# บทที่ 3
# เอสซีอาร์และการใช้งาน

เอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่รู้จักกันแพร่หลาย และสามารถที่นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่เกี่ยวกับการจ่ายกำลังงานสูงๆ หรืออิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม เอสซีอาร์ตัวแรกผลิตโดยบริษัทจีอี (GE) ในปี พ.ศ. 2500 โดยมีขนาดที่ทนกระแสได้สูงถึง 16 แอมป์และทนแรงดันได้สูงถึง 200 โวลต์ แต่เอสซีอาร์ในยุคแรก ๆ มีราคาที่ค่อนข้างแพงมากและไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ต่อจากนั้นอีกไม่นานก็ได้มีบริษัทที่นำหน้าด้านสารกึ่งตัวนำอีกหลายบริษัทได้ทุ่มการค้นคว้าและทำการผลิตเอสซีอาร์ออกสู่ตลาด จนในปัจจุบันเอสซีอาร์มีขนาดทนกระแสได้สูงมากและราคาก็ลดลงมาอย่างมาก

ในปัจจุบันการประยุกต์เอสซีอาร์เป็นไปอย่างกว้างขวางและใช้งานใหม่ๆ ได้มาก การพัฒนาเป็นไปอย่างไม่หยุดยั้งจนเราสามารถนำเอาเอสซีอาร์ไปใช้ควบคุมการผลิตของอุตสาหกรรม เช่นการควบคุมมอเตอร์ การควบคุมแสงสว่าง ใช้แทนรีเลย์และนับวันเอสซีอาร์ยิ่งมีราคาที่ถูกลง ทำให้การใช้งานก็ยิ่งกว้างขวางมากยิ่งขึ้น

ในบทนี้จะกล่าวถึง ไทริสเตอร์ โครงสร้างของเอสซีอาร์ หลักการทำงานของเอสซีอาร์ สภาวะการทำงานของเอสซีอาร์ วิธีการนำกระแสและหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ รายละเอียดของขีดจำกัดของเอสซีอาร์

## 3.1 ไทริสเตอร์

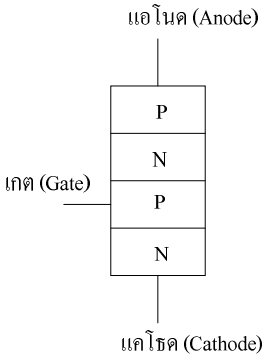
ไทริสเตอร์ เป็นชื่อของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ON และ OFF ได้ โดยปกติโครงสร้างไทริสเตอร์จะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อ P-N-P-N ไทริสเตอร์อาจจะมีขาต่อให้ใช้งานได้ตั้งแต่ 2 ขา 3 ขาและ 4 ขาและอาจจะเป็นชนิดที่นำกระแสในทิศทางเดียวหรือสองทิศทางก็ได้

ในบรรดาอุปกรณ์ที่อยู่ในจำพวกของไทริสเตอร์นั้น เอสซีอาร์อาจจะเป็นอุปกรณ์ที่มีผู้รู้จักกันดีมากที่สุด และเอสซีอาร์ก็เป็นอุปกรณ์ที่นำกระแสได้ทางเดียวเหมือนกับไดโอดแต่มีสามขา ขาที่เพิ่มมาจึงเป็นขาที่ควบคุมอีกขาหนึ่ง ไทรีสเตอร์ยังประกอบด้วยอุปกรณ์อย่างอื่นอีกหลายอย่าง เช่น เกทเทรินออนสวิทช์ (Gate Turn on Switch) หรือใช้ตัวย่อว่า GTO โปรแกรมเมเบิลยูนิจังชั่นทรานซิสเตอร์ (Programmable Unijunction Transistor) หรือ PUT เป็นต้น

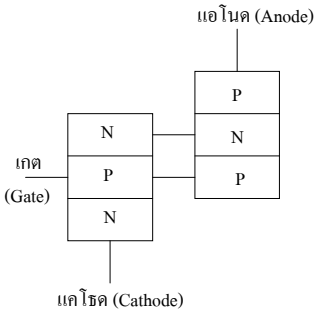
## 3.2 โครงสร้างของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้นและต่อขาออกมาได้เป็นขั้วได้สามขั้ว คือ ขาแอโนด ขาแคโธด และขาเกต ดังภาพที่ 3.1 ก) การทำงานของเอสซีอาร์มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับไดโอดที่มี 2 สถานะคือ สถานะนำกระแสและสถานะไม่นำกระแส

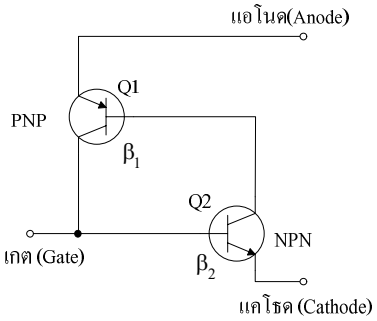
เมื่อทำการพิจารณาจากภาพที่ 3.1 ก) จะเห็นว่าจากลักษณะของโครงสร้าง PNPN สามารถแยกเอสซีอาร์ออกเป็นทรานซิสเตอร์ 2 ตัวได้ โดยทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งจะเป็นชนิด PNP และอีกชนิดเป็น NPN ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ข) และถ้าเขียนวงจรทรานซิสเตอร์ทั้งสองที่ประกอบกันก็จะได้ดังภาพที่ 3.1 ค) ขั้วแอโนดของเอสซีอาร์จะต่อกับสารชนิด P ที่อยู่ชั้นนอกสุด ขาแคโธดจะต่อกับสารชนิด N ที่อยู่ชั้นนอกสุดเช่นกัน ส่วนขาเกตจะต่อกับสารชนิด P ชั้นใน ถ้าดูตามวงจรสมบรูณ์แล้วขาแอโนดก็คือ ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ขาแคโธดก็คือขาอิมิตเตอร์ของทรานซิส เตอร์ชนิด NPN และขาเกตของเอสซีอาร์ก็คือขาเบสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ซึ่งต่ออยู่กับขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ส่วนขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ PNP ลักษณะการต่อแบบนี้จะเป็นการกลับแบบบวกถ้าหากว่าให้ผลคูณของอัตราขยายกระแส $\beta_1$ และ $\beta_2$ ซึ่งเป็นอัตราขยายกระแสของ $Q_1$ และ $Q_2$ มีค่าที่มากกว่าหนึ่งแล้วจะทำให้การป้อนกลับอยู่ในลักษณะที่จะเพิ่มกระแสให้ทำงานมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะเป็นการป้อนกลับแบบบวก แต่ถ้าหากให้ $\beta_1$ และ $\beta_2$ มีค่าที่น้อยกว่าหนึ่ง วงจรจะมีเสถียรภาพไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด




ก) แสดงโครงสร้างของเอสซีอาร์ชนิดพี



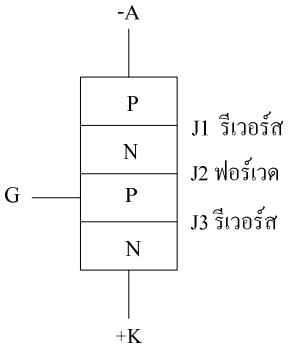

ข) โครงสร้างของเอสซีอาร์แทนด้วยทรานซิสเตอร์สองตัว

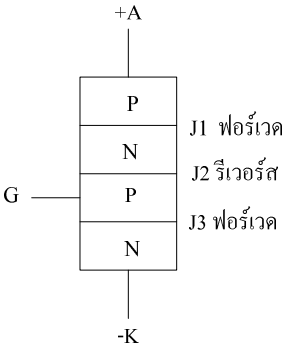


ค) แสดงวงจรสมมูลย์ ง) เอสซีอาร์เบอร์ 2P4M

ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของเอสซีอาร์และวงจรสมมูลย์ของเอสซีอาร์แทนด้วยทรานซิสเตอร์
ที่มา (ชาญวิทย์ หาญรินทร์, 2538, หน้า 55)

## 3.3 หลักการทำงานของเอสซีอาร์



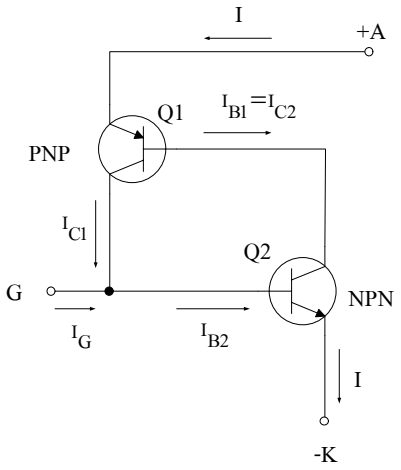

ก) การไบแอสแบบรีเวอร์ส ข) การไบแอสแบบฟอร์เวด

ภาพที่ 3.2 การไบแอสของเอสซีอาร์

1. การไบแอสแบบรีเวอร์ส (Reverse Bias) คือ การป้อนศักดิ์ไฟฟ้าลบให้กับขั้วแอโนด และป้อนศักดิ์ไฟบวกให้กับขั้วแคโธด เอสซีอาร์จะไม่มีการนำกระแสถึงแม้นจะทำการป้อนสัญญาณควบคุมให้กับขาเกตก็ตาม (ชาญวิทย์ หาญรินทร์ , 2538 : 57)

2. การไบแอสแบบฟอร์เวดไบแอส (Forward Bias) คือ การป้อนศักดิ์ไฟฟ้าบวกให้กับขั้วแอโนดและศักดิ์ไฟฟ้าลบให้กับขั้วแคโธด แต่เอสซีอาร์จะไม่นำกระแสจนกว่าขาเกตจะได้รับศักดิ์ไฟฟ้าบวกเมื่อเทียบกับขั้วแคโธด เอสซีอาร์ก็จะยอมนำกระแสและยอมให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโธด โดยมิต้องอาศัยกระแสที่เกตอีกต่อไป (ชาญวิทย์ หาญรินทร์ , 2538 : 57)




ภาพที่ 3.3 แบบจำลองเอสซีอาร์ด้วยทรานซิสเตอร์

จากภาพที่ 3.3 ถ้าให้แรงดันที่แอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโธด และถ้าแรงดันที่เกตมีค่าเป็นลบจะทำให้เกิดการไบแอสกลับรอยต่อของทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 อยู่ในสภาวะไม่นำกระแส คือไม่มีกระแสไหลเข้าทางคอลเลคเตอร์ นอกจากกระแสรั่วไหลเท่านั้น ดังนั้นเอสซีอาร์ก็จะไม่มีกระไหลจากแอโนดไปยังแคโธดได้ ความต้านทานระหว่างแอโนดกับแคโธดจึงมีค่าที่สูงมาก ครั้งถ้าให้แรงดันที่เกตมีค่าเป็นบวกหรือให้กระแสไหลเข้าทางขาเกตจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 นำกระแสเป็นเหตุให้กระแสคอลเลคเตอร์มีค่าสูงสุด และเนื่องจากกระแสคอลเลคเตอร์ของ Q2 เป็นกระแสเบสของ Q1 จึงเท่ากับว่าเป็นการทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 นั้นมีการนำกระแสด้วย เป็นผลทำให้กระแสที่ไหลมาจากแอโนดยิ่งมีค่าที่มากขึ้น จึงทำให้กระแสเบสของ Q2 ก็เพิ่มยิ่งขึ้นอีก ซึ่งก็เป็นการป้อนกลับแบบบวกทำให้กระแสไหลผ่านจากแอโนดมายังแคโธดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะถูกจำกัดค่าโดยวงจรภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานระหว่างแอโนดกับแคโธดจึงมีค่าต่ำมาก

จะเห็นว่าเอสซีอาร์จะทำงานเมื่อมีกระแสทริกให้กับทรานซิสเตอร์ Q2 หลังจากที่ทริกแล้วกระแสจะไหลระหว่างแอโนดกับแคโธดตลอดเวลา และไม่จำเป็นที่จะต้องคงกระแสทริกไว้เพราะกระแสเบสของ Q2 สามารถมาจากกระแสคอลเลคเตอร์ของ Q2 ได้ การที่เอสซีอาร์จะทำงานได้จึงขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไบแอส ระหว่างเกตกับแคโธดและแรงดันไบแอสตรงที่ขาแอโนดและ

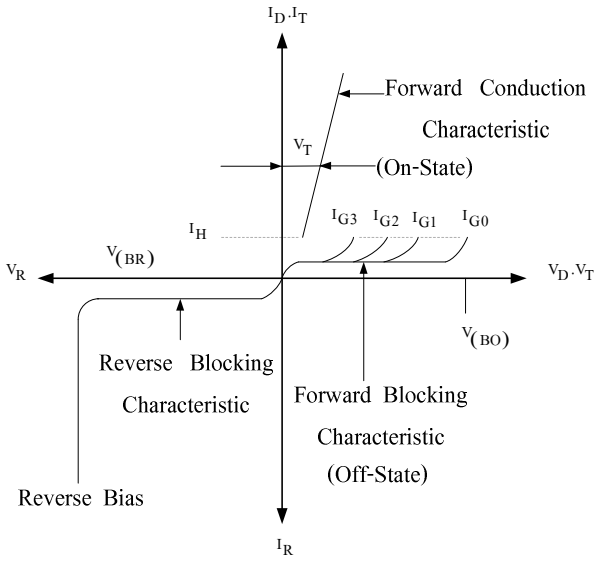
ขาแคโธด แรงดันที่ป้อนให้กับเอสซีอาร์จะต้องมีแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาแคโธด เท่านั้นที่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้

## 3.4 สภาวะการทำงานของเอสซีอาร์

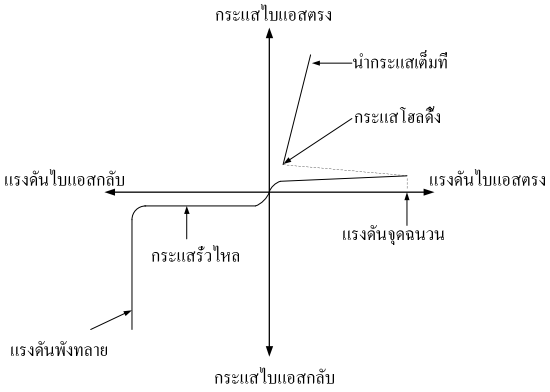
เอสซีอาร์สามารถที่จะแบ่งการทำงานได้ 3 สภาวะคือ สภาวะเอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบรีเวิร์ส สภาวะเอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบฟอร์เวด สภาวะฟอร์เวดคอนดัคชั่น

1. สภาวะ Reverse Blocking เอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบรีเวอร์ส ($V_R$) จะมีกระแสรั่วไหล ($I_R$) เพียงเล็กน้อยไหลจากขั้วแคโธดไปยังขั้วแอโนดเมื่อกระแสเกต ($I_G = 0$) กระแสรั่วไหลจะทำให้อุณหภูมิของรอยต่อสูงขึ้น ด้วยผลของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสรั่วไหลจะสูงขึ้น ดังนั้นค่ากระแสสูงสุดภายใต้สภาวะไบแอสแบบรีเวอร์สจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตเพื่อจำกัดผลของความร้อนภายใน แต่อย่างไรก็ตามขณะไบแอสแบบรีเวอร์สไม่ควรมีการป้อนแรงดันระหว่างขาเกตและขาแคโธดเช่นเดียวกับไดโอดในช่วงไบแอสแบบรีเวอร์ส เมื่อป้อนแรงดันสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดรีเวอร์สเบรกดาวน์ (Reverse Break Down) กระแสก็จะไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งสามารถทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ เนื่องมาจากอุณหภูมิตรงบริเวณรอยต่อสูงเกินค่าที่กำหนดดังภาพที่ 3.5

2. สภาวะฟอร์เวด บล็อกกิ้ง (Forwards Blocking) หรือ ออฟ สเตท (Off State) เอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบฟอร์เวด ($V_D$) แต่บริเวณรอยต่อ $J_2$ ระหว่างสาร $N_1$ และ $P_2$ ยังคงเป็นไบแอสแบบรีเวอร์สไบแอส ดังนั้นกระแส ($I_D$) ที่ไหลระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโธดจึงยังเป็นเพียงกระแสรั่วไหลเท่านั้นดังภาพที่ 3.4




ภาพที่ 3.4 กราฟคุณสมบัติของเอสซีอาร์




ภาพที่ 3.5 กราฟคุณสมบัติของเอสซีอาร์เมื่อยังไม่มีการทริกด้วยกระแสเกต
ที่มา (ชาญวิทย์ หาญรินทร์, 2538, หน้า 60)

3. สภาวะฟอร์เวด คอนดัคชั่น (Forward Conduction) หรือ ออนสเตท (On-State) เมื่อเพิ่มค่าแรงดันไบแอสแบบฟอร์เวดขึ้นไปจนกระแสรั่วไหลเริ่มเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มขึ้นอีกจนถึงจุดฟอร์เวดเบรกโอเวอร์โวลต์เตท (Forward Breakover Voltage) หรือ $V_{(BO)}$ แล้วกระแสก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแอโนดและแคโธดก็จะลดลงต่ำกว่า $V_{(BO)}$ เข้าสู่สภาวะฟอร์เวด คอนดัคชั่น (Forward Conduction) ซึ่งมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส ( $V_T$ ) โดยเฉลี่ยประมาณ 1V-1.5V ดังภาพที่ 3.4

ขณะที่เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสถ้าหากมีกระแสแอโนด ( $I_A$ ) สูงกว่าค่ากระแสแลทชิ่ง (Latching Current : $I_L$ ) เอสซีอาร์ก็จะสามารถคงค้างสภาวะการทำงานต่อไปได้โดยมิต้องอาศัยกระแสเกตอีกต่อไป และเมื่อเอสซีอาร์นำกระแสเต็มที่แล้ว ถ้ากระแสแอโนดที่ถูกลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding Current : $I_H$ ) แล้วเอสซีอาร์ก็จะหยุดนำกระแสดังภาพที่ 3.4

## 3.5 วิธีการนำกระแสและหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

### 3.5.1 การควบคุมให้เอสซีอาร์นำกระแสในขณะไบแอสแบบฟอร์เวดสามารถทำได้ดังนี้

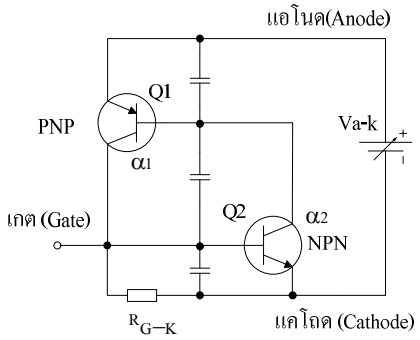
1. การป้อนกระแสเกต วิธีนี้เป็นที่นิยมในการควบคุมให้เอสซีอาร์นำกระแส เมื่อทำการป้อนศักดิ์ไฟฟ้าบวกให้กับขาเกตเทียบกับขั้วคาโถดแล้ว ชิ้นสารชนิดพีไทพ์ที่ขาเกตนั้นจะสูญเสียคุณลักษณะของสารชนิดพีไทพ์ และกระแสเกตยิ่งมีมากเท่าไรค่าแรงดันเบรกโอเวอร์ทางฟอร์เวดก็จะลดลง เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสเต็มที่กระแสเกตก็ไม่จำเป็นอีกต่อไป แต่อย่างไรก็ตามถ้าตัดกระแสเกตออกขณะเมื่อกระแสที่ไหลผ่านระหว่างขั้วอาโนดและขั้วแคโถดมีค่าต่ำกว่าจุดที

เรียกว่ากระแสแลทชิ่งแล้ว เอสซีอาร์ก็จะไม่นำกระแสต่อไป ดังนั้นรูปคลื่นของสัญญาณที่ขาเกตควรมีความกว้างพอที่จะทำให้กระแสสูงกว่ากระแสแลทชิ่งเสียก่อน โดยทั่วไปกระแสแลทชิ่งจะสูงกว่ากระแสโฮลดิ้งอยู่ประมาณ 3 เท่า (ชาญวิทย์ หาญรินทร์, 2538 : 61)

2. การใช้แสง เอสซีอาร์แบบที่ใช้แสงเป็นตัวจุดฉนวนที่มีชื่อเฉพาะที่ว่า แอลเอเอสซีอาร์ LASCR (Light Activated SCR) สร้างขึ้นโดยให้มีช่องโปร่งแสงเพื่อให้แสงลอดไปถึงสารที่เป็นขาเบสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น ด้วยคุณลักษณะรอยต่อพีเอ็นที่สามารถเกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นได้เมื่อมีพลังงานแสงตกกระทบ เมื่อมีคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นจำนวนมากก็จะเกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวกและเปิดให้เอสซีอาร์นำกระแส

3. การใช้แรงดันไฟสูง ขณะที่เพิ่มศักดิ์ไบแอสแบบฟอร์เวดให้สูงขึ้นมากพอที่จะทำให้บริเวณรอยต่อเกิดเบรกดาวน์ (Breakdown) แล้วเอสซีอาร์จะเปลี่ยนไปยังสภาวะการนำกระแสโดยไม่ต้องมีกระแสเกตจึงเป็นสภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง โดยทั่วไปแรงดันเบรกโอเวอร์ (Breakover Voltage) ทางฟอร์เวดจะมีค่ามากกว่าแรงดันเบรกดาวน์ทางรีเวอร์ส

4. การใช้ความร้อน จากภาพที่ 3.6 ถ้าอุณหภูมิเอสซีอาร์สูงจะมีกระแสรั่วไหลสูงขึ้นและทำให้ $\alpha_1 + \alpha_2$ เพิ่มขึ้นตามปฏิกิริยาลูกโซ่กระแสรั่วไหลอาจจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น $80^\circ$ C ดังนั้น $\alpha_1 + \alpha_2$ เข้าใกล้ 1 มากขึ้นทำให้เอสซีอาร์สามารถเข้าสู่สภาวะนำกระแสได้จึงเป็นสภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงเมื่อ $\alpha_1, \alpha_2$ เท่ากับอัตราการขยายกระแสของทรานซิสเตอร์



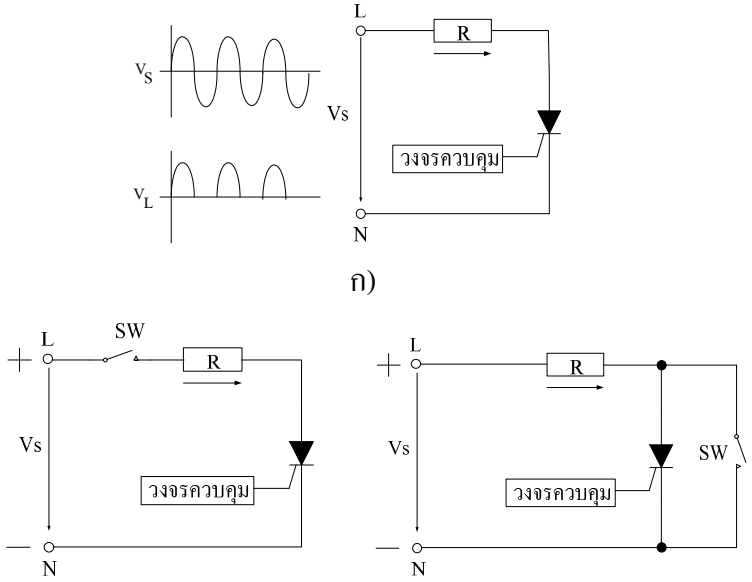

ภาพที่ 3.6 แบบจำลองทรานเซียนต์ของเอสซีอาร์
ที่มา (ชาญวิทย์ หาญรินทร์, 2538, หน้า 63)

### 3.5.2 วิธีการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์

เมื่อเอสซีอาร์อยู่ในสภาวะนำกระแสเต็มที่โดยมีกระแสแอโนดสูงกว่ากระแสโฮลดิ้งแล้ว การตัดกระแสเกตออกจะไม่สามารถควบคุมให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสนั้นได้ การจะทำให้

เอสซีอาร์หยุดนำกระแสได้โดยการลดกระแสแอโนด ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง เป็นเวลานานพ เรียกว่าการหยุดนำกระแสหรือค่าคอมมิวเตชั่น (Commutation) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

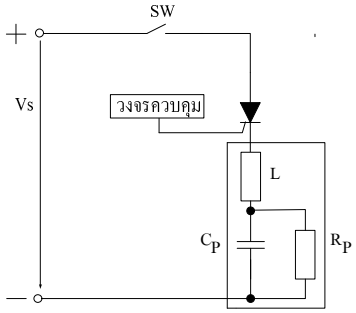
1. วิธีธรรมชาติ (Natural Commutation) ถ้าเอสซีอาร์ทำงานอยู่ในวงจรไฟสลับ กระแสจะลดลงสู่ศูนย์เมื่อครบครึ่งไซเคิลบวกและได้รับแรงดันไบแอสแบบรีเวอร์สไบแอสในครึ่งไซเคิลต่อมา เอสซีอาร์ก็จะหยุดนำกระแสได้เนื่องจากเป็นธรรมชาติของแหล่งจ่ายไฟสลับเรียกว่า เนทูรัล คอมมิวเตชั่น (Natural commutation) หรือไลน์คอมมิวเตชั่น (Line Commutation) การที่เอสซีอาร์จะถูกจุดฉนวนให้นำกระแส ๆ ครึ่งไซเคิลบวกดังภาพที่ 3.7 ก) แต่เมื่อเอสซีอาร์ทำงานอยู่ในวงจรไฟกระแสตรง ทำให้เอสซีอาร์ได้รับไบแอสแบบฟอร์เวดตลอดเวลา การลดกระแสแอโนดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งจะทำโดยการโยกสวิตช์ตัดวงจรออก ดังภาพที่ 3.7 ข) หรือแบ่งกระแสผ่านวงจรขนานกับเอสซีอาร์ ดังภาพที่ 3.7 ค)




ภาพที่ 3.7 ก) รูปคลื่นและวงจรของไลน์คอมมิวเตชั่น (Line Commutation)
ข) และ ค) แสดงการหยุดนำกระแสด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Commutation)

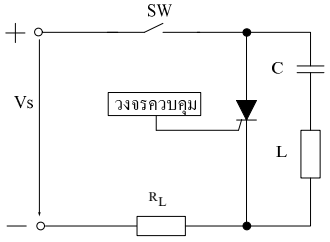
2. ใช้วิธีบังคับ (Forced Commutation) การควบคุมให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกที่มิได้เป็นทางไหลผ่านของกระแสโหลดตามปกตินี้เรียกว่า ฟอร์ชคอมมิวเตชั่น (Forced Commutation) ซึ่งจะสร้างแรงดันไบแอสให้แก่เอสซีอาร์ด้วยตัวเก็บประจุ วงจรอนุกรม LC หรือแหล่งจ่ายพัลส์จากภายนอกซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1. การรีโซแนนซ์ของโหลดหรือ คลาสเอ (Class A Commutation) ถ้าส่วนประกอบของโหลดมีตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวที่นำต่อกันแบบวงจรอนุกรม การเกิดรีโซแนนซ์จะมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าที่สูงประมาณ 2 เท่าของแรงดันจากแหล่งจ่าย ไฟฟ้า ทำให้เอสซีอาร์ได้รับแรงดันไบแอสแบบรีเวอร์สก็จะหยุดนำกระแสได้ แต่การที่จะให้มีการเริ่มนำกระแสใหม่ จะต้องรอให้ประจุที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุหมดไปเสียก่อนดังภาพที่ 3.8



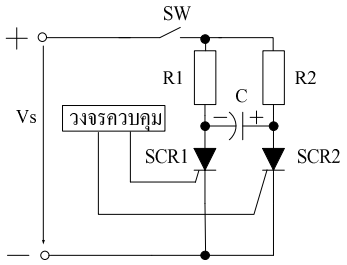

ภาพที่ 3.8 แสดงการหยุดนำกระแสด้วยการรีโซแนนซ์ของโหลด
ที่มา (ชาญวิทย์ หาญรินทร์, 2538, หน้า 65)

2. วงจรอนุกรม LC ขนานกับเอสซีอาร์หรือคลาสบีคอมมิวเตชั่น (Class B Commutation) ใช้วงจร LC ต่อขนานกับเอสซีอาร์ตามภาพที่ 3.9 ขณะเริ่มแรกป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรก่อน ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุไว้เป็นบวก เมื่อเอสซีอาร์ถูกทำให้นำกระแสตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านเอสซีอาร์และตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นตัวเก็บประจุจะมีการเปลี่ยนขั้วต่อมา กระแสรีโซแนนซ์ก็จะเปลี่ยนทิศทางสวนกับกระแสโหลด เมื่อกระแสรีโซแนนซ์มากกว่ากระแสโหลดเอสซีอาร์ก็จะทำให้หยุดนำกระแสได้ ถ้าหากว่าโหลดมีค่าความต้านทานต่ำมาก ๆ กระแสรีโซแนนซ์จะมีการแยกไหลโดยผ่านโหลด จึงอาจทำให้มีกระแสรีโซแนนซ์ที่ผ่านเอสซีอาร์ไม่สามารถทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส



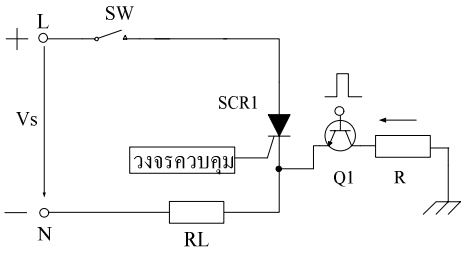

ภาพที่ 4.9 วงจรการหยุดนำกระแสด้วยการต่อวงจรอนุกรม LC ขนานกับเอสซีอาร์

3. การต่อตัวเก็บประจุคร่อมระหว่างเอสซีอาร์ 2 ตัวหรือคลาสซีคอมมิวเตชั่น (Class C Commutation) เอสซีอาร์ทั้งสองตัวจะนำกระแสกันคนละช่วงเวลา ถ้าให้ SCR1ทำงานก่อนตัวเก็บประจุมีประจุบวกอยู่ทางขวามือและถ้าจุดฉนวนให้ SCR2 นำกระแสตัวเก็บประจุจะคายประจุออกมาทำให้ SCR1 หยุดนำกระแสและตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนขั้ว เมื่อจุดฉนวนให้ SCR1 นำกระแสการคายประจุของตัวเก็บประจุจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสดังภาพที่ 3.10




ภาพที่ 3.10 วงจรการหยุดนำกระแสด้วยการต่อตัวเก็บประจุคร่อมระหว่างเอสซีอาร์
ที่มา (ชาญวิทย์ หาญรินทร์, 2538, หน้า 67)

4. การให้แหล่งจ่ายพัลส์จากภายนอก ขณะที่เอสซีอาร์นำกระแสอยู่ถ้ามีการป้อนพัลส์เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ก็จะมีกระแสไหลจาก $V_1$ ผ่านทรานซิสเตอร์สวนทางกับกระแสแอโนดเอสซีอาร์ก็จะหยุดนำกระแสดังภาพที่ 3.11




ภาพที่ 3.11 วงจรการหยุดนำกระแสโดยใช้แหล่งจ่ายพัลส์จากภายนอก

## 3.6 รายละเอียดของขีดจำกัดของเอสซีอาร์

รายละเอียดของขีดจำกัดก็คือสเปคของเอสซีอาร์ โดยปกติแล้วการออกแบบวงจรเอสซีอาร์นั้นจะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดเหล่านี้ เพราะขีดจำกัดเหล่านี้จะบอกถึงช่วงที่เอสซีอาร์ทำงานโดยไม่เกิดความเสียหาย ขีดจำกัดของเอสซีอาร์ที่สำคัญมีดังนี้

1. แรงดันพังขณะไบแอสตรง (Forward Breakdown Voltage) คือ แรงดันที่ป้อนขั้วบวกให้กับแอโนดและลบให้กับแคโธด เอสซีอาร์จะนำกระแสได้และถ้าไม่มีตัวจำกัดกระแสจากภายนอกเอสซีอาร์ก็จะพังทันที การนำกระแสของเอสซีอาร์นี้ไม่ต้องมีการทริก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันพังนี้ใช้ $BV_F$ หรือ $V_{BO}$ ในการใช้งานเอสซีอาร์มักจะไม่ให้เอสซีอาร์นำกระแสด้วยการป้อนแรงดันนี้ เพราะจะเป็นการเสี่ยงต่อการเสียหายของเอสซีอาร์อยู่มาก ดังนั้นเมื่อใช้งานที่แหล่งจ่ายไฟสูงสุด 400 โวลต์ จะต้องให้แรงดันค่านี้มีค่าที่มากกว่า 400 โวลต์

2. แรงดันบล็อกกิ้งขณะไบแอสตรง (Forward Blocking Voltage) แรงดันบล็อกกิ้งขณะที่ไบแอสตรง คือค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเอสซีอาร์ซึ่งไม่ทำให้มันนำกระแส เอสซีอาร์ที่มีแรงดันบล็อกกิ้งขณะไบแอสตรง 400 โวลต์แต่สูงกว่า 400 โวลต์ก็ไม่ได้ แต่ถ้าเอสซีอาร์มีค่าแรงดันไบแอสตรงจุดฉนวน 400 โวลต์จะใช้กับแรงดันไฟได้สูงสุด 400 โวลต์ไม่ได้ สัญลักษณ์ที่ใช้จะใช้เป็น $V_{EOM}$, $V_{F(OFF)}$, $V_{FX}$

3. กระแสไบแอสตรงสูงสุด (Maximum Forward Current) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ในขณะที่นำกระแสจะมีค่าที่แปรตามอุณหภูมิที่ขั้วต่อของเอสซีอาร์ โดยปกติกระแสนี้จะเป็นกระแสที่ทำให้รอยต่อเกิดความร้อนจนเอสซีอาร์พังได้ ดังนั้นในขณะที่ใช้งานจึงต้องเลือกค่ากระแสไบแอสตรงสูงสุดให้พอเหมาะ จากข้อแนะนำของผู้ผลิตได้กล่าวไว้ว่าถ้าให้กระแสใช้งานที่มีค่าเฉลี่ย 1 แอมแปร์จะต้องเลือกเอสซีอาร์ที่มีกระแสไบแอสตรงสูงสุดอย่างน้อย 1.75 แอมแปร์ และจะต้องมีแผ่นระบายความร้อนค่ากระแสนี้ใช้สัญลักษณ์ย่อว่า $I_{FMAX}$

4. กระแสจุดฉนวนเกต (Gate Trigger Current) เป็นกระแสที่ใช้ในการทริกหรือจุดฉนวนให้เอสซีอาร์ทำงาน โดยใช้สัญลักษณ์ย่อว่า $I_{GT(MIN)}$ ค่ากระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิได้บ้าง

5. กระแสโฮลดิ้ง (Holding Current) เป็นค่ากระแสที่ใส่เข้าทางขาเกตเมื่อเทียบกับขาแคโธด แรงดันที่ให้ที่เกตนี้ถ้ามีค่าเท่ากับแรงดันจุดฉนวน จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแส ค่าแรงดันนี้ใช้สัญลักษณ์ย่อว่า $I_H$

6. แรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Voltage) โดยปกติถ้าทำการไบแอสกลับระหว่างขาแอโนดและขาแคโธดจะทำให้เอสซีอาร์เหมือนกับไดโอดธรรมดาตัวหนึ่ง ดังนั้นถ้าหาก

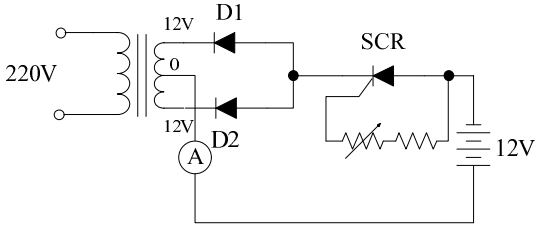
ให้แรงดันไบแอสกลับนี้สูงมากจนเกินไปแล้วเอสซีอาร์ก็จะพังเสียหายได้ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดคือ $V_R$

7. แรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกต (Gate Reverse Gate Voltage) ในสภาวะที่เอสซีอาร์ได้รับไบแอสกลับจะทำให้เอสซีอาร์ไม่นำกระแส การที่เอสซีอาร์ไม่นำกระแสก็หมายความว่ายังไม่มีการทริกที่ขาเกตของเอสซีอาร์ ถ้าหากให้เกตกับแคโธดมีแรงดันไบแอสกลับเอสซีอาร์จะมีแรงดันสูงสุดค่าหนึ่งที่ทำให้รอยต่อเกตพัง ค่าแรงดันนี้เรียกว่าแรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกต ใช้สัญลักษณ์ย่อว่า $V_{RGM}$

8. กระแสเกตสูงสุด (Maximum Gate Current) ในการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสนั้นทำได้โดยการให้กระแสที่ขาเกตของเอสซีอาร์ ค่ากระแสนี้จะมีขอบเขตจำกัดทางด้านค่าสูงสุด นั่นคือค่ากระแสสูงสุดที่ทำให้เอสซีอาร์พังได้สัญญาลักษณ์ที่ใช้คือ $V_{G_{max}}$

## 3.7 การประยุกต์ใช้งาน

การนำเอาเอสซีอาร์มาใช้งานสามารถทำได้ทั้งในวงจรไฟตรงและไฟสลับ แต่ในตัวอย่างเป็นการเอสซีอาร์มาใช้ในวงจรไฟตรงดังภาพที่ 3.12 เป็นวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยทำให้กำลังที่จ่ายให้กับวงจรหยุดจ่ายให้กับแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็ม หม้อแปลงที่ใช้จะเป็นแบบแปลงลงหรือที่เรียกว่าหม้อแปลงแบบสเตปดาวน์ (Step-down Transformer) โดยจ่ายแรงดันทุติยภูมิขนาด 28V ซึ่งทางด้านทุติยภูมิจะมีเซ็นเตอร์แท็ป ไดโอด D1 และ D2 จะต่อเป็นเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น




ภาพที่ 3.12 วงจรชาร์จแบตเตอรี่แบบหยุดชาร์จอัตโนมัติ

การทำงานเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็มจะมีแรงดันตกคร่อม 14V หากแบตเตอรี่ถูกชาร์เกินค่านี้อาจจะเสียหายได้ ซึ่งแรงดันในทางอุดมคติในการชาร์จแบตเตอรี่จะมีค่าที่ 13.8V ไดโอดที่สองตัวทำหน้าที่เปลี่ยนจากไฟสลับให้เป็นไปตรง กระแสที่ป้อนเข้าที่ขาเกตของเอสซีอาร์จะพิจารณาจากค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมที่ขาเกตในวงจรและผลต่างแรงดันระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับแรงดัน

เทอร์มินัลของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่อยู่ในสภาวะโลว์ชาร์จผลต่างของแรงดันจะมากพอที่จะทำให้กระแสที่ไหลมายังขาเกตมากพอที่จะทำให้เอสซีอาร์ทำงาน เมื่อแบตเตอรี่เริ่มชาร์จประจุมากขึ้น กระแสที่ใช้ในการชาร์จประจุจะค่อยๆ ลดลง และแรงดันที่เทอร์มินัลของแบตเตอรี่จะมีค่าที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างระหว่างแหล่งจ่ายและแบตเตอรี่ลดลง กระแสที่ป้อนให้ขาเกตของเอสซีอาร์จึงลดลง หากค่าความต้านทานปรับค่าได้ซึ่งต่ออยู่กับขาเกตของเอสซีอาร์ถูกปรับค่าอย่างเหมาะสม จะทำให้กระแสที่ขาเกตลดต่ำกว่าค่าที่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่มีขนาด 13.8V

## 3.8 สรุป

เอสซีอาร์จัดเป็นอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในจำพวกกลุ่มไทริสเตอร์โดยลักษณะพิเศษอย่างหนึ่งของไทริสเตอร์ คือเป็นอุปกรณ์ที่ให้กระแสได้สูงดังนั้นเอสซีอาร์จึงสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมได้ดี

เอสซีอาร์ประกอบด้วยชั้นสารกึ่งตัวนำสี่ชั้นที่มีรอยต่อสามรอยต่อ การทำงานของเอสซีอาร์จะเสมือนไดโอดที่ควบคุมการทำงานได้ นั่นคือในสภาวะที่ไม่มีการทริกกระแสเกตที่ขาเกตเอสซีอาร์จะไม่นำกระแสใดๆ ทั้งสิ้น แต่ถ้าหากทำการทริกหรือป้อนกระแสเกตเพียงเล็กน้อย เอสซีอาร์ก็สามารถนำกระแสได้ทำงาน เอสซีอาร์จะเสมือนไดโอดตัวหนึ่งที่นำกระแสได้ทางเดียว การที่จะหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ได้ก็ต้องลดขนาดของกระแสลงเหลือเท่ากับกระแส โฮลดิ้ง หรือทำการเปลี่ยนทิศทางของแรงดันไบแอส

## 3.8 แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ไทริสเตอร์คืออะไร
2. เอสซีอาร์มีโครงสร้างอย่างไร
3. การไบแอสเอสซีอาร์มีกี่แบบอะไรบ้าง
4. เอสซีอาร์สามารถแบ่งสภาวะการทำงานเป็นกี่สภาวะอะไรบ้าง
5. แรงดันพังขณะไบแอสตรง (Forward Breakdown Voltage) คืออะไร
6. กระแสโฮลดิ้ง (Holding Current) คือกระแสอะไร
7. กระแสไบแอสตรงสูงสุด (Maximum Forward Current) คือกระแสอะไร