส (A)	ความเร็วรอบ
0 $V_{in} = 200$	250	0.5	1495
	240	1	1419
	210	2.5	1248
	190	5	1118
	180	7.5	1040
60 $V_{in} = 210$	250	1.0	1495
	210	2.5	1248
	180	4.75	1040
	155	7.0	926
	140	10.0	818
120 $V_{in} = 260$	80	0.5	455
	50	1.0	266

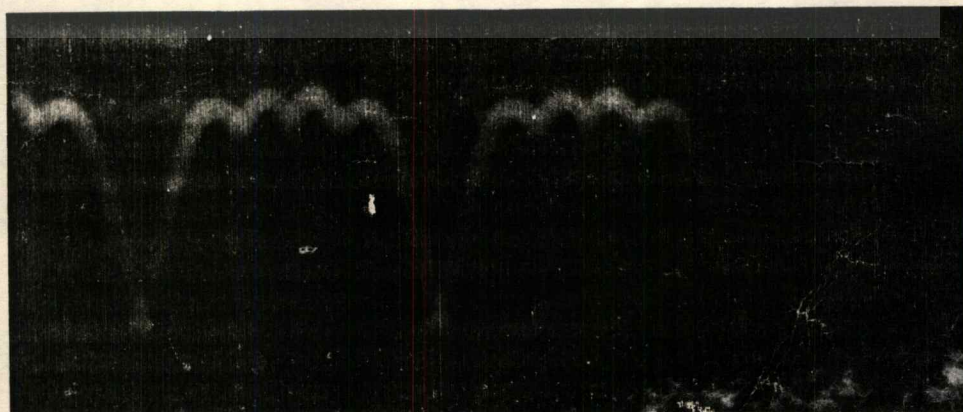
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองสามเฟส ซึ่งจะใช้การควบคุมแบบ Full wave half controlled โดยทดลองที่โหลดต่างๆ ดังนี้

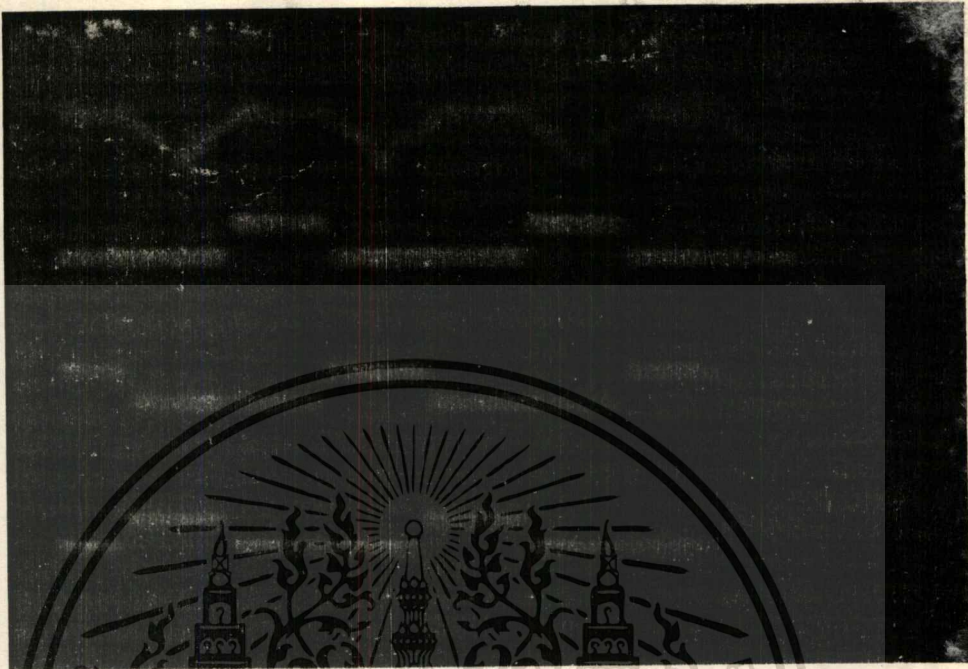
โหลดความต้านทาน



รูปที่ 4.4 (ก) กราฟแสดงมมทริก และกระแสโหลด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.4 ที่ขากภาพแสดงโวลท์ เตจค์ร้อม โหลดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4(ค) กราฟแสดงมมทริกที่  $\omega > 0$  และกระแสไหลต

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองของไหลตความต้านทาน

มมทริก	โวลต์เตจ (V)	กระแส(A)
0	250	1.0
	250	2.5
	250	5.0
	250	8.0
	250	14
30	245	1.5
	245	3.5
	240	11
	240	13.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

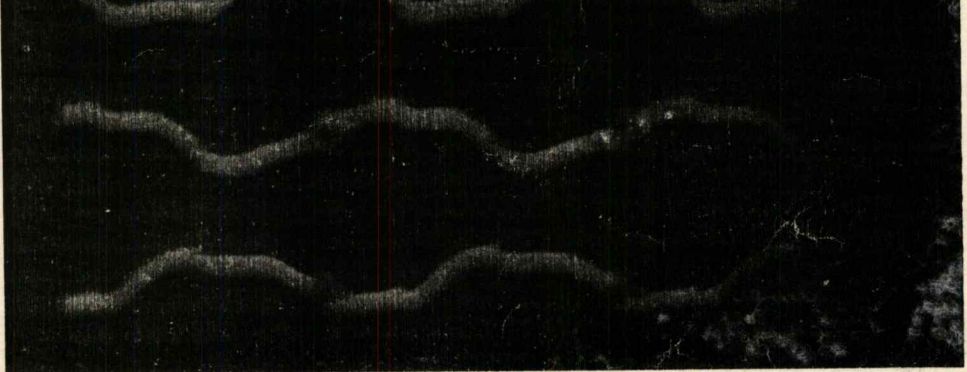
มมทริก	โวลท์เตจ (V)	กระแส (A)
60	230	2.0
	230	3.0
	230	5.0
	230	8.0
	225	13
90	200	0.5
	200	1.0
	200	4.5
	195	7.5
	190	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

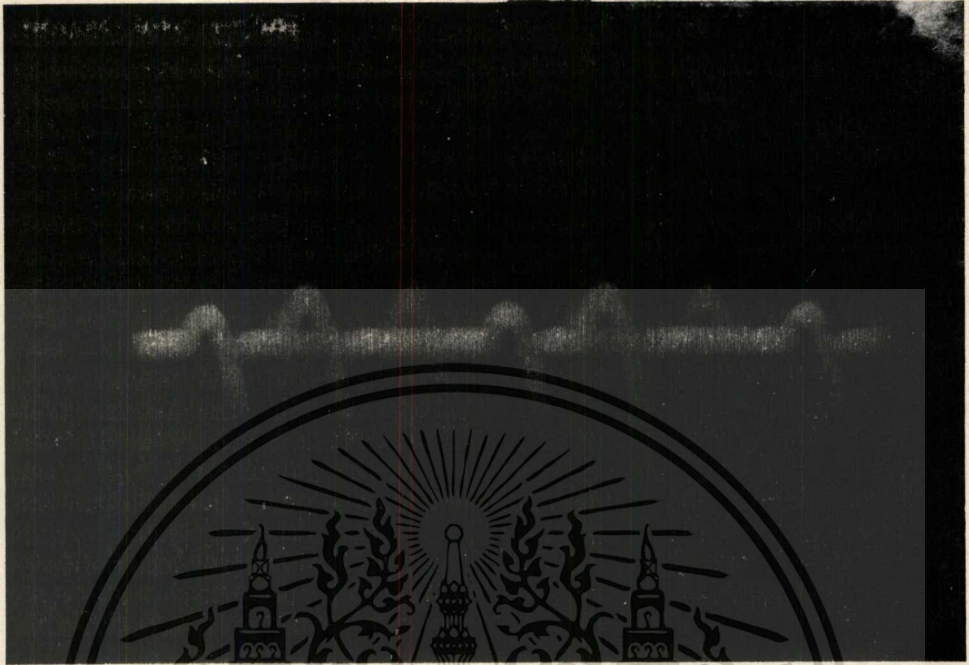
โหลตมอเตอว



รูปที่ 4.5 (ก) ภาพแสดงผลพิกัด และการผสมสีของโหลตมอเตอว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะที่ผลิตหรือศึกษาและโวลท์เตจหรืออิมบรอสส์  
รูปที่ 4.5 (ก)  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ค) กราฟแสดงโวลต์เตจคร่อมมอเตอร์

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองโพลีมอเตอร์

มุมทริก	โวลต์เตจ (E )	กระแส (A)	ความเร็วรอบ
30	230	1.25	1715
	280	2.5	1620
	270	6.0	1580
	260	9.0	1515
	250	14.0	1470

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

มุมทริก	โวลต์เตจ ( $E_u$ )	กระแส(A)	ความเร็วรอบ
60	290	0.75	1700
	275	2.0	1600
	265	4.0	1550
	250	7.5	1450
	230	11.5	1404
90	280	0.75	1620
	270	2.25	1580
	255	3.25	1500
	220	7.0	1350
	215	10.5	1300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

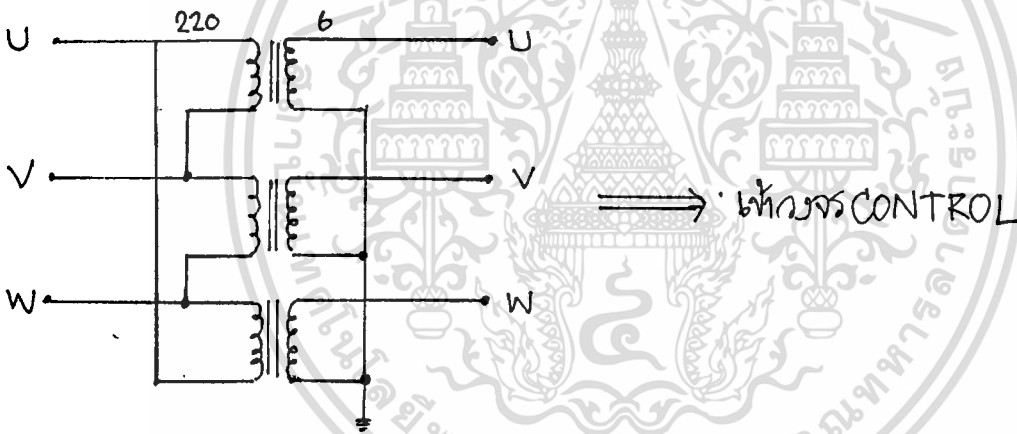
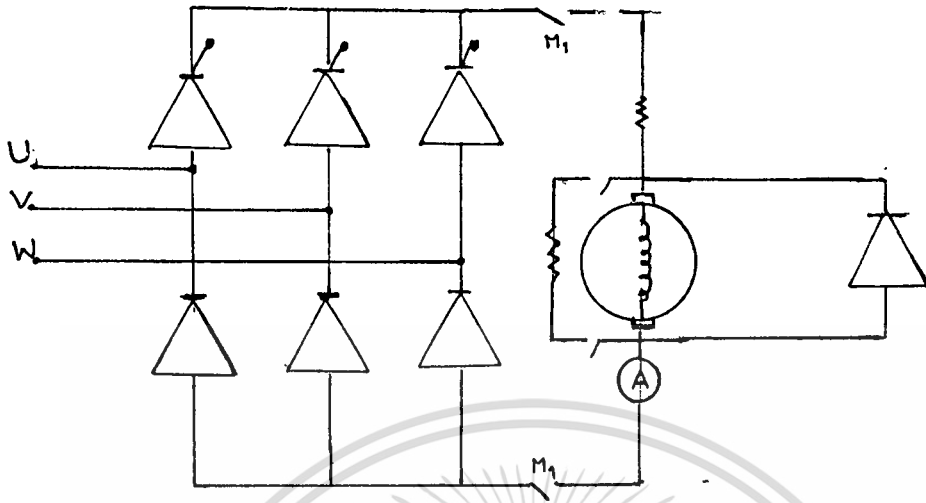
### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ภายใต้อัตรา  
ควบคุมเฟสดี เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ที่จะนำไปใช้งานเนื่องจากสามารถปรับ  
ความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ในช่วงที่กว้าง นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้อย่างมีราคา

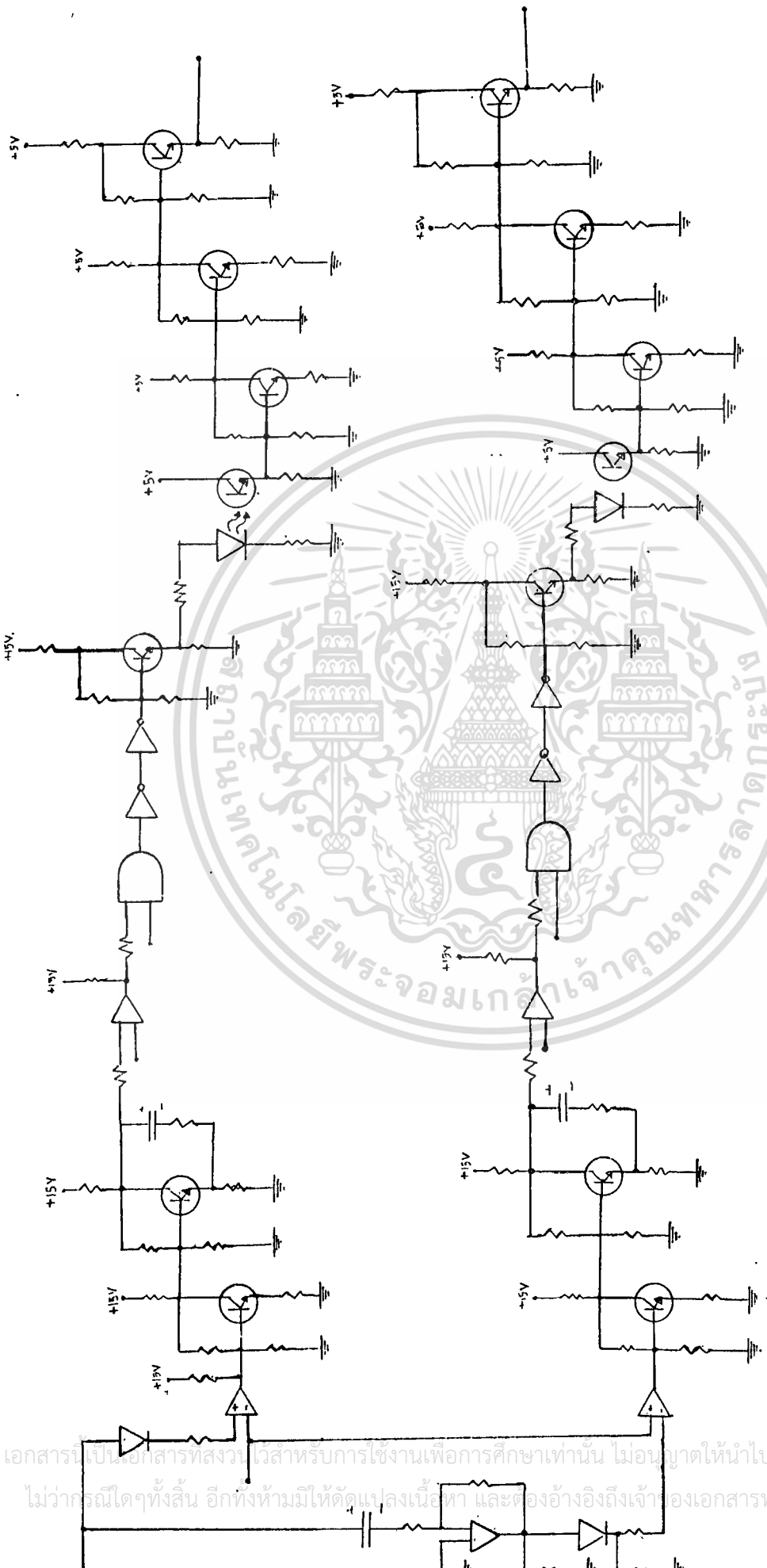
แต่ข้อผิดพลาดที่พบในการทดลองคือ เมื่อมีการปรับกระแสจากวงจรควบคุม  
จะเกิดการสั่น เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนบน line ซึ่งถ้าหากจะนำไปใช้งานจริง  
จะต้องมีการปรับปรุงวงจรหรืออีกเล็กน้อย



วงจร MAIN ๓φ

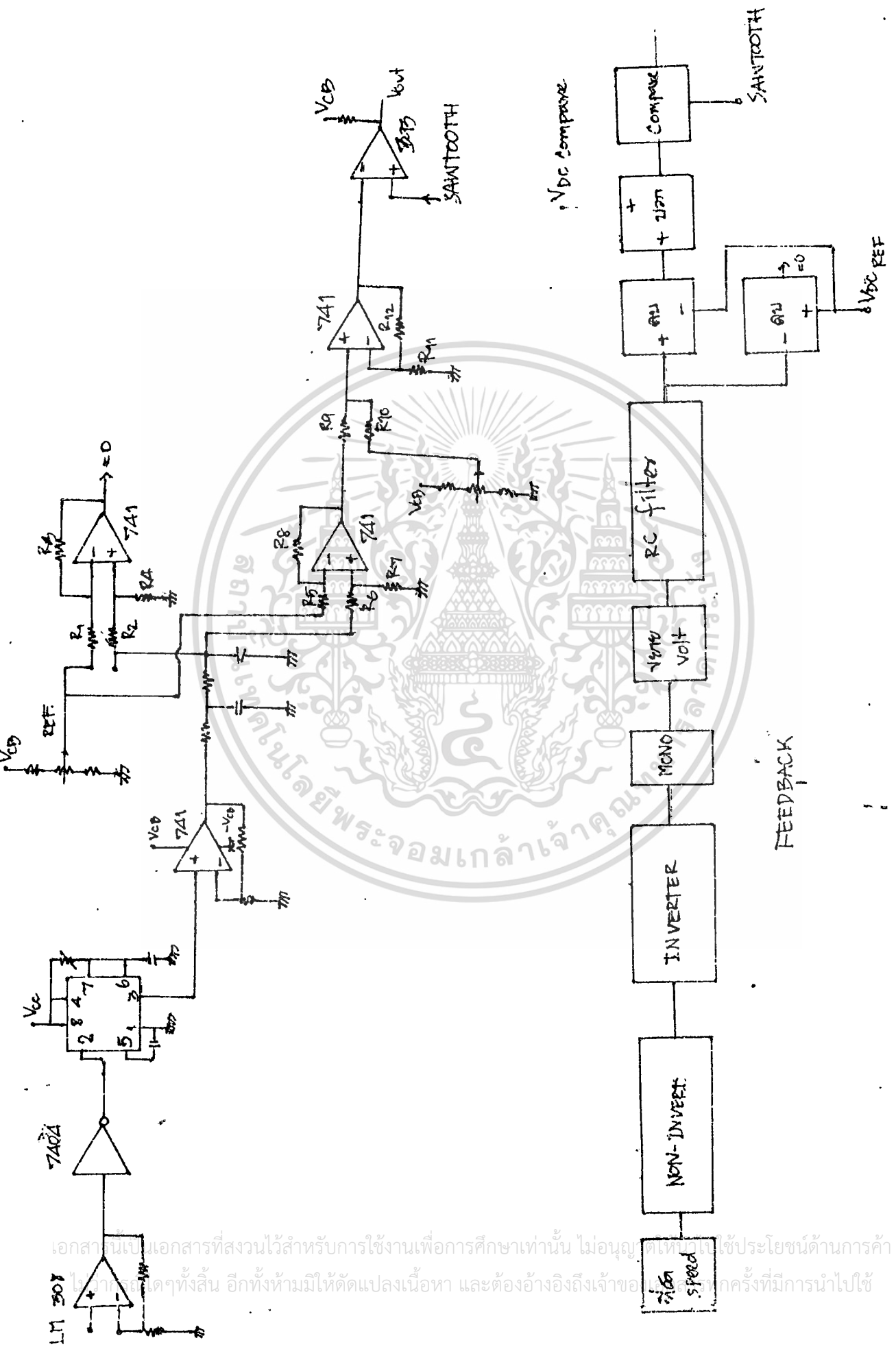


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจร CONTROL 1φ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHAPTER 1

## Introduction to the 555 Timer

Before we can fully appreciate the many applications that can be used with the type 555 timer presented in this book, we should take a look inside the device and see what it does.

The 555 integrated-circuit timer is a monolithic timing circuit packaged either as an 8-pin circular style TO-99 can, as an 8-pin mini-DIP, or as a 14-pin DIP, as shown in Fig. 1-1. Although the Signetics Corporation first introduced this device as the SE555/NE555, other manufacturers have since produced and marketed their own versions, which are summarized in Table 1-1. Recently, several companies have packed two independent 555 timers into a 14-pin DIP unit, called the 556 dual timer, shown in Fig. 1-2. An exception is the DS555, for dual 555, which is made by Teledyne. As seen in Table 1-1, most of the manufacturers make two types of 555 timers. In this case, the first number represents the type preferred for

Table 1-1. 555 Timer Manufacturers

Manufacturer	Type Number
Exar	XR-555
Fairchild	NE555
Intersil	SE555/NE555
Lithic Systems	LC555
Motorola	MC1455/MC1555
National	LM555/LM555C
Raytheon	RM555/RC555
RCA	CA555/CA555C
Texas Instruments	SN52555/SN72555

military applications which have somewhat improved electrical and thermal characteristics over their commercial counterparts. This is analogous to the 5400 and 7400 series convention for TTL integrated circuits.

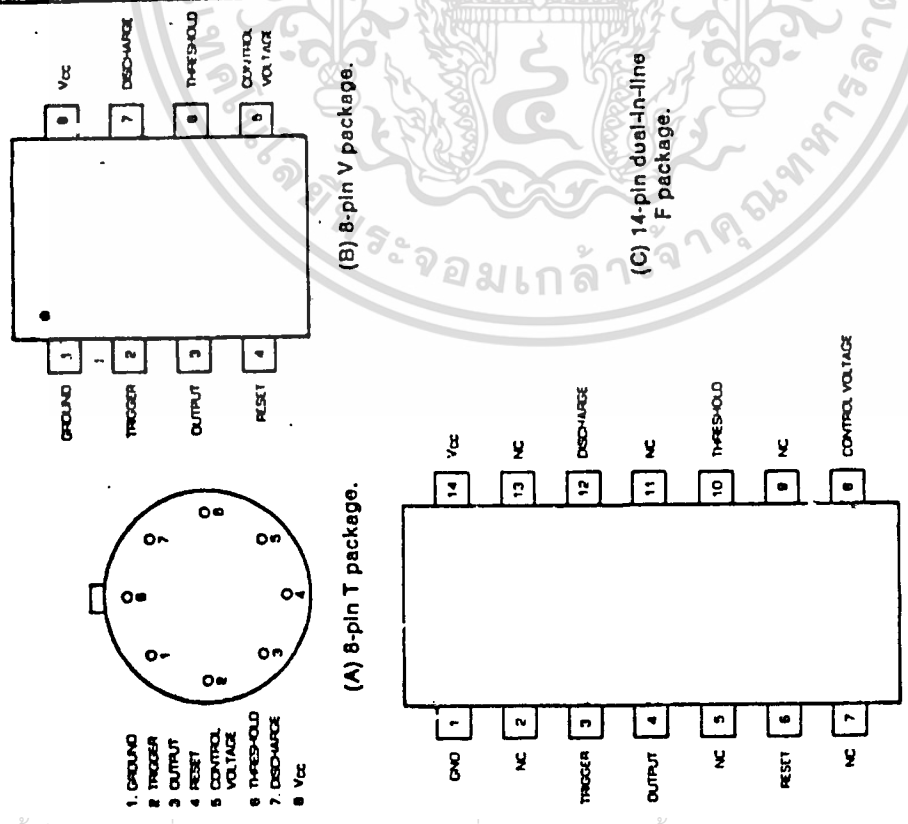


Fig. 1-1. Package styles of the 555 timer.

Inside the 555 timer is the equivalent of over 20 transistors, 15 resistors, and 2 diodes, depending on the manufacturer. The equivalent circuit for the 555 timer made by Signetics is shown in Fig. 1-3, and for comparison, the devices made by RCA, National Semiconductor, and Exar are shown in Figs. 1-4, 1-5, and 1-6 respectively. In any case, any of these equivalent circuits can be simplified to the block diagram of Fig. 1-7, providing the functions of control, trigger-

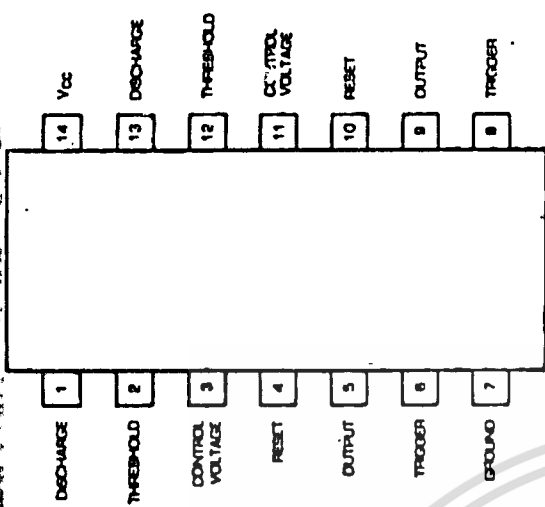


Fig. 1-2. The 555 dual timer.

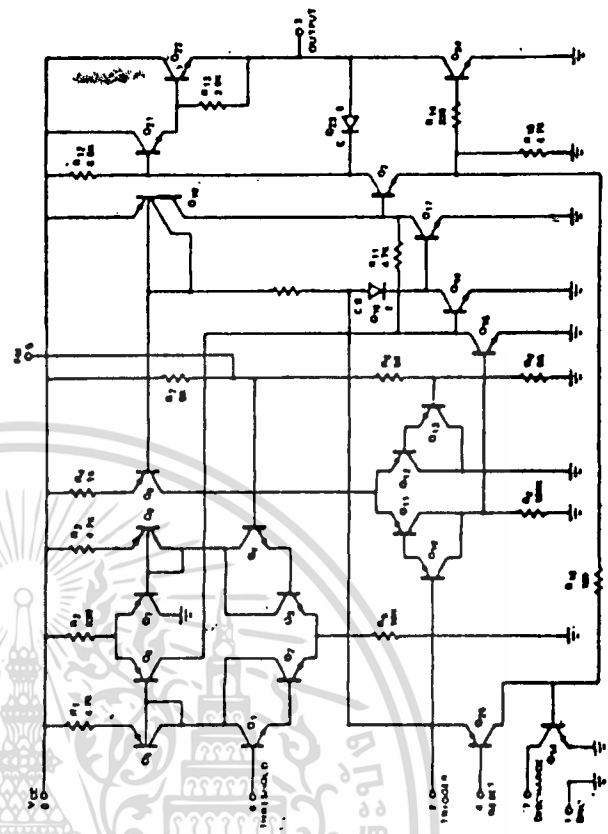
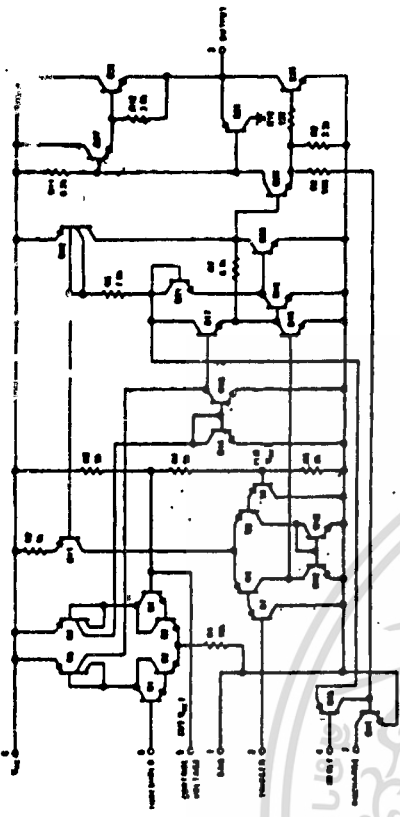


Fig. 1-3. 555 timer equivalent circuit.

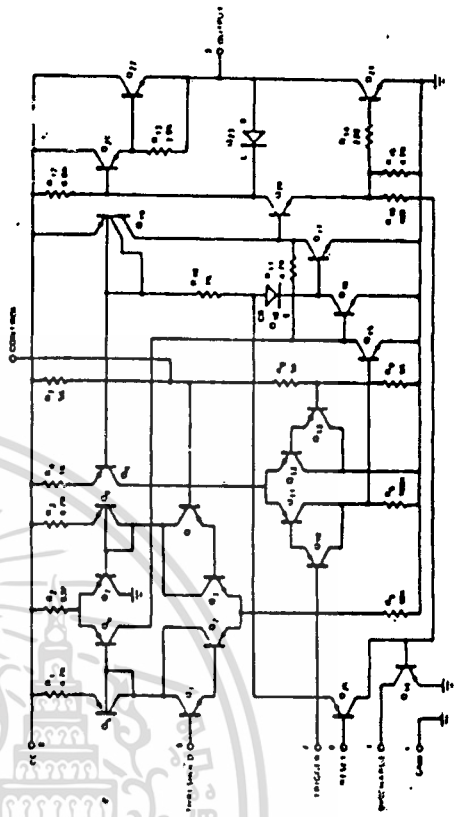
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



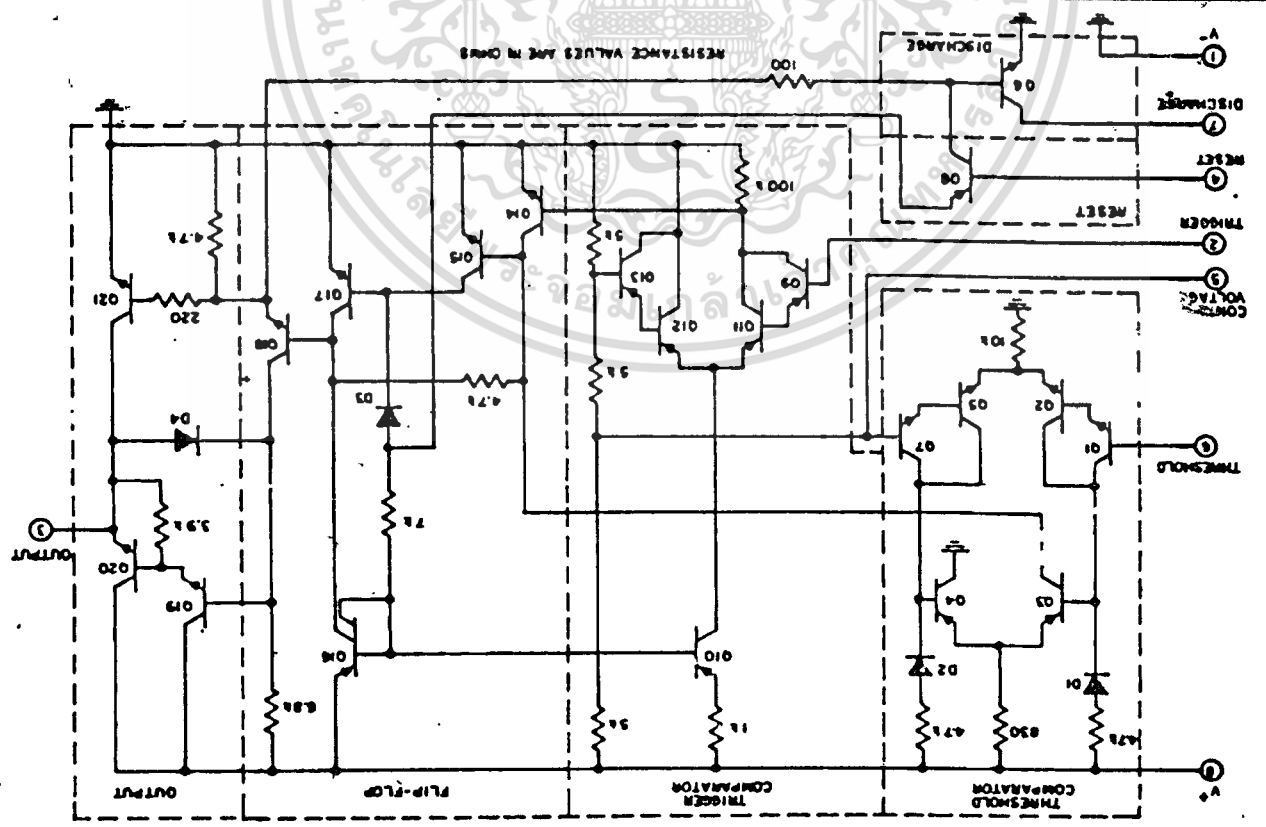
Courtesy National Semiconductor, Santa Clara, Ca.  
 Fig. 1-5. 555 timer equivalent circuit.

ing, level sensing or comparison, discharge, and power output. In Chapters 2 and 3, the functions of each stage as they relate to monostable and astable operation will be explained.

Table 1-2 lists the specific electrical characteristics for the 555 timer. These are typical for all of the types listed in Table 1-1. Fig. 1-8 shows the typical performance curves. We should note that the 555 timer possesses a high degree of accuracy and stability. The initial monostable timing accuracy is typically within 1% of its calculated value, and exhibits negligible (0.1%/V) drift with the supply;



Courtesy Eser Integrated Systems, Sunnyvale, CA  
 Fig. 1-6. 555 timer equivalent circuit.



Courtesy RCA, Somerville, NJ.  
 Fig. 1-4. 555 timer equivalent circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

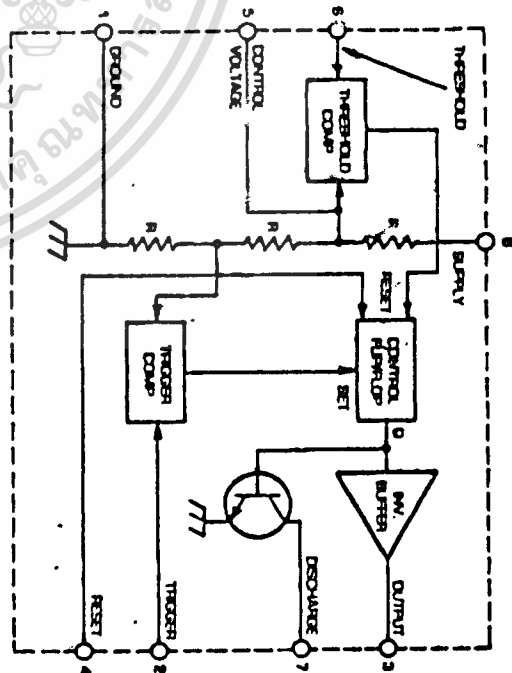
**Table 1-2. The 555 Linear Integrated Circuit**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CC</sub> = +5V to +15 unless otherwise specified)								
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE 555			NE 555			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage	V <sub>CC</sub> = 5 V R <sub>L</sub> = ∞ V <sub>CC</sub> = 15 V R <sub>L</sub> = ∞ Low State, Note 1 R <sub>A</sub> , R <sub>B</sub> = 1 KΩ to 100 KΩ C = 0.1 μF Note 2	4.5		18	4.5		16	V
Supply Current				3	5		3	6
			10	12		10	15	mA
Timing Error			0.5	2		1		%
Initial Accuracy			30	100		50		ppm/°C
Drift with Temperature			0.005	0.02		0.01		%/Volt
Drift with Supply Voltage			2/3			2/3		X V <sub>CC</sub>
Threshold Voltage	V <sub>CC</sub> = 15 V V <sub>CC</sub> = 5 V	4.8	5	5.2		5		V
Trigger Voltage			1.45	1.67	1.9		1.67	
Trigger Current			0.5			0.5		mA
Reset Voltage		0.4	0.7	1.0	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current			0.1			0.1		mA
Threshold Current	Note 3		0.1	.25		0.1	.25	mA
Control Voltage Level	V <sub>CC</sub> = 15 V V <sub>CC</sub> = 5 V	9.6	10	10.4	9.0	10	11	V
	V <sub>CC</sub> = 15 V	2.9	3.33	3.8	2.6	3.33	4	V
Output Voltage Drop (low)	V <sub>CC</sub> = 15 V I <sub>OUT</sub> = 10 mA I <sub>OUT</sub> = 50 mA I <sub>OUT</sub> = 100 mA I <sub>OUT</sub> = 200 mA V <sub>CC</sub> = 5 V I <sub>OUT</sub> = 8 mA I <sub>OUT</sub> = 5 mA		0.1	0.15		0.1	.25	V
			0.4	0.5		0.4	.75	V
			2.0	2.2		2.0	2.5	V
			2.5			2.5		V
			0.1	0.25				V
Output Voltage Drop (high)	I <sub>OUT</sub> = 200 mA V <sub>CC</sub> = 15 V I <sub>OUT</sub> = 100 mA V <sub>CC</sub> = 15 V V <sub>CC</sub> = 5 V		12.5			12.5		V
Rise Time of Output	V <sub>CC</sub> = 15 V	13.0	13.3		12.75	13.3		V
Fall Time of Output	V <sub>CC</sub> = 5 V	3.0	3.3		2.75	3.3		V
			100			100		nsec
			100			100		nsec

NOTES:  
 Supply Current when output high typically 1mA less.  
 Tested at V<sub>CC</sub> = 5V and V<sub>CC</sub> = 15V  
 This will determine the maximum value of R<sub>A</sub> & R<sub>B</sub>. For 15V operation, the total R<sub>A</sub> & R<sub>B</sub> must be less than 200 ohms.

be used. In all cases, refer to the 8-pin 555 timer, unless otherwise specified. For those circuits using two or more timers, the 556 dual version can be used.

Fig. 1-7. Simplified version of the previous equivalent circuit.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**MOTOROLA**

**NPN PHOTOTRANSISTORS AND  
PN INFRARED EMITTING DIODES**

... gallium arsenide LED optically coupled to silicon phototransistors designed for applications requiring electrical isolation, high-current transfer ratios, small package size and low cost; such as interfacing and coupling systems, phase and feedback controls, solid-state relays and general-purpose switching circuits.

- High Isolation Voltage —  $V_{ISO} = 7500$  V (Min)
- High Collector Output Current @  $I_f = 10$  mA —  $I_C = 5.0$  mA (Typ) — 4N25,A,4N28  
 $I_C = 2.0$  mA (Typ) — 4N27,4N28
- Economical, Compact, Dual-In-Line Package
- Excellent Frequency Response — 300 kHz (Typ)
- Fast Switching Times @  $I_C = 10$  mA  
 $t_{on} = 0.87$   $\mu$ s (Typ) — 4N25,A,4N28  
 $t_{off} = 2.1$   $\mu$ s (Typ) — 4N27,4N28  
 $t_{off} = 11$   $\mu$ s (Typ) — 4N25,A,4N28  
 $t_{off} = 6.0$   $\mu$ s (Typ) — 4N27,4N28
- 4N25A is UL Recognized File Number E54915

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

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

**INFRARED-EMITTING DIODE MAXIMUM RATINGS**

Reverse Voltage	$V_R$	3.0	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	100	mA
Forward Current — Peak Pulse Width = 300 $\mu$ s, 2.0% Duty Cycle	$I_{F(pk)}$	3.0	Amps
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Transistor Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150	mW
		2.0	mW/ $^\circ\text{C}$

**PHOTOTRANSISTOR MAXIMUM RATINGS**

Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$	7.0	Volts
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	70	Volts
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Diode Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150	mW
		2.0	mW/ $^\circ\text{C}$

**TOTAL DEVICE RATINGS**

Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	250	mW
Equal Power Dissipation in Each Element Derate above $25^\circ\text{C}$		3.3	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction-Temperature Range	$T_J$	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)		260	$^\circ\text{C}$

\*Indicates JEDEC Registered Data.

**FIGURE 1 — MAXIMUM POWER DISSIPATION**

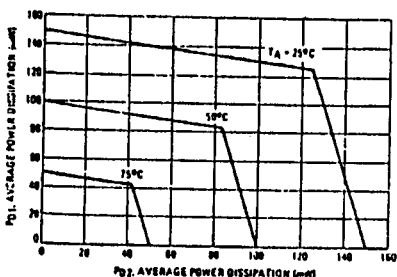
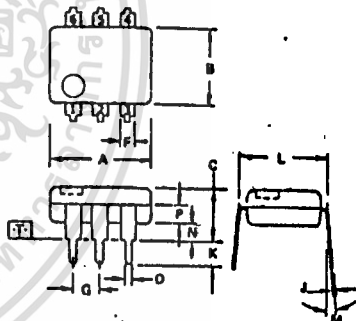
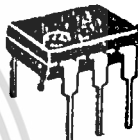


Figure 1 is based upon using limit values in the equation:  
 $T_{J1} - T_A = R_{\theta JA} (P_{D1} + K_{\theta} P_{D2})$   
 where:  
 $T_{J1}$  Junction Temperature ( $100^\circ\text{C}$ )  
 $T_A$  Ambient Temperature  
 $R_{\theta JA}$  Junction to Ambient Thermal Resistance ( $500^\circ\text{C}/\text{W}$ )  
 $P_{D1}$  Power Dissipation in One Chip  
 $P_{D2}$  Power Dissipation in Other Chip  
 $K_{\theta}$  Thermal Coupling Coefficient (120%)  
 Example:  
 With  $P_{D1} = 90$  mW in the LED  
 •  $T_A = 50^\circ\text{C}$ , the transistor  
 $P_{D2}$  must be less than 50 mW.

**4N25, 4N25A  
4N26  
4N27  
4N28**

**OPTO  
COUPLER/ISOLATOR  
TRANSISTOR OUTPUT**



- STYLE 1:  
 PIN 1. ANODE  
 2. CATHODE  
 3. NC  
 4\* EMITTER  
 5. COLLECTOR  
 6. BASE

- NOTES:  
 1. DIMENSIONS A AND B ARE DATUMS.  
 2. [E] IS SEATING PLANE.  
 3. POSITIONAL TOLERANCES FOR LEADS:  
 [G] 0.13 (0.005) [T] [M] 0.02  
 4. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.  
 5. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.4, 1972.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.13	8.89	0.320	0.350
B	8.10	8.60	0.240	0.260
C	7.97	5.08	0.115	0.200
D	8.41	8.51	0.016	0.020
E	1.07	1.28	0.040	0.050
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	0.70	0.30	0.009	0.012
H	2.54	3.81	0.100	0.150
I	7.87 BSC		0.300 BSC	
J	0.30	1.50	0.012	0.050
K	0.30	1.50	0.012	0.050
L	1.27	2.63	0.050	0.100
M	0.30	1.50	0.012	0.050
N	0.30	1.50	0.012	0.050
P	1.27	2.63	0.050	0.100

CASE 730A-01

# 4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

## LED CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
*Reverse Leakage Current ( $V_R = 3.0\text{ V}$ , $R_L = 1.0\text{ M ohms}$ )	$I_R$	—	0.005	100	$\mu\text{A}$
*Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.2	1.5	Volts
Capacitance ( $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C$	—	40	—	$\text{pF}$

## PHOTOTRANSISTOR CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $I_F = 0$ unless otherwise noted)

*Collector-Emitter Dark Current ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ , Base Open)	4N25, A, 4N26, 4N27 4N28	$I_{CEO}$	—	3.5	50	$\text{nA}$
*Collector-Base Dark Current ( $V_{CB} = 10\text{ V}$ , Emitter Open)		$I_{CBO}$	—	—	20	$\text{nA}$
*Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 100\ \mu\text{A}$ , $I_E = 0$ )		$V_{(BR)CBO}$	70	—	—	Volts
*Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 1.0\text{ mA}$ , $I_B = 0$ )		$V_{(BR)CEO}$	30	—	—	Volts
*Emitter-Collector Breakdown Voltage ( $I_E = 100\ \mu\text{A}$ , $I_B = 0$ )		$V_{(BR)ECO}$	7.0	8.0	—	Volts
DC Current Gain ( $V_{CE} = 5.0\text{ V}$ , $I_C = 500\ \mu\text{A}$ )		$h_{FE}$	—	325	—	—

## COUPLED CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

*Collector Output Current (1) ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ , $I_B = 0$ )	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	$I_C$	2.0 1.0	5.0 2.0	—	$\text{mA}$
Isolation Surge Voltage (2, 5) (60 Hz Peak ac, 5 Seconds) (60 Hz Peak)	*4N25, A *4N26, 4N27 *4N28 *4N25A	$V_{ISO}$	7500 2500 1500 500 1775	— — — — —	— — — — —	Volts
(60 Hz RMS for 1 Second) (3)						
Isolation Resistance (2) ( $V = 500\text{ V}$ )		—	—	$10^{11}$	—	Ohms
*Collector-Emitter Saturation ( $I_C = 2.0\text{ mA}$ , $I_F = 50\text{ mA}$ )		$V_{CE(sat)}$	—	0.2	0.5	Volts
Isolation Capacitance (2) ( $V = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )		—	—	0.5	—	$\text{pF}$
Bandwidth (4) ( $I_C = 2.0\text{ mA}$ , $R_L = 100\text{ ohms}$ , Figure 11 (2))		—	—	300	—	$\text{kHz}$

## SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	$I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	$t_d$	—	(0.07) 0.10	—	$\mu\text{s}$
Rise Time	Figures 6 and 8)	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	$t_r$	—	(0.8) 2.0	—	$\mu\text{s}$
Storage Time	$I_C = 10\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	$t_s$	—	(4.0) 2.0	—	$\mu\text{s}$
Fall Time	Figures 7 and 8)	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	$t_f$	—	(8.0) 8.0	—	$\mu\text{s}$

\*Indicates JEDEC Registered Data

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

(2) For this test LED pins 1 and 2 are common and phototransistor pins 4, 5, and 6 are common.

(3) RMS Volts, 60 Hz. For this test, pins 1, 2, and 3 are common and pins 4, 5, and 6 are common.

(4)  $I_F$  adjusted to yield  $I_C = 2.0\text{ mA}$  and  $I_C = 2.0\text{ mA}$  p-p at 10 kHz.

(5) Isolation Surge Voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating.

## DC CURRENT TRANSFER CHARACTERISTICS

FIGURE 2 — 4N25, A, 4N26

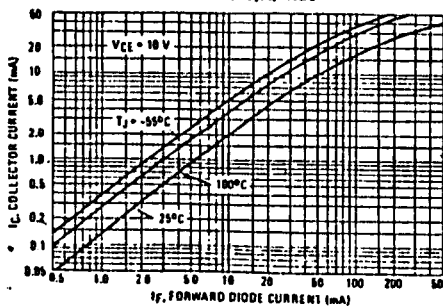
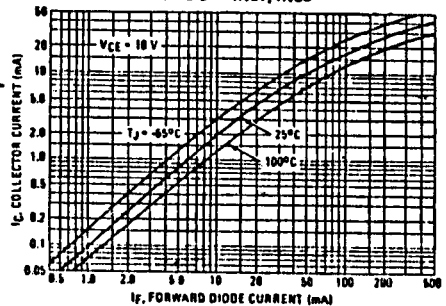


FIGURE 3 — 4N27, 4N28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

## TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

FIGURE 4 - FORWARD CHARACTERISTICS

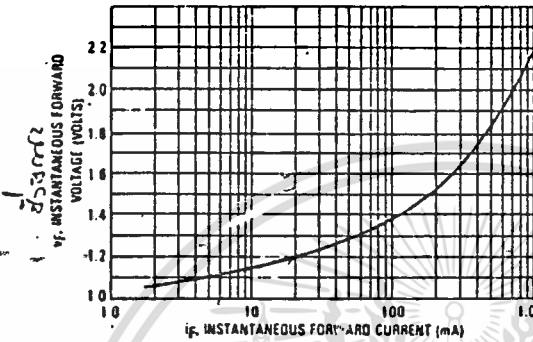


FIGURE 5 - COLLECTOR SATURATION VOLTAGE

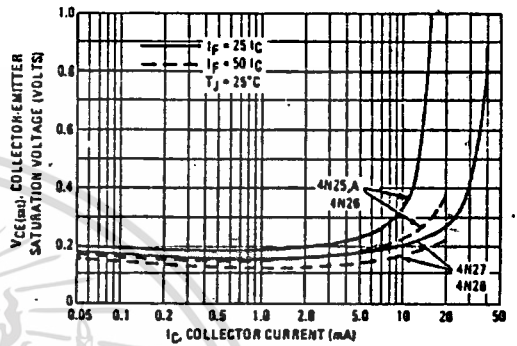


FIGURE 6 - TURN-ON TIME

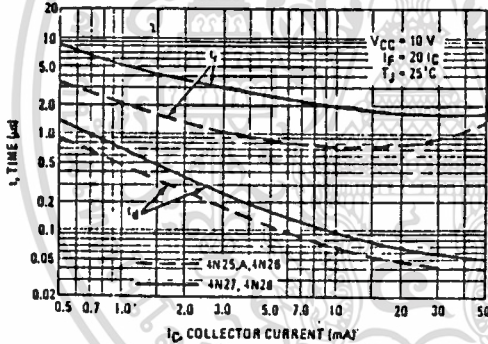


FIGURE 7 - TURN-OFF TIME

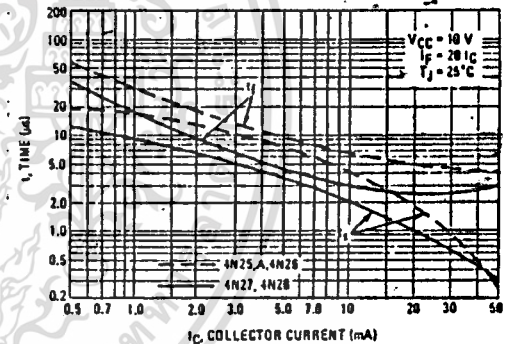


FIGURE 8 - SATURATED SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

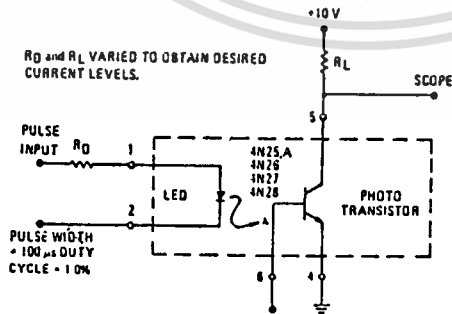
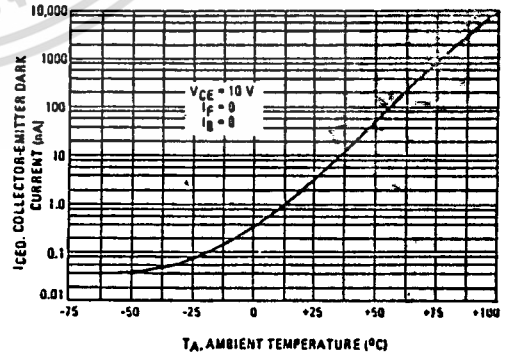


FIGURE 9 - DARK CURRENT versus AMBIENT TEMPERATURE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

FIGURE 11 - FREQUENCY RESPONSE TEST CIRCUIT

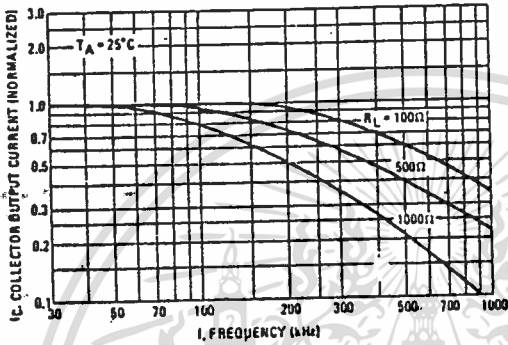
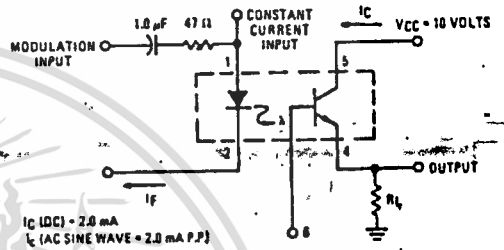


FIGURE 10 - FREQUENCY RESPONSE



## TYPICAL APPLICATIONS

FIGURE 12 - ISOLATED MTTL TO MOS (P-CHANNEL) LEVEL TRANSLATOR

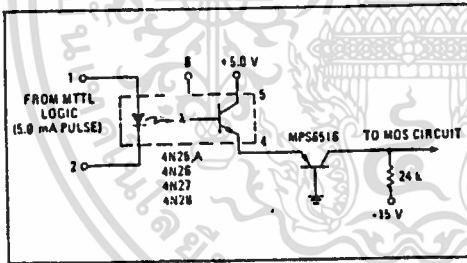


FIGURE 13 - COMPUTER/PERIPHERAL INTERCONNECT

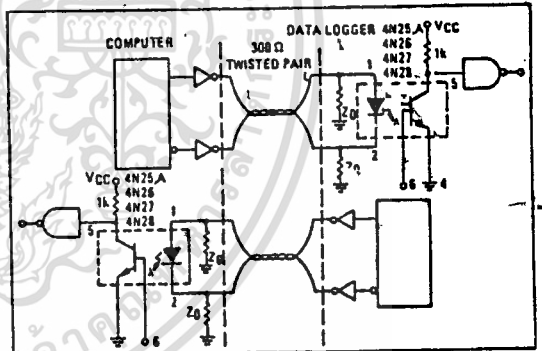


FIGURE 14 - POWER AMPLIFIER

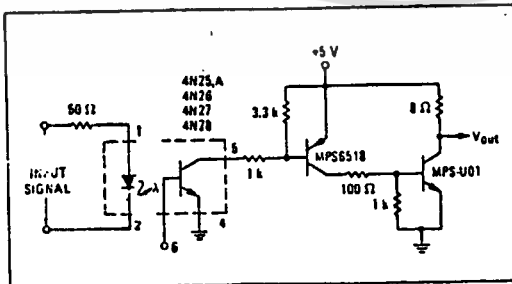
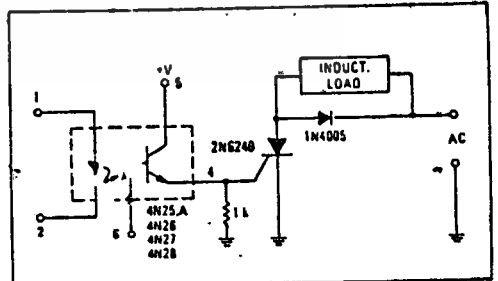


FIGURE 15 - INTERFACE BETWEEN LOGIC AND LOAD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 5404/7404 Hex Inverter

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF
T.L.	SN54S04	JG		WJ	SN54H04	JG		WJ	SN54LS04	JG		WJ	SN5404	JG		WJ	SN54L04	JG		WJ
FAIRCHILD	FM54S04/FM9S04	DC			FM54H04/FM9H04	DC		FZ	FM54LS04/FM9LS04	DC		FZ	FM5404/FM9M04	DC		FZ	FM54L04/FM9M04	DC		FZ
MOTOROLA	FC74S04/FC9S04	DC	PE		FC74H04/FC9H04	DC	PD		FC74LS04/FC9LS04	DC	PE		MC5404	LC	PI		MC54L04	LC	PI	
N.S.C.	DM74S04				DM54H04				DM54LS04				DM5404				DM54L04			
PHILIPS	N74S04				N74H04				N74LS04				FJH241/7404				FJH241/7404			
SIGNETICS	S54S04	FD	AD	WZ	S54H04	FD	AD	WZ	S54LS04	FD	AD	WZ	S5404	FD	AD	WZ	S54L04	FD	AD	WZ
SIEMENS	N74S04	FD	AT	WJ	N74H04	FD	AD		N74LS04	FD	AT		N7404	FD	AT		N74L04	FD	AT	
SIEMENS													FLH211				FLH211			
FUJITSU									74LS04				MB418				MB418			
HITACHI	HD74S04								HD74LS04				HD7404/HD2322				HD7404/HD2322			
MITSUBISHI	M55004								M74LS04				M53204				M53204			
NEC	74S04								74LS04				μPB235				μPB235			
TOSHIBA													TD3404A				TD3404A			

## Electrical Characteristics SN54LS04/SN74LS04

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V <sub>CC</sub>	7V	Operating power	SN54LS	-35°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature T <sub>STG</sub>	SN74LS	-65°C to 125°C

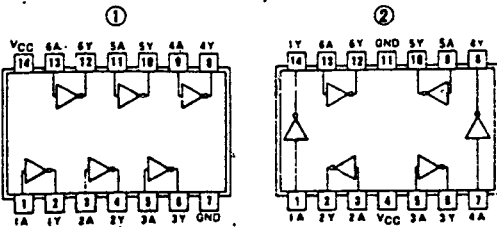
### recommended operating conditions

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V <sub>CC</sub>	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I <sub>OH</sub>			-40			-40	mA
Low-level output current I <sub>OL</sub>			4			4	mA
Operating power P <sub>tot</sub>	-35		125	0		125	°C

## electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

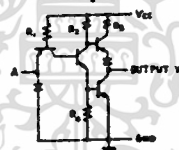
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V <sub>IH</sub>	High-level input voltage		2		V	
V <sub>IL</sub>	Low-level input voltage			0.8	V	
V <sub>I</sub>	Input clamp voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>I</sub> = -18 mA		-1.5	V	
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>I</sub> L = V <sub>I</sub> L max, I <sub>OH</sub> = MAX	2.7	3.4	V	
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>I</sub> H = 2V, I <sub>OL</sub> = 4mA		0.4	V	
I <sub>I</sub>	Input current at maximum input voltage	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 7V		0.1	mA	
I <sub>IH</sub>	High-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> H = 2.7V		20	μA	
I <sub>IL</sub>	Low-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> L = 0.4V		-0.4	mA	
I <sub>OS</sub>	Short-circuit output current *	V <sub>CC</sub> = MAX	-20	-100	mA	
I <sub>CC1</sub>	Supply current	V <sub>CC</sub> = MAX	Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I <sub>CC2</sub>	Supply current	V <sub>CC</sub> = MAX	Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I <sub>CC</sub>	Supply current	V <sub>CC</sub> = 5V	Average per gate (50% duty cycle)	0.4		mA
t <sub>PLH</sub>	Propagation delay time, low-to-high-level output	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 15PF, R <sub>L</sub> = 2KΩ	9	15	ns	
t <sub>PLL</sub>	Propagation delay time, high-to-low-level output		10	15	ns	

## Pin Assignments (Top View)



positive logic:  
Y =  $\bar{A}$

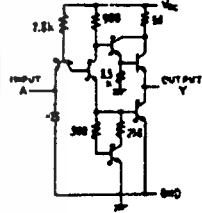
## Schematics (each Gate)



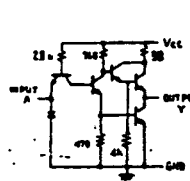
CAPACITANCE	81	82	83	84
SIZE	4K	130	130	130
TEMPERATURE	104	40W	20H	500
				12K

Input clamp diodes not on SN54LS04/SN74LS04 circuits

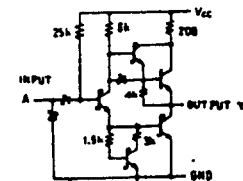
\*04, \*L04 CIRCUITS



'04 CIRCUIT



'H04 CIRCUIT



'LS04 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C.

\* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5408/7408 Quadruple 2-Input Positive-AND Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF
T.I.	SN54S08	J, L	N, T	W, L					SN54LS08	J, L	N, T	W, L	SN5408	J, L	N, T	W, L				
FAIRCHILD	FMS4508 / FMS508	DJ	NT	FD	FMS4H08 / FMS9H08	DJ	NT	FD	FMS4S08 / FMS9S08	DJ	NT	FD	FMS408 / FMS908	DJ	NT	FD				
MOTOROLA	FC74S08 / FC9S08	DJ	NT	FD	MC3101	LJ	NT	FD	MC3001	LJ	NT	FD	MC7408	PJ	NT	FD				
N.S.C.					DM54H08	JJ	NT	FD	DM54S08	PJ	NT	FD	DM5408	JJ	NT	FD	DM54L08			
PHILIPS	N74S08				N74H08				N74LS08				N7408							
SIGNETICS	N74S08				S54H08	FJ	NT	WJ	N74LS08				N7408	FJ	NT	WJ				
SIEMENS													FLM381							
FUJITSU									74LS08											
HITACHI									HD74LS08				HD7408 / HD2500							
MITSUBISHI									N74LS08				MS3208							
NEC									74LS08				μPB234							
TOSHIBA													TD3408							

Electrical Characteristics SN54LS08/SN74LS08

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range			
Supply voltage $V_{CC}$	7V	Operating power temperature range	SN54LS -55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS -65°C to 150°C
Storage temperature range	55V	Storage temperature range	-65°C to 150°C

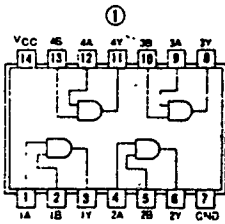
recommended operating conditions

	SN54LS08		SN74LS08		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage $V_{CC}$	4.5	5	4.75	5	V
Input current $I_{IH}$		-800		-800	$\mu$ A
Low-level output current $I_{OL}$		4		8	mA
Operating free-air temperature $T_A$	-55	125	0	70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

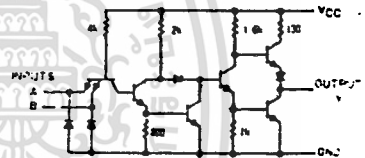
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
$V_{IH}$	High-level input voltage		2		V	
$V_{IL}$	Low-level input voltage			0.8	V	
$V_I$	Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, I_I = -18 \text{ mA}$		-1.5	V	
$V_{OH}$	High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, I_{OH} = \text{MAX}$	2.7	3.4	V	
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, I_{OL} = 4 \text{ mA}$	0.25	0.4	V	
$I_I$	Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 7 \text{ V}$		0.1	mA	
$I_{IH}$	High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_{IH} = 2.7 \text{ V}$		20	$\mu$ A	
$I_{IL}$	Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_{IL} = 0.4 \text{ V}$		-0.4	mA	
$I_{OS}$	Short circuit output current †	$V_{CC} = \text{MAX}$	SNLS Family	-20	-100	mA
			74LS Family	-20	-100	mA
$I_{CCH}$	Supply current	$V_{CC} = \text{MAX}$	Total, outputs high	2.4	4.8	mA
$I_{CCL}$	Supply current	$V_{CC} = \text{MAX}$	Total, outputs low	4.8	8.8	mA
$I_{CC}$	Supply current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$	Average per gate (50% duty cycle)	0.85		mA
$t_{PLH}$	Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^\circ \text{C}, C_L = 150 \text{ pF}, R_L = 2 \text{ k}\Omega$		9	15	ns
$t_{PHL}$	Propagation delay time, high-to-low-level output			10	20	ns

Pin Assignment (Top View)

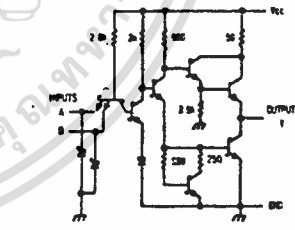


positive logic:  
Y=AB

Schematics (each gate)



5408 CIRCUIT



7408 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate values specified under recommended operating conditions.  
‡ All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^\circ \text{C}$ .

• Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54S/SN74S, duration of output short circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยบริษัทเซมิคอนดักเตอร์ไทย จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SCL4049UB Inverting  
SCL4050B Non-Inverting**



**CMOS  
HEX BUFFERS/CONVERTERS**

**FEATURES**

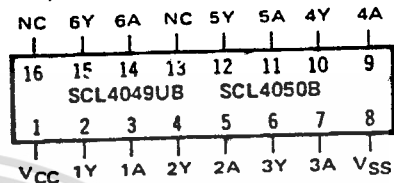
- ◆ Direct Drive of 2 TTL/DTL Loads
- ◆ Operation from Single Supply
- ◆ Pin-for Pin Replacements for SCL4009B, SCL4010B

**DESCRIPTION**

The SCL4049UB and SCL4050B are Inverting and Non-Inverting Hex Buffers, respectively, and feature logic-level conversion using only one supply voltage ( $V_{CC}$ ). The Input-signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{CC}$  supply voltage when these devices are used for logic-level conversions. These devices are intended for use as CMOS-to-DTL/TTL converters and can drive directly two DTL/TTL Loads.

The SCL4049UB and SCL4050B are interchangeable with SCL4009UB and SCL4010B devices, respectively. In these applications the SCL4049UB and SCL4050B are pin-compatible with the SCL4009UB and SCL4010B, respectively, and can be substituted for these devices in existing as well as in new designs. Terminal No. 16 is not connected internally on the SCL4049UB or SCL4050B; therefore, connection to this terminal is of no consequence to circuit operation.

**CONNECTION DIAGRAM  
(all packages)**



Add suffix for package:

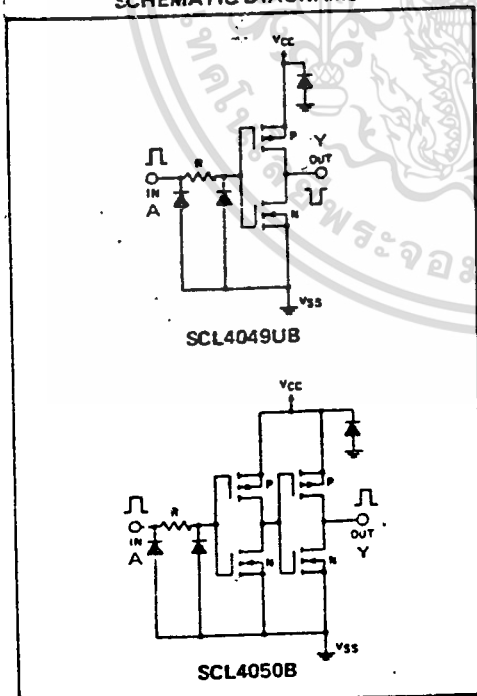
- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

For maximum reliability:

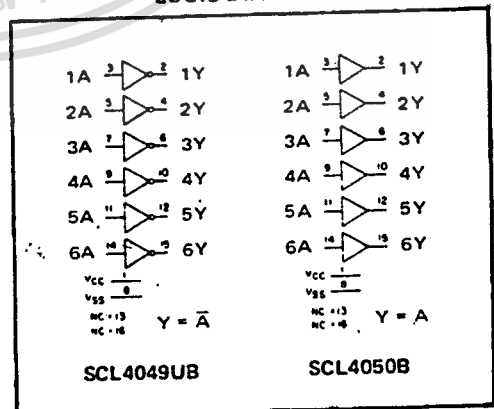
DC Supply Voltage	$V_{CC} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	$T_A$	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

**SCHEMATIC DIAGRAMS**



Note: These devices contain input protection networks to  $V_{SS}$  only. Therefore,  $V_{IH}$  (max) may exceed  $V_{CC}$  without damage (subject to absolute maximum ratings).

**LOGIC DIAGRAMS**



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS<sup>1,2</sup>

PARAMETER	V <sub>CC</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>3</sup>		Units		
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.			
QUIESCENT DEVICE CURRENT	cc	5	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	-	1.0	-	0.005	1.0	-	30	μAdc	
		10		-	2.0	-	0.01	2.0	-	60		
		15		-	4.0	-	0.02	4.0	-	120		
MINIMUM INPUT HIGH VOLTAGE SCL4049UB	V <sub>IH</sub>	5	V <sub>OL</sub> =0.5V	-	4.0	-	2.75	4.0	-	4.0	Vdc	
		10	V <sub>OL</sub> =1.0V	-	8.0	-	5.5	8.0	-	8.0		
		15	V <sub>OL</sub> =1.5V	-	12.0	-	8.25	12.0	-	12.0		
MAXIMUM INPUT LOW VOLTAGE SCL4049UB	V <sub>IL</sub>	5	V <sub>OH</sub> =3.6V	1.0	-	1.0	2.25	-	1.0	-	Vdc	
		10	V <sub>OH</sub> =7.2V	2.0	-	2.0	4.5	-	2.0	-		
		15	V <sub>OH</sub> =10.8V	3.0	-	3.0	6.75	-	3.0	-		
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H devices	I <sub>OL</sub>	5	V <sub>OL</sub> =0.4V	4.0	-	3.2	6.4	-	2.4	-	mAdc	
		10	V <sub>OL</sub> =0.5V	10	-	8.0	16	-	5.6	-		
		15	V <sub>OL</sub> =1.5V	30	-	24.0	40	-	16.8	-		
		E device	5	V <sub>OL</sub> =0.4V	3.8	-	3.2	6.4	-	2.6	-	mAdc
			10	V <sub>OL</sub> =0.5V	9.6	-	8.0	16	-	6.4	-	
			15	V <sub>OL</sub> =1.5V	28	-	24.0	40	-	19	-	
			V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>									

NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.

= + 85°C for E device.

<sup>3</sup> These devices have been designed to meet the balanced output drive current specifications for Output High (Source) Current. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>IN</sub> (Vdc)	V <sub>CC</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units		
PROPAGATION DELAY TIME SCL4049UB	I <sub>PLH</sub>	5	5	-	60	120	ns	
		10	10	-	32	65		
		15	15	-	25	50		
		10	5	-	45	90		
		15	5	-	45	90		
		10	10	-	40	80		
	SCL4050B	I <sub>PLH</sub>	5	5	-	70	140	ns
			10	10	-	40	80	
			15	15	-	30	60	
		I <sub>PHL</sub>	10	5	-	45	90	ns
			15	5	-	40	80	
			10	10	-	32	65	
SCL4049UB	I <sub>PHL</sub>	5	5	-	20	40	ns	
		10	10	-	15	30		
		15	15	-	15	30		
	I <sub>PLH</sub>	10	5	-	15	30	ns	
		15	5	-	10	20		
		10	10	-	55	110		
SCL4050B	I <sub>PHL</sub>	5	5	-	27	55	ns	
		10	10	-	15	30		
		15	15	-	15	30		
	I <sub>PLH</sub>	10	5	-	50	100	ns	
		15	5	-	50	100		
		10	10	-	80	160		
OUTPUT TRANSITION TIME	I <sub>TLH</sub>	5	5	-	40	80	ns	
		10	10	-	30	60		
		15	15	-	30	60		
	I <sub>THL</sub>	5	5	-	30	60	ns	
		10	10	-	20	40		
		15	15	-	15	30		
INPUT CAPACITANCE SCL4049UB	C <sub>IN</sub>	-	-	-	15	22.5	pF	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ สุวงษ์ งามหงส์ และอาจารย์ วีระศักดิ์ วงศ์วิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูง ที่ได้คำแนะนำปรึกษา และ ได้ช่วยแก้ปัญหาค่างๆ ตลอดจนเรื่องเพื่อหนังสือ และอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้บริษัทยาภิพันธ์นี้สำเร็จลงได้ตลอดจนเพื่อนา ที่ได้ช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์ และ ช่วยเป็นกำลังใจ จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

- 1) Electric Machinery , A.E.Fitzgerald Charles Kingsley Jr. Stephen , Mc Graw-Hill
- 2) Power Semiconductor Circuits , S.B. Dewan , John Wiley and sun
- 3) 555 Timer Applications Sourcebook with Experiments, Howad W. SQNS 1976
- 4) Circuits for Electronics Engineers . Sanuel Weber, Mc Graw-Hill
- 5) Power Electronic 1 , อุดมศักดิ์ ยั่งยืน , สلابัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้า ธานี 2528
- 6) ความคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 , วิชัย คังขจันทรานนท์
- 7) DC. Drive . ปริญญาพันธ์ ปัทมาดิศึกษา 2529 , สุรินทร์ สาธิตธนาภทร และ อรรถกร ชื่อยิ่งกาญจน์