ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจำลอง

DC TRANSMISSION SYSTEM SIMULATOR

โดย

นาย จตุพร กุลภากร

นาย เทพจิตร์ เชยโภคา

นาย วิชัย ลิวนานนท์ชัย

นาย สมศักดิ์ หอมนวล

วัน เดือน ปี 31 ก.ค. 2540

เลขทะเบียน 037045

เลขเรียกหนังสือ T 38138 ค13ป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037045

ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจำลอง

DC TRANSMISSION SYSTEM SIMULATOR

โดย

นาย จตุพร กุลภากร

นาย เทพจิตร์ เชยโภคา

นาย วิชัย ลิวนานนท์ชัย

นาย สมศักดิ์ หอมนวล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

คณะผู้จัดทำ

นาย จตุพร กุลภากร

นาย เทพจิตร์ เชยโภคา

นาย วิชัย ลิวนานนท์ชัย

นาย สมศักดิ์ หอมนวล

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ขอบเขตของการทำโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยโครงงาน	2
1.4 การพัฒนาใช้งานในอนาคต	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 ข้อเปรียบเทียบ	3
1.7 บทสรุป	5
บทที่ 2 รูปแบบระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	6
2.1 ลักษณะของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	6
2.2 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์	7
2.3 การวิเคราะห์คอนเวอร์เตอร์	9
2.4 รีแอคเตอร์	14
บทที่ 3 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	17
3.1 หลักการทำงานทั่วไปของระบบ	17
3.2 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ากระแสตรง	18
3.3 เอสซีอาร์	20
3.4 คอนเวอร์เตอร์	22
3.5 บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	23
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลังไฟตรง	35
4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	35
4.2 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คอนเวอร์เตอร์ 37
4.4 การออกแบบและการสร้างตัวอินดัคเตอร์ที่ใช้เป็นรีแอคเตอร์ 38
4.5 ดีซี ฟิลเตอร์ 42
4.6 การออกแบบและการสร้างหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น 45
4.7 วงจรส่วนสร้างสัญญาณกระตุ้น 48
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง 52
5.1 การทดลองหาคุณสมบัติของคอนเวอร์เตอร์ 52
5.2 การทดลองทั้งระบบ 53
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป 62
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจำลอง

นาย จตุพร กุลภากร
นาย เทพจิตร์ เชยโภคา
นาย วิชัย ลิวนานนท์ชัย
นาย สมศักดิ์ หอมนวล
ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาการทำงานของระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำการสร้างแบบจำลองของระบบดังกล่าว โดยจะใช้เอสซีอาร์สามเฟสบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ทั้งรับและส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของแบบจำลองนี้ โดยถ้าคอนเวอร์เตอร์ที่ปลายทางทำหน้าที่ส่งกำลังไฟฟ้า (Rectification mode) คอนเวอร์เตอร์ด้านต้นทาง จะทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้า(Inversion mode) ในทางกลับกันถ้าคอนเวอร์เตอร์ด้านปลายทางทำหน้าที่รับกำลังไฟฟ้า ที่ด้านต้นทางจะทำหน้าที่ส่งกำลังไฟฟ้า

การทำให้กำลังไฟฟ้าไหลกลับทิศทางนั้นทำได้โดยกลับศักดาไฟฟ้าของสายส่ง ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนมุมจุดชนวนของชุดคอนเวอร์เตอร์ แต่กระแสจะมีทิศทางการไหลเหมือนเดิมเนื่องจากเอสซีอาร์สามารถนำกระแสได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC TRANSMISSION SYSTEM SIMULATOR

Jatuporn kullapakorn

Thepjit Cheypoca

Wichai Liwnanonchai

Somsak Homnual

Asist.Prof. Siriwat Phothiwechakul Advisor

1995

ABSTRACT

This project will educated operation of dc transmission system for simulate and developement. This system used 3 phase bridge converter full control witch SCR for receiver and transmission power.

If converter of end of transmission line operated in rectification mode. converter of sending of transmission line will operating in inversion mode. In other hand. If converter of end of transmission line operated in invertsion mode. Converter of sending of transmission line will operated in rectification mode.

To reverse power flow in transmission line by change polarity of transmission line. Polarity of transmission line change by the firing angle ,so that all the rectifier became inverter but the line current continue to flow in the same direction because thyristor conducted current in one directional.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
บทที่ 2	รูปที่ 2.1 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียว	6
	รูปที่ 2.2 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบสองขั้ว	6
	รูปที่ 2.3 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียวร่วมกัน	7
	รูปที่ 2.4 แสดงการจ่ายพลังงานในโหมดเรคติฟายเออร์	7
	รูปที่ 2.5 แสดงการจ่ายพลังงานในโหมดอินเวอร์เตอร์	8
	รูปที่ 2.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสควบคุมเต็มคลื่นและรูปคลื่น	9
	รูปที่ 2.7 วงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสต่อร่วมกันและรูปคลื่น	12
	รูปที่ 2.8 วงจรที่ใช้วิเคราะห์หาค่ารีแอคเตอร์ที่ต่อกับสายส่งไฟตรง	14
	รูปที่ 2.9 แสดงแรงดันไฟตรงและกระแสไฟตรงที่ $\alpha = 30^{\circ}$	16
บทที่ 3	รูปที่ 3.1 วงจรระบบส่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง	17
	รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง	19
	รูปที่ 3.3 สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์	20
	รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเอสซีอาร์	20
	รูปที่ 3.5 วงจรแสดงการนำกระแสของเอสซีอาร์	21
	รูปที่ 3.6 วงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	23
	รูปที่ 3.7 วงจรบริดจ์เรคติฟายเออร์	25
	รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณการทำงานของเรคติฟายเออร์เมื่อมุมจุดชนวน α=30°	26
	รูปที่ 3.9 รูปสัญญาณการทำงานของเรคติฟายเออร์เมื่อมุมจุดชนวน α=90°	27
	รูปที่ 3.10 วงจรบริดคอนเวอร์เตอร์	31
	รูปที่ 3.11 สัญญาณการทำงานของอินเวอร์เตอร์	33
บทที่ 4	รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	36
	รูปที่ 4.2 แสดงการต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว สตาร์/สตาร์	37
	รูปที่ 4.3 ลักษณะการต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์	38
	รูปที่ 4.4 (ก) การวางแกนเหล็กของอินดัคเตอร์	38
	รูปที่ 4.4 (ข) การกำหนดพื้นที่ของอินดัคเตอร์	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงชนิดของฟิลเตอร์ 44
รูปที่ 4.6 (ก) หม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น 45
รูปที่ 4.6 (ข) รูปสัญญาณกระตุ้นและสัญญาณค่าความหนาแน่น 45
รูปที่ 4.7 (ก) แสดงวงจรสัญญาณกระตุ้น 48
รูปที่ 4.7 (ข) รูปสัญญาณศักดาไฟฟ้าที่ขาต่างๆ ของ IC 49
รูปที่ 4.8 วงจรสัญญาณกระตุ้นสามชุดให้เรียงลำดับเฟส 50
รูปที่ 4.9 แสดงลายทองแดงของวงจรจุดชนวน 3 ϕ บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ 51
บทที่ 5 รูปที่ 5.1 แสดงการต่อวงจรทดลองในโหมดเรคติฟายเออร์ 52
รูปที่ 5.2 วงจรการทดลองส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 54
รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์ 59
รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นกระแสด้านส่งกำลังไฟฟ้า 59
รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นกระแสด้านรับกำลังไฟฟ้า 60
รูปที่ 5.6 แสดงชุดคอนเวอร์เตอร์แต่ละด้าน 60
รูปที่ 5.7 แสดงชุดฮาร์โมนิคฟิลเตอร์บนดีซี ไลน์ 61
รูปที่ 5.8 แสดงระบบจำลองการส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

1. ตารางบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพและริปเปิล 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่นิยมใช้ทั่วไปคือ การส่งจ่ายด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับการส่งจ่ายในระบบนี้ทำให้เกิดการแกว่ง (Oscillated) ในระบบ ซึ่งมีผลมาจากค่า L,C ที่เกิดขึ้น ที่สายส่งในระบบเนื่องจากระยะทางในการส่งผ่านพลังงานไกลๆนอกจากนี้จะเกิดค่าการสูญเสียเนื่องจากผลของแรงดันไฟฟ้าตกสูญเสีย (Voltagedrop) ทำให้เกิดปัญหาทางด้านโวลท์เตจเรกกูเลชั่นของระบบ ทำให้โวลท์เตจที่ปลายสายมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าลดลง และระบบส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากระแสสลับนี้ไม่สามารถทำการต่อเชื่อมโยงระบบจากแหล่งต้นพลังงานกระแสสลับที่มีความถี่แตกต่างกันได้

ดังนั้นจึงได้มีการนำการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเข้ามาช่วยในการส่งผ่าน พลังงานไฟฟ้า ระหว่างโครงข่ายไฟฟ้ากระแสสลับสองโครงข่าย ซึ่งปัญหาดังกล่าวข้างต้นนี้จะหมดไปถ้านำระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้

คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษา ค้นคว้า และสร้างระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบจำลองขึ้น เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบให้เหมือนระบบจริง ซึ่งการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนี้ในอนาคตอาจจะนำมาใช้ในประเทศไทยได้ เพราะดีกว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับอยู่หลายประการทั้งทางด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้า และด้านเศรษฐศาสตร์ในเรื่องของราคาระบบโดยรวม

ดังนั้นคณะผู้จัดทำหวังอย่างยิ่งว่าเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีประโยชน์สำหรับผู้ที่มีความสนใจ ในเรื่องระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เพื่ออาจจะนำระบบนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.1 ขอบเขตของการทำโครงงาน

- จะทำการศึกษา ค้นคว้า พัฒนา และสร้างแบบจำลอง การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นตัวกลางในการส่งผ่าน โดยการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากระแสสลับ สองระบบเข้าด้วยกัน ขนาด 3ϕ 120 Volt 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ (converter) เพื่อใช้ในการส่งจ่ายกำลังโดยไฟฟ้ากระแสตรง
- เพื่อศึกษาการส่งถ่ายพลังงาน ระหว่าง สองแหล่งจ่ายที่มีความถี่แตกต่างกัน
- เพื่อศึกษา ประสิทธิภาพ ของระบบ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยโครงงาน

1) เป็นการนำเอาอิเลคทรอนิคส์กำลัง(Power Electronics) มาประยุกต์ใช้งานกับระบบไฟฟ้ากำลัง
2) เนื่องจากข้อดีของระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีอยู่หลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ฉะนั้นในอนาคตอาจจะนำมาใช้ในประเทศไทยได้
3) ทำให้ผู้ที่ได้พบเห็นแบบจำลองหรืออ่านปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความเข้าใจ ระบบนี้มากขึ้น

1.4 การพัฒนาใช้งานในอนาคต

ในอนาคตระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงอาจจะนำมาใช้ในประเทศไทย เพราะฉะนั้นถ้าศึกษาระบบนี้โดยละเอียดจะสามารถควบคุมระบบนี้โดยอัตโนมัติ โดยนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมแบบป้อนกลับสามารถทำให้ การควบคุมมุมทริกเอสซีอาร์ (SCR) ให้นำกระแสเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟตรงที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์ (converter) ทั้งสอง ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถูกทิศทาง เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้นด้านใดด้านหนึ่งในทันทีทันใด

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1). สร้างวงจรกำเนิดสัญญาณทริก โดยใช้ IC TCA 785
2). ออกแบบสร้างหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้นเพื่อจุดชนวนให้เอสซีอาร์
3). ทดลองการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แต่ละชุด
4). ต่อวงจรระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
5). ทดลองจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ กัน
6). สังเกตุดู เอาท์พุทของแต่ละส่วน
7). บันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ข้อเปรียบเทียบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสตรง และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อดี

1) ในการใช้สายตัวนำรวมเท่ากัน การส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะสามารถส่งผ่านพิกัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2) ทำให้ค่าโวลท์เตจเรกูเลชั่นของระบบมีค่าน้อย เพราะมีผลของแรงดันไฟฟ้าตกสูญเสียในสายส่งที่มีผลจากค่าความต้านทาน (IR) เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก $\omega = 0$ จึงไม่มีผลจากค่าความเหนี่ยวนำ (IX_L) เข้ามาเกี่ยวข้อง

3) สายตัวนำที่ใช้จะมีสองเส้น โดยสายตัวนำเส้นหนึ่งจะมีขั้วศักดาเป็นบวก (+) เทียบกับกราวด์ และอีกเส้นหนึ่งมีศักดาไฟฟ้าเท่ากันแต่มีขั้วศักดาเป็น (-) เรียกว่าระบบสองขั้ว (bipolar) ทำให้มีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น $\pm$ Vdc และนอกจากนั้นการใช้งานส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบยังสามารถใช้สายตัวนำเพียงเส้นเดียว โดยมีทางเดินกลับโดยพื้น ดิน (earth) ได้ เป็นผลให้ค่าความต้านทานของระบบกระแสตรงต่ำกว่าของระบบกระแสสลับ ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า ระบบขั้วเดียว (monopolar) โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น + Vdc หรือ - Vdc

4) เนื่องจากระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงสายเดียว (ขั้วเดียว) จะสามารถ ใช้ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งถ้าเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบสองขั้ว สายตัวนำหนึ่งในสองของระบบสองขั้วถูกต่อลงกราวด์ ระบบสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ โดยระบบขั้วเดียวอย่างต่อเนื่องทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ ทางด้านความมั่นคงของพลังงานดีมากยิ่งขึ้น

5) ในการส่งจ่ายไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้สายตัวนำที่มีฉนวนหุ้ม (underground cable) ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จะส่งจ่ายระยะทางไม่เกิน 50 Km เนื่องจากผลของค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจุไฟฟ้าและค่ากระแสอัดประจุ (charging current) ที่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางที่ไกลขึ้น ซึ่งเมื่อใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้

6) ระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง ไม่มีระบบการซิงโครนัส (asynchronous) ดังนั้นสามารถที่จะต่อเชื่อมโยงระบบ ที่มีความถี่แตกต่างเข้าด้วยกันได้ เช่น ระหว่างประเทศอังกฤษกับฝรั่งเศษ

ข้อเสีย

1) ชุดคอนเวอร์เตอร์ (AC/DC หรือ DC/AC) อุปกรณ์ที่ใช้จะมีราคาแพงมากรวมทั้งพวกอุปกรณ์ป้องกันในระบบ (switchgear) ยังมีราคาสูงมาก

2) การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของอุปกรณ์ทางด้านกระแสตรงยังสู้กระแสสลับไม่ได้ดังนั้น ระบบสายส่งที่ไม่ยาวมากนัก จึงไม่นิยมใช้ระบบสายส่งกระแสตรง

3) ยังไม่มีเซอร์กิตเบรคเกอร์ กระแสตรงกำลังสูง ที่พัฒนาจะมีขีดความสามารถน่าเชื่อถือได้สูงเหมือนดังเช่นระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันอยู่ เพราะระบบไฟฟ้กระแสสลับ จะมีค่ากระแสเป็นศูนย์ (zero current) ถึงสองครั้งต่อหนึ่งไซเคิลของไฟ จึงไม่ค่อยมีปัญหาเรื่อง อาร์ค (arc) แต่ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง จะมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลาทำให้เกิดอาร์คได้ง่าย ขณะเมื่อมีการจากกันของหน้าสัมผัส ขณะที่มีโหลดภาระต่ออยู่ซึ่งในปัจจุบันได้พัฒนานำเอาสารกึ่งตัวนำมาใช้เป็นสวิทช์ เช่น เอสซีอาร์

4) ผลจากไม่มีอุปกรณ์ตัดตอนที่มีคุณภาพดีพอสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงทำให้ไม่สามารถที่จะแยกจุดต่อแรงดันไฟฟ้าออกไปใช้งานหลาย ๆ ตำแหน่งได้ ดังนั้น ระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสงตรง จะเป็นเพียงชุดสายส่งที่ทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานโดยตรง ระหว่างโครงข่ายกระแสสลับสองชุดเข้าด้วยกันโดยตรงเท่านั้นไม่สามารถให้มีจุดแยกย่อยออกไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ยังไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยสูญเสียพลังงานไม่มากนักได้ ซึ่งแตกต่างกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (power transformer) ที่เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าได้หลายระดับโดยมีค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงน้อยมาก

1.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวนำเรื่องการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ขอบเขตของการทำโครงงาน วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยโครงงาน การพัฒนาใช้งานในอนาคต ขั้นตอนการดำเนินงาน ข้อดีและข้อเสียของระบบไฟฟ้ากระแสตรง ที่สามารถนำมาพิจารณาในการเลือกใช้ว่าเหมาะสมหรือไม่ที่จะใช้ระบบนี้ เมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันในด้านการใช้งาน และทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะเห็นว่าในระบบสายส่งที่มีพิกัดสูง ๆ และส่งระยะทางไกล ๆ แล้วระบบไฟฟ้ากระแสตรง น่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้มากยิ่งขึ้น เพราะราคาเฉลี่ยโดยรวมจะลดลง และยังสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระยะทางไกล ๆ ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

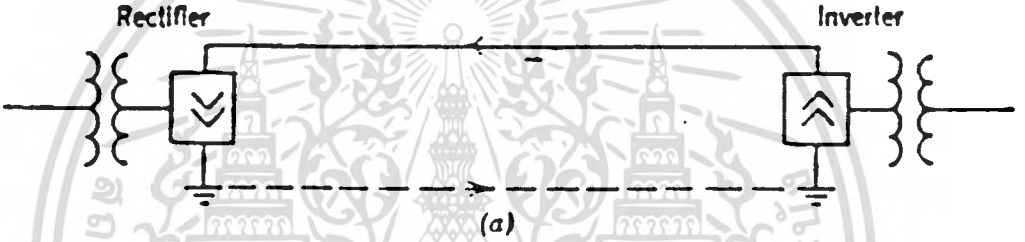
บทที่ 2

รูปแบบระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงและการวิเคราะห์
Configuration of DC Transmission System and analysis

2.1 ลักษณะของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (KIND OF DC LINKS)

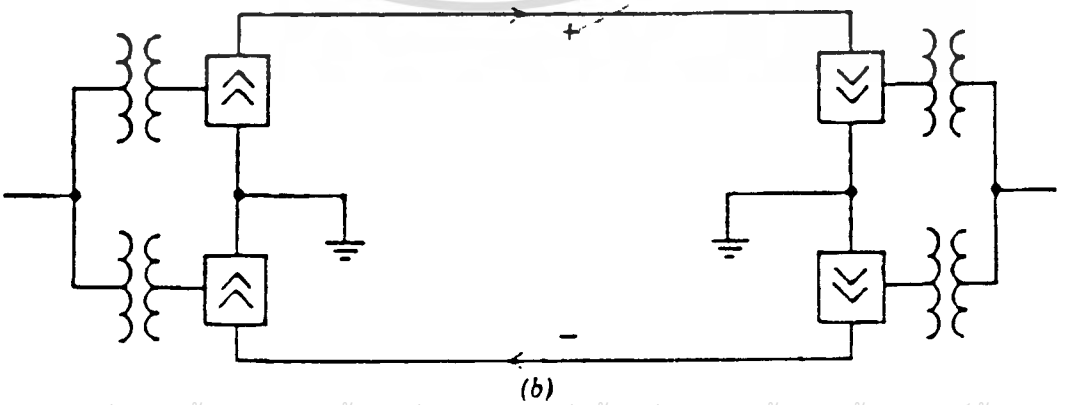
ลักษณะของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

2.1.1 **ระบบขั้วเดียว** (Monopolar Link) ระบบนี้จะมีสายตัวนำ 1 เส้น ซึ่งมีศักดาไฟฟ้าเป็นลบและใช้พื้นดินหรือทะเลในการส่งกลับ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียว

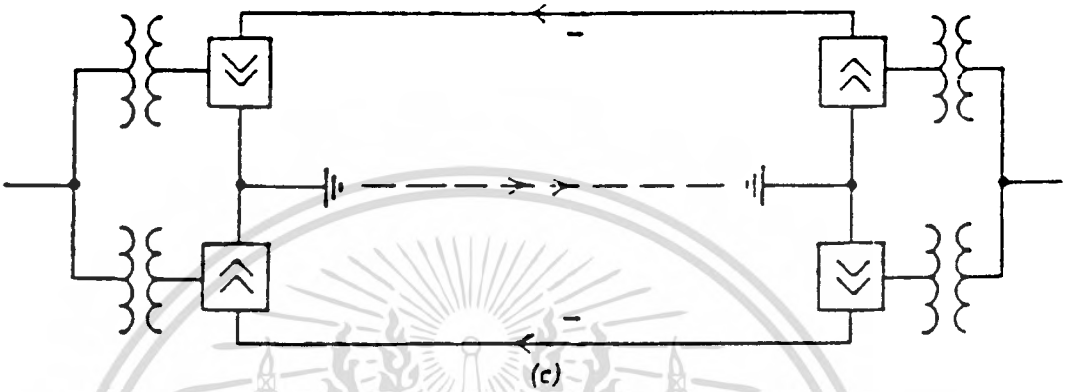
2.1.2 **ระบบสองขั้ว** (Bipolar Link) ระบบนี้จะมี 2 ตัวนำโดยแต่ละตัวนำมีศักดาไฟฟ้าเป็นบวกและลบ ซึ่งแต่ละขั้วจะมี คอนเวอร์เตอร์ 2 ชุดโดยใช้ระบบกราวน์ร่วมกัน คอนเวอร์เตอร์ แต่ละชุดทำงานเป็นอิสระต่อกันถ้าเกิดฟอลต์ (fault) บนตัวนำใดตัวนำหนึ่งตัวนำที่เหลือจะจ่ายโหลดเป็นครึ่งหนึ่งของพิกัด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบสองขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 **ระบบขั้วเดียวร่วมกัน** (Homopolar link) จะมี 2 ตัวนำ และตัวนำทั้ง 2 มี ศักดาเป็นลบและใช้พื้นดินเป็นทางเดินกลับถ้าเกิด ฟอลต์ บนตัวนำใด ตัวนำที่เหลือจะจ่ายโหลดเต็มพิกัด ดังรูปที่ 2.3

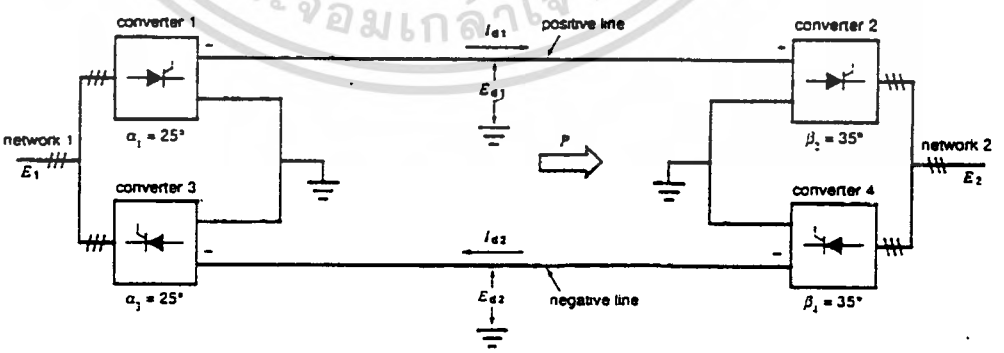


รูปที่ 2.3 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียวร่วมกัน

2.2 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของ คอนเวอร์เตอร์ จะมี 2 ลักษณะ คือ

2.2.1 **โหมดเรคติฟายเออร์** (Rectifier mode)การทำงานในโหมดนี้ จะเป็นการส่งกำลังไฟฟ้าจากกระแสสลับไปกระแสตรง

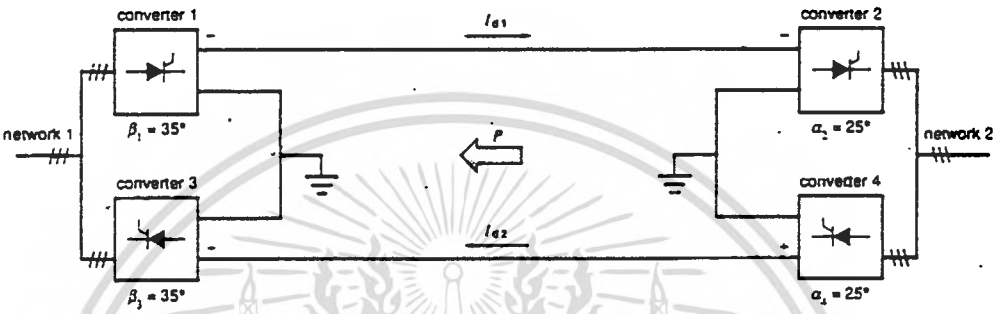


รูปที่ 2.4 แสดงการจ่ายพลังงานในโหมดเรคติฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมจุดชนวนให้เอสซีอาร์นำกระแส จะอยู่ในช่วง α = 0⟶90° โดยมีทิศทางการไหลกระแส Id การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า P,Q และขั้วของ Ed1, Ed2 เป็นดังรูปที่ 2.4

2.2.2 **โหมดอินเวอร์เตอร์** (Inverter mode) การทำงานในโหมดนี้จะเป็นการส่งกำลังไฟฟ้าจากกระแสตรงไปกระแสสลับ



รูปที่ 2.5 แสดงการจ่ายพลังงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

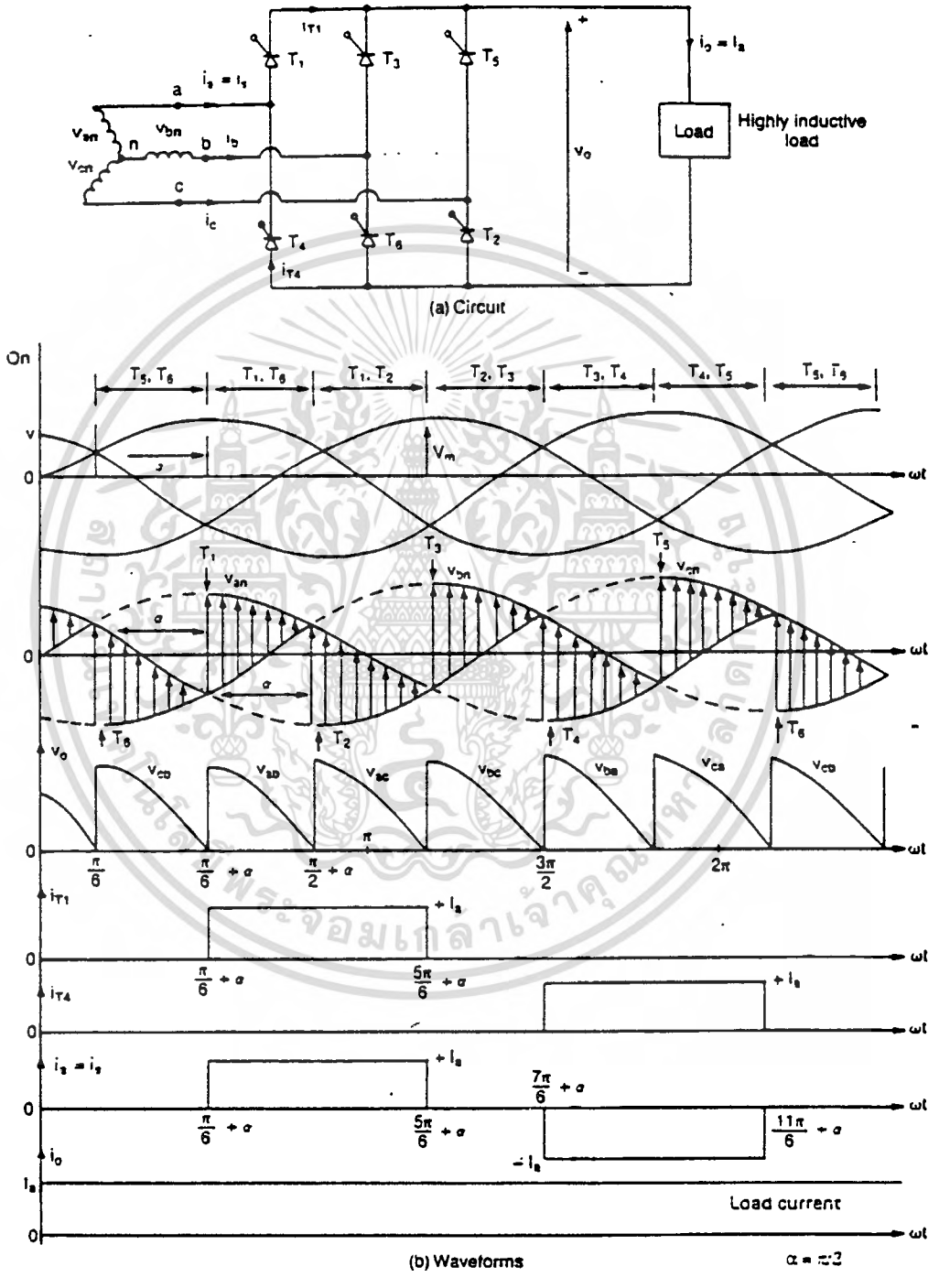
มุมจุดชนวนให้เอสซีอาร์นำกระแส จะอยู่ในช่วง α = 90° ⟶ 180° โดยทิศทางการไหลของกระแส Id การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า P,Q และขั้วของ Ed1,Ed2 เป็นดังรูปที่ 2.5

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าทิศทางการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า อาจจะกลับทางกันได้กับรูปที่2.4โดยเปลี่ยนลักษณะการควบคุมหรือมุมจุดชนวนให้เอสซีอาร์ซึ่งการเปลี่ยนมุมการจุดชนวนเช่นนี้จะทำให้ขั้ว (polarity) ของสายส่งตัวนำจะกลับสลับกันไป [จาก (+)⟶(-) และ (-)⟶(+)]โดยทิศทางการไหลของกระแสจะยังคงมีทิศทางเดิม เพราะว่าเอสซีอาร์ สามารถนำกระแสได้ทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวิเคราะห์คอนเวอร์เตอร์

2.3.1 คอนเวอร์เตอร์สามเฟสควบคุมเต็มคลื่น (Three-phase full converter)



รูปที่ 2.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสควบคุมเต็มคลื่นและรูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 a แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสควบคุมเต็มคลื่นที่มีโหลดเป็นอินดัคทีฟโหลดมีค่ามากโดยไทริสเตอร์จะต่อแบบสามเฟสบริดจ์ โดย ไทริสเตอร์แต่ละตัวจะโดนทริกที่มุมต่างกัน $\frac{\pi}{3}$ ค่าความถี่ของเอาท์พุทโวลท์เตจจะมีค่าเป็น 6 fs

ที่ $.\omega t = \frac{\pi}{6} + \alpha$, ไทริสเตอร์ T6 จะนำกระแสอยู่ก่อนแล้ว และ ไทริสเตอร์ T1จะนำกระแส ช่วงระหว่าง $.\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \le \omega t \le \left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$ ไทริสเตอร์ T1 และ T6 จะนำกระแส และค่าแรงดันระหว่างสาย Vab = (Van-Vbn) จะปรากฏคร่อมโหลด

ที่ $.\omega t = \frac{\pi}{2} + \alpha$, ไทริสเตอร์ T2 จะโดนทริกให้นำกระแส และไทริสเตอร์ T6 จะโดนรีเวิร์ดไบอัส (Reverse bias) โดยทันที T6 จะหยุดนำกระแสโดยอัตโนมัติ (natural commutation) ช่วงระหว่าง $.\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \le \omega t \le \left(\frac{5\pi}{6} + \alpha\right)$ ไทริสเตอร์ T1 และ T2 จะนำกระแส และแรงดันระหว่างสาย Vac จะปรากฏคร่อมโหลด (load) และไทริสเตอร์จะทำงานเป็นลำดับ คือ 12,23,34,45,56,61 **รูปที่ 2.6 b** แสดงรูปคลื่นแรงดัน อินพุท , เอาท์พุท รูปคลื่น กระแสอินพุท และกระแสที่ไหลผ่านไทริสเตอร์

ถ้าแรงดันระหว่างไลน์ (line) กับ นิวทรอล (neutral) มีสมการเป็น

$$.Van = V_m \sin \omega t$$

$$.Vbn = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$.Vcn = V_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

ดังนั้นแรงดันระหว่างสาย ไลน์ กับ ไลน์ จะมีสมการเป็น

$$.Vab = Van - Vbn = \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$.Vbc = Vbn - Vcn = \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$.Vca = Vcn - Van = \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันเฉลี่ยเอาท์พุทหาได้จะเป็น

$$.Vdc = \frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} V_{ab}\,d\omega t$$

$$.Vdc = \frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) d(\omega t) \qquad (2\text{-}1)$$

$$.Vdc = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} Cos\alpha$$

ค่าแรงดันเฉลี่ยเอาท์พุทสูงสุด จะเกิดขึ้นเมื่อ $\alpha = 0$ คือ

$$.Vdm = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} Vm \qquad (2\text{-}2)$$

ค่าแรงเฉลี่ยปกติ คือ

$$.Vn = \frac{Vdc}{Vdm} = COS\alpha \qquad (2\text{-}3)$$

ค่าแรงดัน rms(root mean square) เอาท์พุท จะหาได้จาก

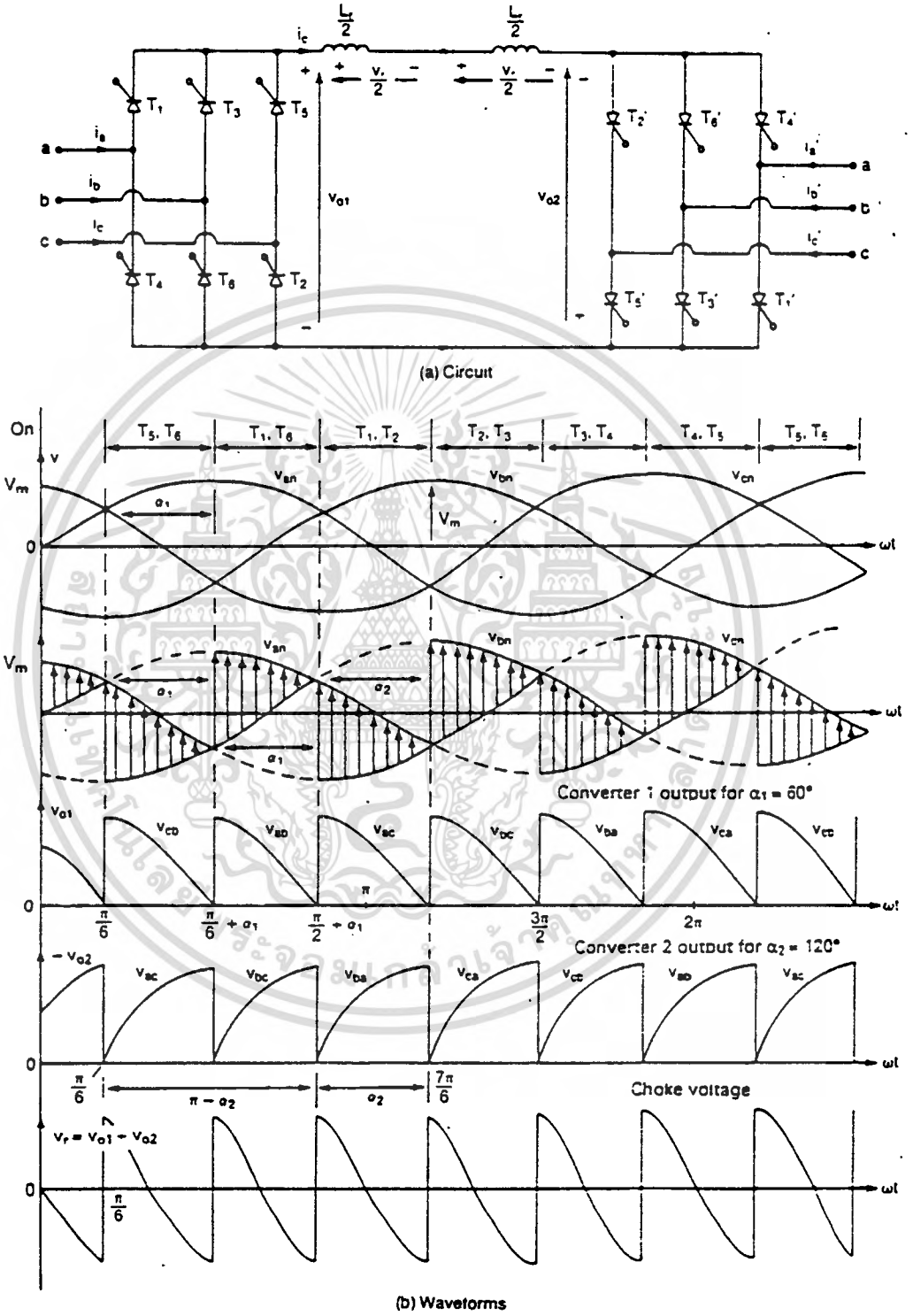
$$.Vrms = \left[\frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} 3V^2{}_m \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2\text{-}4)$$

$$.Vrms = \sqrt{3}V_m\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} COS2\alpha}$$

รูปที่ 2.6 b แสดงรูปคลื่น เมื่อ $.\alpha = \frac{\pi}{3}$ ถ้า $.\alpha > \frac{\pi}{3}$ เอาท์พุทโวลท์เตจ Vo จะมีส่วนที่เป็นซีกลบด้วยแต่ค่ากระแสที่ไหลผ่านไทริสเตอร์ไม่เป็นลบ เพราะว่าไทริสเตอร์สามารถนำกระแสได้ทางเดียว เพราะฉะนั้น กระแสโหลดจะเป็นบวก (+) เสมอแต่ถ้าเป็นโหลดที่เป็นความต้านทานล้วน เอาท์พุทโวลท์เตจจะไม่มีส่วนที่เป็นซีกลบปรากฏออกมา

เอกสารนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 คอนเวอร์เตอร์สามเฟสต่อร่วมกัน (Three-phase dual converters)



รูปที่ 2.7 วงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสต่อร่วมกันและรูปคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 a แสดงวงจร คอนเวอร์เตอร์สามเฟสต่อร่วมกัน คือ วงจรคอนเวอร์สามเฟส 2 วงจรนำมาต่อร่วมกันแบบ แบ็คทูแบ็ค (back to back) วงจรคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองจะควบคุมโดยใช้สัญญาณทริก ที่มีมุม $\alpha 1, \alpha 2$ ตามลำดับ โดย $\alpha 2 = \pi - \alpha 1$

รูปที่ 2.7 b แสดงรูปคลื่น อินพุทโวลท์เตจ ,เอาท์พุทโวลท์เตจ และโวลท์เตจตกคร่อม อินดัคเตอร์ การทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แต่ละตัว จะเหมือนกันกับวงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสควบคุมเต็มคลื่น ช่วงระหว่าง $\left(\frac{\pi}{6}+\alpha_1\right) \le \omega t \le \left(\frac{\pi}{2}+\alpha_1\right)$ ค่า แรงดันระหว่างสาย Vab จะตกคร่อมที่เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ 1 และ Vbc จะตกคร่อมที่เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ 2

ถ้าแรงดันระหว่าง ไลน์ กับ นิวทรอล มีสมการเป็น

$$Van = V_m \sin \omega t$$

$$Vbn = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$Vcn = V_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

ดังนั้นแรงดันระหว่างสาย ไลน์ กับ ไลน์ จะมีสมการเป็น

$$Vab = Van - Vbn = \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$Vbc = Vbn - Vcn = \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$Vca = Vcn - Van = \sqrt{3} V_m \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

ถ้า Vo1 และ Vo2 คือ แรงดันเอาท์พุทของ คอนเวอร์เตอร์ 1 และ คอนเวอร์เตอร์ 2 ตามลำดับค่าโวลท์เตจตกคร่อมตัวอินดัคเตอร์ จะอยู่ในช่วงระหว่าง $\left(\frac{\pi}{6}+\alpha 1\right) \le \omega t \le \left(\frac{\pi}{2}+\alpha 1\right)$ คือ

$$Vr = V01 + V02 = Vab - Vbc$$

$$Vr = \sqrt{3} Vm \left[\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) - \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)\right] \qquad (2\text{-}5)$$

$$Vr = 3Vm \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแส ir จะสามารถหาได้จาก

$$ir(t) = \frac{1}{\omega Lr} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha 1}^{\omega t} Vr d\omega t$$

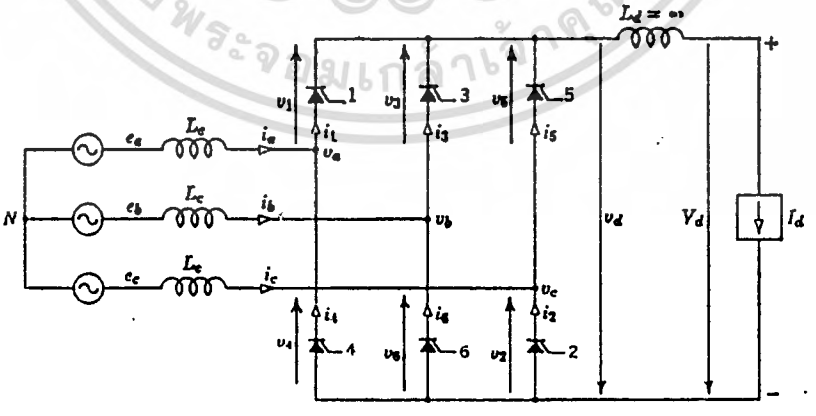
$$ir(t) = \frac{1}{\omega Lr} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha 1}^{\omega t} 3Vm \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) d\omega t \qquad (2\text{-}6)$$

$$ir(t) = \frac{3Vm}{\omega Lr}\left[\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) - \sin\alpha 1\right]$$

ค่ากระแส ir จะขึ้นอยู่กับ มุมทริก $\alpha 1$ และค่าอินดัคเตอร์ L ค่ากระแส ir จะมีค่ามากที่สุด เมื่อ $\omega t = \frac{2\pi}{3}$ และ $\alpha 1 = 0$ ตัว อินดัคเตอร์ L ที่ต่อในวงจรนั้น จะเป็นตัวเก็บคลื่นแรงดันระลอก (ripple) ที่ขึ้อยู่บนแรงดันไฟตรง Vo1, Vo2

2.4 รีแอคเตอร์ (Reactors)

รีแอคเตอร์ จำเป็นที่จะต้องต่อไว้ในสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำให้กระแสในสายส่งไหลได้ต่อเนื่องและยังมีหน้าที่เก็บแรงดันคลื่นระลอกที่อยู่บนสายส่งให้มีระดับที่ยอมรับได้ โดยการออกแบบรีแอคเตอร์พิจารณาจากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรที่ใช้วิเคราะห์หาค่ารีแอคเตอร์ที่ต่อกับสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $$L_d \frac{di_d}{dt} = v_d - V_d \quad (2\text{-}7)$$

ดังนั้น $$i_d = \frac{1}{L_d}\int (v_d - V_d)dt \quad (2\text{-}8)$$

$$v_d = \sqrt{3}V_m \cos(\omega t - 30°) \text{ เมื่อ } \quad \leq \omega t \leq \alpha + 60° \quad (2\text{-}9)$$

จากสมการ (2-1)

$$.V_d = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}\cos\alpha$$

$$.V_d = V_{do}\cos\alpha \quad (2\text{-}10)$$

เมื่อ V_m = ค่าแรงดันไฟสลับสูงสุดระหว่างไลน์ - นิวทรอล

V_{do} = ค่าแรงดันไฟตรงเมื่อไม่มีโหลด

โดยที่

$$.V_{do} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi}V_{LN} = 2.34V_{LN} \quad (2\text{-}11)$$

$$.V_{do} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi}V_{LL} = 1.35V_{LL} \quad (2\text{-}12)$$

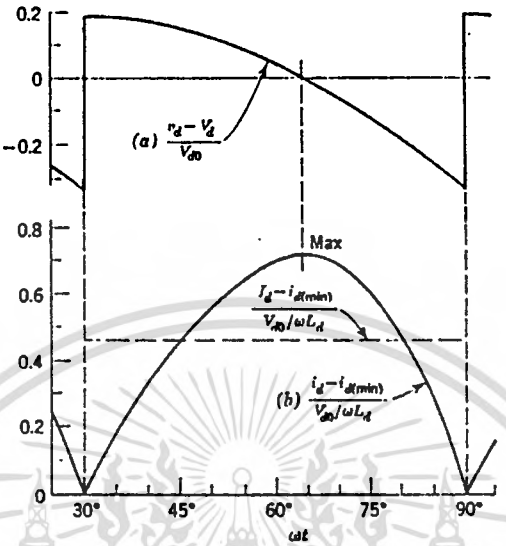
ดังนั้นแรงดันตกคร่อมรีแอคเตอร์ คือ

$$v_d - V_d = V_{do}\left[\frac{\pi}{3}\cos(\omega t - 30°) - \cos\alpha\right] \quad (2\text{-}13)$$

นำค่าต่างๆแทนในสมการ (2-8) จะได้

$$i_d = \frac{V_{do}}{\omega L_d}\left\{\frac{\pi}{3}\left[\sin(\omega t - 30°) - \sin(\alpha - 30°)\right] - (\omega t - \alpha)\cos\alpha\right\} \quad (2\text{-}14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงแรงดันไฟตรงและกระแสไฟตรงที่ $\alpha = 30°$

ดังนั้นค่ากระแสไฟตรงบนสายส่งจะได้

$$I_d = \frac{3}{\pi}\int_{\alpha}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} i_d d(\omega t)$$

$$I_d = \frac{V_{do}}{\omega L_d}\left[\sin\alpha - \frac{\pi}{3}\sin(\alpha - 30°) - \frac{\pi}{6}\cos\alpha\right]$$

$$I_d = \frac{V_{do}}{\omega L_d}(0.0931\sin\alpha) \qquad (2\text{-}15)$$

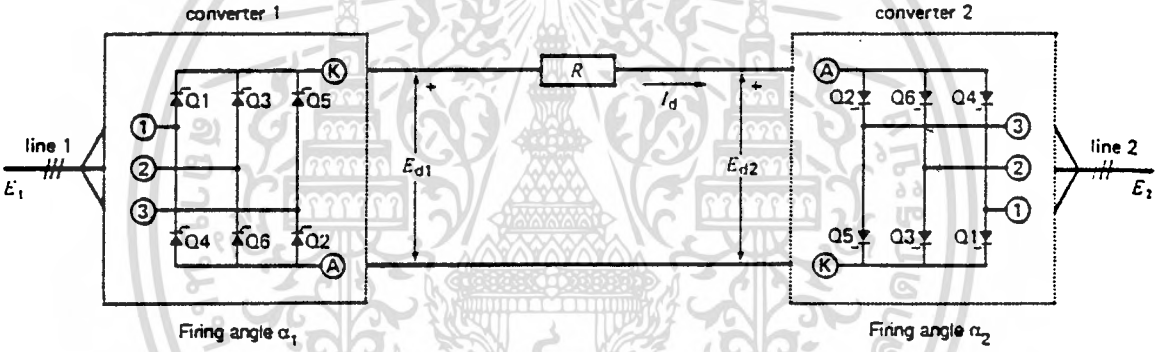
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

3.1 หลักการทำงานทั่วไปของระบบ

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นระบบส่งไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับสองระบบโดยมีชุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ปลายด้านหนึ่งของสายส่งทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC/DC converter) เรียกว่า เรคติฟายเออร์ (rectifier) ในขณะที่มี คอนเวอร์เตอร์ อีกชุดที่ต่ออยู่อีกทางด้านปลายสายส่งอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าตรงกลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC/AC converter) เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ (inverter)



รูปที่ 3.1 วงจรระบบส่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงโดยที่ชุดคอนเวอร์เตอร์ 1 จะเป็นชุดเรคติฟายเออร์ ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสสลับของสายส่งไลน์ 1 ไปเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะถูกส่งผ่านไปโดยระบบสายส่งสองเส้น จากนั้นคอนเวอร์เตอร์ 2 จะทำการเปลี่ยนกลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสใหม่ ซึ่งก็คือทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับทั้งสองข้างสามารถมีความถี่ที่แตกต่างกันได้ทิศทางการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าอาจจะกลับทางกันได้ โดยเปลี่ยนลักษณะการคุมวาล์วที่ควบคุมโดย มุมทริก $\alpha 1$ และ $\alpha 2$ เพื่อให้ คอนเวอร์เตอร์ 1 เป็นอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่คอนเวอร์เตอร์ 2 เป็นเรคติฟายเออร์ ซึ่งการเปลี่ยนมุมการทำงานเช่นนี้จะทำให้ ขั้ว(polarity) ของสายส่งตัวนำ จะสลับกันไปจาก [จาก (+) $\longrightarrow$ (-)] โดยทิศทางการไหลของกระแสจะยังคงมีทิศทางเดิม ที่เป็นเช่นนี้เพราะวาล์ว สามารถนำกระแสได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 เริ่มจากทางด้านซ้ายเป็น เอซี บัส (Bus) ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่เป็นระบบ ที่ต้องส่งพลังงานในระยะทางไกล (long-distance point-to-point) เรคติฟายเออร์จะเป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ต่ออยู่ใกล้กับเยนเนอร์เรชั่น (generation source) จะมีค่าน้อยมาก ส่วน อินเวอร์เตอร์ซึ่งมักจะอยู่ใกล้กับพื้นที่โหลด (load) ซึ่งมีเยนเนอร์เรชั่นน้อย อิมพีแดนซ์ระหว่าง บัส กับ วงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายกระแสสลับ (AC source) มีความสัมพันธ์ที่จะต้องพิจารณา ซึ่งในอิมพีแดนซ์จะมีความต้านทานเป็นส่วนประกอบอยู่ซึ่งมีประโยชน์และเป็นข้อเสียของคอนเวอร์เตอร์ โดยจะมีอิทธิพลต่อเอซีบัสโวลท์เตจ

ส่วนที่ต่อจาก เอซีบัส คือ เอซี ฟิลเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ป้องกันตัวคอนเวอร์เตอร์สร้างฮาร์โมนิคของกระแสสลับ (AC current harmonics) ผ่านเข้าไปในระบบเอซี (AC system) โดยตัวฟิลเตอร์ จะสามารถปรับให้กรอง ความถี่ฮาร์โมนิค (harmonic frequencies) หลัก ๆ ได้ทั้งความถี่เดียว (single tune) สองความถี่ (double tuned) หรือแถบความถี่ (capacitive) และเป็นส่วนหนึ่งของ รีเอคทีฟ คอนเพนเซชั่น (reactive compensation) และยังสามารถทำให้เป็นส่วนชั้นคาปาซิเตอร์แบงค์ (shunt capacitor bank) ได้ด้วย

อุปกรณ์หลักอีกอย่างที่สำคัญใน สถานีไฟฟ้ากระแสตรง (converter station) คือ คอนเวอร์เตอร์บริดจ์ (converter bridge) ซึ่งจะมีอยู่ใน เอซี-ดีซี เรคติฟิเคชั่นหรือ ดีซี-เอซี อินเวอร์ชั่น เทคโนโลยีปัจจุบันนี้จะใช้ ไทรีสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ สวิทชิ่ง แต่ระบบเก่า ๆ จะใช้ เมอร์คิวรี่-อาร์ก วาล์ว (mercury-arc valves) แทนไทรีสเตอร์จะมีข้อจำกัดในด้านขนาดของ บล็อกกิ้ง โวลท์เตจ (blocking voltage) ซึ่งมีค่าประมาณ 5-7 กิโลโวลท์จึงจำเป็นต้องนำไทรีสเตอร์มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ทนโวลท์เตจที่ค่าอย่างน้อยประมาณ 600 กิโลโวลท์หรือมากกว่าเมื่อต้องนำมาใช้ในระบบระยะทางไกลต่อไปเป็นอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับ บริดจ์ของคอนเวอร์เตอร์ ทางด้านดีซี คือ สมูทติ้ง รีแอคเตอร์ (smoothing reacter) ซึ่งทำหน้าที่หลายอย่างดังนี้

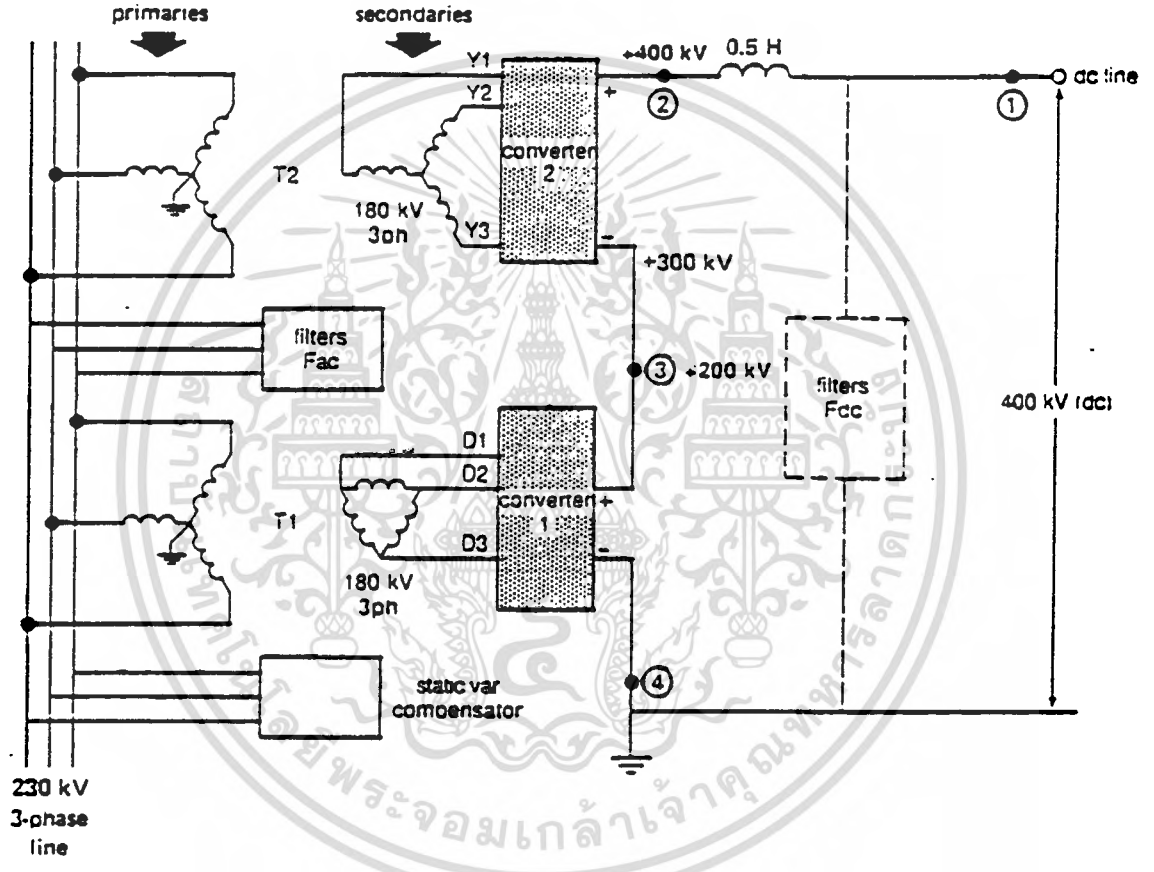
ข้อแรก ทำงานร่วมกับดีซีฟิลเตอร์ในการลดแอมพิจูดของฮาร์โมนิคโวลท์เตจในดีซี ทรานสมิสชั่นไลน์

ข้อสอง บล็อคโวลท์เตจที่เกิดจากฟ้าผ่าและสวิทชิ่งเชิจที่ผ่านคอนเวอร์เตอร์ บริดจ์มา

ข้อสาม จำกัดอัตราการเพิ่มของกระแสตรง เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในไลน์ ส่วนดีซีฟิลเตอร์จะมีการจูลไปที่ความถี่ของฮาร์โมนิคที่ 6 (ในกรณีที่เป็นระบบ 6 พลัซ) เป็นความถี่ระลอกที่เป็นความถี่หลักของดีซีโวลท์เตจ และอาจจะมีการใช้ ไฮท์พาร์ท ฟิลเตอร์ร่วมด้วยในการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ส่วนที่เหลือจากรูปที่ 3.1 คือส่วนควบคุมระบบมีหน้าที่สร้าง พลัซเพื่อใช้ในการจุดชนวนวาล์วของคอนเวอร์เตอร์เพื่อที่จะได้ควบคุมระบบได้



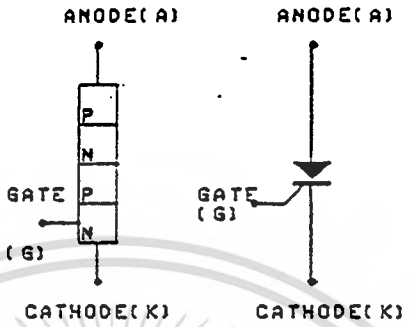
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037045

3.3 เอสซีอาร์ (SCR)

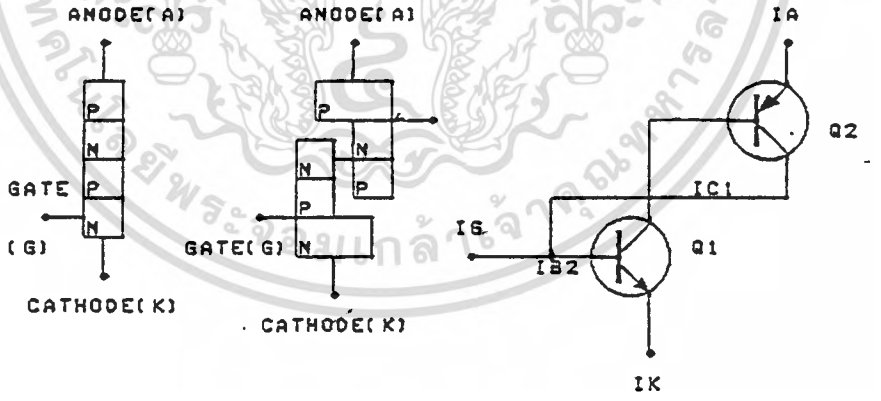
เอสซีอาร์เป็นสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น P N P N ต่อกันดังรูป แต่มีขั้วออกมาเพียง 3 ขั้ว คือ แอโนด แคโทด และเกท สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์จะเป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์

พิจารณาโครงสร้างของเอสซีอาร์เป็นทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP ต่อกันดังแสดงในรูปที่ 3.4 ขาอิมิเตอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 (PNP) จะต่อร่วมกันขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 (NPN) เป็นขั้วเกท



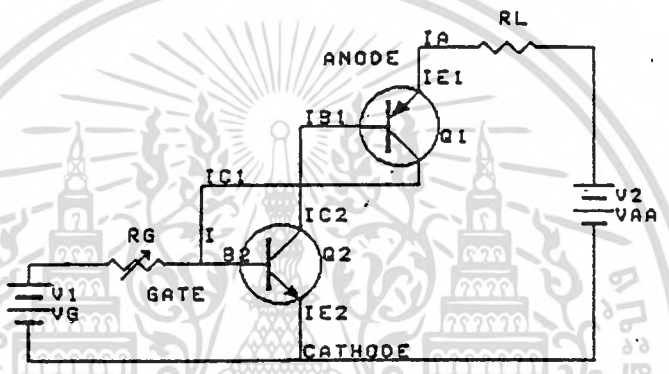
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์คือ ขณะที่ไม่มีกระแสไหลเข้าสู่เกทสู่แคโทด แรงดันแคโทดเมื่อเทียบกับแอโนดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส แต่เมื่อแรงดันที่แอโนดทียบกับแคโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าสู่เกทแคโทดตามที่ได้ต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีอาร์จะนำกระแส การจ่ายกระแสไหลเข้าสู่แคโทด เพื่อทำให้เอสซีอาร์นำกระแสเรียกกันว่า การทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

พิจารณาตามวงจรที่แสดงในรูปที่ 3.5 เมื่อมีกระแส Ig ไหลเข้าสู่อิมิเตอร์ของทรานซีสเตอร์ Q2 (NPN) หรือมีกระแสไหลเข้าเกท สู่แคโทดเอสซีอาร์ จะมีกระแสไหลเข้าคอนเลคเตอร์ (Ic2) ของทรานซีสเตอร์ Q2 (NPN) เท่ากับ B2 เท่ากับ Ig จะเท่ากับ Ib2 จะทำให้มีกระแสไหลจากขั้วบวกของ Vaa และกระแสเบส (Ib1) จะทำให้มีการไหลของกระแส Ic1 ไหลจากอิมิเตอร์เข้าสู่คอลเลคเตอร์ของทรานซีสเตอร์ Q1 เท่ากับ B2 เท่าของ Ib1 และกระแส Ib2 .



รูปที่ 3.5 วงจรแสดงการนำกระแสของเอสซีอาร์

จะเท่ากับ Ic1 รวมกับ Ig จนในที่สุดทรานซีสเตอร์ทั้งสองนำกระแสหรือเรียกว่าเอสซีอาร์นำกระแส คือ ความต้านทานระหว่างขั้วแอโนด และที่คาโทดของเอสซีอาร์มีค่าต่ำมาก แรงดันไฟฟ้าเกือบทั้งหมดจะไปคร่อมโหลด R1 โดยมีแรงตกคร่อมเอสซีอาร์น้อยมาก จะเห็นได้ว่าสามารถใช้กระแสจ่ายเข้าเกทเพียงเล็กน้อยก็สามารถจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และเมื่อจ่ายกระแสเข้าเกทเพียงชั่วครู่แล้วหยุดจ่ายกระแสเข้าเกท กระแส Ib2 จะเท่ากับ Ic1 เอสซีอาร์ก็ยังนำกระแสอยู่ กล่าวสรุปได้ว่าเมื่อทำการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสแล้วเอสซีอาร์จะยังคงนำกระแสต่อไป แม้จะนำกระแสทริกออก

วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

ทรานซีสเตอร์สามารถทำให้หยุดนำกระแส โดยการหยุดจ่ายกระแสเข้าเบส แต่สำหรับเอสซีอาร์จะไม่หยุดนำกระแสเมื่อลดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ลงต่ำกว่ากระแสยึด (Holding current) เป็นเวลานานกว่าเทรินออฟไทม์ (tg) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำให้กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ลดลงต่ำกว่ากระแสยึด โดยแหล่งจ่ายไฟที่เป็นกระแสสลับซึ่งเรียกกันว่า วิธีหยุดนำกระแสโดยใช้แรงดันระหว่างไลน์ (Line commutation) หรือหยุดนำกระแสโดยแหล่งจ่าย (Natural commutation) คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเป็นศูนย์ และมีแรงดันกลับทิศทาง ซึ่งจะเป็นการจ่ายรีเวิร์ดไบอัสแก่เอสซีอาร์ ในทุก ๆ ไซเคิล และกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะตกสู่ศูนย์ซึ่งถ้าเป็นเวลานานกว่า เทรินออฟไทม์ ก่อนที่จะจ่าย แรงดันฟอร์เวิร์ดไบอัสอีกครั้ง ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เอสซีอาร์ หยุดนำกระแสในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับโดยการควบคุมเฟส

3.4 คอนเวอร์เตอร์

ในหัวข้อนี้จะแสดงรายละเอียดของการทำงานในขบวนการคอนเวอร์ชั่น (convertion) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการส่งพลังงานกระแสตรงแรงดันสูงโดยขบวนการเรคติฟิเคชั่น(Rectification) เป็นขบวนการเปลี่ยนเอซีเพาเวอร์ (AC power) เป็นดีซีเพาเวอร์ (DC power)ซึ่งเป็นขบวนการแรกในระบบการส่งพลังงานแบบ ระบบไฟฟ้าแรงสูงแบบกระแสตรง (HDVC) และอินเวอร์ชั่น (Inversion) เป็นขบวนการเปลี่ยนดีซีเพาเวอร์ เป็น เอซีเพาเวอร์ และเป็นขบวนการสุดท้ายในระบบไฟฟ้าแรงสูงแบบกระแสตรงโดยทั้งสองขบวนการคือ เรคติฟิเคชันหรืออินเวอร์ชั่น จะเรียกรวมกันว่าขบวนการคอนเวอร์ชั่นและวงจรที่แสดงขบวนการดังกล่าวจะรียกว่าคอนเวอร์เตอร์ (converter)

ขบวนการคอนเวอร์ชั่นทั้ง เอซี/ดีซี หรือ ดีซี/เอซี เป็นขบวนการที่ใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ควบคุม โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วย วาล์ว (valves) ซึ่งเป็นเพาเวอร์เซมิคอนดัคเตอร์ไทรีสเตอร์ (power semicomductor thyistor) หลายตัวมาต่อกันเป็นหนึ่งวาล์วโดยการควบคุมจังหวะการทริก (firing) สัญญาณ เกทพลัซ (gate pulses) ซึ่งทำให้สามารถควบคุมระดับ เอาท์พุทโวลท์เตจ (output voltage) ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ได้ ซึ่งหมายความว่าทั้งกระแสและพลังงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ในระบบไฟฟ้าแรงสูงแบบกระแสตรงสามารถที่จะควบคุมให้คงที่อยู่ได้ (statically) หรือให้เปลี่ยนแปลงได้ (dynámically) และถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ทำให้ระบบดีซีแตกต่างจากระบบเอซี

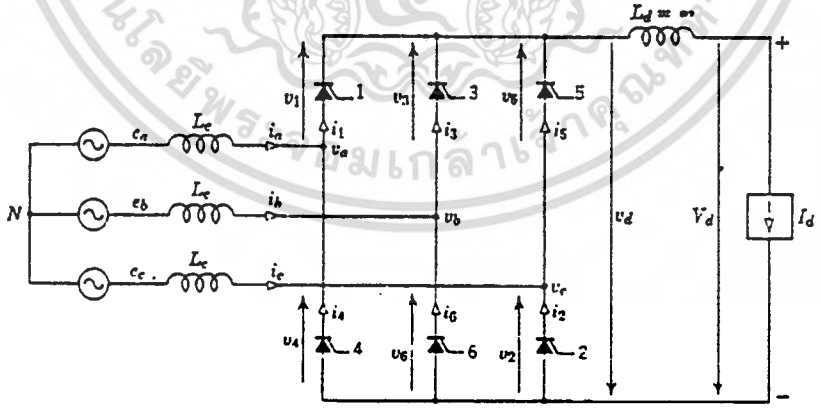
ในขบวนการคอนเวอร์ชั่น มีข้อเสียของวงจรคอนเวอร์เตอร์ 2 ข้อ คือกระแสและโวลท์เตจจะมีฮาร์โมนิค และ วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการ การชดเชย(compensation) รีแอคทีฟฮาร์โมนิค (reactive harmonic) ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดเพราะขบวนการ คอนเวอร์ชั่น ที่สร้าง ดีซี จากเอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสร้างเอซีจากดีซีจากการทำการสวิทชิ่ง (switching) ซึ่งจะทำการตัดต่อคลื่น (chop waveforms) ซึ่งจะสร้างส่วนประกอบซึ่งเป็น ฮาร์โมนิคขึ้นใน กระแสเอซี (AC current) และ ในดีซี โวลท์เตจ (DC voltage) ดังนั้นจึงต้องทำการกรอง (filtering) ในวงจร คอนเวอร์เตอร์ และ ที่มีความต้องการ รีแอคทีฟ เพาเวอร์ (reactive power) เพราะมีการหน่วงสัญญาณทริก (firing angle delay) และมีการต่อวงจร คอมมิวเตชั่น (commutation) ผ่านหม้อแปลงทำ ให้เกิดมี รีแอคแตนซ์ (reactance) เกิดขึ้นในเฟส (phase) ซึ่งเป็นผลทำให้กระแสเอซี หน่วงไป จาก เอซี โวลท์เตจ

3.5 บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

ในวงจรบริดจ์ แบบ 6 พลัซ ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยวาล์ว 6 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยไทรีสเตอร์หลายตัวต่อกันอยู่ แต่ในวงจรวาล์วจะถูกแทนด้วยไทรีสเตอร์เพียงตัวเดียว ขั้วแคโทดของวาล์ว 1, 3 และ 5 จะถูกต่ออยู่กับส่วนบนของวงจร บริดจ์ และขั้วแอโนดจะต่ออยู่กับเฟส A, B และ C ตามลำดับ ส่วนวาล์ว 2, 4 และ 6 ขั้วแอโนดจะต่ออยู่กับส่วนล่างของบริดจ์ และขั้วแคโทดต่อยู่กับเฟส A, B และ C ตามลำดับ โดยที่กลุ่มของวาล์ว 1, 3 และ 5 จะมีการต่อเหมือนกับกลุ่มวาล์ว 2, 4 และ 6 เมื่อให้โวลท์เตจกระแสสลับเป็น Ua , Ub และUc จะทำการไบอัสวาล์วของคอนเวอร์เตอร์ให้ ออนและออฟ ในแต่ละไซเคิลซึ่งถ้ากำหนดลำดับของการจุดชนวนเป็น 1,2,3,4,5 และ 6 ก็จะทำให้กระแสที่ไหลออกมาจากบริดจ์เป็นกระแสตรง



รูปที่ 3.6 วงจร บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากวงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่มี L ต่ออยู่ ซึ่งคือ อินดัคแตนซ์ของหม้อแปลงรวมไปถึงอินดัคแตนซ์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยค่าแรงดันเฉลี่ย เมื่อเราทำการจุดชนวนที่มุม α ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแรงดันเฉลี่ย เมื่อ α = 0 คือ Vd

$$.Vdo = \frac{n}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{n}}^{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{n}} V.\sin\omega t d\omega t \qquad (3\text{-}1)$$

$$.Vdo = V.\left(\sin\frac{\pi}{n}\right)\left(\frac{\pi}{n}\right) \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ $.n = 6$ $$.Vdo = \frac{3V}{\pi} \qquad (3\text{-}3)$$

เมื่อเราทำการรจุดชนวนที่มุม α ค่าแรงดันเฉลี่ย $.Vd$ คือ

$$.Vd = \frac{n}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{n}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{n}+\alpha} V.\sin\omega t d\omega t \qquad (3\text{-}4)$$

$$.Vd = \frac{nV \times \sin\frac{\pi}{n} \times COS\alpha}{\pi} \qquad (3\text{-}5)$$

เมื่อ $.n = 6$ $$.Vd = Vdo \times COS\alpha \qquad (3\text{-}6)$$

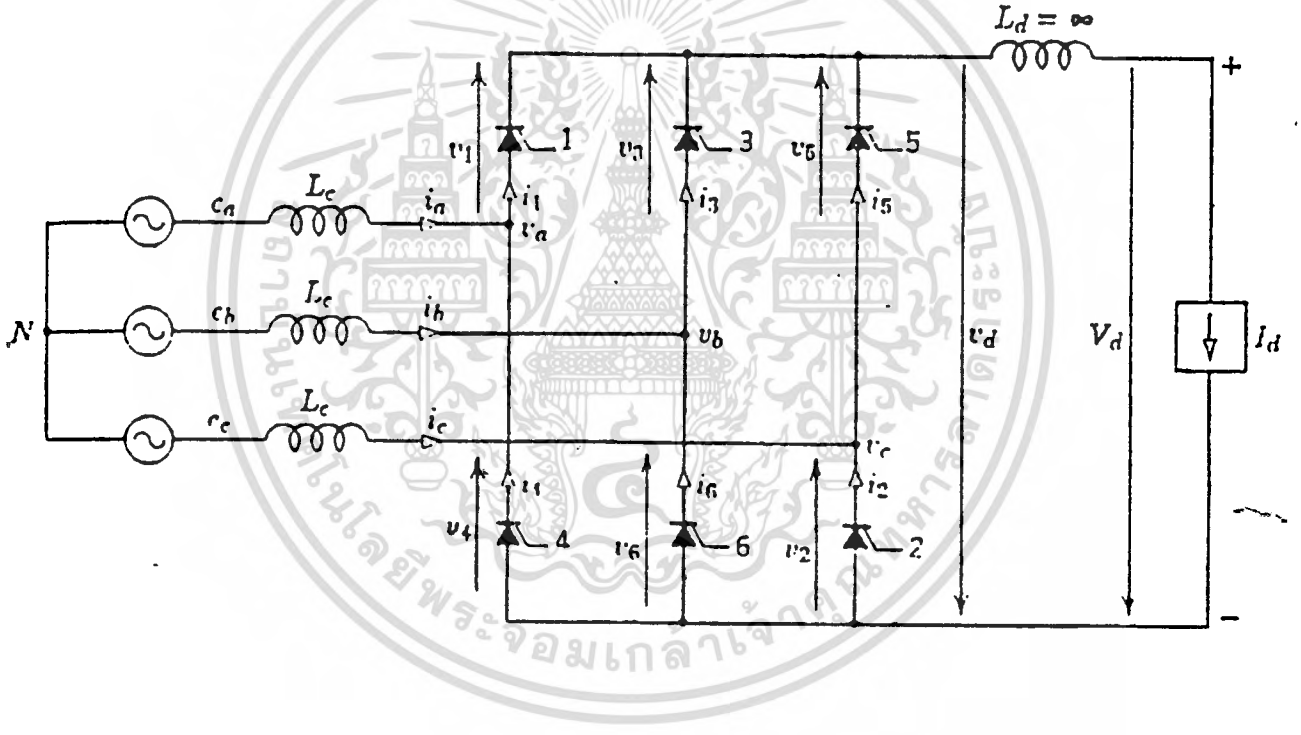
3.5.1 เรคติฟายเออร์ (Recitifier)

วงจร บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานเป็น เรคติฟายเออร์ จะเริ่มต้นที่การทำงานขั้นพื้นฐานก่อนโดยให้ วาล์วทั้ง 6 เป็นวาล์วที่มีจุดชนวนเป็นศูนย์ ซึ่งเราก็จะแทน วาล์วเหล่านั้นด้วยไดโอดซึ่งมันจะเกิดสภาวะ"บล็อค"เมื่อเกิดรีเวิร์สไบอัสแต่จะนำกระแส เมื่อให้ฟอร์เวิร์ดไบอัสให้เอซี โวลท์เตจเป็นรูปซายน์ และระบบคงที่อยู่ตลอดเวลา ไม่มีคอมมิวเตติ่งรีแอคแตนซ์ นั่นคือไม่มีทั้ง ลีกเกจ รีแอคแตนซ์ (leakage reactance)ของหม้อแปลงและรีแอคแตนซ์ ของระบบเอซี

การทำงานของวงจร บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีมุมจุดชนวนเป็นศูนย์จะมีโวลท์เตจ 3 ค่า คือ UR,US และ UT วาล์ว 1 จะเริ่มนำกระแสเมื่อได้รับ ฟอร์เวิร์ดไบอัส ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ โวลท์เตจที่ขั้ว อาโนดมีค่ามากกว่า โวลท์เตจที่ขั้วคาโธดของมัน การที่จะหาโวลท์เตจที่คาโธดได้นั้นต้องกำหนดให้ บริดจ์ที่วัฏจักรการทำงานที่คงที่ตลอดเวลา นั่นก็หมายความว่าวาล์ว 5 ได้นำกระแส

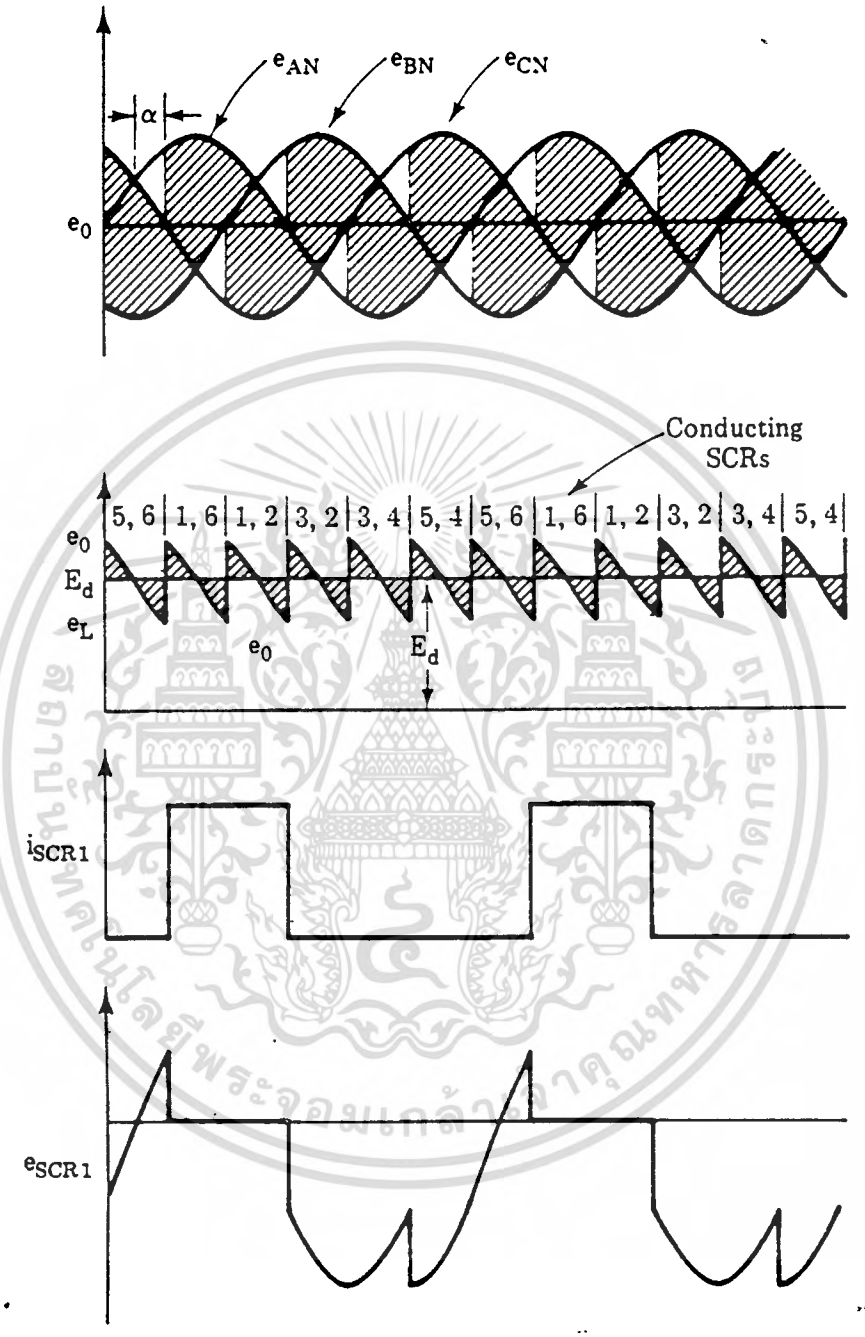
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก่อนและจากนั้น การนำกระแสก็เปลี่ยนมาเป็น วาล์ว 1 ถ้าวาล์ว 5 ทำงานก่อนนั้นหมายความว่า คาโธด โวลท์เตจของวาล์ว 1 จะเป็น UT ยกตัวอย่างว่า UR มากกว่า UT วาล์ว 1 จะมีการฟอร์เวิร์ดไบอัสและเริ่มนำกระแส ดังแสดงให้เห็นทางด้านซ้ายของแกนเวลาของกราฟรูปที่ 3.8 และจะนำอีกครั้งที่ 360 องศาต่อมา



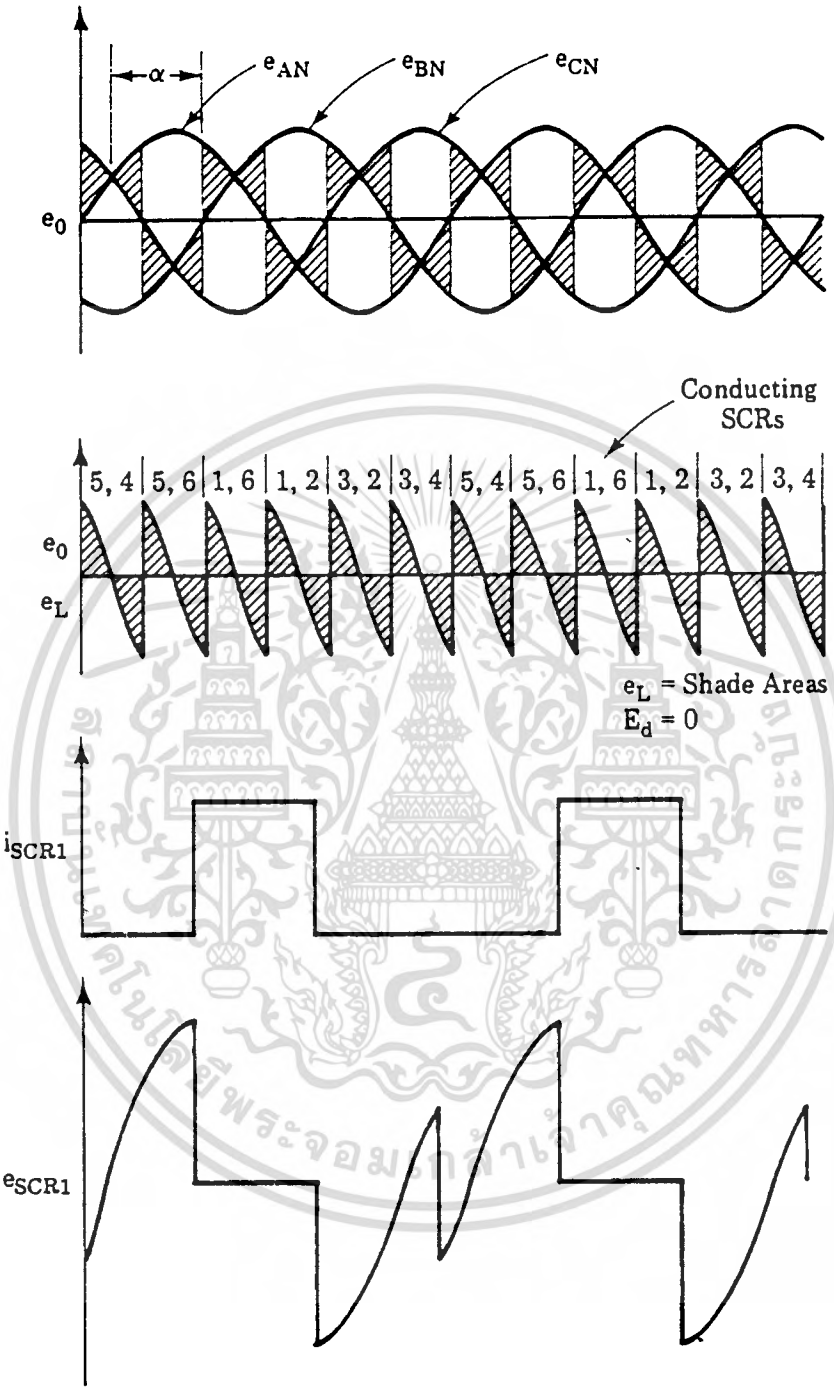
รูปที่ 3.7 วงจรบริดจ์เรคติฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณการทำงานของเรคติฟายเออร์เมื่อมุมจุดชนวน $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 รูปสัญญาณการทำงานของเรคติฟายเออร์เมื่อมีมุมจุดชนวน $\alpha = 90^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการนำกระแส วาล์ว 1 ก็ยังคงนำกระแส Id ไปจนกว่า วาล์ว 3 จะฟอร์เวิร์ดไบอัส ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ US มีค่ามากกว่า UR ซึ่งจะนำอยู่ 120 องศา หลังจากจุดที่ $\alpha = 0$ และในระหว่างที่วาล์ว 1 นำกระแส วาล์ว 6 และ 2 ก็นำกระแสตามลำดับ และวาล์ว 2 ยังคงนำกระแสในขณะที่วาล์ว 1 หยุดนำกระแสและวาล์ว 3 เริ่มนำกระแสดังนั้น ลำดับการทำงานซึ่งเป็น 1,2,3,4,5,6 โดยอัตโนมัติ

รูปที่ 3.9 ได้แสดงกระแสเฟสเดียวทางด้าน ทุติยภูมิของหม้อแปลง คอนเวอร์เตอร์ที่มีการต่อหม้อแปลงแบบสตาร์ กระแส IR จะประกอบด้วย กระแสในวาล์ว 1 และ วาล์ว 4 ซึ่งเป็นวาล์วที่อยู่กับ เฟส R จะสังเกตได้ว่าขณะที่วาล์ว 1 นำกระแส วาล์ว 6 และ 2 ที่ อยู่ทางด้านล่างของบริดจ์ก็จะนำกระแสด้วย ในทำนองเดียวกันขณะที่วาล์ว 4 นำกระแส วาล์ว 3 และ 5 ก็จะผลัดกันนำกระแส ขั้วคาโธดของวาล์ว 4 จะมีเนกาทีฟ ไบอัส (negative biased) หลังจาก UR ผ่านไปแล้ว 180 องศา นั่นคือหลังจากที่วาล์ว 1 เริ่มต้น ดังนั้นกระแสใน วาล์ว 4 ก็เท่า กับ Id ด้วย โดยไหลจากขั้วอาโนดไปสู่คาโธดจากนั้นก็ไหลเข้าเฟส R

ด้วยเหตุนี้กระแส IR จึงสมดุล (balanced) โดย วาล์ว 1 จะนำกระแส IR = Id 120 องศาและวาล์ว 4 จะนำกระแส IR = - Id อีก 120 องศา และจะอยู่ในสภาวะออฟ 60 องศาในช่วงระหว่าง พลัซของกระแส โดยที่วาล์วมี ดิวตี้ ไซเคิล (duty cycle) เป็น $\frac{1}{3}$ คือ 120 องศา ในสภาวะ "ออน" และในสภาวะ "ออฟ" 240 องศา โดยที่กระแสเฟสนี้ไม่ใช่องค์ประกอบกระแสตรง (DC component) แต่เป็นผลรวมของกระแสหลักกับฮาร์โมนิคจำนวนมาก ถ้าใช้อนุกรมฟูเรียร์ (Furier series) วิเคราะห์จะพบว่ามี เฉพาะ ฮาร์โมนิค พจน์คู่เท่านั้น และไม่มีฮาร์โมนิคที่สาม โดย. กระแสฮาร์โมนิค จะมีลำดับที่ 5,7,11,13,17,19

เอาท์พุทโวลท์เตจ ของบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีมุมจุดชนวนเป็นศูนย์ สามารถหาได้จากรูปที่ 3.8 ซึ่งรูปแบบจะเหมือนเดิมทุก ๆ 60 องศา ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องพิจารณา เฉพาะส่วนที่เป็นรูปคลื่น (wareform) ค่าเฉลี่ยรูปคลื่นนี้หาได้โดยการอินทิเกรต ไลน์-ทู-ไลน์ โวลท์เตจ (URT) บนช่วงคาบ 60 องศา (จะได้พื้นที่ใต้กราฟ) จากนั้นหารด้วย 60 องศาซึ่งเป็นคาบของ การอินทิเกรตจากการทำเช่นนั้นเราจะได้โวลท์เตจกระแสตรงขณะไม่มีโหลด(no-loaddirection voltage,Udio) ซึ่งเท่ากับ $\frac{3\sqrt{2}}{\pi}Uvo = 1.35Uvo$ (Uvo คือ ไลน์-ทู-ไลน์ อาร์เอ็มเอส โวลท์เตจ) ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นเอาท์พุทโวลท์เตจเฉลี่ยมากที่สุดเท่าที่จะได้จากวงจรบริดจ์นี้ เมื่อเรารู้จักการควบคุมเฟสเราจะพบว่า เอาท์พุทโวลท์เตจ เฉลี่ยของบริดจ์(Ud) จะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงของวงจรบริดจ์คือ Id ซึ่ง กระแสอาร์เอ็มเอส ทุติยภูมิ (rms secondary current) นี้สามารถทำได้ด้วยการใส่รากที่สอง ให้กับค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสจาก วาล์ว 1 และ 4 เมื่อกระแสไหล $\frac{2}{3}$ ของเวลากระแสอาร์เอ็มเอสจะเป็น $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}Id = 0.816Id$ ถ้าจะหาค่ากระแสหลักก็จำเป็นที่จะต้องใช้เทคนิคของอนุกรมฟูเรียร์ซึ่งก็จะได้ว่า ค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสหลัก คือ Id ซึ่งหาได้เป็น $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{\pi}}Id = 0.78 + Id$ ในกรณีนี้ ฮาร์โมนิคตัวที่ n ก็จะมีแอมปิจูดลดลงมาจากกระแสหลักด้วยอัตรา $\frac{1}{n}$

ดังนั้น เอาท์พุท เพาเวอร์ของบริดจ์ จะเป็น

$$.Pd = Udio \times Id \tag{3-7}$$

ในกรณีเป็นพจน์ของ เอซี (AC terms) จะเป็น

$$.Pd = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times Uvo \times \frac{\pi}{\sqrt{6}} \times Id$$
$$.Pd = \sqrt{3} \times Uv \tag{3-8}$$

ในวงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีมุมจุดชนวนไม่เป็นศูนย์ วาล์ว 1 จะเริ่มต้นนำกระแสเมื่อโวลท์เตจ (URT) ที่คร่อมระหว่าง อาโนดกับ คาโธด เปลี่ยนจากค่าลบ เป็นค่าบวก แต่ในวงจร บริดจ์ควบคุมโวลท์เตจ จะคร่อมอยู่ชั่วขณะจนกระทั่งได้รับสัญญาณจุดชนวน จึงจะเริ่มการนำกระแส ถ้าเราเริ่มวัดตั้งแต่จุดที่เริ่มมีการ ฟอร์เวิร์ดไบอัส ไปจนถึง จุดที่มีการนำกระแส ช่วงนี้เรียกว่า มุมจุดชนวน หรือใช้สัญลักษณ์อัลฟ่า (alpha ,α) หรือเรียกว่ามุมหน่วงในทางทฤษฎีของคอนเวอร์เตอร์ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 องศาแต่ในทางปฏิบัติจะหลีกเลี่ยงการทำงาน ที่จะต้องใช้ค่าบริเวณรอบช่วงดังกล่าว ถ้าวาล์วไม่ได้รับสัญญาณจุดชนวนที่ α = 0 กระแสในวาล์วก็จะไม่เกิดขึ้น โดยฟอร์เวิร์ดโวลท์เตจจะตกคร่อมอยู่ จนกว่าจะได้รับสัญญาณจุดชนวน

กราฟของสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในรูปที่ 3.9 ได้แสดงรูปกราฟต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการทำงานของเรคติฟายเออร์ที่ α = 15 องศา และ Xc = 0 ซึ่งกราฟทั้งหมดจะมีความแตกต่างจากรูปที่ 3.8 เพียงเล็กน้อย แต่ความแตกต่างนี้ก็มีความสำคัญ ซึ่งจะต้องทำการพิจารณาดูการที่กระแสของวาล์ว 1 ได้หน่วงจากจุดเริ่มต้นของการนำไป 15 องศา นั้นเพราะว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการให้มุมจุดชนวนซึ่งวาล์วทั้งหมดในบริดจ์ก็จะได้รับการหน่วงเหมือนกันหมดดังนั้น วาล์วทุกวาล์วก็จะหน่วงไป 15 องศาทั้งหมด กระแสหลังจากวาล์ว 1 เริ่มนำไปแล้ว 120 องศา นั่นคือกระแสของวาล์ว 3 ก็จะหน่วงไป 15 องศาจากจุดเดิมที่ไม่มีการให้มุมหน่วง โดยที่การออน-ออฟของวาล์ว 1 และ 4 ยังคงเป็น 120 องศา 60 องศา 120 องศา 60 องศา นั่นคือกระแสได้ถูกเคลื่อน (shifted) ไปเป็นระยะเท่ากับมุมหน่วง แต่แอมปิจูดของกระแส ค่าอาร์เอ็มเอส และแอมปิจูดของฮาโมนิคทั้งหลายยังคงเหมือนเดิมอยู่

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโวลท์เตจของบริดจ์ เมื่อวาล์ว 1 ไม่ได้นำกระแสต่อจากวาล์ว 5 ในทันทีเหมือนใน กรณีที่บริดจ์ที่ไม่ควบคุม จึงทำให้วาล์ว 5 ยังคงต่ออยู่กับด้านโพสิทีฟของบริดจ์ ซึ่งมีโวลท์เตจเป็น UT และระดับโวลท์เตจก็จะลดลงตามรูปซายน์ จนกระทั่งวาล์ว 1 เริ่มนำกระแส โวลท์เตจด้านโพสิทีฟของบริดจ์ก็เปลี่ยนเป็น US ในระหว่างที่เกิดเวลาหน่วง (delay time) นั้น ปกติ UR จะมีค่ามากกว่า UT นั้นก็หมายความว่าระหว่างที่เกิดเวลาหน่วงจะมีการสูญเสียโวลต์-เซกันด์ไปส่วนหนึ่ง

การคำนวนหาเอาท์พุท โวลท์เตจของบริดจ์ ก็มีวิธีเหมือนกับที่ผ่านมา คือหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยการอินทิเกรชั่น (integration) จากนั้นก็หารด้วยค่าเฉลี่ย แต่มีข้อแตกต่างก็คือ รูปร่างของกราฟได้เปลี่ยนไปบ้าง ทำให้ต้องเปลี่ยนขอบเขตของการอินทิเกรชั่นเป็น $.\alpha \rightarrow \frac{\pi}{3}+\alpha$ ก็จะได้ เอาท์พุทโวลท์เตจเฉลี่ย

$$.Ud = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times Uvo \times COS\alpha \qquad (3\text{-}9)$$

หรือ

$$.Ud = Udio \times COS\alpha \qquad (3\text{-}10)$$

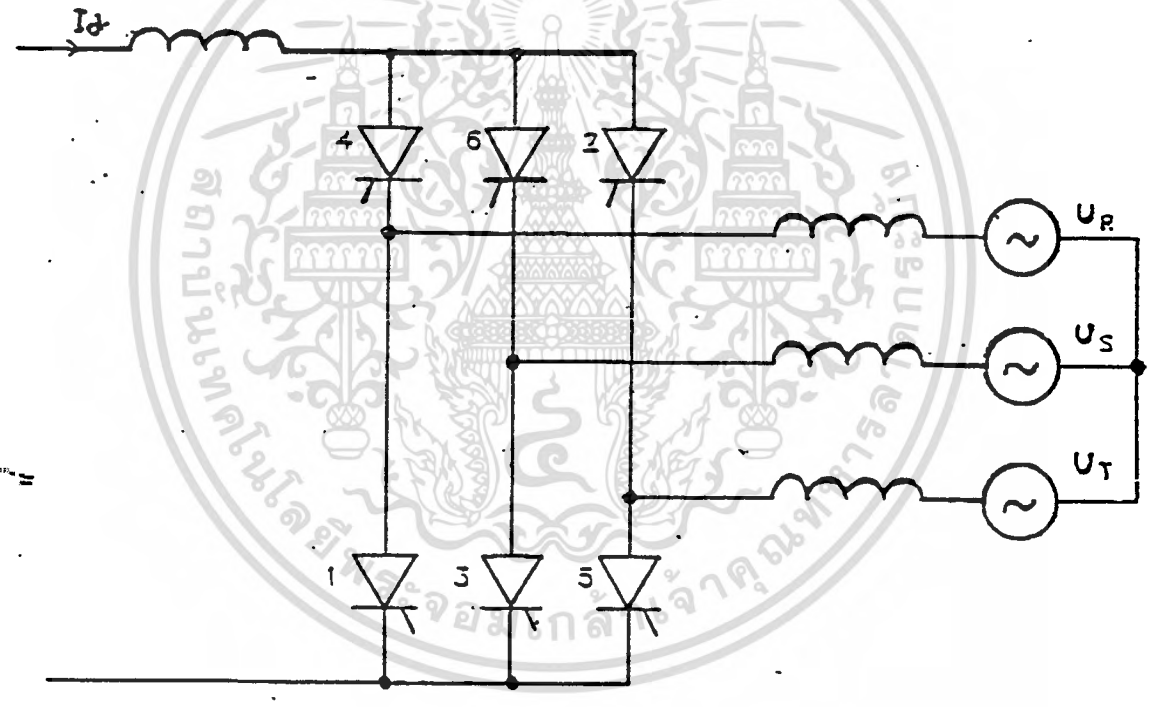
นั่นก็คือ เอาท์พุทโวลท์เตจ ภายใต้เงื่อนไขของการหน่วงจะมีค่าเท่ากับ เอาท์พุทโวลท์เตจที่ไม่มีการหน่วงคูณกับค่า คอส (cos) ของมุมหน่วง 1 จัดเป็นว่ามุมหน่วงมีค่าเกิน 90 องศาเครื่องหมายของโวลท์เตจจะเปลี่ยน นั่นก็คือเราจะได้การอินเวอร์ชั่น คือ ดีซี - เอซีคอนเวอร์ชั่น

ในขณะที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง แอมปิจูดของกระแสดีซี กับกระแสเอซีไม่ได้เปลี่ยนไป ทำให้ดีซีเพาเวอร์มีค่าเป็น $Pd = Ud \times Id$ โดยการคำนวนหา เอซีเพาเวอร์ สามารถทำการคำนวนหาได้ดังหลักการที่เคยกล่าวมาแล้วและได้เป็น $\sqrt{3}Uvo \times Id \times COS\alpha$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 อินเวอร์เตอร์(Inverter)

วงจรบริดจ์แบบ 6 พัลซ ของคอนเวอร์เตอร์สามารถทำหน้าเป็นได้ทั้งเรคติฟายเออร์หรืออินเวอร์เตอร์ ก็ได้โดยขบวนการเรคติฟิคชั่นเป็นการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงโดยถือว่าเรคติฟายเออร์เป็นโหลดของระบบไฟกระแสสลับในขณะที่อีกฝั่งหนึ่งของการเชื่อมกระแสตรงเป็นอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับระบบกระแสสลับ ตัวอินเวอร์เตอร์จะเสมือนเป็น แหล่งจ่ายของระบบโดยในรูปที่ 3.10 ได้แสดงรูปแบบของการเปลี่ยนพลังงานจะสังเกตุได้ว่า โวลท์เตจกระแสสลับจะทำงานทันทีถ้าตัวส่ง (sending) และตัวรับ (receiving) ของระบบไฟกระแสสลับได้รับจุดชนวน

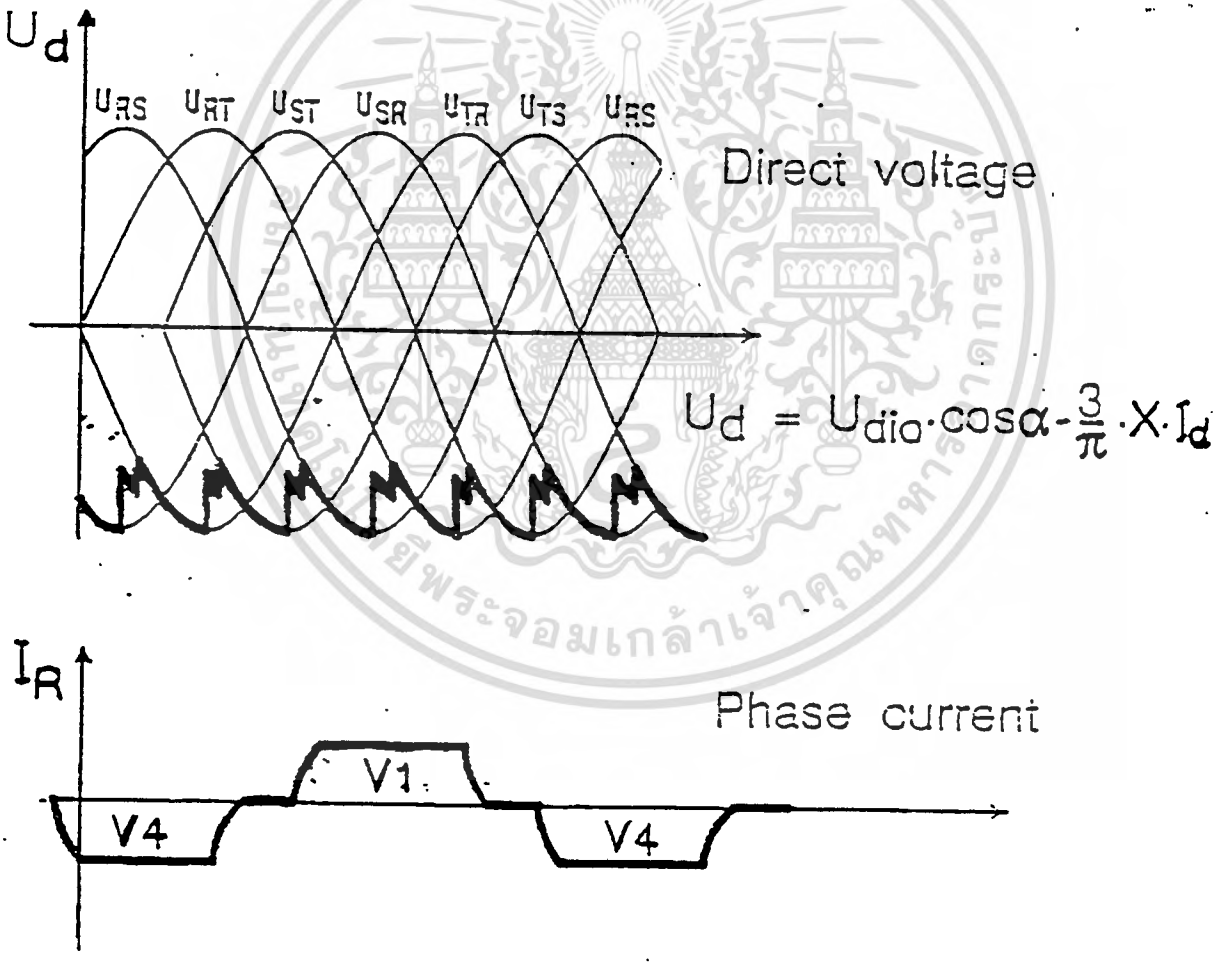


รูปที่ 3.10 วงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์

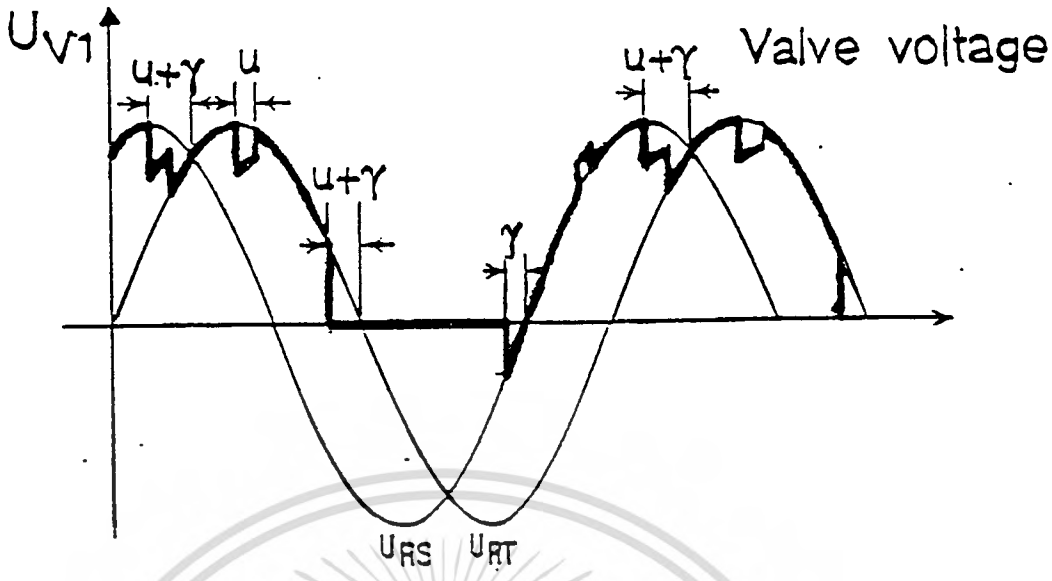
พิจารณาในรูปที่ 3.10 มีกระแสตรงที่สภาพคงที่ (steady-state) ในสายเชื่อม (ซึ่งได้จากตัว เรคติฟายเออร์ที่มีตัวกรองร่วมด้วย) โดยสมมติให้กระแสไหลเข้าไปในวาล์ว 1 และ วาล์ว 2 กระแสก็จะไหลในเฟส T ออกเฟส S เมื่อกระแส คอมมิวเตจจากวาล์ว 2 เป็นวาล์ว 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสจะเข้าเฟส R และออกเฟส S ซึ่งเราจะได้รูปแบบของกระแสคล้ายกับที่ได้จากรูปแบบกระแสเรคติฟายเออร์ ดังรูปที่ 3.11 นั่นคือกระแสได้ไหลเข้าและไหลออกทั้ง 3 เฟสใน 1 วัฏจักร สมมติให้มีคอมมิวเตติ่ง รีแอคแตนซ์ โดยจะมี กระแสไหลเข้า 120 องศาและจะหยุดนำกระแส อยู่ 60 องศา จากนั้นก็ไหลออก 120 องศา และหยุดนำกระแส 10 องศา โดยในแต่ละวาล์วจะนำกระแส 120 องศา และหยุดนำกระแส 240 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 สัญญาณการทำงานของอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.11 ได้แสดงกราฟของขบวนการอินเวอร์ชั่น เมื่อมีมุมหน่วง 150 องศา และมีคอมมิวเตติ่ง รีแอคแตนซ์ต่ออยู่ด้วย เมื่อพิจารณาจากกราฟ กระแสในวาล์ว 1 ได้ถูกหน่วงไป 150 องศาจากจุดที่ไม่มีการหน่วงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งขณะนี้วาล์ว 1 ยังมีการ ฟอสเวอร์สไบอัสอยู่ เมื่อได้รับสัญญาณจุดชนวนก็จะเริ่มนำกระแสทันที

จากมุมจุดชนวนที่ 150 องศาหมายความว่ามีการกระโดดจากคลื่นหนึ่งภายใน 30 องศา ก่อนที่จะถึงจุดไขว้กันของกราฟ เมื่อมีคอมมิวเตเติง รีแอคแแตนซ์ จะทำให้โวลท์เตจไม่สามารถกระโดดได้อย่างทันทีทันใดแต่จะเกิดการโอเวอร์แลป โดดไปเพียงครึ่งหนึ่งเป็นมุม โอเวอร์แลปจึงจะกระโดดไปยังคลื่นใหม่

วาล์ว 1 จะเกิดมีโพสิทีป โวลท์เตจคร่อมจนกระทั่งถูกจุดชนวนโดยสัญญาณการจุดชนวนจะมาถึงก่อนที่ โวลท์เตจคร่อมวาล์วจะเปลี่ยนเป็นเนกาทีป และจะต้องอยู่ในระดับที่วาล์วจะนำกระแสได้ถ้าสมมติให้ หลังจากการนำกระแสแล้วโวลท์เตจเกิดลดลงจนใกล้จะเป็นศูนย์ โดยมีช่วงการนำกระแส 120 + α เมื่อวาล์ว 1 คอมมิวเตจไปยังวาล์ว 3 โวลท์เตจคร่อมวาล์วจะเป็นลบ อยู่ชั่วขณะและก็จะเปลี่ยนเป็นบวก และจะเป็นอยู่อย่างนั้นจนกว่าจะได้รับการจุดชนวน โดยสามารถเห็นรอยบวกเนื่องจากการคอมมิวเตจจากกราฟของวาล์ว โวลท์เตจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมมาร์จิน

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นขณะที่เริ่มมี โวลท์เตจเป็นลบ คร่อมวาล์วอยู่เพื่อที่จะทำการทำให้วาล์วหยุดนำกระแส ซึ่งมีความสำคัญที่จะต้องพิจารณา โดยช่วงเวลาที่ทำการเกิดโวลท์เตจอันนี้เรียกว่ามุม มาร์จิน (γ) โดยที่โวลท์เตจที่เป็นลบจะเกิดขึ้นหลังจากที่ไม่มีกระแสในวาล์วซึ่งจำเป็นต้องมีเพื่อใช้ในการ กำจัดพาหะไฟฟ้า ให้ออกไปจากบริเวณรอยต่อของ ไทรีสเตอร์ นั่นคือ ช่วยป้องกันไม่ให้มีการเกิด ฟอร์เวอร์สโวลท์เตจ ก่อนที่จะมีการจุดชนวนโดยปกติมุมมาร์จินจะใช้งานอยู่ที่ 17-20 องศา

ยกตัวอย่างรูปกราฟของ วาล์วโวลท์เตจในรูปที่ 3.11 จะเห็นมุมมาร์จินได้อย่างชัดเจน โดยโวลท์เตจที่เป็นลบจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อวาล์ว 1 มีกระแสเป็นศูนย์ ซึ่งจะยังคงเป็นโวลท์เตจลบจนกว่าโวลท์เตจ URS เริ่มเป็นบวกขึ้นมา ซึ่งการควบคุมมุมมาร์จินจะควบคุมได้เฉพาะทางอ้อมเท่านั่นคือ มุมมาร์จินจะเกิดในวาล์ว 1 เมื่อมีการจุดชนวนในวาล์ว 3 นั่นคือวาล์ว 3 จะถูกควบคุมให้มีการจุดชนวนก่อนที่โวลท์เตจจะคร่อมวาล์ว 1 จะเป็นศูนย์ โดยจะจุดชนวนก่อนเป็นมุมเท่ากับมุมมาร์จิน บวกกับมุมโอเวอร์แลปซึ่งมุมที่จะทำการจุดชนวนคือ β โดย $\beta = \gamma+u$ และ $\alpha+\beta=180$ องศา

สมการที่อธิบายการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะคล้ายกับสมการของเรคติฟายเออร์เมื่อโวลท์เตจที่ขั้วของอินเวอร์เตอร์คือ $.Ud$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ เอาท์พุทโวลท์เตจของเรคติฟายเออร์ เมื่อพิจารณาจากแมกนิจูดโดยที่โวลท์เตจที่ขั้ว จะประกอบด้วย โวลท์เตจขณะไร้โหลด $.Udio$ และยังมี โวลท์เตจ ตกเนื่องจากคอมมิวเตติงรีแอคแตนซ์ และโวลท์เตจ ตกเนื่องจากมีมุมหน่วง ดังนั้นเราจึงแทนค่า รีซีสแตนซ์เป็น $\frac{3}{\pi}Xc$ แต่ทิศทางของโวลท์แตกต่าง จะต่างกันดังรูปที่ 3.11 แทนที่จะเป็นบวก จะเป็นการลบออกจากโวลท์เตจขณะไร้โหลด

จากที่ขั้วของโวลท์เตจยังคงเป็น $.Udio \times COS\alpha$ แต่แทน $.\alpha = 180 - \beta$ ดังนั้นเราเขียน โวลท์เตจที่ได้ใหม่ในรูป β คือ $-Udio \times COS\beta$ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นการทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ จึงเกิดการกลับขั้วของโวลท์เตจ จึงทำให้สามารถเขียนโวลท์เตจใหม่เป็น $.Udio \times COS\beta$ ดังนั้นเราจึงได้วงจรสมมูลย์ ดังรูปที่ 3.11 ทางด้านซ้ายมือ และจะได้

$$.Ud = (Udio \times COS\beta) + \left(\frac{3}{\pi} Id \times X_c\right) \qquad (3\text{-}11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆของ ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

ในระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะมีส่วนประกอบด้วยกันหลายส่วนซึ่งส่วนประกอบทุกส่วนนี้ จะมีความสำคัญด้วยกันทุกส่วน เพราะว่าถ้าขาดส่วนประกอบส่วนใดไป จะทำให้ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงทำงานไม่ได้ และส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้แยกออกเป็นสองส่วนได้ดังนี้

ส่วนระบบส่งกำลังไฟฟ้า

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า
- คอนเวอร์เตอร์
- รีแอคเตอร์
- ดีซี ฟิลเตอร์

ส่วนวงจรควบคุม

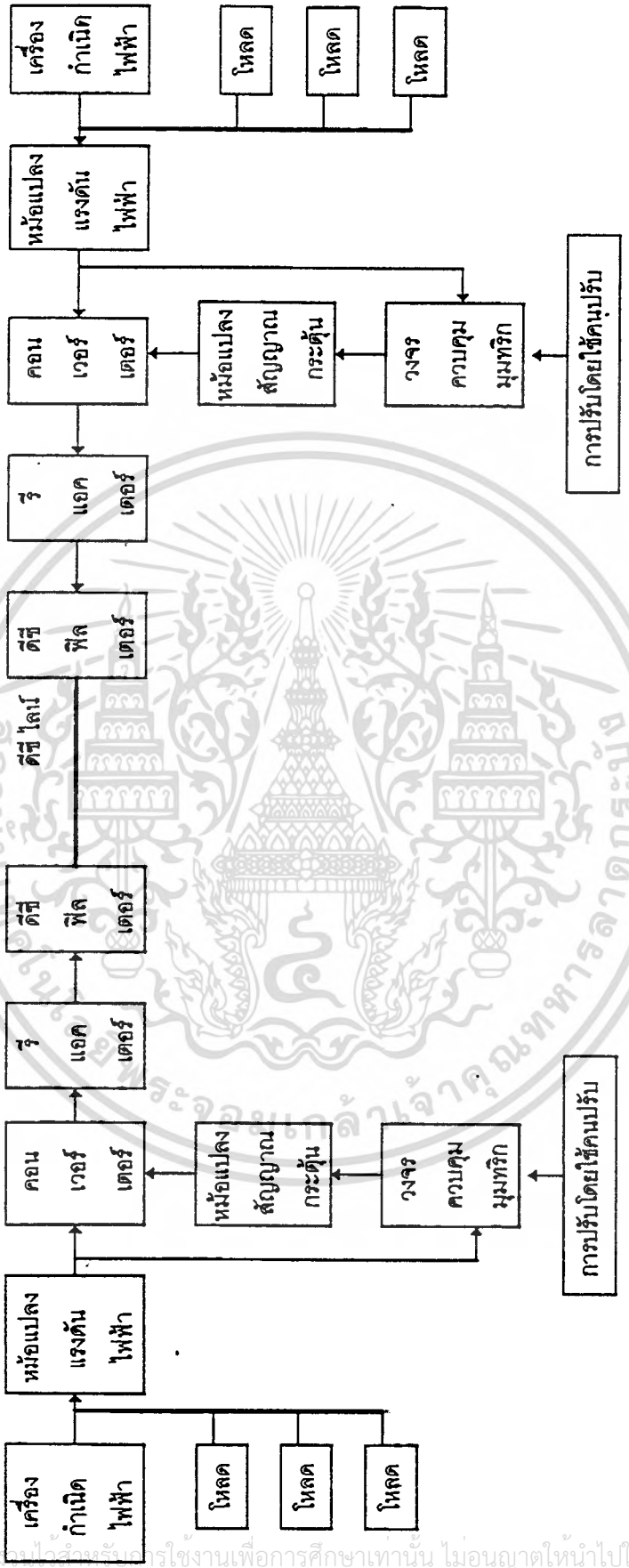
- หม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น
- วงจรควบคุมมุมทริก

ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมดแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จะใช้ซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์ ที่มีอยู่ในภาควิศวกรรมไฟฟ้า 2 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีขนาดพิกัด 3 kVA 220 V 3ϕ 50 Hz COS φ = 0.8 1500 rpm. ให้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละฝั่งเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

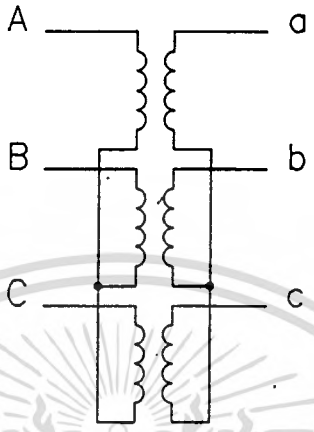


รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

ใช้หม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว ต่อแบบ สตาร์ / สตาร์ โดยแต่ละตัวมีขนาดพิกัด 1 kVA 115/460 V โดยมีอัตราส่วนการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็น 1: 4 ลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว แบบสตาร์ / สตาร์

ได้ทำการทดสอบหม้อแปลงได้ค่าต่างๆคือ

ทดสอบลัดวงจร

ลัดวงจรด้านแรงดันต่ำ วัดทางด้านแรงดันสูง

Vsc = 9.14 V , Isc = 2.19 A , Psc = 20 W

ทดสอบเปิดวงจร

เปิดวงจรด้านแรงดันสูง วัดทางด้านแรงดันต่ำ

Voc = 115 V , Ioc = 0.41 A , Poc = 15 W

ทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพและค่าเรกูเลชั่นได้เท่ากับ

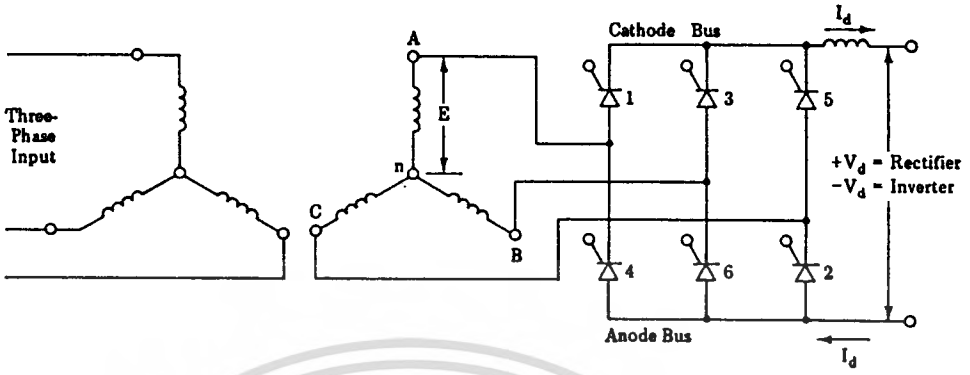
$$\eta = 98\ \%$$

$$V_{reg} = 1.63\ \%$$

4.3 คอนเวอร์เตอร์

ใช้ลักษณะการต่อคอนเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟสควบคุมเต็มคลื่น โดยใช้เอสซีอาร์เป็นวาล์วโดย การทำงานในโหมดเรคติฟายเออร์ จะอยู่ในช่วง $0 \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ และโหมดอินเวอร์เตอร์จะอยู่ใน ช่วง $90^{\circ} \leq \beta \leq 180^{\circ}$ โดยลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 4.3

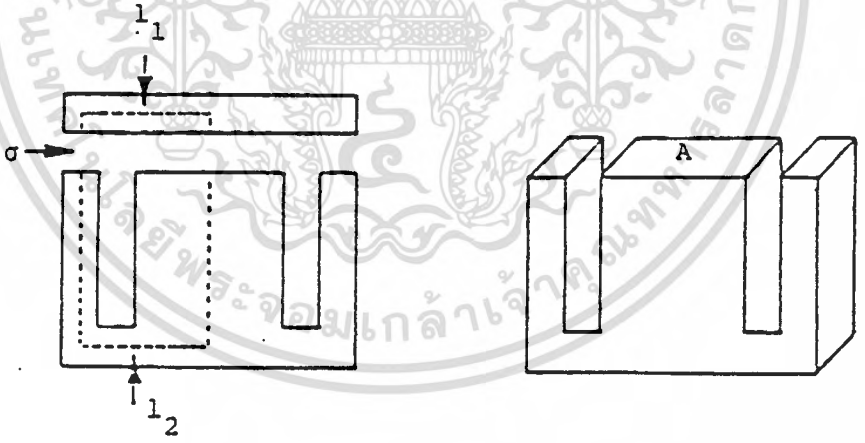
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะการต่อวงจรคอนเวอร์เตอร์

4.4 การออกแบบและการสร้างตัวอินดัคเตอร์ที่ใช้เป็นรีแอคเตอร์

อินดัคเตอร์ที่สร้างขึ้นจะใช้แกนเหล็ก ชนิด EI ซึ่งใช้สำหรับพันหม้อแปลงศักดาไฟฟ้า การออกแบบ พิจารณาจากรูปการวางแกนเหล็ก EI ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.4 (ก) แสดงการวางของแกนเหล็ก EI ของตัวอินดัคเตอร์
(ข) แสดงการกำหนดพื้นที่ A ของอินดัคเตอร์

โดยเริ่มต้นจากสมการของค่าอินดัคแตนซ์ คือ

$$L = \frac{W\ d\phi}{dt} \qquad (4\text{-}1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการปริมาณสนามแม่เหล็กภายในแกนเหล็กคือ

$$\phi = AB \tag{4-2}$$

โดยที่ A เป็นพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข) สมการ(4-1) และสมการ (4-2) สามารถจัดใหม่ได้คือ

$$L = WA \frac{d\phi}{dt} \tag{4-3}$$

และ
$$L = W^2A \frac{dB}{dW} \tag{4-4}$$

และ
$$L = W^2A \frac{dB}{d\theta} \tag{4-5}$$

เมื่อ θ เป็น mmf ของวงจรแม่เหล็ก ซึ่งมีค่าเป็น

$$\theta = H_1l_1 + H_2l_2 + H_3\sigma + H_3\sigma = Wi \tag{4-6}$$

จาก

$$B = \mu o \mu r H \tag{4-7}$$

สมการ (4-5) และ (4-6) สามารถจัดใหม่ได้เป็น

$$\theta = \frac{B_1l_1}{\mu o \mu r_1} + \frac{B_2l_2}{\mu o \mu r_2} + \frac{2\sigma B_3}{\mu o} \tag{4-8}$$

สมมุติให้ $B_1 \cong B_2 \cong B_3 \cong B$, $\mu r_1 >> \mu o$, $\mu r_2 >> \mu o$ ดังนั้นสมการ (4-7) สามารถจัดใหม่ คือ

$$\theta \cong \frac{2\sigma B}{\mu o} \tag{4-9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (4-5) และ (4-9) สามารถนำมาจัดใหม่จะได้สมการโดยประมาณของค่าอินดัคแตนซ์ คือ

$$L \cong \frac{W^2 A\mu o}{2\sigma} \qquad (4\text{-}10)$$

สมการ (4-10) จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบอินดัคเตอร์ แต่ในการออกแบบจริงจะต้องพิจารณาระยะห่างของแกน EI (Air Gap) ต่ำสุดซึ่งจะทำให้อินดัคเตอร์อิ่มตัว (Saturation) การพิจารณาเริ่มต้นโดยสมมุติให้ mmf (Magnetomotive force) ที่เกิดขึ้นบนวงจรแม่เหล็กจะปรากฏบนระยะห่างของแกน EI และปริมาณสนามแม่เหล็กสูงสุด (B_{max}) จะเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลสูงสุด (I_{max}) ซึ่งได้สมการของ mmf คือ

$$Wi_{max} = H_{max}\, 2\sigma \qquad (4\text{-}11)$$

และ

$$B_{max} = \mu o\, H_{max} \qquad (4\text{-}12)$$

สมการ (4-10) และ (4-11) สามารถจัดใหม่ได้เป็น

$$\sigma_{min} \geq \frac{Wi_{max}\, \mu o}{2B_{max}} \qquad (4\text{-}13)$$

สมการ (4-13) แสดงค่าระยะห่างต่ำสุดของแกน EI

ดังนั้นสามารถสรุปวิธีการออกแบบอินดัคเตอร์ได้คือ

1) ต้องทราบค่าอินดัคเตอร์ที่ต้องการและกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่จะใช้
2) เลือกแกนเหล็ก EI ซึ่งทราบค่า B_{max} , W
3) หาค่าระหว่างของแกน EI ต่ำสุด (σ_{min}) จากสมการ (4-13)
4) นำค่าจาก ข้อ 2 และข้อ 3 ไปคำนวณค่าอินดัคแตนซ์สูงสุด ซึ่งไม่ทำให้แกนเหล็กอิ่มตัว ดังในสมการ (4-10)
5) ถ้าค่าอินดัคแตนซ์ที่ได้มากเกินไป ก็ปรับแต่งค่าอินดัคแตนซ์โดยการเพิ่มค่าระยะห่างของแกน EI
6) ถ้าค่าอินดัคแตนซ์ที่ได้น้อยไป ก็ปรับแต่งค่าอินดัคแตนซ์ โดยการเพิ่มค่า A หรือ W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้ค่าแรงดันระหว่างสาย (V_{LL}) = 120 V ผ่านหม้อแปลงแรงดันขึ้น 4 เท่า เท่ากับ 480 V จากสมการ (2-13) จะได้

$$V_{do}=1.35 \times 480 = 648 \text{ V}$$

จากสมการ (2-15) จะได้

$$L_d = \frac{V_{do} \times 0.0931 \sin\alpha}{\omega I_d}$$

ค่ากระแสที่ต้องการคือ I_d = 1 A ที่ $\alpha = 90°$ (เป็นมุมที่กระแสเฉลี่ยสามารถไหลได้ต่ำสุด)

$$L_d = \frac{648 \times 0.0931 \times \sin 90}{2 \times \pi \times 50 \times 1}$$

$$L_d = 0.192 \text{ H}$$

อินดัคเตอร์ที่ต้องการใช้เป็นรีแอคเตอร์ประมาณ 0.2 H

พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กเท่ากับ 5 x 6 cm^2 จากสมการ (4-10)

$$L = \frac{W^2}{\Re} = \frac{W^2 \mu A}{2\sigma}$$

โดยระยะช่องว่าง (Gap) ≈ 3 m.m. จะได้จำนวนรอบที่ต้องพันคือ

$$W^2 = \frac{2\sigma L}{\mu_o \mu_r A} = \frac{2 \times 3 \times 10^{-3} \times 0.2}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 0.05 \times 0.06} = 318310$$

$$W = 564 \text{ รอบ}$$

ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 18 SWG

โดยระยะต่ำสุดที่ไม่ทำให้อินดัคเตอร์อิ่มตัวสามารถหาได้จากสมการ (4-13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ดีซี ฟิลเตอร์

ฮาร์โมนิค(Harmonnic) คือ สัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบโดยที่อุปกรณ์ในระบบที่ต่ออยู่เป็นอุปกรณ์ไม่เชิงเส้น และเป็นจำนวนเท่า(จำนวนเต็ม)ของสัญญาณไซน์ที่ความถี่มูลฐานของระบบ เป็นผลให้สัญญานซายน์ไม่เป็นซายน์อีกต่อไป

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคมีมากมายหลายชนิด บางชนิดให้ฮาร์โมนิคขนาดใหญ่แต่ช่วงเวลาสั้น บางแหล่งให้ฮาร์โมนิคตลอดเวลา แต่ฮาร์โมนิคมีขนาดเล็ก แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคที่สำคัญและมีการใช้งานมากขึ้นทุกขณะคือ แหล่งกำเนิดชนิดโหลดไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งนับวันจะก่อให้เกิดปัญหาในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยังเกิดจากลักษณะการทำงานของระบบซึ่งได้แก่การสวิทชิ่ง (Switching)

เราจะมาพิจารณาคอนเวอร์เตอร์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งคอนเวอร์เตอร์เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิคชนิดหนึ่งซึ่งผลของฮาร์โมนิคของคอนเวอร์เตอร์ จะไปรบกวนระบบไฟฟ้ากระแสสลับและอุปกรณ์อื่นๆ เราจำเป็นต้องมีการลดฮาร์โมนิคซึ่งเกิดจากผลของคอนเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปแล้ววิธีการลดหรือกำจัดฮาร์โมนิคเราจะใช้ฮาร์โมนิค ฟิลเตอร์

ก่อนอื่นเราจะมาพูดถึงฮาร์โมนิคที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งคอนเวอร์เตอร์จะทำให้เกิดฮาร์โมนิคทางด้านระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ขึ้นอยู่กับจำนวน พัลซ ของคอนเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปจะมีฮาร์โมนิคลำดับ(Order)ต่างๆที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ตามสูตร

$$Kn \pm 1 \text{ โดยที่ } n = 1,2,3....$$

K = จำนวนพัลซ

เช่น บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Bridge convertor)จำนวน พัลซ คือ 6 พัลซ

จะได้ K = 6

บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ทำให้เกิดฮาร์โมนิคทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีฮาร์โมนิคคือ 5,7,11,13...โดยฮาร์โมนิคเหล่านี้จะไปรบกวนสัญญาณซายน์ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับทำให้สัญญาณไซน์ผิดเพี้ยน ส่วนฮาร์โมนิคที่เกิดจากคอนเวอร์เตอร์ด้านไฟฟ้ากระแสตรง จะมีลำดับดังนี้

$$Kn \text{ โดยที่ } n = 1,2,3....$$

K = จำนวนพัลซ

เช่น บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะมีฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นด้านไฟฟ้ากระแสตรง คือ ฮาร์โมนิคที่ 6 ฮาร์โมนิคที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการติดตั้งฟิลเตอร์ เพื่อที่จะลดขนาดกระแสฮาร์โมนิค หรือแรงดันฮาร์โมนิค ออกจากระบบไฟฟ้าที่ความถี่เดียว หรือหลายๆความถี่ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อแปลง, เครื่องจักรกล, คาปาซิเตอร์แบงค์รีเลย์, มอเตอร์ เป็นต้น

การออกแบบฟิลเตอร์

การที่เราใช้ฟิลเตอร์ในการก

ยากในทางปฏิบัติ ปัญหานี้จะถูกกำหนดโดยมีการตั้งมาตรฐานฮาร์โมนิคในระบบไฟฟ้าซึ่งพื้นฐานในการกำหนดมาตรฐานฮาร์โมนิค จะกำหนดมาตรฐานแรงดันฮาร์โมนิคให้อยู่ในเกณฑ์ที่จำกัด เพื่อง่ายต่อการออกแบบฟิลเตอร์ ส่วนใหญ่ฟิลเตอร์ที่ใช้ ในการกำจัดฮาร์โมนิคจะใช้แบบชันท์ ฟิลเตอร์(Shunt filter) ซึ่งมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันคือ ฟิลเตอร์ ความถี่เดียว(Single tuned filter) และฟิลเตอร์หลายความถี่(High passed filter)

4.5.1 ฟิลเตอร์ความถี่เดียว (single tuned filter)

ลักษณะของชิงเกิลจูนฟิลเตอร์

-มีอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่จูน ทำให้กระแสฮาร์โมนิคที่ความถี่นี้ไหลผ่านฟิลเตอร์เกือบทั้งหมด

-อิมพีแดนซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่นั้นมีค่ามากกว่าความถี่จูนอิมพีแดนซ์ของชิงเกิลจูนฟิลเตอร์จะเกิดเรโซแนนซ์อนุกรมขึ้นในตัว ฟิลเตอร์ดังสมการ

$$Z = R + j\omega L - \frac{j}{\omega C}$$

สภาวะเรโซแนนซ์ $.\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$

เมื่อ $fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

เมื่อ $.\omega_r$ คือ ความถี่เชิงมุมที่เกิดเรโซแนนซ์ภายในตัวฟิลเตอร์ ค่า Quality factor(Q) คือค่าที่บอกรูปร่าง ความชันของผลตอบสนองความถี่จูนซึ่งค่า Q นิยามโดย

$$Q = \frac{XC_r}{R} = \frac{XL_r}{R} = \frac{\omega_r L}{R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

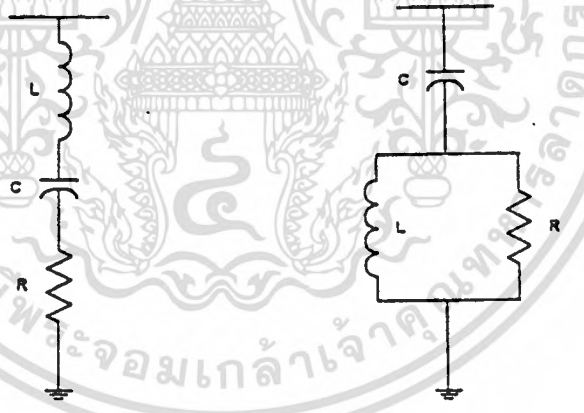
4.5.2 **ฟิลเตอร์หลายความถี่** (High passed filter)

เป็นฟิลเตอร์ที่มีอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่ต่ำ และอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่สูง เพื่อลดจำนวนฟิลเตอร์ความถี่เดียวที่ต้องใช้ เนื่องจากอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่สูงจึงต้องรับกระแสที่เกิดขึ้นเกือบทั้งหมด ทำให้ฟิลเตอร์มีขนาดใหญ่มาก ในการออกแบบจะใช้แบบอันดันสอง(Second - order) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมกันมาก เพราะสูญเสียน้อย และมีลักษณะของฟิลเตอร์ที่ดี อิมพีแดนซ์ของฟิลเตอร์แบบหลายความถี่อันดับสองคือ

$$Z = \frac{1}{j\omega C} + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L}}$$

ค่า Q ของ ฟิลเตอร์ที่จะให้ได้

$$Q = \frac{R}{XL_r} = \frac{R}{XC_r}$$



รูปที่ 4.5 แสดงชนิดของฟิลเตอร์ ก. แบบความถี่เดียว ข. แบบหลายความถี่

ในแบบจำลองนี้เราจะจัดสร้าง ดีซีฟิลเตอร์ได้ดังนี้ คือในการกำจัด ฮาร์โมนิคบนดีซีไลน์จะอาศัยหลักการเรโซแนนซ์ โดยการจูนความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปจากระบบ โดยผ่านลงกราวน์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์จะมีค่า ฮาร์โมนิคลำดับที่ 6,12,18...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะเรโซแนนซ์

$$XL = XC$$
$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

แต่เราต้องการกำจัดฮาร์โมนิคที่ 6 $f_{r=6f}$ เมื่อ $f = 50Hz$ $f_r = 300Hz$

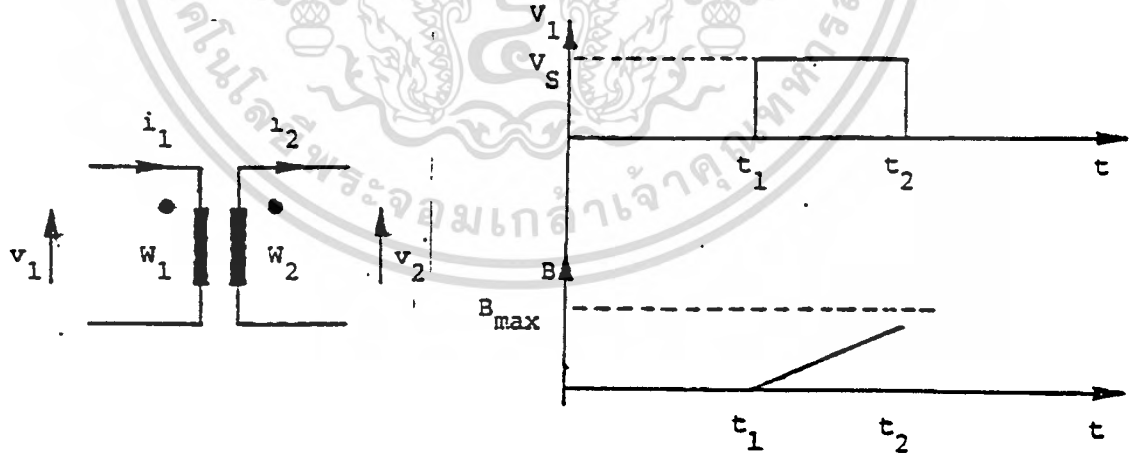
เลือกค่า $C_6 = 20\,\mu F$

$$L_6 = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 \times C}$$
$$L_6 = \frac{1}{(2\pi \times 300)^2 \times 20 \times 10^{-6}}$$
$$L_6 = 14.07mH$$

ดังนั้นอินดัคเตอร์ฮาร์โมนิคที่จะต้องสร้างมีค่าเท่ากับ $14.07mH$

4.6 การออกแบบและการสร้างหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น

หม้อแปลงที่ใช้แปลงสัญญาณกระตุ้นจะเลือกใช้ หม้อแปลง EI แกนเฟอร์ไรส์ หม้อแปลงสัญญาณกระตุ้นที่สร้างขึ้นจะมี ลักษณะเดียวกันกับหม้อแปลงศักดาไฟฟ้าธรรมดาดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 (ก)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 (ก) แสดงแผนผังหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น

(ข) แสดงรูปสัญญาณของสัญญาณกระตุ้นและรูปสัญญาณของค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเริ่มต้นจากเงื่อนไขดังนี้คือ

ขดลวด W_1 ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมาก่อน และ t_1 เป็นเวลานาน ดังนั้นความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กภายในและหม้อแปลงจะเป็น

$$B = 0 \quad | \quad i_1 = 0,\ i_2 = 0,\ V_1 = 0,\ V_2 = 0 \tag{4-14}$$

และถ้าค่ากระแสไฟฟ้าแม็กนิไตซิงค์ (Magnetising Current) มีค่าดังนี้

$$i_\mu << i_1,\ i_2 \tag{4-15}$$

สามารถประมาณได้ว่า

$$i_\mu \cong 0 \tag{4-16}$$

เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นเข้ามา ศักดาไฟฟ้าที่ขดลวด W_1 จะเป็น

$$V_1 = V_S \quad | \quad t_1 \le t \le t_2 \tag{4-17}$$

ถ้ากำหนดให้ความต้านทานภายในของขดลวดมีค่าน้อยมาก

$$V_1 = V_S = W_1 \frac{d\phi}{dt} \tag{4-18}$$

$$V_1 = W_1 A \frac{dB}{dt} \tag{4-19}$$

ค่า A สามารถวัดได้จากพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรส์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (4-19) จะได้สมการใหม่คือ

$$B = B_0 + \frac{V_S (t_2 - t_1)}{W_1 A} \qquad (4\text{-}20)$$

ถ้า B_0 ในสมการ (4-20) สามารถทำให้หมดไปโดยการทำให้แกนลดสภาพการเป็นแม่เหล็ก (Demagnetizing) ดังนั้นสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$B = \frac{V_S}{W_1 A} \Delta t \Big| \quad \Delta t = t_2 - t_1 \qquad (4\text{-}21)$$

และสมการของจำนวนขดลวดทางปฐมภูมิ (Primary winding) คือ

$$W_1 = \frac{V_S \Delta t}{BA} \qquad (4\text{-}22)$$

ข้อสำคัญอย่างหนึ่งซึ่งต้องพิจารณาคือ เมื่อพิจารณารูปสัญญาณของสมการ (4-22) ดังรูปที่ 4.6(ข) ค่า B ของสมการนี้จะต้องไม่เกินค่า B สูงสุด (B_{MAX}) มิฉะนั้นจะทำให้แกนของหม้อแปลงอิ่มตัว ดังนั้น สมการการคำนวณจำนวนขดลวดทางปฐมภูมิ คือ

$$W_1 \geq \frac{V_S \Delta t}{B_{MAX} A} \qquad (4\text{-}23)$$

สมการ จำนวนขดลวดทุติยภูมิ คือ

$$W_2 = \frac{V_2}{V_1} W_1 \qquad (4\text{-}24)$$

ในโครงงานนี้ ใช้ หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรส์ มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

$B_{MAX} = 0.2 \ Wb/m^2$ $\qquad$ $V_2 = 4$ Volt

$A = 10 \times 10^{-4} \ m^2$ $\qquad$ $\Delta t = 20$ ms

$V_1 = 2$ Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

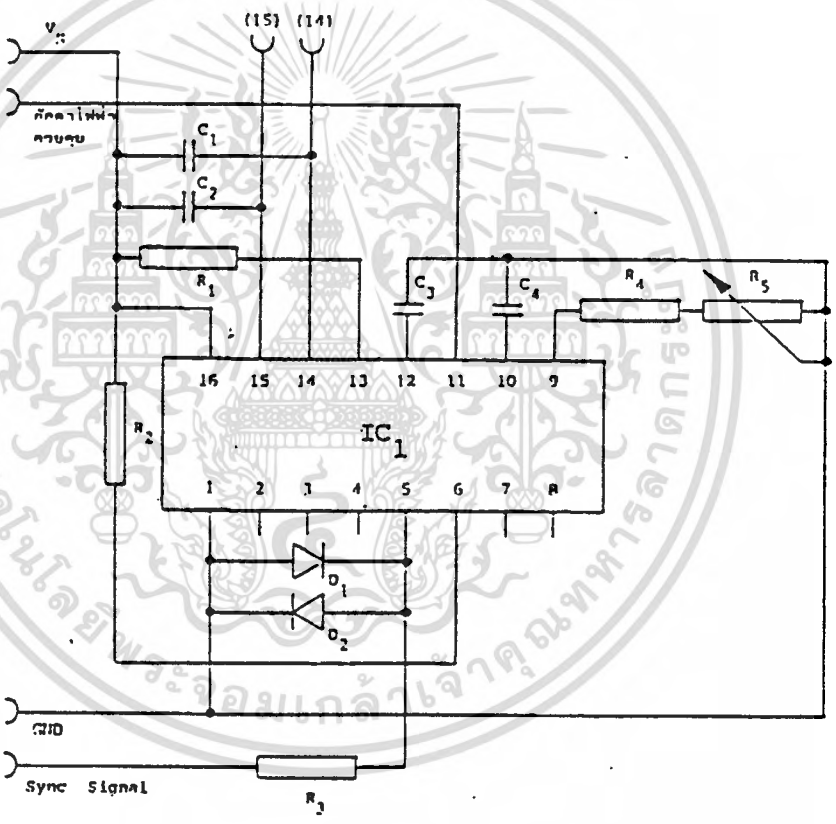
จะสามารถหาจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้นได้จากสมการ (4-23)

$$W_1 = \frac{2 \times 20 \times 10^{-3}}{0.2 \times 10 \times 10^{-4}} = 200 \text{ รอบ}$$

และสามารถหาจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้นได้จากสมการ(4-24)

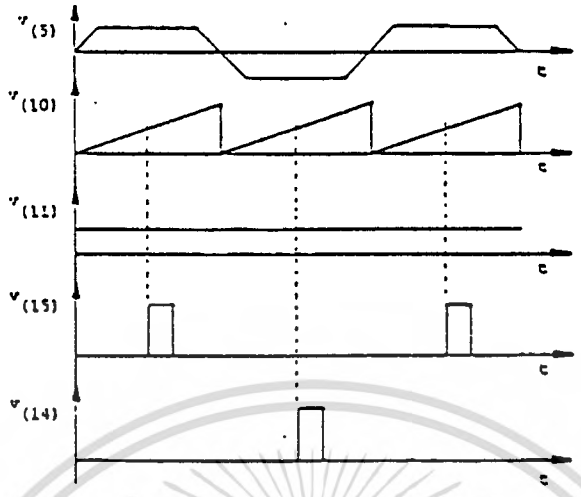
$$W_2 = \frac{4}{2} \times 200 = 400 \text{ รอบ}$$

4.7 วงจรส่วนสร้างสัญญาณกระตุ้น



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



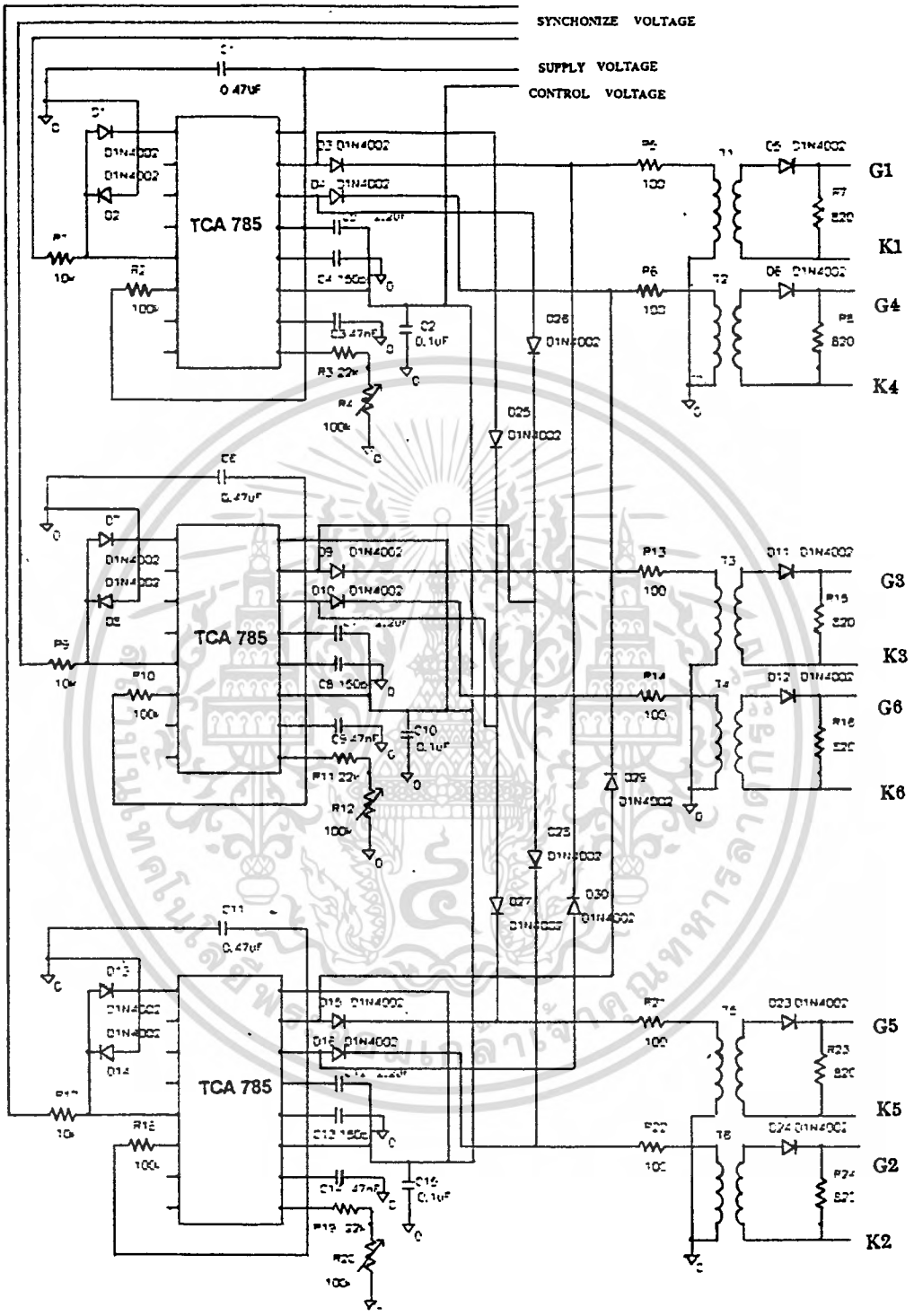
(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) แสดงวงจรสัญญาณกระตุ้น
(ข) แสดงรูปสัญญาณศักดาไฟฟ้าที่ขาต่าง ๆ ของ IC ในวงจร 4.7 (ก)

วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) มีการทำงานดังนี้คือ สัญญาณศักดาไฟฟ้าสลับ ซึ่งจะถูกป้อนเข้าที่ขา (5) ของ IC และ IC จะนำสัญญาณนี้มาสร้างเป็นสัญญาณแรมพ์ (Ramp Signal) ซึ่งสัญญาณนี้จะแสดงออกมาที่ขา (10) ต่อมาสัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับศักดาไฟฟ้าตรงที่ขา (11) ซึ่งศักดาไฟฟ้านี้จะถูกเรียกว่า ศักดาไฟฟ้าควบคุม จุดซึ่งศักดาไฟฟ้าควบคุมและสัญญาณแรมพ์ตัดกันจะทำให้เกิดสัญญาณกระตุ้นออกมาที่ขา (15) และ(14) โดยที่ขา (15) นั้นสัญญาณกระตุ้นจะมีเฟสเดียวกับศักดาไฟฟ้าสลับที่ขา (5) แต่ที่ขา (14) จะเลื่อนเฟสไป 180 องศา ดังนั้นถ้าศักดาไฟฟ้าควบคุมเปลี่ยนแปลงไปมุมกระตุ้นก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในโครงงานนี้กำหนดความสูงของสัญญาณแรมพ์เป็น 10 โวลท์ ช่วงของมุมกระตุ้นก็จะเป็น 0 องศา ถึง 180 องศา โดยการปรับศักดาไฟฟ้าควบคุมที่ขา (11)

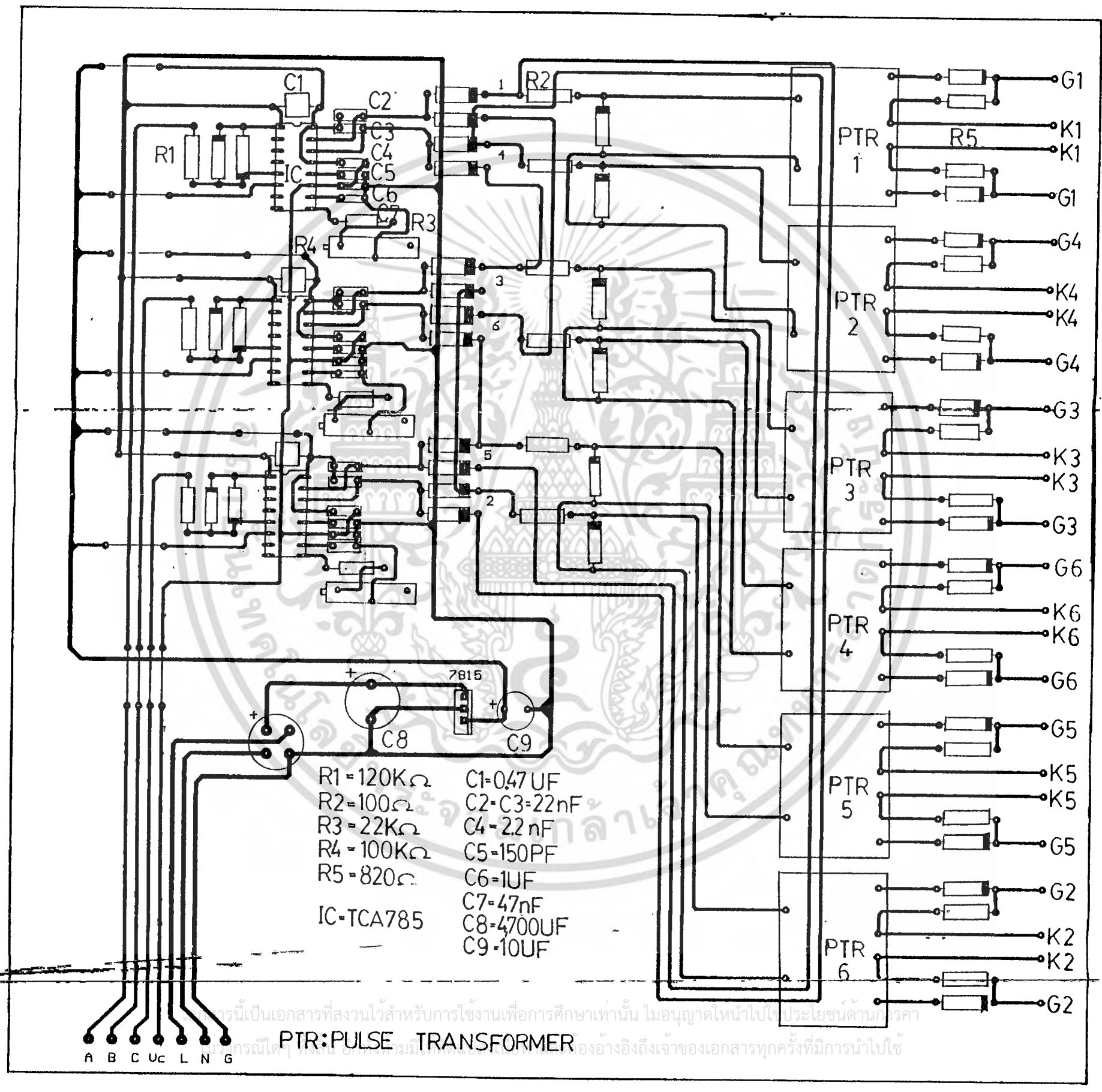
ในโครงงานนี้ต้องการใช้สัญญาณกระตุ้น 3 ชุด ที่มีเฟสต่างกัน 120 องศาในแต่ละชุด สามารถทำได้โดย เอาสัญญาณศักดาไฟฟ้าสลับของแต่ละเฟสป้อนเข้าที่ ขา (5) ของ IC แต่ละชุด โดยต่อผ่านความต้านทานค่าสูง ๆ เพื่อลดศักดาไฟฟ้าให้ป้อนเข้าที่ขา (5) ของ IC ให้มีค่าศักดาน้อยลงเมื่อปรับศักดาไฟฟ้าควบคุมที่ขา (11) จะได้มุมทริกเอสซีอาร์ที่มีการเลื่อนเฟสไปพร้อม ๆ กันทั้ง 3 ชุด โดยลักษณะการต่อวงจรตามรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ลักษณะการต่อวงจรสัญญาณกระตุ้น 3 ชุด ให้เรียงลำดับเฟสกันตามสัญญาณป้อนเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.9 แสดงแผ่นลายทองแดงขนาดเท่าของจริงของวงจรจุดชนวน 3 ϕ บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

บทที่ 5
การทดลองและผลการทดลอง

จากหลักการต่างๆทั้งหมดที่กล่าวมาตั้งแต่ต้น จะสามารถนำเอาคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองมาต่อร่วมกันเพื่อใช้ในการถ่ายเทพลังงานระหว่าง 2 สถานีใดๆได้ และได้ทำการทดลองคุณสมบัติและประสิทธิภาพ ของชุด คอนเวอร์เตอร์ดังนี้

5.1 การทดลองหาคุณสมบัติต่าง ๆของคอนเวอร์เตอร์

โดยทำงานในโหมดเรคติฟายเออร์เป็นการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆของชุดจำลองว่าจะได้ผลตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาหรือไม่

วิธีการทดลอง

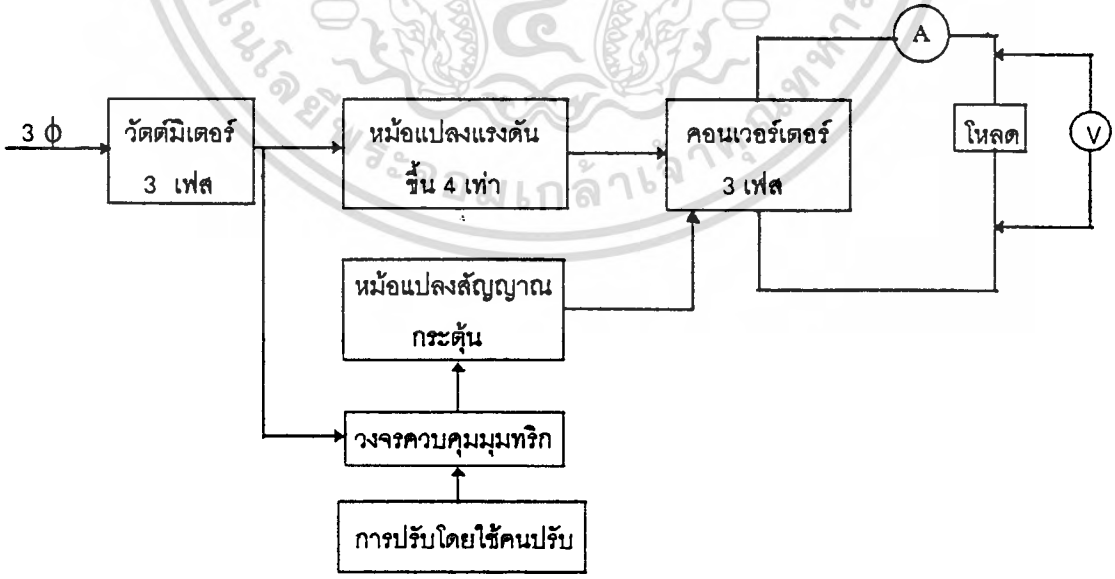
1.ต่อวงจรตามรูปที่ 5.1 จ่ายไฟ 3ϕ ที่พิกัดศักดา 200 โวลท์เข้าที่ชุดคอนเวอร์เตอร์

2.ใช้โหลดเป็นรีซิสเตอร์

3.ปรับมุมทริกที่ค่าต่างๆตามตาราง

4.บันทึกค่าโวลท์เตจและกระแสเอาท์พุท V_{dc} , I_{dc} ที่มุมทริกค่าต่างๆ

5.นำค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง คำนวณหาค่าประสิทธิภาพ และค่าริปเปิล



รูปที่ 5.1 แสดงการต่อวงจรทดลองในโหมดเรคติฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อโหลดเป็นความต้านทาน

โดยใช้หลอดไฟ 100 W อนุกรม 6 หลอด ต่อขนานกัน 2 ชุด

มุมทริก (องศา)	Vdc(mean) (โวลท์)	Idc (แอมป์)	Wdc (วัตต์)	Vdc(max) (โวลท์)	Vdc(min) (โวลท์)	Wac (วัตต์)	V_{L-L}(rms) (โวลท์)	I_L(rms) (แอมป์)	%Eff	%Ripple
27	1028	0.73	750.4	1100	1000	800	200	2.5	93.8	9.7
36	989	0.72	712.1	1100	850	760	200	2.49	93.6	25.3
45	943	0.7	660.1	1100	750	730	200	2.43	90.4	37.1
54	878	0.67	588.3	1100	600	660	200	2.36	89.1	56.9
63	798	0.64	510.7	1050	500	600	200	2.26	85.1	68.9
72	703	0.6	421.8	1000	400	500	200	2.14	84.4	85.3
81	597	0.55	328..4	950	250	440	200	1.96	74.6	117.3
90	470	0.47	220..9	900	100	350	200	1.76	63.1	170.2
99	236	0.31	73.2	680	0	240	200	1.52	30.5	288.1
108	182	0.29	52.8	620	0	180	200	1.29	29.3	340.6

ตารางบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพและริปเปิล

โดยที่ $\%E_{ff} = \frac{Wdc}{Wac}$

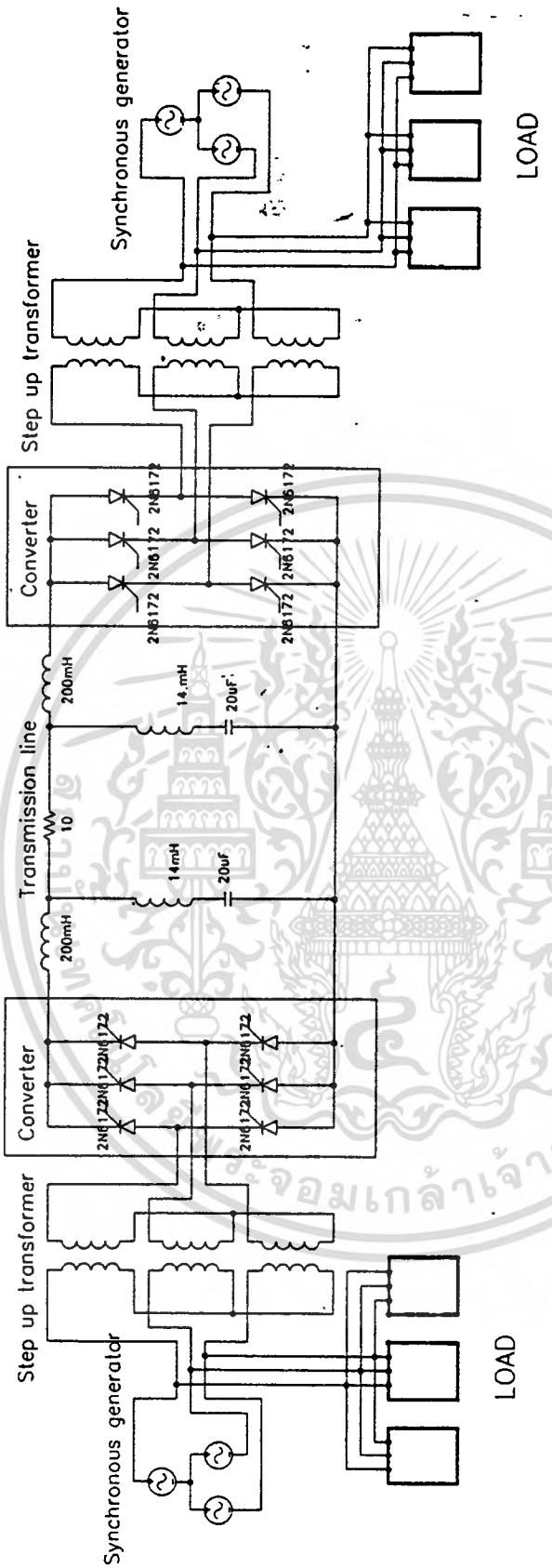
$$\%Ripple = \frac{Vdc(\max) - Vdc(\min)}{Vdc(mean)}$$

5.2 การทดลองทั้งระบบ ลำดับขั้นการทดลอง

1. เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ให้มีพิกัดแรงดันที่ขั้วไลน์ทูไลน์ 120 V หลังจากนั้นกำหนดว่าจะให้ส่งกำลังไฟฟ้าไปตำแหน่งใด สมมติว่าจะให้ส่งกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดตัวที่ 1 ไปยังเครื่องกำเนิดตัวที่ 2

2. กดเซอร์กิตเบรคเกอร์ ต่อวงจรหม้อแปลงด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2 กำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ด้านรับทำงานอยู่ในโหมดอินเวอร์ชั่น ซึ่งมีย่านของมุมจุดชนวนอยู่ในช่วง $90^\circ \leq \alpha_2 \leq 180^\circ$ โดยในการทดลองนี้จะกำหนดมุมจุดชนวนอยู่ประมาณ 180° ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 วงจรการทดลองส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากนั้นกดเซอร์กิตเบรคเกอร์ ด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 และปรับมุมจุดชนวนของคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานอยู่ในโหมดเรคติฟายเออร์ โดยมีมุมจุดชนวนอยู่ในช่วง $0 \leq \alpha_2 \leq 90^\circ$ แต่ในการทดลองจะปรับให้มุมจุดชนวนอยู่ในช่วง 18° - 20°เนื่องจากถ้ามุมจุดชนวนต่ำกว่านี้จะทำให้อัตราเปลี่ยนแปลงของแรงดัน $\frac{dv}{dt}$ สูงมากส่งผลให้การจุดชนวนผิดพลาด(misfire)

4. หลังจากนั้นเริ่มปรับมุมจุดชนวนของคอนเวอร์เตอร์ด้านรับจากเดิม ที่180° ให้ลดลงเรื่อยๆ เมื่อคอนเวอร์เตอร์เริ่มนำกระแสการทดลองจะเริ่มถ่ายพลังงาน ในการปรับควรทำอย่างช้าๆเพราะถ้าปรับลดลงอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์บน ดี.ซี.ไลน์ ของคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองต่างกันมากกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เครื่องกำเนิดสั่นได้

หลังจากปรับมุมจุดชนวนลงมาอย่างช้าๆจะเห็นว่าความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับมีความเร็วเพิ่มขึ้นในทางตรงกันข้ามความเร็วของเครื่องกำเนิดด้านส่งจะลดลง และผลที่ตามมาคือแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง เมื่อปรับมาถึงค่าๆหนึ่งจะเห็นว่าความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับกำลังไฟฟ้ามีความเร็วเพิ่มขึ้นมาก จึงทำการกดสวิทช์ต่อโหลดด้านรับกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับจะถ่ายไปสู่โหลดทันที ส่งผลให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับตกลงทันที แต่ถ้าโหลดกำลังไฟฟ้าที่ส่งมานั้นไม่พอจ่ายโหลดจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับต้องจ่ายโหลดส่วนนั้นด้วย ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับตกลงไปมาก ข้อควรระวังคือไม่ควรจ่ายโหลดที่มีขนาดใหญ่มากเพราะจะทำให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับตกลงไปมากผล คือ เกิดความแตกต่างของแรงดันที่ขั้ว และกระแสบนดีซีไลน์ไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่งสั่นได้

หลังจากนั้นก็เริ่มปรับมุมจุดชนวนของคอนเวอร์เตอร์ด้านรับลงอีก จนความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับสูงขึ้นเกินพิกัดอีกก็ทำการจ่ายโหลดให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับ จะทำให้ความเร็วรอบตกลง จึงปรับมุมจุดชนวนให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่งถ่ายพลังงานมาให้ จะเห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่งพลังงานความเร็วรอบจะตกลง และเครื่องกำเนิดด้านรับพลังงานความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้นอีกเช่นเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวนการจ่ายโหลด โดยคิดที่ค่าโหลดค่าหนึ่งจากการทดลอง

ด้านส่งกำลังไฟฟ้า(sending)

v_1 = แรงดันไฟฟ้าไลน์ทูไลน์ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่ง

i_1 = กระแสไฟฟ้าในสายที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่ง

Pf_1 = ตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่ง

P_1 = กำลังไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านส่ง

จากการทดลอง

v_1 = 108.47 V

i_1 = 1.28 A

Pf_1 = 0.78 leading

$P_1 = \sqrt{3} v_1 i_1 \cos\theta$

$P_1 = \sqrt{3} \times 108.47 \times 1.28 \times 0.78$

P_1 = 187.5 watt

บนสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง(DC line)

Vdc = แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง

Idc = กระแสไฟตรง

Pdc = กำลังไฟฟ้าที่ส่งไปบนสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

จากการทดลอง

Vdc = 484 V

Idc = 0.34 A

Pdc = Vdc × Idc

Pdc = 484 × 0.34

Pd = 164.56 watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านรับกำลังไฟฟ้า(receiver)

v_2 = แรงดันไฟฟ้าไลน์ทูไลน์ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับ

v_L = แรงดันไฟฟ้าไลน์ทูไลน์ที่ขั้วโหลด

v_{Tr} = แรงดันไฟฟ้าไลน์ทูไลน์ที่ขั้วหม้อแปลง

i_2 = กระแสในสายส่งที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับ

i_L = กระแสไฟฟ้าจ่ายโหลด

i_{Tr} = กระแสในสายส่งที่ขั้วหม้อแปลง

P_2 = กำลังไฟฟ้าวัดที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับ

P_L = กำลังไฟฟ้าวัดที่ขั้วของโหลด

P_{Tr} = กำลังไฟฟ้าวัดที่ขั้วหม้อแปลง

Pf_2 = ตัวประกอบกำลังวัดที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้านรับ

$Pf_{(LOAD)}$ = ตัวประกอบกำลังวัดที่ขั้วโหลด

$Pf_{(Tr)}$ = ตัวประกอบกำลังวัดที่ขั้วหม้อแปลง

จากการทดลอง

$i_2 = 1.46$ A

$i_L = 1.9$ A

$i_{Tr} = 0.98$ A

$Pf_2 = 0.84$ lagging

$Pf_{(LOAD)} = 1$

$Pf_{(Tr)} = 0.75$ lagging

และค่า $v_2 = v_L = v_{Tr} = 107$ V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_2 = \sqrt{3}\ v_L i_L \cos\theta$

$= \sqrt{3} \times 107 \times 1..46 \times 0.84$

$= 227.28$ watt

$P_L = \sqrt{3}\ v_L i_L \cos\theta$

$= \sqrt{3} \times 107 \times 1.9 \times 1$

$= 352$ watt

$P_{Tr} = \sqrt{3}\ v_L i_L \cos\theta$

$= \sqrt{3} \times 107 \times 0.98 \times 0.75$

$= 136.21$ watt

$P_{Tr} + P_2 \geq P_L$

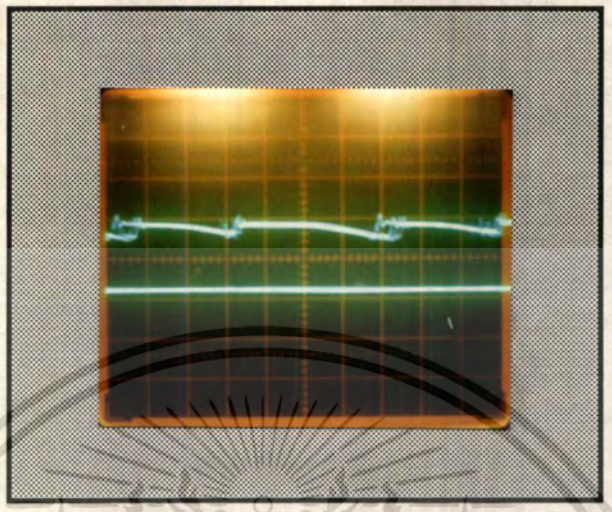
$136.21 + 227.28 \geq 352$

$363.5 > 352$

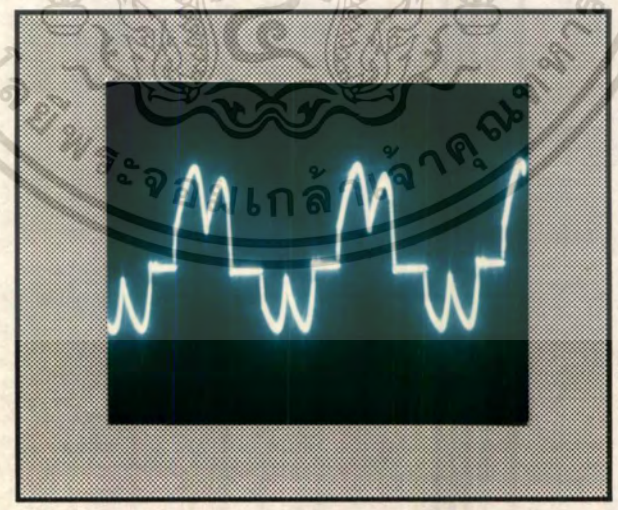
∴ จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดด้านส่งรวมกับ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดด้านรับจะต้องมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด และกำลังไฟฟ้าส่วนที่หายไปจะสูญเสียไปในระบบ

ดังนั้นพอจะสรุปได้ว่าการทดลองนี้สามารถส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ามาช่วยจ่ายโหลดให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกฝั่งได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

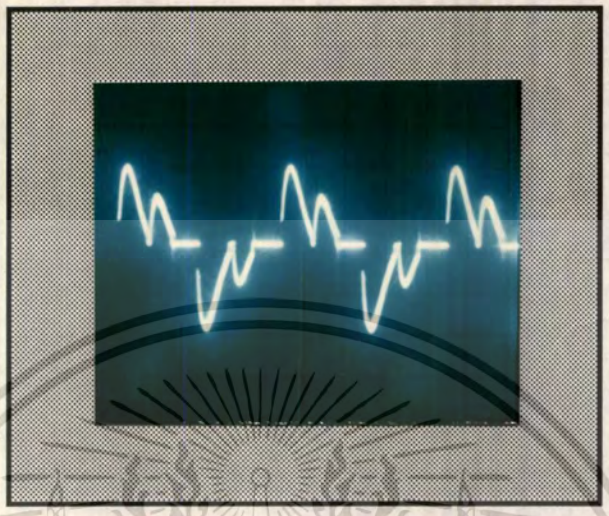


รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์ขณะยังไม่ผ่านวงจรฟิลเตอร์(บน)
เปรียบเทียบกับแรงดันที่ขั้วคอนเวอร์เตอร์ขณะผ่านวงจรฟิลเตอร์(ล่าง)
โดยใช้สายโพรบ(Prob) X 100 ; $\frac{5V}{div}$; $\frac{10ms}{div}$

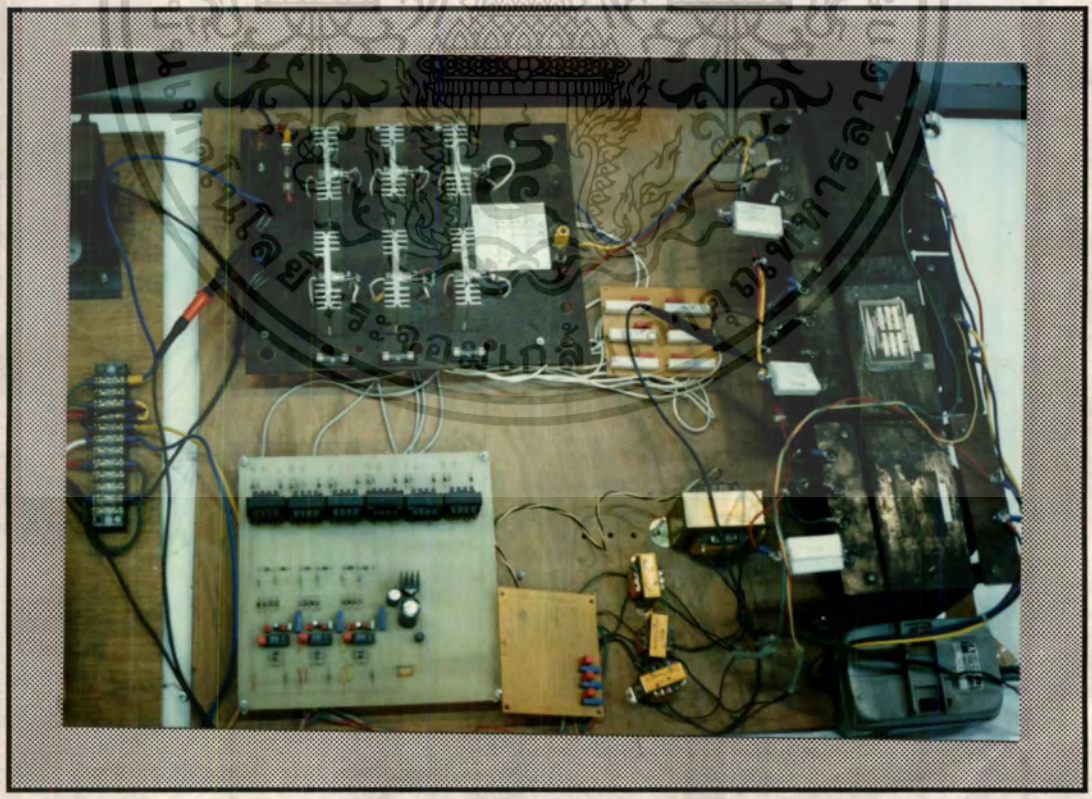


รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นกระแสด้านส่งกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

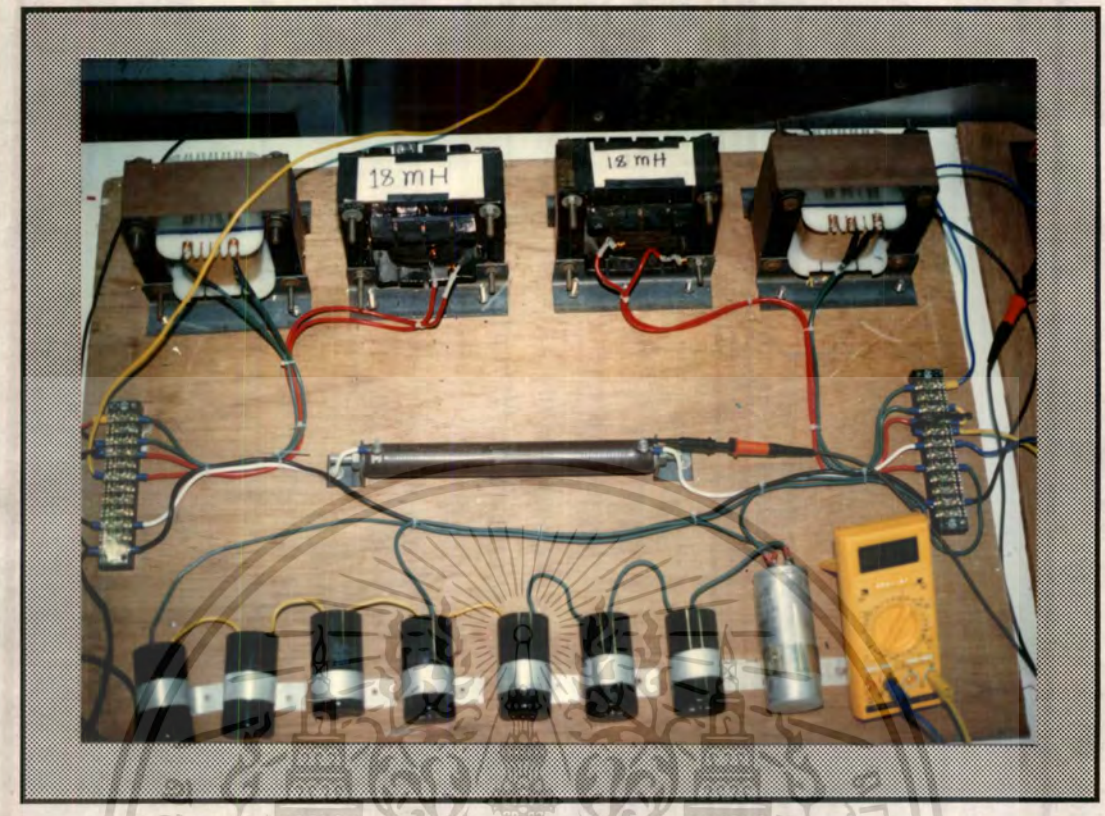


รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นกระแสด้านรับกำลังไฟฟ้า

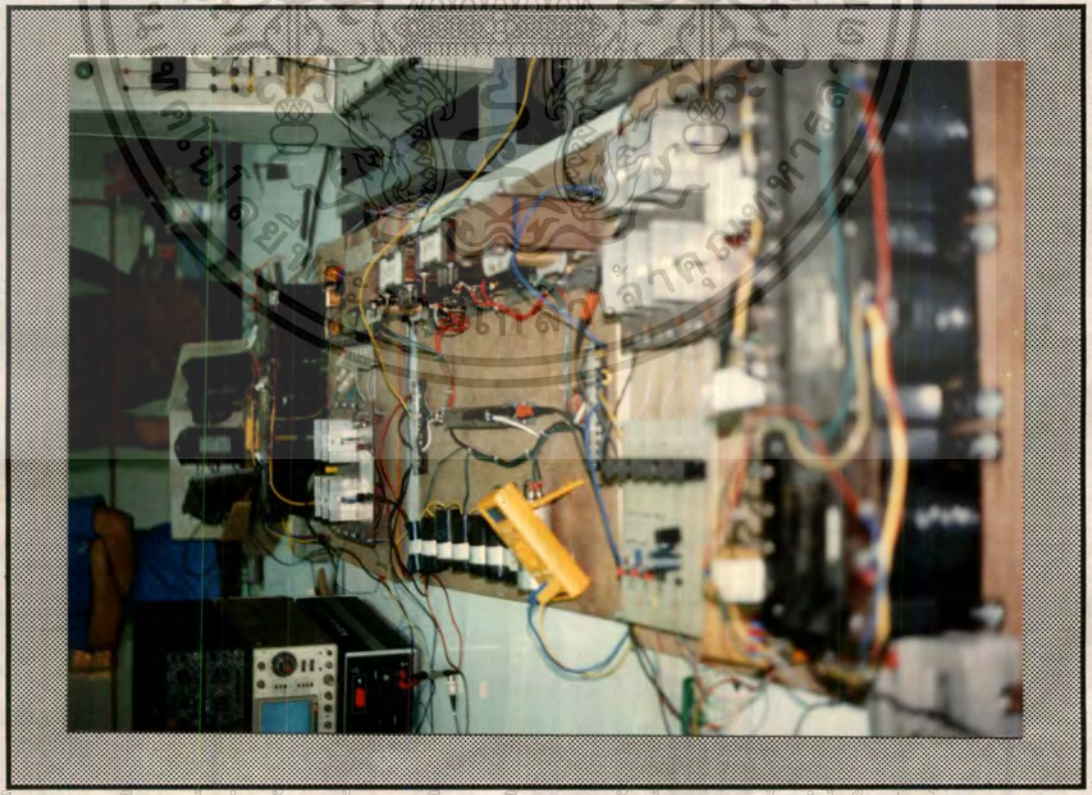


รูปที่ 5.6 แสดงชุดคอนเวอร์เตอร์แต่ละด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงชุดฮาร์โมนิคฟิลเตอร์บนดีซี ไลน์



รูปที่ 5.8 แสดงระบบจำลองการส่งกำลังไฟฟ้ากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทวิจารณ์และสรุป

ในการจำลองระบบส่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นสร้างคอนเวอร์เตอร์ทั้งภาครับ ภาคส่ง ฟิลเตอร์บนดีซีไลน์ รีแอคเตอร์ และวงจรจุดชนวน เป็นหลักเพราะเป็นส่วนที่สำคัญของระบบ ในการจำลองการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบนี้จะใช้ซิงโครนัสเจนเนอร์เรเตอร์ 2 ตัว และใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในห้องทดลองของทางภาควิชา ซึ่งมีข้อเสียคือเมื่อจ่ายโหลดจะทำให้ความเร็วของตัวต้นกำลังลดลง ส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วลดลงและความถี่ของระบบเปลี่ยนแปลงทำให้วงจรควบคุมมุมจุดชนวนทำงานผิดพลาด รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมาเพื่อส่งให้กับสายส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงไม่มากพอโดยที่ในขณะที่ทำการทดลองถ้าทำการปรับแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีผลทำให้แรงดันบนดีซีไลน์มีความแตกต่างมากเพราะแรงดันบนดีซีไลน์ได้รับจากหม้อแปลง 1:4 มีผลทำให้กระแสบนดีซีไลน์กระชากขึ้นสูงมาก ในส่วนนี้ถ้าสามารถควมคุมแรงดันและความเร็วรอบให้คงที่ได้ระบบจะดีขึ้น

และในส่วนชุดควบคุมนั้นยังใช้การควบคุมด้วยมือ(open-loop)ซึ่งจะมีผลทำให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ผ่านดีซีไลน์ให้กับโหลดและการปรับมุมจุดชนวนไม่สัมพันธ์กันทำให้กระแสบนดีซีไลน์กระชาก ในการทำการทดลองนั้นควรจะลดหรือเพิ่มมุมจุดชนวนอย่างช้าๆถ้ากระทำอย่างรวดเร็วอาจทำให้เกิดการลัดวงจรบนสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงได้

สำหรับระบบจำลองที่สร้างขึ้นประสพความสำเร็จในระดับหนึ่งยังจะต้องทำการศึกษาปรับปรุงและพัฒนาในรายละเอียดที่ได้วิจารณ์ไว้ในส่วนที่ผ่านมา เช่นการนำระบบไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาควมคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งระบบ และยังจะต้องรักษาความเร็วรอบและแรงดันของระบบต้นกำลังให้ได้ ซึ่งคาดว่าจะได้ผลใกล้เคียงกับระบบจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part Number	V_{RRM} V	$I_{T(AV)}$ A	@ T_C °C	I_{TSM} (1) 50Hz A	I_{TSM} (1) 60Hz A	I^2t (1) 50Hz A^2s	I^2t (1) 60Hz A^2s	V_{GT} (2) V	I_{GT} (2) mA	dv/dt (3) V/µs	R_{thJC} DC K/W	Package
10RIA10 10RIA20 10RIA40 10RIA60 10RIA80 10RIA100 10RIA120	100 200 400 600 600 1000 1200	10	85	190	200	180	165	2.0	60	300	1.85	TO-208AA (5)
16RIA10 16RIA20 16RIA40 16RIA60 16RIA80 16RIA100 16RIA120	100 200 400 600 800 1000 1200	16	85	285	300	405	375	2.0	60	300	1.15	TO-208AA (5)
22RIA10 22RIA20 22RIA40 22RIA60 22RIA80 22RIA100 22RIA120	100 200 400 600 800 1000 1200	22	85	335	355	560	515	2.0	60	300	0.85	TO-208AA (5)
25RIA10 25RIA20 25RIA40 25RIA60 25RIA80 25RIA100 25RIA120	100 200 400 600 800 1000 1200	25	85	350	370	615	560	2.0	60	300	0.75	TO-208AA (5)
50RIA10 50RIA20 50RIA40 50RIA60 50RIA80 50RIA100 50RIA120	100 200 400 600 800 1000 1200	50	94	1200	1255	7200	6560	2.0	100	500	0.35	TO-208AC (4) (5)

Notes

(1) T_J = 125°C, 100% V_{RRM}.

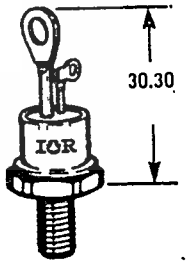
(2) T_J = 25°C.

(3) Exponential to 0.67V_{DRM}, T_J = 125°C. Also available to 1000V/µs.

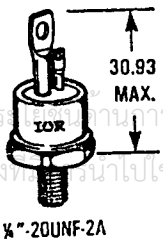
(4) Available with flexible leads 200mm long. To specify change '50' to '51' in Part Number. e.g. 51RIA80 etc.

(5) Available with metric stud. To specify add 'M' to end of Part Number. e.g. 50RIA120M etc.

TO-208AA (TO-48)



TO-208AC (TO-65)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bipolar IC

Type	Ordering code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP 16

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

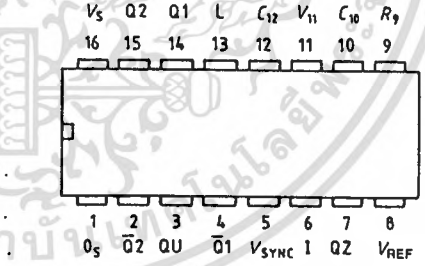
This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D

Features

- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Large temperature range

Pin configuration

top view



Pin description

Pin	Symbol	Function
1	0_S	Ground
2	$\overline{Q}2$	Output 2 inverted
3	QU	Output U
4	$\overline{Q}1$	Output 1 inverted
5	V_{SYNC}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	QZ	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q1	Output 1
15	Q2	Output 2
16	V_S	Supply voltage

Characteristics

$8 \le V_S \le 18$ V; $-25\,°C \le T_A \le 85\,°C$; $f = 50$ Hz

		Test circuit	Lower limit B	$f = 50$ Hz $V_S = 15$ V typ	Upper limit A	
Supply current consumption S 1...S 6 open $V_{11} = 0$ V $C_{10} = 47$ nF; $R_9 = 100$ kΩ	I_S	1	4.5	6.5	10	mA
Synchronization pin 5 Input current R_2 varied	$I_{5\,rms}$	1	30		200	µA
Offset voltage	ΔV_5	4		30	75	mV
Control input pin 11 Control voltage range Input resistance	V_{11} R_{11}	1 5	0.2	15	$V_{10\,peak}$	V kΩ
Ramp generator Load current Max. ramp voltage Saturation volt. at capacitor Ramp resistance Sawtooth return time	I_{10} V_{10} V_{10} R_9 t_f	 1 1.6 1 1	10 100 3 	 225 80	1000 V_S–2 350 300 	µA V mV kΩ µs
Inhibit pin 6 switch-over of pin 7 Outputs disabled Outputs enabled Signal transition time Input current $V_6 = 8$ V Input current $V_6 = 1.7$ V	 V_{6L} V_{6H} t_r I_{6H} $-I_{6L}$	 1 1 1 1 1	 4 1 80	 3.3 3.3 500 150	 2.5 5 800 200	 V V µs µA µA
Deviation of I_{10} R_9 = const. $V_S = 12$ V; $C_{10} = 47$ nF	I_{10}	1	−5		5	%
Deviation of I_{10} R_9 = const. $V_S = 8$ to 18 V Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, V_S = const.	I_{10} $\Delta V_{10\,max}$	1	−20	 ± 1	20	% %

Characteristics

$8 \le V_S \le 18$ V; $-25\,°C \le T_A \le 85\,°C$; $f = 50$ Hz

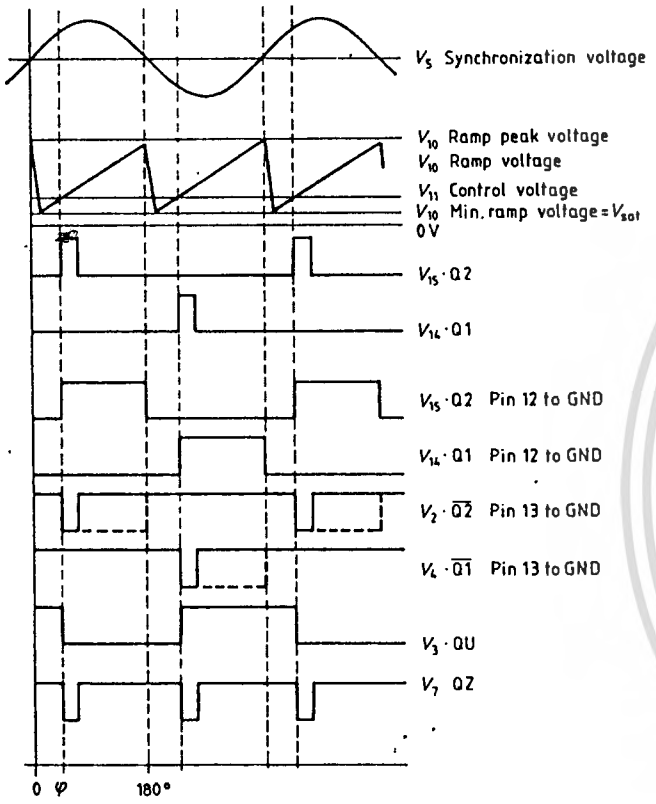
		Test circuit	Lower limit B	$f = 50$ Hz $V_S = 15$ V typ	Upper limit A	
Long pulse switch-over pin 13 switch-over of S 8 Short pulse at output Long pulse at output Input current $V_{13} = 8$ V Input current $V_{13} = 1.7$ V	 V_{13H} V_{13L} I_{13H} $-I_{13L}$	 1 1 1 1	 3.5 45	 2.5 2.5 65	 2 10 100	 V V µA µA
Outputs pin 2, 3, 4, 7 Reverse current $V_O = V_S$ Saturation voltage $I_O = 2$ mA	 I_{CE0} V_{sat}	 2.6 2.6	 0.1	 0.4	 10 2	 µA V
Outputs pin 14, 15 H output voltage $-I_O = 250$ mA L output voltage $I_O = 2$ mA Pulse width (short pulse) S 9 open Pulse width (short pulse) with C_{12}	 $V_{14/15\,H}$ $V_{14/15\,L}$ t_p t_p	 3.6 2.6 1 1	 V_S–3 0.3 20 530	 V_S–2.5 0.8 30 620	 V_S–1.0 2 40 760	 V V µs µs/nF
Internal voltage control Reference voltage Parallel connection of 10 ICs possible *TC* of reference voltage	 V_{ref} α_{ref}	 1 1	 2.8 	 3.1 2×10^{-4}	 3.4 5×10^{-4}	 V 1/K

Application hints for external components

		min	max	
Ramp capacitance	C_{10}	500 pF	1 µF[1]	The minimum and maximum values of I_{10} are to be observed
Triggering point	$t_{Tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{ref} \times K}$		[2]	
Charging current	$I_{10} = \frac{V_{ref} \times K}{R_9}$		[2]	Ramp voltage $V_{10\,max} = V_S - 2$ V $\quad V_{10} = \frac{V_{ref} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ [2]

1) Attention to flyback times
2) $K = 1.10 \pm 20\%$

Pulse diagram



Maximum ratings

		Lower limit B	Upper limit A	
V_S	Supply voltage	−0.5	18	V
I_Q	Output current at pin 14, 15	−10	400	mA
V_6	Inhibit voltage	−0.5	V_S	V
V_{11}	Control voltage	−0.5	V_S	V
V_{13}	Voltage short-pulse circuit	−0.5	V_S	V
I_5	Synchronization input current	−200	± 200	µA
V_Q	Output voltage at pin 14, 15		V_S	V
I_Q	Output current at pin 2, 3, 4, 7		10	mA
V_Q	Output voltage at pin 2, 3, 4, 7		V_S	V
T_j	Junction temperature		125	°C
T_{stg}	Storage temperature	−55	125	°C
$R_{th\,SA}$	Thermal resistance (system-air)		80	K/W

Operating range

V_S	Supply voltage	8	18	V
f	Operating frequency	10	500	Hz
T_A	Ambient temperature	−25	85	°C

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และคำแนะนำที่มีประโยชน์ ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่ให้คำแนะนำทางด้านวงจรควบคุมต่างๆ เจ้าหน้าที่สโตร์ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ทุกอย่างให้ และที่จะขาดมิได้คือ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่ได้อำนวยความสะดวกทั้งด้านเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆรวมถึงการพิมพ์และจัดเข้ารูปเล่มของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำ

24 มีนาคม 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] E.W.Kimbark, "Direct Current Transmission", Vol.1 ,Willey - Interscience, Newyork, 1971

[2] T.Wildi, "Electrical Machines,Drives,And,PowerSystems"second edition,Prentice Hall,Inc.,USA,1991

[3] M.H. Rashid,"Power Electronics Cirruit,Device,And Application" second edition, Prentice-Hall ,Inc,USA,1993

[4] ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล ," ระบบไฟฟ้ากำลังเล่ม 2 " คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2536

[5] นนทวัฒน์ จุลเดชะ "การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก" วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2528

[6] ไพศาล ธนบุญสมบัติ , วีระชัย นาอ่อน , สุภคินท์ สุธิพิเชฐภัณฑ์ " เครื่องเรียงกระแสสามเฟสสำหรับระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง " ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้