

SILICON CONTROLLED RECTIFIER (SCR)

SOMPOT TAMSAILOM

Electrical Department

Nakhonnayok Technical College

เอสซีอาร์ (SCR)

- มีชื่อเต็มว่า ซิลิกอน คอนโทรล เร็คตีไฟเออร์ (Silicon Controlled Rectifier)
- เป็นอุปกรณ์จำพวกไทรสเตอร์ (Thyristor) คือ อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำต่อชนกัน 4 ตอน
- มีขาต่อใช้งาน 3 ขั้ว คือ แอโนด (Anode : A) แคโทด (Cathode : K) และเกท (Gate : G)

เอสซีอาร์ (SCR)

- ให้กระแสไหลได้ทิศทางเดียว เมื่อมีการจุดชนวนด้วยกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดที่เหมาะสมที่ขาเกต (Gate : G)
- เมื่อได้รับการจุดชนวนที่ขาเกตแล้ว SCR จะค้างสถานะการทำงาน (Latching)

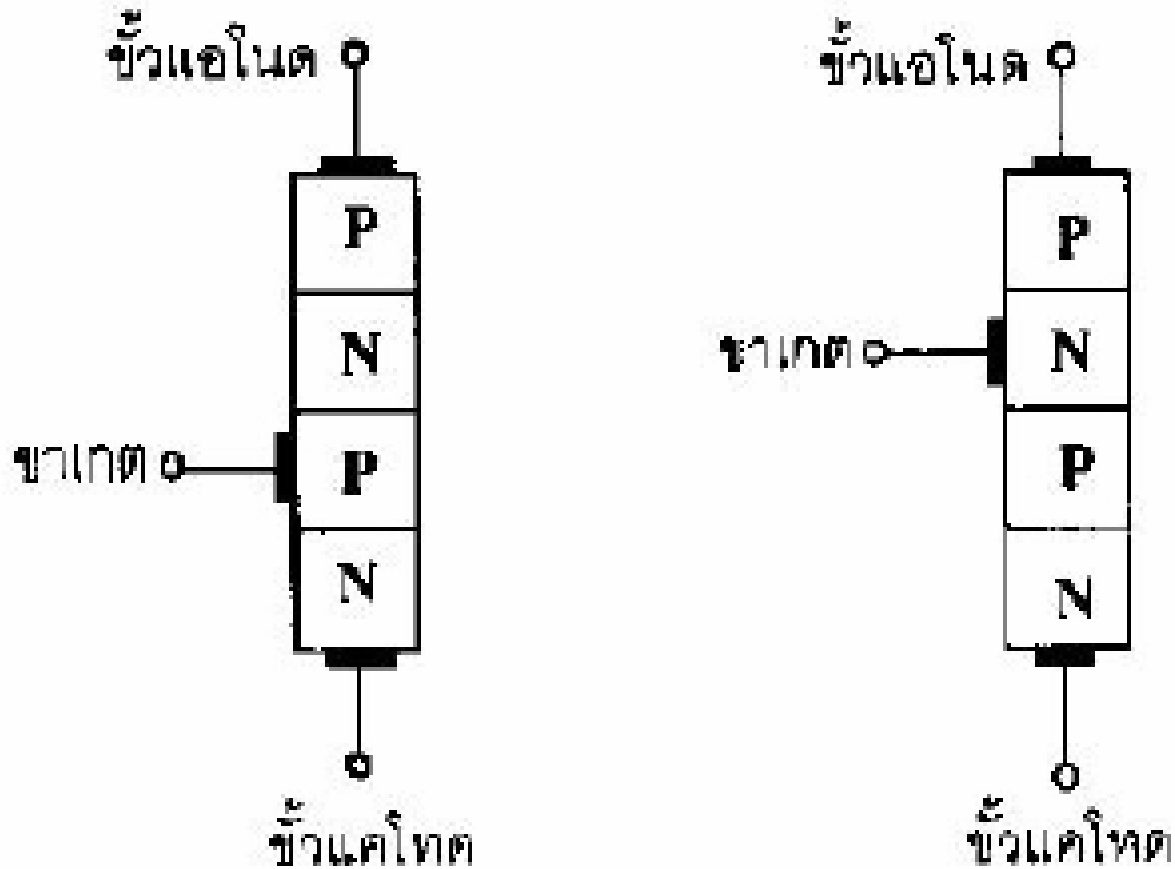
เอสซีอาร์ (SCR)

- ปัจจุบันอัตราทนกระแสมากกว่า 3000 A 4000 V หรือ 400 A 10000 V และยังสามารถพัฒนาให้ทนกระแสได้มากขึ้น
- ใช้ในงานส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (HVDC : High-voltage DC) และระบบกำลังในอุตสาหกรรม

โครงสร้างและสัญลักษณ์

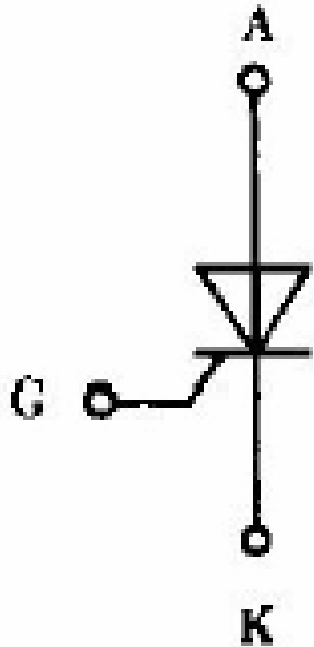
- ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอน 4 ชั้น
P-N-P-N มี 3 รอยต่อ
- SCR มีทั้งชนิดที่ขาเกตอยู่ที่สาร P และขาเกตอยู่ที่สาร N แต่โดยทั่วไปจะเป็นเกตชนิด P

โครงสร้างและสัญลักษณ์

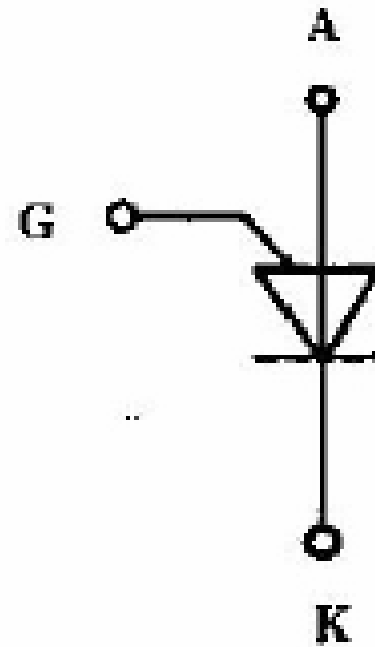


โครงสร้าง

โครงสร้างและสัญลักษณ์



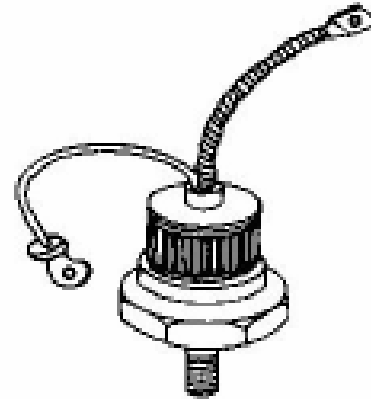
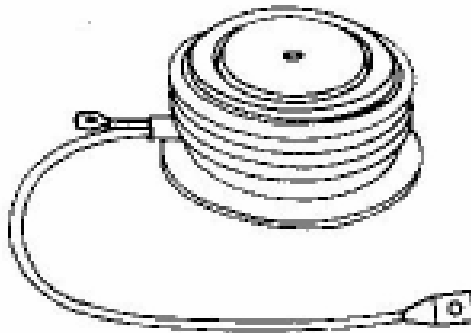
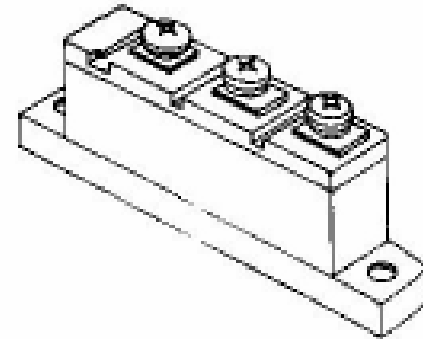
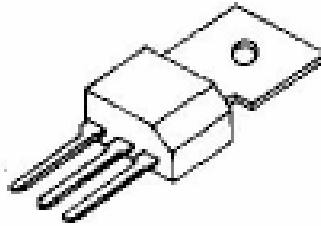
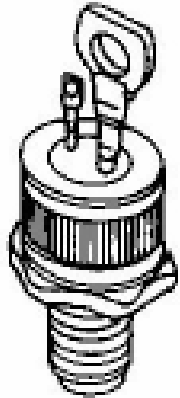
เกตชนิดพี



เกตชนิดเอ็น

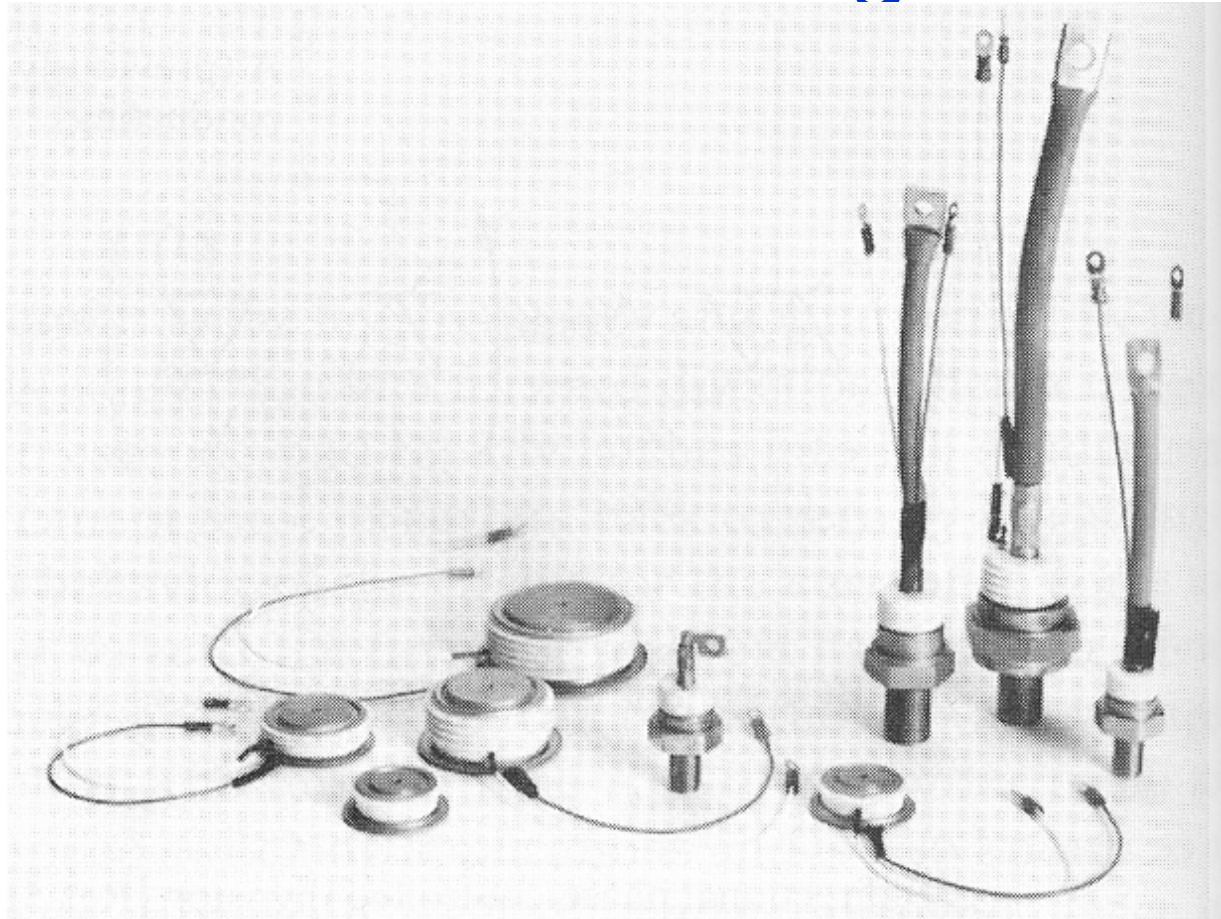
สัญลักษณ์

โครงสร้างและสัญลักษณ์



ลักษณะภายนอก

โครงสร้างและสัญลักษณ์

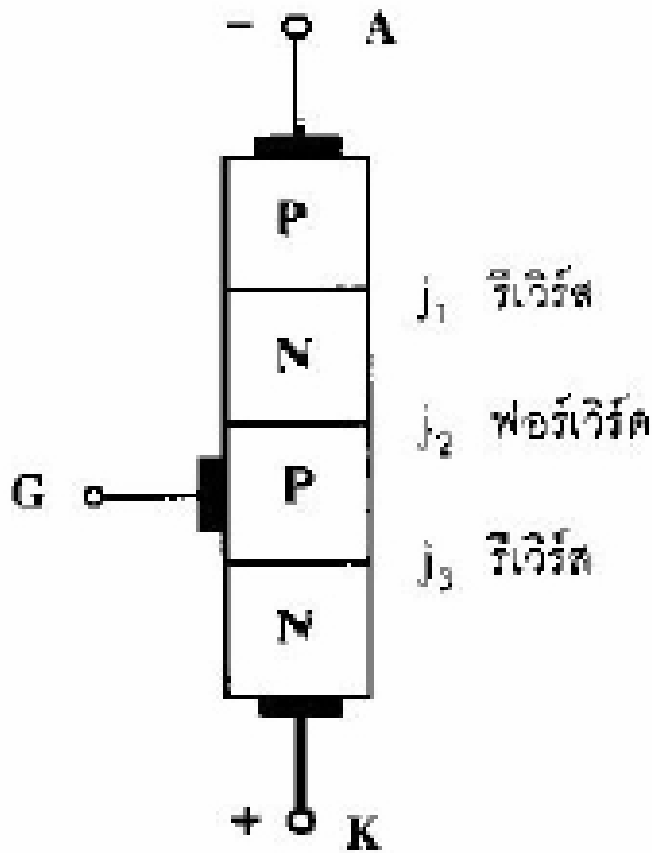


ลักษณะภายนอก

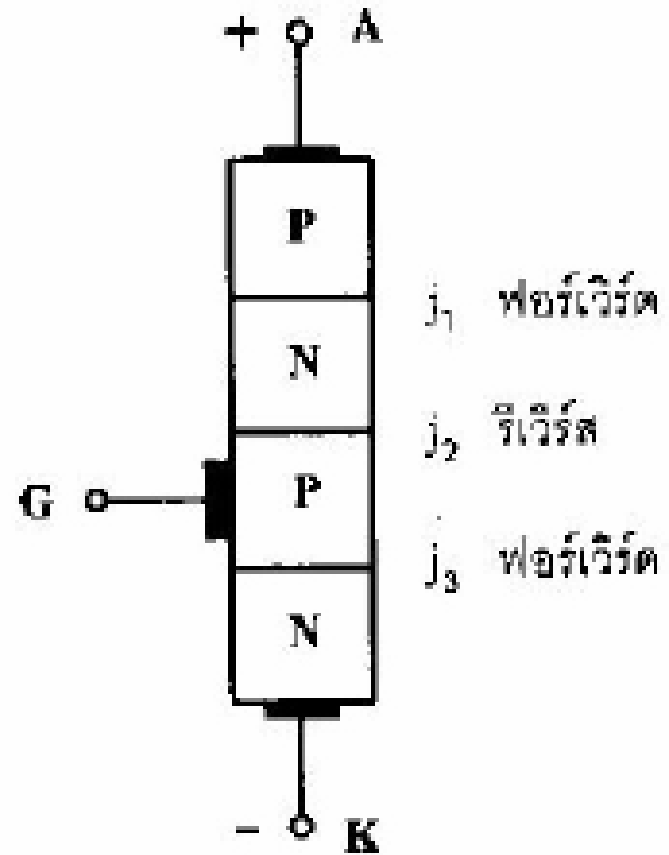
หลักการทำงาน : การไบอัส

- **Forward bias** คือ การป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้กับแอโนด ป้อนศักย์ไฟฟ้าลบให้กับแคโทด แต่ SCR จะนำกระแสได้จะต้องป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้ขาเกต เมื่อเทียบกับแคโทด หลักจากนั้น SCR ก็จะนำกระแสค้าง
- **Reverse bias** คือ การป้อนศักย์ไฟฟ้าลบให้กับแอโนด ป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้กับแคโทด SCR จะไม่นำกระแส แม้จะป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้ขาเกตก็ตาม

หลักการทำงาน : การไบอัส

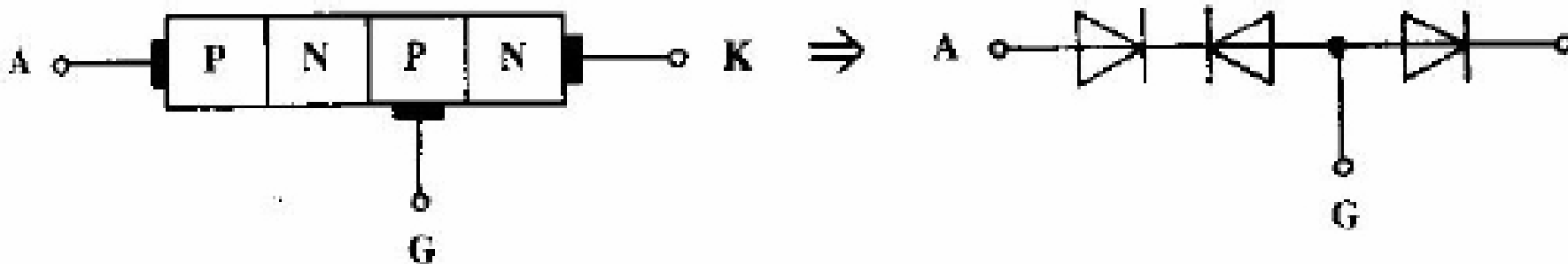


Reverse bias



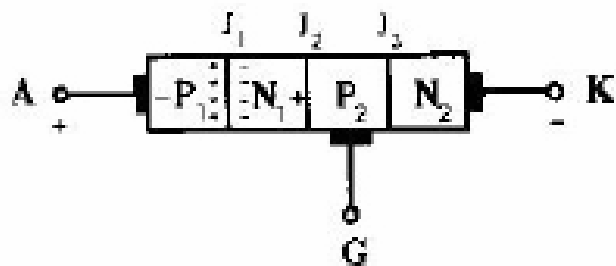
Forward bias

หลักการทํางาน : Model

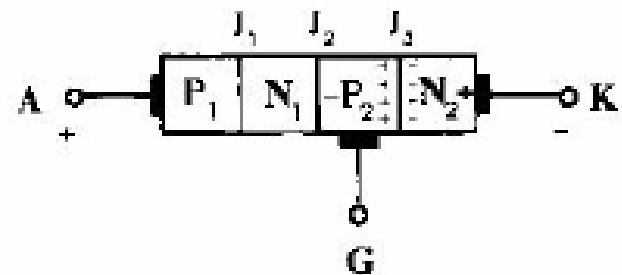


แบบจำลอง SCR ด้วยไดโอด

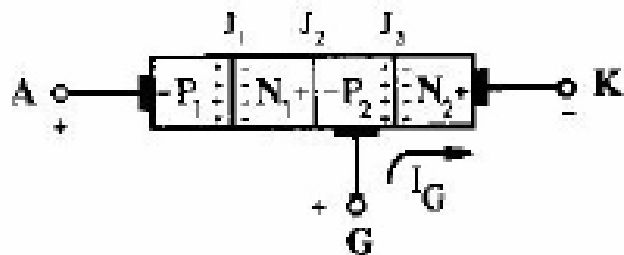
หลักการทำงาน : Model



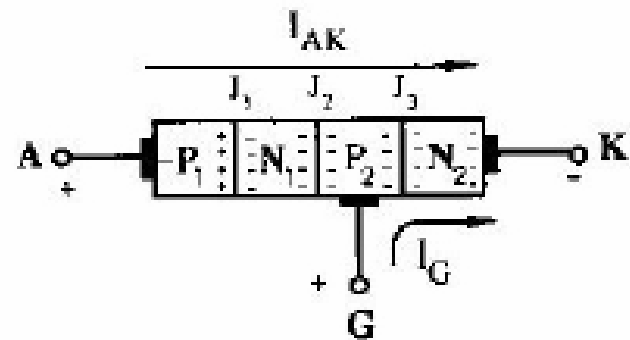
ก. รอยต่อ J_1 ได้รับไบแอสแบบฟอร์เวิร์ด



ข. รอยต่อ J_3 ได้รับไบแอสแบบฟอร์เวิร์ด

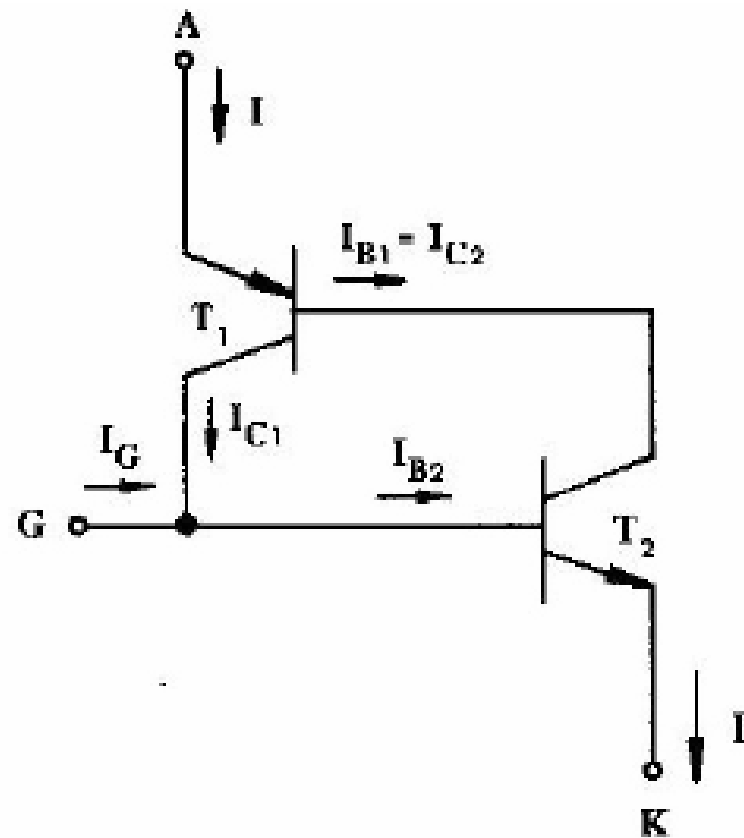
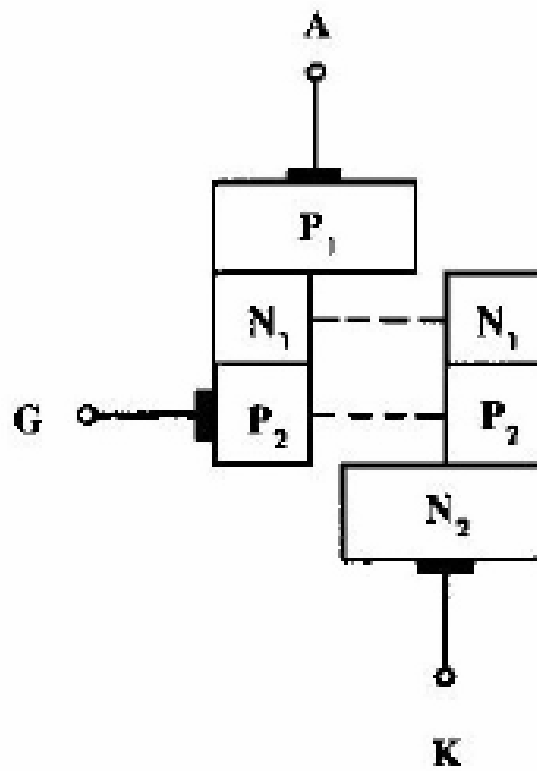
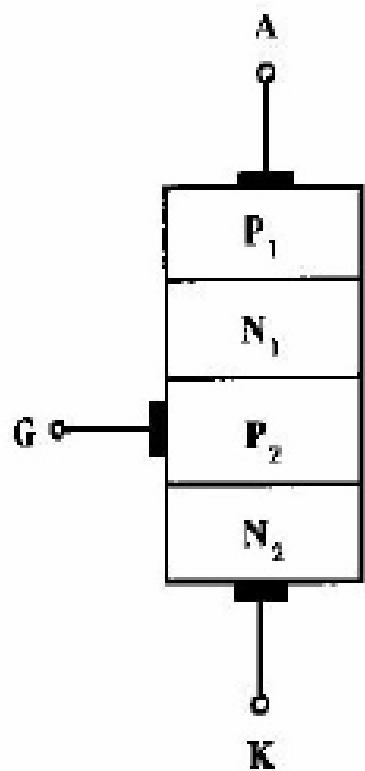


ค. รอยต่อ J_2 ได้รับไบแอสแบบรีเวิร์ส



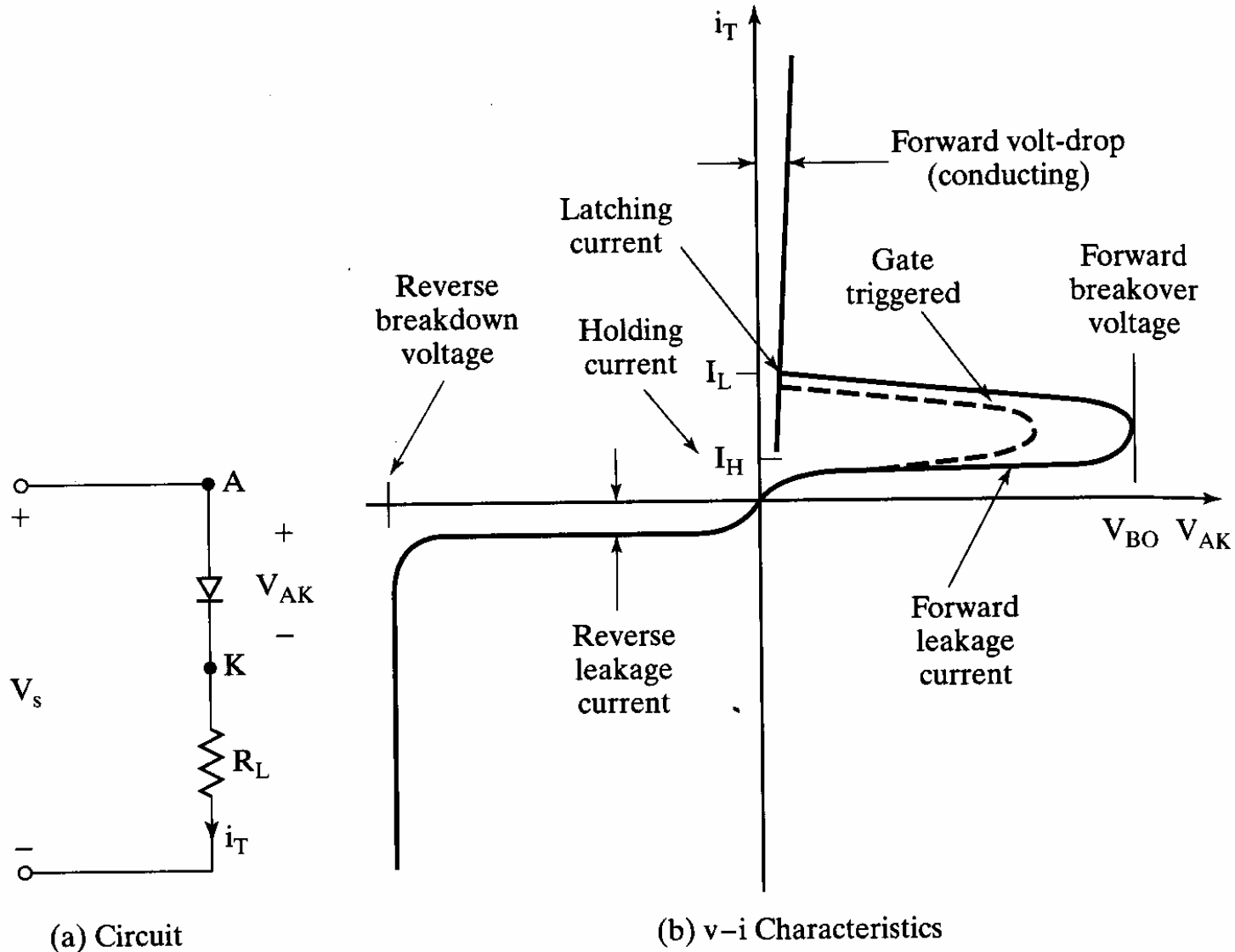
การเกิดประจุตามรอยต่อต่าง ๆ ของ SCR

หลักการทํางาน : Model

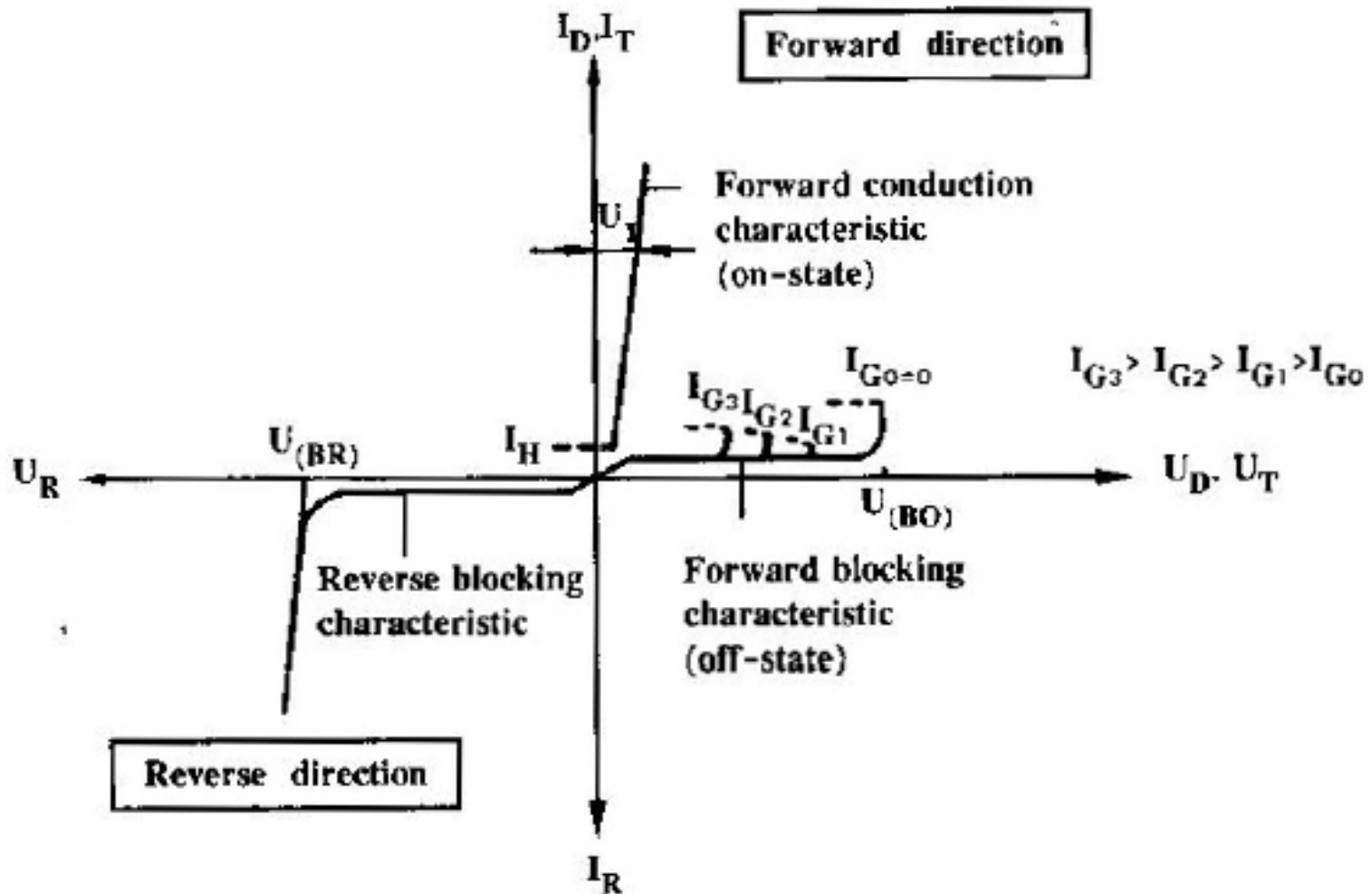
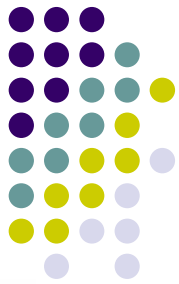


แบบจำลอง SCR ด้วยทรานซิสเตอร์

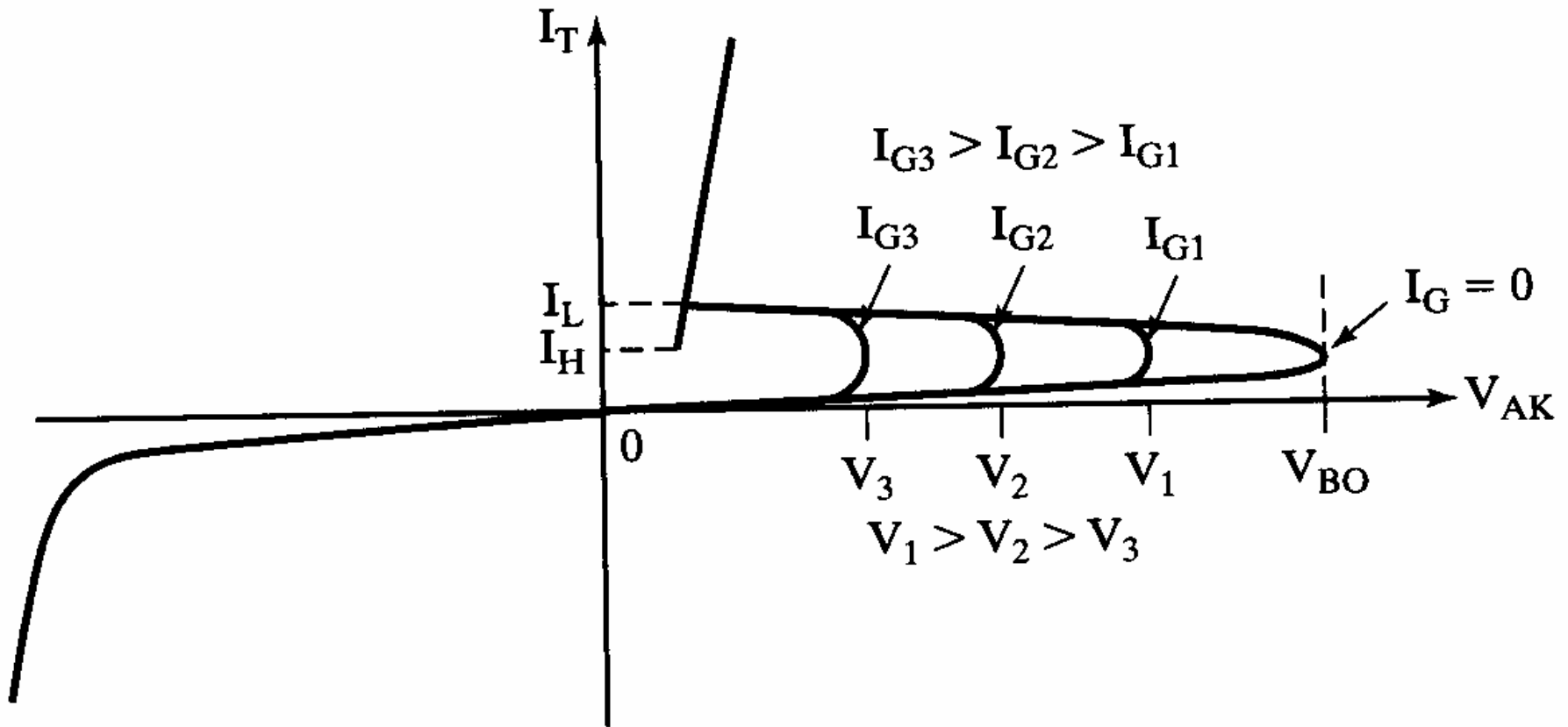
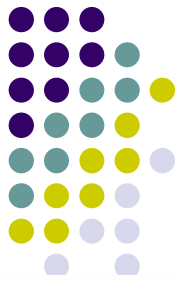
กราฟลักษณะสมบัติ



กราฟลักษณะสมบัติ



กราฟลักษณะสมบัติ

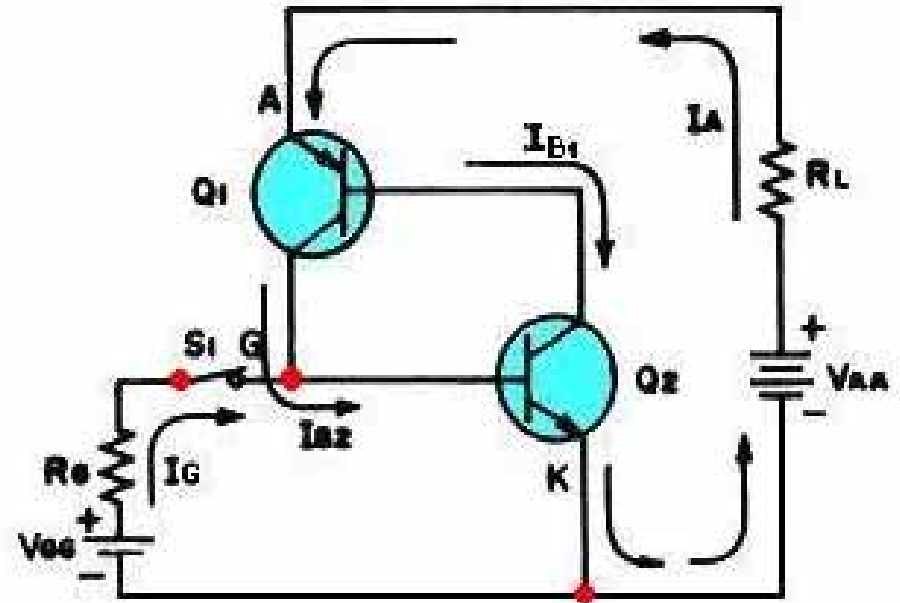
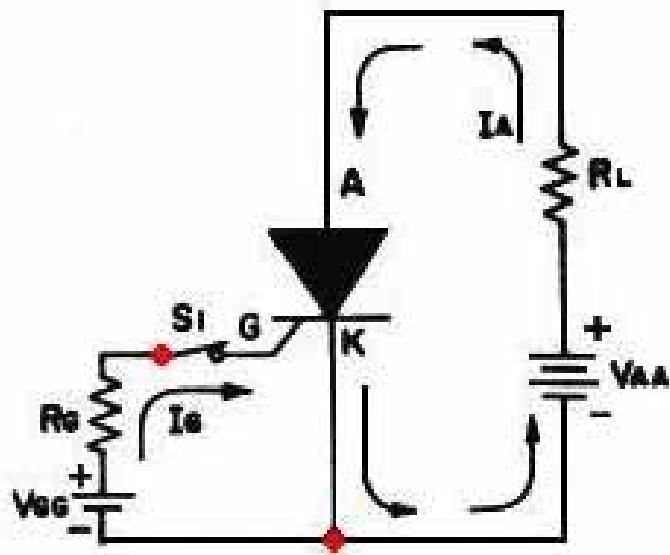


วิธีการนำกระแสของ SCR

- การป้อนกระแสเกต เป็นวิธีที่นิยมที่สุด
- การใช้แสง โดย SCR ต้องเป็น LASCR
- การใช้แรงดันไฟฟ้าสูง โดยเพิ่มแรงดันระหว่างขา A และ K จนถึงแรงดัน Break over voltage
- เมื่อ dv/dt ระหว่างขา A และ K เพิ่มขึ้น
- การใช้ความร้อน

วิธีการนำกระแสของ SCR :

การป้อนกระแสเกต



วิธีการหยุดนำกระแส

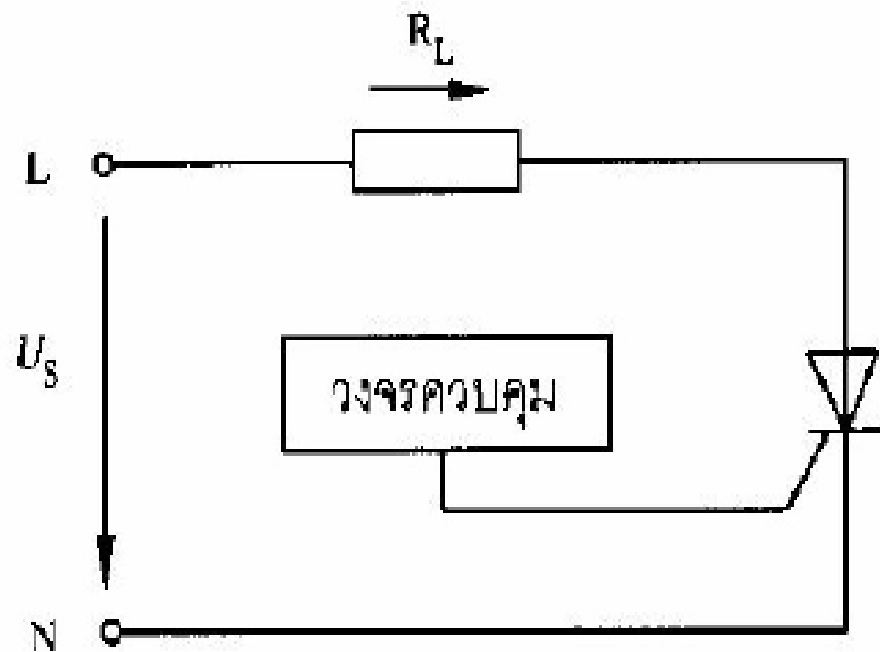
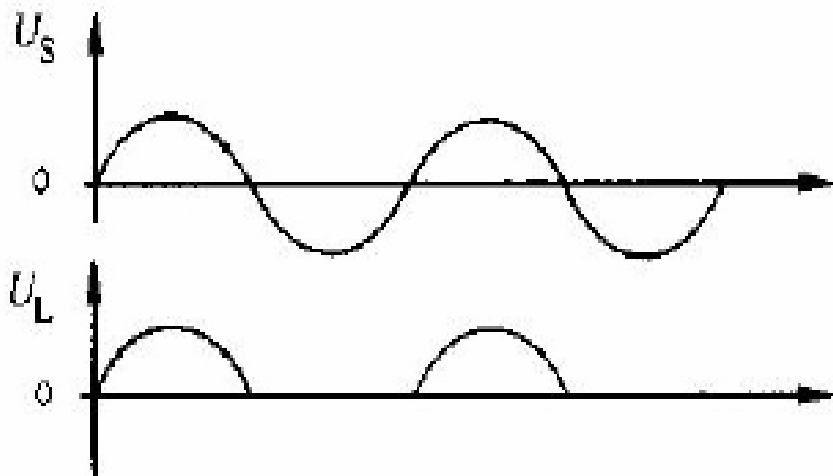
เมื่อ SCR นำกระแสแล้ว จะนำกระแสค้าง การทำให้ SCR หยุดนำกระแส สามารถทำได้โดยการลดกระแสแอโนด (I_A) ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดี้ง (I_H) เป็นเวลานานเพียงพอ (นานกว่า t_{rr}) ซึ่งเรียกวิธีการข้างต้นว่า กรรมวิธีการหยุดนำกระแส หรือเทคนิคคอมมิวเตชัน (Commutation techniques)

วิธีการหยุดนำกระแส

เทคนิคคอมมิวเตชัน แบ่งได้ 2 วิธี คือ

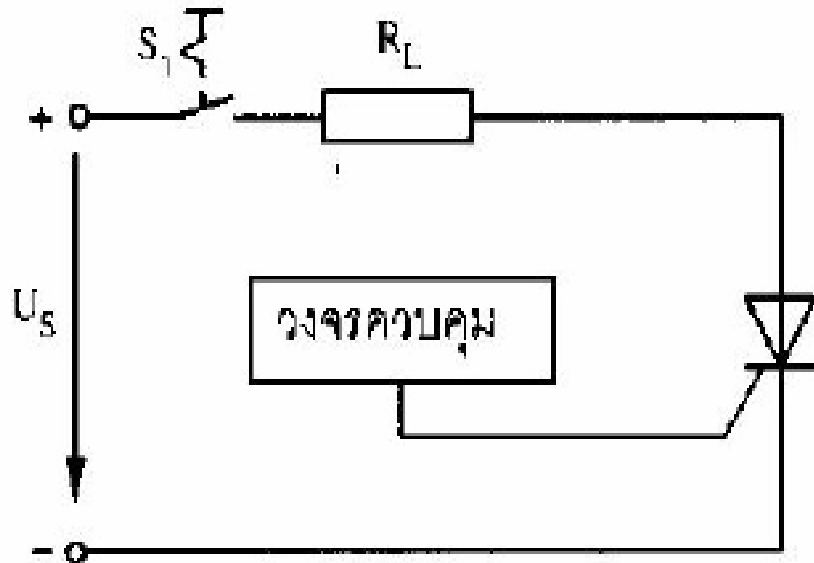
- Natural commutation หรือ Line commutation**
- Forced commutation**
 - **Class A commutation (Resonant load)**
 - **Class B commutation (LC Series // SCR)**
 - **Class C commutation**
 - **External pulse**

วิธีการหยุดนำกระแส : Natural commutation

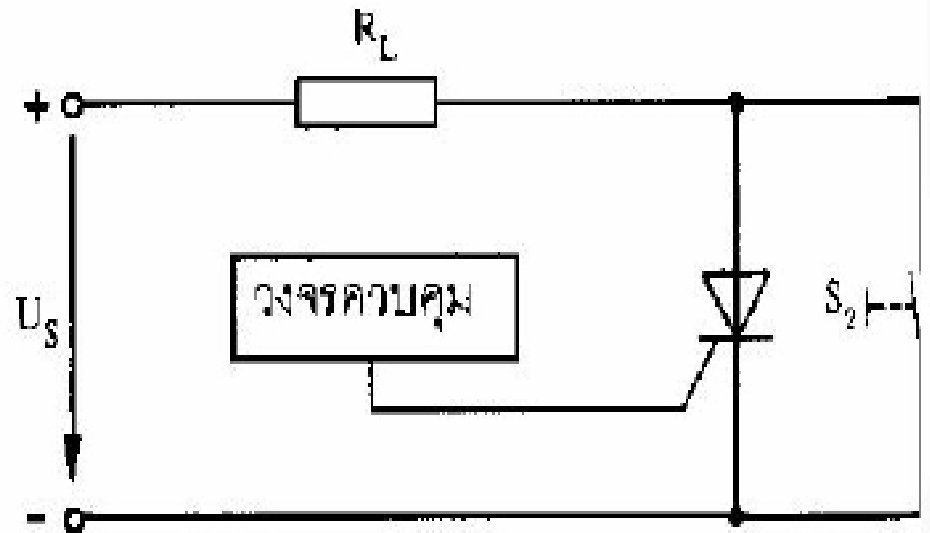


ลักษณะรูปคลื่น Input และรูปคลื่นตกคร่อม Load

วิธีการหยุดนำกระแส : Natural commutation



ก.



ข.

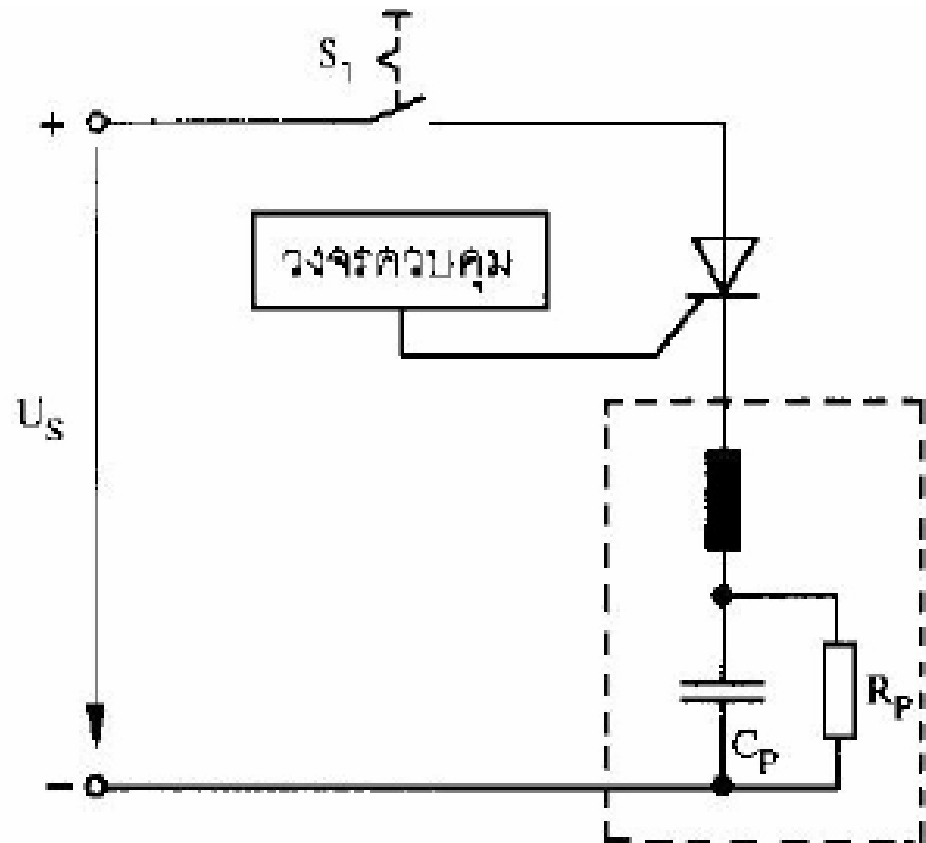
ใช้สวิตช์

วิธีการหยุดนำกระแส :

Forced commutation

1) Class A commutation

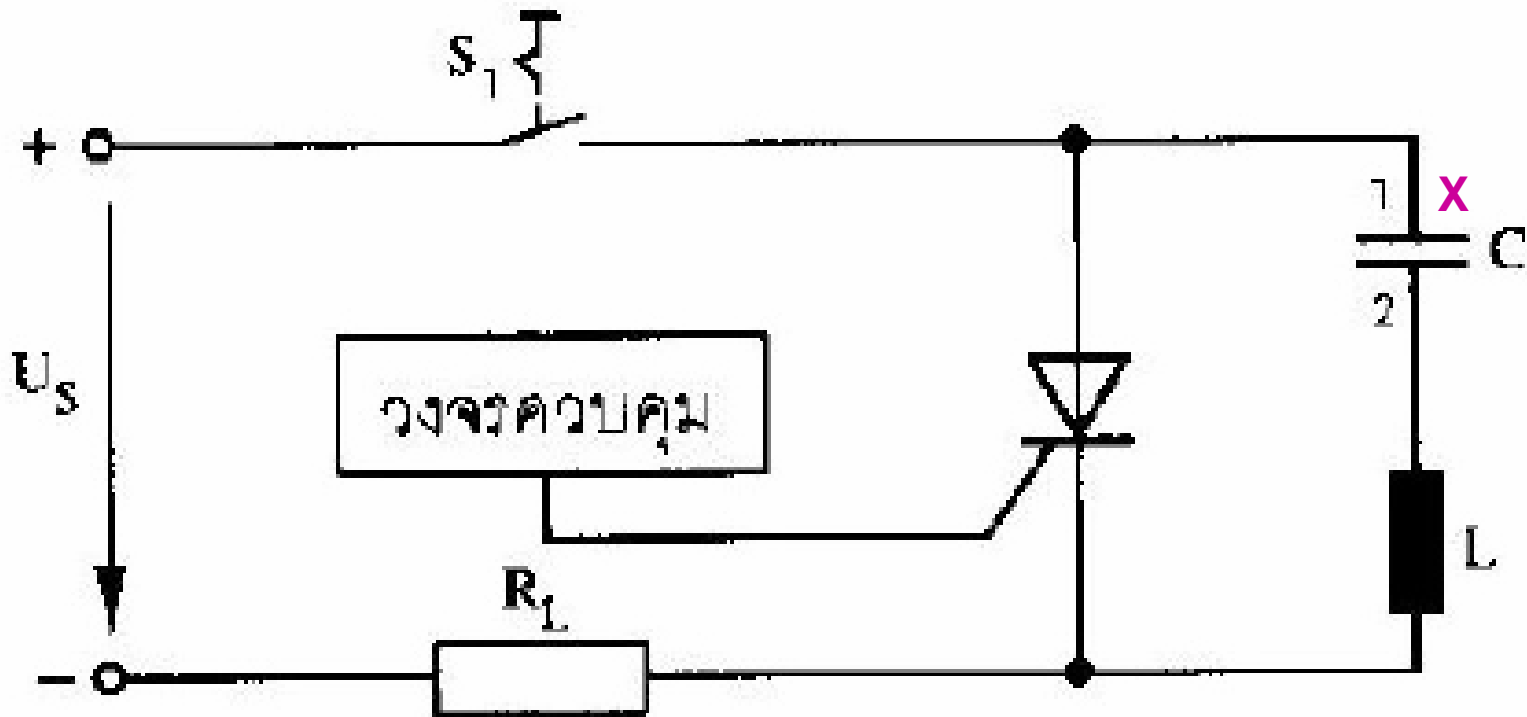
การหยุดนำกระแสด้วยการ
รีโซแนนซ์ของโหลด



วิธีการหยุดนำกระแส :

Forced commutation

2) Class B commutation

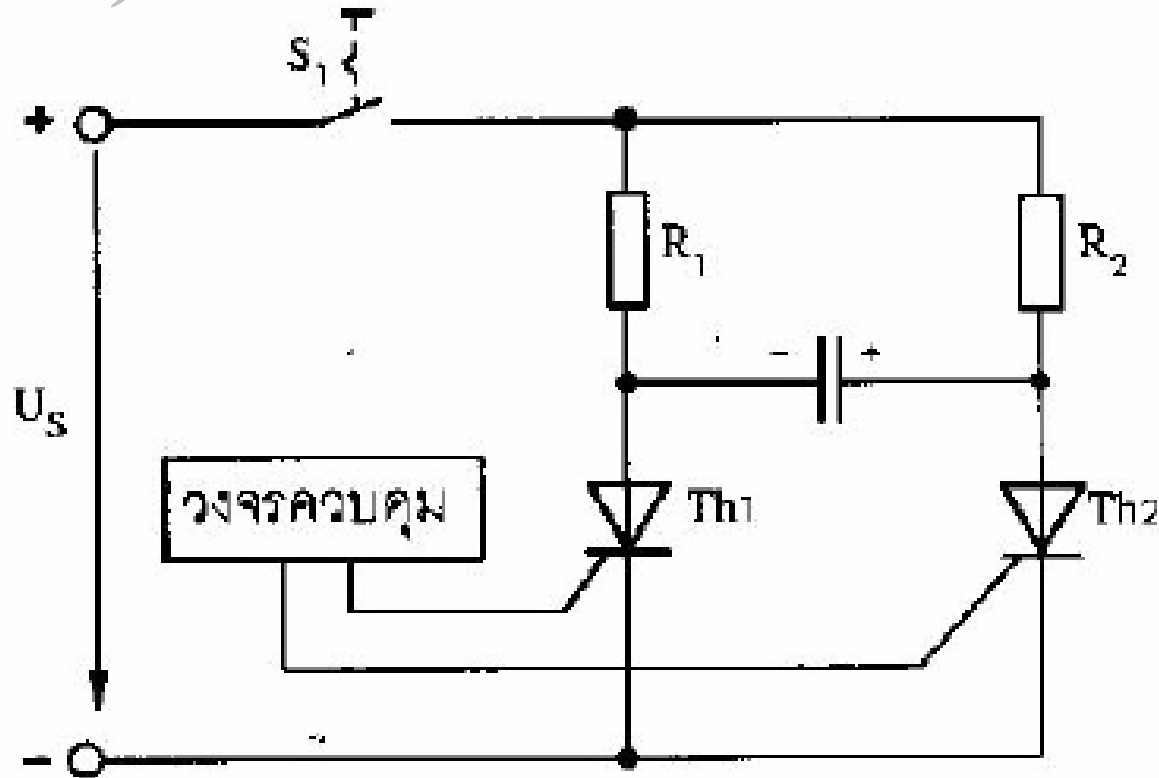


การหยุดนำกระแสด้วยการต่อวงจรอนุกรม LC

วิธีการหยุดนำกระแส :

Forced commutation

3) Class C commutation

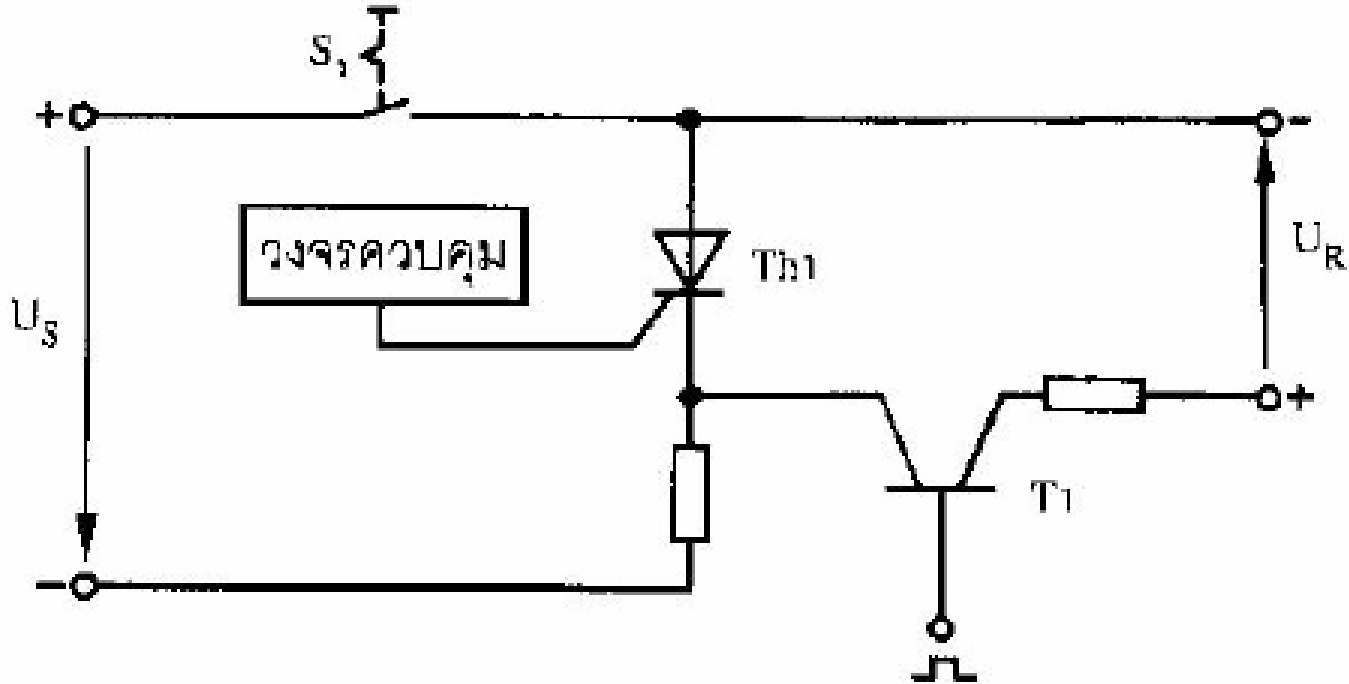


การหยุดนำกระแสด้วยการต่อตัวเก็บประจุรอมระหว่าง SCR

วิธีการหยุดนำกระแส :

Forced commutation

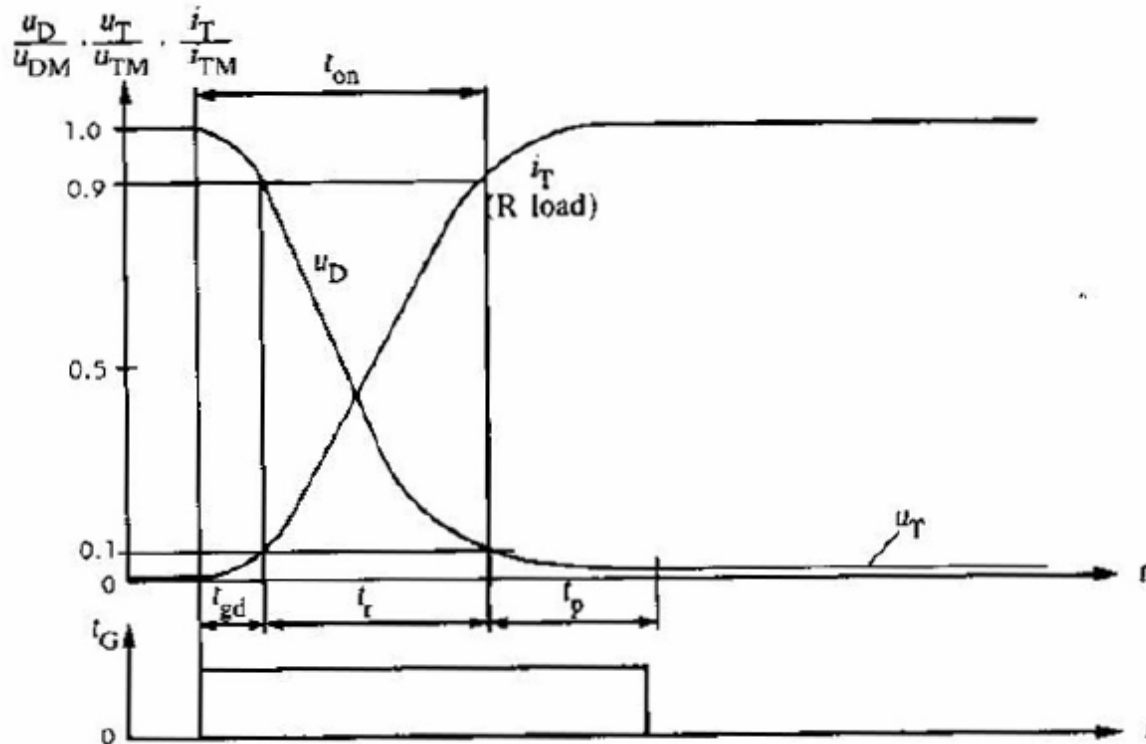
4) External pulse



การหยุดนำกระแสโดยใช้แหล่งจ่ายพัลส์ภายนอก

ลักษณะสมบัติทางไดนามิก

1) ช่วงเริ่มนำกระแส

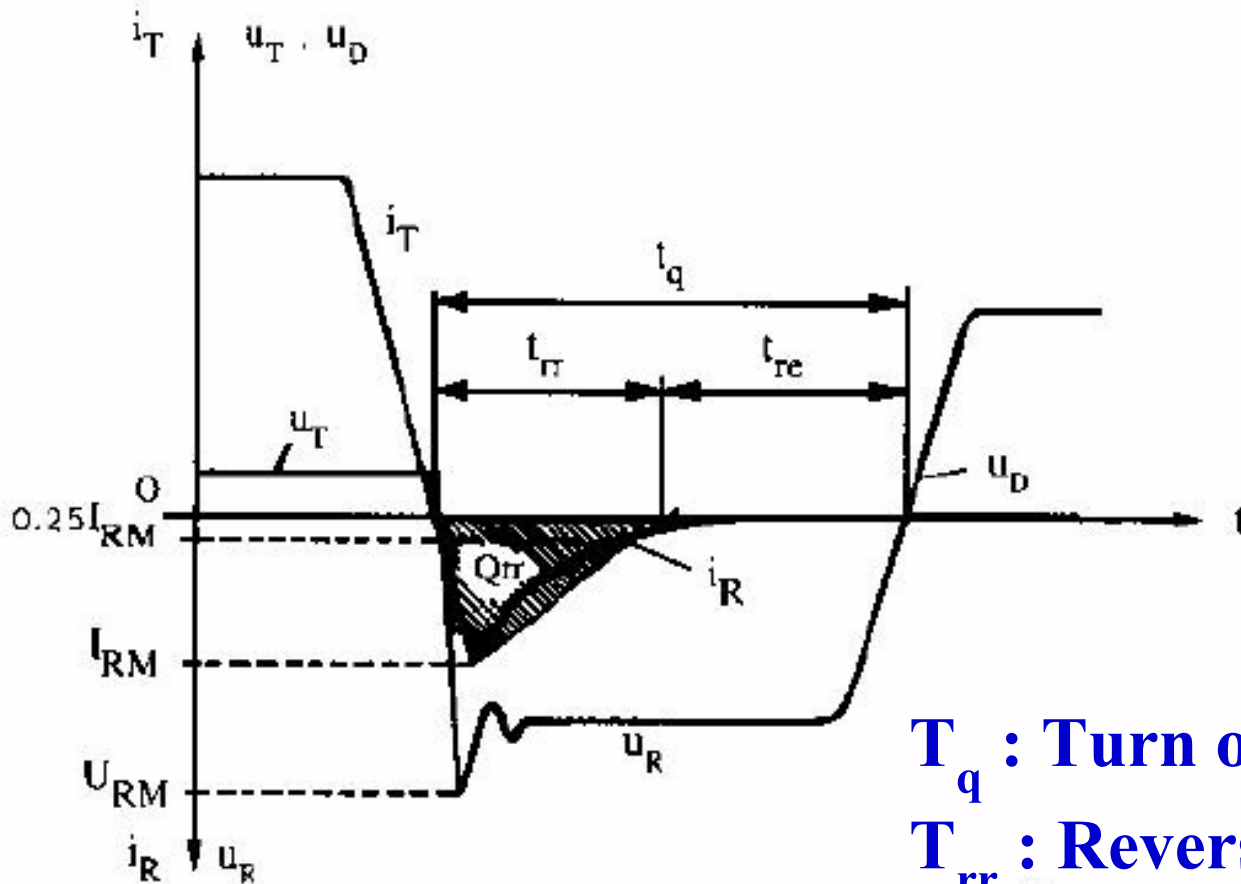


> t_{gd} : Gate control Delay Time
> t_r : Rise Time

> t_p : Spread Time (1-3ms)
Remark For Resistive load

ลักษณะสมบัติทางไดนามิก

1) ช่วงหยุดนำกระแส ($I_{AK} < I_H$)



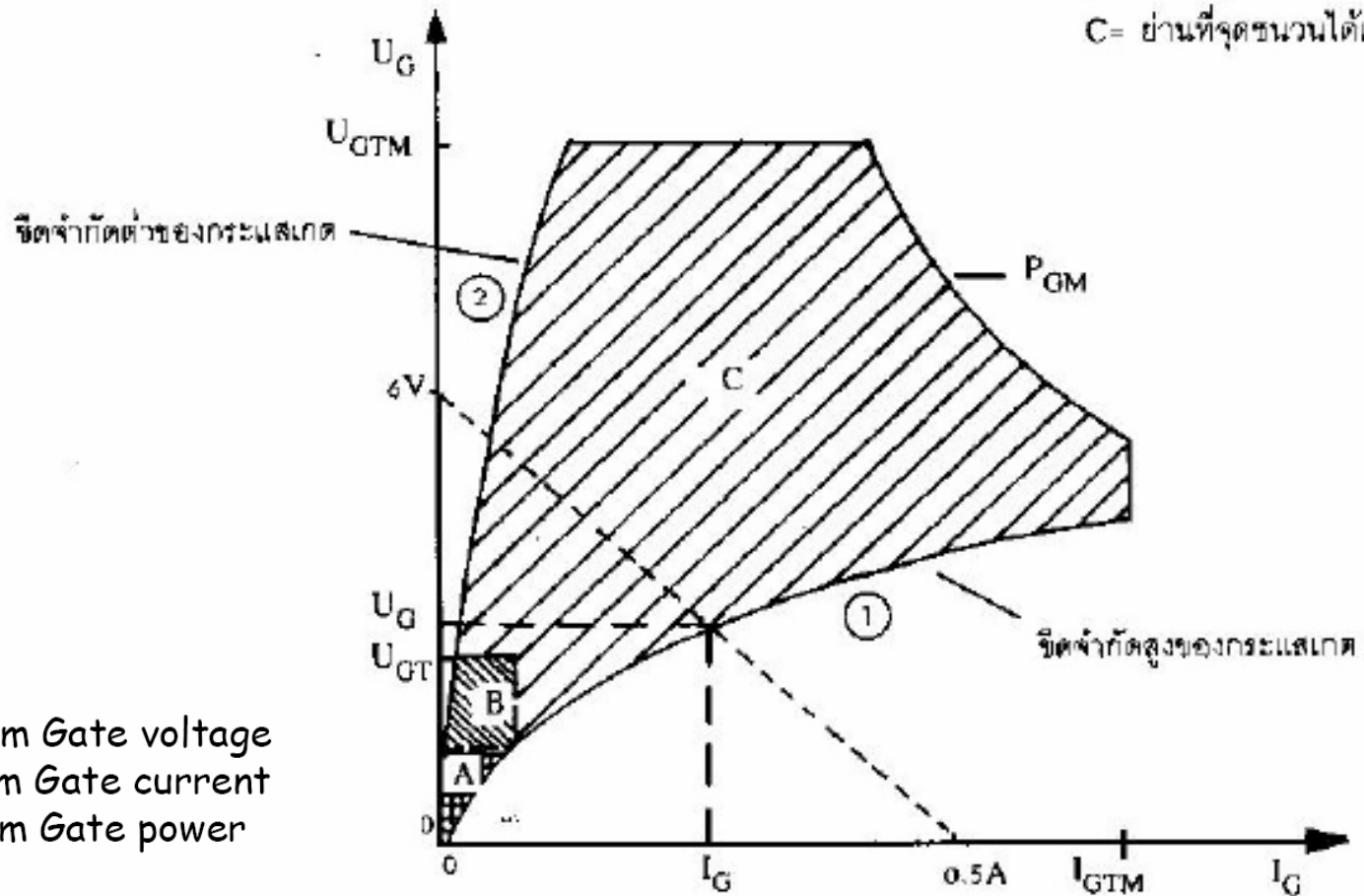
T_q : Turn off time (5-200 ms)

T_{rr} : Reverse recovery time

T_{re} : Recombination time

ลักษณะสมบัติของเกต

- A= ย่านที่ไม่สามารถจุดชนวนได้
- B= ย่านที่จุดชนวนได้ไม่แน่นอน
- C= ย่านที่จุดชนวนได้แน่นอน



U_{GTM} : Maximum Gate voltage
 I_{GTM} : Maximum Gate current
 P_{GM} : Maximum Gate power

ลักษณะสมบัติของเกต : กำลังไฟฟ้า

$$P_{G(AV)} = P_{MAX} \times P_W \times P_N$$

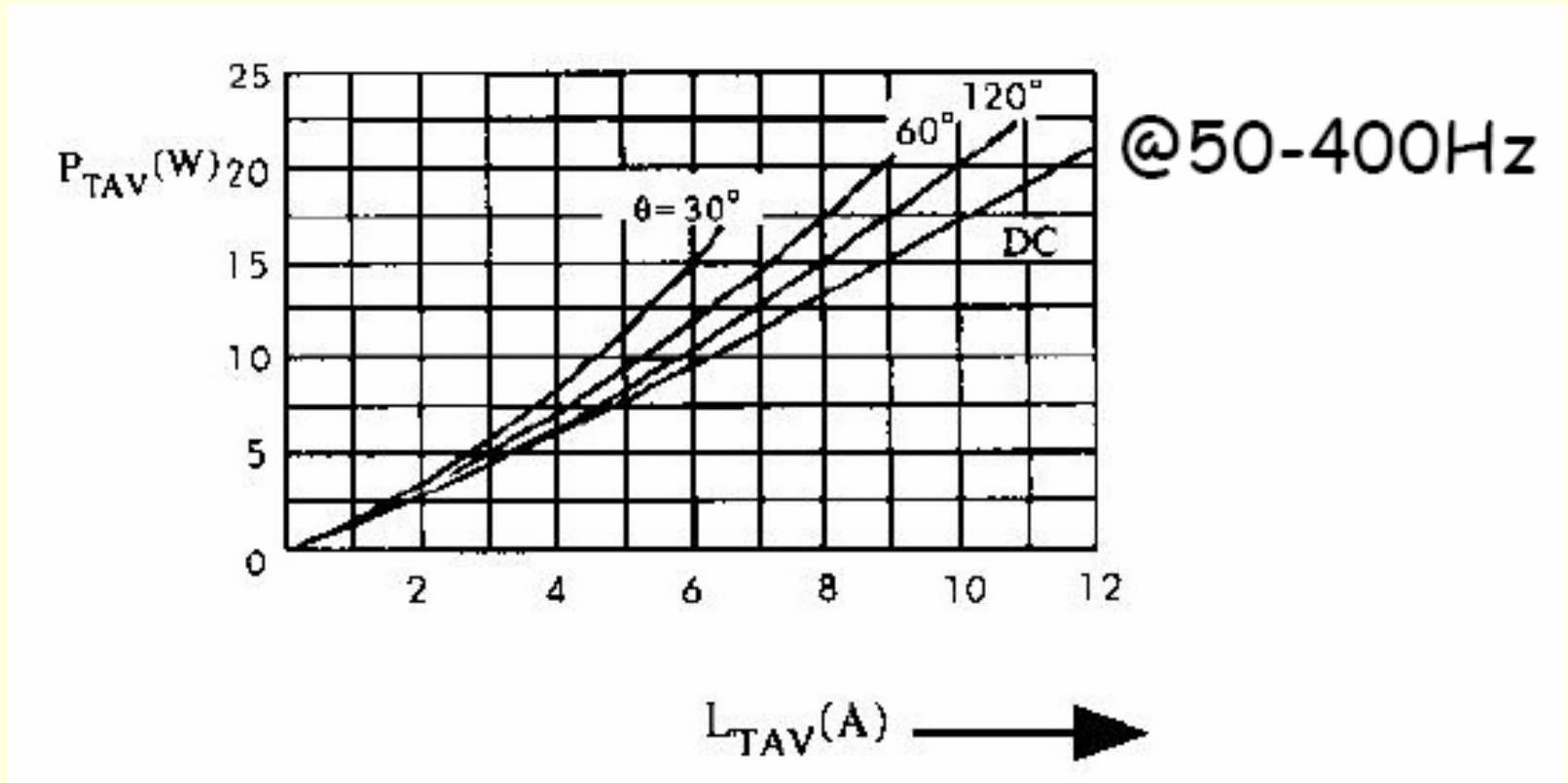
$P_{G(AV)}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเกตที่กำหนด ($\cong 150 \text{ mW} - 1 \text{ W}$)

P_{MAX} = ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

P_W = ความกว้างของพัลส์ (Pulse width)

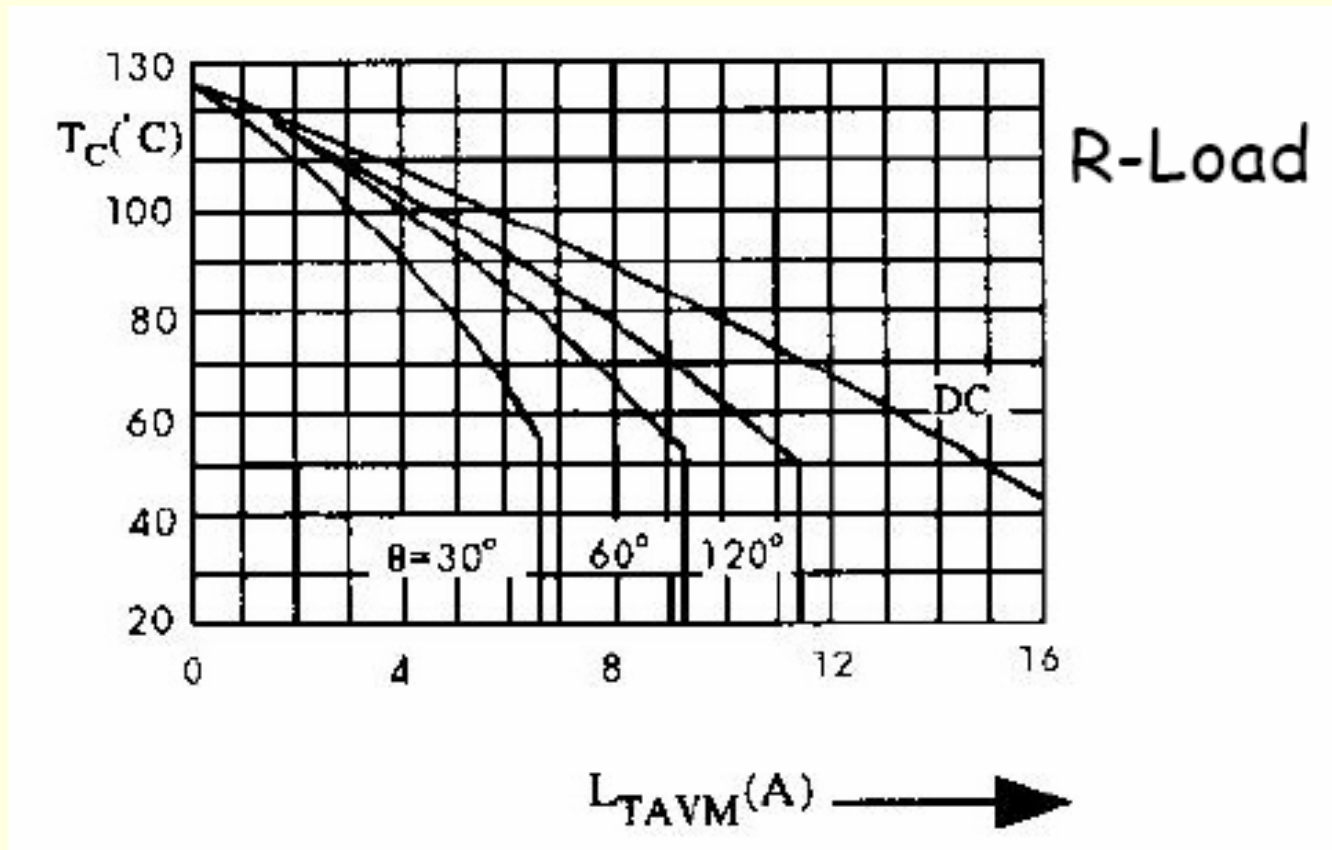
P_N = จำนวนของพัลส์ที่ใช้จุดชนวน (Number of pulse)

ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดกระแส



กราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดกระแส



อุณหภูมิภายในตัวเอสซีอาร์

ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดกระแส

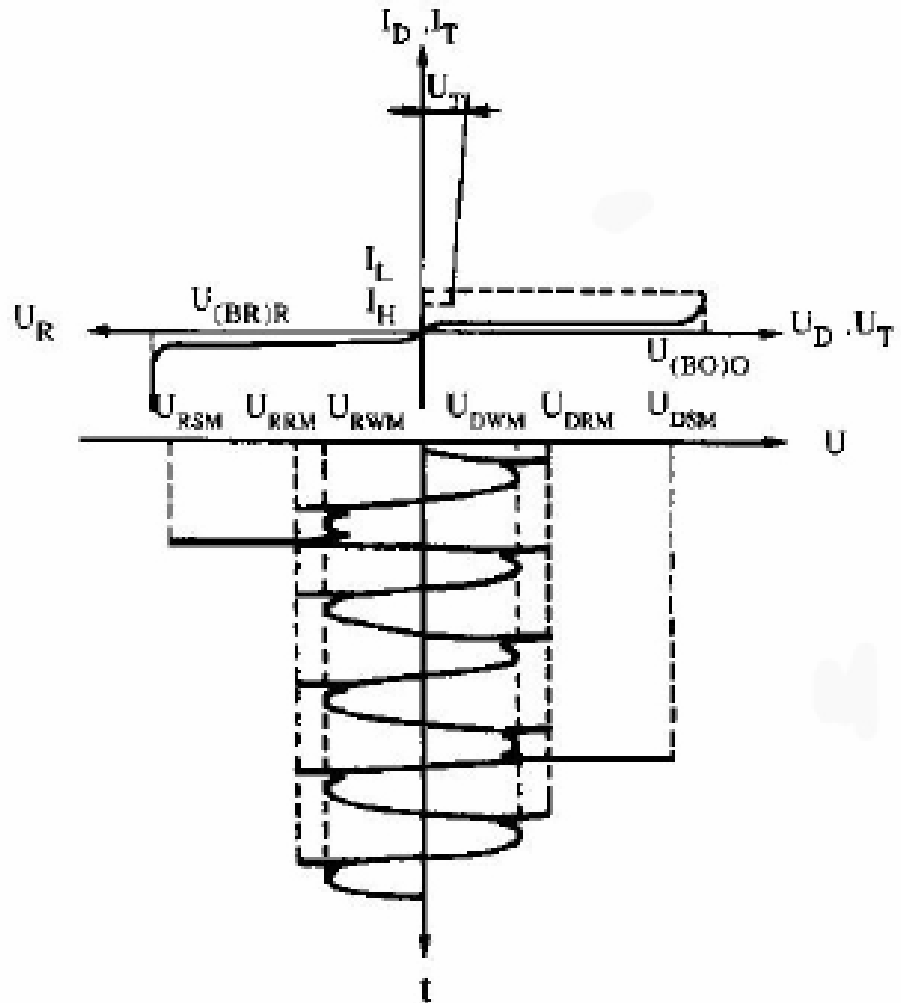
- Maximum average on-state current (I_{TAVM})
- Maximum RMS on-state current (I_{TRMSM})
- Maximum surge on-state current (I_{TSM})

กำหนดเป็น 15 เท่า ของกระแสโหลด (I_L)

- I^2t rating เพื่อใช้เลือกฟิวส์ที่มาป้องกัน SCR
- di/dt rating อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของกระแสขณะที่ SCR เริ่มนำกระแส

ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดแรงดัน

พิกัดแรงดัน คือ
ค่าแรงดันตกคร่อม
SCR สูงสุดที่จะไม่
ทำให้ SCR เสียหาย



ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดแรงดัน

- **Maximum permissible repetitive peak forward blocking voltage (V_{DRM})**
- **Maximum permissible repetitive peak reverse blocking voltage (V_{RRM})**
- **Maximum permissible non-repetitive peak reverse blocking voltage (V_{RSM})**

ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดแรงดัน

- **Maximum permissible non-repetitive peak forward blocking voltage (V_{DSM})**
- **Working peak forward voltage (V_{DWM})**
- **Working peak reverse voltage (V_{RWM})**
- **dv/dt rating** ถ้าค่ามากกว่าที่กำหนดจะทำให้ SCR นำกระแสได้เอง โดยไม่มีการชูดชนวนที่ขาเกต

ค่าพิกัดของ SCR : พิกัดกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นใน SCR จะเปลี่ยนเป็นความร้อน ถ้ามากเกินไป SCR จะเสียหายได้

- Load current forward conduction loss มีค่า
= $V_{AK} I_{AK}$ โดย $U_{AK} \approx 1.2-1.5 V$
- Forward leakage power loss
- Reverse leakage power loss and turn-off loss
- Gate power loss
- Turn-on loss

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

1) Transient over voltage protection

□ แรงดันเกินพิกัดภายในวงจร

เกิดจาก inductor ในวงจร

□ แรงดันเกินพิกัดจากภายนอกวงจร

- เกิดจากหม้อแปลงที่จ่ายแรงดันให้ SCR เปิดวงจร
ทางขดปฐมภูมิ หรือทุติยภูมิ

- มีกระแสลี้ร้จ (Surge current)

- ไฟฟ้าในวงจรขาดทันที

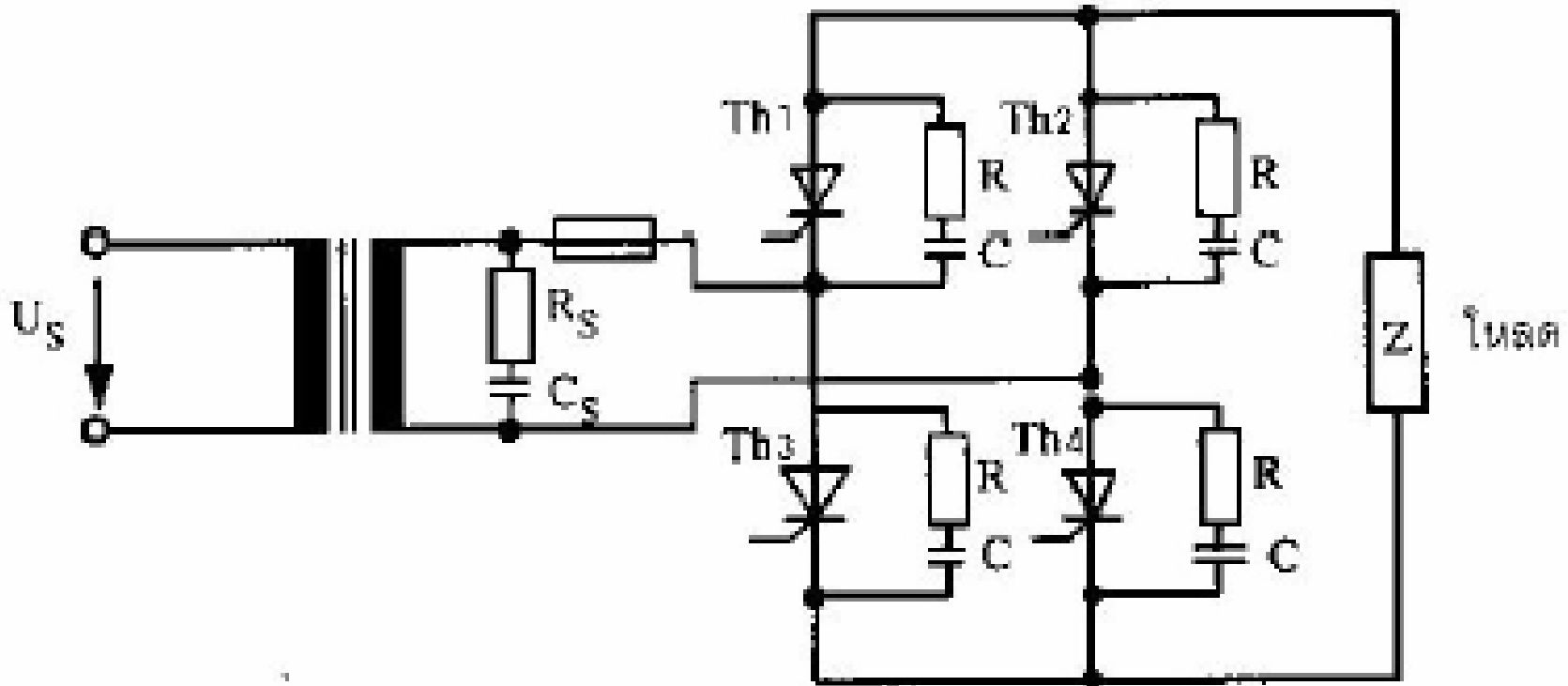
- โหลดในวงจรมีค่าความเหนี่ยวนำสูง

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

1) Transient over voltage protection

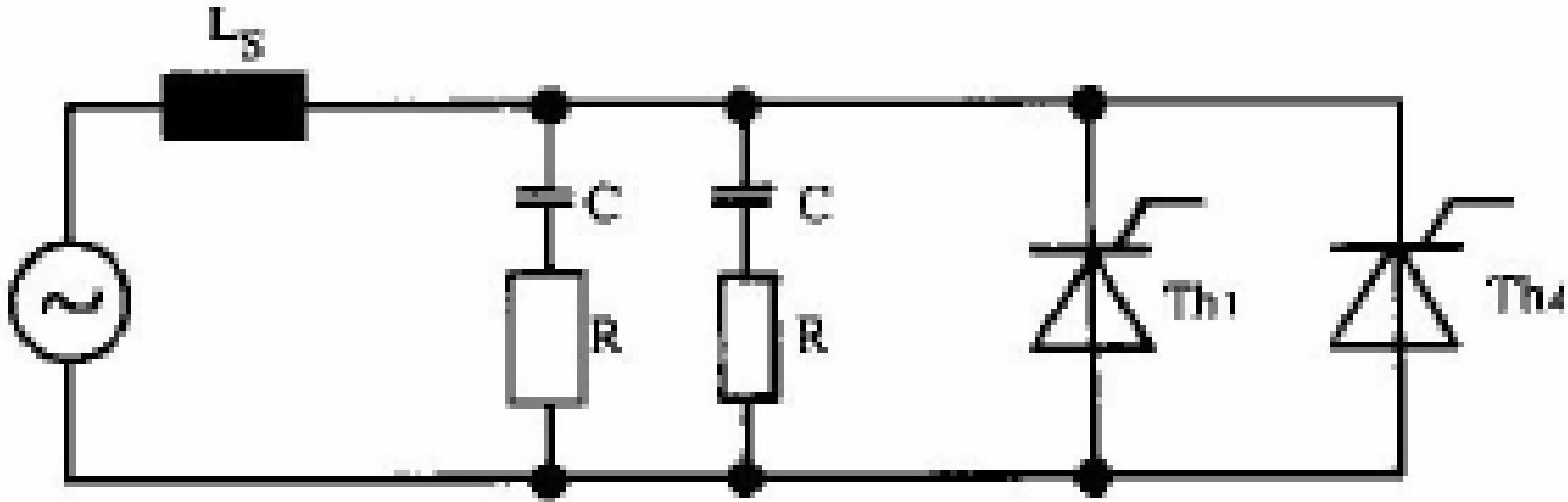
การป้องกันแรงดันเกินพิกัดสามารถใช้ วงจร snubber

(Snubber circuit)



การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

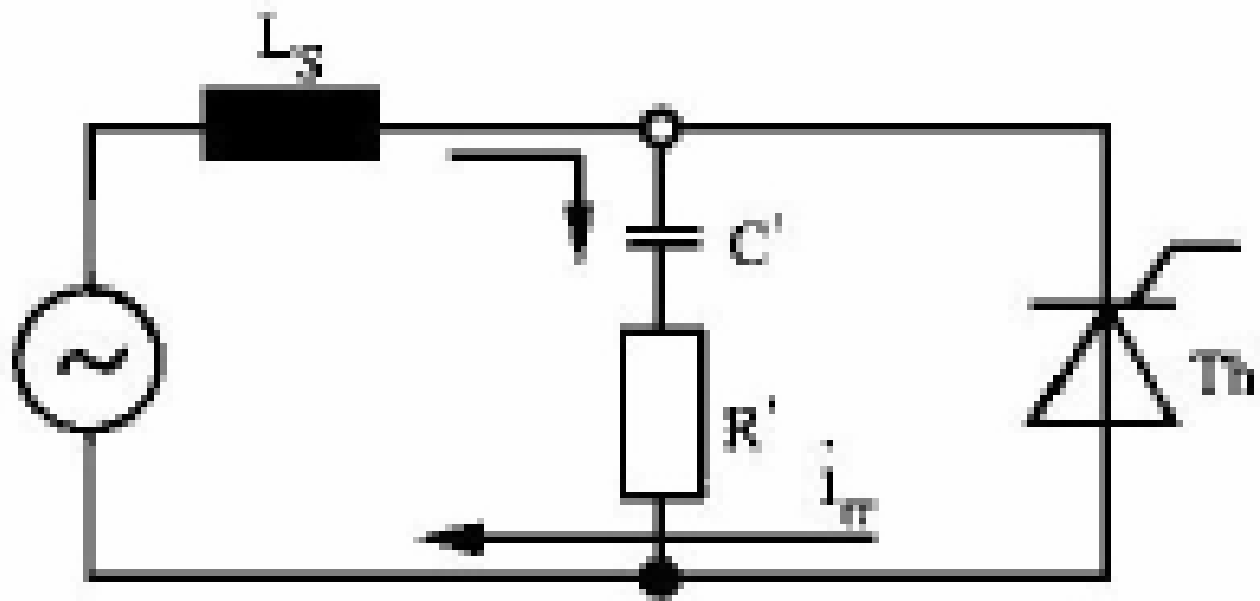
1) Transient over voltage protection



วงจรสมมูลย์ ในขณะที่หยุดนำกระแสของวงจรบริดจ์
คอนเวอร์เตอร์

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

1) Transient over voltage protection



การไหลของกระแส I_{rr} ผ่านวงจร Snubber

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

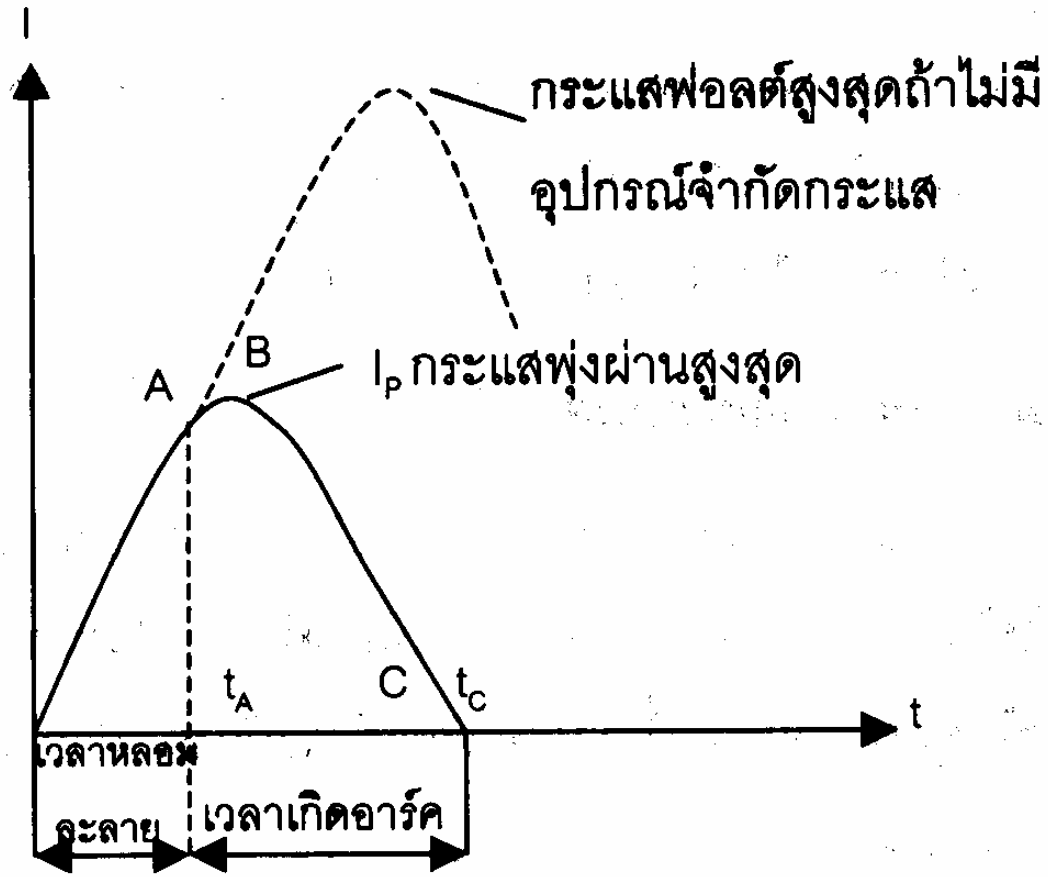
2) Over current protection

เป็นการป้องกัน SCR เมื่อเกิดการลัดวงจรใน 2 กรณี คือ ลัดวงจรที่ SCR และลัดวงจรที่โหลด อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันส่วนใหญ่จะเป็นฟิวส์

หลักการเลือกใช้ฟิวส์คือ เลือกฟิวส์ให้ตัดวงจรออกก่อนความร้อนที่เกิดขึ้นในตัว SCR ทำความเสียหาย (ค่า i^2t ของฟิวส์ต้องต่ำกว่าค่า i^2t ของ SCR) แรงดันในช่วงที่เกิดการอาร์คของฟิวส์จะต้องไม่สูงกว่า 2 เท่า ของค่าสูงสุดของแรงดันที่จ่ายให้ SCR

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

2) Over current protection



การตัดวงจรของฟิวส์ในวงจรไฟสลับ

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

3) การพิจารณาและเลือกใช้ค่าพิกัด SCR

- **ขีดจำกัดแรงดัน :** เลือกค่าแรงดันเบรคโอเวอร์ให้มียค่ามากกว่าแรงดันที่ป้อนให้ SCR เช่น ใช้ไฟ 220 V ต้องใช้ SCR ที่ทนแรงดันได้มากกว่า $220 \times \sqrt{2} = 308 \text{ V}$
- **ขีดจำกัดทางด้านกระแส :** SCR ต้องทนกระแสได้สูงกว่ากระแสโหลดแบบต่อเนื่อง ส่วนค่ากระแสเล็จรสูงสุด (Peak surge current) ควรมีค่าประมาณ 15 เท่าของกระแสโหลด

การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

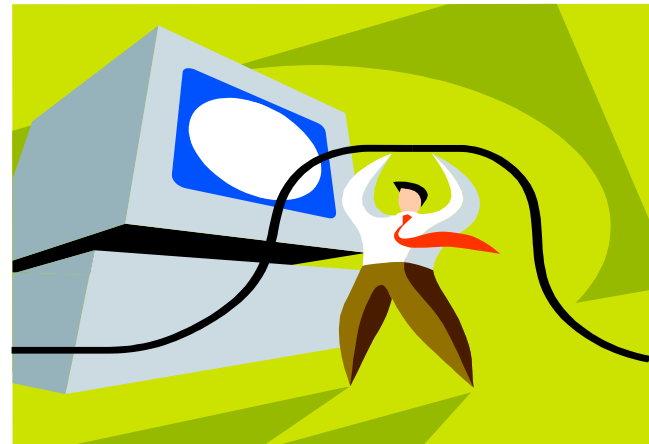
3) การพิจารณาและเลือกใช้ค่าพิกัด SCR

- ความไวในการจุดชนวนเกต : กระแสและแรงดันที่กำหนดไว้ที่ขาเกตต้องมีค่ากระแสและแรงดันไม่เกินกว่าค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายจากวงจรจุดชนวน
- ความเร็วในการใช้งาน : SCR ต้องกลับสู่สภาพหยุดนำกระแส (t_s) ไม่เกิน $\frac{1}{2f}$ เช่น ถ้าใช้ความถี่ (f) 50 Hz SCR ต้องมีเวลา t_s น้อยกว่า 10 ms เป็นต้น

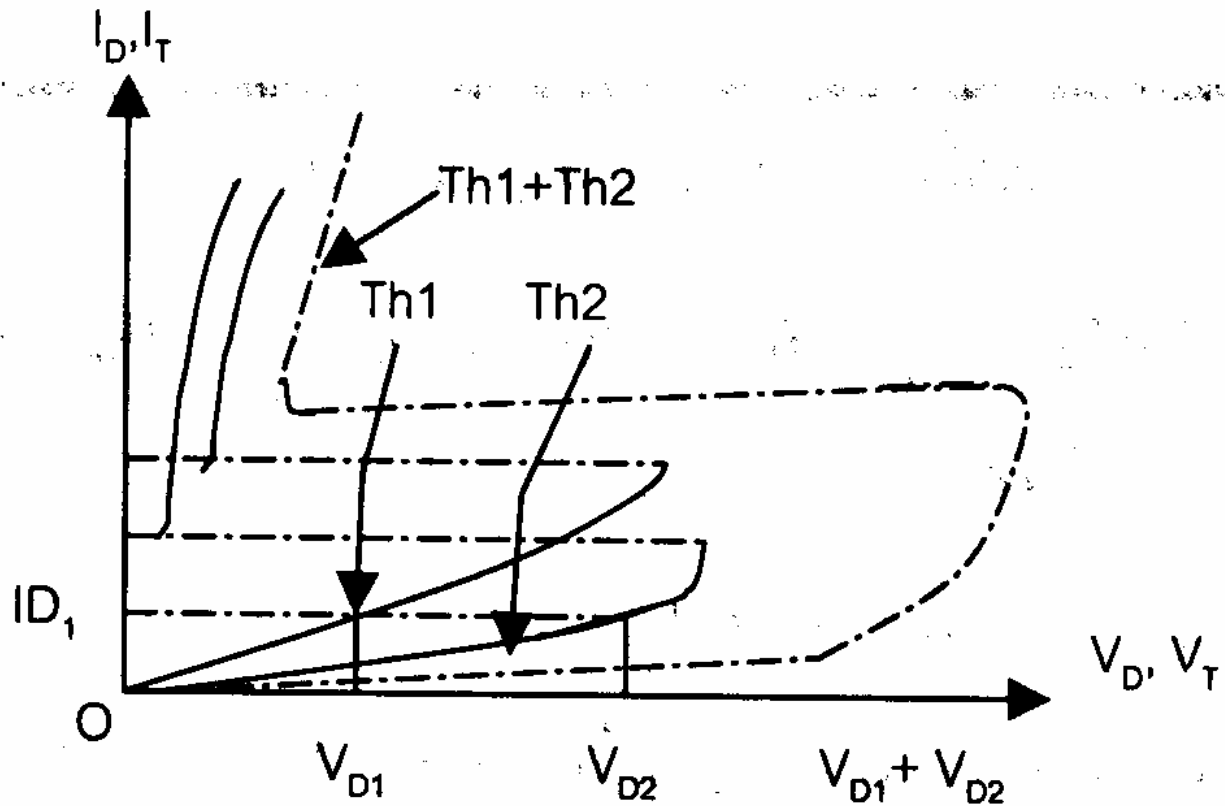
การป้องกันแรงดันและกระแสเกินพิกัดของ SCR :

3) การพิจารณาและเลือกใช้ค่าพิกัด SCR

- กระแสรั่วไหล : SCR ต้องมีค่ากระแสรั่วไหลน้อยกว่าที่โหลดจะทำงานได้
- แรงดันตกคร่อม SCR ขณะทำงาน : ต้องไม่มากจนแรงดันที่ไปตกคร่อมที่โหลดเหลือน้อยเกินไป จนโหลดไม่สามารถทำงานได้

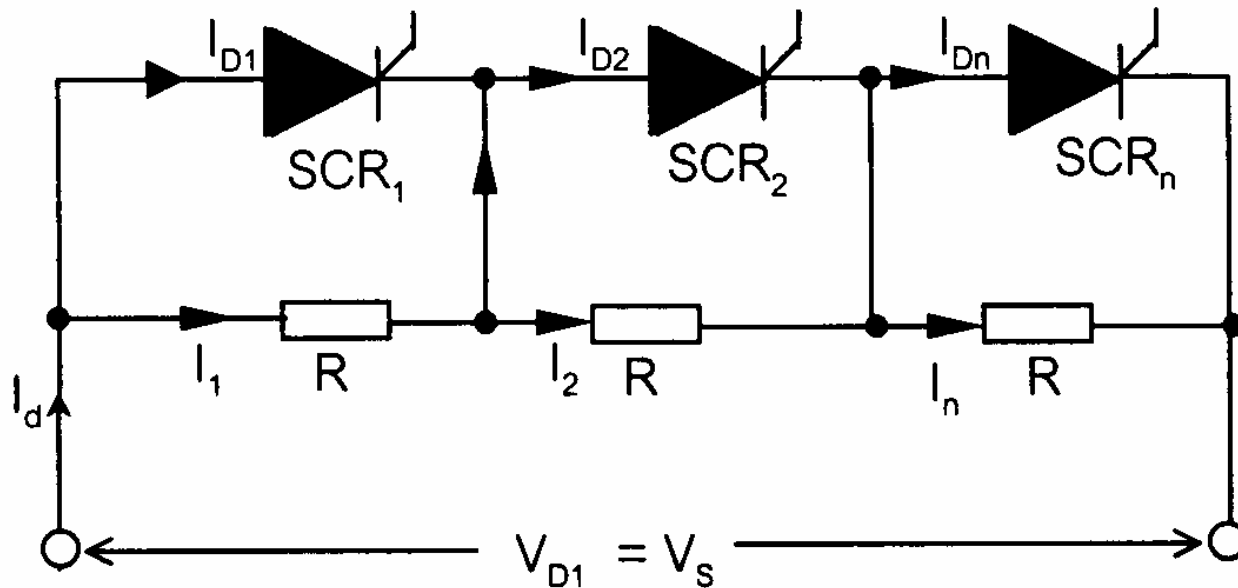


การต่อ SCR แบบอนุกรม



จากกราฟจะเห็นว่า SCR ที่ต่ออนุกรมจะสามารถใช้กับแรงดันที่สูงขึ้นได้

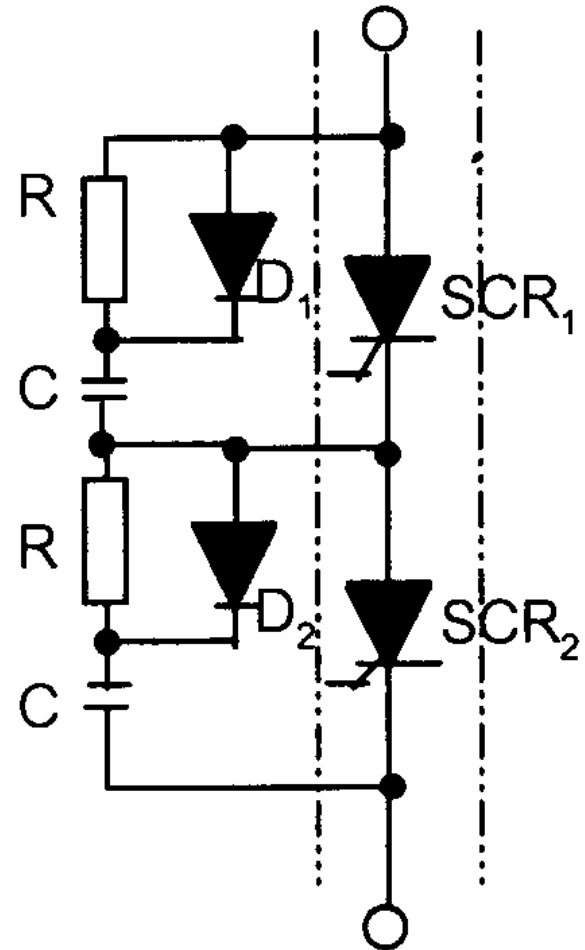
การต่อ SCR แบบอนุกรม



วงจรปรับสมดุลแรงดันทาง Static เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อม SCR
แต่ละตัวเท่ากัน

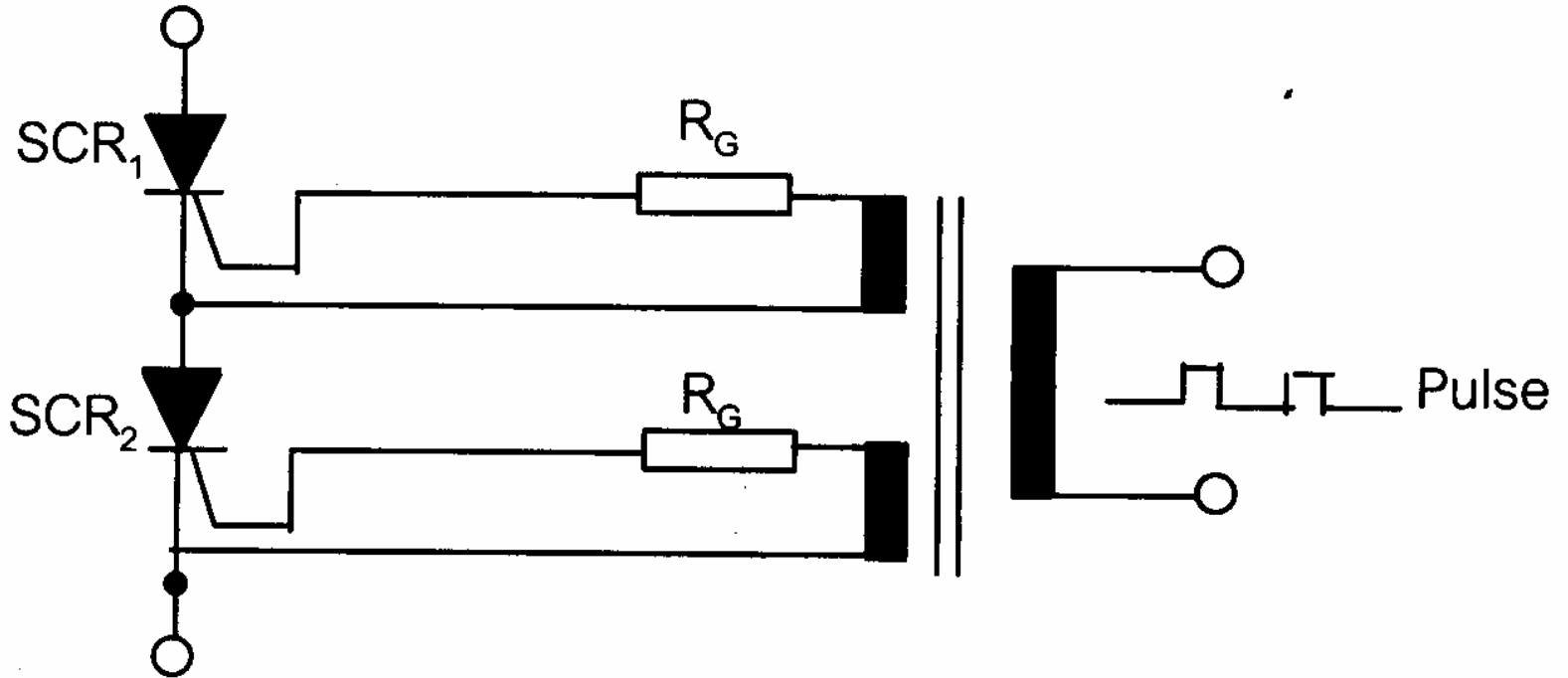
การต่อ SCR แบบอนุกรม

วงจรปรับสมดุลแรงดัน
ทาง Static และ Dynamic
เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อม SCR
แต่ละตัวเท่ากันในช่วงเวลา
ชั่วขณะที่ SCR นำกระแสและ
หยุดนำกระแส



การต่อ SCR แบบอนุกรม :

การจุดชนวนวนเกิด

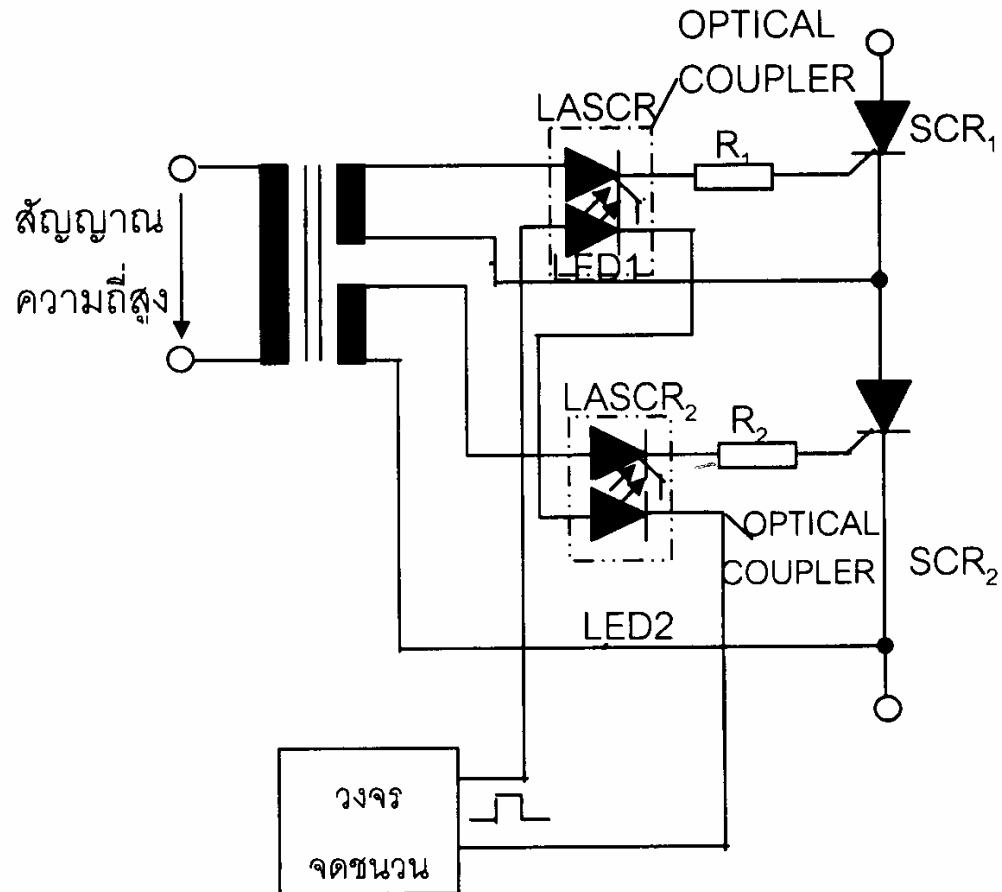


การจุดชนวนชุด SCR ด้วยหม้อแปลงพัลส์

การต่อ SCR แบบอนุกรม :

การจุดชนวนวงเกิด

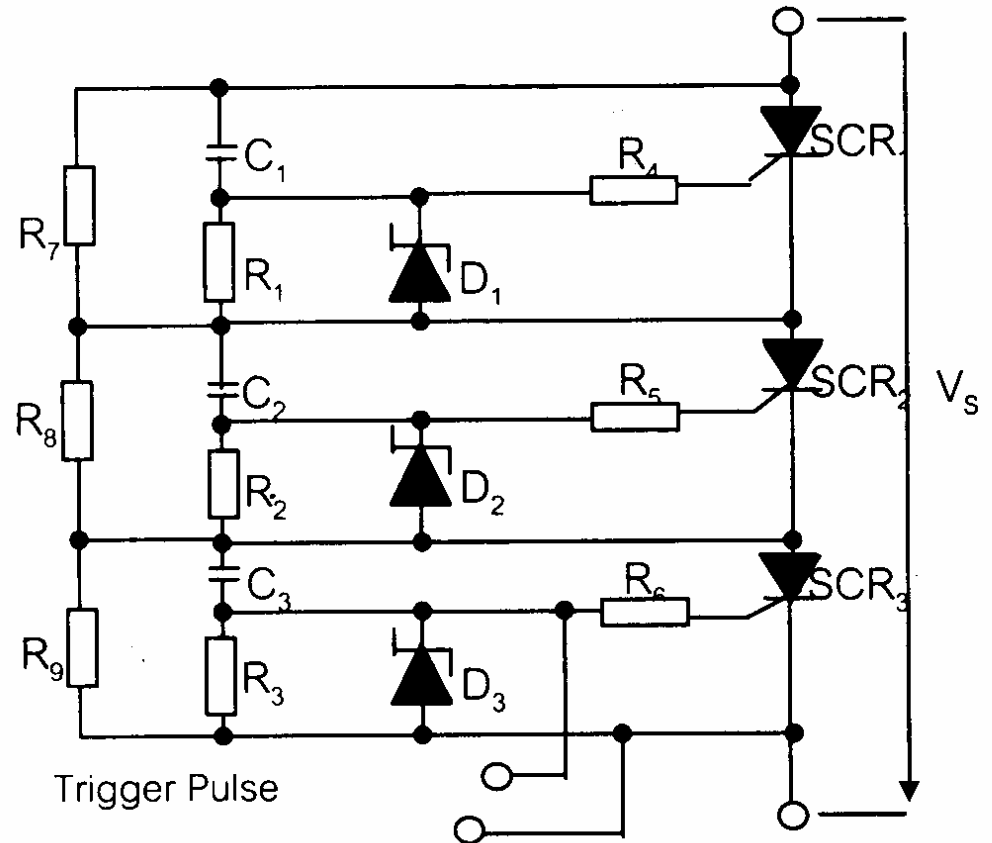
การจุดชนวนชุด SCR
ด้วยระบบแสง



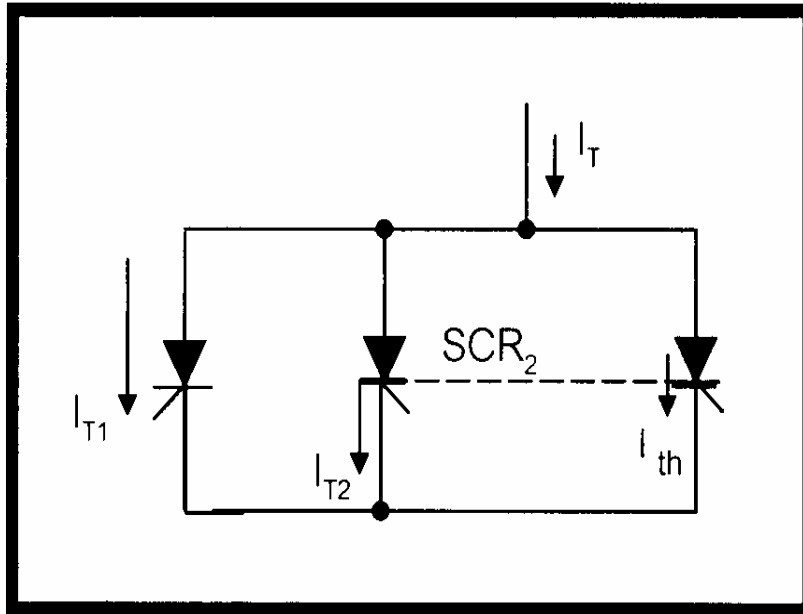
การต่อ SCR แบบอนุกรม :

การจุดชนวนแยก

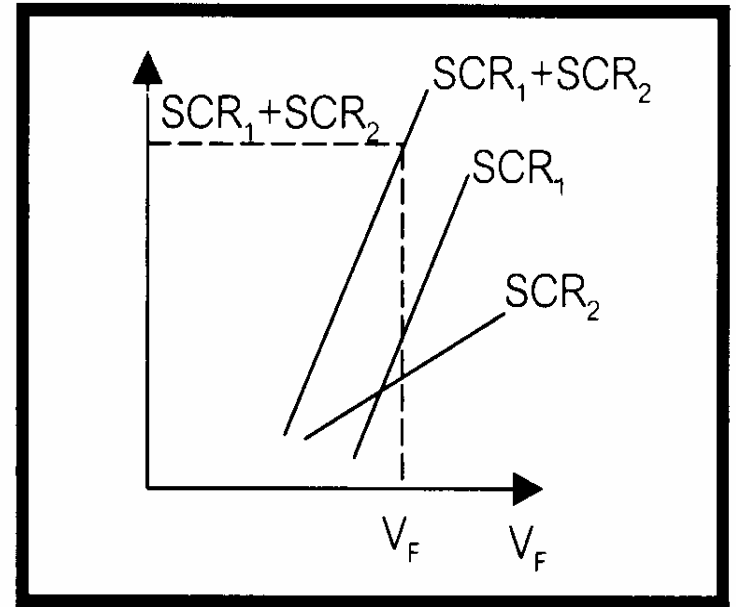
การจุดชนวนชุด SCR ด้วยวิธี Slave triggering ซึ่งใช้การแบ่งแรงดันของตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกัน



การต่อ SCR แบบขนาน



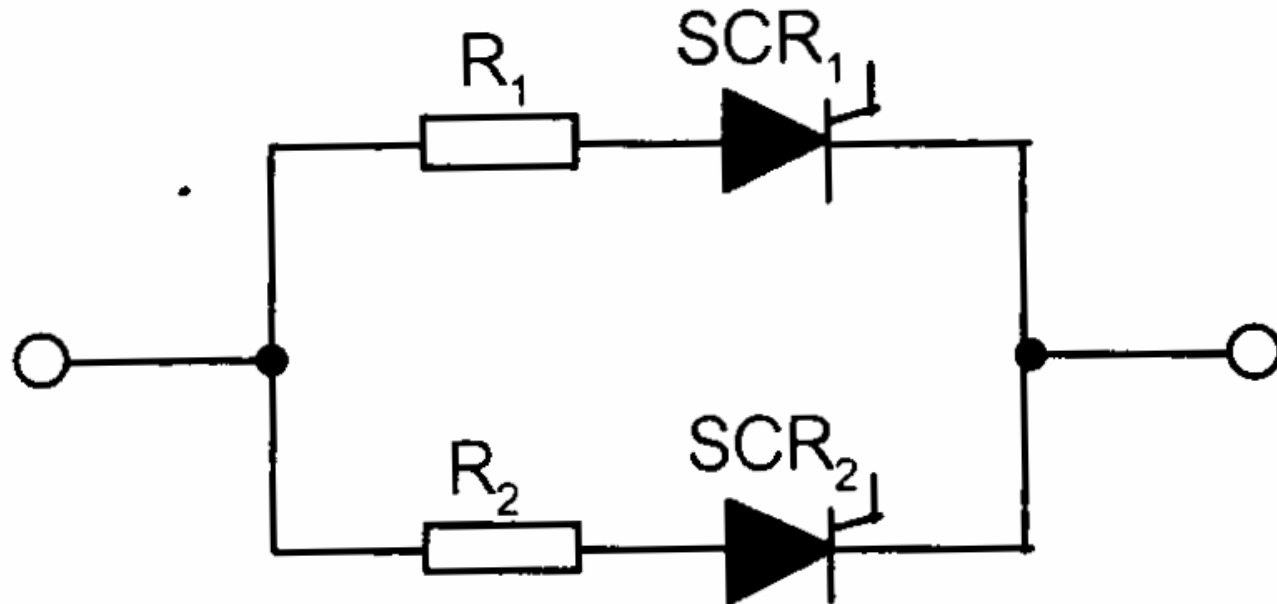
(ก)



(ข)

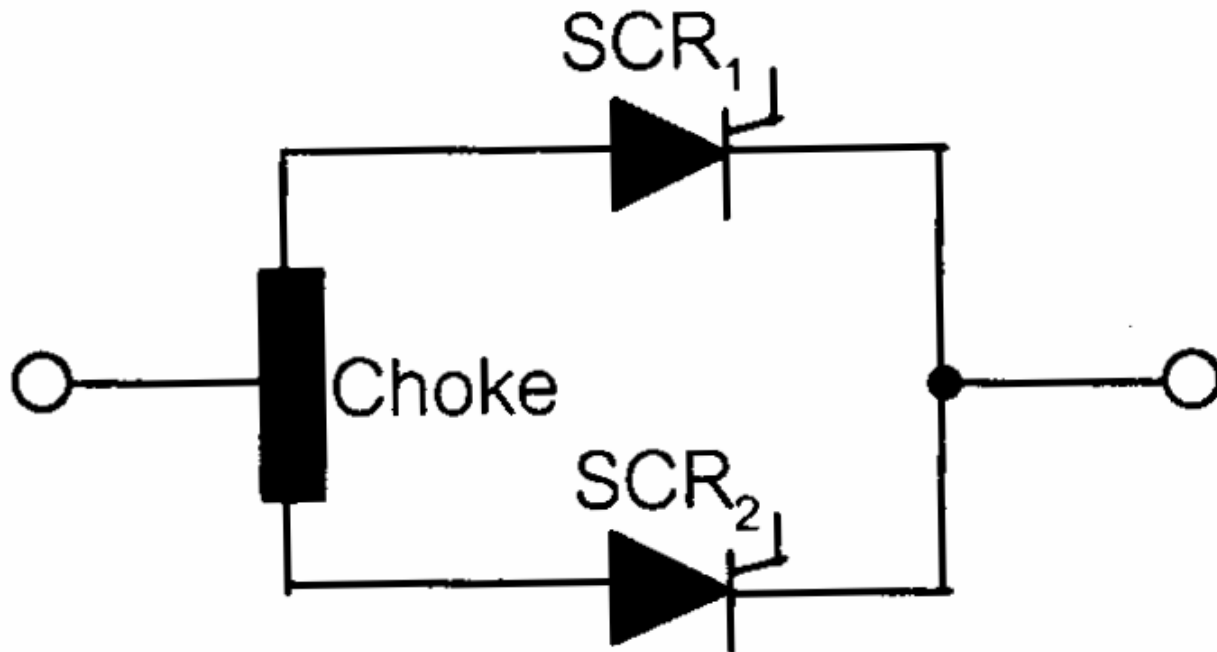
การต่อ SCR แบบขนาน และกราฟลักษณะสมบัติ

การต่อ SCR แบบขนาน



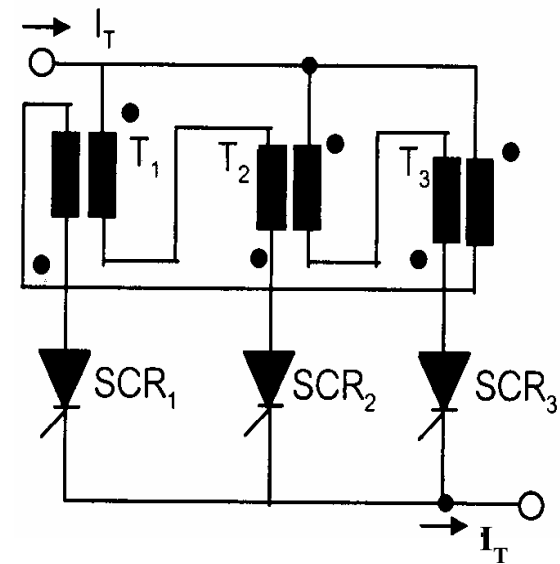
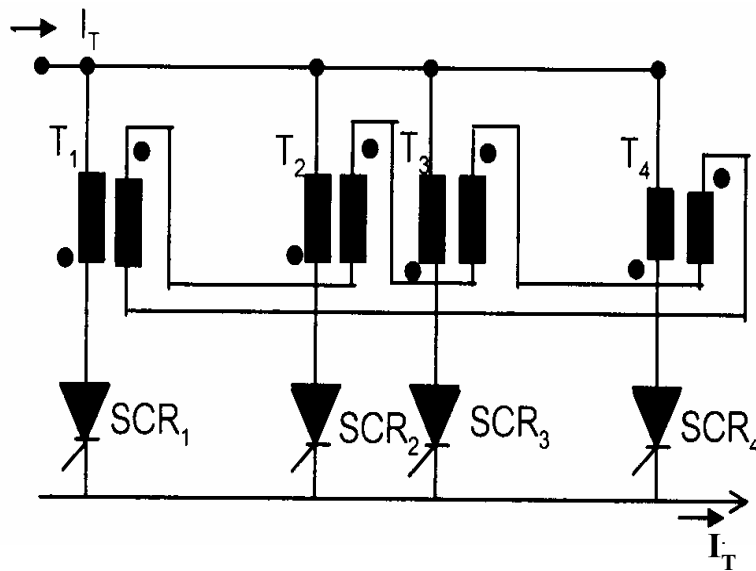
การแบ่งกระแสทาง Static

การต่อ SCR แบบขนาน



การแบ่งกระแสทาง Dynamic

การต่อ SCR แบบขนาน



การแบ่งกระแสให้ไหลผ่าน SCR ให้เท่ากันด้วยหม้อแปลง

อ้างอิง

- ทฤษฎีเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์
ชาลวิทย์ หาญรินทร์
- <http://www.elecnet.chandra.ac.th/>
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- **Power electronics : Circuit, devices, and application**
Third edition
Muhummad H. Rashid