2102384

Electronics Laboratory

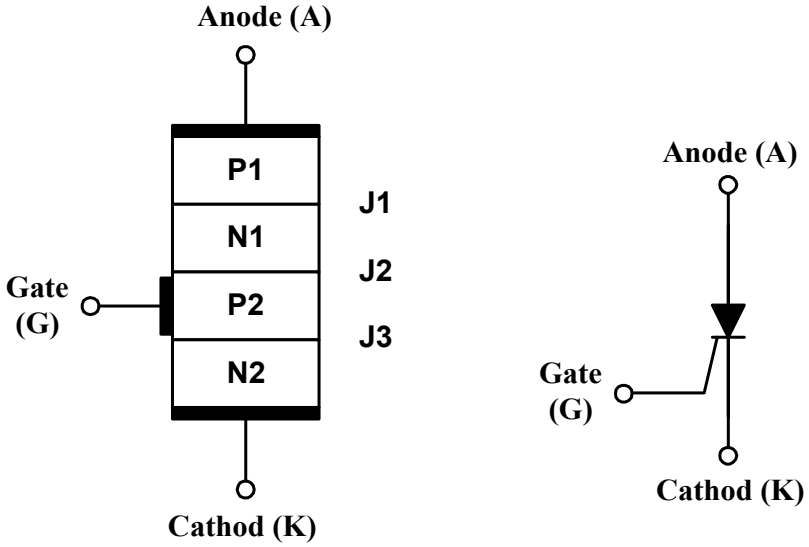
ชื่อ-สกุล.....
เลขประจำตัว.....
เลขประจำตัวผู้ร่วมงาน 1.....
เลขประจำตัวผู้ร่วมงาน 2.....
วันที่ทำการทดลอง.....
อาจารย์ผู้ควบคุม.....

ไธรีสเตอร์และสิ่งประดิษฐ์สำหรับการจุดชนวน (Thyristor & Triggering devices , TTD)

ไธรีสเตอร์หมายถึง สวิตช์สารกึ่งตัวนำซึ่งการเปลี่ยนสถานะเปิด - ปิด (นำกระแส – ไม่นำกระแส) เกิดจากการป้อนกลับแบบหมุนเวียนของหัวต่อ P-N-P-N (P-N-P-N regenerative feedback) ไธรีสเตอร์อาจเป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิด 2, 3 หรือ 4 ขั้วก็ได้ และอาจทำการสวิตช์ได้ 1 หรือ 2 ทางก็ได้ ตัวอย่างของไธรีสเตอร์ได้แก่ SCR , TRIAC , PUT , GTO , LASCR ฯลฯ

SCR

SCR ย่อมาจาก Silicon controlled rectifier มีโครงสร้างเป็น ซิลิกอน ชนิด P, N , P , N เรียงสลับกัน 4 ชั้น ดังรูปที่ 1(ก) โดยมีขั้วสำหรับต่อวงจรภายนอก 3 ขั้ว คือ Anode (A) , Cathode (K) และ Gate (G) ส่วนสัญลักษณ์ของ SCR แสดงไว้ในรูปที่ 1(ข)

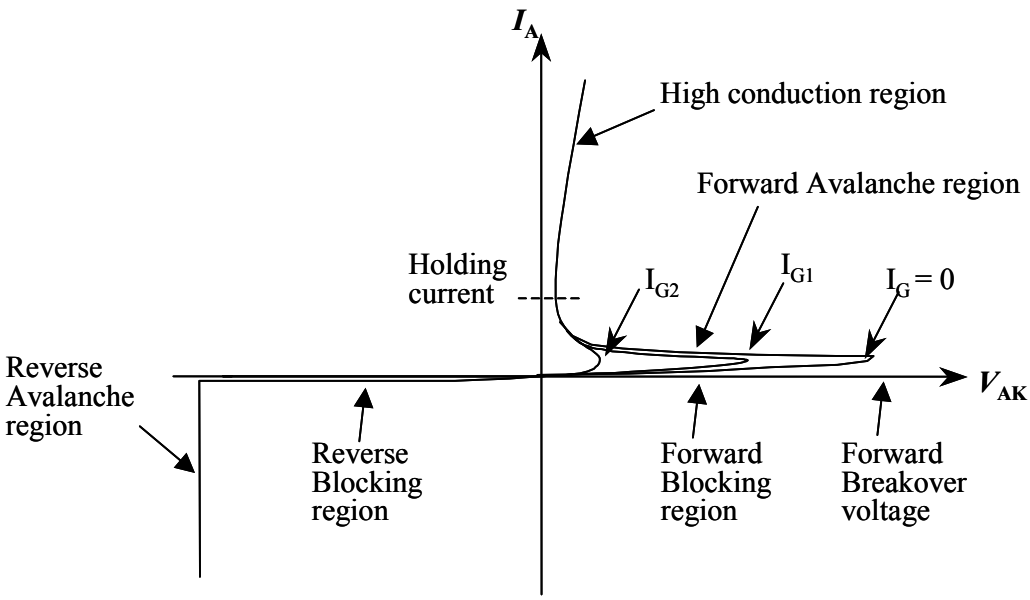


(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR

SCR มีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 กล่าวคือเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอาโนด เป็นลบ SCR จะไม่นำกระแสและจะเกิดการพังทะลุที่แรงดัน reverse breakdown ลักษณะการพังทะลุจะเหมือนกับการพังทะลุของไดโอดธรรมดา

แต่ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอาโนดเป็นบวก และให้กระแสเกทเป็นศูนย์ ในตอนแรก SCR ก็จะยังไม่นำกระแสเช่นกัน ต่อเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอาโนด มีค่าถึง forward breakover voltage ก็จะเกิดการป้อนกลับแบบหมุนเวียนของหัวต่อ P-N-P-N ทำให้หัวต่อพีเอ็นทั้งสามของ SCR เป็นไบแอสตามทั้งหมด ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอาโนด และคาโธดจึงลดลงมาเหลือเพียงประมาณ 1 โวลต์ แต่เมื่อเราให้กระแสเกทแก่ SCR (ไบแอสตามหัวต่อ J_3) และให้แรงดันที่ขั้วอาโนดเป็นบวก SCR จะนำกระแสที่แรงดันที่ขั้วอาโนดต่ำกว่า Forward Breakover voltage โดยแรงดันที่ขั้วอาโนด ที่ SCR นำกระแส จะต่ำลงเมื่อกระแสเกทมีค่าเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 2 I_{G2} มากกว่า I_{G1})



รูปที่ 2 ลักษณะสมบัติกระแส – แรงดัน ของ SCR

เมื่อ SCR นำกระแสแล้ว กระแสเกทจะไม่มีผล ต่อการทำงานของ SCR วิธีที่จะทำให้ SCR จะหยุดนำกระแสทำได้โดยการลดกระแสอาโนด ให้มีค่าต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่งซึ่งเรียกว่า holding current (I_H) SCR จึงหยุดนำกระแส

เนื่องจากเมื่อ SCR นำกระแสแล้ว จะมีพาหะส่วนเกินอยู่ใน SCR จำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้ SCR เข้าสู่สถานะปิดกั้นกระแสโดยสมบูรณ์ จะต้องรอให้พาหะส่วนเกินนี้สลายตัวหมดไปเสียก่อน เวลาที่ต้องการเรียกว่า turn-off time ดังนั้นการลดกระแส ที่ขั้วอาโนด ให้ค่าต่ำกว่า I_H แล้วทำให้แรงดัน ที่ขั้วอาโนด เป็นบวกใหม่ภายในเวลาน้อยกว่า turn-off time SCR จะไม่สามารถปิดกั้นกระแสได้

<u>ขีดจำกัดของ SCR</u> เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ SCR ได้อย่างเหมาะสม ผู้ผลิตจะบอกขีดจำกัดต่าง ๆ ของ SCR ,มาให้ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. <u>แรงดันไฟฟ้าอาโนด</u> มักบอกมาในรูปของย่านแรงดันใช้งาน เช่น 500-1300 V ซึ่งถ้าใช้เกินค่าสูงสุดที่กำหนดให้ก็จะทำให้เกิดการ breakdown ทางด้านแรงดันอาโนดเป็นลบ หรือเกิดการ breakover ทางด้านแรงดันอาโนดเป็นบวกเมื่อ $I_G = 0$ ได้

2. <u>กระแสอาโนด</u> เมื่อมีกระแสอาโนดไหลผ่าน SCR จะเกิดพลังงานสูญเสียขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสอาโนดและแรงดันอาโนค พลังงานสูญเสียนี้จะอยู่ในรูปของความร้อน ซึ่งถ้าความร้อนมีมากเกินไปก็จะทำให้ SCR เสียหายได้ ดังนั้นขีดจำกัดด้านกระแสอาโนดของ SCR จึงขึ้นกับรูปแบบของกระแสอาโนดเองด้วย ตัวอย่าง เช่น SCR ของ GE รุ่น C380 มีค่า $I_{T\,(RMS)} = 380$ A หมายความว่ากระแส rms สูงสุดของ half wave = 380 แอมแปร์ ; $I_{T\,(AV)}$ ที่มุมนำกระแส 180° อุณหภูมิ case 80°C = 235 A หมายความว่าเมื่อเราสามารถรักษาอุณหภูมิของ case ให้ = 80°C ได้ SCR ของเราจะทนกระแสซึ่งมีมุมนำกระแส 180° ได้ โดยกระแสมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 235 แอมแปร์ $I_{T(AV)}$ ที่มุมนำกระแส 120° อุณหภูมิ case 80°C = 180 A หมายความว่าเมื่อเราสามารถรักษาอุณหภูมิของ case ให้ = 80°C ได้ SCR ของเราจะทนกระแสซึ่งมีมุมนำกระแส 120° ได้ โดยกระแสมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 180 แอมแปร์ จะเห็นได้ว่ากระแสเฉลี่ยในทั้งสองกรณีมีค่าไม่เท่ากัน

ความสามารถที่สำคัญอีกประการหนึ่งของ SCR คือ SCR ยอมให้อุณหภูมิของหัวต่อ (junction temperature) สูงกว่าขีดจำกัดปรกติได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเรียกว่าขีดจำกัดแบบ non-recurrent อย่างไรก็ตาม SCR ก็จะเกิดความเสียหายขึ้นเล็กน้อยทุกครั้งที่อุณหภูมิของมันสูงเกิดขีดจำกัด ดังนั้นถ้าปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นบ่อยครั้งเกินไป($\approx$ 100 ครั้ง ตามข้อกำหนดของ Joint Electron Device Engineering Council หรือ JEDEC) SCR ก็จะเสียหายได้ ขีดจำกัดของกระแสอาโนด แบบ non-recurrent ซึ่งผู้ผลิตจะให้มาได้แก่ I_{TSM} ซึ่งเป็นกระแสสูงสุดที่ SCR จะทนได้ ถ้ากระแสนั้นมีเพียงหนึ่ง cycle สำหรับกรณีหลาย cycle ผู้ผลิตจะบอกมาเป็นกราฟ ส่วนกรณีที่ไม่ถึง cycle ผู้ผลิตจะให้มาเป็นค่า I^2t

3. <u>อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสอาโนด</u> ในขณะที่จุดชนวน SCR กระแสเกทจะทำให้ SCR เริ่มนำกระแสได้ โดยที่พื้นที่นำกระแสจะอยู่บริเวณใกล้ขั้ว เกท และจะแผ่ยื่นไปเต็มเนื้อที่ SCR ในภายหลัง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้ากระแสจำนวนมากแม้จะน้อยกว่าค่ากระแสสูงสุดก็ตามไหลผ่าน SCR ทันที ที่เริ่มจุดชนวน (di/dt ค่าสูง) ความหนาแน่นของกระแสอาโนดซึ่งไหลผ่านพื้นที่นำกระแสตอนเริ่มแรกจะมีค่าสูงมาก และจะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุดขึ้น (Local heat) ความร้อนดังกล่าวถ้ามีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ SCR เสียหายได้ ดังนั้นผู้ผลิตจึงกำหนดค่า di/dt สูงสุดไว้ด้วย (หน่วยเป็น A/μsec)

4. <u>อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันอาโนด</u> การเปลี่ยนแปลงแรงดันอาโนดเป็นบวกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่ SCR ไม่นำกระแส อาจทำให้ SCR นำกระแสได้ ดังนั้นผู้ผลิตจึงกำหนดค่า dv / dt สูงสุดไว้ด้วย (หน่วยเป็น V/μsec) ผู้ออกแบบวงจรสามารถจำกัดค่า dv/dt ที่เกิดกับ SCR ได้โดยใช้วงจร “snubber” ต่อคร่อมขั้วของ SCR

TRIAC

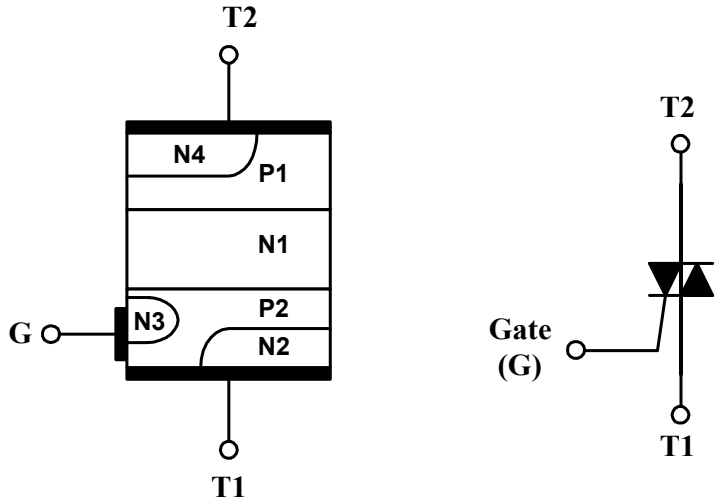
ไตรแอคเป็นไธรีสเตอร์ชนิดหนึ่งสามารถควบคุมการปิด-เปิดกระแสไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับ SCR แต่ SCR สามารถควบคุมการปิด-เปิดกระแสไฟฟ้าได้เมื่อขั้วอาโนดมีแรงดันไฟฟ้าบวก ส่วน TRIAC สามารถควบคุมได้ทั้งแรงดันไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบ ดังนั้นขั้วของไตรแอคจึงมีชื่อเรียกเป็น T_2 , T_1 และ G แทนที่จะเป็น อาโนด, คาโธด, และเกท แบบกรณีของ

SCR ในการบอกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่าง ๆ ของไตรแอค เราจะถือเอา ขั้ว T_1 เป็นขั้วอ้างอิงเสมอ เช่น เมื่อบอกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว T_2 เป็นบวก ก็หมายความว่าขั้ว T_2 มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้ว T_1 เป็นต้น

โครงสร้างแบบง่ายๆ ของไตรแอค และสัญลักษณ์แสดงไว้ในรูปที่ 3 ส่วนกราฟลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดันแสดงไว้ในรูปที่ 4

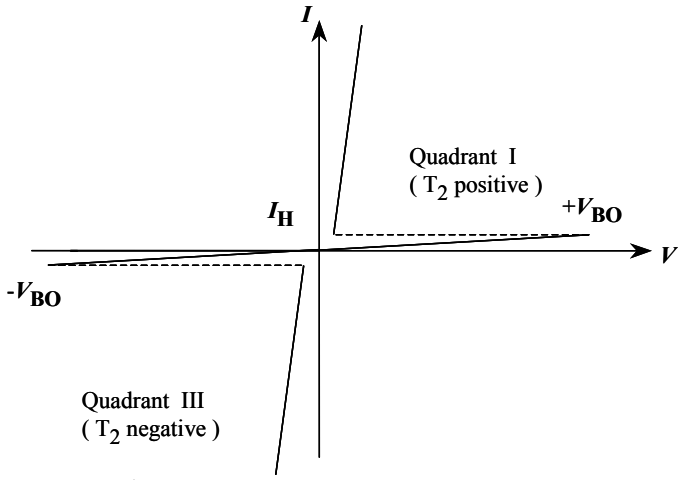
<u>ทฤษฎีการทำงานของไตรแอค</u> ไตรแอคเป็นไธรีสเตอร์ซึ่งสามารถปิดกั้นกระแสได้สองทิศทาง และสามารถถูกสวิตช์ให้นำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยกระแสเกทที่ใช้จุดชนวนจะมีทิศทางเข้าหรือออกจากไตรแอคก็ได้ ดังนั้นการจุดชนวนไตรแอคจึงแบ่งออกได้เป็น 4 แบบคือ

1.) แบบ I^+ แรงดันไฟฟ้าที่ T_2 เป็นบวก และกระแสเกทไหลเข้าไตรแอค
2.) แบบ I^- แรงดันไฟฟ้าที่ T_2 เป็นบวก และกระแสเกทไหลออกจากไตรแอค
3.) แบบ III^+ แรงดันไฟฟ้าที่ T_2 เป็นลบ และกระแสเกทไหลเข้าไตรแอค
4.) แบบ III^- แรงดันไฟฟ้าที่ T_2 เป็นลบ และกระแสเกทไหลผ่านออกจากไตรแอค



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 3 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรแอค



รูปที่ 4 ลักษณะสมบัติกระแส – แรงดันของไตรแอค

การที่ไตรแอคสามารถเข้าสู่สถานะนำกระแสได้โดยการจุดชนวนแบบต่าง ๆ นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

1. <u>การจุดชนวนแบบ I^+</u> V_{T2} เป็นบวกจึงทำให้ หัวต่อ $P_1 N_1$ และ $P_2 N_2$ ถูกไบแอสตาม ส่วนหัวต่อ $N_1 P_2$ ถูกไบแอสย้อน การให้กระแสเกทมีทิศทางเข้าสู่ไตรแอคจะเป็นการเพิ่มโฮลให้แก่ P_2 ซึ่งทำให้หัวต่อ $P_2 N_2$ ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนจาก N_2 จึงถูกฉีดเข้าสู่ P_2 เพิ่มขึ้น ถ้าปริมาณอิเล็กตรอนดังกล่าวมีจำนวนมากพอจะมีอิเล็กตรอนส่วนหนึ่งสามารถแพร่ซึมมาถึงเขตปลอดพาหะที่หัวต่อ $N_1 P_2$ และถูกดึงดูดโดยสนามไฟฟ้าที่หัวต่อนั้นให้ข้ามไปสู่ N_1 ผลก็คือ หัวต่อ $P_1 N_1$ จะถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้น และ P_1 จะฉีดโฮลข้ามหัวต่อ $P_1 N_1$ เข้ามาใน N_1 ได้มากขึ้น ส่วนหนึ่งของโฮลดังกล่าวจะแพร่ซึมมาถึงหัวต่อ $N_1 P_2$ และถูกสนามไฟฟ้าที่หัวต่อนั้นดึงดูดให้เข้ามาสู่ P_2 ทำให้หัวต่อ $P_2 N_2$ ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้นและอิเล็กตรอนจาก N_2 จะถูกฉีดเข้าสู่ P_2 ได้มากขึ้น หมุนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนในที่สุดหัวต่อ $N_1 P_2$ ก็จะกลายเป็นถูกไบแอสตามไปด้วย กระบวนการป้อนกลับเช่นนี้เรียกว่า กระบวนการป้อนกลับหมุนของเวียนของหัวต่อ P-N-P-N การจุดชนวนแบบ I^+ นี้จะมีกลไกของการสวิตซ์เหมือนกับการจุดชนวน SCR

2. <u>การจุดชนวนแบบ I^-</u> เมื่อให้กระแสเกทไหลออกจากไตรแอคบ้าง กรณีนี้หัวต่อ $P_2 N_3$ จะถูกไบแอสตาม และมีอิเล็กตรอนจาก N_3 ถูกฉีดเข้าสู่ P_2 อิเล็กตรอนเหล่านี้บางส่วนจะแพร่ซึมเข้าสู่หัวต่อ $N_1 P_2$ และทำให้เกิดการป้อนกลับหมุนเวียนขึ้นระหว่างหัวต่อ $P_1 N_1$, $N_1 P_2$ และ $P_2 N_3$ ดังนั้นทางด้านซ้ายของไตรแอค (ตามรูปที่ 3) จะเริ่มนำกระแสได้ ด้วยเหตุนี้ P_2 ทางด้านซ้ายของไตรแอคจึงมีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเพราะ หัวต่อ $N_1 P_2$ ทางด้านซ้ายถูกไบแอสย้อนน้อยลง การที่ P_2 บริเวณนี้มีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นจึงทำให้หัวต่อ $P_2 N_2$ ด้านใกล้กับ N_3 ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเป็นการเริ่มการป้อนกลับหมุนเวียนระหว่างหัวต่อ $P_1 N_1$, $N_1 P_2$ และ $P_2 N_2$ จนกระทั่งในที่สุดหัวต่อ $P_2 N_2$ ก็จะถูกไบแอสตามเต็มที่ทั่วทั้งหน้า และไตรแอคก็จะนำไฟฟ้าผ่านขั้ว T_2 และขั้ว T_1 ได้อย่างสมบูรณ์

3. <u>การจุดชนวนแบบ III^+</u> V_{T2} เป็นลบจึงทำให้ หัวต่อ $N_4 P_1$ และ $N_1 P_2$ ถูกไบแอสตาม ส่วนหัวต่อ $P_1 N_1$ ถูกไบแอสย้อน เมื่อให้กระแสเกทไหลเข้าสู่ไตรแอคจะเป็นการไบแอสตามหัวต่อ $P_2 N_2$ อิเล็กตรอนซึ่งถูกฉีดจาก N_2 เข้าสู่ P_2 จะไหลเข้าสู่ N_1 ทำให้หัวต่อ $N_1 P_2$ ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้น โฮลจาก P_2 จึงฉีดเข้าสู่ N_1 ได้เพิ่ม เมื่อโฮลดังกล่าวแพร่ซึมเข้าสู่หัวต่อ $P_1 N_1$ และถูกดึงดูดเข้าไปสู่ P_1 ก็จะทำให้หัวต่อ $N_4 P_1$ ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้น ซึ่งก็จะทำให้เกิดการป้อนกลับหมุนเวียน จนในที่สุดหัวต่อ $N_4 P_1$, $P_1 N_1$ และ $N_1 P_2$ ก็จะถูกไบแอสตามเต็มที่ทั้งหมด และไตรแอคก็เข้าสู่สถานะนำกระแส

4. <u>การจุดชนวนแบบ III^-</u> เมื่อให้กระแสเกทไหลออกจากไตรแอคซึ่งเป็นการไบแอสตามหัวต่อ $P_2 N_3$ อิเล็กตรอนจาก N_3 จะถูกฉีดเข้าสู่ P_2 โดยมีอิเล็กตรอนส่วนหนึ่งสามารถแพร่ซึมผ่านหัวต่อ $N_1 P_2$ เข้าไปใน N_1 ได้ ทำให้หัวต่อ $N_1 P_2$ ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการป้อนกลับหมุนเวียนได้ในที่สุดเช่นเดียวกับการจุดชนวนแบบ III^+

<u>ขีดจำกัดของไตรแอค</u> ปริมาณขีดจำกัดที่สำคัญสำหรับไตรแอค ก็เป็นปริมาณอย่างเดียวกับของ SCR

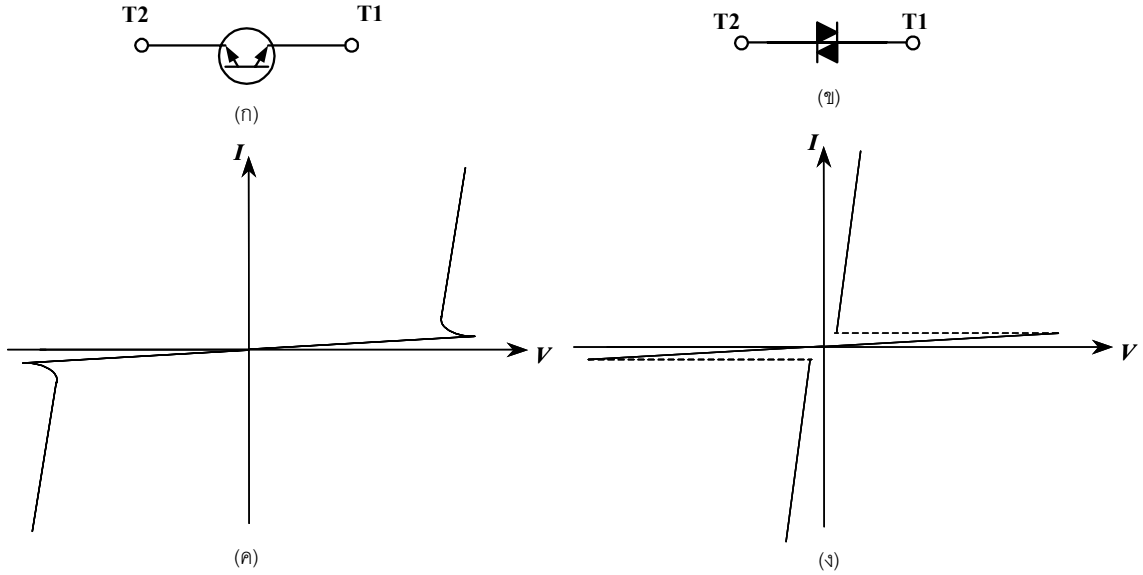
สิ่งประดิษฐ์สำหรับการจุดชนวน คือสิ่งประดิษฐ์ซึ่งเปลี่ยนสถานะจากไม่นำกระแสมาเป็นนำกระแส เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเฉพาะของมันมีค่าถึงค่าที่กำหนด ค่าที่กำหนดดังกล่าวมีชื่อเรียกต่างกันออกไปขึ้นกับชนิดของสิ่งประดิษฐ์ อาทิเช่น trigger voltage, firing voltage หรือ peak-point voltage

ในการใช้งานส่วนใหญ่ สิ่งประดิษฐ์สำหรับการจุดชนวนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ เมื่อแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวมีค่าถึง trigger voltage สิ่งประดิษฐ์สำหรับการจุดชนวนก็จะเข้าสู่สถานะนำกระแสและยอมให้ตัวเก็บประจุคายประจุผ่านตัวมันไปได้

สถานะทางไฟฟ้าของสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวแบ่งออกได้เป็นสถานะซึ่งเสถียร 2 สถานะ ได้แก่ สถานะไม่นำกระแสและสถานะนำกระแส ส่วนสถานะซึ่งอยู่ระหว่าง 2 สถานะดังกล่าวเป็นสถานะซึ่งไม่เสถียรและมีชื่อ เรียกว่าสถานะความต้านทานลบ (Negative-resistance)

Diac

ไดแอคเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำซึ่งมีขั้วไฟฟ้า 2 อัน และมีลักษณะของความต้านทานลบทั้งสองทิศทางของกระแส ไดแอคมีโครงการสร้างทั้งแบบทรานซิสเตอร์ และแบบไธรีสเตอร์ ซึ่งสัญลักษณ์และกราฟลักษณะสมบัติ กระแส - แรงดันถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 สัญลักษณ์ของไดแอคซึ่งมีโครงสร้างเป็น (ก) แบบทรานซิสเตอร์ (ข) แบบไธรีสเตอร์ ;
ลักษณะสมบัติ กระแส — แรงดัน ของไดแอคซึ่งมีโครงสร้างเป็น (ค) แบบทรานซิสเตอร์ (ง) แบบไธรีสเตอร์

<u>ทฤษฎีการทำงานของไดแอค</u> สำหรับไดแอคซึ่งมีโครงสร้างแบบทรานซิสเตอร์ (มีสารกึ่งตัวนำแบบ N และ P เรียงสลับกันอยู่ 3 ชั้น โดยที่ชั้นกลางไม่มีขั้วไฟฟ้าต่อ และชั้นบนกับชั้นล่างมีความเข้มข้นสารเจือปนอยู่เท่ากัน) มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าคร่อมไดแอคไม่ว่าจะเป็นทิศทางใดก็ตาม จะมีหัวต่อ P-N อันหนึ่งถูกไบแอสตามและอีก

อันหนึ่งถูกไบแอสย้อน กระแสที่ไหลผ่านไดแอคจะมีค่าต่ำเพราะถูกจำกัดด้วยกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของหัวต่อที่ถูกไบแอสย้อน

เมื่อแรงดันไฟฟ้าคร่อมไดแอคมีค่ามากถึงค่า ๆ หนึ่ง การคูณพาหะแบบ avalanche จะมีผลทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลซึ่งออกจากย่านปลอดพาหะมีค่ามากกว่าปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลซึ่งเข้าไปในย่านปลอดพาหะมาก สมมุติว่าไดแอคมีโครงสร้างเป็นแบบ PNP ปริมาณอิเล็กตรอนที่เพิ่มจำนวนโดยสนามไฟฟ้าที่หัวต่อซึ่งถูกไบแอสย้อนนี้จะทำให้ปริมาณประจุลบในย่าน N เพิ่มขึ้นและทำให้หัวต่อ P-N อีกอันหนึ่งถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้น ดังนั้นหัวต่อ P-N ซึ่งถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้นจึงฉีดโฮลเข้าไปในสารเอ็นได้เพิ่มขึ้น โฮลดังกล่าวจะแพร่ซึมเข้าไปถึงหัวต่อ P-N ที่ถูกไบแอสย้อนและถูกดึงดูดเข้าไปในสนามไฟฟ้าของย่านปลอดพาหะซึ่งทำให้จำนวนพาหะเริ่มแรกที่จะถูกเพิ่มจำนวนโดยการคูณแบบ avalanche มีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่มีการป้อนกลับจากหัวต่อที่ถูกไบแอสตามมาก ดังนั้นจึงทำให้หัวต่อที่ถูกไบแอสย้อนเกิด breakdown ที่แรงดันต่ำลง และปรากฏเป็นลักษณะความต้านทานลบขึ้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 5(ค) เนื่องจากลักษณะความต้านทานลบของไดแอคชนิดนี้เกิดจากการเพิ่มจำนวนพาหะที่จะถูกขยายจำนวนโดยการคูณพา)หะแบบ avalanche ดังนั้นแรงดันคร่อมไดแอคจึงไม่ลดลงมากนักหลังจากการเกิด breakover แล้ว ส่วนขั้วไฟฟ้าของไดแอคจะเรียกว่าขั้ว 1 และขั้ว 2 เพราะไดแอคทำงานเหมือนกันทั้งสองทิศทาง

สำหรับไดแอคซึ่งมีโครงสร้างแบบไธรีสเตอร์ เมื่อเกิด breakover แล้วหัวต่อ พีเอ็น ทั้งหมดจะถูกไบแอสตาม ดังนั้นแรงดันคร่อมไดแอคชนิดนี้จึงมีค่าต่ำมาก การทำงานของไดแอคชนิดนี้คล้ายกับไตรแอคซึ่งมี $I_G = 0$

<u>ขีดจำกัดของไดแอค</u> กำลังงานสูญเสียในตัวไดแอคขณะใช้งานซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไดแอค เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในตัวไดแอค ดังนั้นจึงเป็นขีดจำกัดที่สำคัญและจะใช้งานเกินค่าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตไดแอคกำหนดมาไม่ได้

UJT

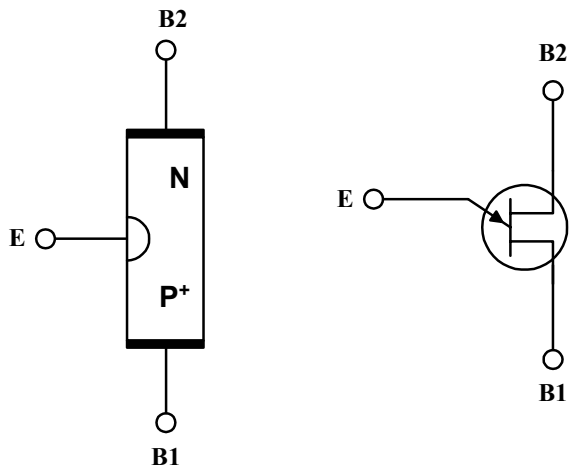
UJT เป็นชื่อซึ่งย่อมาจากคำว่า Unijunction Transistor ประกอบด้วยชิ้นสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่มีความต้านทานสูงตรงปลายชิ้นสารกึ่งตัวนำนี้ติดขั้วแบบ ohmic contact สำหรับต่อวงจรภายนอกเรียกว่า ขั้วเบส 1 (B1) และเบส 2 (B2) ดังแสดงในรูปที่ 6(ก) ตอนกลางของชิ้นสารกึ่งตัวนำมีสารชนิด P ติดอยู่ และมีขั้วต่อไว้ เรียกว่าขั้วอิมิตเตอร์ (E) รูปที่ 6(ข) แสดงสัญลักษณ์ของ UJT

<u>ทฤษฎีการทำงานของ UJT</u> สมมุติให้ชิ้นสารกึ่งตัวนำในรูปที่ 6(ก) มีความต้านทานระหว่างขั้ว B_2 และ B_1 เป็น R_{BB} ซึ่งเรียกว่า interbase resistance วงจรสมมูลของ UJT อาจเขียนได้ดังรูปที่ 7(ข) นั่นคือ $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้า V_{BB} ต่อคร่อมขั้ว B_1 และ B_2 จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมชิ้นสารกึ่งตัวนำในช่วงระหว่างขั้ว E และ B_1 เท่ากับ ηV_{BB} ในที่นี้ η คืออัตราส่วนของค่าความต้านทานของชิ้นสารกึ่งตัวนำในช่วงระหว่างขั้ว E และ B_1 ต่อ ค่าความต้านทานระหว่างเบส ($\eta = R_{B1} / R_{BB}$) η นี้เรียกว่า intrinsic standoff ratio ของ UJT

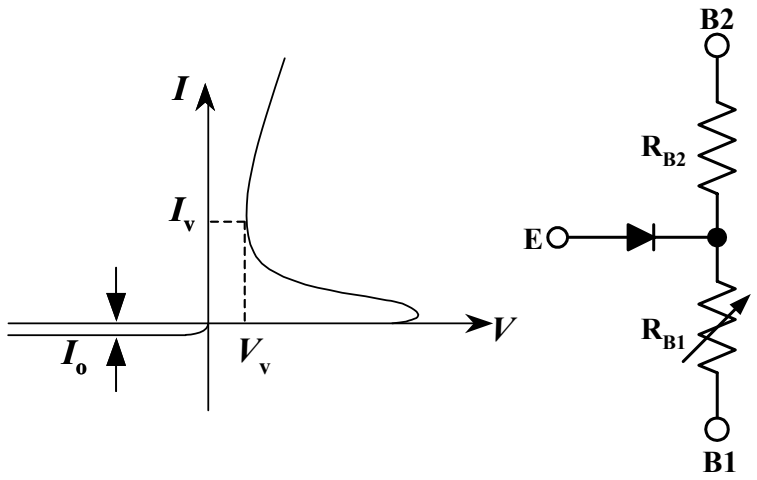
ถ้า V_E มีค่าต่ำกว่า ηV_{BB} หัวต่อ พีเอ็น ที่ขั้วอิมิตเตอร์จะถูกไบแอสย้อน กระแส I_E จึงมีค่าเป็นลบ และมีค่าเท่ากับกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของหัวต่อนั้น (I_O ในรูปที่ 7(ก) มีค่ามากเกินจริง ทั้งนี้เพราะต้องการให้เห็นได้ชัดเจน) เมื่อ V_E มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเท่ากับ ηV_{BB} แรงดันคร่อมหัวต่อพีเอ็นจะมีค่าเป็นศูนย์ และกระแส I_E ก็จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย หลังจากนั้นเมื่อ V_E มีค่าเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย หัวต่อพีเอ็นก็จะถูกไบแอสตามและ I_E จะมีค่าเพิ่มขึ้นและเป็นบวก โฮลที่ถูกฉีดข้ามหัวต่ออิมิตเตอร์เข้ามาในเบสนี้จะทำให้ปริมาณพาหะนำไฟฟ้าในย่านดังกล่าวมีจำนวนมากขึ้นและทำให้ R_{B1}

มีค่าลดลง ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าในสารเอ็นตรงบริเวณหัวต่ออิมิตเตอร์จึงมีค่าลดลง เป็นเหตุให้หัวต่ออิมิตเตอร์ถูกไบแอสตามเพิ่มขึ้นและกระแส I_E มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 6 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ UJT



(ก) (ข)

รูปที่ 7 (ก) ลักษณะสมบัติ $I_E - V_E$ ของ UJT (ข) วงจรสมมูลของ UJT

เนื่องจาก V_E มีค่าเท่ากับแรงดันไบแอสหัวต่ออิมิตเตอร์บวกกับแรงดันคร่อม R_{B1} เมื่อ R_{B1} ลดค่าลงเร็วมากโดยกระบวนการป้อนกลับที่ได้กล่าวแล้วนั้น จึงทำให้ V_E ลดค่าลงขณะที่ I_E เพิ่มขึ้น ดังปรากฏในกราฟลักษณะสมบัติ I_E - V_E (รูปที่ 7 (ก)) เมื่อ R_{B1} ลดค่าลงจนถึงค่าอิ่มตัว ลักษณะสมบัติ I_E- V_E ก็คล้ายกับลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของไดโอดซึ่งมีค่าความต้านทานต่ออนุกรมอยู่ นั่นคือ V_E จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ I_E มีค่าเพิ่มขึ้น จุดที่ V_E มีค่าลดลงต่ำสุดนี้เรียกว่า

Valley point ส่วนกระแสและแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า I_V และ V_V ตามลำดับ ปรกติผู้ผลิตจะบอกค่า Valley current I_V มาให้ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 1 - 10 mA ขึ้นกับ UJT แต่ V_V นั้นจะมีค่าขึ้นกับวงจรที่ใช้ซึ่งปรกติมักมีค่าอยู่ในช่วง 1 - 3 V

แรงดัน V_E สูงสุดก่อนที่ UJT จะมีลักษณะความต้านทานลบเรียกว่า peak-point voltage V_P ซึ่งมีค่าเท่ากับ $V_p = V_D + \eta V_{BB}$ โดยที่ V_D มีค่าประมาณ 0.5 V สำหรับซิลิกอน

<u>ขีดจำกัดของ UJT</u> ขีดจำกัดที่สำคัญของ UJT คือ

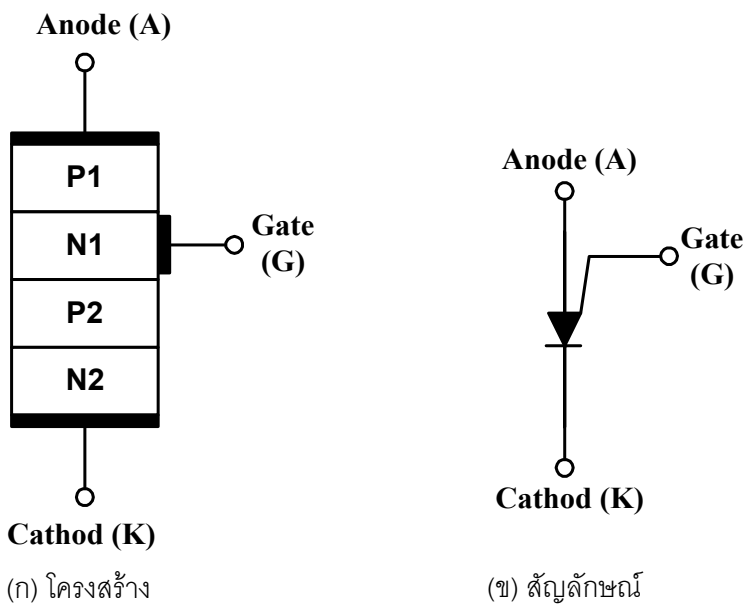
1.) ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า V_{BB}

2.) ค่าสูงสุดของกระแสอิมิตเตอร์

3.) ค่าสูงสุดของกำลังงานสูญเสียที่ UJT จะทนได้

PUT

PUT ย่อมาจากคำว่า Programmable Unijunction Transistor แต่โครงสร้างของมันเป็นแบบไธรีสเตอร์แทนที่จะเป็นโครงสร้างแบบหัวต่อพีเอ็นอันเดียวเหมือนกันของ UJT โครงสร้างแบบง่าย ๆ และสัญลักษณ์ของ PUT แสดงไว้ในรูปที่ 8 อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะสมบัติ I_A - V_{AK} ของ PUT คล้ายกับลักษณะสมบัติ I_E - V_E ของ UJT มันจึงถูกเรียกเป็น Programmable unijunction transistor



(ก) โครงสร้าง (ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 8 โครงสร้างแบบง่ายๆ และสัญลักษณ์ของ PUT

PUT เป็นไธรีสเตอร์ ซึ่งมี อาโนดเกท ถ้าเราให้ศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งแก่ อาโนดเกท PUT จะอยู่ในสถานะไม่นำกระแส (I_A = O) จนกระทั่งเมื่อแรงดันไฟฟ้าอาโนดมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าของ อาโนดเกท ประมาณ 0.7 V ส่วนแรงดันไฟฟ้า V_{GK} จะลดลงเหลือประมาณ 0.2 V

<u>ขีดจำกัดของ PUT</u> ขีดจำกัดที่สำคัญของ PUT คือ

1) ค่าสูงสุดของแรงดันไบแอสย้อนระหว่างเกทกับอาโนด

2) ค่าเฉลี่ยสูงสุดของกระแสอาโนด

2102384

ELECTRONICS LABORATORY

ชื่อ-สกุล.....เลขประจำตัว.....

ชื่อ-สกุล.....เลขประจำตัว.....

ชื่อ-สกุล.....เลขประจำตัว.....

วันที่ทำการทดลอง.....อาจารย์ผู้ควบคุม.....

ไธรีสเตอร์และสิ่งประดิษฐ์สำหรับการจุดชนวน (TTD)

การทดลอง

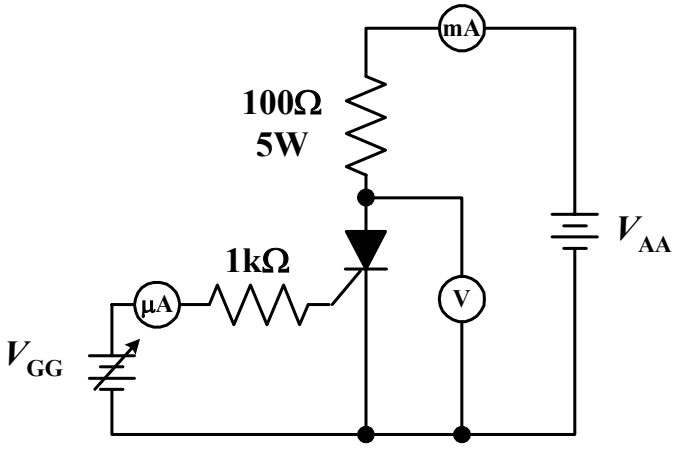
การทดลองที่ 1 SCR

1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 9 หาค่ากระแสเกทต่ำสุด (โดยการปรับค่า V_{GG})ที่ทำให้ SCR เปลี่ยนสู่สถานะจากไม่นำกระแส เป็นนำกระแสที่แรงดันไฟฟ้าอาโนดค่าต่าง ๆ

<u>หมายเหตุ</u>

1. การตั้งค่าพิสัย (range) ของมิลลิแอมป์มิเตอร์ให้เหมาะสมสำหรับค่า V_{AA} แต่ละค่าในตาราง ให้ใช้การคำนวณดังต่อไปนี้ สมมุติให้ SCR นำกระแสมีแรงดันตกคร่อม SCR ประมาณ 1 V ที่ V_{AA} = 5 V เมื่อ SCR นำกระแสจะมีกระแสอาโนดเท่ากับ $\frac{5-1}{100} = 40$ mA ดังนั้นควรตั้งค่าพิสัยของแอมป์ให้มากกว่า 40 mA ถ้าตั้งค่าต่ำกว่านี้จะทำให้เข็มตีเกินสเกลเมื่อ SCR นำกระแส ซึ่งอาจทำให้มิลลิแอมป์มิเตอร์เสียหายได้

2. ถ้าต้องการให้ SCR เปลี่ยนสถานะจากนำกระแส เป็นไม่นำกระแส ให้เปิดวงจรด้านอาโนดเพื่อให้ I_A= 0 (ต่ำกว่าค่ากระแสโฮลดิง)



รูปที่ 9 วงจรสำหรับการทดลอง SCR

V_{AA}(V)	5	15	25
I_G (μA)			

1.2 ขณะที่ SCR ยังอยู่ในสถานะนำกระแส ให้ I_G = O (ถอดสายเกทออก) เปลี่ยนค่ากระแสอาโนดไป 4 ค่า โดยการเปลี่ยนค่า V_{AA}บันทึกค่ากระแสอาโนด และแรงดันไฟฟ้าอาโนด

V_{AA}(V)	10	15	20	25
I_A (mA)				
V_{AK}(V)				

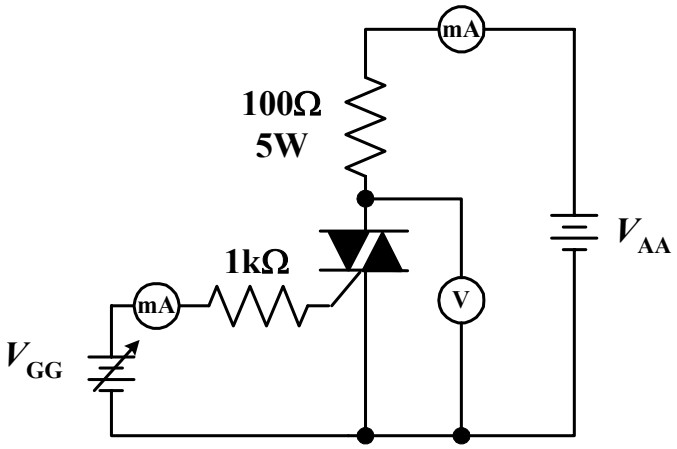
1.3 หาค่ากระแสอาโนดต่ำสุดที่ทำให้ SCR ยังคงอยู่ในสภาพนำกระแสได้ (holding current) โดยการค่อย ๆ ลดกระแสอาโนด (ลด V_{AA}) และให้ I_G = O จะเห็นได้ว่าเมื่อกระแสอาโนดมีค่าต่ำกว่า holding current แล้ว แม้เราจะเพิ่ม V_{AA} ขึ้นไปภายหลัง SCR ก็ยังคงอยู่ในสถานะปิดกั้นกระแส

holding current ของ SCR =_____

การทดลองที่ 2 TRIAC

2.1) ต่อวงจรตามรูปที่ 11 ให้ V_{AA} = 20 V สำหรับการจุดชนวนแบบ I^+ และ I^- และ V_{AA} = - 20 V สำหรับการจุดชนวนแบบ III^+ และ III^- หาค่ากระแสเกทต่ำสุดที่ทำให้ไตรแอคเข้าสู่สถานะนำกระแส โดยการจุดชนวนแบบ I^+ , I^-, III^+ และ III^- เมื่อไตรแอคนำกระแสแล้ววัดค่า V_{T2} ด้วย

การจุดชนวน	I^+	I^-	III^+	III^-
I_G (mA)				
V_{T2} (V)				



รูปที่ 10 วงจรสำหรับการทดลอง ไตรแอค

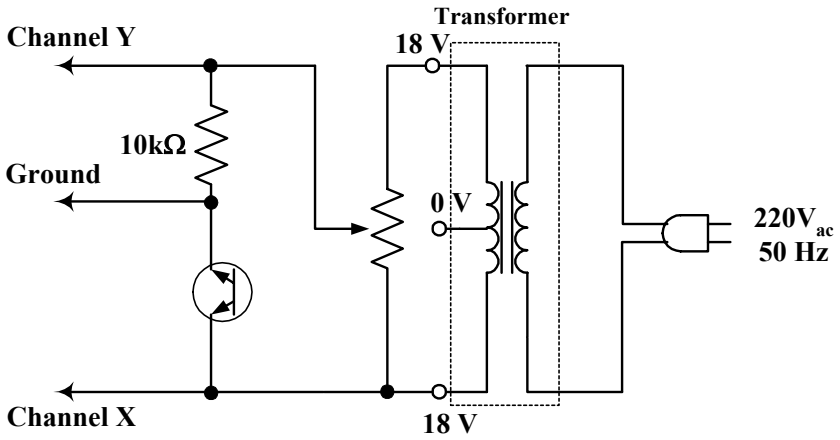
2.2) จงหาค่า holding current ของไตรแอค เมื่อ V_{T2} เป็นบวกและเป็นลบ (ให้ I_G = O ทั้งสองกรณี)

holding current เมื่อ V_{T2} เป็นบวก_____

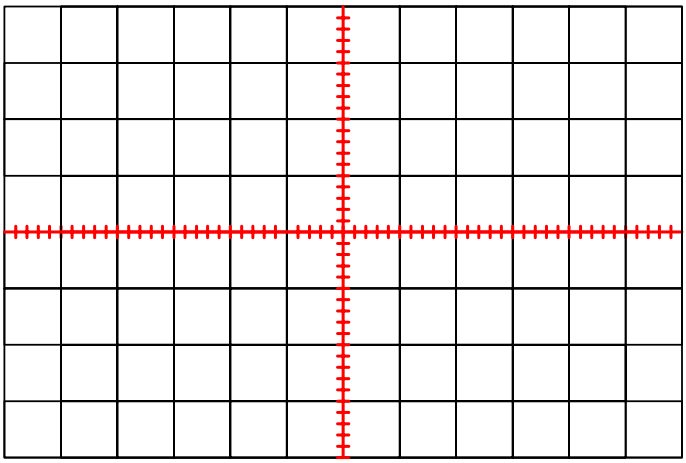
holding current เมื่อ V_{T2} เป็นลบ_____

การทดลองที่ 3 DIAC

3.1) ต่อวงจรตามรูปที่ 12 ก่อนป้อนไฟให้กับวงจร ตั้งตัวต้านทานปรับค่าเพื่อให้แรงดันที่ป้อนให้กับไดแอคมีค่าน้อยที่สุด (มิฉะนั้นไดแอค อาจเสียหายได้ทันทีที่จ่ายไฟให้กับวงจร) ค่อยๆ ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่งเห็นช่วงที่ไดแอคนำกระแส บันทึกรูปลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันที่เห็น ก่อนหยุดทำการทดลองให้ปรับค่าของตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด



รูปที่ 11 วงจรสำหรับวัดลักษณะสมบัติกระแส – แรงดันของไดแอค



CH1 = V/DIV
CH2 = V/DIV

มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร Rev. 2528, 2542

อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี Rev. 2545, 2548, 2551