

หน่วยที่ 15

เอสซีอาร์

สาระสำคัญ

SCR มีชื่อเต็มว่า Silicon controlled rectifier มีหน้าที่เรียงกระแสเหมือนไดโอดแต่มีขาสำหรับใช้งาน 3 ขา คือ แอโนด (Anode , A) แคโทด (Cathode , K) และเกต (Gate , G) โดยขาเกตจะเป็นขาที่ใช้ควบคุมการนำกระแสของ SCR กระแสหลักที่ไหลผ่านโหลดหรือภาระของวงจรคือกระแสแอโนด ถ้าให้ไบแอสแก่ SCR โดยไม่มีการป้อนกระแสทริกที่ขาเกตจะต้องใช้แรงดันสูงมากจนอาจเกิดอันตรายทั้งแก่ตัว SCR และโหลดของวงจร แต่ถ้าป้อนกระแสทริกที่ขาเกตแล้วปลดไฟที่ขาเกตออกเมื่อ SCR ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง มันจะยังคงนำกระแสต่อไปได้อย่างต่อเนื่องตราบใดที่กระแสแอโนดไม่ต่ำกว่าค่ากระแสฮีด

เรื่องที่จะศึกษา

- 15.1 บทนำ
- 15.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR
- 15.3 คุณลักษณะของ SCR และการใช้งาน
 - 15.3.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นใช้ SCR
 - 15.3.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง
 - 15.3.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
- 15.4 การตรวจสอบ SCR

จุดประสงค์การสอน

1. จุดประสงค์ทั่วไป
 - 1.1 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR
 - 1.2 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับคุณลักษณะของ SCR และการใช้งาน
 - 1.3 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบ SCR

1.4 เพื่อให้ นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับ SCR ทั้งในด้านการทำงานร่วมกัน เป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัดและรู้คุณค่า

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

2.1 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR ได้

2.2 บอกคุณลักษณะ การใช้งาน SCR ได้

2.3 กำหนดหาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟตรงเอาต์พุตในวงจรเรียงกระแสใช้ SCR แบบต่าง ๆ ได้

2.4 บอกวิธีการตรวจสอบ SCR ได้

2.5 สามารถบัดกรีประกอบวงจรการใช้งาน SCR ได้

คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

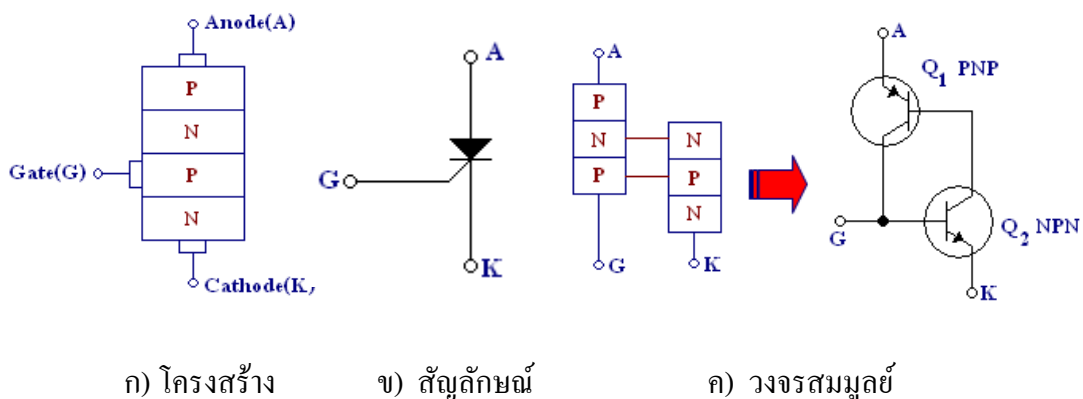
1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

15.1 บทนำ

SCR มีชื่อเรียกเต็ม ๆ ว่า Silicon Controlled Rectifier จัดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวก ไทริสเตอร์ มีขาสำหรับต่อใช้งาน 3 ขา และจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้เพียงทางเดียวเหมือน ไดโอด แต่จะมีข้อดีกว่าตรงที่มันทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่า สามารถควบคุมให้นำกระแสหรือไม่นำกระแสได้โดยการควบคุมที่ขาเกต (Gate) ส่วนอีก 2 ขาที่เหลือก็คือ ขา แอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) จะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสที่จ่ายให้กับโหลด ของวงจร

15.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR

SCR มีขาสำหรับต่อใช้งาน 3 ขา ประกอบด้วย แอโนด (Anode , A) แคโทด (Cathode , K) และเกต (Gate , G) มันจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้เพียงทิศทางเดียวเหมือนไดโอด จะแตกต่างกันที่ตรงที่มันสามารถควบคุมให้นำกระแสหรือไม่นำกระแสได้ โดยทำการควบคุมมุมในการทริก (Trigger) ที่ขาเกต ส่วนกระแสหลักที่ใช้ในการขับโหลด คือ กระแสแอโนด (I_A) ที่ไหลจากขา แอโนดไปยังแคโทด

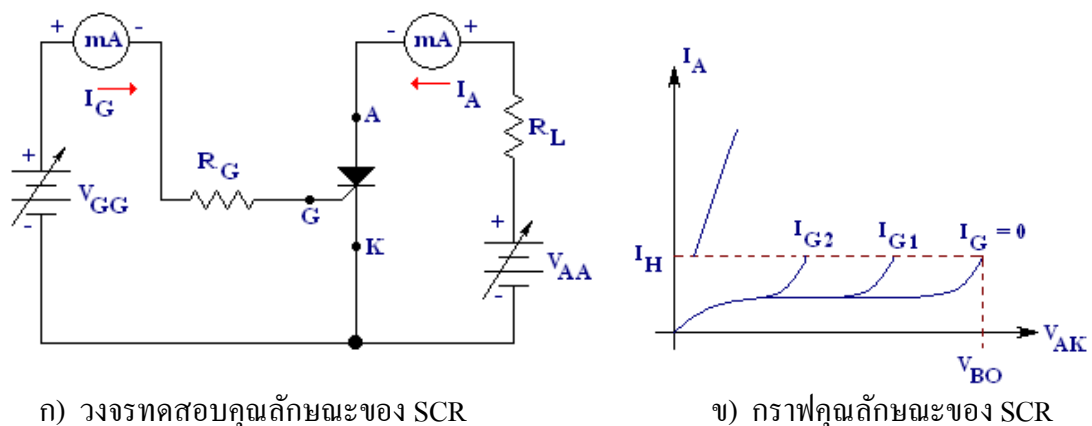


รูปที่ 15.1 โครงสร้าง สัญลักษณ์และวงจรสมมูลย์ของ SCR

โครงสร้างของ SCR ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ PNPN 4 ชั้น ประกบกัน ตามรูปที่ 15.1 ก) สาร P ที่อยู่ริมสุดจะต่อขาแอโนด (A) ออกมาใช้งาน ส่วนขา N ด้านริมสุดฝั่งตรงข้ามจะต่อเป็นขา แคโทด (K) ออกมาใช้งาน ในส่วนตอนกลางซึ่งเป็นรอยต่อ PN จะต่อขาเกต(G) ที่สาร P ออกมาใช้ สำหรับควบคุมการไหลของกระแส I_A เมื่อพิจารณาสัญลักษณ์ในรูปที่ 15.1ข) จะเห็นว่าสัญลักษณ์เหมือนไดโอดเพียงแต่เพิ่มขาเกตขึ้นมาอีกหนึ่งขา ดังนั้นมันจึงเป็นอุปกรณ์ที่ยอมให้กระแสไหล

ผ่านได้เพียงทิศทางเดียวเหมือนไดโอด จะแตกต่างตรงที่สามารถควบคุมปริมาณของแรงดันและกระแสที่จะให้ผ่านไปยังไหลดได้ ในส่วนของวงจรสมมุญ์ดังรูปที่ 15.1 ค) จะมีลักษณะคล้ายการนำทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN มาต่อร่วมกัน ซึ่งมันเป็นเพียงลักษณะทางโครงสร้างทั่วไปแต่ในความเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถนำทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อทำหน้าที่เป็น SCR ได้ เนื่องจาก SCR จะใช้กับงานที่ต้องการกระแสและแรงดันสูงมาก แต่สำหรับทรานซิสเตอร์แล้วส่วนที่เป็นขาเบสจะทนกระแสได้น้อยมาก จึงไม่อาจนำทรานซิสเตอร์มาต่อเพื่อใช้งานแทน SCR ได้

15.3 คุณสมบัติของ SCR และ การใช้งาน



ก) วงจรทดสอบคุณลักษณะของ SCR

ข) กราฟคุณลักษณะของ SCR

รูปที่ 15.2 วงจรการทดสอบคุณลักษณะและกราฟคุณลักษณะของ SCR

พิจารณาการหาคุณลักษณะของ SCR จากรูปที่ 15.2 ก) โดยการทดสอบกับแหล่งจ่ายไฟตรง สมมติว่าในขณะที่เริ่มต้นให้ $V_{GG} = 0\text{ V}$ จากนั้นทำการปรับเพิ่ม V_{AA} ขึ้นไปเรื่อย ๆ (ขณะนี้เรียกว่าไม่มีการทริกที่เกต $I_G = 0$) เมื่อปรับเพิ่ม V_{AA} ไปจนถึงค่า V_{BO} (Break over voltage) SCR จะนำกระแสได้ และมีกระแส I_A ไหลผ่านโหลด R_L แต่วิธีการนี้จะไม่นิยมใช้เพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อโหลดและ SCR เนื่องจาก V_{BO} อาจมีค่าสูงเกินกว่าที่โหลดจะรับได้และ SCR จะเกิดความเครียดจากแรงดันที่มีค่าสูงเกินไปจนอาจเสียหายได้เช่นกัน

วิธีการที่จะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อโหลดและ SCR ก็คือ การป้อนกระแสทริกที่เกต (I_G) โดยสมมติว่าโหลดต้องการแรงดันค่าหนึ่ง เราก็ปรับ V_{AA} ให้ใกล้เคียงกับแรงดันที่โหลดต้องการ จากนั้นทำการปรับค่า V_{GG} ให้ได้กระแส I_G ค่าหนึ่ง สมมุติว่าขณะนี้คือ I_{G1} (พิจารณารูปกราฟ 15.2 ข) SCR จะนำกระแสโดยมีแรงดันตกคร่อมที่ขา AK ไม่ถึงช่วง V_{BO} และถ้าเพิ่ม I_G ให้มากขึ้น สมมติเป็น I_{G2} แรงดันที่ตกคร่อมขา AK ในช่วงการนำกระแสก็จะยิ่งน้อยลง ดังนั้นแรงดันส่วน

ใหญ่จึงไปตกคร่อมโหลด R_L แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ขาเกตจะต้องได้รับไฟบวกในการทริกเท่านั้น จึงจะสามารถนำกระแสได้ เนื่องจากขาเกตกับแคโทดเป็นรอยต่อ PN เหมือนรอยต่อของไดโอด ต้องได้รับไบแอสตรง SCR จึงจะนำกระแสได้ โดยปกติทั่วไปในวงจรไฟตรงเมื่อ SCR นำกระแส ค่าแรงดัน V_{AK} จะน้อยมากใกล้ศูนย์ ดังนั้นค่ากระแส I_A ขณะ SCR นำกระแสอาจหาได้จาก

$$I_A \cong \frac{V_{AA}}{R_L} \dots\dots\dots(15.1)$$

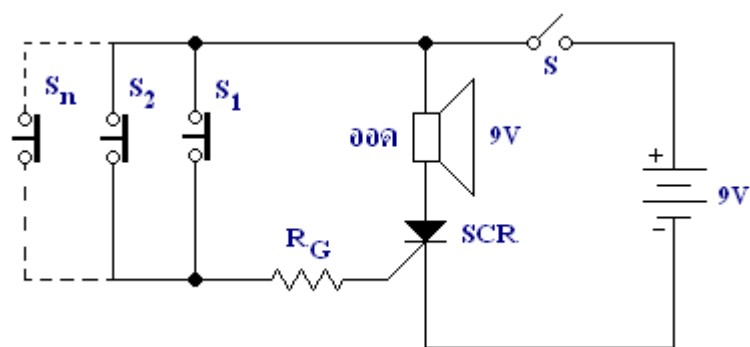
เมื่อ SCR นำกระแสในวงจรไฟตรงแล้วแม้ว่าจะตัดแหล่งจ่ายไฟ V_{GG} ออกไป SCR ก็จะสามารถนำกระแสได้อยู่ต่อไปเพราะรอยต่อ PN ที่ขา GK ลดค่าความต้านทานลงมาภายหลังได้รับการทริกที่ขา G แรงดันตกคร่อมรอยต่อ PN ที่ขา GK จึงใกล้ศูนย์มาก แรงดันที่ A เทียบกับ K จึงมีค่าประมาณใกล้ศูนย์เช่นกัน เนื่องจากเกิดกระแส I_A ไหลอย่างต่อเนื่องเพราะฉะนั้นโหลด R_L จึงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

พิจารณาต่อไปถ้า I_A มีค่าลดลงจะด้วยเหตุผลใดก็ตาม SCR จะยังคงนำกระแสได้ตราบใดที่ค่ากระแส I_A ไม่ต่ำกว่ากระแสยึด (Holding current, I_H) แต่ถ้าเมื่อใด I_A ต่ำกว่า I_H SCR จะหยุดนำกระแสทันที ถ้าจะให้ให้นำกระแสใหม่จะต้องทำการทริกที่ขาเกตอีกครั้งมันจึงจะนำกระแสได้โดยมีข้อแม้ว่า I_A ต้องไม่น้อยกว่า I_H

อย่างไรก็ตามการจะให้ SCR นำกระแสได้อย่างปลอดภัยจะต้องยึดหลักดังนี้

1. ไบแอสขั้วบวกที่แคโทดเทียบกับแคโทด
2. ไบแอสไฟบวกที่ขั้วเกตเทียบกับแคโทด (เรียกว่าทริกเกอร์ที่เกต)
3. ถ้าต้องการให้ SCR หยุดนำกระแสต้องลดค่า I_A ให้ต่ำกว่า I_H หรือตัดวงจรการไหล

ของกระแส I_A

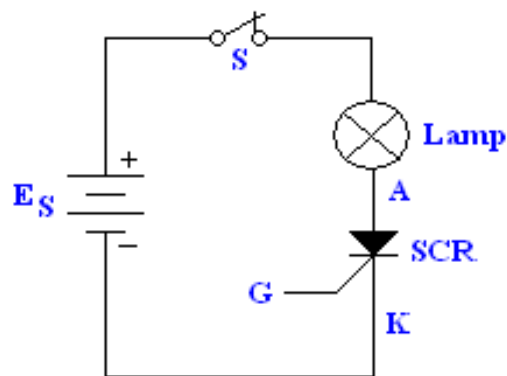


รูปที่ 15.3 การใช้ SCR ในวงจรสัญญาณเตือนภัยขโมย

พิจารณารูปที่ 15.3 เป็นการนำ SCR มาใช้งานอย่างง่ายในวงจรสัญญาณเตือนภัยขโมย ซึ่งการทำงานของวงจรนั้น ในสภาวะปกติถ้าหากเป็นการใช้ตามอาคารบ้านเรือนสวิตช์ S_1 , S_2 หรืออาจมีมากกว่านั้น จะถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งของบานหน้าต่างหรือประตู ถ้าหน้าต่างหรือประตูปิดมันจะไปปลั๊กสวิตช์ให้จากออก (ตัดวงจร) ถ้ากดสวิตช์ S ให้ต่อวงจรไว้จะยังคงยังไม่ดัง แต่ถ้าเมื่อใดหน้าต่างหรือประตูถูกงัดให้เปิดออกไม่ว่าจะเป็นบานใดก็ตาม S_1 , S_2 หรือ S_n ตัวใดตัวหนึ่ง จะถูกดึงกลับมาต่อวงจรทำให้มีกระแส I_G ไปทริกขาเกตของ SCR และทำให้มีกระแส I_A ไหลผ่านออกผ่านขา A ไป K และครบวงจร ออกจึงมีเสียงดังและดังตลอดไปเรื่อย ๆ ถึงแม้จะกด S_1 , S_2 หรือ S_n ให้จากออกออกก็ยังคงดังอยู่ ถ้าต้องการให้หยุดหยุดเสียงดังต้องตัดวงจรที่ สวิตช์ S

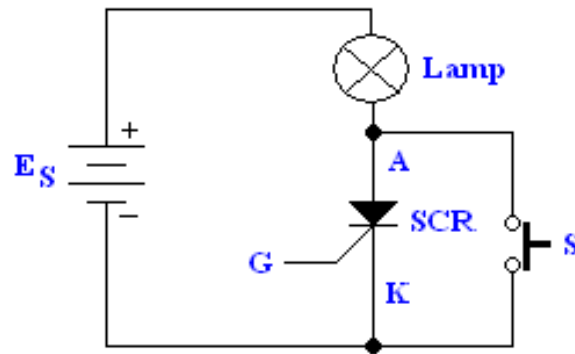
โดยทั่วไปเมื่อนำ SCR ไปใช้งานแล้ว ถ้าต้องการทำให้มันหยุดนำกระแสโดยการทำให้ I_A น้อยกว่า I_H นั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. การต่อสวิตช์อนุกรม (Anode current interruption) กระทำได้โดยการต่อสวิตช์อนุกรมกับขา A ของ SCR เมื่อต้องการให้ SCR หยุดนำกระแส (Turn – off) ก็เปิดสวิตช์ให้จากออก ดังรูปที่ 15.4



รูปที่ 15.4 การทำให้ SCR หยุดนำกระแสโดยวิธี Anode current interruption

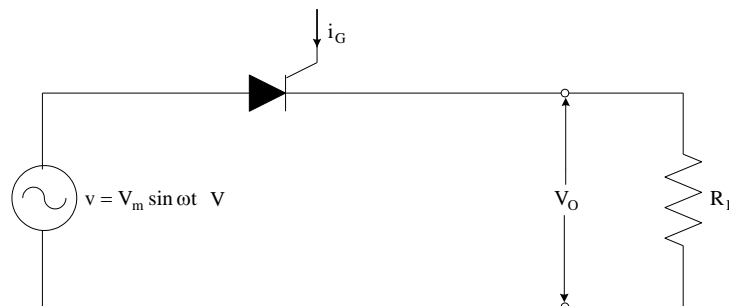
2. การต่อสวิตช์แบบขนาน (Force commutation) กระทำได้โดยการต่อสวิตช์คร่อมระหว่างขา A และ K ของ SCR เมื่อกดสวิตช์ให้ต่อวงจร กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านสวิตช์แทนการผ่าน A ไป K ด้วยระยะเวลาหนึ่งกระแส I_A จึงต่ำกว่า I_H SCR ก็จะหยุดนำกระแส ถ้าต้องการให้ SCR นำกระแสใหม่ต้องทำการทริกเกอร์ (Trigger) ที่ขาเกตใหม่ ดังรูปที่ 15.5



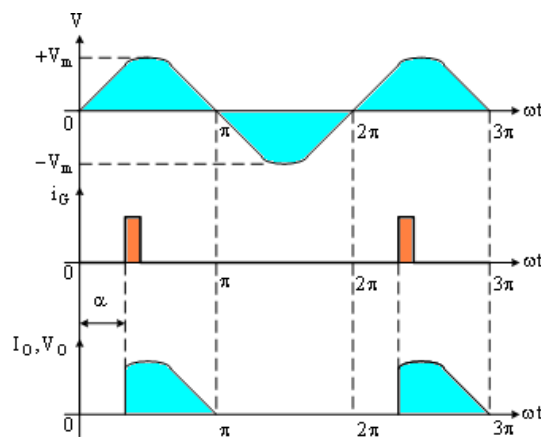
รูปที่ 15.5 การทำให้ SCR หยุดนำกระแสโดยวิธี Force commutation

จากคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ SCR ในเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าสามารถนำ SCR มาใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าแรงดันไฟตรงที่โหลดได้ ซึ่งก็สามารถจัดวงจรได้ทั้งแบบครึ่งคลื่นและเต็มคลื่นเช่นเดียวกันกับการใช้ไดโอด

15.3.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นใช้ SCR



ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นใช้ SCR



ข) รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันด้านอินพุตและเอาต์พุต

รูปที่ 15.6 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นใช้ SCR และรูปคลื่นอินพุต เอาต์พุตที่มีมุมจุดชนวน α

พิจารณารูปที่ 15.6 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่ใช้ SCR โดยมีมุมจุดชนวนที่ขาเกต (ทริกเกอร์) อยู่ที่มุม α เมื่อ SCR นำกระแสจะเห็นได้ว่ากระแสไหลและแรงดันที่โหลด (I_o และ V_o) จะเริ่มที่มุม α ไปจนถึง π ตามลักษณะของรูปคลื่นไปสลับด้านบวก แต่เมื่อไฟสลับไปอยู่ที่ช่วงสัญญาณด้านลบ SCR จะไม่ยอมให้ I_o และ V_o ผ่านไปยังโหลด R_L ได้ จนกว่าจะมีสัญญาณด้านบวกรอบใหม่เข้ามา และเมื่อถึงช่วงมุมจุดชนวนเกตที่มุม α SCR จึงจะยอมให้ I_o และ V_o ผ่านไปยังโหลด R_L ได้

ค่าแรงดันและกระแสไฟตรงเฉลี่ยที่โหลด ($V_{o_{avg}}$ และ $I_{o_{avg}}$)

$$\begin{aligned} V_{o_{avg}} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t \, d\omega t \\ &= \frac{V_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t \, d\omega t \end{aligned}$$

$$\text{แต่ } \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t \, d\omega t = -\cos \omega t \Big|_{\alpha}^{\pi}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{o_{avg}} &= \frac{V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [-(\cos \pi - \cos \alpha)] \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [-(-1 - \cos \alpha)] \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [1 + \cos \alpha] \dots \dots \dots (5.2) \end{aligned}$$

$$I_{o_{avg}} = \frac{V_{o_{avg}}}{R_L} = \frac{V_m}{2\pi R_L} [1 + \cos \alpha] \dots \dots \dots (5.3)$$

ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าใช้งานที่โหลด ($V_{o_{rms}}$ และ $I_{o_{rms}}$)

$$V_{o_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (V_m \sin \omega t)^2 \, d\omega t}$$

$$\begin{aligned} V_{o_{rms}}^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t \\ &= \frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2 \omega t \, d\omega t \end{aligned}$$

$$\text{แต่ } \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{o_{rms}}^2 &= \frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t) \, d\omega t \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) \, d\omega t \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left(\int_{\alpha}^{\pi} d\omega t - \int_{\alpha}^{\pi} \cos 2\omega t \, d\omega t \right) \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left(\omega t \Big|_{\alpha}^{\pi} - \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\pi} \cos 2\omega t \, d\omega t \right) \end{aligned}$$

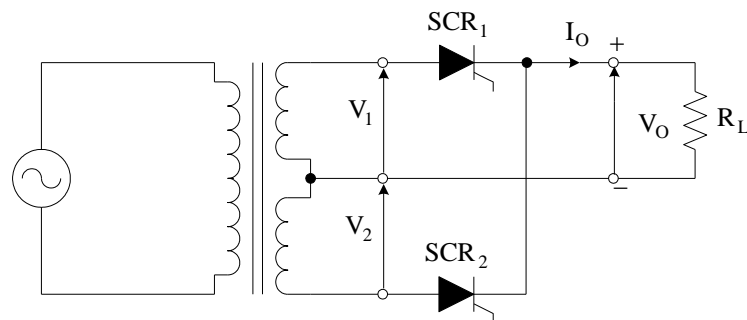
$$\int_{\alpha}^{\pi} \cos 2\omega t \, dt = \sin 2\omega t \Big|_{\alpha}^{\pi}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{O_{rms}}^2 &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left((\pi - \alpha) - \frac{1}{2} [\sin 2\omega t]_{\alpha}^{\pi} \right) \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left(\pi - \alpha - \frac{1}{2} (\sin 2\pi - \sin 2\alpha) \right) \\ &= \frac{V_m^2}{4\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \\ V_{O_{rms}} &= \frac{V_m}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \dots\dots\dots(15.4) \\ I_{O_{rms}} &= \frac{V_{O_{rms}}}{R_L} \\ &= \frac{V_m}{2\sqrt{\pi}R_L} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \dots\dots\dots(15.5) \end{aligned}$$

หมายเหตุ ค่า π และ α ที่ไม่ได้ยู่หลัง \sin หรือ \cos ให้แทนค่าในหน่วยเรเดียน

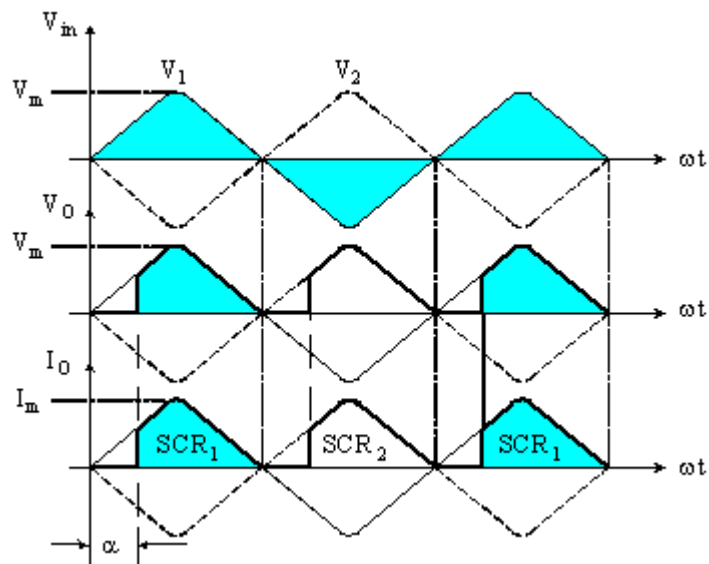
การใช้งาน SCR ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะพิจารณาเป็น 2 แบบ คือ ในกรณีของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท่งกลางและกรณีของวงจรบริดจ์

15.3.2 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง



รูปที่ 15.7 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นของ SCR ที่ใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง

พิจารณาวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท่งกลางดังรูปที่ 15.7 จะมีลักษณะเหมือนกันกับการทำงานจะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอด เพียงแต่กรณีนี้สามารถควบคุมปริมาณกระแสและแรงดันที่เอาต์พุตได้ ดังนั้นในการคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันที่เอาต์พุตจึงคำนวณและสามารถพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณรูปที่ 15.8 ได้ดังนี้



รูปที่ 15.8 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง

เมื่อพิจารณาวงจรรูปที่ 15.7 และรูปคลื่นสัญญาณรูปที่ 15.8 การควบคุมมุมการนำกระแสของ SCR สามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0° ถึง 180° นั่นคือ สามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมที่โหลด R_L ได้ โดยเมื่อพิจารณารูปคลื่นสัญญาณจากรูปที่ 15.8 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมที่โหลด R_L จะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมในการทริก หรือ $\alpha = 0^\circ$ และแรงดันตกคร่อมที่โหลดจะเป็นศูนย์เมื่อมุมในการทริก หรือ $\alpha = 180^\circ$

ค่าแรงดันและกระแสไฟตรงเฉลี่ยที่เอาต์พุต ($V_{O_{avg}}$ และ $I_{O_{avg}}$) สามารถคำนวณได้ เมื่อ $0^\circ < \alpha < 180^\circ$; $180^\circ = \pi$

$$\begin{aligned}
 V_{O_{avg}} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [-(\cos \pi - \cos \alpha)] \\
 &= \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos \alpha] \dots \dots \dots (15.6)
 \end{aligned}$$

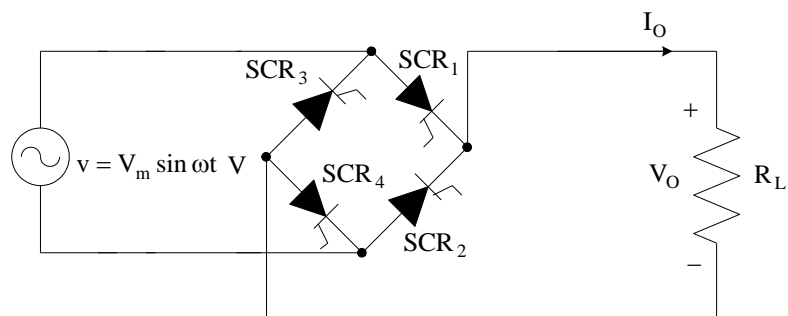
$$\begin{aligned}
 I_{O_{avg}} &= \frac{V_{O_{avg}}}{R_L} \\
 &= \frac{V_m}{\pi R_L} [1 + \cos \alpha] \dots \dots \dots (15.7)
 \end{aligned}$$

ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าใช้งานที่โหลด ($V_{O_{rms}}$ และ $I_{O_{rms}}$) สามารถคำนวณได้ เมื่อ $0^\circ < \alpha < 180^\circ$; $180^\circ = \pi$

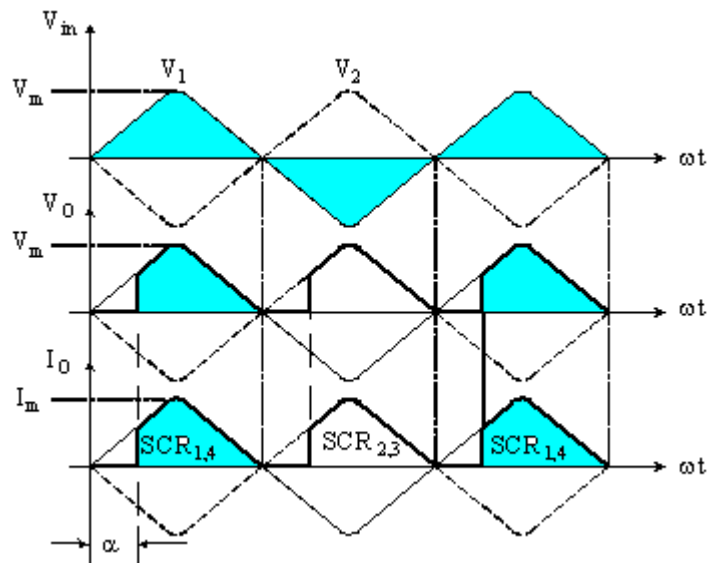
$$\begin{aligned}
 V_{O_{rms}} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (V_m \sin \omega t)^2 d\omega t} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2 \omega t d\omega t} \\
 V_{O_{rms}}^2 &= \frac{V_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t \\
 &= \frac{V_m^2}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{\pi} d\omega t - \int_{\alpha}^{\pi} \cos 2\omega t d\omega t \right) \\
 &= \frac{V_m^2}{2\pi} \left(\pi - \alpha - \frac{1}{2} (\sin 2\pi - \sin 2\alpha) \right) \\
 &= \frac{V_m^2}{2\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \\
 V_{O_{rms}} &= \frac{V_m}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \dots\dots\dots(5.8) \\
 I_{O_{rms}} &= \frac{V_{O_{rms}}}{R_L} \\
 &= \frac{V_m}{\sqrt{2\pi R_L}} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \dots\dots\dots(5.9)
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ ค่า π และ α ที่ไม่ได้ยู่หลัง \sin หรือ \cos ให้แทนค่าในหน่วยเรเดียน

15.3.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์



รูปที่ 15.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ใช้ SCR



รูปที่ 15.10 รูปคลื่นสัญญาณวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

เมื่อพิจารณาวงจรรูปที่ 15.9 และรูปคลื่นสัญญาณรูปที่ 15.10 การควบคุมมุมการนำกระแสของ SCR ยังคงสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0° ถึง 180° นั่นคือ สามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะไปตกคร่อมที่โหลด R_L ได้ แต่จะมี SCR ทำหน้าที่ในการเรียงกระแสรูปคลื่นสัญญาณครึ่งไซเคิลละ 2 ตัว และเมื่อพิจารณารูปคลื่นสัญญาณจากรูปที่ 15.10 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลด R_L จะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมในการทริก หรือ $\alpha = 0^\circ$ เช่นเดียวกันกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง อีกทั้งค่าของแรงดันตกคร่อมโหลดจะเป็นศูนย์เมื่อตำแหน่งของมุมในการทริก หรือ $\alpha = 180^\circ$

ค่าแรงดันและกระแสไฟตรงเฉลี่ยที่เอาต์พุต ($V_{O_{avg}}$ และ $I_{O_{avg}}$) จึงสามารถหาได้จากสมการที่เหมือนกันกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง นั่นคือ

สามารถคำนวณได้ เมื่อ $0^\circ < \alpha < 180^\circ ; 180^\circ = \pi$

$$V_{O_{avg}} = \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos \alpha] \dots \dots \dots (15.10)$$

$$I_{O_{avg}} = \frac{V_{O_{avg}}}{R_L} = \frac{V_m}{\pi R_L} [1 + \cos \alpha] \dots \dots \dots (15.11)$$

ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าใช้งานที่โหลด ($V_{O_{rms}}$ และ $I_{O_{rms}}$)

สามารถคำนวณได้ เมื่อ $0^\circ < \alpha < 180^\circ ; 180^\circ = \pi$

$$V_{O_{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha\right)} \dots \dots \dots (5.12)$$

$$I_{O_{rms}} = \frac{V_{O_{rms}}}{R_L} \\ = \frac{V_m}{\sqrt{2\pi R_L}} \sqrt{\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)} \dots \dots \dots (5.13)$$

หมายเหตุ ค่า π และ α ที่ไม่ได้อยู่หลัง \sin หรือ \cos ให้แทนค่าในหน่วยเรเดียน

อย่างไรก็ตามการจะใช้งาน SCR ให้ได้ผลดีจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบหลาย ๆ อย่าง ดังนี้

แรงดันไบแอสตรงจุดชนวน หรือแรงดันพังขณะไบแอสตรง (Forward breakdown voltage, V_{BF} หรือ V_{BO}) คือค่าแรงดันที่ป้อนไฟบวกให้กับแอโนดและลบให้กับแคโทดของ SCR แล้วทำให้ SCR นำกระแส ส่วนใหญ่เราจะไม่ให้ SCR นำกระแสด้วยค่าแรงดันนี้ เพราะเป็นการเสี่ยงต่อการเสียหายของ SCR ดังนั้นถ้าในวงจรเพาเวอร์ที่มีแหล่งจ่าย 400 โวลต์ จะต้องเลือกใช้ SCR ที่มีค่า V_{BO} มากกว่า 400 โวลต์

กระแสไบแอสตรงสูงสุด (Maximum forward current, I_{FMAX}) เป็นค่ากระแสที่อาจทำให้ SCR เสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนที่รอยต่อ โดยทั่วไป ถ้าโหลดมีค่ากระแสใช้งานเฉลี่ย 1 แอมแปร์ จะต้องเลือกใช้ SCR ที่ทนต่อกระแสไบแอสตรงสูงสุดอย่างน้อย 1.57 แอมแปร์

กระแสจุดชนวนเกต (gate trigger current, $I_{GT(MIN)}$) เป็นกระแสที่ใช้ในการทริกหรือจุดชนวนเกตให้ SCR เริ่มนำกระแส

แรงดันจุดชนวนเกต (gate, trigger voltage, V_{GT}) เป็นค่าแรงดันด้านบวกที่ขาเกตเทียบกับแคโทดที่ทำให้ SCR นำกระแส

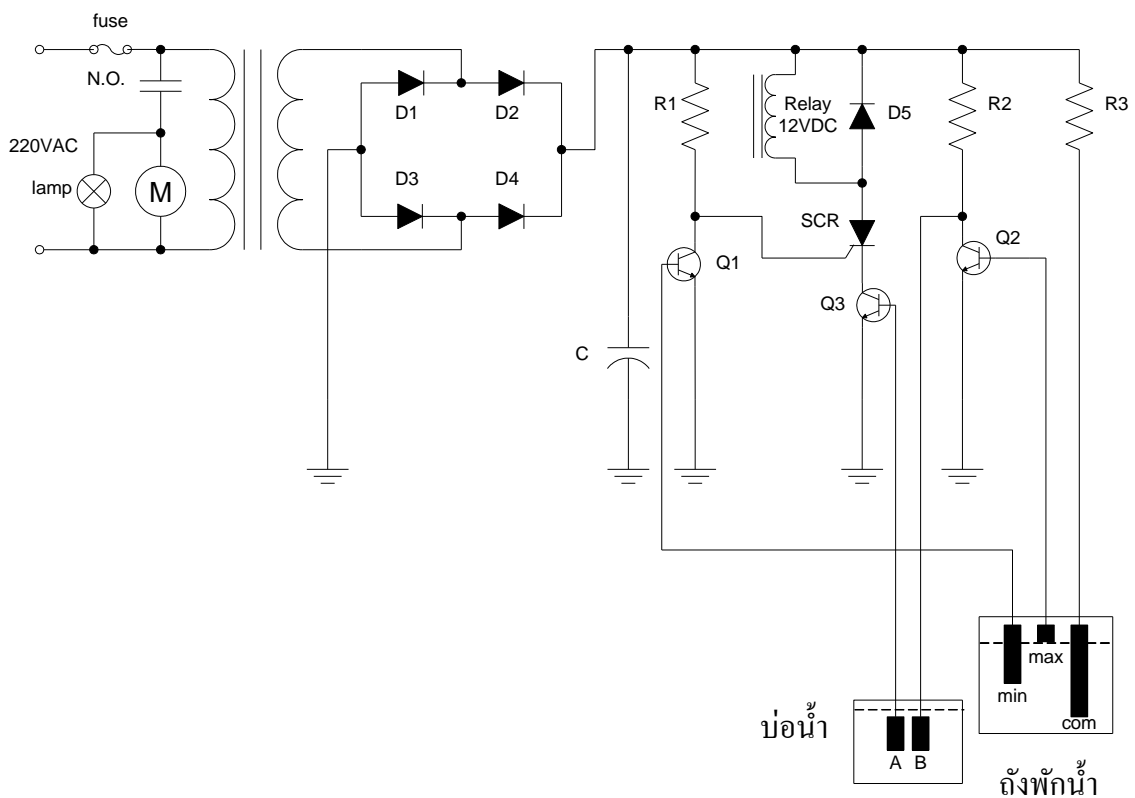
กระแสโฮลดิ้ง (Holding current, I_H) เป็นค่ากระแสที่ไหลระหว่างแอโนดและแคโทดต่ำที่สุดที่ SCR ยังคงสามารถนำกระแสอยู่ได้ ค่า I_H จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิโดยรอบลดลง

แรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak reverse voltage, V_R) เป็นค่าแรงดันขณะไบแอสกลับระหว่างแอโนดและแคโทดที่ SCR ทนได้

แรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกต (Peak reverse gate voltage, V_{RGM}) เป็นค่าแรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกตกับแคโทดที่ทำให้รอยต่อเกตพัง

กระแสเกตสูงสุด (Maximum gate current, I_{GMAX}) คือค่ากระแสเกตสูงสุดที่ทำให้ SCR พัง ดังนั้นการทริกเกตของ SCR จึงต้องทริกด้วยค่ากระแสที่ต่ำกว่ากระแสเกตสูงสุด

ในการประยุกต์ใช้งาน SCR สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ใช้ไดโอดในวงจรเรียงกระแสเพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับวงจร ใช้คุณสมบัติการเป็นสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ มาเป็นสวิตช์ในการควบคุมการเปิด-ปิดของวงจร อาศัยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำ ๆ มาใช้งานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด เมื่อต้องนำไปควบคุมโหลดที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าสูง ๆ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในวงจรควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 15.11 วงจรควบคุมระดับน้ำใช้ SCR ร่วมกับอุปกรณ์อื่น

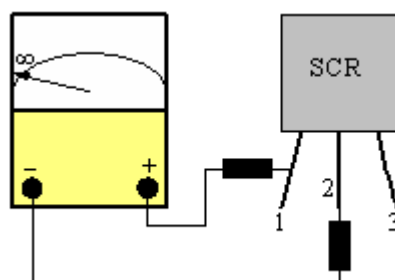
จากรูปที่ 15.11 การทำงานของวงจรเริ่มจาก เมื่อเราทำการจ่ายไฟให้กับหม้อแปลงของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ วงจรเรียงกระแสก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาดประมาณ 12 โวลต์ พิจารณาที่ถังพักน้ำไม่มีน้ำอยู่เลย กระแสไฟฟ้าค่าต่ำ ๆ ไม่สามารถไหลจากอิลีกโทรด com ไปยังอิลีกโทรด min และอิลีกโทรด max ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านอิลีกโทรด AB ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ขณะเดียวกันกับที่กระแสไฟฟ้าที่ไม่สามารถไหลผ่าน Q1 ได้ ก็จะไหลไปทริกที่ขาเกตของ SCR ทำให้ SCR และทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเลย์

ผ่าน SCR และทรานซิสเตอร์ Q3 ควบคุมวงจร ส่งผลให้น้ำสัมผัส N.O. ของรีเลย์ต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังมอเตอร์ มอเตอร์จะทำงานและสูบน้ำขึ้นไปยังถังพักน้ำ เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นไปสัมผัสสวิตช์เล็กโทรด min กระแสไฟฟ้าจากอิเล็กทรอนิกส์โทรด com จะไหลผ่านน้ำไปยังอิเล็กทรอนิกส์โทรด min ส่งต่อไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ทรานซิสเตอร์ Q1 นำกระแสตัดทางเดินกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลไปยังขาเกตของ SCR แต่ SCR ยังคงนำกระแสได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน SCR มีค่าสูงกว่าค่ากระแสยึด มอเตอร์ก็ยังทำงานสูบน้ำขึ้นไปยังถังพักน้ำ จนกระทั่งระดับน้ำสูงขึ้นไปสัมผัสสวิตช์แก้อิเล็กโทรด max กระแสไฟฟ้าจะไหลจากอิเล็กทรอนิกส์โทรด com ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ทรานซิสเตอร์ Q2 นำกระแส ตัดทางเดินของกระแสที่จะไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ทรานซิสเตอร์ Q3 จะหยุดนำกระแสตัดกระแสที่จะไหลผ่านคอยล์รีเลย์ รีเลย์หยุดทำงานตัดวงจรการทำงานของมอเตอร์ออกไป ซึ่งการทำงานก็จะเป็นวงรอบกลับไปมา ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในถังพักน้ำที่เพิ่มหรือลดระดับตามตำแหน่งของอิเล็กทรอนิกส์โทรด min และ max ในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์โทรด AB ทำหน้าที่ในการป้องกันมอเตอร์ ไม่ให้มอเตอร์ทำงานเมื่อระดับน้ำในบ่อน้ำต่ำกว่าตำแหน่งอิเล็กทรอนิกส์โทรด AB ซึ่งถ้ามอเตอร์ทำงานตลอดเวลาในกรณีที่บ่อน้ำไม่มีน้ำ อาจเป็นสาเหตุทำให้มอเตอร์ไหม้ได้

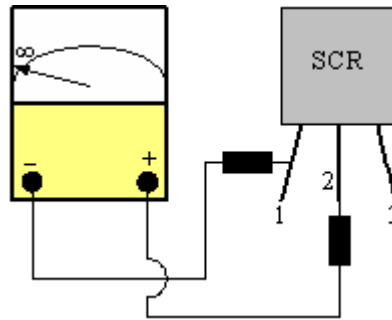
15.4 การตรวจสอบ SCR

ในการตรวจสอบ SCR เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งของขาต่าง ๆ และเพื่อให้ทราบว่า SCR อยู่ในสภาพดีหรือชำรุดกระทำได้โดยการใช้มิเตอร์แบบเข็มชี้ที่รู้ตำแหน่งของขั้วบวกลบที่แน่นอน

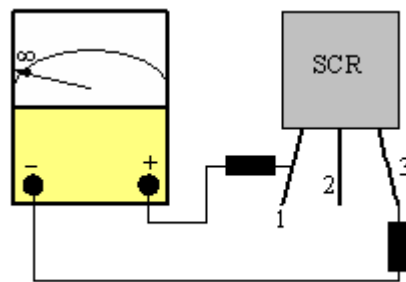
1. หาขา G และ K ก่อน โดยการปรับตั้งย่านวัดมิเตอร์ที่ Rx1 แล้วนำปลายสายขั้วบวกและลบของมิเตอร์ไปแตะขาของ SCR ที่ละคู่พร้อมทั้งสลับปลายสายวัดทุกคู่ ดังนั้น SCR ที่มี 3 ขา เมื่อทำการวัดและสลับปลายสายวัดจะต้องทำการวัดถึง 6 ครั้ง ให้สังเกตว่าจะมีอยู่ 1 ครั้งที่เข็มมิเตอร์กระดิก ที่ ตำแหน่งนี้ ถ้าขั้วบวกของมิเตอร์(ขั้วบวกที่แท้จริง) แตะอยู่ที่ขาใด ขานั้น คือขาเกต และที่ขั้วลบแตะอยู่คือ ขาแคโทด ส่วนขาที่เหลือคือแอนโนด ดังรูปที่ 15.12



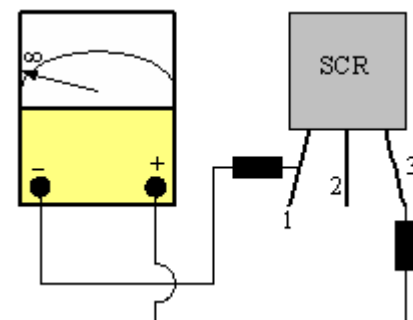
ก) ขั้ว + ของมิเตอร์อยู่ขาที่ 1 ขั้ว - อยู่ขาที่ 2 เข็มชี้ของมิเตอร์ชี้ความต้านทานสูง (∞)



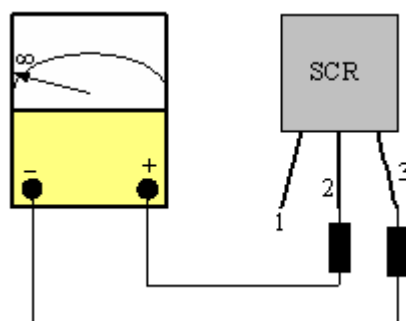
ข) ขั้ว - ของมิเตอร์อยู่ขาที่ 1 ขั้ว + อยู่ขาที่ 2 เข็มชี้ของมิเตอร์ชี้ความต้านทานสูง (∞)



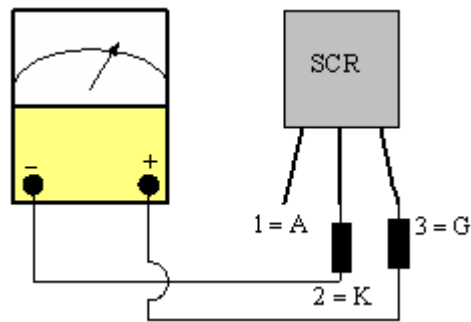
ค) ขั้ว + ของมิเตอร์อยู่ขาที่ 1 ขั้ว - อยู่ขาที่ 3 เข็มชี้ของมิเตอร์ชี้ความต้านทานสูง (∞)



ง) ขั้ว - ของมิเตอร์อยู่ขาที่ 1 ขั้ว + อยู่ขาที่ 3 เข็มชี้ของมิเตอร์ชี้ความต้านทานสูง (∞)



จ) ขั้ว + ของมิเตอร์อยู่ขาที่ 2 ขั้ว - อยู่ขาที่ 3 เข็มชี้ของมิเตอร์ชี้ความต้านทานสูง (∞)

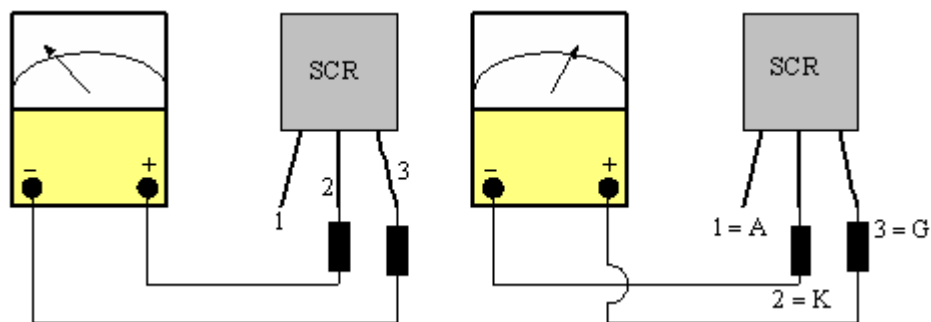


จ) ขั้ว + ของมิเตอร์อยู่ขาที่ 3 ขั้ว - อยู่ขาที่ 2 เข็มชี้ของมิเตอร์ชี้ความต้านทานค่าหนึ่ง

รูปที่ 15.12 การวัดหาขา G และ K ของ SCR

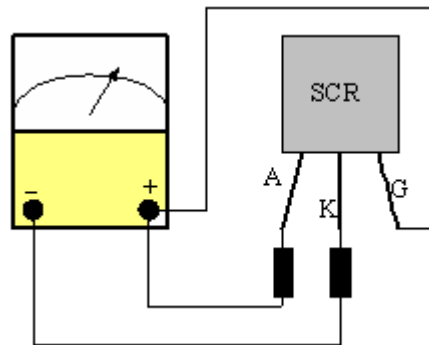
หมายเหตุ SCR บางตัว จะมีค่าขา 1 คู่ ที่วัดความต้านทานได้ 2 ครั้ง แต่จะมีอยู่ครั้งหนึ่งเข็มมิเตอร์ชี้ความต้านทานต่ำ อีกครั้งหนึ่งค่าความต้านทานจะมีค่าสูง ถ้าพิจารณาที่ความต้านทานต่ำ ขั้วบวกและขาคือ ขานั่นคือ ขาเกต ขาที่ขั้วลบและคือ แคโทด ส่วนขาที่เหลือคือแอนโนด ดังรูปที่

15.13

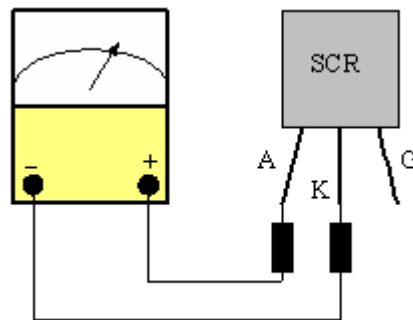


รูปที่ 15.13 การวัดหาขา G และ K ของ SCR กระแสสูง

2. เมื่อต้องการตรวจสอบว่า SCR อยู่ในสภาพดีหรือไม่ให้ตั้งมิเตอร์ที่ R x 1 และ นำขั้วบวกของมิเตอร์และที่ขาแอนโนด ขั้วลบไปและที่ขาแคโทด นำปลายสายไฟเส้นหนึ่งมาและที่ขาแอนโนดที่มีไฟขั้วบวกของมิเตอร์และอยู่ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของสายไฟให้นำไปและกับขาเกต สังเกตเข็มมิเตอร์จะกระดิกจากนั้นปลดปลายสายไฟเส้นที่นำมาและขาเกตครั้งหลังนี้ออกไป สังเกตเข็มมิเตอร์จะต้องชี้ค่าที่ความต้านทานตำแหน่งเดิมแสดงว่า SCR อยู่ในสภาพดี ดังรูปที่ 15.14



ก) เมื่อขั้ว + ของมิเตอร์แตะกับขา A และ G ขั้ว - แตะกับขา K เข็มมิเตอร์อ่านค่าความต้านทานได้



ข) เมื่อปลดสายไฟที่ขา G ออก โดยขั้ว + ของมิเตอร์แตะกับขา A ขั้ว - แตะกับขา K เข็มมิเตอร์
ชี้ค้างอ่านค่าความต้านทานได้เท่าเดิม

รูปที่ 15.14 การตรวจสอบว่า SCR อยู่ในสภาพดีหรือไม่