 <p>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า</p>	<p>221309 Engineering Electronics Lab I ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม 1</p>	<p>การทดลองที่ 12 Power Semiconductor Devices</p>
---	--	---

### วัตถุประสงค์

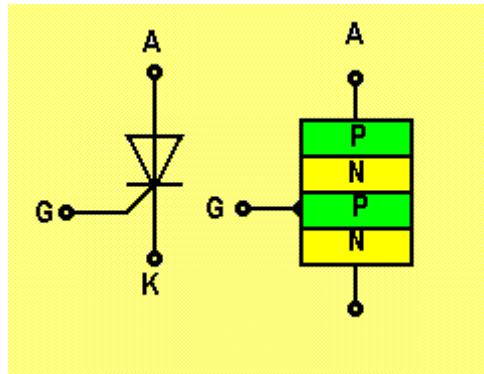
เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรการใช้งานเอสซีอาร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Dual Trace Oscilloscope
2. Function Generator
3. SCR #T106D1
4. Zener diode
5. อุปกรณ์อื่น ๆ (ดูจากการทดลอง)

## เนื้อหาโดยสรุป

เอสซีอาร์ (SCR) เป็นเซมิคอนดักเตอร์ชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วเรียกว่า แอนโอด (A) , แคโทด (K) และเกต (G) ซึ่งมีสัญลักษณ์และโครงสร้างดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 1 สัญลักษณ์และโครงสร้างของสัญลักษณ์

เมื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของเอสซีอาร์โดยละเอียดแล้วเราจะพบว่า ในขณะที่เราทำการป้อนแรงดันฟอร์เวิร์ดให้กับแอนโอดและแคโทดแต่ยังไม่ได้ทรiggerที่ขาเกตเราจะพบว่าเอสซีอาร์ไม่นำกระแส แต่ถ้าเราป้อนแรงดันให้สูงขึ้นจนมีแรงดันค่าหนึ่งเอสซีอาร์สามารถนำกระแสได้ซึ่งเราเรียกแรงดันที่จุดนี้ว่าเบรคโอเวอร์ (Breakover Voltage) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่สะดวกและปลอดภัยสำหรับเอสซีอาร์ ซึ่งเอสซีอาร์อาจเสียหายได้ เราสามารถทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้โดยใช้แรงดันต่ำๆซึ่งเป็นจุดที่เอสซีอาร์นำกระแสได้ต่ำสุด จุดนี้เราเรียกว่าจุดที่เป็น “กระแสโฮลดิ้ง” (Holding Current) ดังนั้นในการนำเอสซีอาร์มาใช้งานจึงต้องเลือกให้เหมาะสม

วิธีการทำให้เอสซีอาร์นำกระแส มีอยู่หลายวิธี

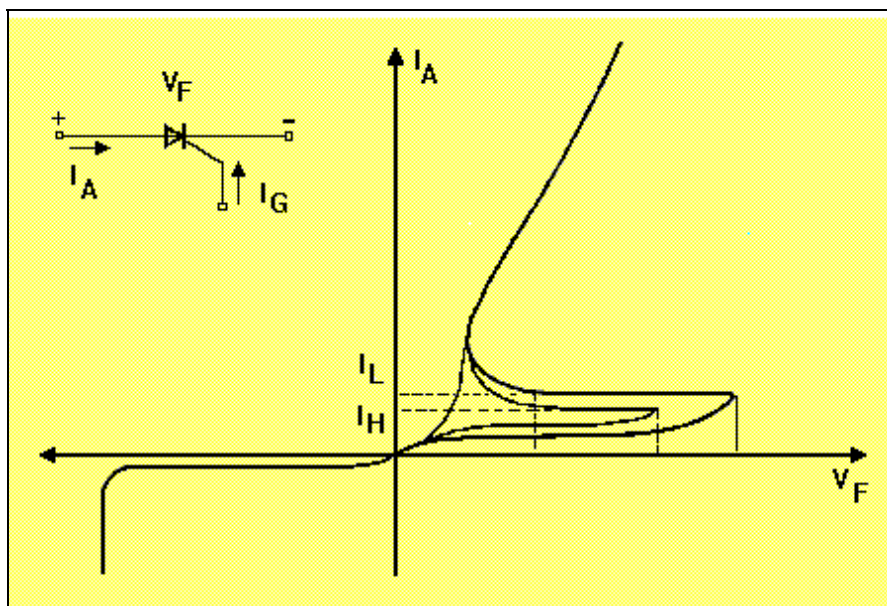
1. การไบแอสเกตด้วยไฟตรง
2. การกระตุ้นเกตด้วยไฟสลับ
3. การกระตุ้นเกตด้วยพัลส์

ในสภาวะ ฟอร์เวิร์ด (Off State) เอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบฟอร์เวิร์ด ( $U_{AK}$ ) แต่บริเวณรอยต่อ  $J_2$  ระหว่างสาร  $N_1$  และ  $P_2$  ยังคงเป็นไบแอสแบบรีเวิร์ส ดังนั้นกระแส ( $I_A$ ) ที่ไหลระหว่างขั้วแอนโอดและขั้วแคโทดจึงยังเป็นเพียงกระแสรั่วไหลเท่านั้น

สภาวะฟอร์เวิร์ด (On-State) จะเกิดขึ้นเมื่อเพิ่มค่าแรงดันไบแอสแบบฟอร์เวิร์ดขึ้นไป จนกระแสรั่วไหลเริ่มเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อเพิ่มขึ้นอีกจนถึงจุด Forward Breakover Voltage หรือ  $U_{BO}$  แล้วกระแสก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดก็จะลดลงต่ำกว่า  $U_{BO}$  เข้าสู่สภาวะ Forward Conduction ซึ่งมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส ( $U_F$ ) โดยเฉลี่ย 1 - 1.5 V

ขณะเมื่อเอสซีอาร์เริ่มนำกระแส ถ้าหากมีกระแสแอโนด ( $I_A$ ) สูงกว่าค่ากระแสแลตชิ่ง (Latching Current ,  $I_L$ ) เอสซีอาร์ก็จะสามารถคงค้างสภาวะการทำงานต่อไปได้โดยมีต้องอาศัยกระแสเกตอีกต่อไป

เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสเต็มที่แล้ว ถ้ากระแสแอโนดลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding Current ,  $I_H$ ) แล้ว เอสซีอาร์ก็จะหยุดนำกระแส



รูปที่ 2 ลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

### วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

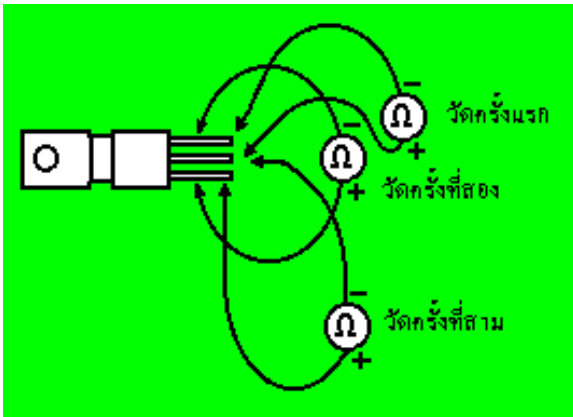
เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสแล้ว จะนำกระแสค้างอยู่ในสภาวะนี้แม้ว่ากระแสเกตจะลดลงจนเป็นศูนย์ก็ตาม การจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส นั้นต้องลดกระแสที่ไหลผ่านแอโนดให้ต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งซึ่งเอสซีอาร์ทั่วไปค่ากระแสโฮลดิ้งประมาณ 3 ถึง 20mA กระแสโฮลดิ้งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสไหล

ในสภาวะที่เอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบรีเวิร์ส จะมีกระแสรั่วไหล ( $I_R$ ) เพียงเล็กน้อยไหลจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด เมื่อกระแสเกต  $I_G = 0A$  กระแสรั่วไหลจะทำให้คุณสมบัติของรอยต่อสูงขึ้น ด้วยผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกระแสรั่วไหลจึงสูงขึ้นเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ดังนั้นค่ากระแสสูงสุดภายใต้สภาวะไบแอสแบบรีเวิร์สจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต เพื่อจำกัดผลของความร้อนภายใน แต่อย่างไรก็ตามขณะไบแอสแบบรีเวิร์สไม่ควรมีการป้อนแรงดันระหว่างขาเกตและขั้วแคโทด เมื่อป้อนแรงดันสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด Reverse Breakdown

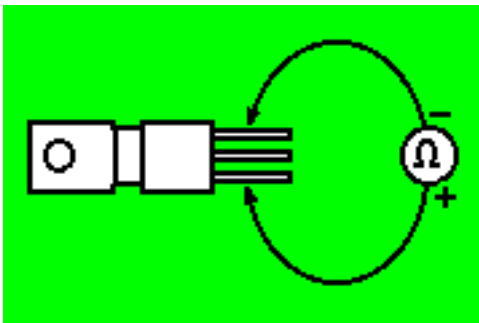
กระแสก็จะไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ เนื่องจากอุณหภูมิบริเวณรอยต่อสูงเกินค่าที่กำหนด

### การตรวจและการหาขาของ SCR

สามารถหาขาของเอสซีอาร์ได้โดยการวัดขาของ SCR คู่ใดคู่หนึ่งโดยใช้ Ohmmeter ในย่าน  $\times 100$  ดังรูป  
หมายเหตุ ตัวอย่างการวัดนี้ใช้มิเตอร์ที่มีแรงดันบวกที่ขั้วลบของมิเตอร์



การวัดแต่ละครั้งควรสลับสายของ Ohmmeter ซึ่งเราจะหาว่าความต้านทานของขาคู่ใดที่มีค่าต่ำสุด เราก็จะได้ขา G และขา K

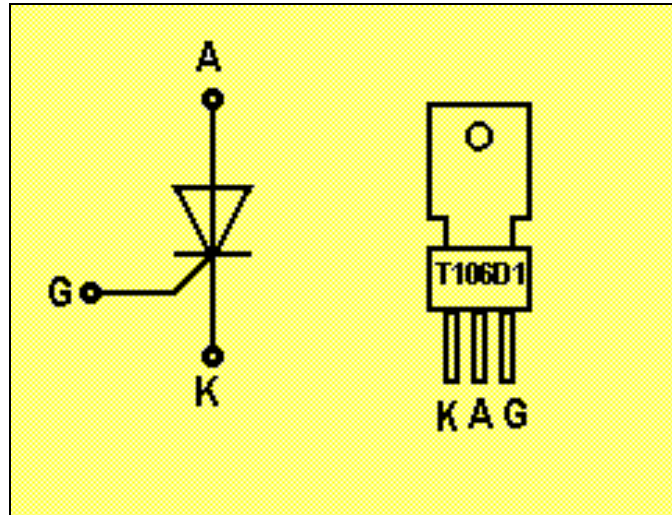


เมื่อเราได้คู่ที่มีความต้านทานต่ำ ขา G และขา K ดังภาพ เราจะสรุปได้ว่า ขาที่ต่ออยู่กับขั้วลบที่ออกจาก Ohmmeter เป็นขา G และขาที่ต่ออยู่กับขั้วบวกที่ออกจาก Ohmmeter เป็นขา K ส่วนขาที่เหลือเป็นขา A

รูปที่ 3 การวัดหาขาเอสซีอาร์

**การทดลอง**

ตอนที่ 1 ความต้านทานระหว่างขาต่าง ๆ ของ SCR



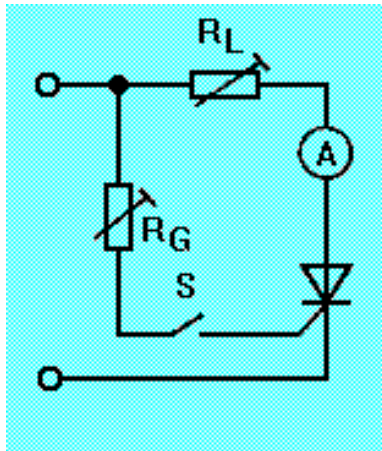
รูปที่ 4 สัญลักษณ์และลักษณะทางกายภาพของเอสซีอาร์

ตารางที่ 1 ความต้านทานในเอสซีอาร์

ขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในโอห์มมิเตอร์จากแบตเตอรี่		ความต้านทาน ( $\Omega$ )
+	-	
A	K	
K	A	
A	G	
G	A	
G	K	
K	G	

ระหว่าง  $G-K$  มีความต้านทานต่ำ เมื่อ  $G$  ได้รับแรงเคลื่อน.....  
และเมื่อ  $K$  ได้รับแรงเคลื่อน..... ( เมื่อเทียบกับ  $G$  )

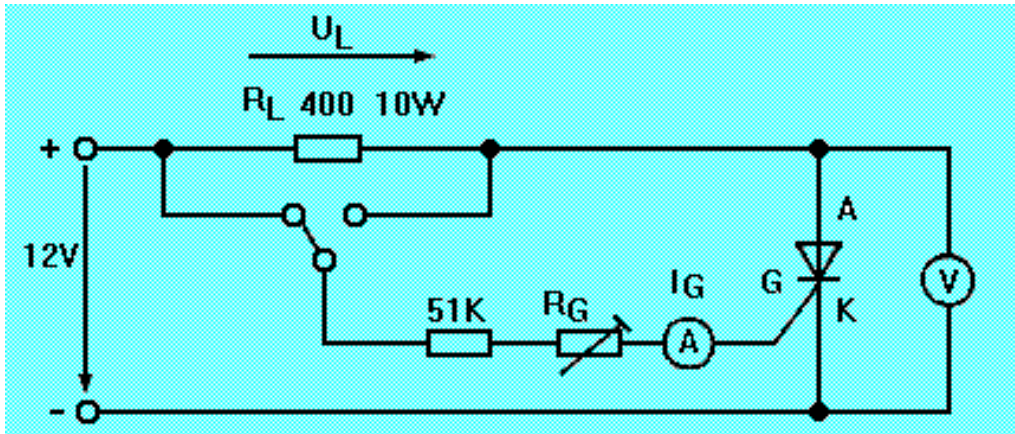
ตอนที่ 2 เอสซีอาร์ในวงจรไฟตรง :  $I_L$  และ  $I_H$



รูปที่ 5 วงจรวัดค่า  $I_L$  และ  $I_H$

- 2.1 ต่อวงจรดังรูปที่ 5 ปรับตัวต้านทาน  $R_L$  ให้มีค่า เท่ากับ  $100\Omega$  ปิดสวิตช์  $S$  แล้วปรับ  $R_G$  จนกระทั่งเอสซีอาร์นำกระแส
- 2.2 ที่  $R_G$  ตามข้อ 2.1 ปรับให้  $R_L = 2k\Omega$  ปิด  $S$  ชั่วขณะ (เอสซีอาร์นำกระแสเฉพาะเมื่อมี  $I_G$  ขณะ  $S$  ปิด) ลดค่าของ  $R_L$  (เพิ่ม  $I_A$ ) แล้วปิด  $S$  ชั่วขณะ บันทึกขนาดของ  $I_A$  ต่ำสุด ( $I_L$ ) ที่จะทำให้อเอสซีอาร์นำกระแสค้างอยู่ได้หลังจากตัด  $I_G$  (เปิด  $S$ ) ออกแล้ว
- 2.3 ที่  $R_L$  และ  $R_G$  ตามข้อ 2.1 กระตุ้นให้อเอสซีอาร์นำกระแสด้วยการปิด  $S$  แล้วเปิด  $S$  (เอสซีอาร์ยังคงนำกระแสค้างอยู่) เพิ่มค่าของ  $R_L$  (ลด  $I_A$ ) บันทึกขนาดของ  $I_A$  ต่ำสุด ( $I_H$ ) ก่อนที่เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส
- 2.4 เปรียบเทียบขนาดของ  $I_L$  และ  $I_H$

ตอนที่ 3 เอสซีอาร์ในวงจรไฟตรง :  $I_G$



รูปที่ 6 เอสซีอาร์ในวงจรไฟตรง

ตารางที่ 2 การนำกระแสของเอสซีอาร์เมื่อกระตุ้นเกต

การต่อ	$R_G (\Omega)$	$I_G (mA)$	SCR	$U_{AK}$	$U_L$
	50k				
	ลดค่าลง จาก 50k		on		
	เมื่อ SCR on ปลด $R_G$ ออก	0			

ตัดแหล่งจ่ายออกชั่วขณะแล้วเริ่มทดลองใหม่

ตารางที่ 3 การนำกระแสของเอสซีอาร์เมื่อกระตุ้นเกต

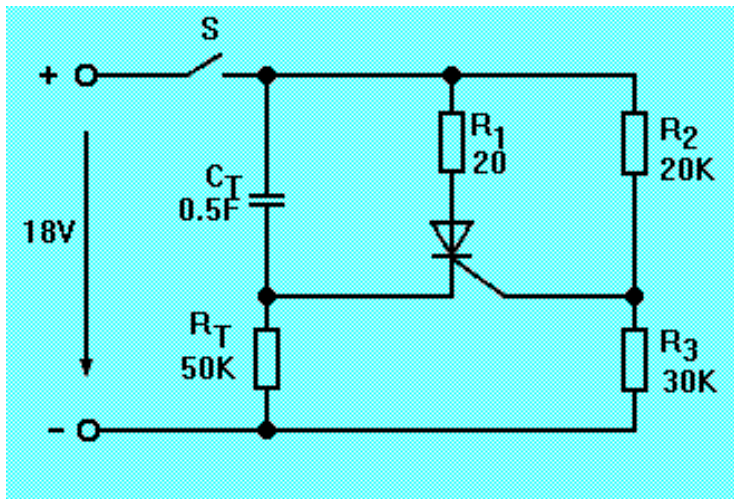
การต่อ	$R_G (\Omega)$	$I_G (mA)$	SCR	$U_{AK}$	$U_L$
	50k				
	ลดค่าลง จาก 50K		SCR ไกล on		
			SCR on แล้ว		
	เมื่อ SCR on ปลด $R_G$ ออก				

พิจารณาผลการทดลองแล้วตอบคำถามต่อไปนี้

- 3.1 เมื่อ  $R_G = 50k\Omega$  มีกระแสไหลเข้าเกตแล้วแต่เอสซีอาร์ไม่ทำงาน เพราะเหตุใด ?
- 3.2 ถ้าต้องการควบคุมให้เอสซีอาร์ทำงานเป็นลักษณะสวิทช์ ควรต่อวงจรกระตุ้นไว้ข้างหน้าหรือข้างหลังภาระ ( $R_L$ ) เพราะเหตุใด ?

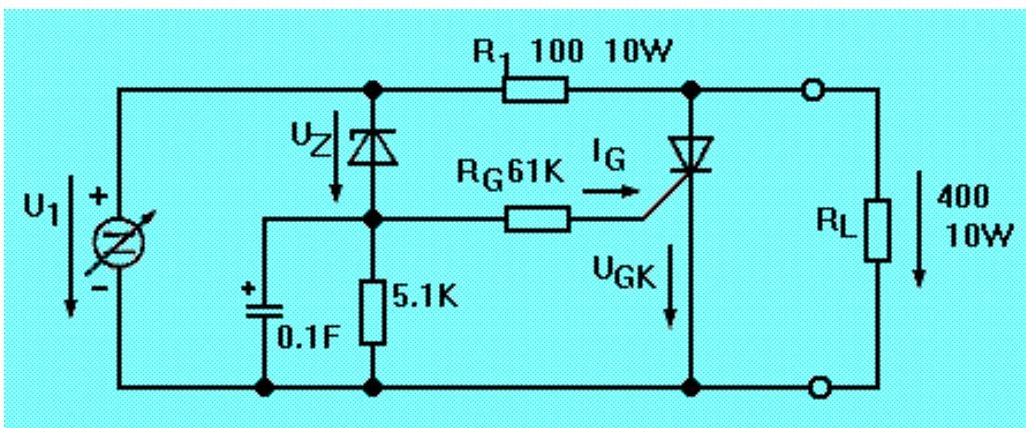
**ตอนที่ 4 Relaxation Oscillator**

- 4.1 จงศึกษาการทำงานของวงจร
- 4.2 Oscillation Frequency :  $f_o = \dots\dots\dots?$
- 4.3 เขียนกราฟ  $frequency = f(C_T)$  เมื่อ  $C_T = 0.1\mu F \dots\dots 1\mu F$
- 4.4 ต่อ Pulse transformer แทน  $R_1$  แล้วสังเกตรูปคลื่นทางด้านขด Secondary



รูปที่ 7 Relaxation oscillator

**ตอนที่ 5 Over Voltage Protection**



รูปที่ 8 Over voltage protection



5.1 วัดแรงเคลื่อนที่ภาระ ( $U_L$ ) ในขณะที่ปรับ  $U_1$  ให้สูงขึ้น จนกระทั่งเอสซีอาร์ทำงาน วงจรนี้จำกัดขนาดของแรงเคลื่อนที่ภาระให้มีขนาดไม่เกินเท่าไร ?

$$U_{L(\max)} = \dots\dots\dots V$$

5.2 ในขณะที่เอสซีอาร์นำกระแส จงวัดขนาดของแรงเคลื่อน ต่อไปนี้

$$U_Z = \dots\dots\dots V$$

$$U_{GK} = \dots\dots\dots V$$

$$U_L = \dots\dots\dots V$$

เพราะเหตุใด แรงเคลื่อนที่ภาระจึงไม่เท่ากับ  $0V$

5.2 การคำนวณหาขนาดของกระแส  $I_G$  ที่ทำให้เอสซีอาร์ทำงาน เพื่อจำกัดขนาดของแรงเคลื่อนตกคร่อมภาระให้อยู่ที่  $U_{L(\max)}$

$$U_L = \frac{R_L}{(R_1 + R_L)} \cdot U_1$$

$$U_1 = \frac{U_{L(\max)} \cdot (R_1 + R_L)}{R_L} = \dots\dots\dots V$$

$$I_G = \frac{U_1 - U_Z - U_{GK}}{R_G} = \dots\dots\dots V$$

5.4 จงคำนวณค่า  $R_G$  เมื่อต้องการจำกัดให้  $U_{L(\max)}$  มีขนาดไม่เกิน  $10V$

5.5 ต่อ  $R_G$  ที่คำนวณได้ในข้อ 5.4 ลงในวงจร , ปรับ  $U_1$  เพื่อวัดหา  $U_{L(\max)}$

5.6 จงทดลองวงจรและบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4 แล้วเขียนกราฟ  $U_{L(\max)} = f(R_G)$

ตารางที่ 4

$R_G$ ( $k\Omega$ )	$U_{L(\max)}$ (V)
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	

สรุปผลการทดลองทั้งหมด