



บทที่ 3

วงจรแปลงผัน (Converter)

3.1 ค่านำ (ยุทธนา กุลวิฑิต และ คณะ , 253๘)

วงจรแปลงผันเป็นหน่วยที่จ่ายและควบคุมกำลังไฟฟ้าให้มอเตอร์ โดยทั่วไปพลังงานไฟฟ้าจะได้มาจากสายส่งกระแสสลับ สำหรับวงจรแปลงผันที่ทำหน้าที่ควบคุมพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้น อาจจะควบคุมโดยใช้หลักการของการควบคุมวิถีภาค (phase control) ในกรณีที่แหล่งพลังงานใช้จากสายส่งกระแสสลับโดยตรง หรืออาจจะใช้วงจรเปลี่ยนค่าแรงดันกระแสตรงค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่ง (DC-to-DC converter) ในกรณีที่แหล่งพลังงานเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรืออาจจะใช้พลังงานจาก AC-line โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบไดโอดเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้ตัวประกอบกำลังในสายส่งจะต่ำในตอนที่ต้องการแรงดันออกต่ำ อีกทั้งยังจะทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกในสายส่งมากด้วย การควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยใช้ DC-to-DC converter หรือ วงจรชอปเปอร์ (chopper) นั้น จะใช้ในกรณีที่ต้องการเวลาในการตอบสนองของระบบที่เร็ว หรือในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับตัวประกอบกำลังในสายส่ง หรือในกรณีที่แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ เป็นต้น

3.2 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปแบ่งตามลักษณะการควบคุมได้ 2 แบบ คือ

1. วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม เช่น วงจรเรียงกระแสโดยใช้ไดโอด

2. วงจรเรียงกระแสที่มีการควบคุม เช่น วงจรเรียงกระแสโดยใช้เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier)

ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึง วงจรเรียงกระแสควบคุมแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีทั้งใช้แหล่งจ่ายไฟเป็นระบบไฟฟ้าเฟสเดียวและระบบไฟฟ้า 3 เฟส ทั้งที่เป็นแบบควบคุมเต็มที่ (fully-controlled) คือ ตัวเรียงกระแสทุกตัวเป็นเอสซีอาร์

Name	Circuit		Max. Thyristor Voltage	PRV		Max. Load Voltage $E_d = \text{Avg. } E_o = \text{RMS}$	Load Voltage with Delayed Firing	Max. Average Thyristor Current		Max. Average Diode Current	
	Notation	Schematic		SCR	Diode			Ave. Amps.	Cond. Period	Ave. Amps.	Cond. Period
1. Half-Wave Resistive Load	1-1-1-H		1.4 E_{RMS}	E_p	E_p	$E_d = \frac{E_p}{2}$ $E_o = \frac{E_p}{2}$	$E_d = \frac{E_p}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$ $E_o = \frac{E_p}{2\pi} \sqrt{(1 - \cos\alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}$	$\frac{E_p}{\pi R}$	180°	....	...
2. Half-Wave Inductive Load With Free Wheeling Diode	1-1-1-H With Free Wheeling Diode		1.4 E_{RMS}	E_p	E_p	$E_d = \frac{E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{E_p}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$	Highly Ind. Load $\frac{E_p}{2\pi R}$ Conventional $\frac{E_p}{\pi R}$	180°	$.54 \frac{E_p}{\pi R}$	210°
3. Center Tap Full Wave Resistive Load or Inductive Load With FWD	2-1-1-C		2.8 E_{RMS}	$2E_p$	$2E_p$	$E_d = \frac{2E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{E_p}{\pi} (1 + \cos\alpha)$	$\frac{E_p}{\pi R}$	180°	$.26 \frac{2E_p}{\pi R}$	< 180°
4. Center Tap Inductive Load	2-1-1-C		2.8 E_{RMS}	$2E_p$	$2E_p$	$E_d = \frac{2E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{2E_p}{\pi} (\cos\alpha)$.. ($I_{dc} = K$)	$\frac{E_p}{\pi R}$	180°	....	...
5. Center Tap Inductive Load with FWD Thyristor in DC Circuit	2-1-1-C With Thyristor in DC Circuit		1.4 E_{RMS}	0	$2.8 E_{RMS}$	$E_d = \frac{2E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{E_p}{\pi} (1 + \cos\alpha)$	$\frac{2E_p}{\pi R}$	360°	$\frac{E_p}{\pi R}$ $.51 \frac{E_p}{\pi R}$	180° < 180° FWD
6. Single Phase Bridge Half Control Resistive or Inductive FWD Load	Half Bridge Cont. 4-1-1-B & FWD.		1.4 E_{RMS}	E_p	E_p	$E_d = \frac{2E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{E_p}{\pi} (1 + \cos\alpha)$	$\frac{E_p}{\pi R}$	180°	$\frac{E_p}{\pi R}$	180°
7. Single Phase Bridge Full Control Resistive or Inductive Load	Full Cont. 4-1-1-B		1.4 E_{RMS}	E_p	E_p	$E_d = \frac{2E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{2E_p}{\pi} (\cos\alpha)$ ($I_{dc} = K$)	$\frac{E_p}{\pi R}$	180°	....	...
8. Single Phase Bridge With Thyristor Control DC and Free Wheeling Diode; & FWD..	4-1-1-B With Thyristor Control DC and Free Wheeling Diode; & FWD..		1.4 E_{RMS}	E_p	E_p	$E_d = \frac{2E_p}{\pi}$	$E_d = \frac{E_p}{\pi} (1 + \cos\alpha)$	$\frac{2E_p}{\pi R}$	360°	$\frac{E_p}{\pi R}$ $.51 \frac{E_p}{\pi R}$	180° < 180° FWD

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของวงจรเรียงกระแสควบคุมชนิดต่าง ๆ

Name	Circuit		Waveforms	Max. Thyristor Voltage	SCR	PRV Diode	Max. Load Voltage $E_d = \text{Avg. } E_o = \text{RMS}$	Load Voltage with Delayed Firing	Max. Average Thyristor-Current		Max. Average Diode Current
	Notation	Schematic							Ave. Amps.	Cond. Period	
9. Three Phase Half Wave Inductive Load	3-1-1Y			$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	....	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{2f}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{2f} \cos\alpha$ $(I_{cr} = K)$	.33I _b	120°	....
10. Three Phase Half Wave Resistive Load Or Inductive Load with Free Wheeling Diode	3-1-1-Y With Free Wheeling Diode			$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_p}{E_{RMS}}$	E_p	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{2f}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{2f} \cos\alpha$ ($0 < \alpha < 30^\circ$) $E_d = \frac{3E_p}{2f} [1 + \cos(\alpha + 30^\circ)]$ ($30^\circ < \alpha < 150^\circ$)	.33I _b	120°	Size to .33I _b <120° FWD
11. Three Phase Bridge Full Control Inductive Load	6-1-1-B With Full Control			$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	....	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{f}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{f} \cos\alpha$	.33I _b	120°	....
12. Three Phase Bridge Full Control Or Inductive Load with Free Wheeling Diodes	6-1-1-B Full Control & FWD			$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{f}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{f} \cos\alpha$ ($0 < \alpha < 60^\circ$) $E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{f}$ $(1 + \frac{\cos\alpha}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\alpha)$ ($60^\circ < \alpha < 120^\circ$)	.33I _b	120°	Size to .33I _b <120° FWD
13. Three Phase Bridge Half Control Resistive Load Or Inductive Load With Free Wheeling Diode	6-1-1-B Half Control & FWD			$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$2.45 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{f}$	$E_d = \frac{3\sqrt{3}E_p}{2f} (1 + \cos\alpha)$	.33I _b	120°	.33I _b Size to .33I _b <120° FWD
14. Inverse Parallel Thyristors Resistive Load	AC Switch			$1.4 \frac{E_{RMS}}{E_{RMS}}$	E_p$	....	E_d = \frac{E_p}{1.4}$	$E_d = \frac{E_p}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \cos\alpha + K \sin 2\alpha}$	$\frac{E_p}{\sqrt{2}}$	180°	....

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของวงจรเรียงกระแสควบคุมชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

และแบบควบคุมครึ่งเดียว (half-controlled) คือ ตัวเรียงกระแส ประมาณครึ่งหนึ่ง เป็นเอสซีอาร์ที่เหลือเป็นไดโอด พอเป็นตัวอย่างเท่านั้น

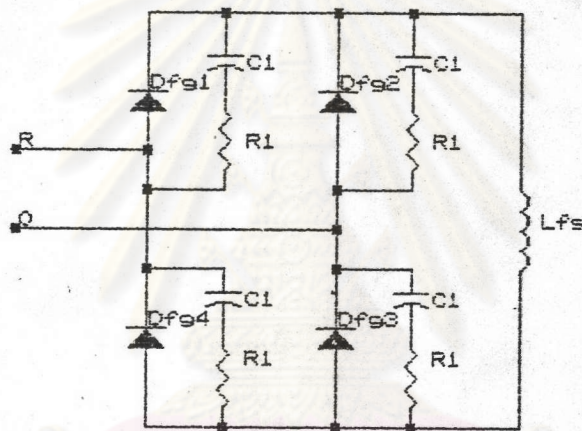
ตามตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะของวงจรเรียงกระแสชนิดต่าง ๆ

(มงคล เดชนครินทร์ และคณะ, 2528)

3.3 วงจรเรียงกระแสควบคุมสำหรับวงจรสนามของมอเตอร์

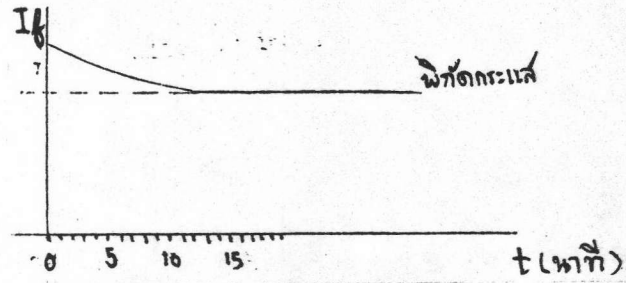
วงจรสนามของมอเตอร์ที่ใช้มีระบบแรงดัน 220 โวลต์ และกระแส 2.05 แอมป์ สำหรับวงจรที่ใช้มีดังนี้

- วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น



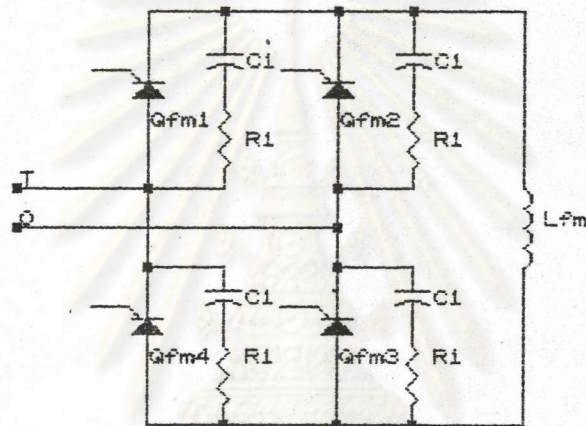
รูปที่ 3.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

จากรูป 3.1 วงจรนี้ใช้ไดโอด 4 ตัว ต่อเป็นวงจรแบบบริดจ์ใช้สำหรับ ป้อนกระแสในวงจรสนามโดยทั่วไปที่ไม่ต้องการปรับค่าแรงดัน (หากมีความต้องการปรับค่าแรงดันก็ยังสามารถต่อกับหม้อแปลงแบบ VARIAC ได้) การใช้วงจรนี้ จะทำให้เห็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของขดลวดสนาม กล่าวคือ เมื่อมีการป้อนแรงดันให้กับขดลวดสนาม เนื่องจากผลของค่าความต้านทานในขดลวด ทำให้กระแสอาจพุ่งสูงถึง 150% จากค่าที่กัดได้ หากแรงดันเกินปกติเพียง 10% ได้ ทั้งนี้เพราะ เมื่อเริ่มต้นขดลวดสนามยังอยู่ที่อุณหภูมิห้อง ขดลวดสนามเมื่อผ่านการอุ่นเครื่อง ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่านวงจรสนามก็จะลดลง ดังนั้น การออกแบบต้องเผื่อช่วงอุ่นเครื่องนี้ด้วย (ประมาณ 10 นาที สำหรับมอเตอร์ที่ใช้) ดังแสดงตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระแสที่ให้อ่านวงจรสนามเมื่อแรงดันคงที่ (ASEA, 1981)

- วงจรเรียงกระแสควบคุมแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 3.3 วงจรเรียงกระแสควบคุมแบบเต็มคลื่น

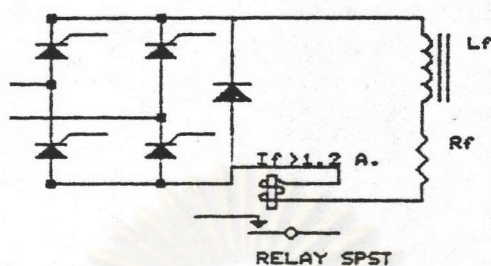
จากรูปที่ 3.3 ซึ่งใช้ SCR 4 ตัว ต่อเป็นวงจรแบบบริดจ์สำหรับป้อนกระแสให้วงจรสนามโดยต้องการปรับค่าแรงดันในช่วงหนึ่งได้โดยไม่ต้องใช้การปรับค่าแรงดันด้านเข้า

- วงจรเรียงกระแสควบคุมแบบเต็มคลื่นและมีไดโอด

free-wheeling

จากรูปที่ 3.4 ใช้ SCR 4 ตัว ต่อเป็นวงจรแบบบริดจ์ (bridge) และมีไดโอด free-wheeling เพื่อเป็นเส้นทางให้กระแสไหลกลับ เหมาะสำหรับโหลดที่มีค่าความเหนี่ยวนำอยู่ เพราะหากใช้ช่วงเวลาการจุกชนวนสั้นเกินไป วงจรที่ไม่มีไดโอดจะทำงานผิดพลาด

การออกแบบได้พิจารณาความเหมาะสมของวงจรทั้ง 3 แบบ และได้นำลงไว้ในโครงการเพื่อให้สามารถทดลองผลได้ในหลายรูปแบบต่อไป



รูปที่ 3.4

วงจรเรียงกระแสควบคุมแบบเต็มคลื่นและมีไดโอด free-wheeling

3.5 วงจรเรียงกระแสควบคุมสำหรับป้อนให้วงจรอาร์เมเจอร์

(มงคล เดชนครินทร์ และคณะ, 2528)

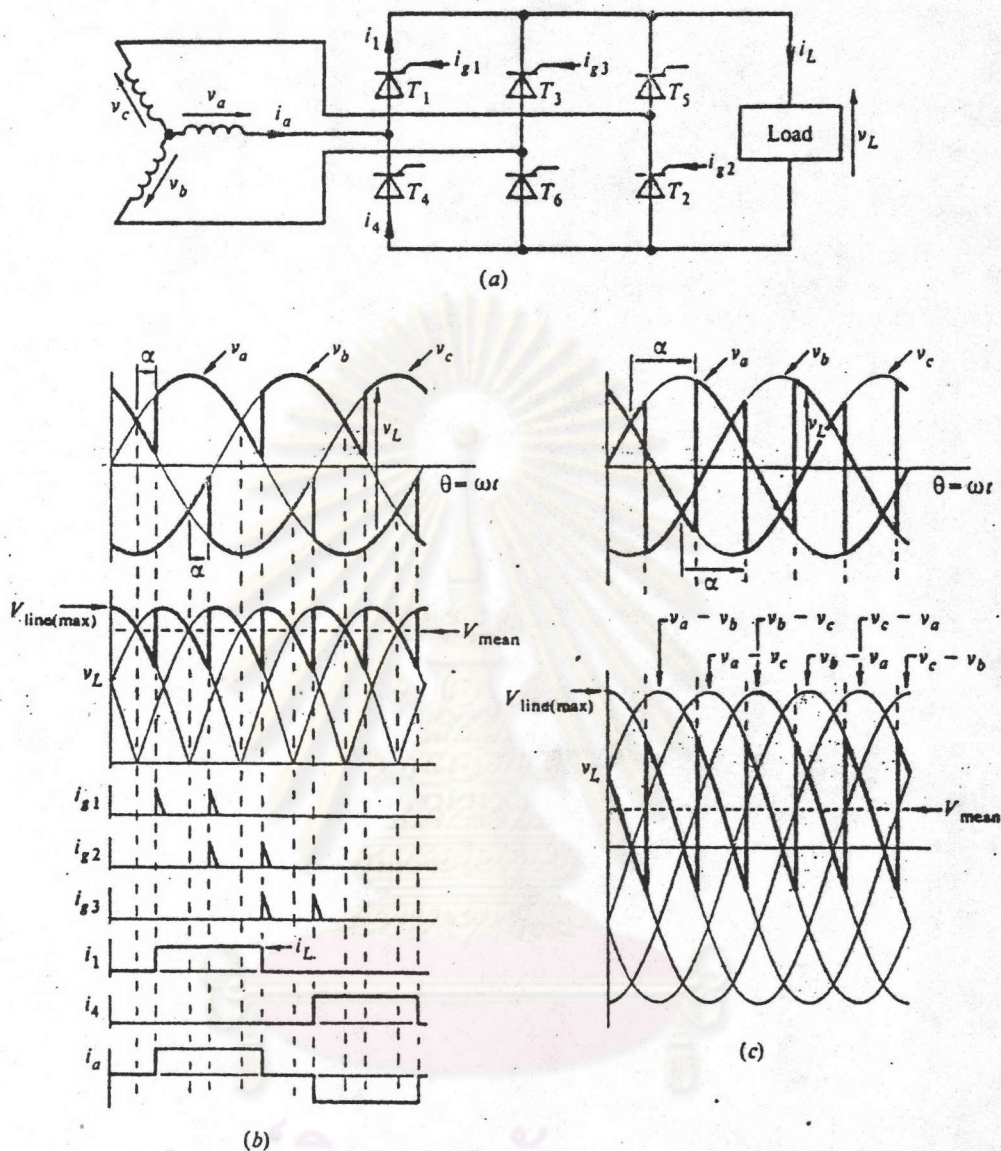
ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกมอเตอร์ที่ประกอบการทดลองซึ่งมีพิกัด 440 โวลต์ 24 แอมป์ การเลือกวงจรเรียงกระแสควบคุมนี้มี 2 แบบคือ

3.5.1 วงจรบริดจ์ 3 เฟส ควบคุมเต็มที่ (three-phase fully - controlled bridge circuit) วงจรนี้มีแผนภาพตามรูปที่ 3.5 (ก) ซึ่งแสดงแหล่งจ่าย 3 เฟส สามสายต่อกับโหลดผ่านทางเอสซีอาร์ 6 ตัว แรงดันคร่อมโหลดมีจำนวน 6 พัลส์ต่อ 1 รอบของแรงดันจากแหล่งจ่าย เนื่องจากเอสซีอาร์ในวงจรตามรูป 3.6 (ก) จะต้องนำกระแสพร้อมกันอย่างน้อย 2 ตัว การจุดชนวน เอสซีอาร์ ในตอนเริ่มแรกจึงต้องใส่พัลส์ให้แก่เอสซีอาร์แต่ละตัวรอบละ 2 ครั้ง ที่ระยะห่างเป็นมุม 60° ทางไฟฟ้าดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 (ข) หลังจากที่วงจรได้เริ่มทำงานไปจนครบรอบแล้ว หากกระแสยังคงไหลอย่างต่อเนื่อง พัลส์ที่สองที่กระทำต่อเกตของเอสซีอาร์จะไม่มีผลต่อเอสซีอาร์ซึ่งได้นำกระแสไปแล้วตั้งแต่มีพัลส์แรกมากระทำต่อเกต

ในกรณีที่มุมหน่วงเหนี่ยวการจุดชนวน α มีค่าสูงเกิน 60° รูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลดจะเป็น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 (ค) ค่าเฉลี่ยของแรงดันคร่อมโหลดสำหรับวงจรสามเฟสตามรูป 3.5 (ค) หาได้จาก

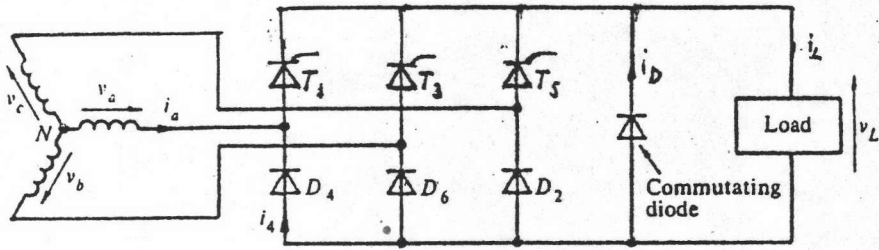
$$V_{\text{mean}} = (3/\pi) V_{\text{line(max)}} \cos\alpha \quad (3.1)$$

โดยที่ $V_{\text{line(max)}}$ เป็นค่าสูงสุดของแรงดันระหว่างสาย

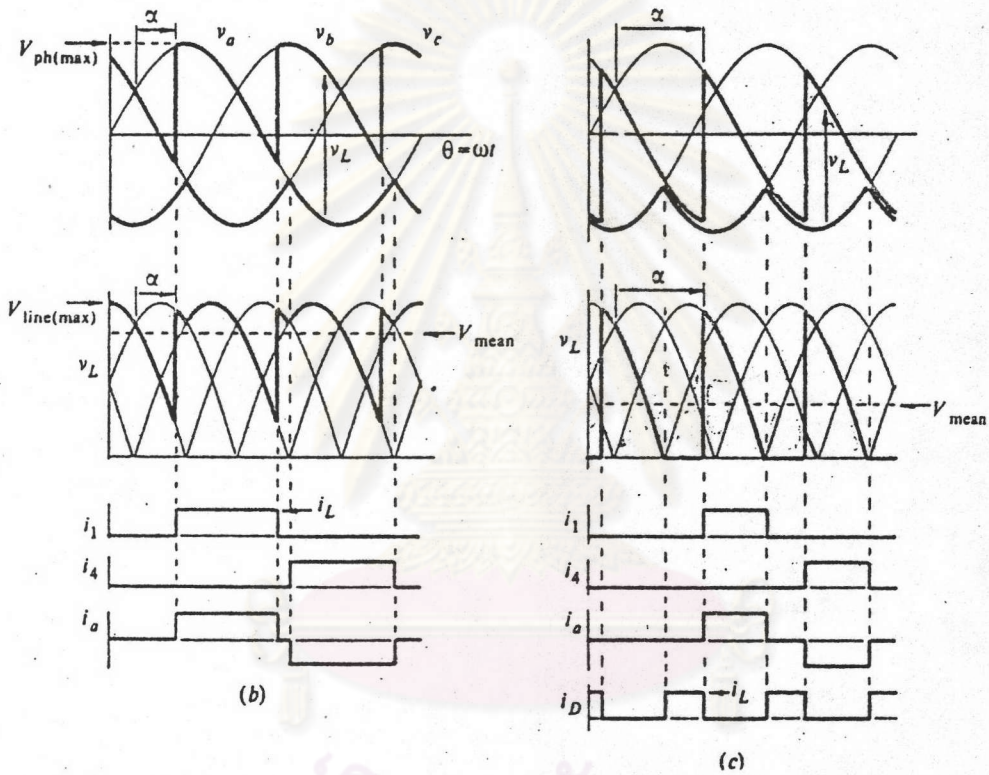


รูปที่ 3.5
 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มที่

3.5.2 วงจรบริดจ์สามเฟสควบคุมครึ่งเดียว (three-phase half - controlled bridge circuit) แผนภาพวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมครึ่งเดียวเป็นดังรูปที่ 3.6 (ก) ซึ่งต่างจากรูปที่ 3.5 (ก) ตรงที่เราได้แทนเอสซีอาร์ T_2, T_4 และ T_6 ด้วยไดโอด D_2, D_4 และ D_6 ตามลำดับ อีกทั้งได้เพิ่มไดโอดสำหรับการสับเปลี่ยนกระแส (commutating)



(a)



รูปที่ 3.6

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมครึ่งเดียว

รูปที่ 3.6 (ข) และ 3.6 (ค) แสดงการหารูปคลื่นแรงดันคร่อมโหลดจากแรงดันเฟสของระบบจ่าย เมื่อมุมหน่วงเหนี่ยวการจุดชนวน α มีค่าน้อยและมีค่ามากตามลำดับ เส้นหนักที่อยู่ทางส่วนบนของแรงดันเฟส v_a , v_b และ v_c แสดงถึงรูปคลื่นของแรงดันที่ได้จากการจุดชนวนเอสซีอาร์ให้นำกระแส ส่วนเส้นหนักที่อยู่ทางส่วนล่างแสดงถึงรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการนำกระแสของไดโอด เมื่อใช้ค่าแรงดันทาง

ส่วนบนลบออกด้วยค่าแรงดันทางส่วนล่าง เราอาจจะได้ค่าแรงดันคร่อมโหนด v_2 ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์รวม 3 พัลส์ในหนึ่งรอบแทนที่จะเป็น 6 พัลส์อย่างในกรณีของวงจรสามเฟสควบคุมเต็มที่ตามรูปที่ 3.5

ในกรณีรูปที่ 3.6 (ข) และ 3.6 (ค) มีรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ กระแสที่ผ่านไดโอดและกระแสในสายของแหล่งจ่ายระบบสามเฟสแสดงเอาไว้ด้วย ขอให้สังเกตว่ากระแสในส่วนของแหล่งจ่าย จะไม่สมมาตรกับแรงดันเฟสที่สมนัยกัน ทำให้กระแสในสายส่งดังกล่าวมีฮาร์มอนิกเลขคู่เกิดขึ้นด้วย กรณีของวงจรสามเฟสควบคุมครึ่งเดียวจึงต่างจากกรณีของวงจรสามเฟสควบคุมเต็มที่ซึ่งกระแสในสายสมมาตรกับแรงดันเฟส และกระแสในสายมีเฉพาะฮาร์มอนิกเลขคี่เท่านั้น

จากรูปคลื่นแรงดันในรูปที่ 3.6 (ข) และ 3.6 (ค) เราจะได้แรงดันเฉลี่ยคร่อมโหนดเป็น

$$V_{\text{mean}} = (3/2\pi) V_{\text{line(max)}} (1 + \cos\alpha) \quad (3.2)$$

ในการใช้วงจรบริดจ์สามเฟสควบคุมครึ่งเดียวนี้ ถ้าใช้กับโหนดที่เป็นความต้านทานธรรมดาแล้วไม่จำเป็นต้องมีไดโอดสับเปลี่ยนกระแสก็ได้ แต่หากต่อกับโหนดที่มีสภาพตัวเหนี่ยวนำควรจะต้องมีไดโอดสับเปลี่ยนกระแสด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้งานผิดพลาด (Pelly, 1971) เนื่องจากเอสซีอาร์และไดโอดที่กึ่งเดียวกันมีโอกาสนำกระแสพร้อมกันได้ หากไม่สามารถทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสก่อน ผลก็คือ SCR กึ่งนั้นจะนำกระแสต่อเนื่องต่อไปโดยไม่ต้องอาศัยการจุดชนวน เสมือนว่าถูกสั่งให้นำกระแสที่มุมจุดชนวน 0° นั้นเอง แรงดันขาออกจึงมีโอกาสผิดพลาดไปได้

สำหรับการใส่ไดโอดสับเปลี่ยนกระแส ไว้ในวงจรบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มทีนั้น จะทำให้แรงดันขาออกที่มุมจุดชนวนเดียวกันอาจมีค่าไม่เท่ากันได้ โดยดูจากสมการในตารางที่ 3.1

ดังนั้น วงจรเรียงกระแสทั้งสามแบบ น่าจะมีวงจรคุมค่าที่มีค่าคงตัวเวลาที่ต่างกัน ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะ 2 แบบ เท่านั้น คือ วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มทีและวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมครึ่งเดียวเท่านั้น จะไม่รวมถึงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มที โดยมีการใส่ไดโอดสับเปลี่ยนกระแสด้วย