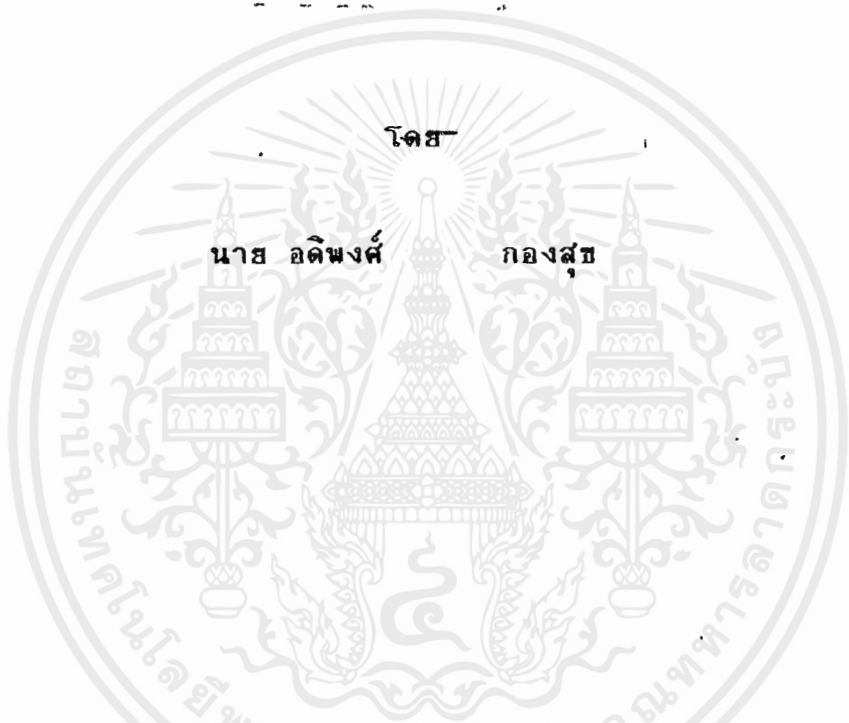


การควบคุมเฟสโดยเอสซีอาร์

(PHASE CONTROL BY SCR.)



ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033151

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

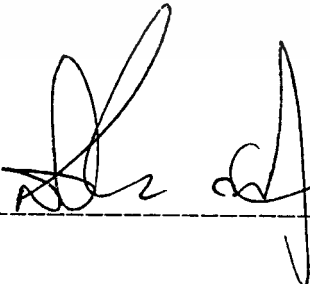
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเฟสโดยเอสซีอาร์

ผู้จัดทำ

นาย อติพงษ์ กองสุข 33100472



(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(อาจารย์สิงห์ทอง พันนเศรษฐานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเฟสโดยเอสซีอาร์

(PHASE CONTROL BY SCR.)

โดย นายอดิพงษ์ กองสุข 33100472

นักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

บทคัดย่อ

โครงการชุดนี้ เป็นการเสนอการออกแบบ และการสร้างวงจร ควบคุมเฟสโดย การควบคุมแรงดันของโหลดแบบเต็มลูกคลื่นชนิด 1 เฟส สำหรับใช้ในการควบคุมมอเตอร์ หนึ่งยอนาเอชขนาด 1 ใน 4 แรงม้า ในส่วนของวงจรควบคุมจะเป็นการสร้างสัญญาณ ลอจิก เพื่อไปทำการจุดชนวนให้เอสซีอาร์เกิดการนำกระแส โดยที่สามารถปรับมุมกระตุ้น ได้ในช่วงจาก 0 ถึง 180 องศา โดยใช้เอสซีอาร์ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์

โครงการนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น มีโครงสร้างที่ง่าย, การควบคุมง่าย และ สามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์เอชแบบ 3 เฟสในการควบคุมโหลดที่มีขนาด ใหญ่ต่อไป

ABSTRACT

In this project, present the basic concept and designing phase control circuit to crete controls single phase full wave of line vottage for controls AC Induction motor 1/4 hp. In this part control circuit is provide logic signal in order to fired SCR. Switch can adjust phase for fired in 0 to 180 degree by using SCR to be Switching devices.

Advantage of this project is easy for construction and control, can applied to controls 3 phase ac motor for high load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานสมัยก่อน ๆ นั้นมักจะใช้ตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ที่มีขนาดใหญ่หรือไม่ก็ใช้หลอด ไทราตรอน (thyatron) ซึ่งเป็นผลให้วงจรมีขนาดใหญ่และที่สำคัญคือ มีราคาแพง ต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมาชนิดหนึ่งที่รู้จักกันว่า ไทริสเตอร์ (thyristor) อุปกรณ์ชนิดนี้ เมื่อนำมาใช้ในงานพบว่ามีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้ พอที่จะแทนที่หลอดไทราตรอน

ไทริสเตอร์หมายถึงกลุ่มของอุปกรณ์พวกหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย Scr, Cscr, Triac Scs, Asr, Sus, ฯลฯ แต่ SCR จะเป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้งานในการควบคุมกำลังงานอย่างกว้างขวางที่สุด มีการนำเอาเอสซีอาร์ มาใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่นำมาใช้เป็นสวิตช์อัตโนมัติ สำหรับใช้ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในวงจร อีกทั้งยังสามารถหาได้ง่ายและสะดวกในการนำมาใช้งาน ในการจะนำ SCR ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรจะทำความเข้าใจและมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติ, อัตรา, ข้อจำกัดที่สำคัญของ SCR เสียก่อน เพื่อนำไปใช้ประกอบในการออกแบบวงจร ข้าพเจ้าเล็งเห็นความสำคัญที่จุดนี้ จึงได้นำเอาเอสซีอาร์ มาสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการทำงานและ นำเอาไปทดลองการใช้งานจริงเพื่อพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

ผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อ

Abstract

บทนำ

- บทที่ 1 แนะนำ SCR เบื้องต้น
- บทที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดทดลอง
- บทที่ 3 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง
- บทที่ 4 การทดลองใช้งาน
- บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ข

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

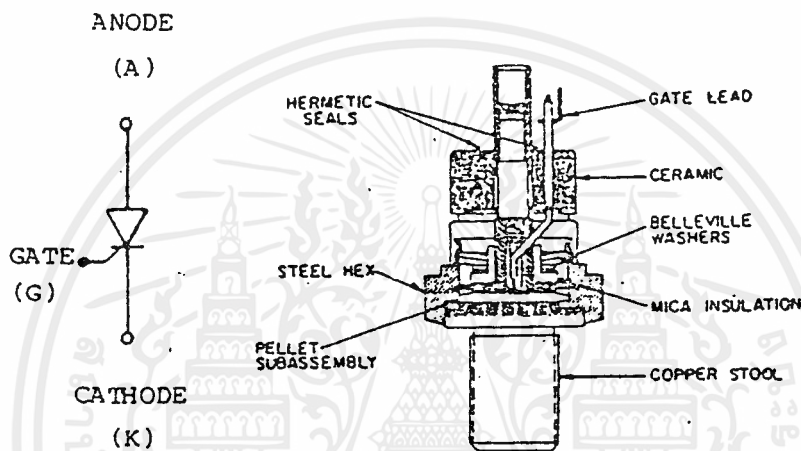


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

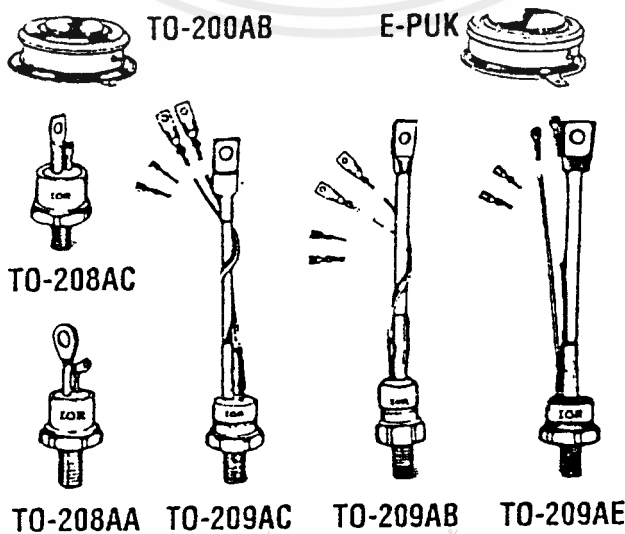
แนะนำเอสซีอาร์เบื้องต้น

1.1 เอสซีอาร์ (SCR)

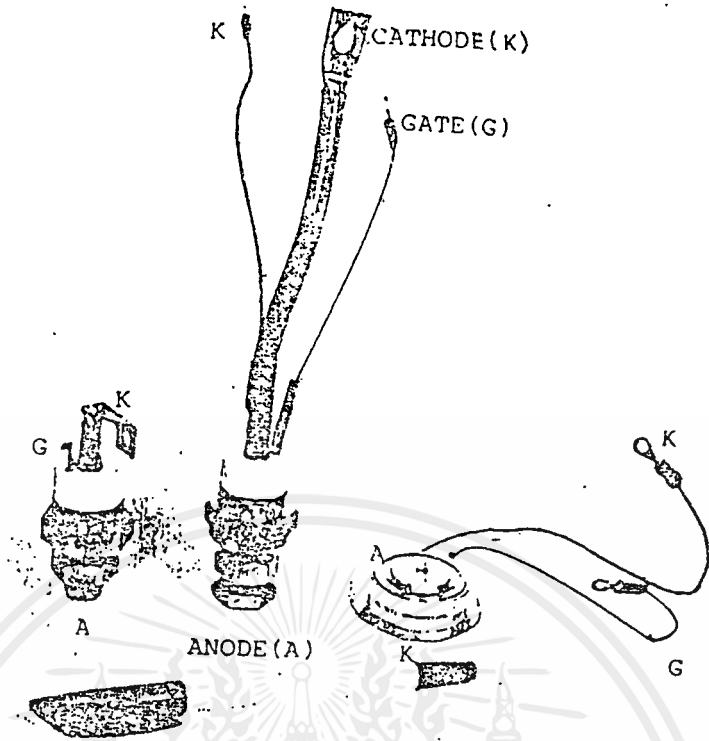
เอสซีอาร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น P, N, P, N ต่อกันดังรูป(1)แต่
 ทว่ามีขั้วออกมาภายนอกเพียง 3 ขั้วคือขั้วแอโนด, คาโทด และเกต สัญญาลักษณ์ของ
 เอสซีอาร์ได้แสดงในรูป(1)



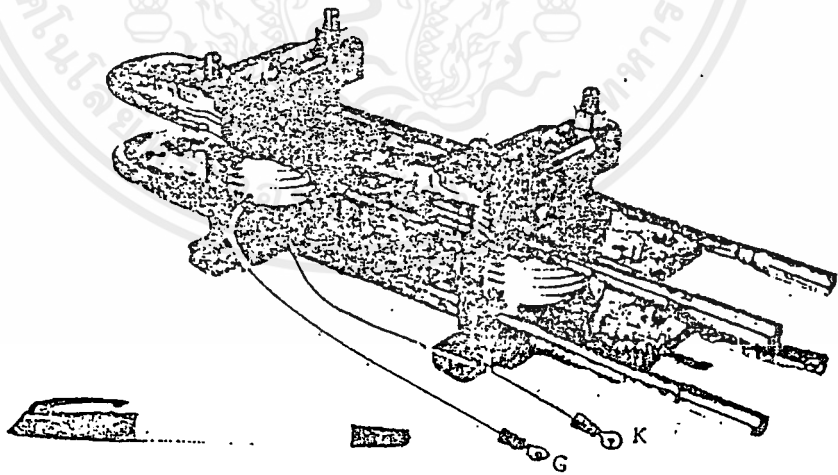
รูปที่ (1) สัญญลักษณ์ของเอสซีอาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Stud-type and disk-type thyristors.



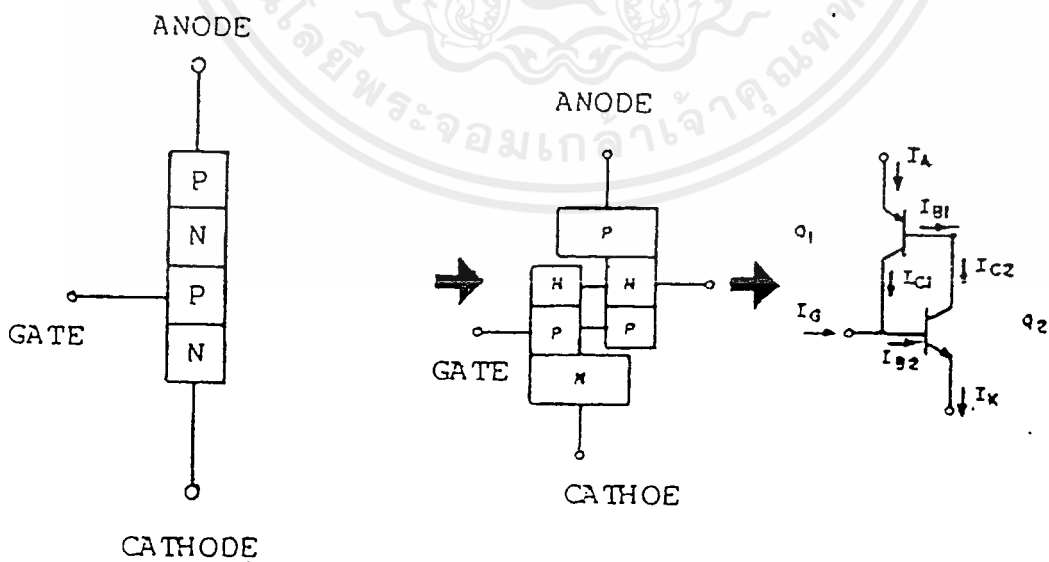
(ข) Heat sink for disk-type devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่(2)แสดงให้เห็นรูปร่างภายนอกของเอสซีอาร์แบบ stud - type และแบบ (disk-type) ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับไดโอดที่แสดงในรูป แต่จะสังเกตเห็นความแตกต่างกันคือเอสซีอาร์จะมีขั้วเพิ่มขึ้นอีก 1 ขั้วเป็นขั้วที่เรียกว่า เกท(gate) สำหรับแบบ stud-type ด้านล่างจะมีเกลียวสำหรับ ชันน็อตยึดติดกับ แผ่นระบายความร้อนโดยจะเป็นขั้วแอโนดและมีขั้วคาโทดอยู่ด้านบน และ ขั้วเกทจะอยู่ใกล้กับขั้วคาโทด แต่จะมีขนาดเล็ก และสั้นกว่าขั้วคาโทด สำหรับแบบ stud-type ที่นำกระแสได้สูงๆดังแสดงในส่วนกลางของรูปที่(2) ขั้วคาโทดจะเป็นสายตีเกลียวที่มีขนาดใหญ่ และมีสายเล็กๆ อีกสองสายโดยสายหนึ่งจะเป็นขั้วเกท และอีกสายหนึ่งเป็นขั้วคาโทด สายเล็กๆสองสายนี้ จะเป็นสายสำหรับต่อเข้ากับวงจรถริกเกอร์ ส่วนแบบ disk-type จะเห็นแตกต่างกับไดโอดที่มีสายเล็กๆ สองสายเป็นขั้วคาโทด และเกท สำหรับต่อเข้ากับวงจรถริกเกอร์

1.2 โครงสร้างของเอสซีอาร์

พิจารณาโครงสร้างทั่วไปของ เอสซีอาร์ซึ่งเสมือนเป็นทรานซิสเตอร์ (PNP) และ (NPN) ต่อกันดังแสดงในรูปที่(3) ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 (PNP) จะเป็นขั้วของแอโนด ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 (PNP) จะเป็นขั้วคาโทด และขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 (PNP) จะต่อร่วมกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 (NPN) เป็นขั้วเกท

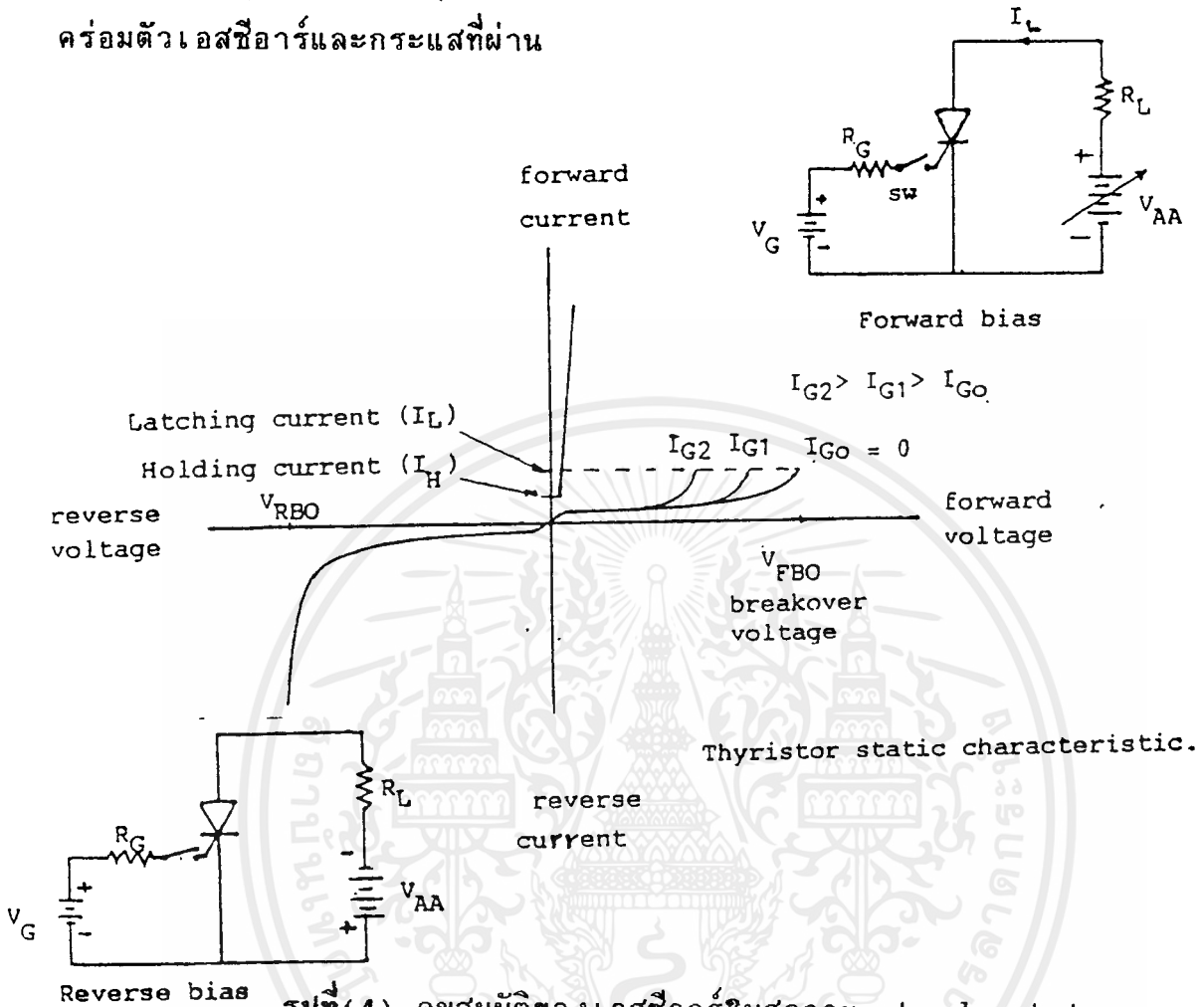


รูปที่(3) โครงสร้างของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 คุณสมบัติของเอสซีอาร์

ในรูปที่(4) แสดงคุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ (steady-state) ระหว่างคร่อมตัวเอสซีอาร์และกระแสที่ผ่าน



รูปที่(4) คุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ steady-state

เมื่อจ่ายแรงดัน V_{AA} ในลักษณะฟอร์เวอร์ด์ไบอัส (forward bias) คือ แอนโอดได้รับแรงดันบวกเมื่อเทียบกับคาโทด และไม่มีกระแสเกต (I_G) ถ้ามีแรงดันน้อยๆจะมีเพียงกระแสรั่วไหล (leakage current) เพียงเล็กน้อยไหลผ่านเมื่อเพิ่มแรงดัน V_{AA} มากขึ้นจนถึงแรงดันพังทลายทางด้านฟอร์เวอร์ด์ (forward breakdown voltage- V_{BO}) และมีกระแสไหลเกินกระแสค้าง (Latching current- I_L) เอสซีอาร์จะอยู่ในสภาวะนำกระแส (conduction) คือแรงดันที่คร่อมแอนโอด แล คาโทดของเอสซีอาร์ จะตกลงสู่แรงดัน (forward voltage drop- V_F) มีค่าประมาณ 0.7-4.0 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะเท่ากับ ($V_{AA} - V_F / R_L$) ถ้ากระแสที่ไหลผ่านเกินพิกัด (rated) ของเอสซีอาร์ก็จะทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้

โดยทั่วไปการนำเอสซีอาร์ไปใช้งานแรงดัน V_{AA} ที่จ่ายให้กับวงจรจะต่ำกว่าแรงดันพังทลายทางด้านฟอร์เวอร์ด์ และ จะควบคุมการนำกระแสของเอสซีอาร์ โดยใช้สัญญาณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทริกเกอร์ที่มีแรงดันที่ 'เกท' (V_G) เป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด ซึ่งมีขนาดแรงดันระดับ 1- 5 โวลต์ และกระแสเกทระดับ 1-500 มิลลิแอมป์ ด้วยระยะเวลาเป็นไมโครวินาที ถ้ากระแสที่ไหลผ่านมากกว่ากระแสค้าง (Latching current) ก็จะทำให้เอสซีอาร์ อยู่ในสภาวะนำเอสซีอาร์ แต่เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสอยู่แล้ว จะให้หยุดนำกระแส จะต้องทำให้กระแสไหลผ่านตัวเอสซีอาร์ต่ำกว่า 'กระแสยึด' (Holding current, I_H) คุณสมบัติโดยทั่วไปกระแสค้างมีค่าประมาณ 2 เท่าของกระแสยึด

เมื่อจ่ายแรงดัน V_{AA} ในลักษณะรีเวอร์ด์ไบอัส (reverse bias) คือแอโนดได้รับแรงดันลบเมื่อเทียบกับคาโทด เอสซีอาร์จะไม่นำกระแสถึงแม้จะมีสัญญาณทริกที่เกทของเอสซีอาร์ เมื่อจ่ายแรงดันพียงหลายทางด้าน รีเวอร์ด์ (Reverse breakover, voltage, $-V_{RBO}$) จะทำให้สารกึ่งตัวนำ (PNPN) เสียหายได้

1.4 คุณสมบัติของกระแสตกค้างและกระแสยึด

เมื่อกล่าวถึงสิ่งจำเป็น ที่จะทำให้เกิดกระแสไหลใน เอสซีอาร์อยู่ตลอดเวลาได้ถึงแม้จะไม่มีกระแสจุดชนวนเกิดในเวลานั้นก็ตาม หลักการที่จะกล่าวถึง คือ กระแสตกค้างนั่นเอง การจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสจะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวSCR ต่ำกว่ากระแสตกค้าง กระแสที่จุดเริ่มต้นหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์เรียกว่า กระแสยึด ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิ และขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ที่เกิดด้วย

กระแสย้อนกลับในขาเกตของเอสซีอาร์จะต้องมากกว่า กระแสตกค้าง, กระแสยึดและการไบแอสตรงที่เกิด จะไม่มีความหมายถ้ากระแสที่ป้อนต่ำกว่าค่าเหล่านี้

1.5 คุณสมบัติการสวิตชิ่ง

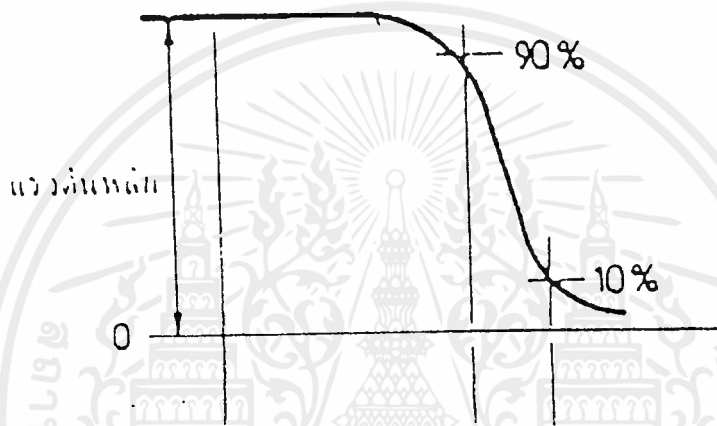
เมื่อจุดชนวนด้วยสัญญาณจุดชนวนเกิด ให้เอสซีอาร์นำกระแส เวลาในการเริ่มต้นนำกระแสจะแบ่งเป็น 2 สถานะ คือ ช่วงเวลาหน่วง (t_d ; delay time) และ ช่วงเวลาขึ้น (t_r ; rise time) ช่วงเวลาขึ้นจะเริ่มต้นจากระดับแรงดัน 10 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่(5)

ผลรวมของเวลาทั้งสองคือช่วงเวลาเริ่มต้นนำกระแส (t_{on} ; turn-on time) ของเอสซีอาร์ หมายถึง ช่วงเวลาที่เริ่มต้นจากที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ของขอบนำของกระแสจุดชนวนเกิดถึงระดับ 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่ตกคร่อมเอสซีอาร์

ข้อควรระวังอย่างหนึ่งคือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านตัวเอสซีอาร์ในขณะที่ช่วงเวลาขึ้น เพราะวาระหว่างเวลานั้นแรงดันที่ตกคร่อมจะสูงและไม่ทราบแน่ชัด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสจะมีความเข้มข้นมาก

ทั้งนี้เนื่องจากการประจุอย่างกระทันหัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งสูง และเป็นผลให้จุดนั้นเสียหายได้ สิ่งสำคัญ คือกำลังงานแพร่กระจายในขณะเริ่มนำกระแสควรจำกัดให้รักษาไว้ระดับหนึ่ง



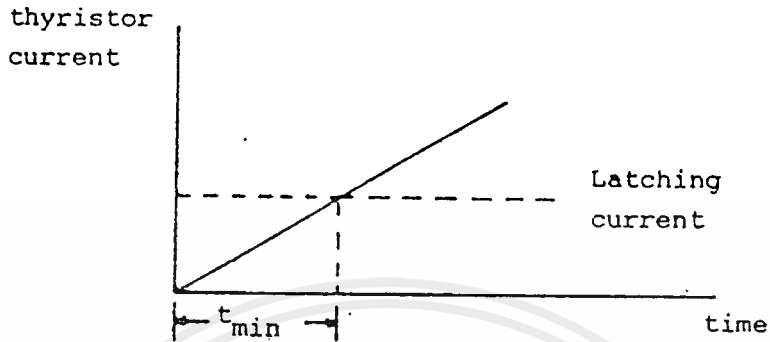
รูปที่(5) แสดงช่วงเวลาหน่วงและช่วงเวลาขึ้น

1.6 ระยะเวลาของสัญญาณทริกเกอร์

ในการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยสัญญาณทริกเกอร์นั้น สัญญาณทริกเกอร์จะต้องมีระยะเวลานาน จนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่า กระแสค้าง (Latching current) ดังรูปที่(6) ถ้าสัญญาณทริกเกอร์สิ้นสุดก่อนที่กระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่า กระแสค้างจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสเมื่อสัญญาณทริกเกอร์สิ้นสุดลง ฉะนั้นสัญญาณทริกเกอร์จะต้องมีระยะเวลานาน จนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่า กระแสค้าง จึงจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไป โดยสามารถนำสัญญาณทริกเกอร์ออก เอสซีอาร์ก็จะยังคงนำกระแสต่อไปในรูปที่(6) แสดงเวลาน้อยสุด (t_{min}) ที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์ไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่โหลดเป็น อินдукติฟ (inductive) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์สู่ อินдукทีฟโหลดจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ฉะนั้นระยะเวลาของสัญญาณทริกเกอร์จะต้องนานพอจน กระทั่งกระแสไหลมากกว่า กระแสค้างเอสซีอาร์จึงจะนำกระแสต่อไปได้

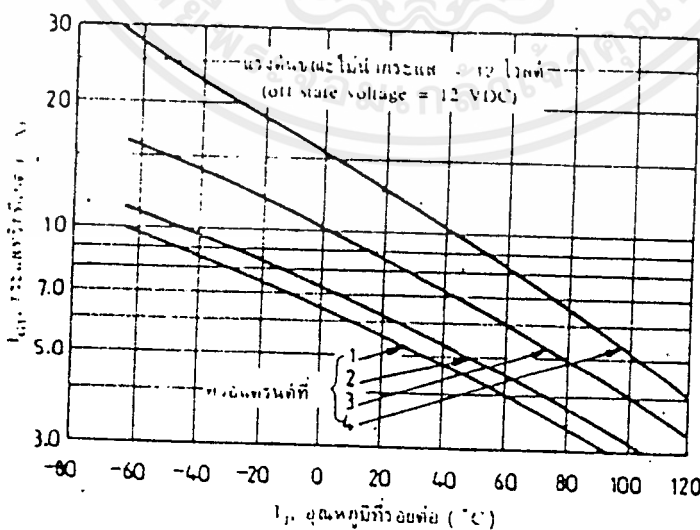


Trigger pulse width must exceed t_{min}

รูปที่ (6) แสดงเวลาน้อยที่สุด ที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์

1.7 ความไวในการจุดชนวน

เพราะว่า กระแสรีวไหลที่บริเวณรอยต่อ และ อัตราขยายกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น แปรผันตามอุณหภูมิ ขนาดของกระแสจุดชนวนเกิดที่ต้องการจริงๆ จึงลดลง และขาเกต จะมีลักษณะเหมือนไดโอดที่มีแรงดันตกคร่อมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



รูปที่ (7) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความไวของกระแสจุดชนวนกับ

อุณหภูมิบริเวณรอยต่อ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

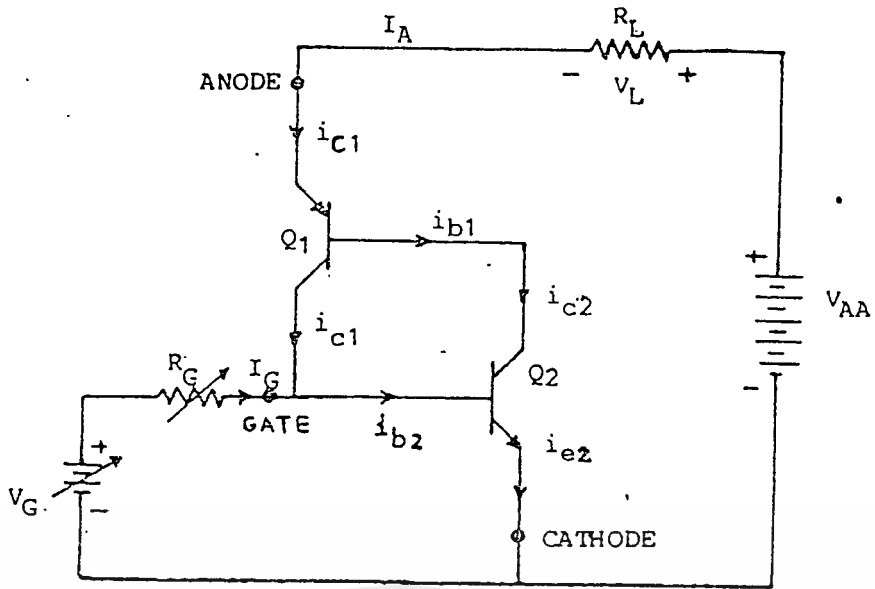
จะพบว่า กระแสที่ต้องการสำหรับทรานซิสเตอร์จะลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้กระแสรั่วไหลที่รอยต่อ และอัตราขยายกระแสสูงขึ้น ส่วนแรงดันคร่อมเกตมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน

1.8 การนำกระแสแกนเอสซีอาร์

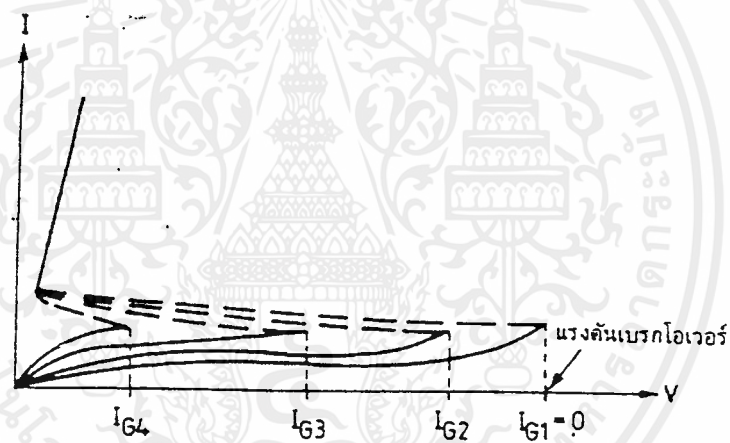
การนำกระแสของเอสซีอาร์เกิดจากการป้อนกระแสจุดชนวนที่ขาเกต กระแสรั่วไหลจากขาเอาต์ถ้ามากพอ และแรงดันพังอวาลานซ์ (avalanche breakdown)

พิจารณาตามวงจรที่แสดงใน รูปที่(๑) เมื่อมีกระแสเกต (I_G) ไหลเข้าเบสสู่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 (NPN) หรือ มีกระแสไหลเข้าเกตสู่คาโทดของ SCR และมีกระแสไหลเข้าคอลเลคเตอร์ (i_{c2}) ของทรานซิสเตอร์ Q_2 (NPN) เท่ากับ β_2 เท่า ของ I_G (ค่า $\beta_2 = i_{c2}/i_{b2}$) กระแส i_{c2} จะเท่ากับ i_{b1} ซึ่งจะทำให้กระแสไหลจากขั้วบวกของ V_{AA} ผ่าน R_L เข้าสู่อิมิตเตอร์เบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 และผ่านคอลเลคเตอร์สู่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 (NPN) ครบวงจรที่ขั้วลบของ V_A และกระแสเบส (i_{b1}) จะทำให้มีกระแส i_{c1} ไหลจากอิมิตเตอร์เข้าสู่คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 เท่ากับ β_1 เท่าของ i_{b1} กระแส i_{b2} จะเท่ากับ i_{c1} รวมกับ I_G จนในที่สุดทรานซิสเตอร์ทั้งสองนำกระแสหรือเรียกกันว่า เอสซีอาร์นำกระแส คือความต้านทานระหว่างขั้วแอโนดและคาโทดของเอสซีอาร์มีค่าต่ำมาก แรงดันไฟฟ้าเกือบทั้งหมดจะไปตกคร่อมโหลด R_L โดยมีแรงดันไฟฟ้ตกคร่อมเอสซีอาร์น้อยมาก จะเห็นว่า สามารถใช้กระแสจ่ายเข้าเกตเพียงเล็กน้อย ก็จะสามารถทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และ เมื่อจ่ายกระแสเข้าเกตเพียงชั่วคราวแล้วหยุดจ่ายกระแสเข้าเกต กระแส i_{b2} จะเท่ากับ i_{c1} เอสซีอาร์ก็จะยังนำกระแสอยู่ กล่าวสรุปได้ว่า เมื่อทำการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสแล้ว เอสซีอาร์จะยังคงนำกระแสต่อไปตลอด แม้จะไม่จ่ายกระแสทริกอีกแล้ว

จะพบว่าที่ $I_G = 0$ แรงดันคร่อม SCR ต้องสูงถึงแรงดันเบรกโอเวอร์ SCR จึงจะนำกระแสได้ แต่ถ้า I_G มีค่าสูงขึ้น แรงดันบล็อกกิ้งจะต่ำลง SCR จะนำกระแสได้ที่แรงดันต่ำลง



รูปที่ (9) แสดงวงจรการนำกระแสของเอสซีอาร์



รูปที่ (10) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของ SCR ที่ กระแสเกตต่างๆกัน

แรงดันพัง (breakover voltage) ของเอสซีอาร์สามารถเปลี่ยนแปลงหรือควบคุมได้ด้วยกระแสที่ป้อนให้กับขาเกตใน รูปที่ (10) แสดงถึงความสัมพันธ์ของกระแสเกตและแรงดันในเอสซีอาร์จะเห็นว่าเมื่อกระแสเกตเท่ากับศูนย์ เอสซีอาร์จะนำกระแสได้ ก็ต่อเมื่อแรงดันมีค่าถึงจุดแรงดันพัง

เพราะว่า ขณะเอสซีอาร์เริ่มนำกระแส จะทำให้เกิดกำลังงานชั่วขณะที่สูงจึง ต้องมีการกำหนดขีดจำกัดมาอย่างหนึ่งคือ di/dt หมายถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ ต่อ อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลา หลังจากทำการจุดชนวนเกิดแล้วจะเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ให้เกิดการนำกระแสกล่าวคือ เอสซีอาร์สามารถนำกระแสได้สูงสุดตามที่กำหนดไว้ก็จริงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ว่าในขณะที่เอสซีอาร์ถูกจุดชนวนเกิดให้เริ่มนำกระแส สารกึ่งตัวนำที่อยู่ใกล้ๆ จะเกิดการนำกระแสเป็นจุดเล็กๆ ก่อนแล้ว ค่อยๆ กระจายไปในพื้นที่ทั้งหมด ของสารกึ่งตัวนำ

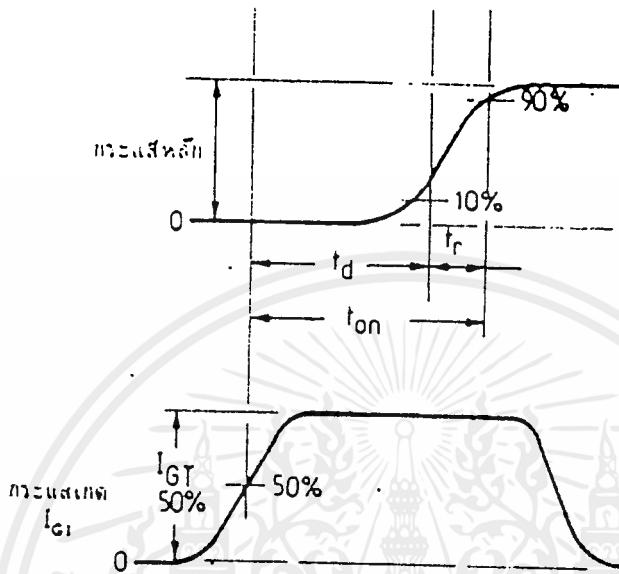
เพราะฉะนั้น ถ้าอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแส ต่อ การเปลี่ยนแปลงของเวลา สูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ จะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุดที่บริเวณรอยต่อ และอาจทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ เราสามารถลดอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสต่อเวลานี้ โดยการต่อขดลวดอนุกรมกับเอสซีอาร์

1.9 ช่วงเวลาคืนตัว

ช่วงเวลารีคัพเวอรี (Recovery time) หรือช่วงเวลาคืนตัวเป็นช่วงเวลาในการเริ่มต้นหยุดนำกระแส เป็นคุณสมบัติโดยเฉพาะของเอสซีอาร์ และ อุปกรณ์กระแสผ่านทางเดี่ยวนั้นๆ ช่วงเวลารีคัพเวอรีของเอสซีอาร์แบ่งเป็น 2 ช่วงคือช่วงรีคัพเวอรีในขณะป้อนกลับ (t_{rr} ; reverse recovery time) และช่วงเวลาเกตรีคัพเวอรี (t_{gr} ; gate recovery time) ดังรูปที่(11)

เมื่อกระแสไบแอสตรงในเอสซีอาร์ตกเป็นศูนย์แรงดัน ไบแอสกลับระหว่างอาโนดและคาโทดของเอสซีอาร์ จะทำให้เกิดกระแสไบแอสกลับไหลผ่าน และกระแสนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกลายเป็นกระแสรั่วไหลปกติ

ช่วงเวลารีคัพเวอรี ในขณะป้อนไบแอสกลับนั้น จะเริ่มวัดจากจุดที่กระแสกลับเฟสไปจนถึงจุดปกติในกระแสไบแอสกลับดังรูปที่(11) และในระหว่างช่วงเวลานี้อาโนดและคาโทดจะค่อยๆ เพิ่มประจุแต่แรงดันไบแอสกลับจะยังคงอยู่ต่อไปอีก



รูปที่(11)แสดงTurn on time ในการนำกระแสของSCR

การนำกระแสของ SCR (turn-on time) มี 2 ระยะคือ ช่วงหน่วง t_d) และช่วงเวลาดังกล่าวที่ใช้ในการนำกระแสเมื่อควบคุมที่ เกิด (t_{on}) วัดที่จุด 50% ของกระแสเกตไปยังจุด 90 เปอร์เซ็นต์ของกระแสหลัก หรือก็คือผลรวมของเวลาช่วงหน่วงกับเวลาช่วงไต่ขึ้น

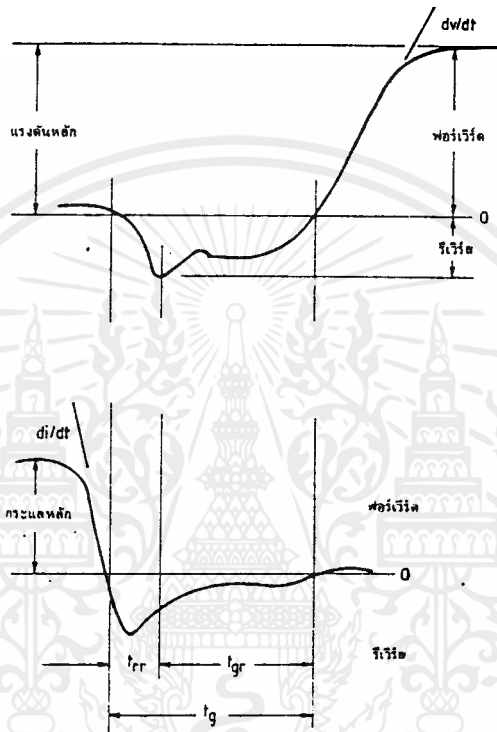
ช่วงเวลารีเซ็ตเวอริช่วงที่ 2 หรือ ช่วงเวลาเกตรีเซ็ตเวอริซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เอสซีอาร์ค่อยๆเก็บประจุอย่างช้าๆ ถึง ช่วงที่กระแสเปลี่ยนเป็นการ ไบแอสตรงช่วง เวลาเกตรีเซ็ตเวอริ มักจะมีเวลามากกว่าช่วงรีเซ็ตเวอริในขณะที่ป้อนกลับเสมอ

ในช่วงเวลารีเซ็ตเวอริทั้งหมดตั้งแต่ เริ่มมีกระแสไบแอสกลับไหลจนกระทั่งเกิด ไบแอสตรงคือช่วงเวลาที่วงจรเริ่มหยุดนำกระแสหรือเรียกว่า 'T_{off}'

ส่วนช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสทั้งหมด จะขึ้นกับ สภาวะของวงจรรวมทั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระแสในขณะนำกระแส อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสระหว่างช่วง ไบแอสตรง และ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบแอสกลับ ช่วงเวลาไบแอสกลับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่จะกลับมาสู่การไบแอสตรง การไบแอสเกตและอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ และ การเพิ่มของกระแสขณะนำกระแส ทำให้ช่วงเวลาในการเริ่มต้นหยุดนำกระแส เพิ่มขึ้นซึ่งผลกระทบเหล่านี้มีความสำคัญมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าเหล่านี้ ในการออกแบบใช้งานด้วย ส่วนการไบแอสเกตด้วยไฟลบบจะช่วยลดช่วงเวลาในการเริ่มต้นหยุดนำกระแส



รูปที่(12)แสดง Turn off time ในการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

ช่วงเวลาหยุดนำกระแส (turn-off time) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ไทรซิสเตอร์ชนิดมีทิศทางเดียวเท่านั้น เวลาคืนตัว (recovery time) ของ SCR มี 2 ระยะเช่นกันคือช่วงคืนตัวด้านรีเวิร์สและช่วงคืนตัวที่เกต หรือ ฟอร์เวิร์ดบล็อกกิ้ง

สำหรับการประยุกต์ใช้งานเอสซีอาร์ ในการใช้ควบคุมกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับช่วงลบของรูปคลื่นจะเป็นช่วงแรงดันไบแอสกลับ จะทำให้เกิดการหยุดนำกระแสไปอย่างอัตโนมัติในช่วงความถี่ที่ใช้งานต่ำๆ

1.10 ผลที่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยไม่มีารจุดชนวน

ในบางครั้งเอสซีอาร์จะเกิดการนำกระแสเอง โดยปราศจากสัญญาณจุดชนวน เกิด สาเหตุเกิดจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของแรงดันที่เอาโนดหรือเรียกว่า dv/dt ซึ่งหมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาทรานเซียนต์ที่เกิดบริเวณเอาโนดสูงเกินกว่าที่กำหนด หรืออาจเกิดจากทรานเซียนต์ที่ขาเกต

เมื่อเราทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสการนำกระแสครั้งต่อไปควรเริ่มต้นจากการป้องกันสัญญาณจุดชนวนเกิด

แต่ถ้าเอสซีอาร์ถูกใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ สาเหตุของการจุดชนวนผิดพลาดอาจเนื่องมาจาก แรงดันทรานเซียนต์รบกวน ซึ่งถูกจำกัดไว้ให้มี ค่าแรงดันไม่เกินครั้งคลื่นของแรงดันที่ใช้ ส่วนการหยุดนำกระแสจะเกิดที่บริเวณแรงดันเป็นศูนย์ของรูปคลื่น

ถ้าใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ทรานเซียนต์มักจะเกิดจากการเปิด-ปิดอุปกรณ์ต่างๆ การนำกระแสเอง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่เอาโนดอย่างรวดเร็ว สาเหตุจากตัวเก็บประจุภายในของเอสซีอาร์ ส่วนการหยุดนำกระแส จะต้องใช้วงจรที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ

แรงดันที่ป้อนให้กับหัวเอาโนดและคาโทดของเอสซีอาร์ทำให้เกิดการเก็บประจุและเกิดมีกระแสไหลผ่าน ($I = C dv/dt$)

ถ้าอัตราของการเพิ่มขึ้นของ แรงดัน เกินค่าที่กำหนดไว้ ค่ากระแสที่เกิดจากการเก็บประจุจะมากกว่า กระแสจุดชนวนเกิดอีก ซึ่งเป็นเหตุให้ เอสซีอาร์เกิดการนำกระแสเองได้

1.11 ข้อควรระวังและการป้องกัน

ในอุปกรณ์ที่มีความไวเกิดมากๆ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลาจะสามารถกำหนดโดยการต่อตัวต้านทานจาก ขาคาโทดมายังขาเกต แต่ส่วนมากมักจะใช้โตรงซาย RC ในการรักษาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลาให้อยู่ในระดับที่กำหนดเมื่อเปิดเกตไว้

แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นจากผลของการรบกวนในสายไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่าย เช่น การกระตุ่นหม้อแปลง, การเปิด-ปิดอุปกรณ์ต่างๆ อาจเป็นสาเหตุให้แรงดันของเอสซีอาร์เพิ่มขึ้นเกินอัตราที่กำหนดไว้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งพูดโดยทั่วๆไปก็คือ การนำกระแสของเอสซีอาร์เมื่อเกิดแรงดันพั้ง นั้นเอง ดังนั้นควรระวังการที่จะทำให้เกิดแรงดันพั้งนั้นจริงๆ แต่ว่าการใช้แรงดันที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้คุณสมบัติในการใช้งานแย่งลงได้

ฉะนั้นจะเป็นผลดีมาก ถ้าหากว่าสามารถกำจัดทรานเซียนต์บางส่วนออก โดยอาจใช้ซีเนอร์ไดโอดหรือโครงข่าย RC (จะมีผลดีในช่วงความถี่สูง) โครงข่าย RC นี้ มักใช้ป้องกัน อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลาไม่ให้เพิ่มขึ้น และมักจะมีผลในการจำกัดแอมพลิจูดของทรานเซียนต์ได้ดี

สัญญาณรบกวนไฟฟ้ารอบข้าง อาจมีพลังงานสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดกระแสจุดชนวนและ เหนี่ยวนำไปยังสายเกต โดยผ่านค่าประจุภายในหรือเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงควรที่จะทำให้สายไฟที่ขาเกตสั้นที่สุด และต่อโดยตรงร่วมกับขาคาโทด และที่สำคัญควรใช้สายชีลด์ในการต่อดัวย อีกรวิธีหนึ่งให้ต่อตัวเก็บประจุค่าประมาณ 0.01 ถึง 0.1 ไมโครฟารัด ระหว่างขาเกตและขาคาโทด

เพื่อเพิ่มความสามารถของเอสซีอาร์ให้ทนต่อแรงดันสูงให้ต่อตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน ตัวเก็บประจุที่ขาเกตและขาคาโทด ตัวเก็บประจุที่ขาเกตควรมีอัตราของกระแสจุดชนวนที่ไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาถ้ามีกระแสไหลสูงๆ

การที่จะให้เอสซีอาร์ใช้งานได้นาน สิ่งสำคัญคือ ส่วนประกอบและขีดจำกัดในการทำงานควรให้อยู่ในอัตราที่กำหนด และข้อสำคัญที่สุดคือ อุณหภูมิและแรงดันที่ใช้งาน

อัตราของแรงดันมีผลที่จะทำให้อุณหภูมิของส่วนประกอบต่างๆเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิในการออกแบบ จะกำหนดได้จากอัตราของแรงดัน ความเร็วในการสวิตซ์ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลา

ส่วนอัตราทางกระแสควรเลือกตามอุณหภูมิที่ใช้งาน

1.12 ช่วงหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

การประยุกต์ใช้งานเอสซีอาร์ ในการควบคุมกำลังงานมักจะใช้กันในช่วงที่มีคุณสมบัติหยุดนำกระแส

มักจะไม่มีปัญหาในการออกแบบให้ เอสซีอาร์นำกระแสได้แน่นอน และแม่นยำ นอกนั้นหลังจากที่เรานำสัญญาณจุดชนวนออก ช่วงเวลาในการนำกระแสจะขึ้นกับเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งอาจนานเท่าผลรวมของ อัตราขยายเบสรวม ของโครงสร้างทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ส่วนในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส นั้น อัตราขยายควรทำให้ต่ำกว่าปกติ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในสภาพนำกระแส กระแสเอาโนดควรต่ำกว่ากระแสเบส สำหรับการนำไปใช้ในสายไฟฟ้าสลับ

การหยุดนำกระแสจะเป็นไปโดยอัตโนมัติในช่วงลบของรูปคลื่น

อย่างไรก็ตามในการใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง กระแสอาโนดจะถูกทำให้หยุดลง หรือเบี่ยงเบนไป และในการจะเกิดกระแสอาโนดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ช่วงเวลาจะขึ้นกับอุณหภูมิ, กระแสไบแอสตรงและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ และช่วงเวลารีเซ็ตเวอร์รี่จะต้องผ่านไปก่อนที่เอสซีอาร์จะกลับมามีแรงดันไบแอสตรงเพื่อที่จะนำกระแสอีกครั้ง

เราสามารถทำความเข้าใจกับ ช่วงเวลารีเซ็ตเวอร์รี่ของเอสซีอาร์ ได้ง่ายขึ้นโดยพิจารณาที่รอยต่อทั้ง 3 ที่เกิดขึ้น เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสในแต่ละรอยต่อจะได้รับการไบแอสตรงซึ่งทำให้บริเวณสาร P และสาร N ในแต่ละข้างมีโฮล และอิเล็กตรอนอยู่มาก

ถ้าต้องการให้เกิดการหยุดนำกระแสในช่วงเวลาสั้นๆ เราจำเป็นต้องป้อนแรงดันโพลบให้กับอาโนด เพื่อจะทำให้โฮลและอิเล็กตรอนใกล้ๆ กับปลายของรอยต่อทั้ง 2 ด้านเกิดการแพร่กระจาย และเกิดกระแสไบแอสกลับไหลผ่านเอสซีอาร์

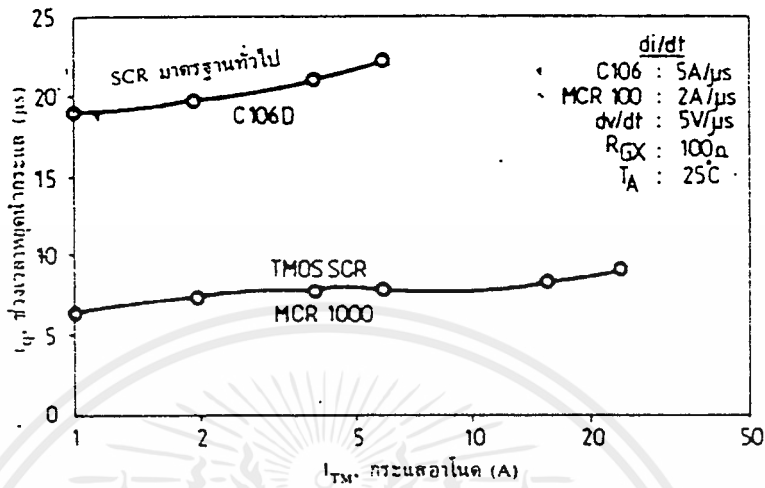
เมื่อโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณใกล้ๆ กับรอยต่อเกิดการแพร่กระจายออกไปจนหมดกระแสไบแอสกลับจะหยุดไหล หมายถึงว่า เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปกติพร้อมที่จะนำกระแสอีกครั้ง

อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่ง คือ ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนขึ้นตรงบริเวณกลางรอยต่อ ซึ่งในการรวมตัวกันของโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณกลางรอยต่อนี้เอง ทำให้การแพร่กระจายเกิดขึ้นค่อนข้างต่ำและช้าซึ่งหมายถึงช่วงเวลารีเซ็ตเวอร์รี่ที่นาน

การวัดช่วงเวลารีเซ็ตเวอร์รี่ของเอสซีอาร์ ควรจะป้อนกระแสไบแอสตรงเป็นเวลานานเพียงพอจนแน่ใจว่าวงจรทำงานในสภาวะคงที่แล้ว

เพื่อที่จะดูว่าการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบในวงจรคือขนาดกระแสไบแอสตรง, ช่วงเวลาของกระแสไบแอสตรง, อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส ต่อเวลา, ขนาดกระแสไบแอสกลับ, ขนาดแรงดันไบแอสกลับ, อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ต่อเวลา, ขนาดของแรงดันที่ใช้, ค่าความต้านทานระหว่างเกตและ คาโทดและขนาดสัญญาณจุดชนวนเกต ว่าจะมีผลต่อช่วงเวลารีเซ็ตเวอร์รี่อย่างไร ให้ทำการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบนั้นๆ โดยให้ส่วนอื่นๆคงที่

1.13 ขนาดของกระแสไบแอสตรงและไบแอสกลับ



รูปที่(12) แสดงช่วงเวลา t_q ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสไบแอสเพิ่มขึ้น

ขนาดของกระแสไบแอสตรง และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา มีผลต่อ ช่วงเวลารีตีฟเวอรี่มากที่สุด โดยที่การเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสไบแอสตรง สามารถเปลี่ยนแปลงช่วงเวลารีตีฟเวอรี่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลให้ความเข้มข้นของ กระแสเปลี่ยนแปลงไปด้วย ถ้าหากเอสซีอาร์มีช่วงเวลาของรีตีฟเวอรี่สั้น ที่กระแสไบแอสตรงต่ำๆ จะต้องใช้สัญญาณจุดชนวนเกตสูง

โดยทั่วไปเมื่อกระแสอาโนด (I_{TM}) สูงขึ้นเวลาที่ใช้ในการหยุดกระแส (t_q) จะยาวขึ้นทั้ง I_{TM} และ I_{TM} และ di/dt มีผลโดยตรงต่อ t_q แต่ถ้าต้องการ t_q สั้นๆในขณะที่ I_{TM} ต่ำ จำเป็นต้องทริกเกตด้วยกระแสสูงขึ้น (I_{GT})

ในเอสซีอาร์ทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลารีตีฟเวอรี่เมื่อเพิ่มกระแสไบแอสตรง ดังแสดงในรูปที่(12)

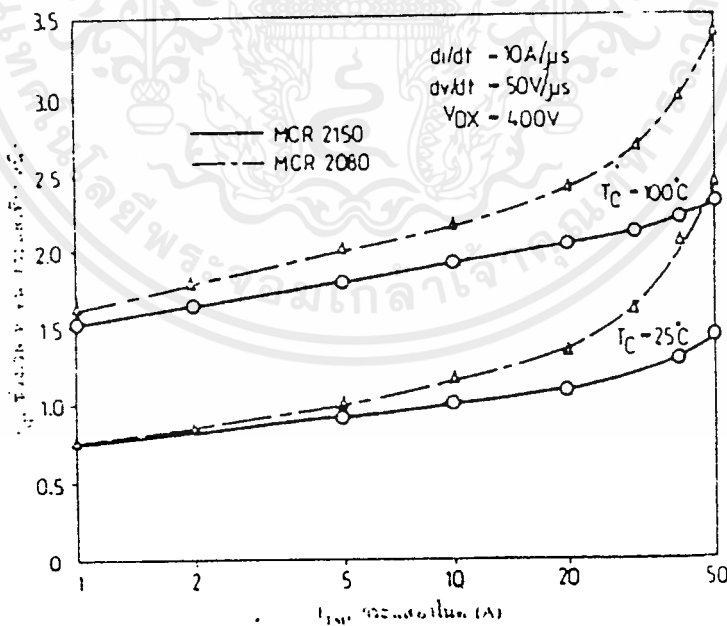
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผล ทำให้ช่วงเวลารีตีฟเวอรี่เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่(13) และการเปลี่ยนแปลงอัตราการหยุดนำกระแส โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา มีผลบางอย่างกับช่วงเวลารีตีฟเวอรี่ของเอสซีอาร์ดังแสดงในรูปที่(14) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไบแอสกลับที่แท้จริง จะเกิดเนื่องจากประจุที่เก็บไว้บริเวณรอยต่อเมื่อที่วอนโดได้รับไฟลอป ขนาดกระแสไบแอสกลับจะมีค่าเข้าใกล้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาถ้าเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา ค่ากระแสไบแอสกลับก็จะเพิ่มขึ้นตาม ในขณะที่เดียวกัน ถ้าลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา ค่ากระแสไบแอสกลับก็จะลดตาม

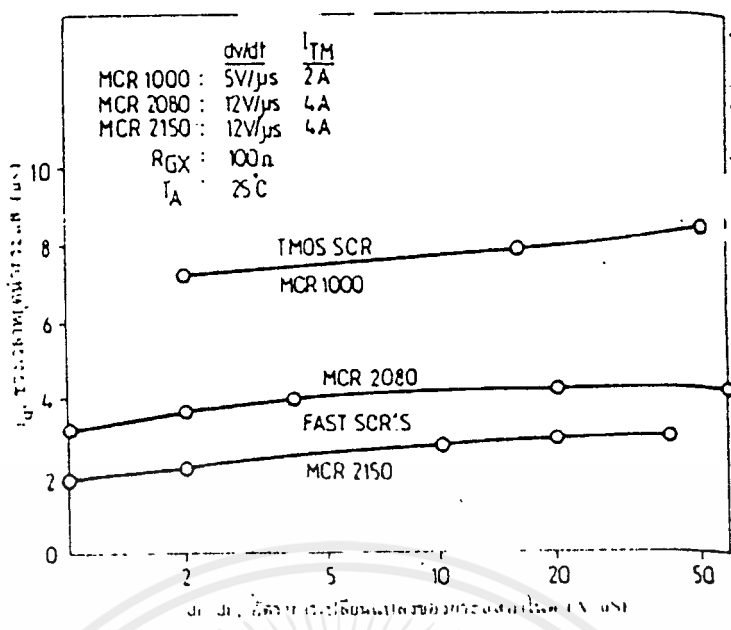
แต่เราสามารถทำให้ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส ต่อเวลามีค่าคงที่ ในขณะที่กระแสไบแอสกลับเปลี่ยนแปลงโดยการใช้ขดลวดต่ออนุกรมและการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่วอนโดเป็นไฟลอป เพื่อให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

กระแสไบแอสกลับจะมีผลเล็กน้อย หรือ ไม่มีเลยต่อเวลารีตีฟเวอรี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงอย่างเดียวโดยที่ส่วนประกอบหรือขีดจำกัดอื่นๆคงที่

แรงดันไบแอสกลับที่วอนโด จะมีผลอย่างมากต่อ ขนาดของกระแสไบแอสกลับ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาแต่เมื่อแรงดันไบแอสกลับนี้เปลี่ยนแปลงเพียงอย่างเดียว โดยที่ กระแสไบแอสกลับ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาคงที่ ก็จะมีผลต่อช่วงเวลารีตีฟเวอรีน้อยมากหรือไม่มีเลยเช่นเดียวกัน



รูปที่(13) ช่วงเวลาหยุดนำกระแส τ_r ยาวขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ (14) เมื่อปรับ อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสอาโนดในช่วงหยุดนำกระแสจะมีผลต่อ t_{off} ด้วย

1.14 วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

ทรานซิสเตอร์สามารถทำให้หยุดนำกระแสโดยการหยุดจ่ายกระแสเข้าเบส แต่สำหรับเอสซีอาร์จะไม่หยุดนำกระแสโดยหยุดจ่ายกระแสเข้าเกตเอสซีอาร์ เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสก็ต่อเมื่อลดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ลงต่ำกว่ากระแสยึด (Holding current) เป็นเวลานานกว่า turn-off-time (t_q) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเอสซีอาร์

วิธีการทำให้กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ลงต่ำกว่ากระแสยึด สามารถทำได้โดยการลดแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ลงสู่ศูนย์ หรือ จ่ายแรงดันรีเวอร์สไบอัสให้กับเอสซีอาร์ วิธีการพื้นฐานของการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสสามารถจัดแบ่งได้ 3 วิธีการ คือ

1. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส โดยแหล่งจ่ายไฟเป็นกระแสสลับ เรียกกันว่า วิธี Line commutation หรือ Natural Commutation คือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้าจะตกลงสู่ศูนย์ และมีแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทาง ซึ่งจะเป็นการจ่ายรีเวอร์สไบอัสแก่เอสซีอาร์ในทุกๆ ไซเคิล กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะตกลงสู่ศูนย์ ซึ่งถ้าเป็นเวลานานกว่า turn-off-time (t_q หรือ t_{off}) ก่อนที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวอร์สอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (converters) และ การเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระแสสลับโดยการควบคุมเฟส
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยการจัดโหนดให้เหมาะสม หรือเรียกว่า Load commutation) ใช้ในวงจรที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธีการชอปเปอร์ (Choppers) และวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverters) คือ เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสจะเป็นการสวิตช์ไฟเข้าโหนด ซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทาน อินดักเตอร์ คาปาซิเตอร์ ที่มีค่าเหมาะสม โดยอยู่ในสภาวะ under-damped กระแสที่ไหลผ่านโหนดจะตกลงสู่ศูนย์โดยธรรมชาติ เมื่อกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสขีดเป็นเวลานานกว่า turn-off-time จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสได้

3. การทำเอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธีการบังคับ หรือวิธีการ (Forced-commutation) เป็นการทำให้กระแสไหลลดลงสู่ศูนย์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กระแสเนื่องจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์ หรือ จ่ารีเวอร์ดไบอัสซึ่งประจุอยู่ในคาปาซิเตอร์ให้แก่ เอสซีอาร์

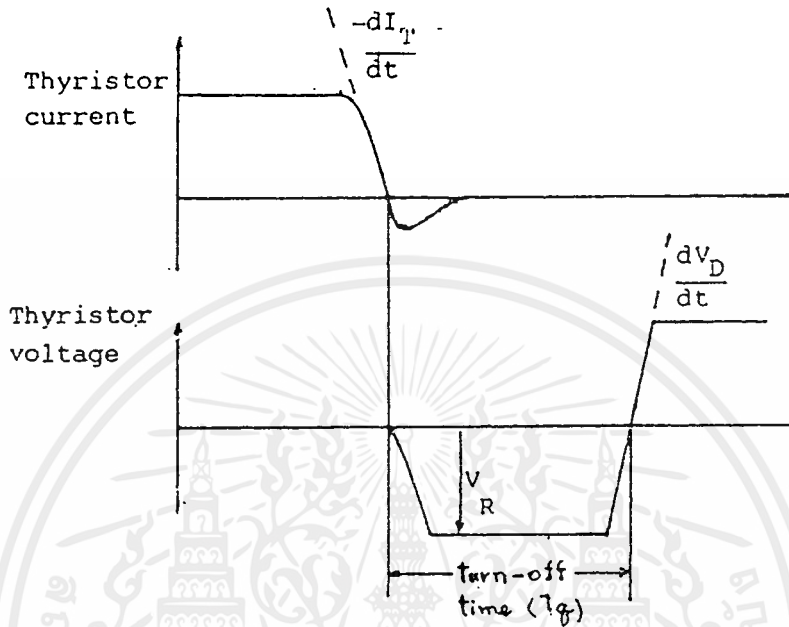
1.15 Turn-off-time ของเอสซีอาร์

Turn-off time (t_{off} หรือ t_{off}) ของเอสซีอาร์ เป็นระยะเวลาตั้งแต่การทำให้กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ไหลย้อนกลับ แล้วกลับสู่ศูนย์ (ช่วงเวลา SCR กลับคืนสภาวะใหม่ที่เรียกว่า reverse recovery time (t_{rr}) จนถึงเวลาที่สามารถจ่ายแรงดันฟอร์เวิร์ดไบอัสอีกครั้ง โดยไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้

Turn-off time เป็นค่าที่บอกไว้ใน data sheet โดยมีข้อกำหนดของอุณหภูมิที่ junction, I_T , $(-dI/dt)_R$, V_R และ dV/dt ดังเช่นที่แสดงในหัวข้อ "switching states" ของ data sheet $I_F = 150 \text{ A}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$ $dI/dt = 50 \text{ A}/\mu\text{sec}$, $dV/dt = 20 \text{ V}/\mu\text{sec}$, linear to, $8 V_{FB}$ $T_{off} = 60 \mu\text{sec}$ ซึ่งหมายความว่าช่วงเวลาก่อนที่ SCR จะหยุดนำกระแส (turn-off) กระแสที่ไหลผ่าน เอสซีอาร์ในทางฟอร์เวิร์ด (I_F) จะต้องไม่เกิน 150 A อุณหภูมิ junction T_J ไม่เกิน 125°C และ อัตราการลดลงของกระแสฟอร์เวิร์ด ต้องไม่น้อยกว่า $50 \text{ A}/\mu\text{sec}$ แล้วเอสซีอาร์ยังคงรักษาสภาวะหยุดนำกระแสเป็นเวลานานอีก $60 \mu\text{sec}$ จึงเริ่มจ่ายแรงดันฟอร์เวิร์ดอีกครั้งด้วยอัตราการเพิ่มที่ไม่เกิน $20 \text{ V}/\mu\text{sec}$ โดยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (linear) สู่แรงดัน $0.8 V_{DRM}$ ($V_{FB} = \text{Forward breakdown voltage}$) เมื่อมีค่าอันใดมากกว่าค่าดังกล่าว turn-off time จะมากกว่า $60 \mu\text{sec}$ และสามารถแสดงให้เห็นชัดเจนขึ้นโดยรูป (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simplified thyristor current and voltage curves showing turn-off time. The period of thyristor turn-off is called the commutation interval.



Simplified thyristor current and voltage curves showing turn-off time. The period of thyristor turn-off is called the commutation interval.

รูปที่(15)แสดง turn-off time ของเอสทีอาร์

ดังนั้นวงจรที่จะทำให้เอสทีอาร์หยุดนำกระแส (Commutation circuit) จะต้องรักษาข้อกำหนดดังกล่าวเป็นเวลานานกว่า turn-off time ของเอสทีอาร์

เอสทีอาร์จะแบ่งเป็น 2 ชนิด ตามคุณสมบัติของ turn-off time คือ

1. phase control SCR'S ซึ่งมี turn-off time ระหว่าง 50- 250 μ sec ซึ่งใช้ในวงจรเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมเฟส

2. Fast switching SCR'S หรือ เรียกว่า Inverter SCR'S ซึ่งมีช่วง turn-off time ระหว่าง 5-50 μ secซึ่งใช้ในวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธีการชอปเปอร์ (chopper) และ วงจรเปลี่ยนไฟฟ้า DC เป็นไฟฟ้า AC หรือวิกีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Inverters) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเอสซีอาร์ที่มี turn-off time = 60 μ sec สามารถใช้ในวงจร phase control ให้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่มีความถี่สูงสุด (f_{max}) = $\frac{1}{120 \times 10^{-6}}$ = 8333 Hz.

1.16 ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลา

เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลาเกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ช่วงเวลารีตีฟเวอรี่ของเอสซีอาร์เปลี่ยนแปลงไปมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลา ที่มีต่อช่วงเวลารีตีฟเวอรี่นี้ เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความจุระหว่างขาอินพุตและขาเกต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ต่อเวลาที่ขาอินพุตของเอสซีอาร์จะปล่อยกระแสเข้าสู่ขาเกตโดยผ่านตัวเก็บประจุระหว่างขาอินพุตและขาเกต ดังนั้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ต่อเวลาเพิ่มขึ้นกระแสเกตก็จะเพิ่มขึ้น และอาจทำให้เกิดการนำกระแสเองได้

ปัญหาที่ยากที่สำคัญอีกอย่าง คือ กระแสที่จ่ายเข้าไปจะรวมกับกระแสรีฟไหลบริเวณรอยต่อ ดังนั้นหลังจากเอสซีอาร์หยุดนำกระแส ประจุกักตังตรงกลางรอยต่อจะเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดช่วงเวลารีตีฟเวอรี่ที่นานเกินไป

การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ต่อเวลา จะมีผลน้อยมากหรือไม่มีเลยต่อช่วงเวลารีตีฟเวอรี่ของเอสซีอาร์ เมื่อแรงดันสูงสุดที่จ่ายให้มีความต่ำกว่าแรงดันพิกัดอุปกรณ์ ช่วงเวลารีตีฟเวอรี่จะเพิ่มขึ้นถ้าหากเอสซีอาร์ถูกใช้ในงานที่แรงดันใกล้เคียงกับแรงดันพิกัด

1.17 ข้อจำกัดทางด้านแรงดันไฟฟ้าของเอสซีอาร์

ข้อจำกัดของเอสซีอาร์อยู่ในเทอมของ แรงดัน, กระแส, กำลัง, อุณหภูมิ, dV/dt , di/dt และ เวลาในการให้เอสซีอาร์นำกระแสและหยุดกระแส ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติของเอสซีอาร์ที่ผู้ผลิตแนะนำไว้ การเลือกใช้ต้องดูข้อจำกัดของแรงดันและกระแสสูงสุดและชนิดของเอสซีอาร์

สัญลักษณ์โดยทั่วไปที่นำมาใช้สำหรับกระแส และ แรงดันไฟฟ้าซึ่งแสดงโดย sub-scripts ตัวที่ 1 เป็นการแสดงทิศทางหรือสภาวะต่างๆ คือ

$$D = \text{ไม่นำกระแสขณะได้รับฟอร์เวิร์ด}$$

$$F = \text{ฟอร์เวิร์ด (Forward)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R = รีเวอร์ (Reverse)

T = นำกระแส (on-state)

subscripts ตัวที่ 2 แสดงขีดจำกัดในสภาวะต่างๆคือ

w = ค่าขณะอยู่ในสภาวะตาม subscripts ตัวที่ 1

R = การเกิดขึ้นซ้ำๆ (Repetitive)

S = ไม่ได้เกิดขึ้นซ้ำๆ (Non-repetitive)

subscripts ตัวที่ 3 เป็นอักษร M แสดงค่าสูงสุด

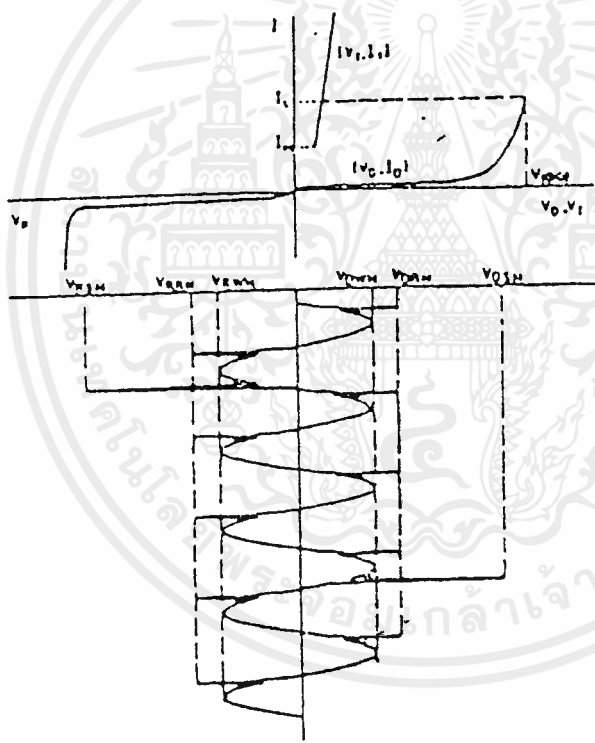


Diagram with symbols for thyristor voltage and current.

รูปที่ (16) ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าของเอสทีอาร์

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ บางครั้งจะมี transient เกิดขึ้น ดังแสดงในรูป

(h) เป็นการยากที่จะพบเห็น transient ในจ้อออสซิลอสโคปเพราะ transient

เกิดขึ้นในเวลาสั้นมาก ๆ ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าที่จะไม่ทำให้เอสทีอาร์นำกระแส ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไม่มีสัญญาณทรigger จะแสดงในหนังสือคู่มือของเอสซีอาร์ ดังนี้

1. V_{DWM} และ V_{RWM} คือ แรงดันทางด้านฟอร์เวดและรีเวอร์สสูงสุดของแหล่งจ่ายกระแสสลับ ($\sqrt{2} V_{RMS}$) ที่จ่ายให้เอสซีอาร์ และเอสซีอาร์จะไม่นำกระแสโดยไม่มีสัญญาณทรigger โดยไม่คิด transient ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ และไม่ซ้ำๆ (repetitive and non-repetitive) ในคู่มือจะเขียนว่า Working Peak off-state and reverse-voltage

2. V_{DRM} และ V_{RRM} คือ แรงดัน transient ถ้าไม่เกินกำหนดทางด้านฟอร์เวด และรีเวอร์ดที่เกิดขึ้นซ้ำๆ ในทุกๆ ไซเคิลของแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสสลับ (ไม่รวมถึงแรงดัน transient ที่เกิดขึ้นไม่ซ้ำๆ) จะไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยไม่มีสัญญาณทรigger ในคู่มือ จะเขียนว่า Repetitive Peak off-state and reverse voltage หรือ Repetitive peak forward and reverse blocking voltage

3. V_{DSM} และ V_{RS} หรือ (V_{FBT} และ V_{RBT}) คือ แรงดัน transient ทางด้านฟอร์เวด และรีเวอร์ดที่เกิดขึ้นไม่ซ้ำๆ ในทุกๆ ไซเคิล ของแหล่งจ่ายไฟแล้วจะไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยไม่มีสัญญาณทรigger ในคู่มือจะเขียนว่า Non-Repetitive Peak off-state and reverse voltage หรือ Non-Repetitive Transient Peak Forward and reverse voltage

4. V_T คือ แรงดันที่คร่อมระหว่างแอโนดและคาโทดขณะที่นำกระแสฟอร์เวอร์ด และมีอุณหภูมิที่ junction ที่กำหนดในคู่มือ

5. dv/dt คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่คร่อมแอโนดและคาโทดสูงสุดที่จะไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแส โดยไม่มีสัญญาณทรigger เอสซีอาร์ ซึ่งประกอบด้วยสาร PNPN มีคุณสมบัติของคาปาซิเตอร์ระหว่างแอโนดและคาโทด กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์เท่ากับ $c (dv/dt)$ ดังนั้นเมื่อแรงดันระหว่าง แอโนดและคาโทดเปลี่ยนแปลง ด้วยอัตราที่สูงจะทำให้มี กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ ซึ่งถ้ามีกระแสไหลผ่าน เอสซีอาร์มากกว่า กระแสยึดเอสซีอาร์ก็จะนำกระแสได้ ดังนั้นเมื่อเกิด (transient) ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันคร่อมแอโนด และคาโทดสูง จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้โดยไม่มีสัญญาณทรigger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.18: พิกจำกัดทางด้านกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์

1. I_{DRM} และ I_{RRM} คือ กระแสรั่วไหลผ่านเอสซีอาร์ เมื่อได้รับแรงดันสูงสุดทางด้านฟอร์เวิร์ดและรีเวอร์ซ (Peak Forward and Reverse leakage current)

2. $I_{T(rms)}$ คือ กระแสเอสซีอาร์สูงสุดที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ทางด้านฟอร์เวิร์ดที่อุณหภูมิไม่สูงกว่ากำหนด แล้วจะไม่ทำให้เอสซีอาร์เสียหาย (Max.rms forward - current)

3. $I_{T(ave)}$ คือ กระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ทางด้านฟอร์เวิร์ด แล้วจะไม่ทำให้เอสซีอาร์เสียหาย (Surge on-state current)

4. I_{TSM} หรือ I_{FM} คือ กระแส surge สูงสุดที่เกิดขึ้นในเวลาสั้น ซึ่งแสดงในคู่มือ ถ้ากระแส surge เกินที่กำหนด หรือเกิดขึ้นนานกว่าที่กำหนด จะทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ (Surge on-state current)

5. I^2t คือ เป็นค่ากระแสยกกำลังสองคูณ กับ เวลาซึ่งจะต้องไม่เกินที่กำหนดในคู่มือจึง จะไม่ทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ ซึ่งค่านี้จะเป็น คุณสมบัติของฟิวส์จำพวก semiconductor fuse จึงต้องเลือกฟิวส์ให้เหมาะสมในการใช้ฟิวส์ ป้องกันไม่ให้เอสซีอาร์เสียหาย พลังงานที่ทำให้ฟิวส์ขาด $= I^2Rt \propto I^2t$

6. di/dt คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสผ่านเอสซีอาร์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆกัน หลังจากทำการทริกเกอร์ที่เกทให้ เอสซีอาร์ สามารถนำกระแสได้สูงสุด ตามกำหนดในคู่มือ เมื่อกระแสไหลผ่าน พื้นที่ทั้งหมดของสารกึ่งตัว (P N P N) ที่ปะกบกันอยู่ แต่ทว่าเมื่อเอสซีอาร์ถูกทริกให้เริ่มนำกระแส สารกึ่งตัวนำที่อยู่ใกล้ๆ เกทของเอสซีอาร์จะนำกระแส ซึ่งมีพื้นที่เล็กๆ ก่อนแล้วค่อย ๆ กระจายไปพื้นที่ทั้งหมดของสารกึ่งตัวนำ เพราะฉะนั้นถ้าอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสต่อเวลา (di/dt) สูงกว่าที่กำหนด อาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุด (hot spots) ที่ junction และ ทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ในการลดอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสต่อเวลาจะทำโดยการต่อ inductance อนุกรมกับเอสซีอาร์

7. I_L คือ กระแสค้าง (Latching current) เป็นค่าของกระแสต่ำสุดที่ต้องรักษา เพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแสหลังจากพัลส์ที่ทริก เอสซีอาร์ถูกนำออกไปจากเกณฑ์ของเอสซีอาร์

8. I_H คือ กระแสยึด (Holding current) เป็นค่าของกระแสมากที่สุดที่ต้องลดลงได้ต่ำกว่า เพื่อให้เอสซีอาร์เปลี่ยนสถานะนำกระแส เป็นหยุดนำกระแส กระแสยึดเกิดขึ้นเมื่อกระแสไหลผ่าน เอสซีอาร์ในสถานะนำ กระแสลดลงจนกระทั่งเอสซีอาร์หยุดนำกระแส แต่กระแสค้างเกิดขึ้นเมื่อ เอสซีอาร์อยู่ในสถานะไม่นำกระแสไปสู่สถานะเริ่มต้นนำกระแส

1.19 ชีตจำกัดทางด้านอุณหภูมิ

1. T_J คือ อุณหภูมิ Junction ของสารกึ่งตัวนำ P N P N ซึ่งไม่สามารถจะตรวจสอบและวัดด้วยเครื่องวัดไฟฟ้าได้

2. T_{case} คือ Storage temperature เป็น $^{\circ}C$

3. $R_{\theta_{JC}}$ คือ ความต้านทานอุณหภูมิ ระหว่าง junction กับ case มีหน่วยเป็น $^{\circ}C/watt$

4. $R_{\theta_{CS}}$ คือ ความต้านทานอุณหภูมิ ระหว่าง case กับ Heat sink มีหน่วยเป็น $^{\circ}C/watt$

1.20 พารามิเตอร์ของ MOSFET (s)

1. I_{GT} คือ กระแสเกตที่จะทริกให้เอสซีอาร์นำกระแส เมื่อมีแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ และมีอุณหภูมิที่ junction ตามที่กำหนด

2. V_{GT} คือ แรงดันที่จ่ายให้เกตกับคาโทรดของเอสซีอาร์ เพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแส เมื่อมีแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ และ อุณหภูมิ มี junction ตามที่กำหนด

3. I_{FGM} หรือ I_{GTM} คือ กระแสเกตสูงสุดทางด้านฟอร์เวิร์ด (Peak forward gate current)

4. I_{GRM} คือ กระแสเกตสูงสุดทางด้านรีเวิร์ด (Peak Reverse gate current)

5. P_{GM} คือ กำลังสูงสุดที่เกตทนได้ (Peak gate power)

6. $P_{G(av)}$ คือ กำลังเฉลี่ยที่เกตทนได้ (Average gate power)

7. t_d คือ turn-off time

8. t_{on} คือ turn-on time



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดทดลอง

วงจรทดลองชุด Phase control นี้ คือ วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเต็มคลื่น โดยใช้ IC TCA-785 มาเป็นตัวสร้างสัญญาณกระตุ้น โดยใช้วิธีการควบคุมเฟส เพื่อให้ SCR นำกระแสที่มุมต่างๆ ของแต่ละไซเคิล ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟ

- ชุดกำลัง ใช้ไฟเอซี 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตจ่ายให้กับโหลดโดยตรง
- ชุดควบคุม ใช้ไฟเอซี 18 โวลต์ 50 เฮิร์ต ผ่านวงจร Regulator ก่อนป้อนให้กับวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

2. วงจรควบคุม ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- ใช้ IC เบอร์ TCA 785 ทำหน้าที่เป็น ตัวสร้างสัญญาณลอจิกของส่วนควบคุม
- ใช้ IC เบอร์ M7815CT เป็นตัวทำหน้าที่ regulation เพื่อควบคุมแรงดันของไฟเลี้ยงวงจรให้คงที่
- ใช้ IC เบอร์ MOC-3061 ทำหน้าที่ในการแยกไฟแรงดันต่ำออกจากไฟแรงดันสูง ด้วยการเชื่อมโยงกันทางแสง ระหว่างไดโอดเปล่งแสงกับโฟโตไดรแรก
- ใช้ SCR ขนาดใหญ่แบบ Stud-Type จำนวน 2 ตัว โดยต่อกันแบบ BACK TO BACK เป็นตัวควบคุมการทำงานของโหลด โดยสลับกันทำงานในแต่ละไซเคิล เพื่อให้เป็นไปตาม Sequence ที่ต้องการ
- LOAD (กรณีนี้โหลดของวงจรเป็น Inductive Load : AC MOTOR)
- วงจร snubber (R-C) 1 ชุด โดยต่อคร่อม เข้ากับ เอสซีอาร์ เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้เอสซีอาร์เกิดความเสียหาย จากการเกิดกระแสกระชอกอย่างรุนแรง
- $R_{(currenter)}$ จะทำหน้าที่ ในการปรับมุมของสัญญาณกระตุ้น ที่จะนำไปทริกเกอร์ที่ขาเกตของเอสซีอาร์ โดยเปลี่ยนแปลงตามค่าของแรงดันควบคุมที่เปลี่ยนไป
- $R_{(var)}$ จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความลาดชันของ สัญญาณแรมป์ภายในของ IC TCA 785 ซึ่งมีผลทำให้การปรับมุมทริกเป็นไปได้ช้า หรือ เร็วในขณะที่ปรับค่าความต้านทานของ $R_{(currenter)}$ ไปเท่า ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนประกอบภายนอกอื่น ๆ

- โครงเหล็ก ใช้สำหรับใส่ชุดวงจรควบคุม และ อุปกรณ์ทั้งหมดโดยได้ต่อขึ้นมาเป็นกล่องขนาดพอเหมาะ มีการเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ ระหว่างภายในกับภายนอก ทำให้สะดวกในการวัดสัญญาณหรือการนำไปใช้งาน ดังรูปที่แสดงในส่วนของภาคผนวก

- แผ่นเบกาไลน์ (เป็นฉนวน) ใช้ในการยึดแผ่นระบายความร้อนและ ตัวเอสซีอาร์

2.1 การเลือกเอสซีอาร์

กรณีนี้โหลดที่ใช้ประกอบด้วย ค่าความต้านทานบริสุทธิ์, ค่าความเหนี่ยวนำ ซึ่งสามารถคำนวณหากำลังงานที่ใช้ได้จากสมการ ดังนี้

$$P = IE \quad \dots$$

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด

I = กระแสที่สามารถจ่ายให้กับโหลด

E = แรงดันที่โหลดใช้งาน, สำหรับกรณีนี้จะใช้ไฟเอซี 1 เฟส = 220 โวลต์

สำหรับการเลือกเอสซีอาร์ จะต้องสามารถทนแรงดันย้อนกลับและทนต่อกระแสที่โหลดขณะใช้งานเต็มที่ได้ด้วย เช่น สมมุตินำไปขับโหลดที่ 2000 วัตต์ จากสมการข้างต้น โหลดจะกินกระแสประมาณ 91 แอมป์ และมีแรงดันย้อนกลับ $220\sqrt{2} = 311$ ก็จะสามารถเลือกเอสซีอาร์ที่ทนได้ 110 แอมป์, 400 หรือ 600 โวลต์

ในชุดทดลองจะใช้เอสซีอาร์ แบบ Stud-Type ที่ขั้วอาร์เนดจะเป็นเกลียวน๊อต สามารถขันยึดติดกับแผ่นระบายความร้อนได้โดยใช้ SCR ของบริษัท GE ชนิดที่นำกระแสและทนแรงดันได้ค่อนข้างสูงทั้งหมดจะวางบนแผ่นเบกาไลน์

2.2 การติดตั้งเอสซีอาร์

สำหรับเอสซีอาร์จะต่อกันแบบ back to back คือ ต่อขนานกันแต่กลับขั้วกันนั่นเอง ส่วนการติดตั้งจะติดตั้งโดยขันยึดขั้วอาร์เนดติดกับแผ่นระบายความร้อนโดยตรง และนำแผ่นระบายความร้อนวางบนแผ่นเบกาไลน์อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันกระแสสูง ๆ จากขั้วอาร์เนดไหลลง บนแท่นของโครงเหล็กของชุดทดลอง ซึ่งจะทําให้เป็นอันตราย ต่อผู้ทําการทดลองได้

2.3 การเลือกสายไฟ

เนื่องจากกระแสที่ใช้มีขนาดสูง เป็นร้อยแอมป์อย่างนี้ ฉะนั้นขนาดสายตัวนำที่จะนำมาใช้งานต่างๆยังต้องคำนึงถึง เพราะ ยังไม่ถึงยุคของซูเปอร์คอนดักเตอร์ ในส่วนของวงจรควบคุมเรื่องของสายไฟไม่มีปัญหาแน่นอน แต่ในส่วนของวงจรกำลัง เป็นเรื่องสำคัญที่ต้องพิจารณา จำเป็นที่ต้องใช้สายไฟที่มีขนาดใหญ่พอควร ที่จะทนทานขนาดของกระแส ซึ่งอาจมีขนาดโตพอ ๆ กับสายไฟที่ใช้ต่อไปยังโหลด และสายไฟเข้าหลักด้วย ก่อนจะเลือกขนาดสายไฟควรจะกระะยะทางของสายๆพตั้งแต่ปลั๊กจนถึงที่ไกลที่สุด เพราะต้องคำนึงถึงแรงดันที่ตกคร่อมในสายที่ยาวมากๆ ทำให้กำลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปก่อนจะถึงโหลด ก็มีสูตรคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดสายไฟที่เหมาะสมสำหรับไฟ 1 เฟสอยู่เหมือนกัน

$$P = \frac{21L}{AEK} \times 100 (\%)$$

P = เปอร์เซ็นต์ที่ยอมสูญเสียได้สำหรับโหลดที่เป็นหลอดไฟยอมให้สูญเสียได้ถึง 1.5 %

I = กระแสที่โหลดต้องการใช้ (แอมป์)

L = ระยะทางจากต้นทางถึงปลายทาง (เมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดของสายไฟ (มม.²)

E = แรงดัน ปกติใช้แรงดัน 220 โวลต์

K = ค่าความนำไฟฟ้า ทองแดง = 55, อะลูมิเนียม = 33
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัด ของสายไฟ (มม. ²)	อัตราทนกระแสได้สูงสุด (แอมป์)	
	ทองแดง	อะลูมิเนียม
0.75	13	-
1.0	16	-
1.5	20	-
2.5	27	21
4	36	29
6	47	37
10	65	51
16	87	68
25	115	90
35	143	112
50	176	140
70	220	173
95	265	210
120	310	245
150	355	280
185	405	320
240	480	380
300	555	435

จากตารางที่ 2 เป็นสายไฟชนิดเคเบิลหุ้มฉนวน กระแสทนได้สูงสุดในสายไฟแต่ละขนาดจะลดลงเหลือ 80% ของกระแสทนได้สูงสุด ดังนั้นจึงเขียนสูตรเมื่อสักครู่นี้ใหม่ได้ดังนี้

$$P = \frac{2IL \times 100}{0.8 \text{ AEK}} (\%)$$

ในตอนนั้นรู้แล้วว่ามิโหลดขนาด 20000 วัตต์ ใช้อยู่กับระบบไฟ 1 เฟส 220 โวลต์ ให้กระแสประมาณ 91 แอมป์สมมติให้โหลดอยู่ห่างจากต้นทางประมาณ 30 เมตร และใช้สายเคเบิลทองแดงในการคำนวณก็แทนค่า $P = 1.5\%$ ลงไปในสูตรเลยจะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัด $A = 37.6 \text{ มม.}^2$ ดูจากตารางแล้วพบว่าไม่มีสายไฟขนาดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามหลักการก็ควรเลือกเพื่อให้เกินไว้คือ เลือกขนาด 50 มม.² แต่สายขนาดโตๆ อย่างนี้จะแพงมากรวมทั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อด้วย อาจจะมีปัญหาโดยการขนานสายไฟขนาดเล็กให้ได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมไม่ต่อกว่าขนาดที่คำนวณไว้ก็ได้

มีวิธีประหยัดง่ายๆ คือ พยายามให้โหลดอยู่ใกล้กับแหล่งจ่ายมากที่สุด ในกรณีที่โหลดหลายๆตัวก็สามารถใช้สูตรดังกล่าวคำนวณหาขนาดสายตั้งแต่จุดแยกต่างๆจนถึงโหลดนั้นๆได้

2.4 การเชื่อมโยงสายไฟ

ใช้การเชื่อมต่อโดยใช้หางปลา, ตาไก่ เพื่อความสะดวกในการถอดแยกเพื่อการตรวจสอบ อีกทั้งยังทำให้เกิดความสวยงามอีกด้วย

2.5 การเลือกแผ่นระบายความร้อน

ปัจจัยหลักในเรื่องของอุณหภูมิ คือ แผ่นระบายความร้อนที่จะนำมาใช้งานกับตัว SCR ที่นำกระแสสูง ๆ ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้มีความเหมาะสม กับโหลดที่จะนำไปใช้ เพราะถ้าใช้เล็กเกินไปจะทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านั้นสั้นลงกว่าปกติในกรณีนี้เราเลือกแผ่น heatsink แบบอลูมิเนียมขนาดค่อนข้างใหญ่ ประกอบเข้ากับตัว SCR โดยตรง ชันยึดติดให้แน่นพอสมควร เพื่อให้มีพื้นที่สัมผัสกันมากที่สุด และใช้ครีมนิลิโคนทาบริเวณจุดเชื่อมต่อกับSCRเพื่อช่วยในการระบายความร้อนได้ดีขึ้นอีกทางหนึ่ง

2.6 การติดตั้งแผ่นระบายความร้อน

จะติดตั้งโดยวางบนแผ่นเบกาไลน์ (ฉนวน) เพื่อป้องกันการนำกระแส



บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรถดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

3.1 วงจรทริกเกอร์สัญญาณ

วงจรทริกเกอร์ (Trigger circuit) มีความสำคัญมากเพราะจะควบคุมการทำงานของเอสซีอาร์ทุกตัวในวงจรทางด้าน ชุดกำลังให้เป็นไปตาม sequence ที่การทำงานของมันจะผิดพลาดไม่ได้ เพราะถ้าเกิดการผิดพลาดแล้ว นอกจากวงจรหลักจะไม่ได้เอาที่พุดเป็นไปตามความต้องการแล้ว ยังอาจเกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรงขึ้นทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะเอสซีอาร์, ไอซี และไดโอด ดังนั้นวงจรทริกเกอร์จะต้องมีการทำงานที่แน่นอน เชื่อถือได้สูง (high reliability) วงจรทริกเกอร์ควบคุมการทำงานของเอสซีอาร์ได้ โดยการป้อนสัญญาณกระตุ้น ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ (pulse) เข้าที่ขาเกต (gate) ของเอสซีอาร์ ตัวที่ต้องการให้นำกระแส ซึ่งวงจรสามารถควบคุมให้เอสซีอาร์เปิดกระแสแปรค่ามุมจาก 0 องศา (คือ เปิดให้นำกระแสเต็มคลื่นเต็ม 100%) ถึง มุม 180 องศา (คือ ปิดการนำกระแสเต็มคลื่น) เราจึงขอยกนำไปใช้ในการควบคุมกระแสที่ เรียกว่า "วิธีควบคุมเฟส" (phase control)

ตามปกติการปิดเปิดสวิตช์ทำให้เกิดมี แรงดันและกระแสเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ เป็นผลทำให้ไฟฟ้ากระแสพริบพวยวาบซึ่งอาจมีสัญญาณรบกวนเครื่องรับวิทยุ และโทรทัศน์ การรบกวนเหล่านี้จะลดน้อยลงมาก ถ้าเราสับสวิตช์ลงตรงแรงดันเท่ากับศูนย์ แล้วเปิดการนำกระแสเมื่อกระแสไหลผ่านค่าศูนย์ วิธีการนี้เรียกว่า " สับสวิตช์ลงตรงจุดแรงดันตัดข้ามศูนย์" (zero voltage switching) ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าสู่ภาระได้ดี

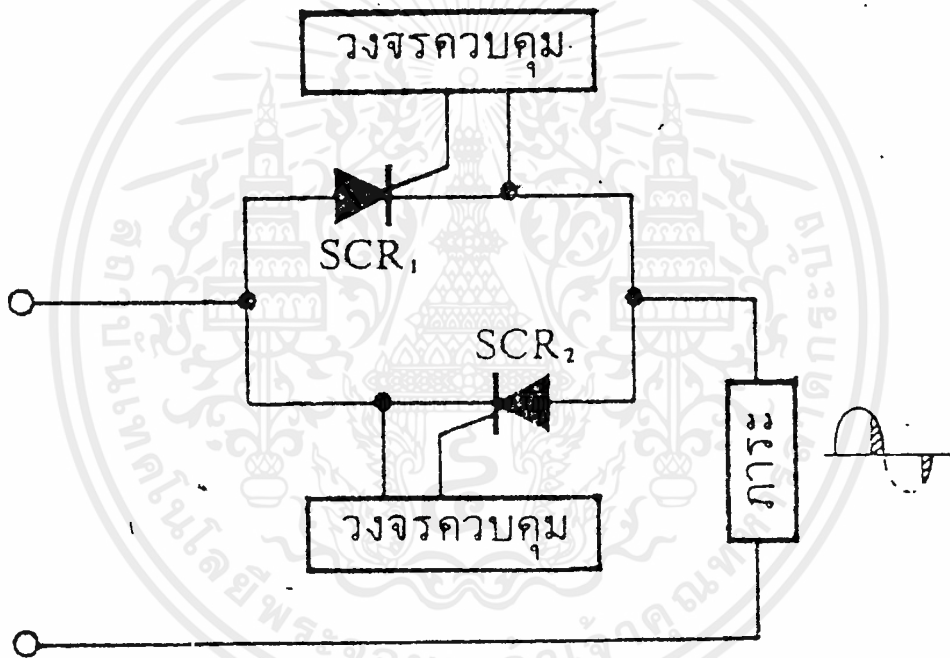
สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบวงจรจุดชนวน คือ

1. ต้องสามารถจุดชนวนได้ แม้ว่าจะเปลี่ยน SCR เป็นตัวอื่น แต่ยังเป็นเบอร์เดียวกันอยู่
2. ต้องมีแรงดันและกำลังไม่สูงเกินกว่าจะทนทานได้
3. ต้องแน่ใจได้ว่าการจุดชนวนจะต้องไม่เกิดจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ

สำหรับชุดทดลองนี้จะใช้ การควบคุมการนำกระแสได้ด้วยวิธี " ควบคุมเฟส " (phase control) ซึ่งเป็นวิธีการทำให้มีการเรียงกระแสในช่วงมุมต่างๆ ของวัฏจักรกำลัง (power cycle) หรือ เป็นกระบวนการที่ทำการปิดเปิดไฟฟ้าเอซีที่จ่ายไปสู่ภาระด้วยกระแสที่แปรค่าตามแต่จะต้องการ โดยบังคับให้มีการนำกระแสเพียงแค่ส่วนหนึ่งของวัฏจักร วิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง ในการควบคุมกำลังเฉลี่ยป้อนเข้าสู่ภาระ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น หลอดไฟฟ้า ขดลวดความร้อน มอเตอร์เหนียวนา ไฟฟ้าเอชี่ ฯลฯ การควบคุมจะทำได้ด้วยการควบคุมมุมเฟสของคลื่นเอชี่ที่เอสซีอาร์เปิดกระแสให้ไหลผ่านในช่วงที่เหลืออยู่ของวัฏจักร และ อาจปิดกระแสเมื่อครึ่งวัฏจักรลบได้มาถึงซึ่งเป็นวิธีการหยุดไหลตามธรรมชาติที่เรียกว่า " การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยเฟส " หรือ " การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยแรงดันของสายไฟฟ้า "

สำหรับวิธีควบคุมเฟสมีวิธีการเบื้องต้นหลายรูปแบบ แต่การทดลองนี้จะเลือกใช้การควบคุมในช่วงเต็มคลื่น (controlled full wave) โดยใช้เอสซีอาร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ และมีภาระเป็นความต้านทานหรือเป็นตัวเหนียวนาที่มีพรีวิลลิงไดโอดต่อคร่อม ซึ่งวิธีการนี้เป็นารควบคุมเอสซีอาร์สลับการทำงานในแต่ละไซเคิล โดยเอสซีอาร์จะต่อกันแบบขนานกันแต่กลับขั้วกัน



รูปแสดงวงจรเบื้องต้นของการควบคุมเฟสเอชี่แบบเต็มคลื่นโดยใช้เอสซีอาร์

3.2 การวิเคราะห์การควบคุมแรงดันแบบเต็มลูกคลื่นแบบ 1 เฟส

ในวงจรที่แสดงในรูปที่ (3.1) แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบเต็มลูกคลื่นชนิดหนึ่งเฟสสำหรับภาระเอชี่ ที่จ่ายให้โหลดที่เป็นอินดักทีฟโหลด เอสซีอาร์ทั้งสองจะเปลี่ยนกันนำกระแสในแต่ละไซเคิล เมื่อเอสซีอาร์ ตัวแรก กำลังนำกระแส จะมีกระแสไหล I_{SCR1} ซึ่งเราจะเขียนสมการได้ว่า

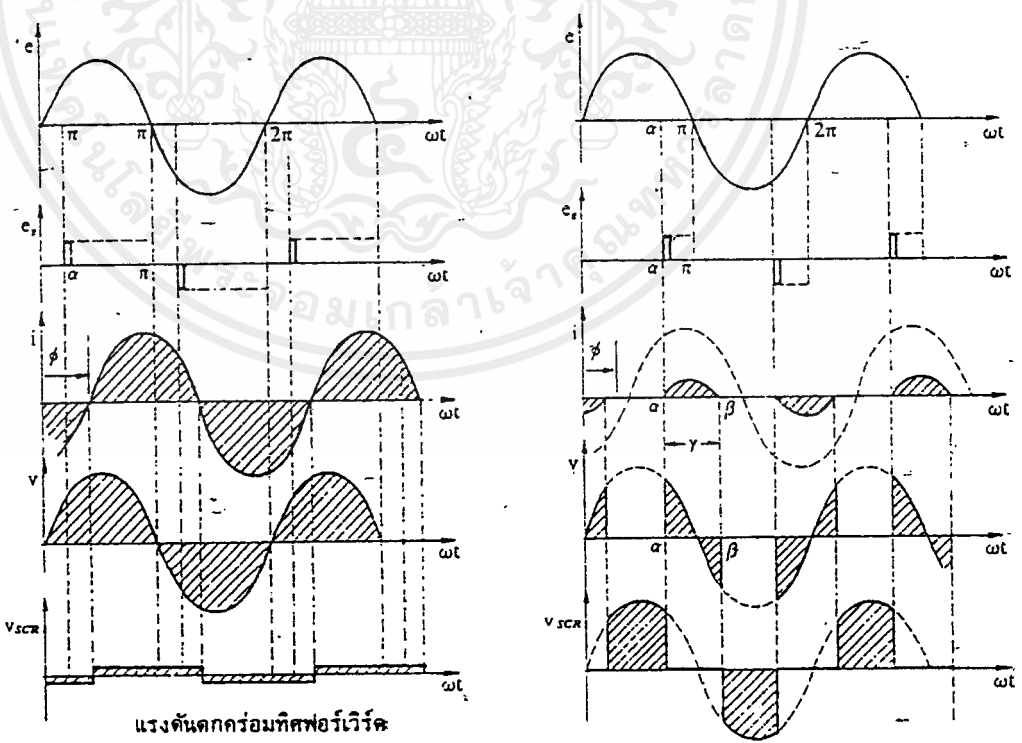
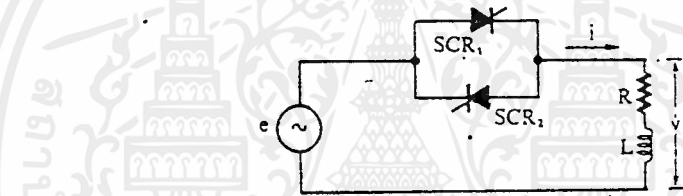
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{Z} [\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) \cdot e^{-(R/L)(\omega t - \omega t_0)/\omega}] \quad (3.1)$$

โดยที่

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad \text{เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของภาระ RL}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} \quad \text{เป็นมุมเฟสของภาระ RL}$$



แรงดันตกคร่อมที่สฟอร์เวิร์ด

รูปที่ (3.1) วงจรควบคุมแรงดันและกราฟกระแสแบบเต็มลูกคลื่นชนิด 1 เฟส เมื่อเอาโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด รับประทานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีอาร์แต่ละตัวจะนำกระแสในช่วงครึ่งไซเคิล เหมือนกับการแปลงไฟกระแส สลับเป็นไฟกระแสตรง สิ่งสำคัญคือ จำนวนมุมที่เอสซีอาร์นำกระแสไม่สามารถเกิน 180 องศา รูปคลื่นของวงจรรูปที่ (3.1) ก แสดงไว้ในรูป (3.1) ข จะเห็นว่าเมื่อมุมทริกเกอร์ ลดลงจนกระทั่งจำนวนมุมที่เอสซีอาร์นำกระแส เท่ากับ 180 องศา รูปคลื่นของแรงดันและ กระแสเอาต์พุตจะเป็น sinusoidal เมื่อมุมทริกเกอร์เท่ากับศูนย์ จากสมการที่ (3.1) กระแส $I_{a1} = 0$ เมื่อ $wt = \alpha$ จะได้สมการ

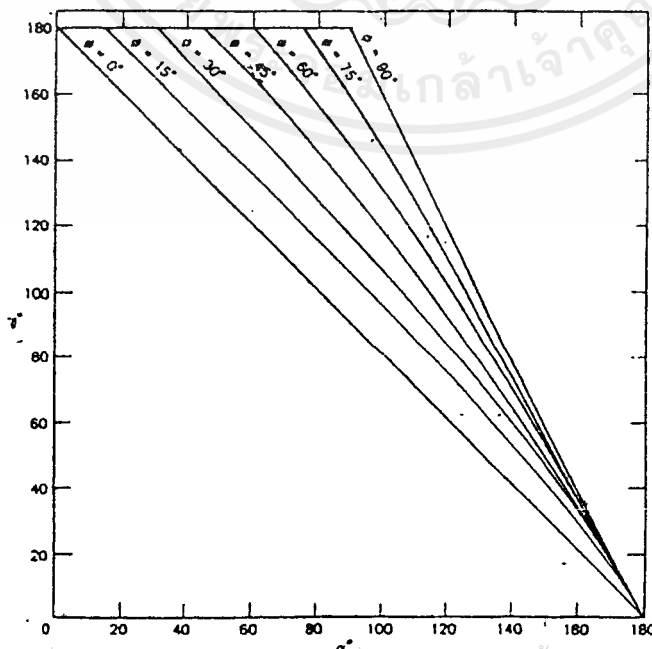
$$\sin(\beta - \phi) = \sin(\alpha - \phi) \cdot e^{-(R/L)(\alpha - \beta)} \quad (3.2)$$

$$\alpha = \beta - \phi \quad (3.3)$$

และถ้ามุมทริกเกอร์ = 0 = มุมเฟาเวอ์ของโวลต์แทนค่าลงใน (1.1) จะได้

$$\begin{aligned} \sin(\beta - 0) &= 0 \\ \beta - 0 &= 180 \\ \beta - \alpha &= 180 = \pi \end{aligned}$$

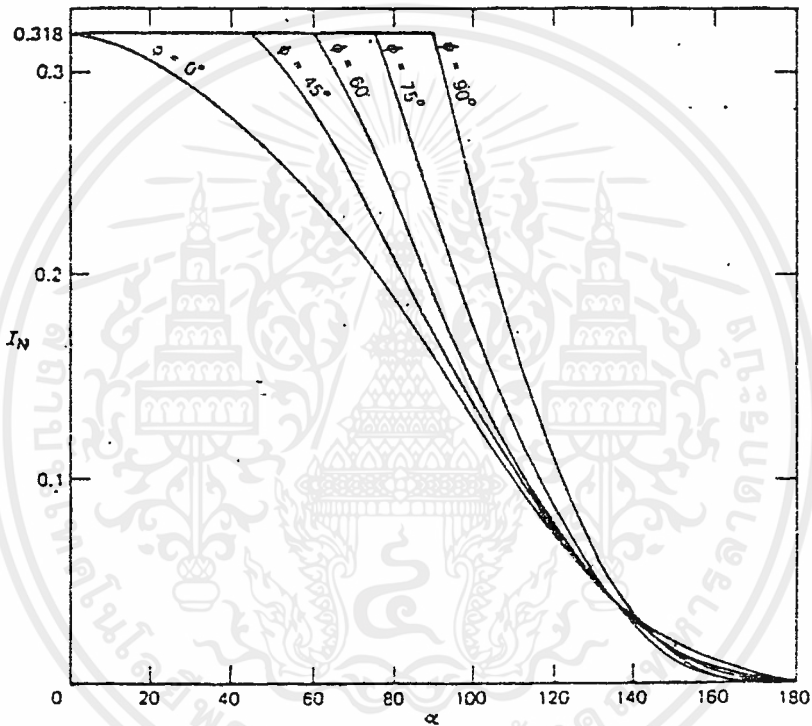
จะเห็นว่า เมื่อ $\alpha = 0$ กระแสจะไหลอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งไซเคิล เป็นรูปคลื่น sinusoidal ดังกราฟที่ (3.2) ซึ่งได้จากผลลัพธ์ของสมการที่ (3.1) โดยที่มุมทริกมีค่า ไม่น้อยกว่ามุม 0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ (3.2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง β กับ α สำหรับค่าต่างๆ ของ ϕ ซึ่งเขียนเป็นเส้นโค้งต่างๆ

กระแสเอาต์พุตเฉลี่ยที่ไหลผ่านเอสซีอาร์มีค่าเท่ากับ

$$I_{AVG.N} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} [\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{(R/L)(\alpha - \omega t / \omega)}] d(\omega t) \quad (3.4)$$

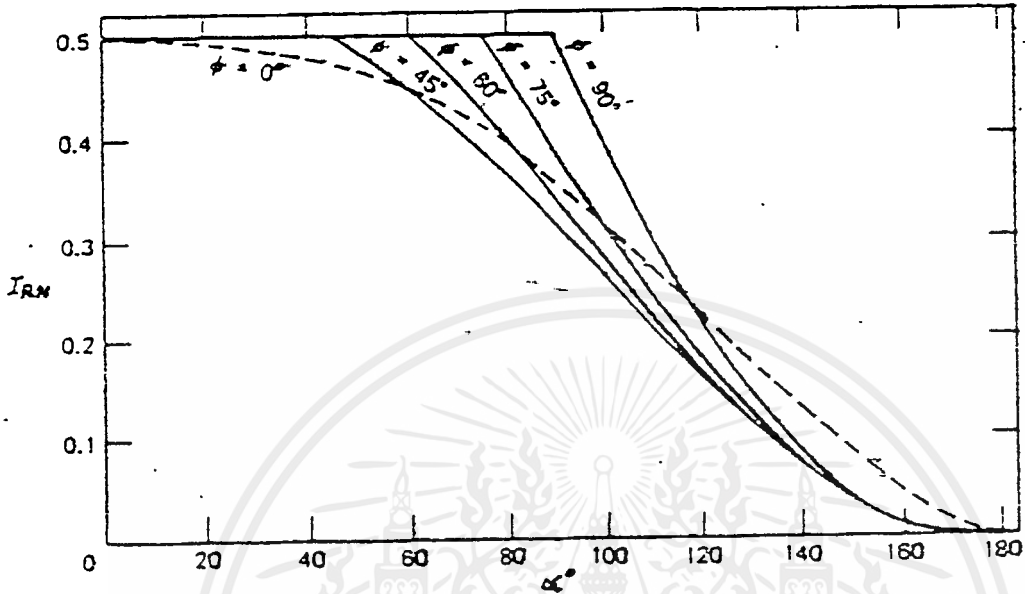


รูปที่ (3.3) เส้นโค้งต่างๆ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{AVG.N}$ กับ α สำหรับค่าต่างๆของมม0

กระแสเอาต์พุตอาร์เอ็มเอสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{RMS} = \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \left[\frac{\sqrt{2}V}{Z} [\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{(R/L)(\alpha - \omega t / \omega)}] \right]^2 d(\omega t) \right\}^{0.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน (3.5) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (3.4) เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเฉลี่ยไหลผ่านเอสซีอาร์ กับมุมจุดชนวน α ของรูปที่ (3.3)

และเราสามารถเขียนสมการของกระแสเอาต์พุต อาร์เอ็มเอสได้ดังนี้

$$I_{RMS.N} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} (\cos \alpha - \cos \omega t)^2 d(\omega t) \right]^{0.5} \quad (3.6)$$

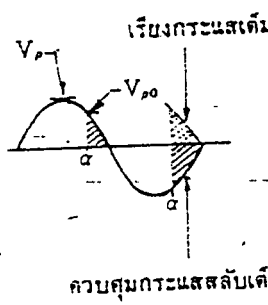
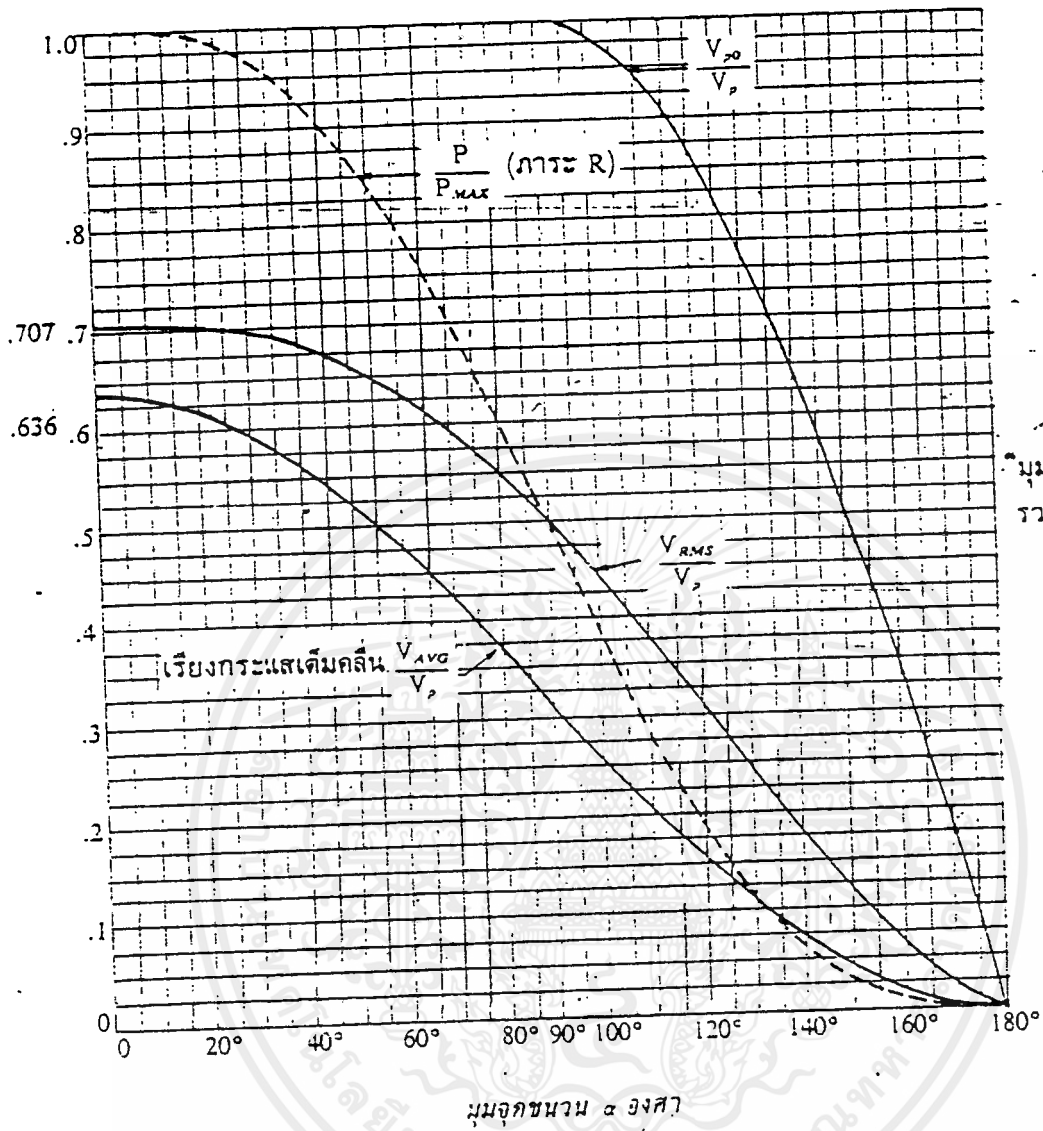
แรงดันอาร์เอ็มเอสที่ตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ

$$V_{RMS} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} (\sqrt{2V} \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right]^{0.5}$$

$$= \sqrt{2V} \left[\pi - \frac{\alpha}{\omega} + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]^{0.5} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนเทียบกับหนึ่งหน่วย



มุมเปิดกระแส
รวม = $2(180^\circ - \alpha)$
= 2γ

รูปที่ (3.5) เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันค่าเฉลี่ยค่าอาร์เอ็มเอส ค่ายอดสูงสุดและกำลังเป็นฟังก์ชันกับมุมจุดชนวน สำหรับการควบคุมในช่วงเต็มคลื่น

ฮาร์โมนิคในรูปคลื่นไฟฟ้ที่มีการควบคุมเต็มคลื่น

$$a_n = \frac{\sqrt{2}v}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \sin \omega t \cos n \omega t dt + \int_{\frac{5\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{2}} \sin \omega t \cos n \omega t dt \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sqrt{2V}}{\pi} \left[\frac{1}{1+n} \cos(1+n)\alpha - \frac{1}{1-n} \cos(1-n)\alpha + \frac{2n}{1-n^2} \right];$$

$$n = 3, 5, 7, \dots \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{2v}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t \cos \omega t + \sin \omega t \cos \omega t dt \\ &= \frac{\sqrt{2V}}{2\pi} (-1 + \cos 2\alpha) \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{2v}{\pi} \int_0^{\pi} [\sin \omega t \sin n\omega t dt + -\sin \omega t \sin n\omega t dt] \\ &= \frac{\sqrt{2V}}{\pi} \left[\frac{\sin(1+n)\alpha}{1-n} - \frac{\sin(1-n)\alpha}{1-n} \right]; \quad n = 3, 5, 7, \dots \end{aligned} \quad (3.10)$$

และ

$$b_1 = \frac{2v}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t dt + \sin \omega t dt]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sqrt{2V}}{2\pi} [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] \quad (3.11)$$

และเราสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์คือ

$$V_{AVG} = 0$$

และสามารถคำนวณหาค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสได้ดังข้างล่าง

$$V_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} (\sqrt{2V} \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right]^{0.5}$$

$$= V \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\gamma + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - \frac{1}{2} \sin 2(\alpha + \gamma) \right]} \quad (3.12)$$

ถ้าไม่คำนึงถึงวิธีการลดขนาด ค่ากำลังเฉลี่ย และ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสมีค่าขึ้นอยู่กับวัฏจักร หน้าทีของเอสซีอาร์ เราจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$P_c = \frac{P_{ton}}{T} \quad (3.13)$$

และ

$$V_c = V \left[\frac{t_{on}}{T} \right]^{0.5} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

P เป็นกำลังไฟฟ้าของภาระที่ป้อนเข้าโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ไม่มีการควบคุม

p_c เป็นกำลังไฟฟ้าที่ถูกควบคุม

V เป็นแรงดันอาร์เอ็มเอสอินพุต

V_c เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ถูกควบคุม

t_{on} เป็นช่วงเวลาการเปิดกระแสของไทรซิสเตอร์

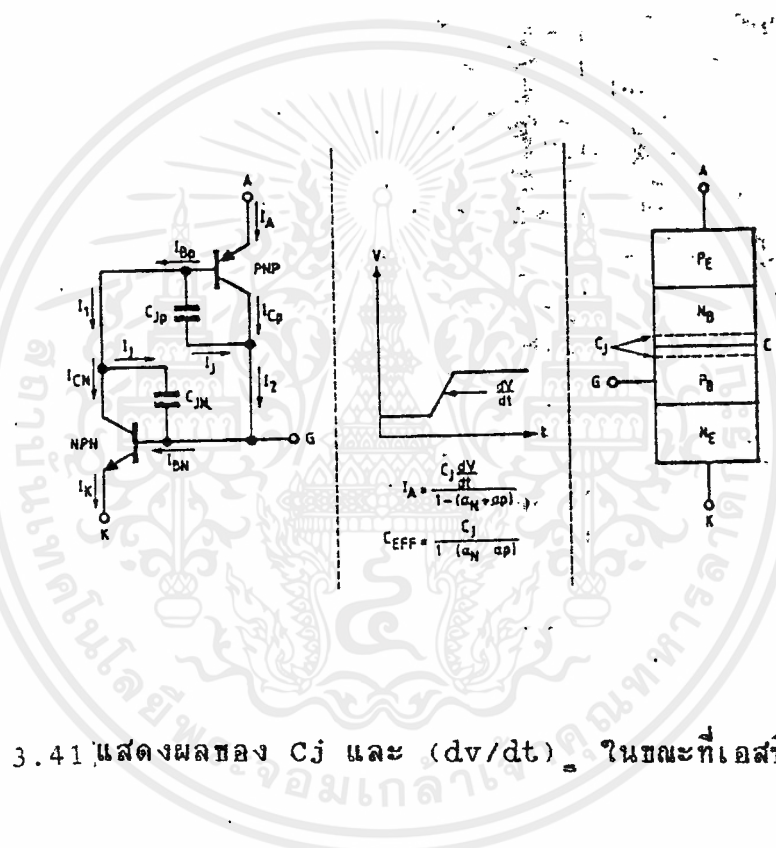
T เป็นคาบของการทำงาน

3.3 วงจรสับเบออร์

เอสซีอาร์สามารถนำกระแสได้เมื่อได้รับสัญญาณทรigger แต่ถ้าเกิด Dv/Dt ที่มีค่าสูงมากพอควร ก็จะทำให้เกิดกระแสทรiggerขึ้นเองภายในตัวเอสซีอาร์ได้ (เนื่องจากภายในตัวมันมีค่าคาปาซิเตอร์อยู่ค่าหนึ่ง) เป็นเหตุทำให้เอสซีอาร์เกิดนำกระแสได้ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณทรigger ดังนั้นจึงต้องมีวงจรป้องกันโดยต่อคร่อมระหว่างขั้วเอาโนดกับคาโทดของเอสซีอาร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดค่า dv/dt ที่สูงเกินไป

3.4 ผลของสแตติก (dv/dt)

สแตติก dv/dt หรือ สัญลักษณ์ชื่อว่า $(dv/dt)_u$ คือความสามารถในการที่เอสซีอาร์จะรักษาสภาวะไม่นำกระแส เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันในลักษณะไบแอสตรงอย่างทันทีทันใด ถ้าการเปลี่ยนแปลงแรงดันนี้มีค่าเกินกว่าค่า $(dv/dt)_u$ ของเอสซีอาร์ ก็จะทำให้เกิดการนำกระแสได้ การนำกระแสในลักษณะนี้เคยกล่าวแล้วว่า เป็นผลจากกระแสชั่ววูบ ซึ่งจะมีสัดส่วนโดยตรงกับ dv/dt ที่เกิดขึ้นกับเอสซีอาร์ และค่าคาปาซิแตนซ์ตรงรอยต่อ (ดูในรูปที่ 3.41 ประกอบ)



รูปที่ 3.41 แสดงผลของ C_j และ $(dv/dt)_u$ ในขณะที่เอสซีอาร์นำกระแส

ตามสมการ $i = C_j (dv/dt)$ การไหลของกระแสชั่วครู่นี้ ถ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้ค่าลูบเกินเข้าใกล้หนึ่งได้ก็จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้เช่นกัน ค่า $(dv/dt)_u$ ในคู่มือจะใช้สัญลักษณ์ dv/dt แทนและจะเป็นค่าที่บอกมา ณ สภาวะหนึ่งๆ ดังนั้นที่สภาวะอื่นๆ ค่า $(dv/dt)_u$ ของเอสซีอาร์ก็จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะลดน้อยลงหรือมากขึ้นกว่าเดิมก็ได้ แต่คงจะไม่มีใครอยากให้มีค่าลดน้อยลงแน่ เพราะจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสผิดจังหวะได้ง่ายยิ่งขึ้น การปรับปรุงค่า $(dv/dt)_u$ ของเอสซีอาร์ให้สูงขึ้นจึงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้ ซึ่งอาจกระทำได้โดยลดอุณหภูมิรอยต่อให้น้อยลง นั่นคือ ต้องมีการระบายความร้อนที่ดี หรือ มีการจัดอุณหภูมิห้องที่ใช้งานให้ต่ำลง การลดกระแสชั่วคราวให้น้อยลง ก็เป็นอีกทางหนึ่งซึ่งทำได้ โดยต่อความต้านทานภายนอกเข้าที่เกตและแคโทดหรือเกต และ MT_1 เพื่อบายพาสกระแสส่วนนี้ไปยังแคโทดโดยตรง ค่าความต้านทานที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 20-100 โอห์ม ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานภายในที่กระจายอยู่ระหว่างเกตและแคโทด หรืออาจจะใช้คาปาซิเตอร์ ค่าระหว่าง 0.1 ถึง 1 ฟารัดต่อคร่อมเข้าที่เกต และแคโทด (หรือ MT_1) โดยจะไปอนุกรมอยู่กับ C_1 ทำให้ค่า C_1 มีค่าลดน้อยลงเป็นผลให้ $(dv/dt)_c$ มีค่าสูงขึ้นได้

3.5 คอมมิวเตตติ้ง (dv/dt)

คอมมิวเตตติ้ง dv/dt หรือสัญลักษณ์ย่อว่า $(dv/dt)_c$ ซึ่งจะเป็นตัววัดถึงความสามารถในการที่จะเปลี่ยนจากสภาวะนำกระแสไปยังไม่นำกระแส หรือความสามารถในการหยุดกระแสด้วยผลของเฟสแรงดันไฟสลับ โดยเฉพาะกรณี เมื่อโหลดเป็น อินดักทีฟ กระแสจะล่าหลังแรงดัน

เมื่อกระแสตกลงสู่ศูนย์ เอสซีอาร์จะเริ่มหยุดนำกระแส และ ที่เวลานั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอย่างทันทีทันใดไปสู่แรงดันค่าหนึ่งที่มีทิศทางกันข้ามกับตอนแรก ซึ่งก็ยังคงเป็นการไบแอสตรงให้กับ เอสซีอาร์อยู่ดี ถ้าค่า dv/dt ที่เกิดขึ้นนี้มีค่ามากกว่า $(dv/dt)_c$ ของเอสซีอาร์ ก็จะไม่สามารถทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสได้ ทำให้การควบคุมกำลังงานที่โหลดไม่เป็นไปตามที่ต้องการการนำกระแสในลักษณะเช่นนี้จะเกิดจากกระแสที่เป็นผลรวมของกระแสชั่วคราวและประจุที่สะสมไว้ในช่วงนำกระแสตอนแรก ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงแรงดัน เพื่อทำให้เกิดกระแสชั่วคราวเพียงเล็กน้อยนี้ ก็สามารถที่จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไปได้อีก นั่นคือค่า $(dv/dt)_c$ จะมีค่าน้อยกว่า $(dv/dt)_c$ นั้นเอง ปริมาณประจุที่สะสมไว้ในช่วงนำกระแสตอนแรก จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่ากระแสโหลดสูงสุดก่อนหยุดนำกระแส (I_{TM}) และอัตราการตกของกระแส $(di/dt)_c$ ซึ่งค่า $(di/dt)_c$ นี้ในกรณีของกระแสรูปร่างซายน์เวฟจะขึ้นอยู่กับ I_{TM} และความถี่ (f) ตามสมการ $(di/dt)_c = (6fI_{TM})/1,000$ A/ms ถ้าค่า I_{TM} หรือ $(di/dt)_c$ มีค่าสูงขึ้นปริมาณประจุสะสมก็จะมากขึ้นตาม พื้นที่ใต้กราฟช่วงเวลาดังกล่าว

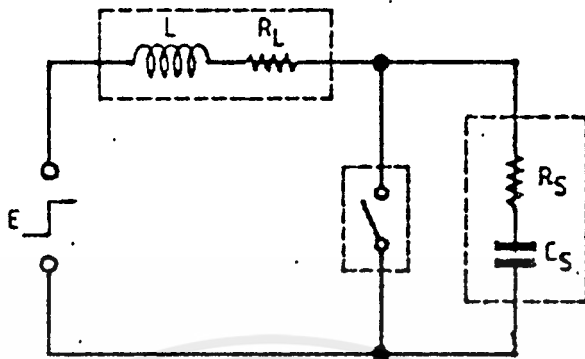
จะเป็นผลรวมของปริมาณประจุสะสมอยู่ในช่วงนำกระแสตอนแรกกับประจุที่เกิดจากการแส้วชั่วคราว ถ้าผลรวมของประจุมีค่ามากขึ้น หรือกระแสพื้นตัวมีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้ค่า $(dv/dt)_c$ ของเอสซีอาร์ลดน้อยลง สำหรับผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้น ก็จะช่วยให้เพิ่มปริมาณผลรวมของประจุให้มากขึ้นได้เช่นกัน

การลดปริมาณประจุที่สะสมไว้ในช่วงนำกระแสตอนแรก มีส่วนในการที่จะช่วยปรับปรุงค่า $(dv/dt)_c$ ของเอสซีอาร์ให้มีความสูงขึ้น ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเลือกใช้ขนาดของเอสซีอาร์ที่สูงกว่ากระแสไหลที่ใช้งานมาก ทั้งนี้เพราะที่กระแสใช้งานค่าเดียวกัน ขนาดของเอสซีอาร์ที่ใหญ่กว่า จะมีการสะสมปริมาณประจุต่ำกว่า นั่นคือความสามารถหยุดนำกระแสดีกว่าอีกทั้งผลของอุณหภูมิที่ร่อยต่อยังมีค่าต่ำกว่าอีกด้วย

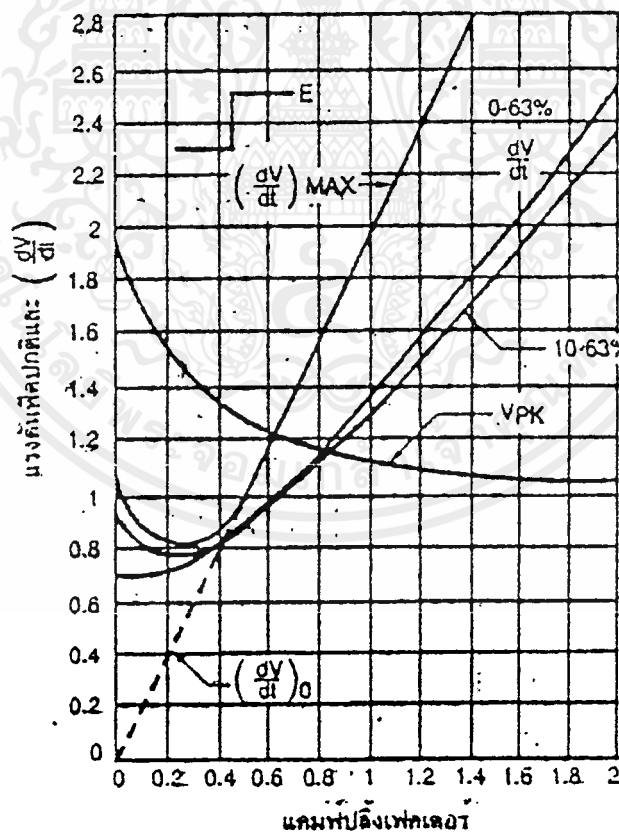
ผลของโหลดประเภทอินดักทีฟ จะมีส่วนช่วยในการลดปริมาณประจุที่สะสมนี้ลงได้ด้วย ซึ่งก็คือ การทำให้ค่า $(di/dt)_c$ มีค่าต่ำลงนั่นเอง สำหรับการปรับปรุงค่า $(dv/dt)_c$ ให้มีความสูงขึ้นก็จะมีส่วนช่วยเพิ่มค่า $(dv/dt)_c$ ของเอสซีอาร์ให้สูงขึ้นได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะจะไปลดปริมาณประจุที่เกิดจากกระแสชั่วคราวให้น้อยลง

3.6 การออกแบบวงจรสับเบออร์

นอกจากการปรับปรุงค่า dv/dt ของเอสซีอาร์ให้สูงขึ้นแล้ว เพื่อลดปัญหาการนำกระแสผิดจังหวะแล้ว การใช้งานวงจรสับเบออร์เพื่อลดค่า dv/dt ที่เกิดขึ้นกับเอสซีอาร์ก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง การหาค่า R_u และ C_u สามารถทำได้โดยการแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งทำได้ยากมาก ดังนั้นจึงขอแนะนำวิธีการหาโดยใช้กราฟ วงจรสมมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์จะเป็นดังในรูปที่ 3.6.1 สำหรับเอสซีอาร์ จะถูกแทนด้วยสวิตช์ที่เปิดอยู่ ทั้งนี้ เพราะเอสซีอาร์อยู่ในสภาวะหยุดนำกระแสและค่าเริ่มต้น (initial value) ของกระแสและแรงดันตกคร่อม C_u จะให้เป็นศูนย์ทั้งคู่ กราฟที่ใช้สำหรับการออกแบบจะแสดงในรูปที่ 3.6.2



รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลที่ใช้วิเคราะห์หาค่า R_L และ C_S ของวงจรสับเบอร์



$$(R_L = 0, M = 1, \text{ARM} = 0)$$

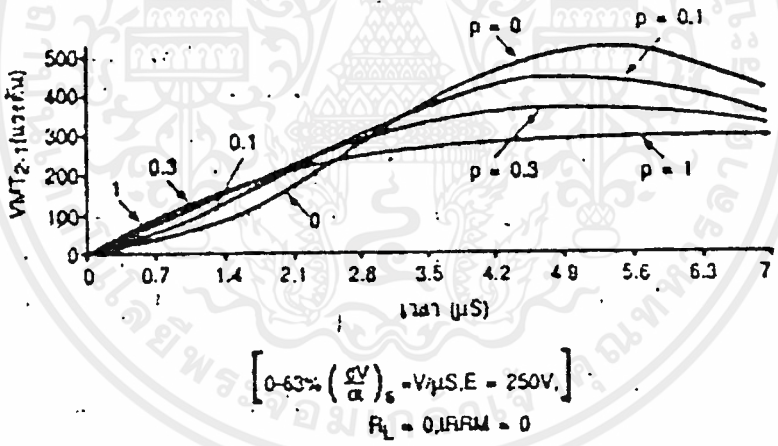
$$\text{ปกติ } \frac{dV}{dt} = \frac{dV/dt}{E} \infty 0$$

$$\text{ปกติ } VPK = \frac{VPK}{E}$$

รูปที่ (3.6) กราฟที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า R_L และ C_S ของวงจรสับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเป็นกราฟที่ใช้ในการออกแบบเพื่อป้องกันผลของสแตติกและคอมมิวเตตติ้ง dv/dt ของวงจรถ่าย ในกราฟจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ 0-63% และ 10-63% dv/dt ตามลำดับ แต่ใช้ได้กับโพลต์ที่เป็น L อย่างเดียวเท่านั้น ($R_L = 0$) โดยค่า μ (damping factor) ที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0-2 ขั้นตอนแรกสำหรับการออกแบบจะต้องเลือกค่า μ ให้เหมาะสมกับเอสซีอาร์ที่ใช้งาน เพราะทั้งนี้การเลือกค่า μ จะมีผลต่อการเกิดแรงดันโอเวอร์ชูต V_{pk} (overshoot) และค่า dv/dt ของวงจรถ่าย ถ้าค่า μ มีค่าน้อยๆ (0-0.5) ค่า dv/dt ที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำ แต่แรงดันโอเวอร์ชูตที่คร่อมเอสซีอาร์จะมีค่าสูง รวมทั้งจะเกิดเวลาประวิง (time delay) จะหน่วงแรงดันไม่ให้ขึ้นไปเร็วนัก ทำให้ $(dv/dt)_{max}$ ไม่ได้เกิดขึ้นที่เวลา $t = 0$ และถ้า μ มีค่ามากกว่า 0.5 ค่า dv/dt จะมีค่าสูง แต่แรงดันโอเวอร์ชูตกับมีค่าต่ำลงและ $(dv/dt)_{max}$ จะเกิดขึ้นที่เวลา $t = 0$ รายละเอียดดูได้จากกราฟ รวมทั้งรูปร่างของการเกิดแรงดันโอเวอร์ชูตที่ค่า μ ต่างในรูปที่ (3.6.3)



รูปที่ 3.6.3 ลักษณะการเกิดแรงดันโอเวอร์ชูตที่ค่าต่างๆ

แรงดันโอเวอร์ชูตนี้มีผลโดยตรงกับ V_{DRM} (Peak Repetitive Forward Blocking Voltage) ของเอสซีอาร์ ซึ่งถ้ามันมีค่ามากกว่าแล้วจะทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ ขึ้นต่อไปให้อ่านค่าปกติของ dv/dt และ V_{pk} จากตำแหน่งค่าที่เลือกเสร็จแล้วให้ตรวจสอบดูว่า V_{pk} ที่เกิดขึ้นจริงมีค่าเกิน V_{DRM} ของเอสซีอาร์หรือไม่

โดยใช้สมการ $V_{PK} =$ ค่าปกติของ $V_{PK} \times E$ เมื่อ E คือ ค่าแรงดันสูงสุดของ แหล่งจ่ายไฟมีค่าเท่ากับผลคูณของ 2 กับค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสของแหล่งจ่ายไฟ (V_{RMS}) ซึ่งถ้ามีค่าเกินก็จะต้องเลือกค่าใหม่ หรือเปลี่ยนขนาดของเอสซีอาร์ที่มี V_{DRM} ให้สูงขึ้นหลังจากนั้นก็หาค่า ω_0 (Undamped Natural Frequency) จากสูตรที่ว่า $\omega_0 = (dv/dt) / (\text{ค่าปกติของ } dv/dt \times E)$ เมื่อ dv/dt เป็นค่าที่เกิดขึ้นจริงกับ เอสซีอาร์ ดังนั้นการแทนค่าในสมการจะต้องให้มิต้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ dv/dt ของ เอสซีอาร์ ซึ่งก็คือ ค่า $(dv/dt)_u$ หรือ $(dv/dt)_c$ นั้นเอง โดยจะใช้ค่าไหนนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของผู้ออกแบบ ลำดับต่อไปก็หาค่า C_u จากสมการ $C_u = 1/(\omega_0^2 L)$ และ หาค่า R_u จากสมการ $R_u = 2\rho/L/C_u$ เมื่อ L คือ ค่าอินดักแตนซ์ ของโหลด ซึ่งในบางครั้งอาจจะต้องคำนวณหาเอง เมื่อโหลดบอกแต่เพียงกระแสอาร์ เอ็มเอสที่ใช้งาน (I_{RMS}) ค่า L ที่คำนวณจะเป็นไปตาม สมการ

$$L = V_{RMS} / (2 f I_{RMS}) \text{ โดยที่ } f \text{ คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ}$$

3.7 การคำนวณและออกแบบวงจร snubber

กำหนด

1. Peak Voltage ; $E_u = 220/2 = 311 \text{ V}$
2. Max - operate frequency ; $f_0 = 60 \text{ Hz}$
3. dv/dt สูงสุด = $300 \text{ V}/\mu\text{s}$
4. เลือกค่า overshoot Voltage = 22%
5. เลือก stray circuit จาก $E'_u/E_u = 1.22$ จะได้ว่า

$$\rho = 0.65$$

$$(L = 20\mu\text{H}) \text{ damping factor } (\rho) = \frac{R}{\omega_0 L} \sqrt{C_u}$$

โดยที่

$$\text{damping factor} : 0.5 < \rho < 21$$

$$\text{Snubber resistance } R = \frac{L_s}{E_s} \text{ (ohms)} \quad (3.7.1)$$

และ

$$E_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{snubber capacitance } C = \frac{4\rho^{2E}}{RS} \quad (\text{F}) \quad (3.7.2)$$

and

$$\text{Peak Snubber Current } I_{\max} = \frac{Es}{R} \frac{2\rho}{\sqrt{(1-\rho^2)}} \quad (\text{A})$$

โดยการคำนวณจะได้ว่า

$$R = \frac{10 \times 300}{311} = 9.65 = 10 \text{ ohms}$$

$$C = \frac{4 \times (0.65)^2 \times 311}{10 \times 300 \times 10^6} = 175 \mu\text{F} \text{ เลือกที่ค่า } 0.2 \mu\text{F}$$

ที่อัตราทนได้ 400 V

$$I_{\max} = \frac{311 \times 280.65}{10 \sqrt{(1-(0.65)^2)}} = 54.3 \text{ A} = 54 \text{ A}$$

$$P_{10\text{ohms}} = CE_o^2 t_1 = 175 \times 10^{-6} \times (380)^2 \times 60 = 1.5 \text{ W} \text{ เลือกที่ } 10 \text{ Watts}$$

3.8 การทำงานของวงจรสับเบอ์

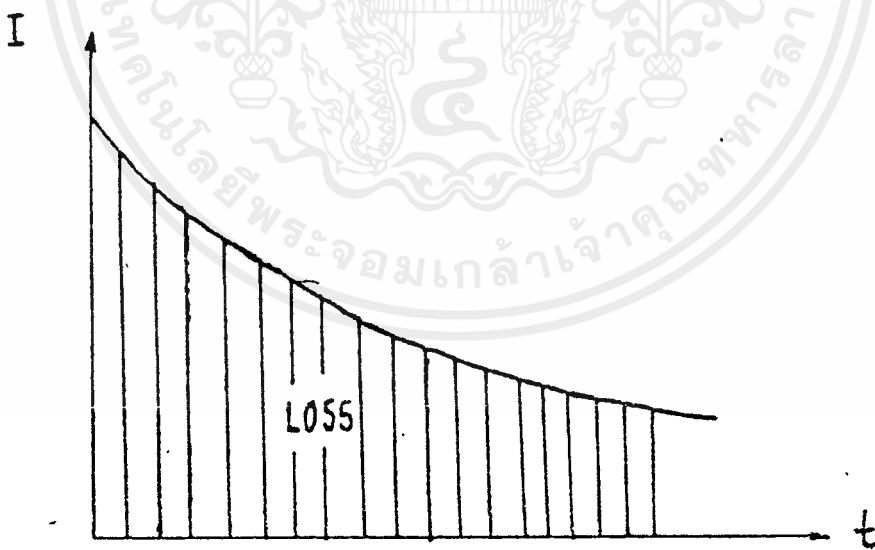
หลักการทำงานของวงจรสับเบอ์ คือ เมื่อเอสซีอาร์หยุดนำกระแส กระแสอาโนดก็จะเปลี่ยนทิศทางเข้าชาร์จตัวเก็บประจุ โดยผ่านทางไดโอด ตัวเก็บประจุที่สูงจะสร้าง Forward Blocking Voltage คร่อมเอสซีอาร์ในช่วงเวลาของการหยุดนำกระแส ค่าของประจุที่เข้าชาร์จอยู่ในตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับ ค่าของกระแสที่ไหลเข้าและขนาดของตัวเก็บประจุเอง และเมื่อนำกระแส ตัวเก็บประจุก็จะดีสชาร์จ (discharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านทางตัวต้านทานสิ่งสำคัญอย่างยิ่งคือ ประจุที่ดิสชาร์จออกจากตัวเก็บประจุจะต้องหมดก่อนช่วงที่เอสซีอาร์จะถูกทำให้หยุดนำกระแสอีกครั้งหนึ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในช่วงการหยุดนำกระแสครั้งต่อไป ตัวต้านทานที่อยู่ในวงจรสวิตช์เบอ์จะเป็นตัวจำกัดค่า (di/dt) ของวงจรสวิตช์เบอ์นี้ ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร จะต้องมามีค่าของความต้านทาน (Resistance) และค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ต่ำ เพื่อให้กระแสเปลี่ยนทิศเข้าสู่ชาร์จตัวเก็บประจุได้อย่างรวดเร็ว ค่าของตัวเก็บประจุถูกกำหนดโดยค่า (dV/dt) ในช่วงหยุดนำกระแส สำหรับไดโอดที่ใช้จะต้องเป็นพวก Fast recovery diode ค่าของตัวความต้านทานจะถูกจำกัดโดยค่าของตัวเก็บประจุ และระยะเวลาที่นำกระแส

วงจรสวิตช์เบอ์จะเป็นตัวที่ช่วยลด (dV/dt) และ ความสูญเสียในขณะหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ (turn off loss) แต่จะเกิดความสูญเสีย (loss) ขึ้นเองในตัววงจรสวิตช์เบอ์ในขณะช่วงเวลาของการนำกระแส โดยค่าความสูญเสียของสวิตช์เบอ์นี้ขึ้นกับค่า (di/dt) ของกระแสดิสชาร์จของตัวเก็บประจุ

คุณสมบัติที่สำคัญที่วงจรสวิตช์เบอ์ควรจะมีก็คือ จะต้องมามีค่าของ Leakage inductance ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

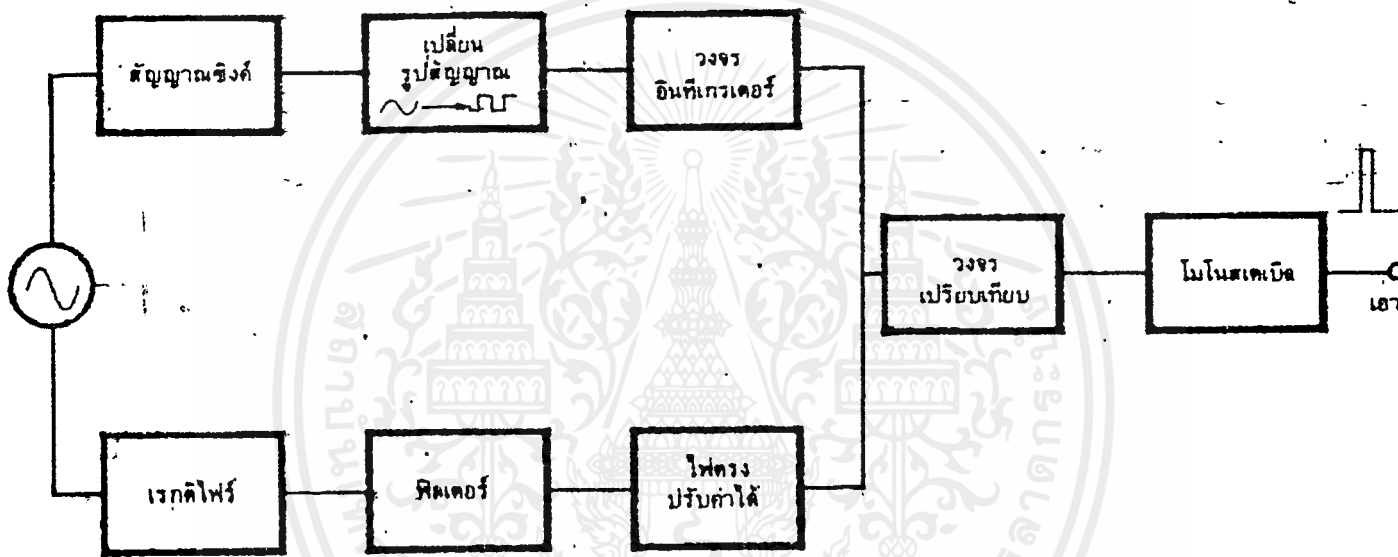


รูปกราฟแสดงการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจรควบคุมการ-trigger

วงจรควบคุมการ-triggerหรือวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ให้ตัวเอสซีอาร์ เริ่มและหยุดการทำงาน ดังนั้นจึงเป็นส่วนที่ควบคุมศักดาไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านเอาต์พุตของวงจรกำลัง เพื่อจ่ายให้แก่โหลดซึ่งมีลำดับชั้นการทำงานดังรูปล่าง



บล็อกไดอะแกรมแสดงลำดับชั้นการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

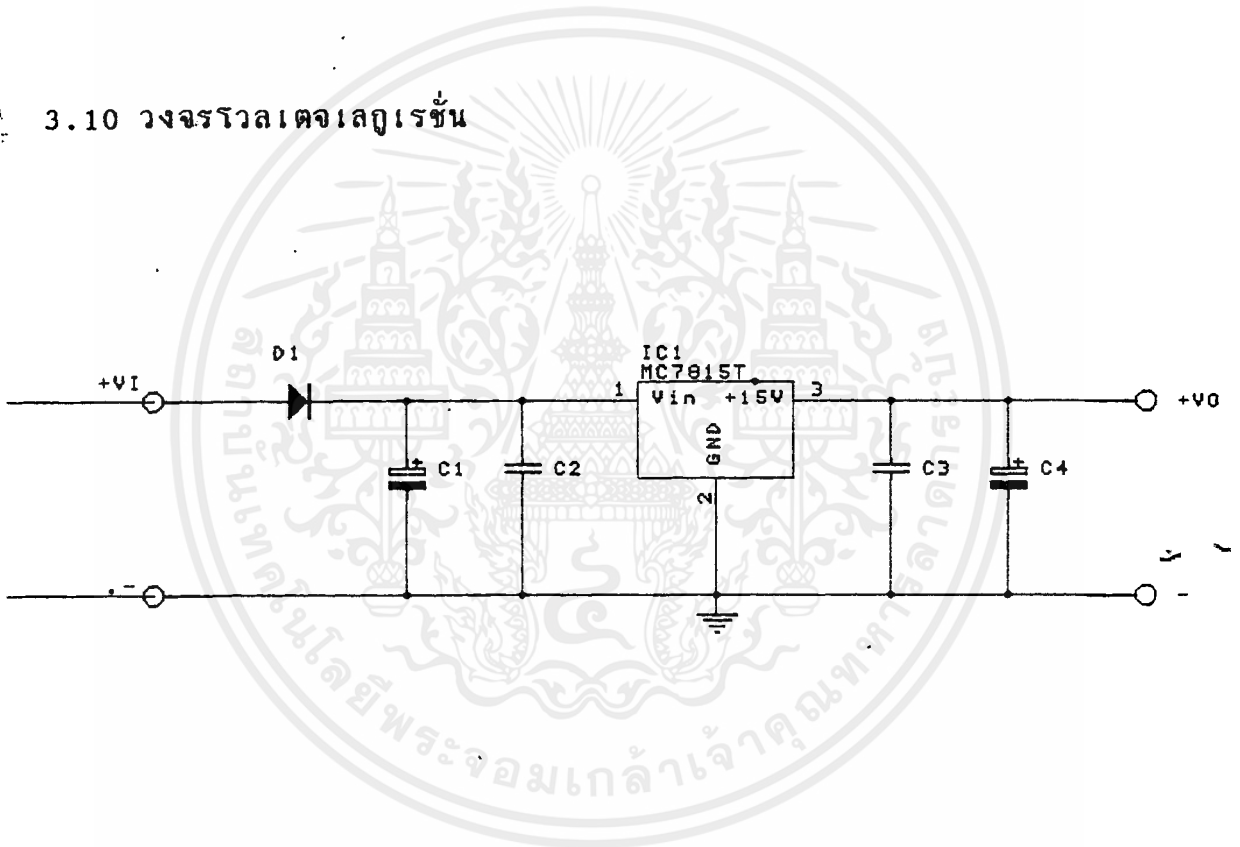
จากบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้คือ วงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรเปรียบเทียบ วงจรโมโนสเตเบิล วงจรมัลติไวเบรเตอร์ ส่วนส่งผ่านสัญญาณซิงค์ ส่วนเรกติไฟร์ ส่วนฟิลเตอร์ ส่วนของไฟตรงปรับค่าได้

วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นดังรูป มีลำดับชั้นการทำงานดังนี้ คือ เมื่อป้อนสัญญาณศักดาไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ ให้กับชุดทดลองจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณศักดาไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 18 โวลท์ จากนั้นจะส่งเข้าส่วนที่ทำการแปลงคลื่นเอซีให้เป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแรมป์แล้วส่งต่อเข้าวงจรส่วนอินทิเกรเตอร์ สัญญาณแรมป์ที่ได้นี้ ก็จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับศักดาไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้จากส่วนควบคุมไฟฟ้ากระแสตรง จุดซึ่งศักดาไฟฟ้าควบคุมและสัญญาณแรมป์ตัดกันจะทำให้เกิดสัญญาณกระตุ้นออกมา สัญญาณกระตุ้นที่ได้นี้จะนำไปผ่านส่วนของวงจรโมโนสเตเบิล เพื่อทำการสร้างสัญญาณเอกซารันเป็นเอกซารันที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอจิกที่เป็นสัญญาณพัลส์เล็กๆ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงคาบเวลาได้ตามการควบคุมของวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรส่วนควบคุมที่จะนำไปใช้งาน โดยส่งผ่านตัวไดโอดเพื่อป้องกันการย้อนกลับจากอีกเอาต์พุตด้านหนึ่งอีกทีจึงจะได้สัญญาณกระตุ้นที่สมบูรณ์สัญญาณกระตุ้นที่ได้ี้จะมีเฟสเดียวกันกับศักดาไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นถ้าศักดาไฟฟ้าควบคุมเกิดเปลี่ยนแปลงไป มุมกระตุ้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กล่าวคือถ้าศักดาไฟฟ้าควบคุมเพิ่มขึ้น มุมกระตุ้นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และ จากวงจรที่กล่าวถึงนี้ ได้กำหนดให้ความสูงของสัญญาณแรมป์เป็น 8 โวลต์ ดังนั้นเมื่อสัญญาณควบคุมไฟฟ้ามียุติในช่วงจาก 0-10 โวลต์ พิสัยของมุมกระตุ้นก็จะเป็น 0 ถึง 180 องศา ด้วย

3.10 วงจรโวลเตจ เลอู เรชั่น



รูปแสดงวงจรโวลเตจ เลอู เรชั่น

สำหรับในส่วนของไฟเลี้ยงวงจรจะใช้ ไอซีเบอร์ M7815CT มาทำหน้าที่ในการ Regulator Voltage เพื่อรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรชุดควบคุมให้คงที่ที่ค่าหนึ่ง ซึ่งวงจรส่วนนี้จะทำการจ่ายกระแสให้กับวงจรทรานซิสเตอร์ และควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ โดยปริมาณกระแสที่จ่ายจะไม่ขึ้นกับแรงดันอินพุตที่จ่ายให้กับตัวเรกูเลเตอร์

หลักการทำงานพื้นฐานคือ เมื่อสัญญาณลอจิกเกตทางอินพุต มีค่าลอจิกเป็น "0" จะมีกระแสไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด ก็จะเกิดการทํางานส่งแสงไปกระตุ้นให้ตัวตรวจรับคือโฟโตไดโอดแตรแอค ซึ่งเป็นสวิทช์สองทางเกิดการนำกระแสไหลไปทํากาการกระตุ้นให้เอสซีอาร์ทํางานทั้งในระหว่างครึ่งไซเคิลบวกและลบ และเมื่อเอาต์พุตของลอจิกเกตเป็น "1" ไดโอดเปล่งแสงก็จะหยุดการทํางาน สำหรับการการส่งผ่านสัญญาณของตัวเชื่อมโยงทางแสงนี้จะถูกส่งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองชิ้น ที่แยกจากกันทางไฟฟ้า โดยจะอยู่ในรูปของสัญญาณแสง ชิ้นส่วนทั้งสองนี้ไม่สามารถสลับหน้าที่กันได้ และไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้าสัญญาณที่ถูกส่งผ่านจึงมีได้เพียงทิศเดียวเท่านั้น

3.12 การทํางานของวงจรถ่วง

วงจรถ่วงควบคุมการทริกเกต หรือ วงจรถ่วงสร้างสัญญาณกระตุ้นจะเป็นส่วนที่ทํานำหน้าให้ตัวเอสซีอาร์ เริ่มและหยุดการทํางาน เป็นส่วนที่ควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับเอสซีอาร์ เพื่อให้เอสซีอาร์สามารถควบคุมการทํางานของโหลดได้

จากการทดลองได้ทํากาการจ่ายไฟ เอซี 18 โวลต์ 50 เฮิร์ตให้กับชุดวงจรถ่วงควบคุมวงจรถ่วงควบคุมจะทํางานโดยนำสัญญาณ SYN. จากแหล่งจ่ายความถี่เดียวกัน มาผ่านกาการจำกัดกระแสให้พอเหมาะจากนั้นจะผ่านสัญญาณไปวงจรถ่วงจับแรงดันศูนย์ (ZERO VOLTAGE DETECTOR) แล้วส่งไปยังส่วนของวงจรถ่วงซิงค์โครไนซ์รีจิสเตอร์ (SYNC. Register) ซึ่งควบคุมสัญญาณแรมป์ที่เกิดจากการเก็บประจุของ C_{10} จ่ายกระแสที่คงที่ซึ่งกำหนดความลาดชันของสัญญาณแรมป์ด้วย R_9 ถ้าหากว่าสัญญาณแรมป์ที่ขา 10 มีระดับแรงดันต่างไปจากขา 11 ตัวควบคุมการเปรียบเทียบ (Control comparator) จะผลิตสัญญาณเชิงตรรกไปยังส่วนของวงจรถ่วงลอจิกต่อไป ซึ่งสัญญาณลอจิกนี้เราสามารถควบคุมให้เลื่อนไปมาจาก 0 ถึง 180 องศาได้ โดยการปรับเปลี่ยนแรงดันทางด้านอินพุตของวงจรถ่วงควบคุมการเปรียบเทียบ สำหรับขาที่ 6 จะเป็นตัวเปิดเปิดพัลส์ทั้งหมด หากขาที่ 6 มีลอจิกเป็น "1" ก็จะมีพัลส์ออกตามปกติ แต่ถ้าขาที่ 6 มีลอจิกเป็น "0" ก็จะไม่มีการพัลส์ใดๆ ออกมา

พัลส์ต่างๆจะมีความกว้างประมาณ 30 ไมโครวินาที สามารถขยายความกว้างพัลส์ต่างๆ ออกไปได้ถึง 180 องศา โดยการเปลี่ยนค่า C_{12} หรือจะลัดวงจรถ่วง C_{12} ที่ขา 12 ลงกราวด์ ก็จะได้ความกว้างพัลส์ตั้งแต่มุมทริกที่ 0 องศา ไปจนถึง 180 องศา สำหรับเอาต์พุตที่จะนำมาใช้คือ สัญญาณกระตุ้นจากขาที่ 14 และขาที่ 15 ของไอซี โดยทํางานคนละครึ่งไซเคิล คือระหว่างช่วงคลื่นลูกบวก (0 - 180) และระหว่างช่วงคลื่นลูกลบ (180 - 360) จะถูกส่งสัญญาณไปผ่านตัวไดโอดแล้วผ่านความต้านทาน (R_{14})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

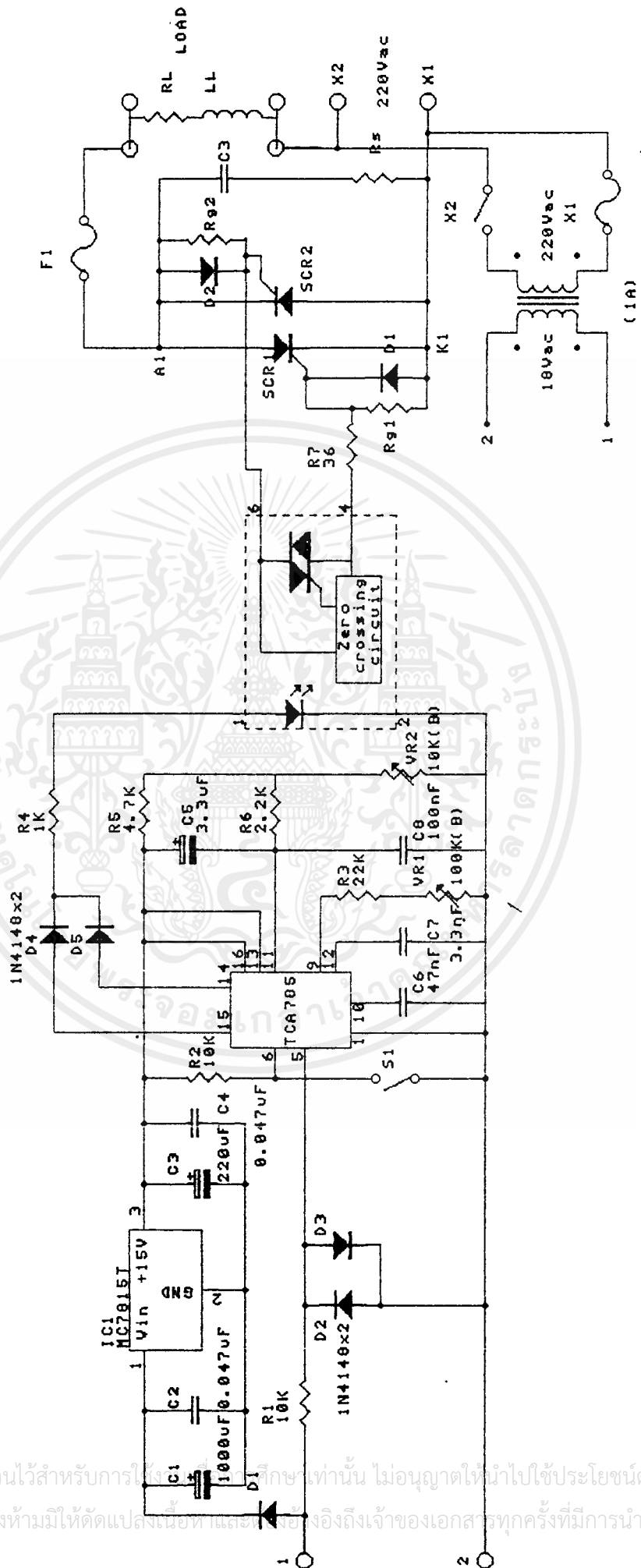
ควบคุมแรงดัน และช่วยจำกัดกระแสเอาต์พุตของวงจรไม่เกิน 15 มิลลิแอมป์ ทำให้ได้สัญญาณกระตุ้นที่สมบูรณ์ เพื่อทำการจ่ายให้กับ LED อินพุตของไอซี ออปโตคัปเปอร์ ต่อไป เพื่อจะส่งสัญญาณกระตุ้นไปทริกเกอร์ที่ขา "เกต" ของเอสซีอาร์

สำหรับวงจรชุดควบคุมนี้สามารถที่จะปรับค่าของกระแสได้สูงที่สุดที่ 400 มิลลิแอมป์ และมีพิสัยการควบคุมของมุมกระตุ้นจาก 0 ถึง 180 องศา โดยใช้เอสซีอาร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ในการควบคุมการเปิด และ ปิดการนำกระแส ที่จะจ่ายเข้าสู่กับโพลดให้สามารถที่จะทำงานได้ต่อไป



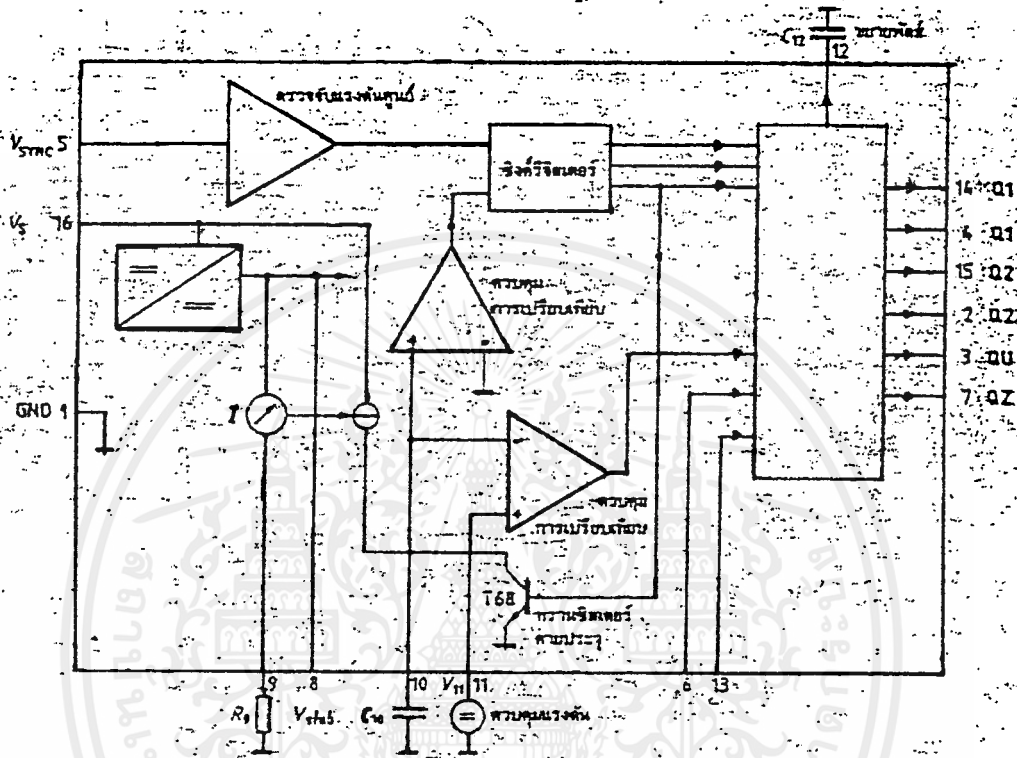
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงวงจรทริกเกอร์สัญญาณและการต่อใช้งานกับแอสซิวาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 การใช้งานของ ไอซี TCA - 785

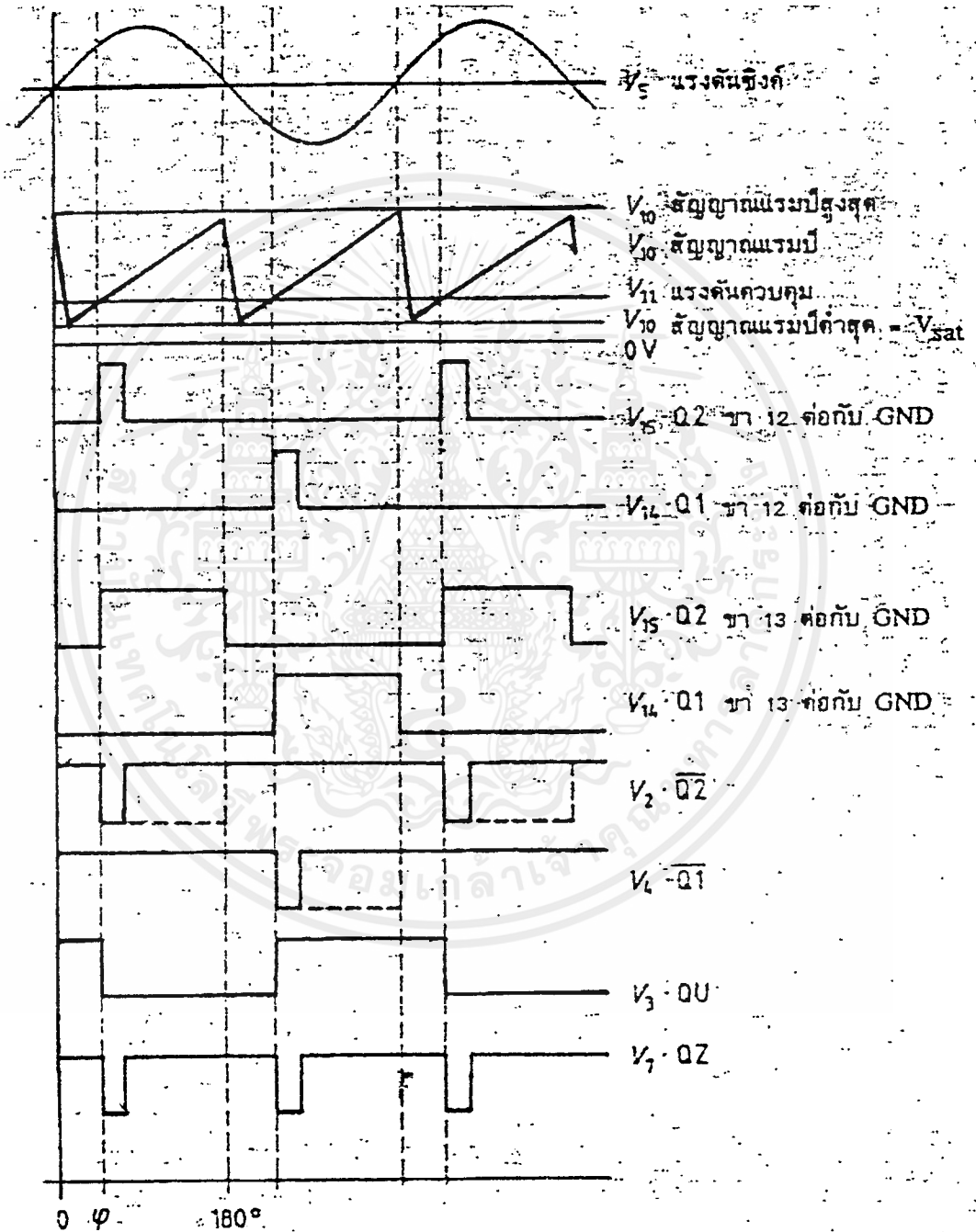


รูปแสดงโครงสร้างภายในของ IC TCA 785

- ขาที่ 1 เป็นจุดต่อขั้วลบของไฟเลี้ยงวงจร (จุดกราวด์ของวงจร)
- ขาที่ 2 อินเวอร์สเอาต์พุตของขาที่ 15
- ขาที่ 3 เป็นจุดต่อสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงเพื่อไปใช้งานบางอย่าง
- ขาที่ 4 อินเวอร์สเอาต์พุตของขาที่ 14
- ขาที่ 5 เป็นจุดต่อรับสัญญาณ SYN. จากไฟเลี้ยงวงจรเอชซี
- ขาที่ 6 เป็นจุดเปิดปิดพัลส์ทางด้านเอาต์พุตของวงจร
- ขาที่ 7 เป็นจุดต่อสัญญาณพัลส์สำหรับไปควบคุมโหลดที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงมาก
- ขาที่ 8 เป็นจุดสร้างแรงดันอ้างอิงของวงจร
- ขาที่ 9 จุดต่อความต้านทานที่ใช้ควบคุมความลาดชันของสัญญาณแรมป์
- ขาที่ 10 เป็นจุดต่อเพื่อควบคุมแรงดันของสัญญาณแรมป์
- ขาที่ 11 เป็นจุดแรงดันควบคุมการเปรียบเทียบของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาที่ 12 เป็นจุดควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยการปรับเปลี่ยนค่า $C_{1,2}$
- ขาที่ 13 เป็นจุดต่อสำหรับเลือกการใช้งานของเอาต์พุตพัลส์ที่ขา 2 กับ 4
- ขาที่ 14 เอาต์พุตของวงจรครึ่งลบไซเคิลแรก
- ขาที่ 15 เอาต์พุตของวงจรครึ่งบวกไซเคิลหลัง
- ขาที่ 16 เป็นจุดต่อขั้วบวกของไฟเลี้ยงวงจร



รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ขาต่าง ๆ ของไอซี TCA785

3.14 การทำงานของเอสซีอาร์

เนื่องจากเอสซีอาร์ไม่สามารถทำงานเองได้เหมือนกับไดโอด ดังนั้นจึงต้องมีการกระตุ้นให้ เกิดการทำงานและจากคุณสมบัติของเอสซีอาร์ที่ว่าเมื่อเกิดการนำกระแสแล้วก็จะไม่สามารถหยุดการนำกระแสได้ด้วยตัวเอง แม้จะไม่ป้อนสัญญาณทริกแล้วก็ตาม ยกเว้นจะทำให้กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์น้อยกว่ากระแสยึด (Holding current, I_H) ในขณะที่ $I_D=0$ (I_H นี้ นิยามว่าเป็นกระแสที่เล็กที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะเปิดกระแสทันทีทันใด ภายหลังจากเปลี่ยนสถานะจากสภาวะเปิดกระแสไปสู่สภาวะปิดกระแสโดยปลดเอาสัญญาณป้อนเข้าเกิดออก

หลักการทำงานของเอสซีอาร์ คือ เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรทดลองในลักษณะ Forward Bias (ขั้วแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด) แต่ยังไม่มีการนำกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทดซึ่งถ้ามีกระแสไหล จะเรียกระแสนี้ว่า กระแสรั่ว (Leakage current) จะมีค่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับคาโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทด แรงดันที่แอโนดเทียบกับคาโทดเป็นลบ เอสซีอาร์ก็จะไม่นำกระแสแต่เมื่อแรงดันที่ขั้วแอโนดเทียบกับคาโทดเป็นบวก และกระแสไหลเข้าเกตส์คาโทด เอสซีอาร์จะนำกระแส การจ่ายกระแสไหลเข้าสู่คาโทดเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแสเรียกว่า ทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

โดยทั่วไปการนำเอสซีอาร์ไปใช้งาน เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม ค่าแรงดันจะต่ำกว่า Forward Breakover voltage จึงจะสามารถทำให้เอสซีอาร์นำกระแสไหลได้ โดยการป้อนสัญญาณทริกให้แก่ Gate [voltage ที่ gate (V_G) จะเป็นบวกเมื่อเทียบกับ cathode] ถ้ามีกระแสไหลมากกว่า Latch current ก็จะทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะ (ON) แม้จะเอาสัญญาณทริกที่เกดออกแล้วก็ตาม เอสซีอาร์ก็จะยังคงนำกระแสอยู่ ดังนั้นการที่จะทำให้หยุดนำกระแสทำได้ โดยการลดกระแสที่ไหลจากแอโนดไปยังคาโทดลงให้ต่ำกว่ากระแสยึด (I_H) เป็นระยะเวลาที่นานพอควร ก็จะทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะ Off คือกระแสที่ไหลจากแอโนดไปยังคาโทดจะหยุดไหล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

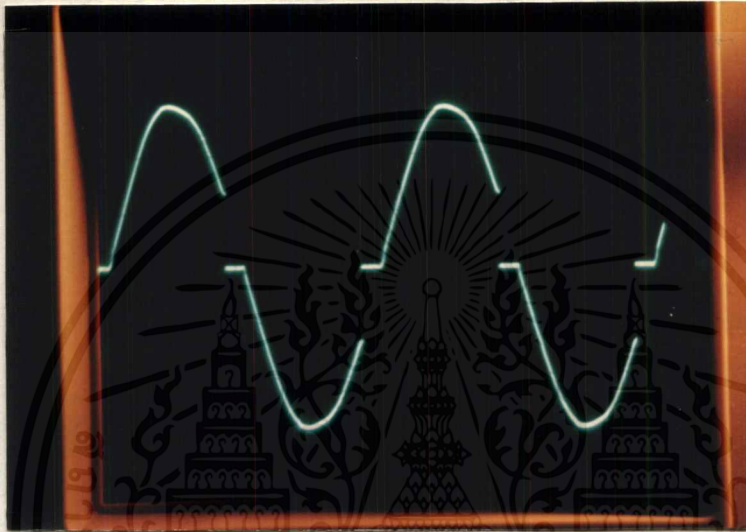
บทที่ 4

การทดลองใช้งาน

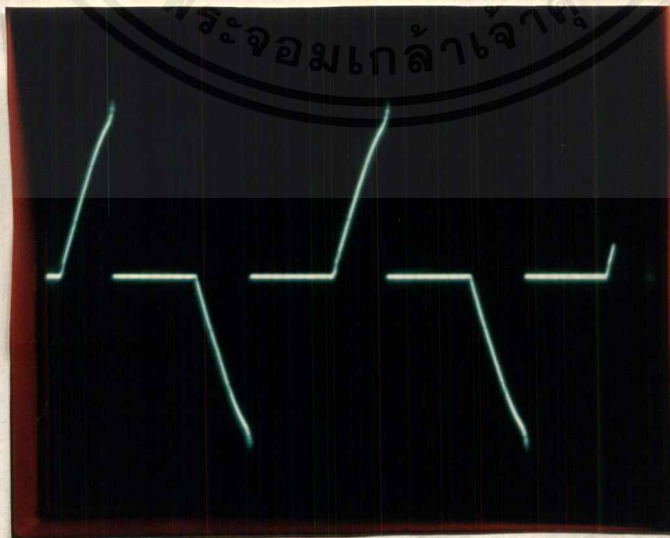
ขั้นตอนการทดลอง

1. จากการทดลองใช้ไฟเอซี 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตป้อนให้ชุดทดลองโดยตรง
2. ใช้สกริป (Oscilloscope) วัดสัญญาณ output คร่อมโรลด์
3. ต่อโรลด์ความต้านทานค่าประมาณ 40 โอห์ม (ในกรณีนี้ใช้หลอดไฟแบบมีไส้

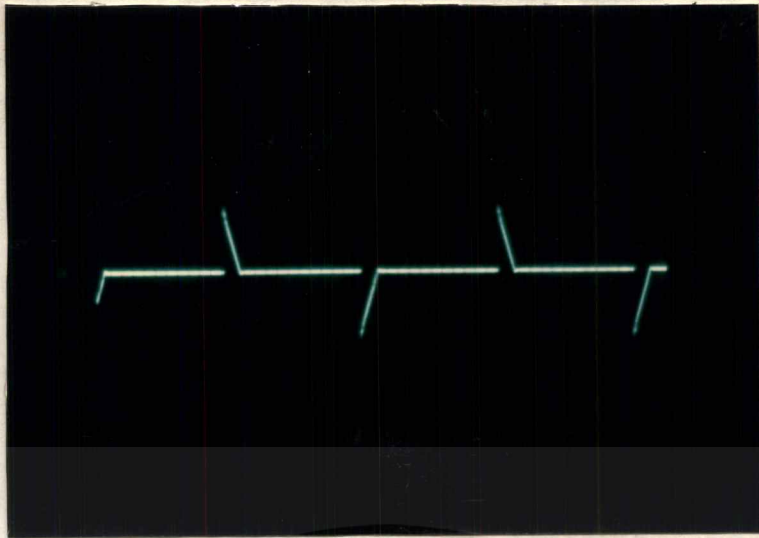
ขนาด 100 วัตต์) วัดสัญญาณที่ Channel:2 สายโพรบขนาด(x10)ที่ค่า Time/Div= 0msec/D และ Volts/Div= 10v/D จะวัดสัญญาณได้ดังรูปที่แสดง



รูปแสดงสัญญาณคร่อมโรลด์เมื่อ เปิดกระแสทริกด้วย มุมค่าน้อย (30 องศา), แรงดันคร่อมโรลด์มาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปแสดงสัญญาณคร่อมโรลด์เมื่อ เปิดกระแสทริกด้วย มุมค่า (90 องศา)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



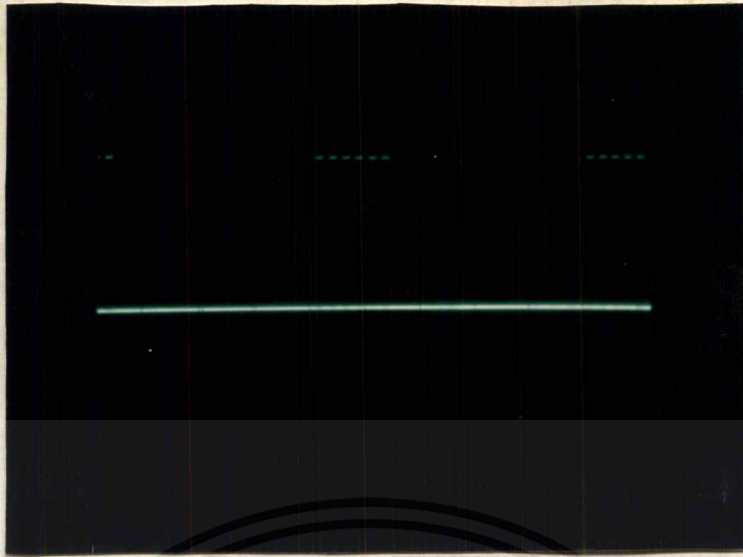
รูปแสดงสัญญาณคร่อมโรลตเมื่อเปิดกระแสทรักด้วย มุมค่ามาก (150 องศา) ,แรงดันคร่อมโรลตน้อย

4. วัดสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรถริกเกอร์ดังนี้



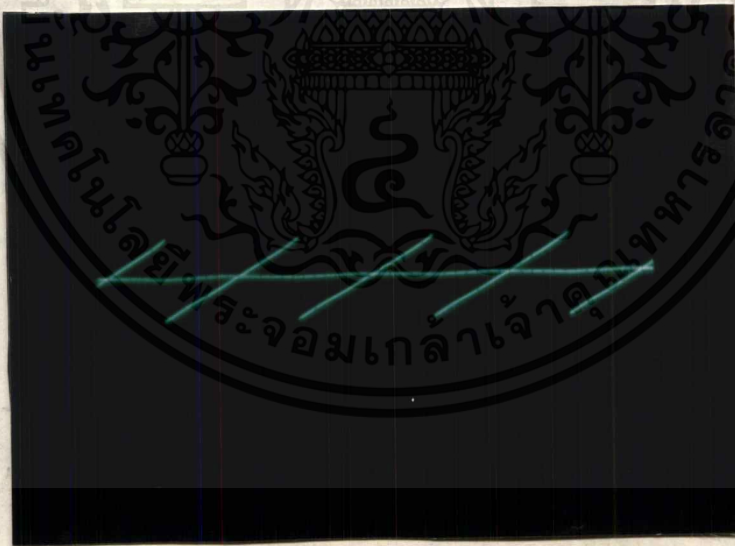
รูปแสดงสัญญาณเอาต์พุตพัลส์ครึ่งไซเคิลบวก ที่ Time/Div=10msec,Volts /Div=5v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงสัญญาณเอาต์พุตพัลส์ครึ่งไซเคิลลบ ที่ Time/Div=10 msec,Volts

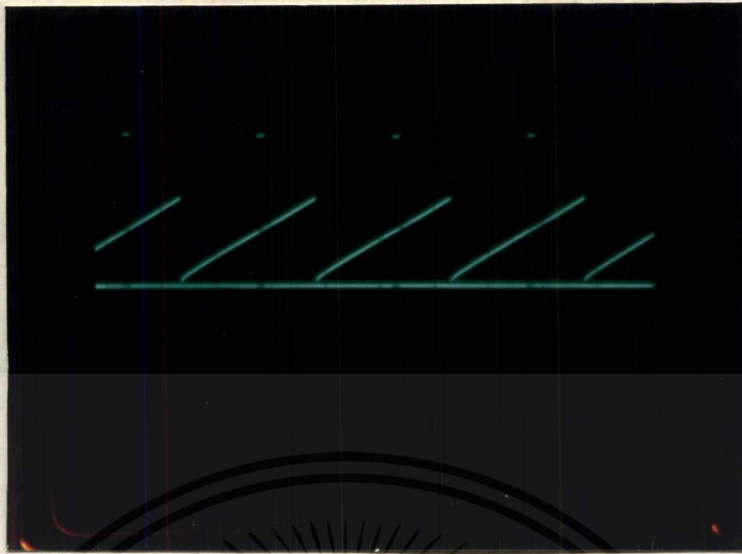
/Div=5v



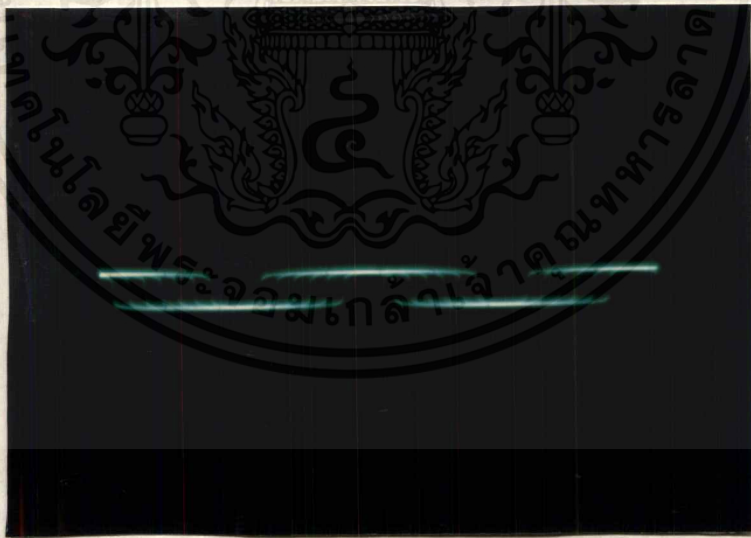
รูปแสดงสัญญาณรอมป์เปรียบเทียบกับแรงดันสำหรับควบคุมที่ Time/Div=10 msec

และ Volt/Div=5v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงสัญญาณเอาต์พุตพัลส์ เทียบกับสัญญาณแรมป์ ที่ $\text{Time/Div}=10\text{msec}$ และ $\text{Volts/Div}=2\text{v}$



รูปแสดงสัญญาณ Syn. ที่ผ่านส่วน Zero Detector เรียบร้อยแล้ว วัดที่ $\text{Time/Div}=10\text{ msec}$ และ $\text{Volts/Div}=5\text{v}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทที่ ๕

สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

จากการทดลองจะพบว่า การทดลองใช้โหลด ที่เป็นโหลดแบบ Inductance เช่น อุปกรณ์พวกมอเตอร์ต่างๆ ที่มีขนาดใหญ่ๆ จะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าความกว้างของพัลส์ ให้เหมาะสม จึงจะทำให้สามารถควบคุมการทำงานได้ดี เนื่องจากว่าสำหรับการควบคุมโหลดที่มีความเหนี่ยวนำมากๆ จะทำให้เฟสของสัญญาณกระตุ้นของกระแส กับเฟส ของแรงดันคร่อมโหลดไม่ได้เป็นมุมเดียวกัน ulyกระแสในโหลดจะล่าหลังแรงดันประมาณ 90 องศา จะเห็นว่าถ้าทริกเกิดของเอสซีอาร์ที่มุมของแรงดันปกติจะได้แต่แรงดันแต่กระแส นั้นจะผิดไป ทำให้ขณะทริกเอสซีอาร์มีกระแสเหลืออยู่เล็กน้อยในกรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยปรับเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า C_{12} ให้มีค่าที่เหมาะสม (โดยปกติจะใช้ในช่วงจาก 0 ถึง 5000 พิโคฟารัด) ซึ่งจะช่วยทำให้การควบคุมค่อนข้างคงที่ แต่การควบคุมแบบ Phase control ของชุดทดลองนี้จะใช้งานได้ดี ก็ต่อเมื่อนำไปใช้กับโหลดที่มี ค่าของความเหนี่ยวนำไม่มากนัก สำหรับในส่วนของวงจรทริกเกอร์สัญญาณ สามารถที่จะทำการปรับมุมในการนำกระแส ได้ในช่วงจาก 0 ถึง 180 องศา

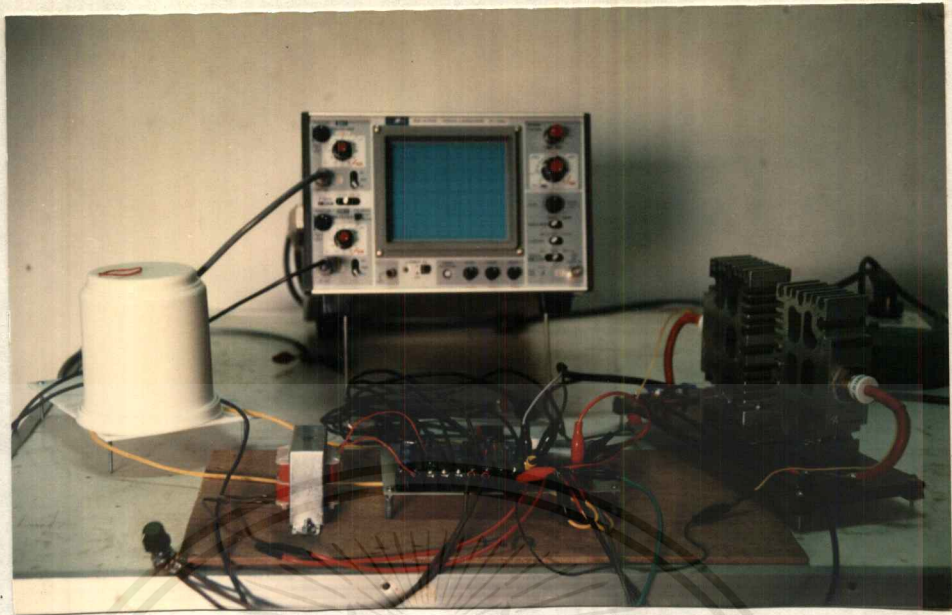
วงจรทดลองชุดนี้เป็นการควบคุมเฟสเต็มคลื่น โดยใช้เอสซีอาร์ต่อกันแบบ back to back เพื่อควบคุมให้มีการทำงานทั้งในครึ่งบวก และครึ่งลบ โดยใช้วิธีปรับเปลี่ยนค่าแรงดันควบคุมการเปรียบเทียบ เพื่อที่จะสามารถควบคุมกำลังของโหลด จากค่าต่ำสุดไปสู่ค่าสูงสุดได้อย่างดี ในการนำไปใช้งานกับโหลดมอเตอร์ขนาดใหญ่ ๆ ควรจะต่อขดลวด L_1 เข้ากับส่วนของวงจรชุดกำลัง เพื่อให้ขดลวด L_1 ซึ่งจะทำหน้าที่ ช่วยลดกระแสกระชก จากโหลดมอเตอร์ไม่ให้มารบกวนการทำงานของเอสซีอาร์

การพัฒนาชุดทดลองนี้เพื่อไปใช้งานในด้านต่างๆ ทำได้ง่าย เช่นนำไปใช้กับ

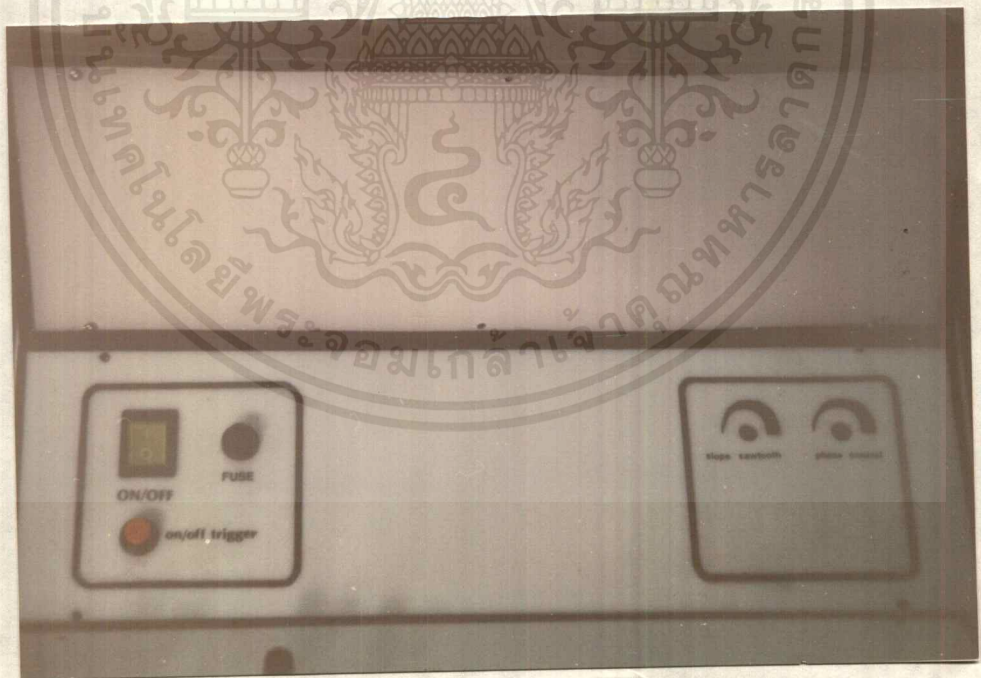
- เครื่องจ่ายไฟให้แก่วัดความร้อนที่ต้องการรักษาอุณหภูมิให้คงที่
- เตาทอลมเหล็กแบบเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่ต่ำ
- ควบคุมแรงดันทางด้านรับไฟของหม้อแปลงสำหรับขบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
- นำไปเปลี่ยนแทนของหม้อแปลงในการควบคุมแรงดันที่จ่ายแก่โหลดที่มีค่าคงที่
- ควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบ อินдукชั่น (Induction Motor) แบบ 3 เฟส สำหรับงานป้อนที่ต้องการกำลังสูงๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (1) แสดงการติดตั้งวงจรส่วนควบคุมและ เอสซีอาร์ ของชุดทดลอง



รูปที่ (2) แสดงส่วนสำหรับการควบคุมทางด้านหน้าของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

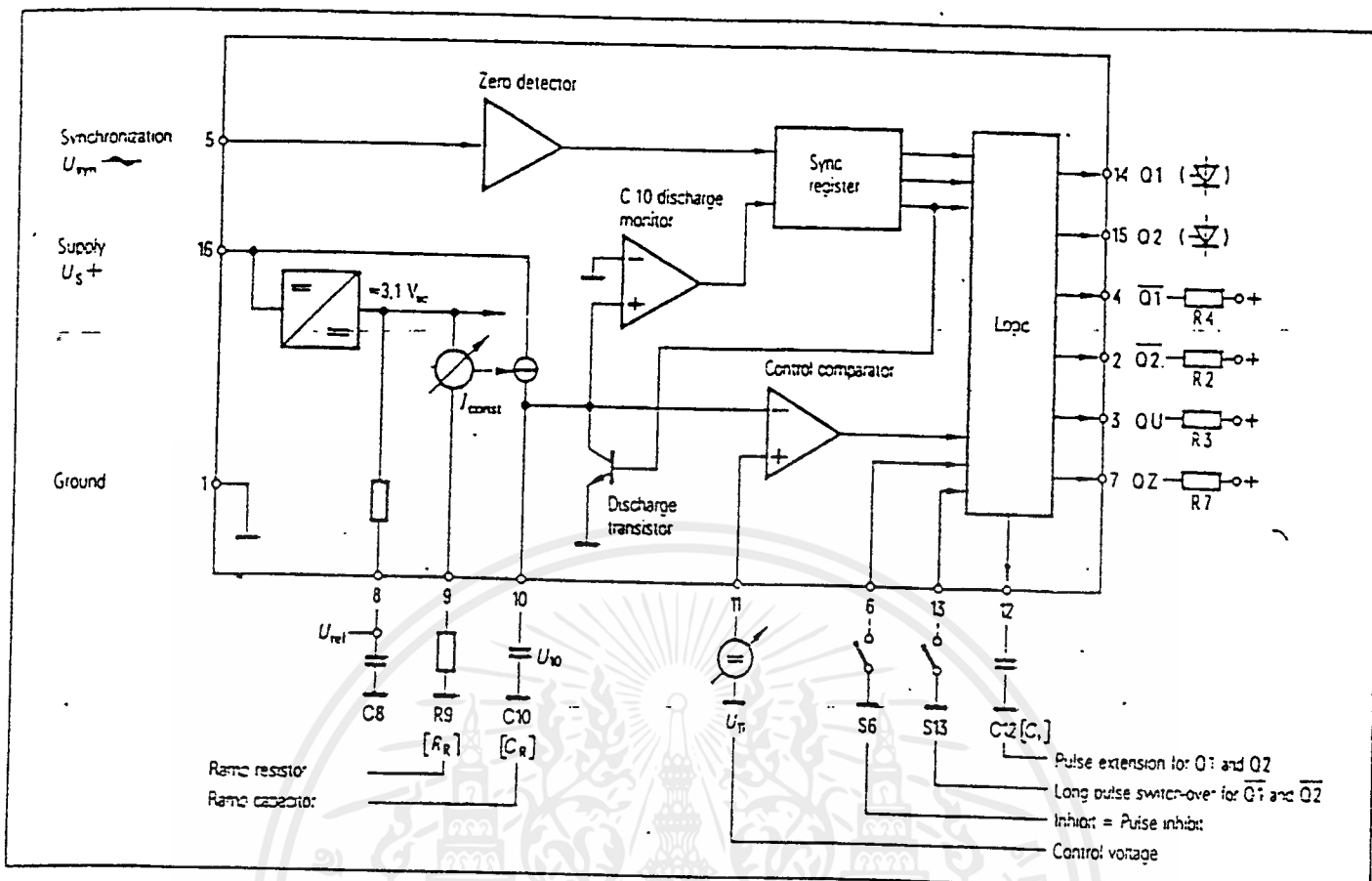


Fig. 1 Block diagram of the TCA 785 integrated phase control

points have to be paralleled to provide uniform control conditions in all phases and in controlled current converter branches as well.

The synchronization signal U_{syn} is derived from the line voltage via a high-value resistor. U_{syn} has to be connected to pin 5 and ground to pin 1.

A highly sensitive zero-crossing detector provides synchronization. The detector is followed by a synchronization register which controls a ramp generator (sawtooth).

The latter mainly consists of a constant current source I_{const} which charges external capacitor C10 or C_R linearly with time via pin 10. The ramp capacitance of C10 should be between 500 pF and 1 μ F always bearing in mind that sawtooth flyback times may increase in proportion to the C10 value (see Fig. 3) and that maximum and minimum values of I_{10} will not be exceeded.

Current I_{const} is adjustable by external resistor R9 or $R_R = 3$ to 300 k Ω via pin 9.

The RC network R9, C10 thus defines the rise of off-state ramp voltage U_{10} . Each ramp commences with a zero crossing of the sync voltage and ends with the following by discharging ramp capacitor C10 via an internal discharge transistor.

The logic circuitry of the sync register releases the information at the zero detector output to the following circuit only after the discharge monitor indicates complete discharge of C10.

This is of major importance when using the TCA 785 as a zero crossing switch and pulse width converter.

Leakage voltage at C10 does not affect the controllability of the TCA 785 and the way in which the control voltage is supplied.

In this case trouble-free adaptation of op-amps to the IC is possible. At the instant when the control voltage reaches the leakage voltage value maximum phase control of 180° is obtained (Fig. 4) and will be maintained (full wave) even with control voltages which

may be below the leakage voltages and approaching 0 V.

Dc control voltage U_{11} has to be connected to pin 11 (with ground to pin 1). The control comparator compares control dc voltage and ramp voltage U_{10} . If the latter exceeds control voltage U_{11} , appropriate output pulses start at control angle α . The subsequent logic determines the kind and width of the different output pulses (positive to ground) by means of several links (see waveform in Fig. 2).

Main outputs Q1 (pin 14) and Q2 (pin 15) are given by an emitter follower capable of handling a maximum 250 mA.

They are allocated to half-waves of the same polarity.

Q1 delivers pulses only in the negative half-wave and Q2 in the positive one of the sync voltage.

Pulse duration is about $\beta = 30 \mu$ s (short pulse-without connection to pin 12). It is freely extendible by external capacitor C12 or C_i (see Table 1 for pulse extension values).

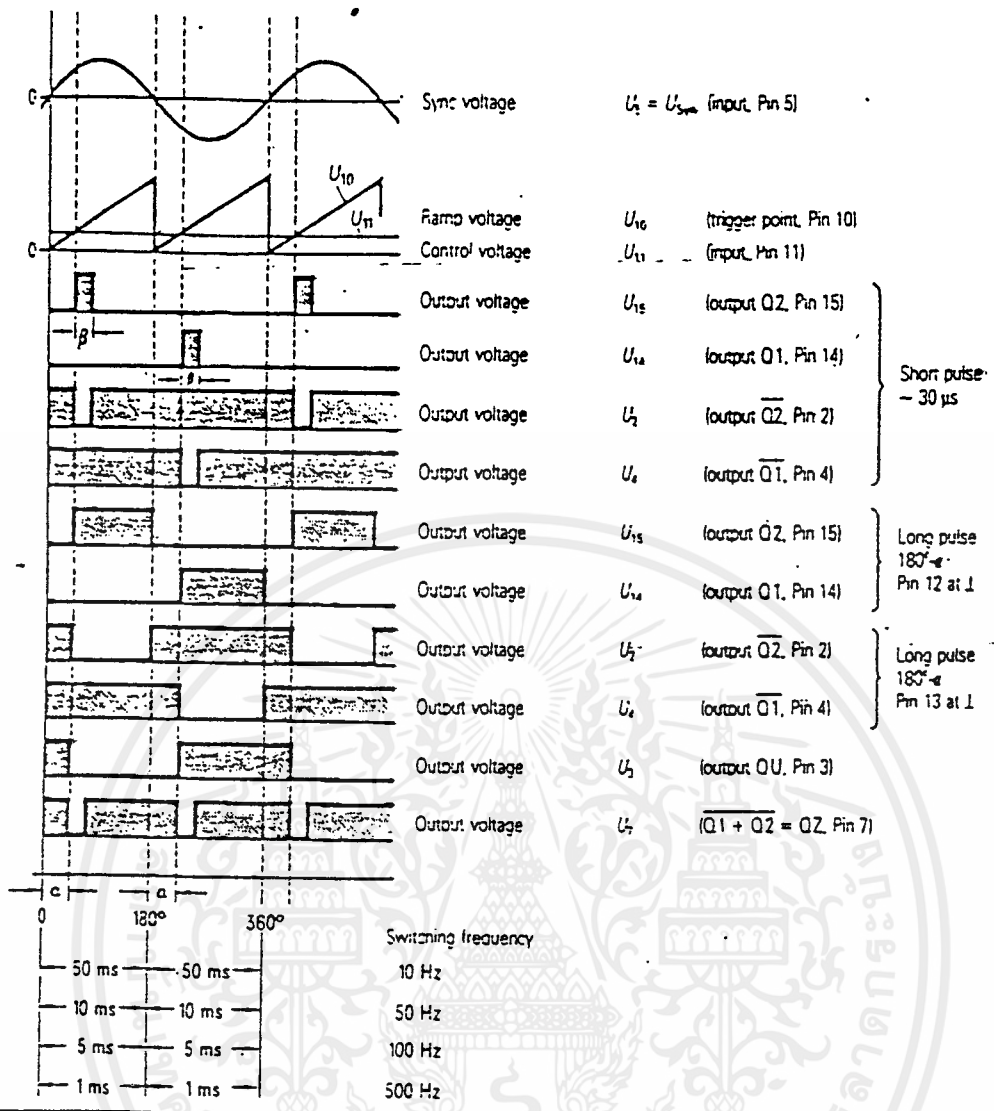


Fig.2 TCA 785 waveforms

If the trigger input at pin 12 is short-circuited to ground, pulse widths of $\beta = 180^\circ - \alpha$ (long pulse) result. Auxiliary outputs Q1 (pin 4) and Q2 (pin 2) are open collectors capable of handling 10 mA at maximum. A signal can only be switched at either output when collector resistors R4 and R2 ($\approx 15 \text{ k}\Omega$) are externally connected between output and positive pole. The signal delivered corresponds to the inverted signal of Q1 and Q2. Pulse duration (output towards positive pole) is about $\beta = 30 \mu\text{s}$. If trigger point at pin 13 is connected to ground, pulse widths (output to positive pole) of $180^\circ - \alpha$ (long pulse switching) occur here as well. Both auxiliary outputs QU (pin 3), QZ (pin 7) are

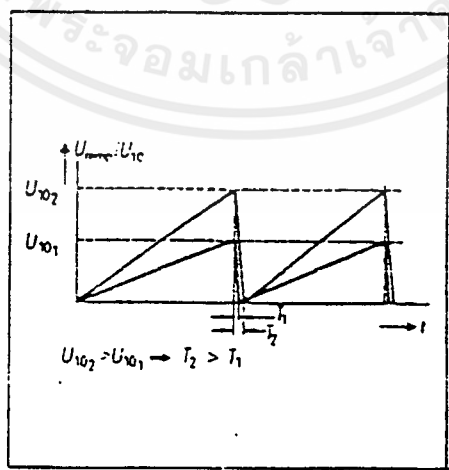


Fig.3 Sawtooth flyback time. The sawtooth flyback time depends also on the value of the ramp resistor R9 which, together with the ramp capacitor C10 determines the ramp voltage. Thus with large ramp voltages, flyback times are always long because more energy has to be discharged

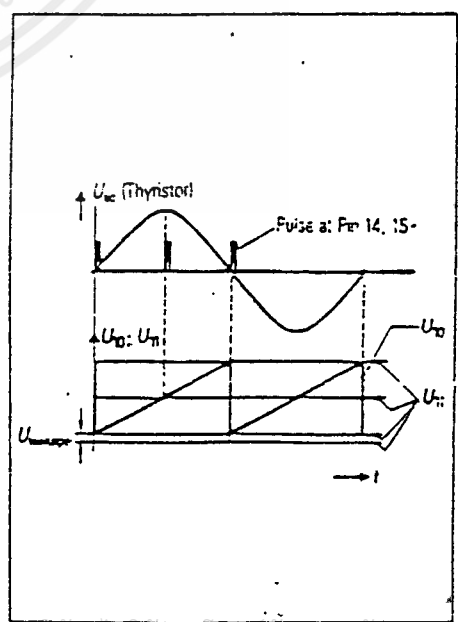


Fig.4 Leakage voltage at capacitor C10

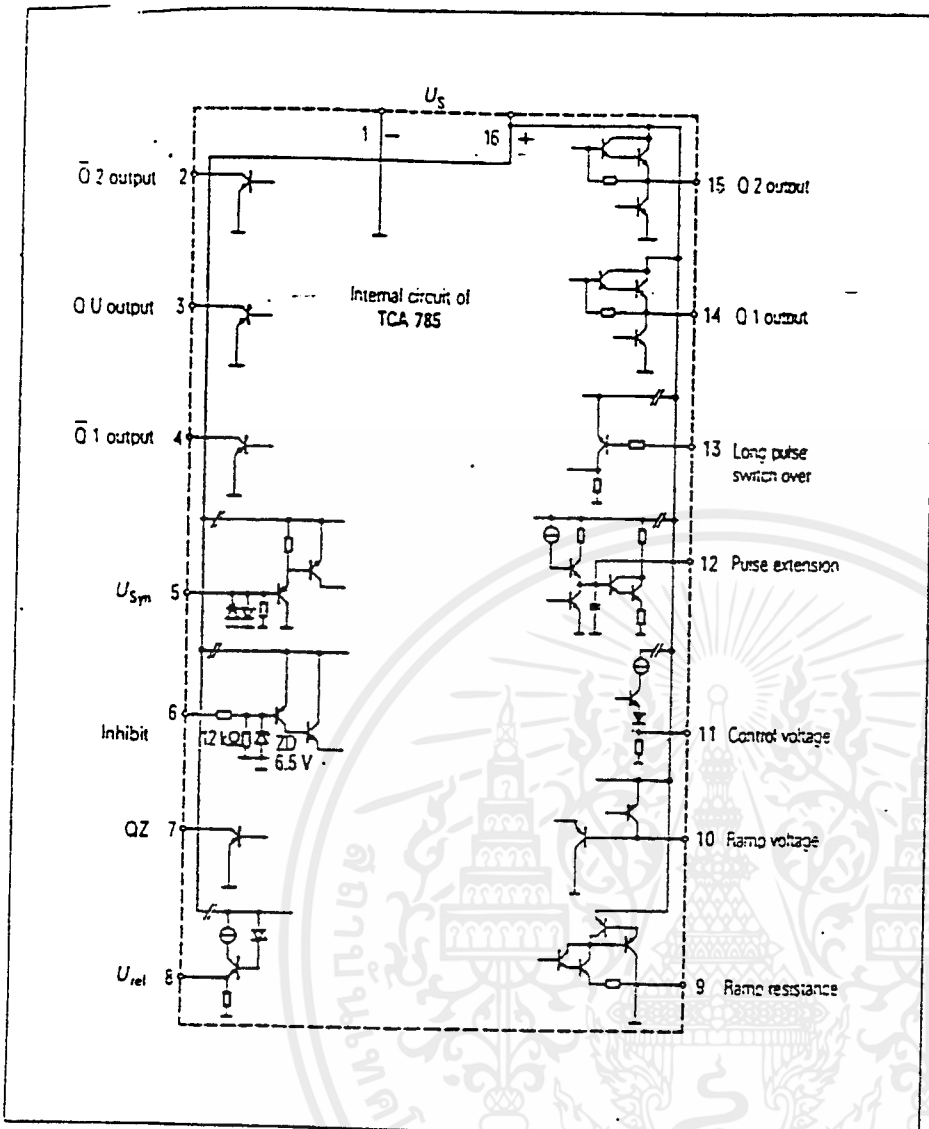


Fig.5 Internal circuit of the TCA 785 output stage

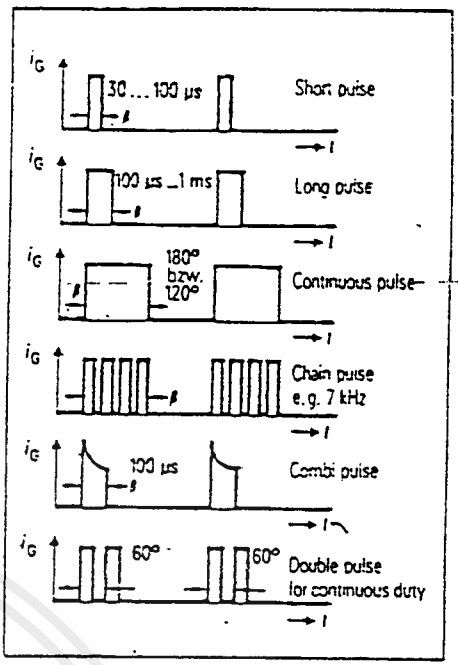


Fig.6 Pulse waveforms for thyristor triggering. Short pulse $\beta = 30$ to $100 \mu s$, for resistive loads in the rated current range. Long pulse $\beta = 100 \mu s$ to $1 ms$, for slightly inductive loads or small resistive loads and partial load range. Continuous pulse $\beta = 180^\circ - \alpha$, for highly inductive loads, no trigger pulse transformer with large voltage-time range is required. Pulse train with 5 to 7 kHz clock frequency, to allow operation with small trigger pulse transformer, i.e. small voltage time range (mVs). Combined pulse for high rates of trigger current: $di_g/dt = 1$ to $3 A/\mu s$ to trigger series connected thyristors. Double pulse to control fully controlled three-phase bridges

provided as open collectors and serve for particular applications (e.g. control of external logic). To obtain a signal collector resistors R3 and R7 are necessary, as above, between output and positive pole. The signal of output QU is similar to that of Q1 but with a width $\beta = 180^\circ = \text{constant}$. The signal at output Q2 corresponds to the NOR-link of Q1 and Q2, i.e. $\overline{Q1 + Q2}$. In the following application auxiliary outputs are neglected. To enhance noise-immunity here it is a good idea to connect output QZ (pin 7) to ground. Pulse inhibit (pin 6) can suppress pulses simultaneously at all outputs (Q1, Q2, Q1, Q2, QU). Trigger point at

pin 6 has to be connected to ground by a switch, a relay contact or a npn-transistor. Fig.5 shows the internal circuit of the TCA 785 IC output stages. Thyristor trigger module Control of thyristors in line-commutated or non-commutating current converters requires particular trigger modules. A thyristor is triggered by a positive current pulse between gate and cathode. The control pulse is maintained until reaching the latching current. The thyristor is switched off by reducing the main current flowing between anode and cathode to below the holding current.

Depending on load and circuit design various pulses of different durations are applied to trigger the thyristor. These pulses are shown and annotated in Fig.6. All trigger pulses, except the chain pulse, can be generated by the TCA 785. A CMOS device is required for the chain pulse.

Directly controlling low power thyristor with line voltage Fig.7 shows a phase control using the TCA 785 for directly controlling a BStC1040 low-power thyristor. Phase angle is adjustable between 0 and 180° and power at the load between 0 and 400 W.

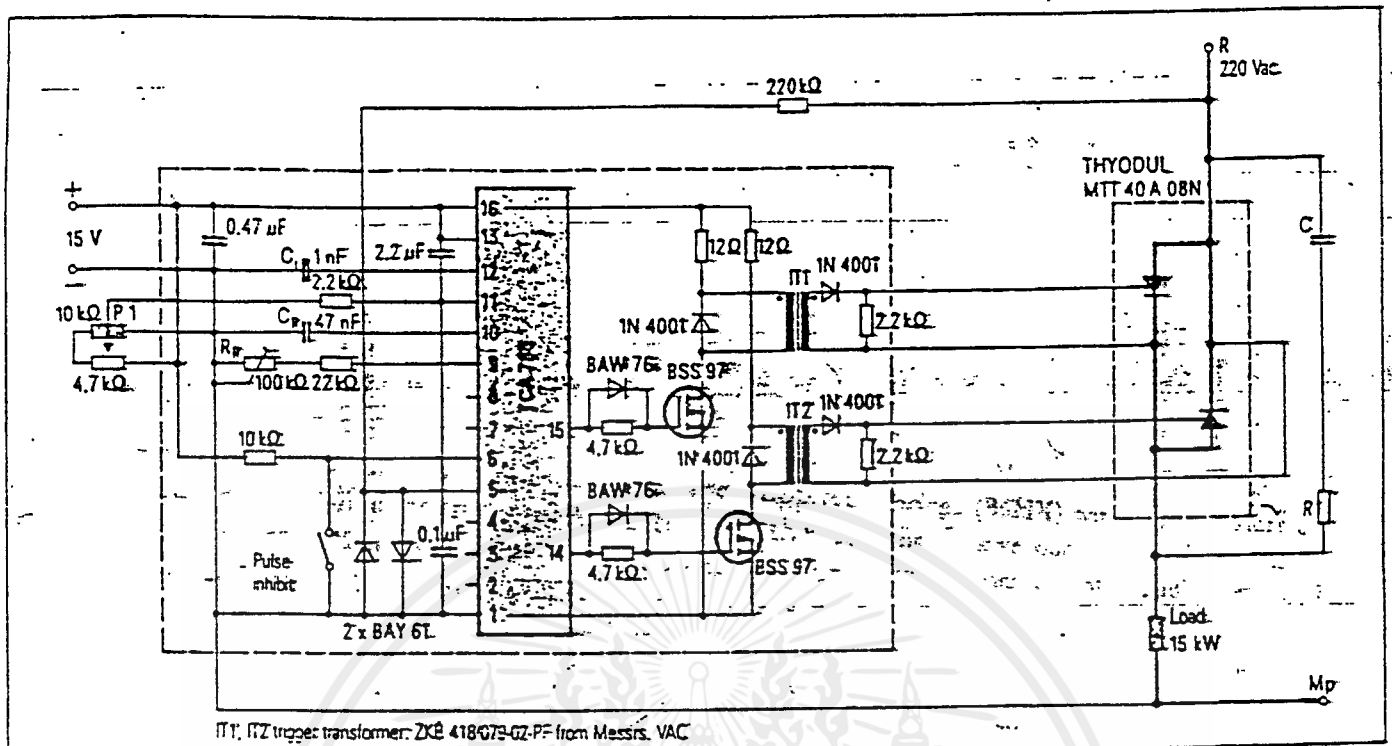


Fig. 15 Circuit diagram of a fully controlled ac controller (W1C) with two-pulse drive unit

Assembly type	Constant dc current I_{LAV} max natural air cooling $\theta_{amb} = 45^\circ\text{C}$	Thermal resistance of the heat sinks R_{thCA}
3 × MTT 40 A 12 N	96 A	0.15 K/W
	70 A	0.30 K/W
	47 A	0.60 K/W
	34 A	1.0 K/W
3 × MTT 50 A 12 N	137 A	0.07 K/W
	106 A	0.15 K/W
	77 A	0.30 K/W
	50 A	0.60 K/W
3 × MTT 65 A 12 N	185 A	0.055 K/W
	152 A	0.1 K/W
	128 A	0.15 K/W
	90 A	0.30 K/W

Table 3 THYODUL assemblies on a heat sink in a B6C circuit for 3 × 380 V supply voltage

Assembly type	I_{TAV}	U_{DRM} U_{RRM}	Thermal resistance of heat sink R_{thCA}	Limit current $I_{L,RMS}$ in a circuit with natural air cooling $\theta_{amb} = 45^\circ\text{C}$	Maximum controllable ac current power at $\theta_{amb} = 45^\circ\text{C}$
MTT 40 A 08 N	2 × 48 A	800 V	0.15 K/W	106 A	23 kW
			0.30 K/W	93 A	20 kW
			0.60 K/W	70 A	15 kW
			1.0 K/W	53 A	11 kW
MTT 50 A 08 N	2 × 65 A	800 V	0.20 K/W	115 A	25 kW
			0.30 K/W	102 A	22 kW
			0.60 K/W	76 A	16 kW
MTT 65 A 08 N	2 × 75 A	800 V	0.1 K/W	167 A	36 kW
			0.15 K/W	155 A	34 kW
			0.30 K/W	123 A	27 kW

noble metal pressure contacting technique applied to the entire range of large Siemens thyristors.

The following advantages recommend the use of THYODUL:

- good f_T -values,
- capable of handling high voltages,
- high alternating load strength.

Table 4 gives rms ac current limit values of fully controlled line modules MTT40 A..., MTT50 A... and MTT65 A... in a W1C-circuit (single-phase back-to-back connection of thyristors) with 220-V ac line voltage as a function of the heat sinks' thermal resistance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีอีอี จำกัด (มหาชน) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© 2008 EEC

6-Pin DIP Optoisolators Triac Driver Output

These devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to monolithic silicon detectors performing the functions of Zero Voltage Crossing bilateral triac drivers.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 240 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 240 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- High Breakdown Voltage: $V_{DRM} = 600$ V Min
- High Isolation Voltage: $V_{ISO} = 7500$ V Min
- Small, Economical, 6-Pin DIP Package
- Same Pin Configuration as MOC3041 Series
- UL Recognized, File No. E54915 
- dv/dt of 1500 V/ μ s Typ, 600 V/ μ s Guaranteed
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE0110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including  883 IEC204/VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

MAXIMUM RATINGS

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

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C)	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	600	Volts
Peak Repetitive Surge Current ($T_W = 100 \mu\text{s}$, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac
Total Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	—	260	$^\circ\text{C}$

(1) Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

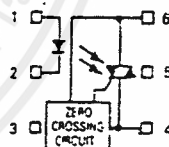
MOC3061
MOC3062
MOC3063

6-PIN DIP
 OPTOISOLATORS
 TRIAC DRIVER OUTPUT
 600 VOLTS



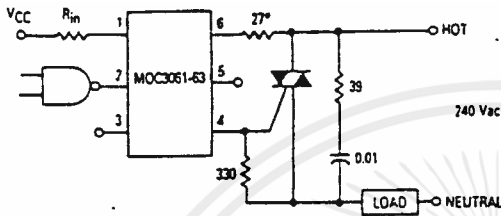
CASE 730A-02
 PLASTIC

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

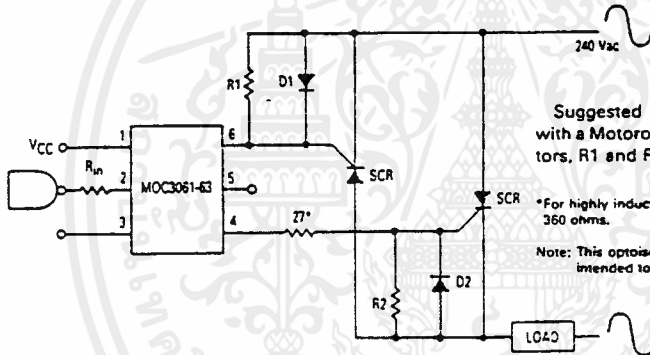
MOC3061, MOC3062, MOC3063



Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

R_{in} is calculated so that I_f is equal to the rated I_{FT} of the part, 15 mA for the MOC3061, 10 mA for the MOC3062, and 5 mA for the MOC3063. The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Hot-Line Switching Application Circuit



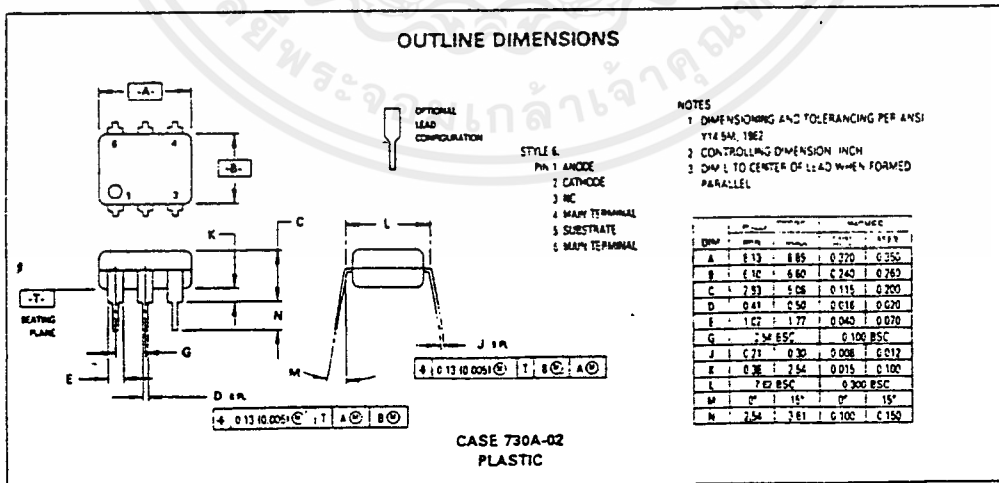
Suggested method of firing two, back-to-back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms.

*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Note: This optoisolator should not be used to drive a load directly, it is intended to be a trigger device only.

Figure 9. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

OUTLINE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

MC7800 Series

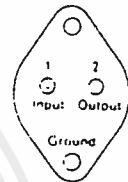
THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

These regulators are monolithic integrated circuits designed for local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 ampere. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 Ampere
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offsets in 2% and 4% Tolerance

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

**K SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 1-03**



Bottom View

Pins 1 and 2 electrically sealed from case. Case is thermally isolated from board.

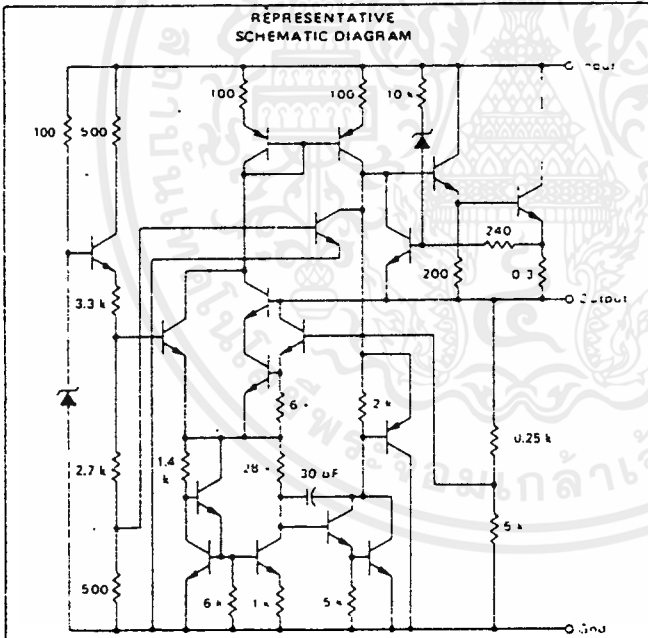
**T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A-04**

**PIN 1 INPUT
2. GROUND
3 OUTPUT**

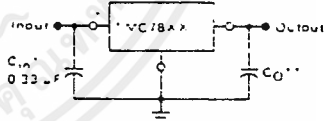


Heatsink surface connected to Pin 2

REPRESENTATIVE SCHEMATIC DIAGRAM



STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX = these two digits of the type number indicate voltage.
* - C₁ is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
** - C₂ is not needed for stability, however, it does improve transient response.

TYPE NO./VOLTAGE

MC7805	5.0 Volts	MC7812	12 Volts
MC7806	6.0 Volts	MC7815	15 Volts
MC7808	8.0 Volts	MC7818	18 Volts
MC7809	9.0 Volts	MC7824	24 Volts

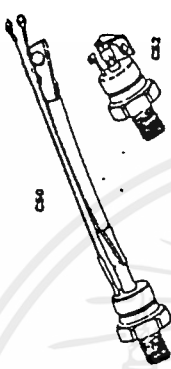
ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Tested Operating Junction Temp. Range	Package
MC7805XX MC78XXAK*	2%	55 to -150°C	Metal Power
MC78XXCK MC78XXACK*	4%	0 to -125°C	
MC78XXCT MC78XXACT	2%		Plastic Power
MC78XXBT	4%	-40 to -125°C	

*2% regulators in Metal Power packages are available in 5, 12 and 15 volt devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเอกสารบางส่วนจากบริษัท GE



High Power Silicon Controlled Rectifier 110 A RMS 25 to 1200 Volts

MAXIMUM ALLOWABLE RATINGS

TYPE	REPEITIVE PEAK OFF-STATE VOLTAGE V_{DM} $T_J = -40^\circ\text{C to }+125^\circ\text{C}$	REPEITIVE PEAK REVERSE VOLTAGE V_{RM} $T_J = -40^\circ\text{C to }+125^\circ\text{C}$	NON-REPEITIVE PEAK REVERSE VOLTAGE V_{RM} $T_J = +125^\circ\text{C}$
C500 (GN1909)	25 Volts	25 Volts	25 Volts
C50F (GN1910)	50	50	75
C50A (GN1911)	100	100	150
C50G (GN1912)	150	150	225
C50H (GN1913)	200	200	300
C50I (GN1914)	250	250	350
C50C (GN1915)	300	300	400
C50D (GN1916)	400	400	500
J0E	500	500	600
C50M	600	600	700
C50E	700	700	840
C50N	800	800	960
C50T	900	900	1040
C50P	1000	1000	1200
C50TA	1100	1100	1320
C50TB	1200	1200	1440

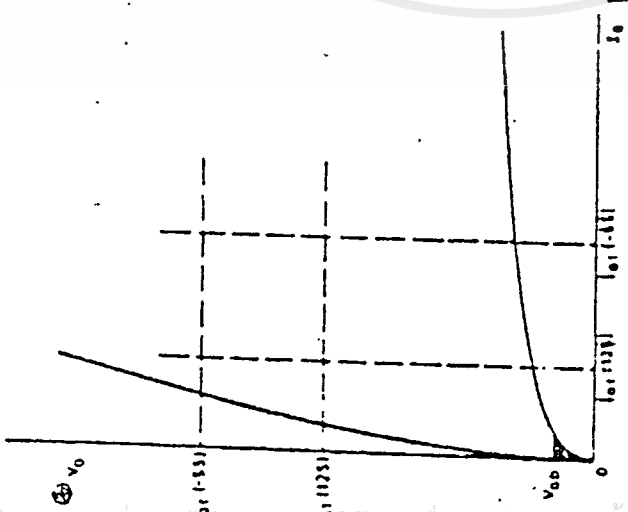
1. All data are for a switching 10 msec, maximum pulse width.

- RMS On-State Current, $I_{T(AV)}$ 110 Amperes (All Conduction Angles)
- Average On-State Current, $I_{T(AV)}$ Depends on Conduction Angles (See Charts 3 and 4)
- Critical Rate-of-Rise of On-State Current (Non-Repetitive) dI/dt 100 Amperes Per Microsecond
- Switching From 1200 Volts 200 Amperes Per Microsecond
- Switching From 600 Volts 100 Amperes Per Microsecond
- Peak On-Cycle Surge (Non-Repetitive) On-State Current, I_{TSM} (60 Hz) 1000 Amperes
- Peak On-Cycle Surge (Non-Repetitive) On-State Current, I_{TSM} (50 Hz) 910 Amperes
- P_1 (for fusing), for times > 8.3 milliseconds (See Figure 9) 2850 (RMS Amperes) Seconds
- P_1 (for fusing), for times > 1.5 milliseconds (See Figure 9) 2850 (RMS Amperes) Seconds
- Peak Gate Power Dissipation, P_{GAV} (See Figure 7) 100 Watts for 150 Microseconds
- Average Gate Power Dissipation, $P_{G(AV)}$ 2 Watts
- Storage Temperature, T_{STG} $-40^\circ\text{C to }+150^\circ\text{C}$
- Operating Temperature, T_J $-40^\circ\text{C to }+125^\circ\text{C}$
- Rated Torque 125 Lbs.-In. (Min.) - 150 Lbs.-In. (Max.)
- 14 N-m (Min.) - 17 N-m (Max.)

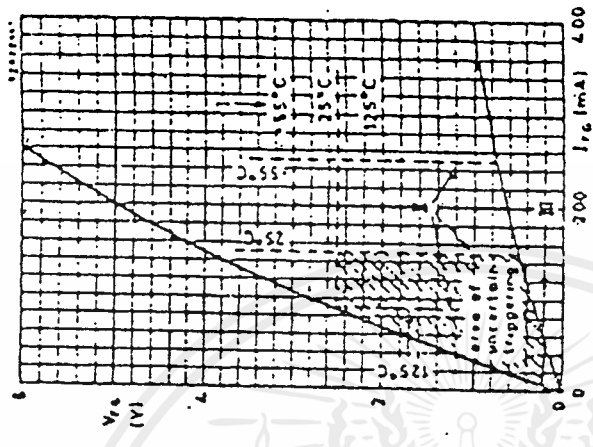
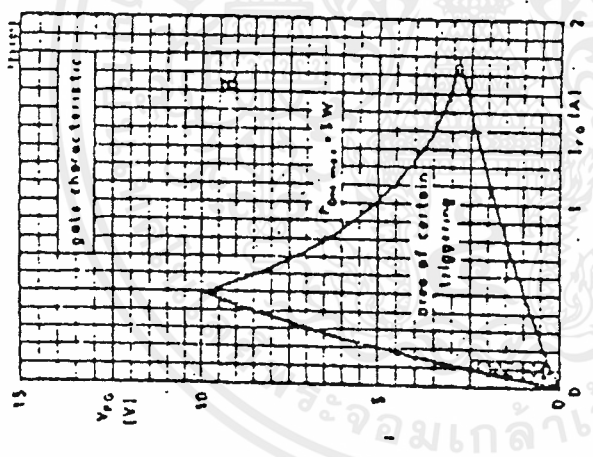
CHARACTERISTICS

TEST	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
Repetitive Peak Reverse and Off-State Current	I_{DM} and I_{RM}	-	10	mA	$T_J = -40^\circ\text{C to }+125^\circ\text{C}$ $V_{DM} = V_{RM}$
DC Gate Trigger Current	-IGT	-	75	mA DC	$T_C = +25^\circ\text{C}$, $V_D = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 3\text{ Ohms}$ $I_T > 20\text{ } \mu\text{sec}$
		-	130		$T_C = -40^\circ\text{C}$, $V_D = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 3\text{ Ohms}$ $I_T > 20\text{ } \mu\text{sec}$
		-	40		$T_C = +125^\circ\text{C}$, $V_D = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 3\text{ Ohms}$ $I_T > 20\text{ } \mu\text{sec}$
DC Gate Trigger Voltage	VGT	-	3.0	Vdc	$T_C = -40^\circ\text{C to }+125^\circ\text{C}$, $V_D = 6\text{ Vdc}$, $R_L = 30\text{ Ohms}$, $I_T > 20\text{ } \mu\text{sec}$
		25	-		$T_C = +125^\circ\text{C}$, $V_D = \text{Rated}$, $R_L = 1000\text{ Ohms}$, $I_T = 30\text{ } \mu\text{sec}$
Post On-State Voltage	VTH	-	2.5	Volts	$T_C = +25^\circ\text{C}$, $I_{TSM} = 300\text{ Amperes Peak}$, Duty Cycle $\leq 0.01\%$
Holding Current	I_H	-	100	mA DC	$T_C = +25^\circ\text{C}$, Anode Supply = 24 Vdc, Initial Forward Current = 2 Amperes
Thermal Resistance	R θ /C	-	0.4	$^\circ\text{C/Watt}$	Junction-to-Case
Clutch Rate-of-Rise of Off-State Voltage. (Higher values may cause driver switching.)	dV/dt	200	-	Volts/ μsec	$T_J = +125^\circ\text{C}$, Rated V_{DM} Used Using Linear Exponential Rising Waveform, Gate Open Circuit, Exponential $dV/dt = V_{DM}$ (832).
Circuit Commutated Turn-Off Time (17pcal)	t_q	-	80	μsec	(1) $T_C = +120^\circ\text{C}$ (2) $I_T = 50\text{ Amperes}$ (3) $V_A = 50\text{ Volts Min.}$ (4) V_{DM} (Recapplied) = Rated (5) Rate-of-Rise of Reapplied Forward Blocking Voltage = 20 V/ μsec (Linear) (6) Gate Bias: 0 Volts, 100 Ohms During Turn-Off Interval (7) Duty Cycle $\leq 0.1\%$

Higher minimum dV/dt values are possible, consult factory.



Boundaries of area of uncertain triggering depend on junction temperature. Non-triggering area shown in black.



Gate characteristic of BTW24 series. I — values of V_{g0} for various junction temperatures, II — values of I_{c1} for various junction temperatures, III — value of V_{g0} .

คุณสมบัติของเกทของเอสด์อาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการชุดนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำให้ความรู้ต่างๆและขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่าน และ เพื่อนทุกคนที่มีส่วนทำให้โครงการชุดนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายที่จะลืมไม่ได้ คือบิดามารดาของผู้จัดทำที่ให้ทุนทรัพย์ และให้กำลังใจในการจัดทำมาโดยตลอด จึงขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้

นายอดิพงษ์ กองสุข

27 กันยายน 2537

เอกสารอ้างอิง

1. ดร.ไพรัช รัชชพงษ์ " วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า1"โครงการตำราไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2522
2. วิชัย ตั้งขจันทรานนท์ " ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เล่ม 1 " โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , 2528
3. ปรัชญา บุญรอดพานิช และ คณะ " ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ชนิดกระตุ้นแยกขนาดเล็ก " ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2527
4. SB.DEWAN AND A. AND STRVGHEN, "POWER SEMICONDUCTOR CIRCUIT " ,JOHN WILEX&SON,PP.171-175,1993
5. J.D. HARNDEN, JR. AND F.B. GOLDEN , " POWER SEMICONDUCTOR APPLICATIONS VOL.I 'IEEE PRESS,PP.486-492,1993
6. D.R. GRAFHAN AND ORTHER , " SCR MANUAL ", 6th EDITION,GE, PP.482-484,1979
7. B.W. WILLIAMS , " POWER ELECTRONICS ",DEVICES,DRIVERS AND APPLICATIONS. MACMILLAN EDUCATION LTD, 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้