บทที่ 2

การแบ่งประเภทของไทรีสเตอร์อินเวอร์เตอร์ (3)

2.1 คำนำ

ผู้สนใจศึกษาตำราหรือบทความเกี่ยวกับไทรีสเตอร์อินเวอร์เตอร์จะพบว่าการเรียกชื่อวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นไปอย่างไม่มีระเบียบ จุดประสงค์ของบทนี้ก็เพื่อจะบอกถึงวิธีแบ่งแยกอินเวอร์เตอร์ออกเป็นประเภทต่างๆ

การแยกประเภทอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวจะเริ่มต้นจากหลังการจำแนกอินเวอร์เตอร์เป็นคลาส (Class) ต่างๆ ตามวิธีการคอมมิวเตต แล้วแบ่งคลาสย่อยๆ ออกไปอีกตามรูปลักษณ์วงจร เพื่อความสะดวกเราจะพิจารณาคลาสย่อยๆ ก่อน

2.2 รูปลักษณ์วงจรของอินเวอร์เตอร์

วงจรเรกติไฟเออร์ ซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีรูปลักษณ์ที่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย เช่น แบบครึ่งคลื่น (Half wave) เต็มคลื่น (Full wave) บริดจ์ (Bridge) เต็มคลื่นชนิด 3 เฟส (Three phase full wave) เป็นต้น วงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก็อาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ในแบบเดียวกัน รูปที่ 2.1 แสดงรูปลักษณ์วงจรรวม 6 แบบของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ดูง่ายเราจะไม่แสดงวิธีการจุดชนวน และการคอมมิวเตตเอาไว้ รูปลักษณ์วงจร 6 แบบคือ

2.2.1 ชอปเปอร์ (Chopper)

2.2.2 อินเวอร์เตอร์ชนิดที่โหลดมีจุดต่อกลาง (Center tapped load)

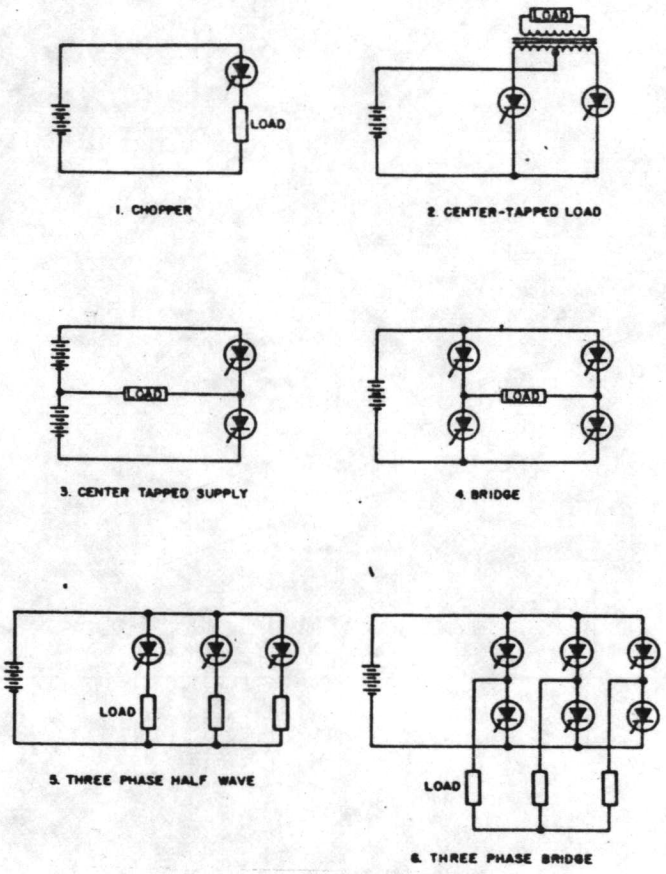
2.2.3 อินเวอร์เตอร์ชนิดที่แหล่งจ่ายไฟมีจุดต่อกลาง (Center tapped supply)

2.2.4 อินเวอร์เตอร์ชนิดบริดจ์ 1 เฟส (Single phase bridge)

2.2.5 อินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส ครึ่งคลื่น (Three phase half wave)

2.2.6 อินเวอร์เตอร์ชนิดบริดจ์ 3 เฟส (Three phase bridge)

ถ้าไม่คำนึงถึงวิธีการคอมมิวเตต รูปลักษณ์เหล่านี้จะมีข้อดี และข้อเสียดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1



รูปที่2.1รูปลักษณ์วงจรอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติตามรูปลักษณ์วงจรต่าง ๆ

รูปลักษณ์วงจร	Chopper	CT Load	CT Supply	Bridge	3 Ø Half Wave	3 Ø Bridge
แรงดันปิดกั้น	E	2 E	E	E	E	E
แรงดันสูงสุดของโหลด	E	E	1/2 E	E	E	E
แรงดันกระแสตรงในโหลด	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
จำนวนไทรีสเตอร์	1	2	2	4	3	6
ความถี่ริปเปิลในแหล่งจ่ายไฟ	f	2f	f	2f	3f	6f
กระแสเฉลี่ยไทรีสเตอร์	1	1/2	1	1/2	1/3	1/3
ความเป็นไปได้ถ้าไม่ใช้หม้อแปลง	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้	ได้	ได้

2.3 การแบ่งประเภทตามวิธีการคอมมิวเตต

วิธีการทำให้ไทรีสเตอร์หยุดนำกระแส แบ่งออกได้เป็น 6 คลาส ตามตารางที่ 2.2 คือ

2.3.1 คลาส A คอมมิวเตตตัวเองโดยการเรโซแนนซ์ของโหลด

(Self commutated by resonating the load)

2.3.2 คลาส B คอมมิวเตตตัวเองโดยใช้วงจร LC

(Self commutated by an LC circuit)

2.3.3 คลาส C ต่อตัวเก็บประจุที่มีประจุเต็มโดยใช้ไทรีสเตอร์ที่รับโหลดอีกตัวหนึ่ง
(Charged capacitor switched by another load carrying SCR)

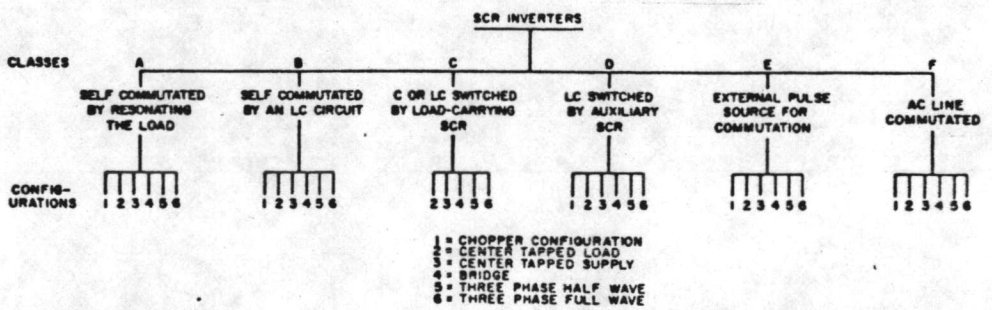
2.3.4 คลาส D ต่อตัวเก็บประจุที่มีประจุเต็มโดยใช้สวิทช์จุดขนวนช่วย
(Charged capacitor switched by an auxiliary trigger switch)

2.3.5 คลาส E ใช้แหล่งจ่ายพัลส์สำหรับคอมมิวเตตจากภายนอก
(An external pulse source of commutation energy)

2.3.6 คลาส F คอมมิวเตตโดยอาศัยแรงดันจากสายกระแสสลับด้านออก
(AC line cummutation)

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงนิยาม ตัวอย่าง และอธิบายถึงคลาสต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว เพื่อให้อธิบายได้ง่ายจะขอใช้รูปลักษณ์วงจรส่วนใหญ่แบบซอปเปอร์

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทของอินเวอร์เตอร์

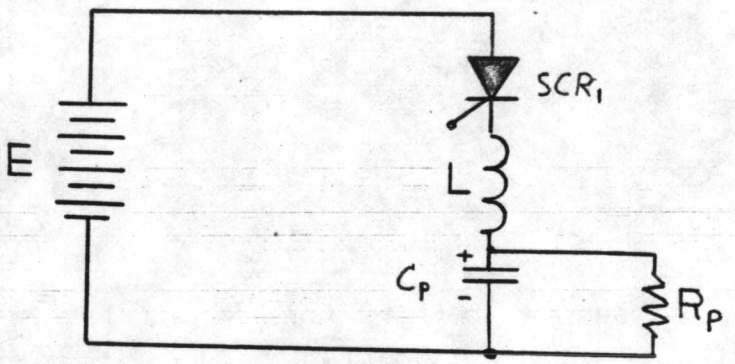


2.4 คลาส A คอมมิวเตตตัวเองโดยการเรโซแนนซ์ของโหลด

อินเวอร์เตอร์คลาส A นี้ แรงดันย้อนกลับสำหรับการคอมมิวเตตจะถูกป้อนให้กับไทรีสเตอร์ที่กำลังนำกระแสโหลดโดยอาศัยช่วงแกว่งเกิน (Overswing) ของแรงดันในวงจรเรโซแนนซ์ LC แบบหน่วงน้อยเกินไป (Underdamped) ซึ่งมีโหลดรวมอยู่ด้วย และต่ออนุกรมกับไทรีสเตอร์ พลังงานสำหรับการคอมมิวเตตนั้นจะได้มาจากตัวเก็บประจุ (C) ช่วงเวลาการหยุดนำกระแสของไทรีสเตอร์หาได้จากคาบของวงจร LC และอัตราการจุดชนวน เวลาการนำกระแสของไทรีสเตอร์ คือ ครึ่งหนึ่งของคาบของวงจรเรโซแนนซ์ LC อิมพีแดนซ์ระหว่างโหลด และแหล่งจ่ายไฟมีค่าสูง

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของอินเวอร์เตอร์คลาส A

การทำงานเป็นดังนี้ คือ เมื่อ SCR1 ถูกจุดชนวน กระแสจะไหลผ่านและให้ประจุ แก่ C โดยมีขั้วตามที่แสดงไว้ และมีศักย์สูงกว่าแหล่งจ่ายไฟ กระแสจะพยายามไหลย้อนกลับผ่าน SCR1 ทำให้ SCR1 หยุดนำกระแส



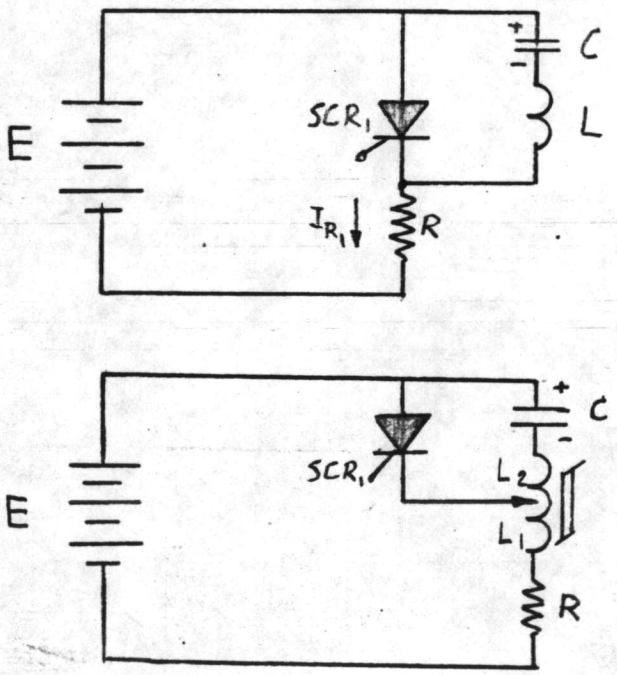
รูปที่ 2.2 วงจรคลาส A ซอปเปอร์

2.5 คลาส B คอมมิวเตตตัวเองโดยใช้วงจร LC

อินเวอร์เตอร์คลาส B แรงดันย้อนกลับสำหรับการคอมมิวเตตจะถูกป้อนให้กับไทรีสเตอร์ที่กำลังนำกระแสโดยอาศัยช่วงแกว่งเกินของแรงดันในวงจร LC แบบหน่วงน้อยเกินไปซึ่งต่ออนุกรมกับไทรีสเตอร์ พลังงานสำหรับการคอมมิวเตตมาจากประจุของตัวเก็บประจุ เวลาการหยุดนำกระแสของไทรีสเตอร์จะหาได้จากคาบของวงจร LC และอิมพีแดนซ์ของโหลด

เวลาการนำกระแสของไทรีสเตอร์ คือ ครึ่งหนึ่งของคาบของวงจรเรโซแนนซ์ LC อิมพีแดนซ์ของวงจรระหว่างโหลด และแหล่งจ่ายไฟมีค่าต่ำ

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการทำงานของการคอมมิวเตตของคลาส B ก่อนที่จะให้สัญญาณที่เกตของ SCR1 ตัวเก็บประจุจะถูกอัดประจุโดยมีขั้วดังที่แสดงไว้ เมื่อ SCR1 ถูกจุดชนวนกระแสจะไหลในสองทิศทาง กระแสโหลด I_R ไหลผ่านโหลด R กระแสพัลส์ไหลผ่านวงจรเรโซแนนซ์ LC และอัดประจุจนได้ขั้วตรงกันข้ามกับที่แสดงไว้ในตอนแรก กระแสเรโซแนนซ์จะพยายามไหลกลับทำให้ SCR1 หยุดนำกระแส



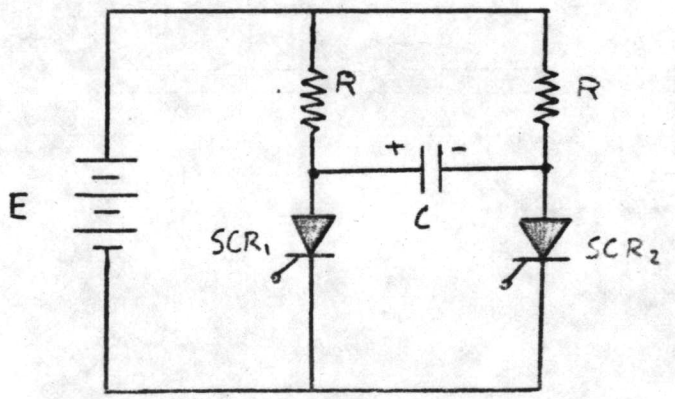
รูปที่ 2.3 วงจรคลาส B ซอปเปอร์

2.6 คลาส C ต่อตัวเก็บประจุที่มีประจุเต็มโดยไทรีสเตอร์ที่รับโหลดอีกตัวหนึ่ง

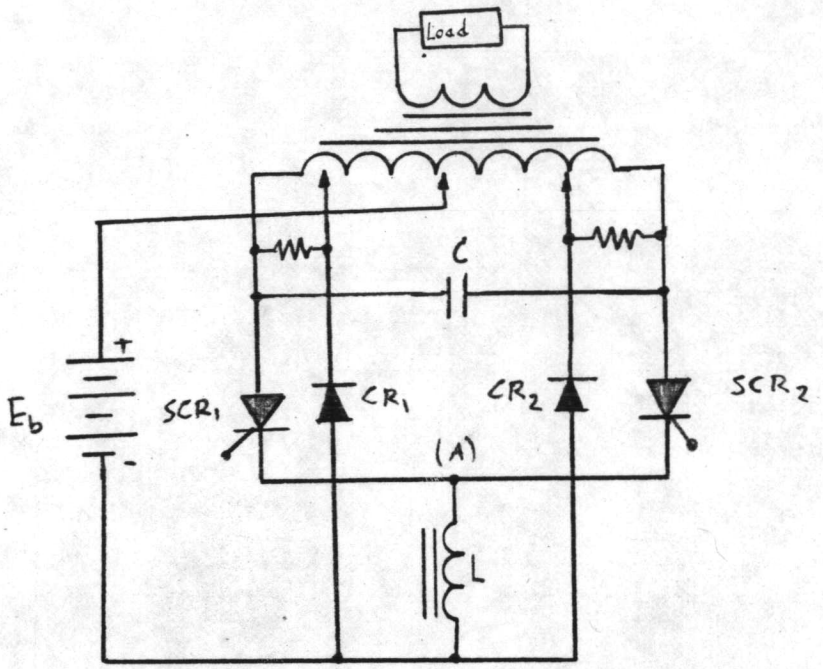
ในวงจรคลาส C แรงดันย้อนกลับสำหรับการคอมมิวเตตจะถูกป้อนกลับให้กับไทรีสเตอร์ที่กำลังนำกระแสโหลดโดยการทำให้ไทรีสเตอร์อีกตัวหนึ่งนำกระแส แหล่งพลังงานคือ ตัวเก็บประจุที่ได้รับการอัดประจุในช่วงเวลาการนำกระแสของไทรีสเตอร์ตัวที่ถูกคอมมิวเตต ช่วงเวลาการหยุดนำกระแสจะหาได้จากค่าคงตัวทางเวลา (Time constant) ของตัวเก็บประจุ และโหลด ช่วงเวลาที่ไทรีสเตอร์นำกระแสจะตั้งต้นจากเวลาที่กระแสเริ่มไหลถึงเวลาที่ไทรีสเตอร์อีกตัวหนึ่งถูกจุดชนวน อิมพีแดนซ์ของวงจรระหว่างโหลดและแหล่งจ่ายไฟมีค่าต่ำ

ตามนิยามแล้ว อินเวอร์เตอร์คลาส C จะไม่มีรูปลักษณ์วงจรแบบซอปเปอร์ วงจรฟลิปฟลอป (Flip-flop) เป็นวงจรขั้นพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์คลาสนี้ ในรูปที่ 2.4 ถ้าสมมุติว่า SCR2 กำลังนำกระแสตัวเก็บประจุ C จะถูกอัดประจุจนได้ขั้วตามที่แสดงไว้ เมื่อ SCR1 ถูกจุดชนวน ตัวเก็บประจุ C ก็จะต่อคร่อม SCR2 โดยผ่านทาง SCR1 ซึ่งจะต้านการไหลของกระแสโหลดของ SCR2 ทำให้ SCR2 หยุดนำกระแส

รูปที่ 2.5 แสดงอินเวอร์เตอร์แบบแมกเมอร์เรย์เบดฟอร์ด (McMurray–Bedford) ซึ่งมีการทำงานและทฤษฎีต่างๆ ดังที่จะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 3



รูปที่ 2.4 อินเวอร์เตอร์ชนิดคลาส C



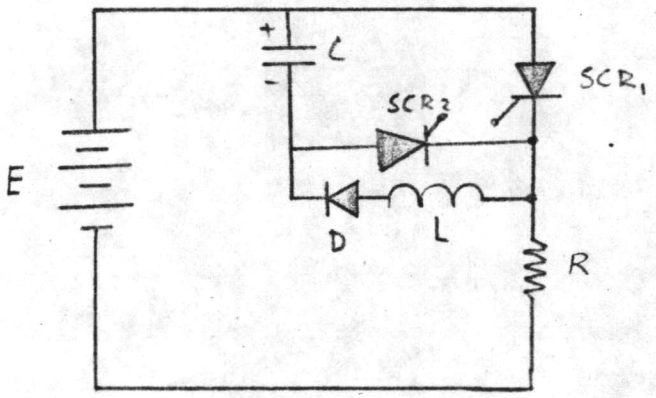
รูปที่ 2.5 อินเวอร์เตอร์ชนิดคลาส C แบบแมกเมอร์เรย์-เบดฟอร์ด

2.7 คลาส D ต่อตัวเก็บประจุที่มีประจุเต็มโดยใช้สวิทช์จุดชนวนช่วย

ในอินเวอร์เตอร์คลาส D แรงดันย้อนกลับสำหรับการคอมมิวเตตจะถูกป้อนให้ไทรีสเตอร์ที่กำลังนำกระแสโดยสวิทช์จุดชนวนช่วย แหล่งพลังงานสำหรับการคอมมิวเตตได้จากตัวเก็บประจุที่ถูกอัดประจุระหว่างการนำกระแส ช่วงเวลาการหยุดนำกระแสจะหาได้จากค่าคงตัวทางเวลาของตัวเก็บประจุและโหลด ช่วงเวลาที่ไทรีสเตอร์นำกระแสตั้งต้นจากเวลากระแสที่เริ่มไหลถึงเวลาที่สวิทช์ช่วงจุดชนวนทำงาน ช่วงเวลาการนำกระแสอาจแปรได้ในช่วงกว้าง อิมพีแดนซ์วงจรระหว่างโหลด และแหล่งจ่ายไฟมีค่าต่ำ

อินเวอร์เตอร์คลาสนี้ใช้ไทรีสเตอร์อีกตัวหนึ่งเป็นตัวช่วย (Auxiliary thysistor) ซึ่งไม่นำกระแสโหลดสำหรับการคอมมิวเตตตัวไทรีสเตอร์ที่นำกระแสโหลด รูปที่ 2.4 อาจเปลี่ยนเป็นคลาส D ได้ ถ้าให้โหลดอยู่ทางด้านซ้ายมือ และเพิ่มความต้านทานทางด้านขวามือขึ้นประมาณ 10 เท่า เพื่อจุดประสงค์ในการอัดประจุตัวเก็บประจุแต่อย่างเดียว จากนี้วงจรจะเป็นแบบซอปเปอร์

รูปที่ 2.6 แสดงวงจรที่ซับซ้อนมากขึ้นของคลาสนี้ การทำงานเป็นดังนี้ คือ SCR2 ถูกจุดชนวนก่อนเพื่ออัดประจุตัวเก็บประจุให้ได้ขั้วตามที่แสดงไว้ เมื่อตัวเก็บประจุถูกอัดประจุแล้ว SCR2 จะหยุดนำกระแส เมื่อ SCR1 ถูกจุดชนวน กระแสจะไหลในสองทาง คือ กระแสโหลดไหลผ่าน R และกระแสคอมมิวเตตไหลผ่าน C, SCR1, L และ D การอัดประจุของตัวเก็บประจุ จะมีทิศทางตรงกันข้าม และรักษาประจุไว้โดยไดโอด D เมื่อถึงเวลาที่ต้องการ SCR2 จะถูกจุดชนวนซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุ C ต่อคร่อม SCR1 ผ่าน SCR2 SCR1 จะหยุดนำกระแส



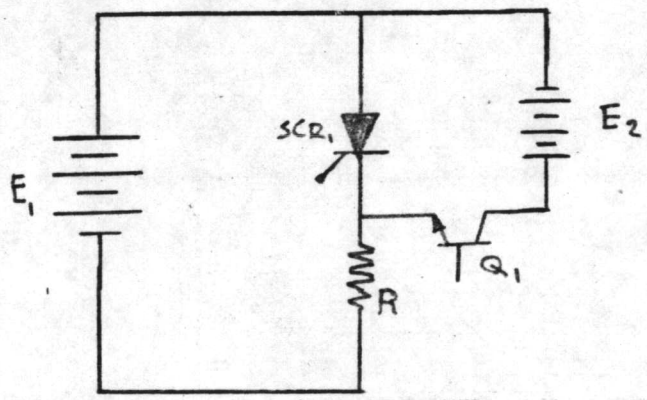
รูปที่ 2.6 วงจรคลาส D ชอปเปอร์

2.8 คลาส E ใช้แหล่งจ่ายพัลส์สำหรับคอมมิวเตตจากภายนอก

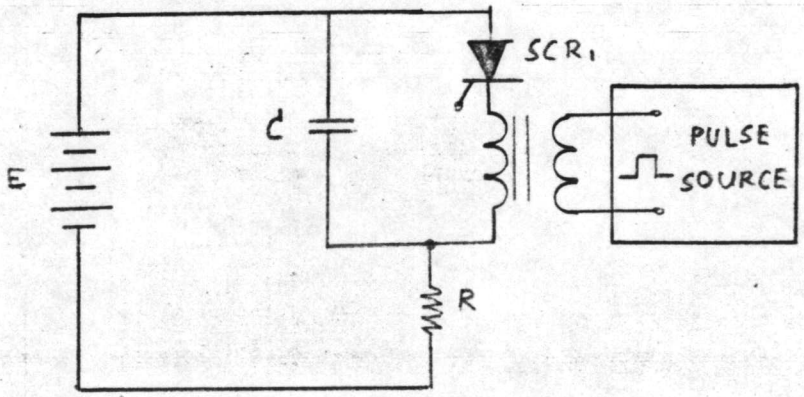
ในคลาส E แรงดันย้อนกลับสำหรับการคอมมิวเตตที่จะถูกป้อนให้กับไทริสเตอร์ที่กำลังนำกระแสนั้นได้จากแหล่งสร้างพัลส์ภายนอกซึ่งอาจต่อขนานหรืออนุกรมกับไทริสเตอร์ได้ ช่วงเวลาการหยุดนำกระแสจะยาวเท่ากับความกว้างของพัลส์ ช่วงเวลานำกระแสของไทริสเตอร์ตั้งต้นจากเวลากระแสเริ่มไหลถึงเวลาให้พัลส์สำหรับการคอมมิวเตต ช่วงเวลาการนำกระแสอาจแปรได้ในช่วงกว้างอิมพีแดนซ์วงจรระหว่างโหลดและแหล่งจ่ายไฟมีค่าต่ำ รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขั้นพื้นฐานของคลาสนี้ เมื่อ SCR1 ถูกจุดชนวน กระแสจะไหลในโหลด เพื่อทำให้ SCR1 หยุดนำกระแสเราจะต้องให้สัญญาณที่เบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งจะต่อแหล่งจ่ายไฟช่วย E2 คร่อม SCR1 โดยมีขั้วที่จะทำให้ไทริสเตอร์หยุดนำกระแส Q1 จะทำงานในช่วงเวลาสำหรับการทำให้ไทริสเตอร์หยุดนำกระแส

อีกตัวอย่างหนึ่งของคลาสนี้มีแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 พลังงานสำหรับการคอมมิวเตตจากแหล่งสร้างพัลส์ภายนอกจะถูกป้อนต่ออนุกรมกับไทรีสเตอร์ที่กำลังนำกระแสโหลดผ่านทางหม้อแปลง หม้อแปลงจะถูกออกแบบให้มีเหล็กและช่องอากาศเพียงพอที่จะไม่เกิดการอิ่มตัวทางแม่เหล็ก และสามารถจ่ายกระแสโหลดได้โดยที่แรงดันตกเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ

เมื่อ SCR1 ถูกจุดชนวน กระแสจะไหลผ่านโหลดและหม้อแปลงพัลส์ ในการทำให้ SCR1 หยุดนำกระแสเราจะต้องให้พัลส์บวกเข้ากับขั้วคาโทดของไทรีสเตอร์ ตัวเก็บประจุ C จะถูกอัดประจุจนมีแรงดันเพียงประมาณ 1 โวลต์ในช่วงเวลาสำหรับการทำให้ไทรีสเตอร์หยุดนำกระแสและอาจถือว่ามีอิมพีแดนซ์เท่ากับศูนย์ ดังนั้นพัลส์จากหม้อแปลงจะกลับทิศของแรงดันคร่อมไทรีสเตอร์พร้อมทั้งจ่ายกระแสย้อนกลับในช่วงการทำให้หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.7 วงจรคลาส E ชอปเปอร์

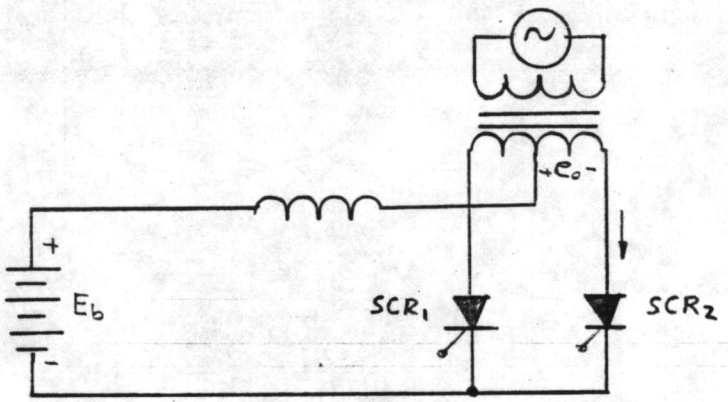


รูปที่ 2.8 วงจรคลาส E ชอปเปอร์

2.9 คลาส F คอมมิวเตตโดยอาศัยแรงดันจากสายกระแสสลับด้านออก

ในคลาส F แรงดันย้อนกลับสำหรับการคอมมิวเตตซึ่งจะถูกป้อนกลับให้กับไทรีสเตอร์ที่กำลังนำกระแสนั้นได้จากโหลดที่สร้างไฟฟ้ากระแสสลับ ช่วงเวลาการหยุดนำกระแส และการนำกระแสจะหาได้จากความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และมุมการจุดชนวนของไทรีสเตอร์ที่นำกระแส อิมพีแดนซ์ของวงจรระหว่างโหลดและแหล่งจ่ายไฟมีค่าต่ำ

พิจารณาดูรูปที่2.9วงจรนี้ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์กล่าวคือ กำลังงานจะไหลจากแบตเตอรี่ไปยังสายไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อไทรีสเตอร์ถูกจุดชนวน เมื่อเฟสและแอมพลิจูดมีค่าที่เหมาะสม ดังนั้นจากรูปที่2.9 SCR2 จะถูกจุดชนวน เมื่อสายไฟฟ้ากระแสสลับมีขั้วตามที่แสดงไว้ และ E_b สูงกว่า e_o



รูปที่ 2.9 อินเวอร์เตอร์ชนิดคลาส F