การต่อหม้อแปลง

TRANSFORMER CONNECTIONS

โดย

นายสมเกียรติ จิระกาญจนากิจ

นายสุจินท์ อิทธิฉันทกิจ

นายโสรัจ เทียมวีรสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

008517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2534

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง TRANSFORMER CONNECTIONS

โดย

นาย	สมเกียรติ	จิระกาญจนากิจ	รหัส	32.1477
นาย	สุจินท์	อิทธิฉันทกิจ	รหัส	32.1481
นาย	โสรัจ	เทียมวีรสกุล	รหัส	32.1486

----------อาจารย์ที่ปรึกษา

(วีรศักดิ์ วงศ์วิวัติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	3
บทที่ 2	การขนานหม้อแปลง	5
	2(a) การขนานหม้อแปลง 1 เฟส	
	2(b) การขนานหม้อแปลง 3 เฟส	
	แนวการทดลอง	
บทที่ 3	ปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคในวงจร 3 เฟส	19
บทที่ 4	กระแสเฟสเดียวในวงจรหม้อแปลง 3 เฟส	28
	แนวการทดลอง	
บทที่ 5	การต่อหม้อแปลงเพื่อการแปลงเฟส	38
	3 เฟส ไปเป็น 6 เฟส แบบสมมาตร	
	5(a) การต่อ 6 เฟส แบบสตาร์	
	5(b) การต่อแบบตรงข้ามกัน	
	5(c) การต่อแบบดับเบิ้ลสตาร์	
	5(d) การต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า	
	5(e) ผลกระทบของการต่อวงจรหม้อแปลงทาง	
	ด้านปฐมภูมิ (ฮาร์โมนิค)	
	แนวการทดลอง	
บทที่ 6	การเฟสโดยการต่อแบบข้ามทางทุติยภูมิ	56
	6(a) การต่อแบบ ฟอคเกคสตาร์ หรือ ดับเบิ้ลซิคแซค	
	6(b) การต่อแบบ ควอครูเพิ้ลซิคแซค	
	แนวการทดลอง	
บทที่ 7	การแปลงเฟสจากระบบ 3 เฟสไปเป็น 2 เฟส	63
	7(a) การแปลงระบบจาก 3 เฟส 4 สายไปเป็นระบบ 2 เฟส	
	7(b) การต่อแบบ สก๊อต	
	7(c) การต่อแบบ T	
	แนวการทดลอง	
ภาคผนวกที่ 1	แนวทางการทดลอง(Direction Lap)	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 2 เวคเตอร์กรุ๊ป 85
ภาคผนวกที่ 3 การออกแบบหม้อแปลง 90
กิตติกรรมประกาศ 96
บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหลายๆ ด้านของหม้อแปลงไฟฟ้า การเพิ่มพิกัดกำลังในการจ่ายกำลังไฟฟ้า ของหม้อแปลงโดยการต่อขนาน อันจะต้องมีข้อพิจารณาหลายๆอย่าง อย่างที่เราจะต้องรู้และต้องให้ความสนใจ อีกทั้งข้อจำกัดและปัญหาในการต่อหม้อแปลง เรามีการต่อขนานหม้อแปลงทั้งแบบที่เป็น 1เฟส และ 3 เฟส ศึกษาเรคกูเลชั่นและจากเหตุผลในการใช้งานจริงของหม้อแปลงซึ่งอาจจะพบกับหลายลักษณะของโหลด อาจจะพบกับโหลดที่ไม่สมดุลย์ ในที่เรามีการศึกษาทดลองความไม่สมดุลย์เนื่องจากต่อโหลดเพียงแค่เฟสเดียวเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจน หลายๆรูปแบบของการใช้งานในสภาพความเป็นจริง จะให้ผลที่ไม่เหมือนกัน ปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิคในวงจรหม้อแปลงอาจส่งผลกระทบต่อระบบโทรคมนาคม หรือ ระบบใดๆได้ที่ต่อใช้งานโดยใช้แหล่งจ่ายเดียวกัน การต่อนิวทรอลหรือไม่ต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่ายมีผลกับฮาร์โมนิคที่จะเกิดขึ้นอย่างมาก ในการต่อใช้งานนั้นลักษณะของโหลดเป็นไปได้ทั้ง 1 เฟส 2 เฟส ไปจนถึง 12 เฟส ซึ่งอาจจะเป็นการใช้งานในกรณีพิเศษ เราสามารถต่อวงจรหม้อแปลงให้มีแรงเคลื่อนเอาพุทหลายๆเฟสตามความต้องการได้โดยการนำกำลังไฟฟ้ามาจากแหล่งจ่ายที่เป็น 3 เฟส 50 เฮิรต์ มาตรฐาน โดยอาศัยหลักการและความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนเฟสและไลน์ อาศัยความสัมพันธ์ทางด้านเวกเตอร์ของกระแสและแรงเคลื่อนเราสามารถทำให้เกิดแรงเคลื่อนเอาพุทหลายเฟสตามความต้องการได้ในส่วนท้ายของบทความนี้หรือส่วนของภาคผนวก เราได้รวบรวมสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับหม้อแปลงไว้และส่วนเพิ่มเติมที่มิได้กล่าวถึงในเนื้อส่วนของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis is refered to transformer. Increasing in power rating of transformer by connected in parallel together that there are connected in single phase or in three phase group. In this thesis we research in regulation ,balance and unbalance load ,phenomenal harmonics which can interfere telecommunication system by connected in the same soure. By connecting to neutral or disconnecting effect harmonics. We. can change phase of the output from 2 phase to 12 phase by using relationship between line voltage and phase voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังไม่ว่าในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบสายส่ง ระบบส่งจ่าย พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดนี้ล้วนแต่มีความสัมพันธ์กับหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสิ้น เริ่มจากเมื่อเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าผลิตพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาก็ต้องมีหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อปรับระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เหมาะสม และจะส่งไปกับระบบสายส่งกำลัง จากระบบสายส่งนี้ก่อนจะนำพลังงานไปใช้งานหรือต่อกับโหลด จะต้องมีการปรับระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เหมาะสมกับโหลดอีกที่หนึ่ง จากความสำคัญของหม้อแปลงที่ได้กล่าวมานี้ ถ้าพูดถึงในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าใดๆที่เป็นระบบสามเฟส สิ่งที่จะนำมาต่อเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานอาจจะเป็นได้หลายๆรูปแบบ ซึ่งอาจมีสภาวะโหลดที่ไม่สมดุลย์ หลายลักษณะ และการต่อเพื่อใช้งานอาจส่งผลให้เกิดลักษณะอันไม่พึงประสงค์เกิดขึ้นความผิดปกติจากส่วนเล็กๆอาจทำให้มีผลเสียหายต่อระบบส่วนรวมได้

การศึกษาเกี่ยวกับหม้อแปลงในบทความนี้ เริ่มจากการศึกษาในเรื่องการต่อขนานหม้อแปลงมีทั้งวงจรหม้อแปลงหนึ่งเฟส และวงจรหม้อแปลงสามเฟสเนื่องจากสภาวะของโหลดที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลทางด้านเรคกูเลชั่น โดยเราจะต้องพิจารณาหลายๆองค์ประกอบที่จำเป็นต้องรู้เรื่องเมื่อเราจะทำการต่อขนานหม้อแปลง เป็นการต่อขนานหม้อแปลงเพื่อเพิ่มพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือเพื่อเสถียรภาพของระบบ ลักษณะเช่นไรที่เราไม่สามารถกระทำได้อีกทั้งการแก้ไข

การต่อหม้อแปลงในการใช้งานจริงนั้น หากเราไม่เข้าใจในตัวหม้อแปลงที่ดีพอ ในการต่อของเราอาจจะส่งผลให้เกิดฮาร์โมนิคส์ได้ อาจเสียหายแก่อุปกรณ์ที่ไวการต่อนิวตรอลหรือไม่ต่อเข้ากับกราวด์ หรือเข้ากับนิวตรอลของแหล่งจ่ายมีผลต่อฮาร์โมนิคส์อย่างไร ทำอย่างไรเมื่อเราไม่ต้องการให้เกิดฮาร์โมนิคส์ขึ้นในระบบ รายละเอียดดูได้ในบทที่ 3 และส่วน 5(c) ของบทความนี้รวมทั้งการทดลองในบทที่ 5 ที่มีผลของฮาร์โมนิคส์เกิดขึ้น

ด้วยลักษณะของโหลดที่มีอยู่มากมายและใช้งานอยู่ในทุกวันนี้ เราไม่สามารถจะสร้างพลังงานไฟฟ้าในระบบหลายเฟสเพียงเพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์นั้นๆโดยเฉพาะจากเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ที่ไม่คุ้มและความยุ่งยากในด้านเทคนิค แต่เราสามารถอาศัยหลักการความสัมพันธ์ของเฟสและไลน์ ความสัมพันธ์ทางเวคเตอร์ของมันรวมถึงวงจรการต่อหม้อแปลงที่ถูกต้อง เราสามารถได้แรงเคลื่อน 2 เฟส , 6 เฟส หรือ 12 เฟส ลักษณะเช่นนี้เพียงการต่อวงจรหม้อแปลงก็สามารถกระทำได้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของระบบที่อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า ให้สามารถใช้กับโหลดที่มีลักษณะเฟสอื่นๆนอกเหนือจาก 3 เฟสที่เป็นมาตรฐานได้ หลายวงจรการต่อที่นำมาทดลองให้เห็นนี้จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่เราจะทราบว่าอย่างนั้นมีข้อดีข้อเสียอย่างไร หรือที่เหมาะสมกับลักษณะของหม้อแปลงที่เรามีอยู่

จากหลายตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นพอที่เราจะกล่าวได้ว่า หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์สำคัญมากตัวหนึ่งในระบบกำลังไฟฟ้า ระบบส่งจ่าย หรือระบบรับพลังงานไฟฟ้ามาใช้งาน เราจึงควรศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ของหม้อแปลงไว้ ทั้งนี้อันจะเป็นการส่งเสริมให้เราเข้าใจในตัวหม้อแปลงดียิ่งขึ้น อันจะเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบกำลังไฟฟ้าใดๆได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การขนานหม้อแปลง

เมื่อพิจารณาถึงการนำมาขนานกันของหม้อแปลง ก็จะคิดถึงการนำเอาขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ละตัวมาขนานกัน โดยทั่วๆ ไปมักจะเป็นการขนานกันของหม้อแปลง 1 เฟสและหม้อแปลง 3 เฟส ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความต้องการของระบบเองเมื่อจำเป็นต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่โหลดสำคัญเพื่อคงไว้ซึ่งการบริการด้านกระแสไฟฟ้า ซึ่งบางทีอาจจะเกิดความเสียหายในหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งในระบบ หรือการขนานเป็นการเพิ่มขนาดกำลังของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเนื่องมาจากโหลดที่เพิ่มสูงขึ้น

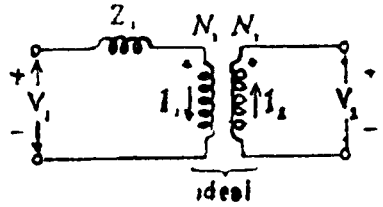
ความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นในการต่อขนานหม้อแปลงก็คือ ลักษณะของการแบ่งโหลด ผลที่ดีที่สุดที่ยอมรับได้เมื่อโหลดได้ถูกแบ่งเป็นอัตราส่วนกับอัตรา KVA ของหม้อแปลงทั้งสองและเมื่อกระแสที่ไหลในขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ละตัวมีลักษณะเฟสเดียวกันกับกระแสโหลด ถ้าโหลดได้แบ่งไปในลักษณะอื่นแล้ว จะทำให้ความสามารถของการขนานหม้อแปลงลดลง การต่อขนานนี้จะทำได้ตั้งแต่หม้อแปลง 2 ตัวขึ้นไป โดยจะต้องมีหลักเกณฑ์ในการต่อขนานดังนี้

1. ต้องมี Voltage-Ratio เหมือนกัน
2. ต้องมี Per-Unit หรือ Percentage Impedance เหมือนกัน
3. ต้องมี Phase Sequence ที่สอดคล้องกันและต้องมี Phase Displacement เป็นศูนย์ (Inphase กัน)
4. ต้องมี Polarity เหมือนกัน

สิ่งที่สำคัญและจำเป็นที่สุดสำหรับการต่อขนานนี้ก็คือ ต้องมีข้อ 3 และข้อ 4 แต่สำหรับข้อ 1 นั้นมีค่าใกล้เคียงกันก็ใช้ได้แล้ว ส่วนข้อ 2 นั้นถ้าตัวที่จะนำมาต่อขนานกันมี Percentage Impedance เหมือนกันมากก็ยิ่งให้การแบ่งโหลดของหม้อแปลงเหล่านั้นแบ่งได้ดีมากขึ้น

2(a) การขนานหม้อแปลง 1 เฟส

ในการพิจารณาวงจรขนานเราจะไม่นำกระแสกระตุ้นมาคิด ดังที่แสดงในรูปที่ 2-1 และความสัมพันธ์กันทางเวคเตอร์ที่เกิดระหว่างแรงเคลื่อนชุดปฐมภูมิและทุติยภูมิคือ



รูป 2-1 แสดงวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 - I_1 Z_1 = aV_2$$

เมื่อให้ V_1 และ V_2 คือ เวคเตอร์แรงเคลื่อน

I_1 คือ เวคเตอร์กระแสของชุดปฐมภูมิ

Z_1 คือ คอมเพลกซ์อิมพีแดนซ์ (Complex Impedance) อ้างถึงด้านปฐมภูมิ

a คือ อัตราส่วนรอบระหว่าง N_1 / N_2

สำหรับแรงเคลื่อนที่อ้างถึงทางด้านทุติยภูมิคือ

$$V_1/a - I_2 Z_2 = V_2$$

และให้ I_2 คือ เวคเตอร์กระแสของชุดทุติยภูมิ

Z_2 คือ คอมเพลกซ์อิมพีแดนซ์ (Complex Impedance) อ้างถึงด้านทุติยภูมิ

ทิศทางบวกของแรงเคลื่อนและกระแสแสดงในรูป 2-1 ซึ่งก็คือ

$$I_2 = aI_1$$

ถ้าไม่นำเอากระแสกระตุ้นมาคิด

เมื่อนำเอาหม้อแปลงมาต่อขนานกัน ขั้วแรงเคลื่อนของแต่ละขดปฐมภูมิเหมือนกันและในลักษณะเดียวกัน ขั้วแรงเคลื่อนของแต่ละขดทุติยภูมิก็เหมือนกัน กระแสรวมทางด้านปฐมภูมิหาโดยการรวมกันทางเวคเตอร์กระแสของด้านปฐมภูมิและกระแสรวมทางด้านทุติยภูมิได้จากการรวมทางเวคเตอร์กระแสที่ไหลไปยังโหลด

ถ้าอัตราส่วนรอบของหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวไม่เท่ากัน แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมาทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะไม่เท่ากัน เมื่อทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงทั้งสองต่อขนานกันอยู่จะเกิดกระแสไหลวนขึ้นได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีโหลด นี้จะเป็นสิ่งที่ไม่สามารถออกแบบใช้งานได้ การทำการขนานของหม้อแปลงโดยปรกติจะมีอัตราส่วนรอบเท่ากัน

เมื่ออัตราส่วนของการส่งผ่านพลังงานเท่ากัน

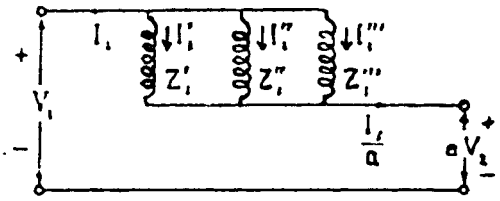
เมื่ออัตราส่วนรอบของหม้อแปลงที่นำมาขนานเท่ากัน แรงเคลื่อนทางด้านปฐมภูมิของมันเท่ากัน แรงเคลื่อนทางทุติยภูมิที่เทียบกับด้านปฐมภูมิก็จะยังคงเท่ากันด้วย ดังนั้นแรงเคลื่อนตกคร่อมเวคเตอร์ของอิมพีแดนซ์สมมูลย์ต้องเท่ากัน นั้นคือจากสมการ 1

$$V_1 - aV_2 = I'_1 Z'_1 = I_1" Z_1" = I'''_1 Z'''_1$$

เมื่อเครื่องหมาย ' ," ," แสดงถึงหม้อแปลงแต่ละตัว วงจรสมมูลย์ที่แทนในกรณีนี้แสดงในรูป 2-2

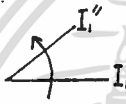
อย่างไรก็ตามถ้าจะให้ดีที่สุด หม้อแปลงที่จะนำมาขนานกันนี้ ควรจะมีอัตราส่วนรอบที่เท่ากัน นั้นคือจะให้รีแอคแตนซ์และรีซิสแตนซ์เท่ากัน แต่ถ้าไม่เท่ากันแล้วผลจะเป็นในรูปที่ 2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2-2 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง 3 ตัวที่มีอัตราส่วนรอบเท่ากันนำมาขนานกัน

ซึ่งแสดงถึงเวคเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลง 2 ตัวขนานกันอิมพีแดนซ์สมมูลย์ของหม้อแปลงทั้งสองมีค่าเท่ากัน และกระแส I_1' , I_1'' ในหม้อแปลงทั้งสองมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามกระแสจะไม่มีเฟสเดียวกัน นอกจากว่าอัตราส่วนของรีแอคแตนซ์สมมูลย์ต่อรีซิสแตนร์สมมูลย์เหมือนกันในหม้อแปลงทั้ง 2 ตัว มุมระหว่างกระแสทั้งสองคือ



$$\tan^{-1}\frac{X_1'}{R_1'} = \tan^{-1}\frac{X_1''}{R_1''} \qquad (5)$$

เมื่อกระแสนั้นไม่ได้มีเฟสเดียวกัน กระแสของหม้อแปลงแต่ละตัวจะมากกว่าครึ่งของกระแสรวมทั้งสองและ kvA (อัตราพิกัดกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาพุทของทั้งสองนั้นจะน้อยกว่าผลรวมของ kvA ทางด้านเอ้าพุทของหม้อแปลงแต่ละตัว ดังนั้นผลรวมของอัตราพิกัดกำลังไฟฟ้าจะน้อยกว่าการรวมอัตราพิกัดของแต่ละตัว

อย่างไรก็ตามอัตราส่วนระหว่างรีแอคแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์จะเหมือนกันในหม้อแปลงที่ทำการขนานกัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญรองลงมาเมื่อเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วย (Per Unit) แล้วจะมีค่าเดียวกัน

ตัวอย่างเช่น พิจารณาหม้อแปลง 2 ตัว ที่มีอิมพีแดนซ์สมมูลย์ขนาดเดียวกัน แต่มีอัตราส่วนของรีแอคแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์ที่ต่างกันมากเป็น 10 ต่อ 3 จากสมการที่ (5)ค่าความแตกต่างระหว่างมุมของอิมพีแดนซ์จะมีค่าเท่ากับมุมระหว่างกระแสทั้งสองในหม้อแปลงนั้นคือ

$$\tan^{-1} 10 - \tan^{-1} 3 = 12.7 \qquad (6)$$

อัตราส่วนทางขนาดของเวคเตอร์รวมเท่ากับผลรวมของกระแสนั้นคือ

$$\cos 12.7/2 = 0.994 \qquad (7)$$

ดังนั้นกระแสในหม้อแปลงจะมีเฟสใกล้เคียงกันมากจนกระทั่งผลรวมทางเวคเตอร์มีค่าเท่ากับผลรวมทางตัวเลข

ฉะนั้นเมื่อหม้อแปลงมีอัตราส่วนจำนวนรอบที่เท่ากันได้ต่อในลักษณะขนานกัน ขนาดของอิมพีแดนซ์สมมูลย์เป็นส่วนสำคัญในการหากระแสที่ไหลในหม้อแปลง

มุมของอิมพีแดนซ์สมมูลย์จะมีความสำคัญน้อยมากถ้าเราไม่ต้องการที่จะได้ค่าของกระ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แลในหม้อแปลงที่ละเอียดนัก

ในการศึกษาการไหลของกระแสในเส้นทางต่าง ๆ นั้น ควรที่จะหาในเทอมของแอดมิต-แตนซ์ในเส้นทางนั้น ๆ ถ้ากระแสทั้งหมดที่จ่ายให้กับหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิคือ I_1 กระแสในแต่ละไลน์ของหม้อแปลงคือ

$$I'_1 = \frac{Y'_1}{Y_1} I_1 \qquad (8)$$

$$I''_1 = \frac{Y''_1}{Y_1} I_1 \qquad (9)$$

$$I'''_1 = \frac{Y'''_1}{Y_1} I_1 \qquad (10)$$

โดยที่

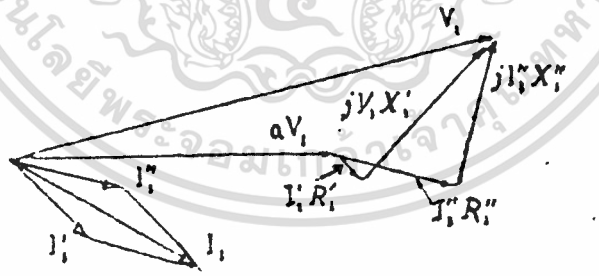
I_1 คือ กระแสรวมทั้งหมด

I'_1 , I''_1 , I'''_1 คือ ส่วนกลับของอิมพีแดนซ์สมมูลย์

Y_1 คือ แอดมิตแตนซ์รวม

$$Y_1 = Y'_1 + Y''_1 + Y'''_1 \qquad (11)$$

ในการวิเคราะห์โดยละเอียดนั้น สมการที่(11) ควรที่จะเปลี่ยนไปคิดทางเวคเตอร์ ซึ่งขนาดกระแสที่ต้องการจะมีความถูกอย่างเพียงพอ



รูป 2-3 เวคเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลง 2 ตัวขนานกัน แสดงผลอัตราส่วนไม่เท่ากันของรีแอคแตนซ์สมมูลย์ต่อรีซิสแตนซ์สมมูลย์ ทำให้แรงเคลื่อนตกคร่อมมีค่ามากขึ้น

ถ้าแรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์และพิกัดกระแสของหม้อแปลงนั้นมีค่าไม่เท่ากันแล้ว หม้อแปลงจะไม่สามารถแบ่งภาระโหลดที่เป็นอัตราพิกัดกำลังไฟฟ้า kva ได้ตัวอย่างเช่น พิจารณาวงจรหม้อแปลงขนาน โดยให้ $(IZ)'$,$(IZ)''$,$(IZ)'''$ เป็นขนาดของแรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์ของหม้อแปลงแต่ละตัว ที่อัตราพิกัดกำลังของกระแสส่วนที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ที่พิกัดกำลังนั้นอาจจะมีหน่วยเป็น โวลท์ ,เปอร์เซนต์ หรือต่อหน่วย (Per Unit) ส่วนที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์นั้นจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามขนาด $(IZ)'$ จนถึงค่าที่น้อยที่สุดให้ $(kva)'$,$(kva)''$

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(kva)'''$ เป็นอัตราพิกัดกำลังไฟฟ้า กิโลโวลท์-แอมป์ ตามแบบหม้อแปลงทั่วๆ ไป

เมื่อหม้อแปลงได้ทำการต่อในลักษณะขนานกันนั้น แรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์จะต้องมีค่าเดียวกัน ขณะที่เอ้าพุทของการขนานกันนั้นเพิ่มขึ้น แรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์-สมมูลย์ในหม้อแปลงแต่ละตัวได้เพิ่มขึ้นด้วยในอัตราส่วนเดียวกัน และในที่สุดจะเท่ากับ $(IZ)'$ แรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์ที่พิกัดกำลังของหม้อแปลงตัวแรก มีอัตราพิกัดกำลังเป็น $(kva)'$ เพราะเอ้าพุทของหม้อแปลงและแรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์เป็นอัตราส่วนซึ่งกันและกัน

เอ้าพุทของหม้อแปลงตัวที่ 2

$$\frac{(IZ)''\ (kva)''}{(IZ)''}$$

ผลรวมเอ้าพุททั้งหมดเป็น (kva) ของกลุ่มจะมีค่าเท่ากับเอ้าพุทของแต่ละตัวรวมกัน

$$(kva)_1 = (kva)' + \frac{(IZ)'}{(IZ)''}(kva)'' + \frac{(IZ)'}{(IZ)'''}(kva)''' + \ldots \qquad (12)$$

ถ้าเอ้าพุททั้งหมดได้เพิ่มขึ้นนอกเหนือจากค่านี้ แรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์ได้เพิ่มขึ้นและเอ้าพุทของหม้อแปลงตัวแรกมีค่าเกินอัตราพิกัดกำลังของมัน ดังนั้น $(kva)_1$

จากสมการที่ (12) นั้นจะเห็นได้ว่า เป็นสมการที่มีโหลดสูงสุดเท่าที่หม้อแปลงจะสามารถจ่ายได้ โดยที่ไม่เกินค่าอัตราพิกัดกำลังของหม้อแปลงของการจ่ายสูงสุด โดยมีแรง-เคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์ต่ำสุด ถ้านำหม้อแปลงออกจากระบบแล้วอาจจะทำให้เอ้า-พุทมีค่าสูงขึ้น

หม้อแปลงนั้นต้องสามารถปรับเปลี่ยนได้ เพื่อให้การแบ่งภาระโหลดนั้นถูกต้องมากขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการต่ออิมพีแดนซ์อนุกรมเข้าไปกับหม้อแปลง ตัวที่มีค่าต่ำกว่าอิมพีแดนซ์ต่อ-หน่วย (Per Unit Impedance) แต่ในทางปฏิบัติเรามีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ เพื่อว่าแรงเคลื่อนตกคร่อมอิมพีแดนซ์สมมูลย์ของหม้อแปลงแต่ละตัวจะมีลักษณะทางเวคเตอร์เหมือนกัน

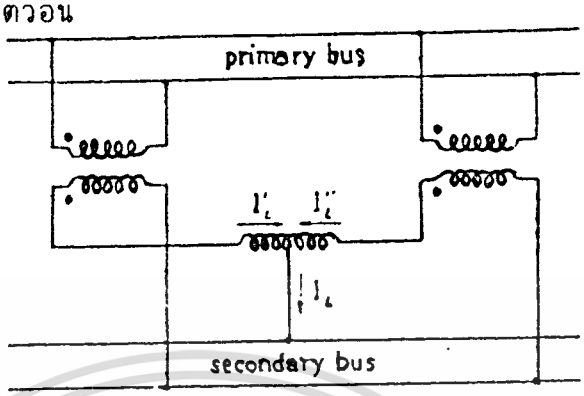
โดยปรกติแล้วมุมระหว่างอิมพีแดนซ์นั้นไม่สำคัญนัก การปรับเปลี่ยนค่ารีแอคแตนซ์นั้นมีความสำคัญมากกว่า

การแบ่งภาระโหลดที่ถูกต้องระหว่างหม้อแปลงทั้ง 2 ตัวนั้นสามารถที่จะใช้หม้อแปลงแบบออโตได้ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2-4 กระแสโหลด I_1 ไหลเข้าไปในทั้ง 2 ด้านของขดลวดหม้อแปลงแบบออโต เพื่อให้แรง (Magnetomotive Force) ที่เกิดขึ้นที่แกนเป็นศูนย์ดังนั้นกระแสที่โหลด I'_1 และ I''_1 จะเป็นอัตราส่วนกลับกับจำนวนรอบของขดลวดทั้ง 2 ด้าน ของหม้อแปลงแบบออโต และการปรับจำนวนรอบนี้ จะเป็นการแบ่งกระแสโหลดได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008517

นอกจากกระแสโหลด I'_L และ I''_L แล้วยังมีกระแสกระตุ้นที่ไหลในหม้อแปลงแบบออโตและสนามแม่เหล็กในแกนของมัน มีลักษณะเช่นเดียวกับแรงเคลื่อนของหม้อแปลงแบบออโตบวกกับแรงเคลื่อนเอ้าพุทของหม้อแปลงตัวที่มีแรงเคลื่อนทางทุติยภูมิต่ำกว่า และลบออกจากแรงเคลื่อนเอ้าพุทของหม้อแปลงตัวอื่น



รูป2-4 วงจรการใช้หม้อแปลงแบบออโตเพื่อทำการแบ่งโหลดให้เหมาะสมระหว่างหม้อแปลง 2 ตัวที่ขนานกัน

2 (b) <u>การขนานหม้อแปลง 3 เฟส</u>

กลุ่มของหม้อแปลง 3 เฟสที่จะทำการขนานกัน ทั้งทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมินั้นจะต้องมีขนาดของอัตราส่วนของขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ ที่เหมือนกันโดยเทียบกับไลน์-ไลน์

กลุ่มของ $\Delta - \Delta$ สามารถที่จะทำการต่อขนานกับกลุ่มของ $\Delta - \Delta$ อื่นๆ ได้หรือกับกลุ่มของ Y - Y ได้

อย่างไรก็ตามกลุ่มของ $\Delta - \Delta$ หรือกลุ่ม Y - Y ไม่ควรที่จะต่อในลักษณะขนานกับ $\Delta - Y$ หรือ $Y - \Delta$ เพราะการต่อในลักษณะนี้ ได้ให้ phase displacement30 ต่ำสุดระหว่างปฐมภูมิและทุติยภูมิ

ดังนั้นเมื่อต่อในลักษณะที่เหมือนกันของ 3 เฟส กรุ๊ปของหม้อแปลงได้ทำการต่อในลักษณะขนานทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ หม้อแปลงแต่ละตัวอยู่ในลักษณะขนานกับหม้อแปลงของกรุ๊ปอื่นๆ กระแสรวมของเฟสใดๆ เป็นผลเนื่องมาจากการแบ่งหม้อแปลงของเฟสนั้น ในลักษณะที่เหมือนกันกับของวงจร 1 เฟส

ดังนั้นสำหรับเงื่อนไขในวงจรสมดุลย์ พฤติกรรมของการขนานของกรุ๊ปของหม้อแปลง 3 เฟสที่สมมาตรนั้น สามารถที่จะหาได้โดยการวิเคราะห์เหมือนกับ 1 เฟส สำหรับผลของการทำงานที่ดีที่สุด ของหม้อแปลงควรจะมีอัตราส่วนที่เท่ากัน และค่าความต้านทานต่อหน่วยควรจะมีค่าเท่ากันด้วย

2 (c) เรคกูเรชั่นของการขนานหม้อแปลง (Regulations For Parallel Operation)

การขนานหม้อแปลงที่สมบูรณ์สำหรับโหลดใดๆ นั้น ทั้งกระแสและแรงเคลื่อนจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทับกันนั้นคือ ทั้งแรงเคลื่อนและกระแส จะต้องมีขนาดและเฟสเดียวกันและมีแรงเคลื่อนของอินดักทีฟ (Inductive) และ รีซิสทีฟ (Resistive) ตกคร่อมที่เท่ากัน

แม้ว่าจะนำหม้อแปลงที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการมา อาจจะมาจากโรงงานเดียวกันก็ตาม เงื่อนไขสองอันหลังนั้นจะไม่มีค่าที่เท่ากันทีเดียวกันนัก เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดจากการผลิตที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ส่วนสำหรับหม้อแปลง ที่มีความแตกต่างกันทั้งทางด้านการสร้างและกำลังบางครั้งอาจจะสร้างต่างกันถึง 10-20 ปี ความแตกต่างกันทางวัสดุแต่โชคดีที่ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำหม้อแปลงที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการมาทำการต่อ

เงื่อนไขที่ใช้เป็นมาตรฐานกำหนดให้ดังนี้ (UTE C52-100)

(1) การคับปิ้ง (Coupling) ต้องเข้ากันได้

(2) อัตราส่วน Ratio นั้นต้องเท่ากัน ($\pm$ 0.5 %)

(3) แรงดันลัดวงจร (Short-circuit voltages) ต้องเท่ากัน ($\pm$10 %)

(4) อัตราส่วนของกำลังจะอยู่ระหว่าง 0.5 - 2.0

สำหรับเงื่อนไขของโหลดดังกล่าวต่อไปนี้ มีเงื่อนไขอยู่ 2 ชนิดคือ

(1) ไม่มีโหลด (No-Load)

(2) มีโหลด (On-Load)

2 (d) <u>การขนานหม้อแปลงเมื่อไม่มีโหลด</u> (Parallel Operation with No Load)

พิจารณาหม้อแปลง 2 ตัว การขนานหม้อแปลงที่ดีนั้น แรงเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิจะต้องมีขนาดและเฟสเดียวกัน แรงเคลื่อนทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจะต้องมีค่าเท่ากัน

2 (e) <u>อัตราส่วนจำนวนรอบ</u> (Tranforsmation Ratio)

ถ้าอัตราส่วนของหม้อแปลงทั้งสอง มีลักษณะเหมือนกันทุกประการแล้วแรงเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิเมื่อไม่มีโหลดนั้นมีค่าเท่ากันและจะไม่มีกระแสไหลวนเกิดขึ้น สิ่งที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นในกรณีที่หม้อแปลงมีกำลังที่เหมือนกันและผลิตในโรงงานเดียวกันที่มีจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเหมือนกัน

อย่างไรก็ตามกระแสไหลวนนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการไม่เท่ากันของกระแสตอนไม่มีโหลด ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุมาจากแรงเคลื่อนที่ต่างกันในหม้อแปลงทั้งสองเช่น ความแตกต่างระหว่างกระแสตอนไม่มีโหลดได้รับกระแสปรกติมีค่าเท่ากับ 1% (บางครั้งหม้อแปลงตัวหนึ่งเก่าอีกตัวหนึ่งใหม่) บางครั้งแรงเคลื่อนจะต่างกัน 0.1% และกระแสไหลวน 0.5% ของกระแสพิกัด

2 (f) <u>การขนานหม้อแปลงเมื่อมีโหลด</u> (Parallel Operation on Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ แสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าแรงเคลื่อนของหม้อแปลงทั้งสอง ขณะไม่มีโหลดมีค่าเท่ากันและมีเฟสเดียวกัน ค่ารีซิสท์ทีฟและค่าอินดักทีฟมีค่าเท่ากันแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่าการขนาดนั้นสมบูรณ์ซึ่งอัตรากำลังพิกัดรวมของหม้อแปลงทั้งสองจะมีค่าเท่ากับอัตราพิกัดกำลังของหม้อแปลงแต่ละตัวรวมกัน

แต่ในทางปฏิบัติแล้ว จะเป็นไปได้อย่างยิ่งเพราะเนื่องจากเกิดความแตกต่างทางด้านการสร้าง ปีที่ทำการผลิต ความแตกต่างทางด้านคุณสมบัติของหม้อแปลงอื่นๆ

2 (ฐ) <u>การขนานหม้อแปลงเมื่อมีโหลดโดยใช้เทป</u> (Parallel Operation of Transformers with on-Load Tap Changes)

ถ้าหม้อแปลงที่จะใช้ทำการขนานนั้น มีลักษณะที่เหมือนกันทุกประการในรูปของกำลังแรงเคลื่อนและขนาดของค่ารีแอกแตนซ์ของแรงเคลื่อนแล้ว จะไม่มีปัญหาแต่อย่างใดในการขนานหม้อแปลง การเลื่อนแทปของหม้อแปลงนั้นโดยปรกติแล้วจะควบคุมโดยใช้มือ (manual) ซึ่งอาจจะใช้ปุ่มกดหรือแบบอัตโนมัติ

ระบบอัตโนมัตินั้นจะต้องสามารถที่จะยอมรับฟังคำสั่งของระบบควบคุมเพื่อที่จะเปลี่ยนแรงเคลื่อนขณะที่อยู่ในตำแหน่งแทปเดิมได้

ถึงแม้ว่าหม้อแปลงทั้งสองนั้นจะมีแทปที่แตกต่างกันแต่ก็ไม่น่าวิตกกังวลอะไร เพราะค่าเรคกูเรชั่นแต่ละช่วงนั้นมีค่าเล็กน้อย ถ้าในกรณีที่มีสิ่งผิดปรกติเกิดขึ้น ระบบจะหยุดส่งสัญญาณทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

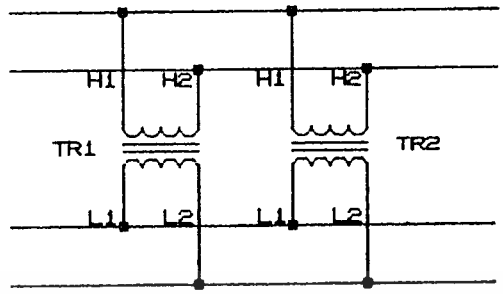
แนวการทดลอง

ในบทนี้เรามีการทดลองเกี่ยวกับการขนาดหม้อแปลงแบบ 1 เฟส และ 3 เฟสแบบสมดุลเพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายกำลังงาน โดยต่อโหลดเป็นชุดหลอดไฟทดลองที่เป็นลักษณะที่คล้ายกับโหลดจริงโดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

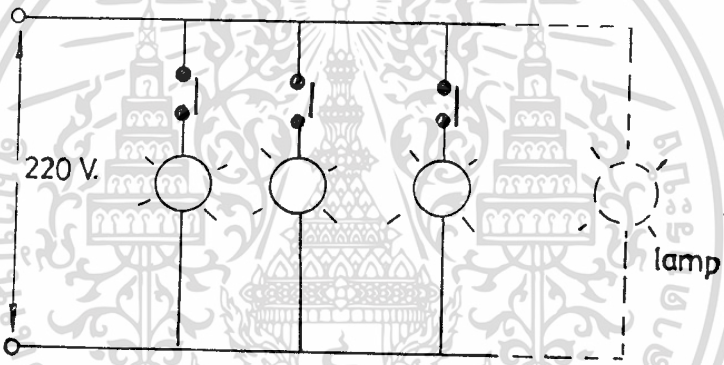
1. การขนานหม้อแปลงแบบ 1 เฟส
2. การขนานหม้อแปลงแบบ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การขนานหม้อแปลงแบบ 1 เฟส



รูปวงจรการขนานหม้อแปลงแบบ 1 เฟส 2 ตัว



รูปวงจรการต่อโหลดหลอดไฟขนานกันเป็นแบบ 1 เฟส

LOAD	PRIMARY			SECONDARY		
STEP	V1	A1	W1	V2	A2	W2
0	220	0	0	219	0	0
1	220	1.9	400	218	1.8	400
2	219	3.6	750	215	3.6	750
3	216	5.4	1150	210	5.3	1125
4	214	7	1500	208	7	1462
5	212	8.6	1850	204	8.6	1800
6	210	10	2150	200	10	2100
7	209	11.9	2500	197	12.05	2375
8	208	12.9	2700	195	13.25	2585

ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อขนานหม้อแปลงแบบ 1 เฟส ก่อนการขนาน

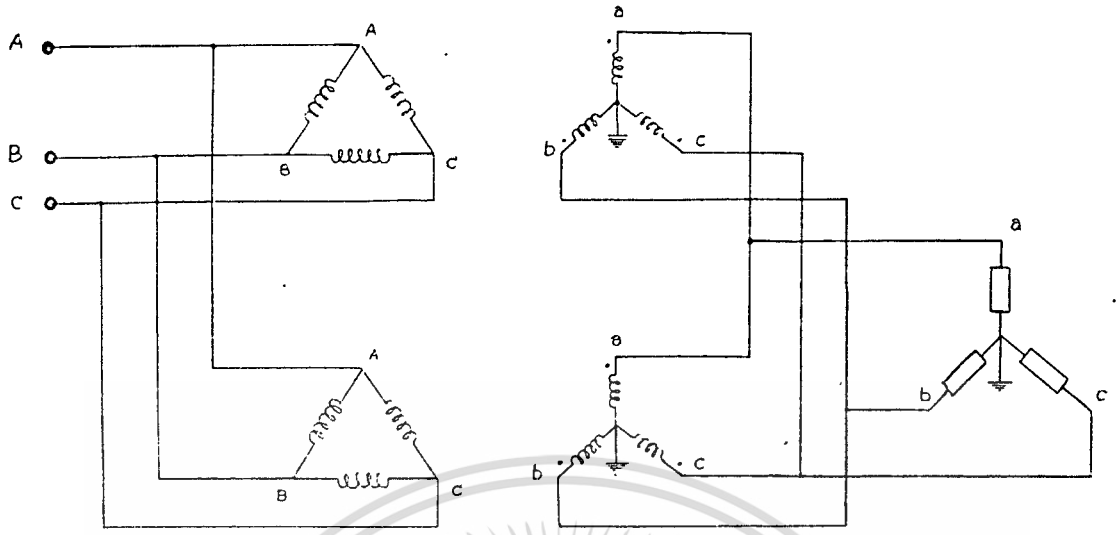
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD	PRIMARY			SECONDARY		
STEP	V1	A1	W1	V2	A2	W2
0	220	0	0	220	0	0
1	220	2	425	220	1.9	400
2	217	3.8	825	215	3.6	750
3	213	5.6	1200	211	5.3	1150
4	211	7.2	1575	208	7	1475
5	210	9.1	1925	205	8.6	1800
6	209	10.75	2275	203	10.5	2150
7	208	12.5	2600	201	12	2450
8	206	13.8	2850	200	13.7	2750

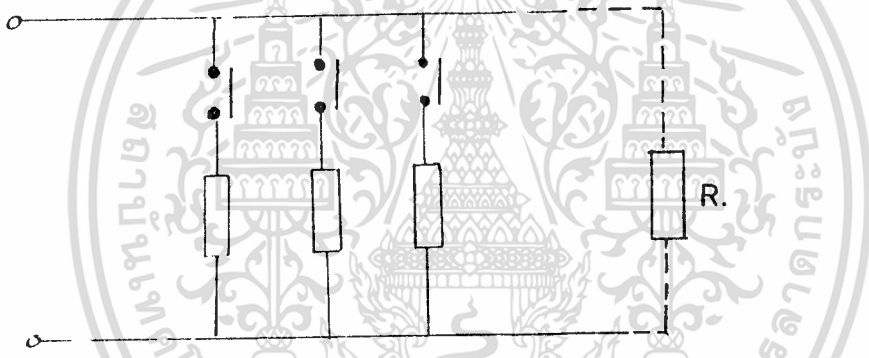
ตารางแสดงค่ากระแสและแรงเคลื่อนของวงจรการขนานหม้อแปลงแบบ 1 เฟส หลังการขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การขนานหม้อแปลงแบบ 3 เฟส



รูปวงจรการขนานหม้อแสดงแบบ 3 เฟส



รูปวงจรการต่อโหลดของการขนาดแบบ 3 เฟส 2 ตัว

LOAD	PRIMARY						SECONDARY					
STEP	A1	A2	A3	VAB	VBC	VCA	A1	A2	A3	Vab	Vbc	Vca
0	0.6	0.51	0.42	221	212	220	-	-	-	390	381	400
1	2	2	1.9	220	210	218	1	0.9	0.9	380	380	388
2	3.9	3.6	3.4	213	207	215	2.2	2	1.9	370	368	382
3	5.6	5.2	4.9	213	205	212	3.2	3	2.6	362	362	376
4	7.1	6.7	6.3	212	203	210	4	3.8	3.6	360	360	370
5	8.6	8	7.6	208	200	208	4.8	4.6	4.5	350	350	363

ตารางแสดงค่ากระแสและแรงเคลื่อนของการต่อขนานหม้อแปลงแบบ 3 เฟส ก่อนการขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD STEP	PRIMARY						SECONDARY					
	A1	A2	A3	VAB	VBC	VCA	A1	A2	A3	Vab	Vbc	Vca
0	0.8	0.7	0.6	225	215	223	-	-	-	400	390	410
1	2.45	2.31	2.25	225	215	222	1	1	1	398	390	408
2	4.3	4	3.8	223	214	222	2.2	2.1	2	385	383	402
3	6	5.5	5.3	221	212	220	3.2	3	2.9	380	380	398
4	6.6	6.6	6.7	218	210	215	3	3.2	3.8	378	370	390
5	8.15	8.15	8.15	217	207	215	3.8	4.2	4.7	370	365	386

ตารางแสดงค่ากระแสและแรงเคลื่อนของการต่อขนานหม้อแปลงแบบ 3 เฟส <u>หลังการขนาน</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

สำหรับการทดลองและเนื้อหา ในบทนี้กล่าวถึงการนำเอาหม้อแปลงแบบ 1 เฟสและ 3 เฟส มาขนานกันแบบสมดุลย์โดยให้คุณสมบัติต่างๆ ของหม้อแปลงเหมือนกันทุกประการ

ดังนั้นในการนำหม้อแปลงมาขนานกันวัตถุประสงค์ใหญ่ๆ คือการจ่ายโหลดเพิ่มขึ้นในกรณีที่หม้อแปลงตัวเดิมไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ เพราะจากการทดลองของทั้ง 2 การทดลองทั้งแบบ 1 เฟสและ 3 เฟส จะเริ่มต้นที่การนำเอาหม้อแปลงตัวเดียวมาจ่ายโหลดซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูงๆ โดยไล่ไปที่ละขั้นของโหลดจะสามารถเห็นได้ว่าแรงดันเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อจ่ายโหลดมากขึ้นนั้นหมายความว่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะตกลงถ้าจ่ายโหลดมากๆ หรืออาจจะมอบในแง่ของเปอร์เซ็นต์เรคกูเลชั่นก็ได้หลังจากปลดโหลดออกหมดแล้ว เอาหม้อแปลงอีกตัวมาต่อขนานด้วยกันโดยหม้อแปลงมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกอย่าง หลังจากนั้นจ่ายโหลดที่ละขั้นคล้ายๆ กับครั้งแรกผลออกมาจนเห็นได้ชัดว่าที่โหลดระดับเดียวกันแรงเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิจะมีค่าสูงกว่าครั้งแรกมากนั้น แสดงถึงประสิทธิภาพและเปอร์เซ็นต์เรคกูเลชั่น ของการนำเอาหม้อแปลง 2 ตัวมาขนานกันดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคในวงจร 3 เฟส

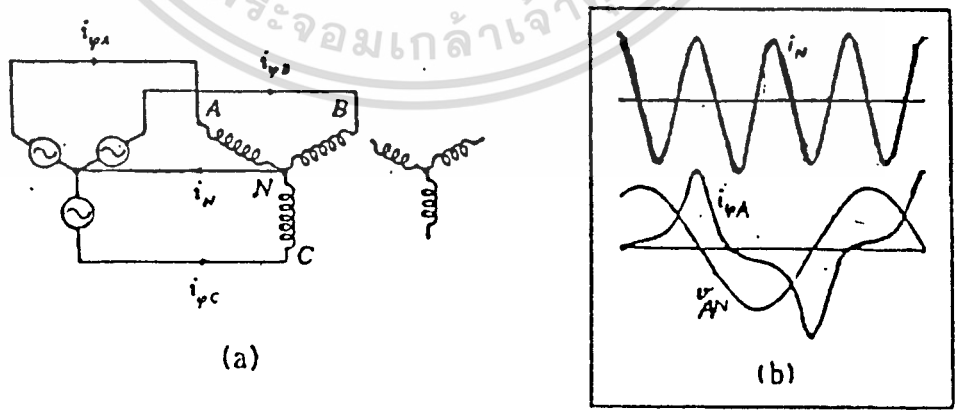
เนื่องจากฮาร์โมนิคของกระแสกระตุ้นมีขนาดเล็ก เราจึงมักจะไม่คิดผลของมัน แต่ลักษณะพิเศษของฮาร์โมนิคในระบบ 3 เฟสนี้ ในบางครั้งก็อาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบได้โดยเฉพาะในกรณีการต่อแบบ Y-Y ของหม้อแปลงเฟสเดียว 3 ชุด กระแสฮาร์โมนิคขนาดเล็ก ที่เกิดจากการต่อลักษณะนี้ อาจรบกวนการทำงานของระบบโทรคมนาคมที่อยู่ใกล้ ได้อย่างรุนแรง รายละเอียดของปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคดังกล่าวต่อไป

จากคุณสมบัติของการต่อแบบ Y นั้นมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากกับการแยกหรือต่อจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิหรือแยกกับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่ายและทางทุติยภูมิต่อแบบ Y หรือ Δ

3(a) การต่อแบบ Y-Y และจุดนิวทรอลของปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่าย

ในลำดับแรกพิจารณาตัวอย่างง่ายๆ ของการต่อแบบ Y-Y ของหม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัวที่เหมือนกันทุกประการและเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ จุดนิวทรอลของปฐมภูมิต่อกับนิวทรอลของแหล่งจ่าย

รูป 3-1b. แสดงออสซิโลแกรมของแรงเคลื่อน V_{AN} ที่จ่ายให้กับหม้อแปลงซึ่งมีกระแสกระตุ้น i_{φ_A} และแสดงกระแส i_N ในสายนิวทรอล แรงเคลื่อนที่จ่ายให้เป็นคลื่นรูปชายน์ ดังนั้นกระแสกระตุ้นก็จะมีเฉพาะองค์ประกอบฮาร์โมนิคลำดับคี่ซึ่งฮาร์โมนิคที่ 3 มีขนาดใหญ่ที่สุดถ้าหากว่าหม้อแปลงทั้ง 3 ตัวเหมือนกันทุกประการและแรงเคลื่อนสมดุลย์ กระแสกระตุ้น i_{φ_A} , i_{φ_B} , i_{φ_C} ก็จะเหมือนกันทุกประการเว้นแต่ความสัมพันธ์ของเฟสที่ต่างกัน 120 องศา



รูป3-1 3-1a. วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y ,3-1b. ออสซิโลแกรมของแรงเคลื่อนปฐมภูมิเทียบกับนิวทรอล Van กระแสกระตุ้น i_{φ_A} และกระแส i_N ในสายนิวทรอลด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสในสายนิวทรอลเป็นผลรวมของกระแส i_{φ_A}, i_{φ_B}, i_{φ_C} เมื่อหม้อแปลงมีลักษณะเหมือนกันและแรงเคลื่อนสมดุลย์ องค์ประกอบหลักของกระแสกระตุ้นทั้งสามจะเป็นคลื่นรูปซายน์ที่มีขนาดเท่ากันแต่ต่างเฟสกัน 120 องศาจึงได้ผลรวมเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีองค์ประกอบของกระแสหลักในสายนิวทรอล แต่เนื่องจากองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 มีเฟสตรงกัน ดังนั้นองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสนิวทรอลจึงเป็น 3 เท่าขององค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง

จากตารางที่ 3-1 แสดงให้เห็นว่าเฉพาะฮาร์โมนิคที่ 3 และฮาร์โมนิคเป็นลำดับทวีคูณของ 3 เท่านั้นจึงจะมีเฟสตรงกัน ฮาร์โมนิคลำดับอื่นๆ ของกระแสกระตุ้นก็มีเฟสต่างกัน 120 องศา นั่นคือเมื่อหม้อแปลงทั้งสามเหมือนกันและแรงเคลื่อนสมดุลย์ กระแสนิวทรอลจะมีเฉพาะฮาร์โมนิคลำดับคี่ซึ่งเป็นทวีคูณของฮาร์โมนิคที่ 3 ฮาร์โมนิคที่ 9 และลำดับที่สูงกว่านี้มีขนาดเล็กมากจึงประมาณว่ากระแสนิวทรอลเป็นคลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่เป็น 3 เท่าของแหล่งจ่ายและค่ายังผล (effective value) เป็น 3 เท่าของค่ายังผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง

ข้อเท็จจริงนี้แสดงให้เห็นได้ดังรูป 3-1b. องค์ประกอบความถี่พื้นฐาน(fundamental frequency component) ค่าน้อยๆ ของกระแสนิวทรอล i_n เกิดจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันในสนามแม่เหล็กกระตุ้นของหม้อแปลงทั้งสาม

องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสกระตุ้น ทำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของแรงเคลื่อนตกคร่อมลีคเกจอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง เมื่อแรงเคลื่อนของเฟสที่จ่ายให้ทางปฐมภูมิมีการเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเส้นแรงแม่เหล็กร่วมก็จะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ขนาดน้อยๆ อยู่ ซึ่งจะปรากฏออกมาทางแรงคลื่นของเฟสด้านทุติยภูมิแต่ไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนของไลน์

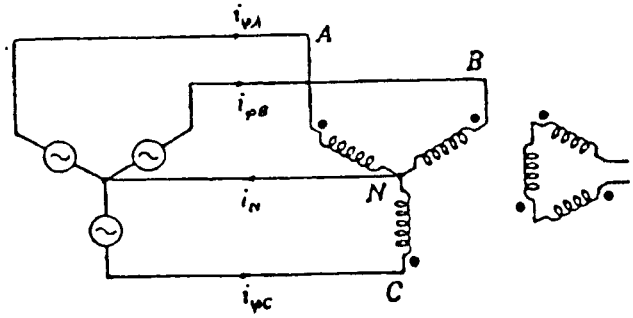
พิจารณาในเชิงปริมาณ กระแสกระตุ้นของหม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลังมีประมาณ 5% ของกระแสพิกัด องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 มีประมาณ 40% ของกระแสกระตุ้นหรือประมาณ 2% ของกระแสพิกัด กระแสนิวทรอลเป็น 3 เท่า ของกระแสฮาร์โมนิคที่ 3 หรือประมาณ 6% ของกระแสพิกัดซึ่งถือว่าน้อยมาก

แม้ว่าคุณสมบัติของการต่อแบบ Y-Y จะเป็นที่พอใจ เมื่อต่อนิวทรอลของปฐมภูมิเข้ากับนิวทรอลของแหล่งจ่าย แต่กระแสฮาร์โมนิคที่ 3 ในไลน์ ซึ่งเกิดจากการต่อแบบนี้อาจจะไปเหนี่ยวนำและรบกวนระบบสื่อสารที่ขนานไปกับสายส่งกำลังไฟฟ้าได้

3(b) การต่อแบบ Y-Δ

พิจารณาการต่อหม้อแปลงที่เหมือนกันทุกประการโดยทางปฐมภูมิต่อแบบ Y ส่วนทางทุติภูมิต่ออนุกรมกันพร้อมที่จะต่อให้เป็น Δ ดังรูป 3-2 ซึ่งเปิดวงจรที่มุมหนึ่งของ Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3-2 วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยที่มุมหนึ่งของชุด Δ เปิดวงจร

จุดนิวทรอลของปฐมภูมิต่อกับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนสมดุลย์รูปซายน์ ทางปฐมภูมิของวงจรจะมีคุณสมบัติเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือแรงเคลื่อนด้านปฐมภูมิมีการเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ หม้อแปลงแต่ละตัวได้รับกระแสกระตุ้นจากไลน์ด้านปฐมภูมิดังแสดงด้วยออสซิโลแกรมในรูป 3-1b.

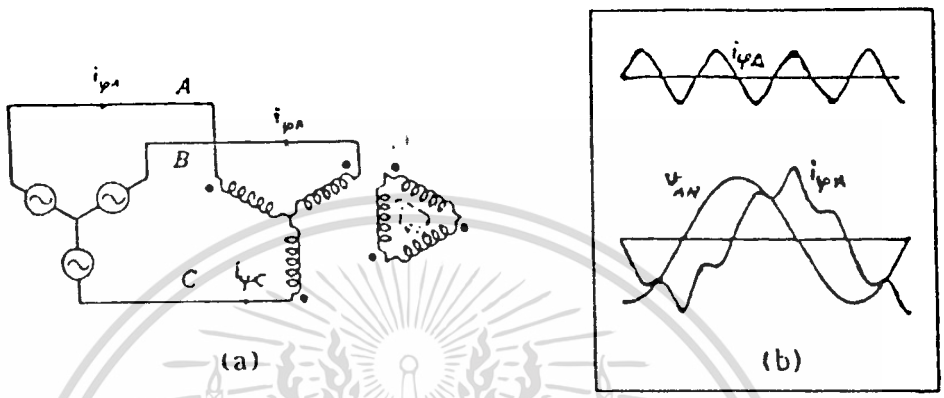
องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสกระตุ้นทำให้เกิดแรงเคลื่อนของฮาร์โมนิคที่ 3 ขนาดน้อยๆ ตกคร่อมลีคเกจอิมพีแดนซ์ทางปฐมภูมิของหม้อแปลง ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กร่วมก็จะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ขนาดน้อยๆ ปนอยู่ ซึ่งจะปรากฏออกมาเป็นองค์ประกอบของแรงเคลื่อนขนาดน้อยๆ ของหม้อแปลง เนื่องจากแรงเคลื่อนของฮาร์โมนิคที่ 3 ในหม้อแปลงทั้งสามมีเฟสตรงกัน แรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบ Δ ที่จุดเปิดจึงมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 เป็น 3 เท่าของแรงเคลื่อนของฮาร์โมนิคที่ 3 ที่เกิดขึ้นในทุติยภูมิแต่ละชุด ส่วนฮาร์โมนิคที่ 1,5,7 ฯลฯ ของทุติยภูมิทั้ง3 ชุด มีขนาดเท่ากันแต่เฟสต่างกัน 120 องศา ผลรวมเท่ากับศูนย์และไม่มีแรงเคลื่อนตกคร่อมที่จุดเปิดของ Δ ถ้าไม่คิดฮาร์โมนิคอันดับสูงกว่า 7 แรงเคลื่อนที่ปรากฏที่จุดเปิดของ Δ จะเป็น3 เท่าของแรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 ที่เกิดขึ้นในขดทุติภูมิแต่ละขดโดยที่หม้อแปลงทั้งสามเหมือนกันทุกประการและแรงเคลื่อนที่จ่ายให้สมดุลย์ แม้ว่าแรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 มักจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับแรงเคลื่อนทุติภูมิที่ขั้วของหม้อแปลง แต่ก็มีผลกระทบที่สำคัญต่อปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กเมื่อเป็นวงจรปิดของ Δ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ถ้าปิดวงจร Δ แรงเคลื่อนไฟฟ้าฮาร์โมนิคที่ 3 ทางทุติยภูมิ จะทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิคที่ 3 ทางทุติยภูมิไหลวนในวงจรทุติยภูมิ Δ แรงเคลื่อนแม่เหล็กฮาร์โมนิคที่ 3 ซึ่งจำเป็นต้องมีเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในหม้อแปลง 3 เฟสเป็นคลื่นรูปซายน์จะถูกสร้างจากกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 ทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ เหมือนในกรณี Δ-Δ ซึ่งได้กล่าวไปแล้ว ดังนั้นองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสด้านปฐมภูมิจะลดลงเมื่อปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Δ ด้านทุติยภูมิ

ถ้าปิดวงจร Δ ด้านทุติยภูมิและไม่ต่อจุดนิวทรอลดังรูป 3-3a. รูปคลื่นของแรงเคลื่อนเทียบกับจุดนิวทรอล V_{AN} ของกระแสกระตุ้น i_{φ_A} ของกระแสกระตุ้น i_{φ_A} ที่ขดหนึ่งด้านปฐมภูมิและของกระแสกระตุ้น i_{φ_A} ของขดทุติยภูมิ แสดงเป็นออสซิโลแกรมได้ดังรูป 3-3b.



รูป3-3 3-3a. วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Δ แบบไม่ต่อนิวทรอล 3-3b. ออสซิโลแกรมของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล V_{AN} กระแสกระตุ้น i_{φ_A} และกระแสกระตุ้น i_{φ_A} ในด้านทุติยภูมิ Δ

ในกรณีนี้จะไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสด้านปฐมภูมิเพราะเส้นทางกลับคือสายนิวทรอลถูกเปิดวงจร ดังนั้นรูปคลื่นของกระแสกระตุ้นในรูป 3-3b. จึงต่างจากรูปคลื่น i_{φ_A} ในรูป 3-1b. สาเหตุของความแตกต่างก็คือการแยกจุดนิวทรอลของ Y ทำให้ไม่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 การปิดวงจร Δ ด้านทุติยภูมิทำให้เกิดทางเดินของกระแสฮาร์โมนิคที่ 3 และองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กถูกสร้างโดยกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 i_{φ_Δ} ในขดทุติยภูมิ Δ นี้เอง ในเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าฮาร์โมนิคที่ 3 เป็นตัวสร้าง กระแส Δ ฮาร์โมนิคที่ 3 สนามแม่เหล็กร่วมก็จะปรับตัวเองให้มีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 เพื่อใช้สร้างฮาร์โมนิคที่ 3 ขนาดน้อย ๆ ของแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิ สนามแม่เหล็กร่วมนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ขึ้นในแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลด้านปฐมภูมิ แต่มันจะมีขนาดเล็กมากรูปคลื่นของแรงเคลื่อนปฐมภูมิเทียบกับนิวทรอลจึงยังคงเป็นรูปซายน์ดังออสซิโลแกรม V_{AN} ในรูป 3-3b.

จากที่ได้กล่าวมานี้ทำให้เห็นถึงผลของการต่อขดลวดแบบ Δ ที่มีต่อปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กกระตุ้น

ฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสกระตุ้นจะไหลอยู่ในขดลวดที่ต่อเป็น Δ ของ Δ-Δ, Δ-Y หรือ Y-Δ (ในกรณีที่หม้อแปลงเหมือนกันทุกประการ) แต่ไม่สามารถปรากฏในไลน์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

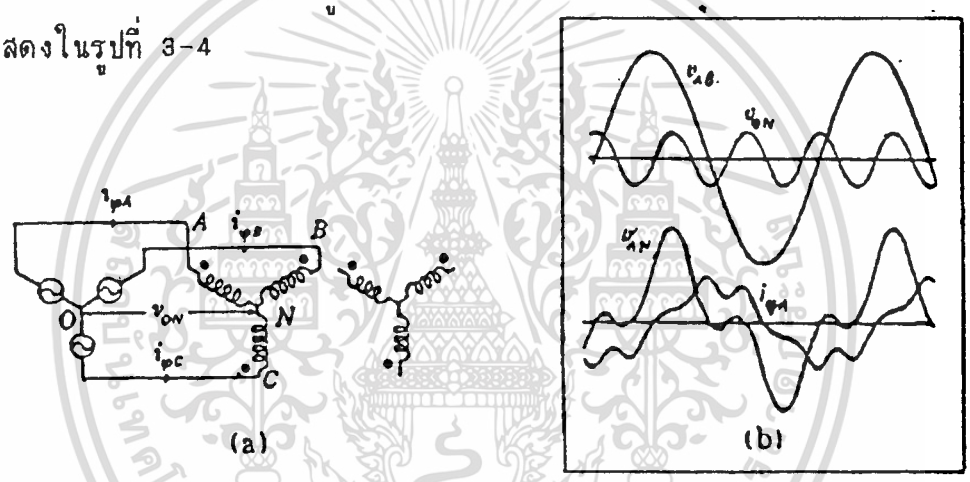
ที่ต่อกับหม้อแปลงเมื่อไม่ต่อจุดนิวทรอลของขดลวดที่ต่อแบบ Y เข้ากับนิวทรอลของระบบอื่น

หรืออีกนัยหนึ่งกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 จะปรากฏในไลน์ปฐมภูมิที่จ่ายไฟให้หม้อแปลงซึ่งต่อแบบ Y-Y และต่อนิวทรอลของปฐมภูมิเข้ากับนิวทรอลของแหล่งจ่าย อาจก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนแบบเหนี่ยวนำ แต่ถ้ากำจัดกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 โดยการแยกจุดนิวทรอลของหม้อแปลง Y-Y แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลอาจมีปัญหาอย่างมากดังจะกล่าวต่อไป

3(c) การต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอล

ในการต่อแบบ Y-Y ของหม้อแปลง 1 เฟส ควรศึกษาเงื่อนไขในการใช้งานอย่างระมัดระวัง เพราะการต่อแบบนี้บางครั้งอาจทำให้เกิดสภาพที่ไม่ต้องการหรืออาจเป็นอันตรายได้

พิจารณาหม้อแปลง1 คู่ ซึ่งต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอลรับไฟจากแหล่งจ่าย 3 เฟสที่สมดุลย์และแรงเคลื่อนเป็นคลื่นรูปซายน์ สมมติว่าหม้อแปลงกลุ่มนี้ไม่ได้จ่ายโหลด ลักษณะของวงจรแสดงในรูปที่ 3-4



รูป3-4 3-4a. วงจรการต่อหม้อแปลงเฟสเดียวเป็นแบบ Y-Y 3-4b.ออสซิโลแกรมของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ V_{AB} แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล V_{AN} กระแสกระตุ้น $i_{\varphi A}$ และแรงเคลื่อน V_{ON} ระหว่างนิวทรอล O ของแหล่งจ่ายและนิวทรอลด้านปฐมภูมิ N

เมื่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิไม่ต่อกับนิวทรอลของแหล่งจ่าย ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นที่จะจ่ายให้กับกลุ่มหม้อแปลงต้องเป็นศูนย์ นั้นคือกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งจะไหลกลับสู่แหล่งจ่ายผ่านทางปฐมภูมิของหม้อแปลงตัวอื่น ทำให้เกิดความสัมพันธ์กับกระแสกระตุ้นของหม้อแปลงแต่ละตัว ผลก็คือแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่หม้อแปลงจะหาได้จากคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กกระตุ้นของหม้อแปลงเหล่านั้น เป็นการยากที่หม้อแปลงทั้งสามจะมีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกันทุกประการแม้ว่าจะออกแบบมาเหมือนกันก็ตาม แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลจึงมักจะไม่สมดุลกัน แม้ว่าแรงเคลื่อนระหว่างไลน์กับไลน์จะสมดุลย์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

การแยกจุดนิวทรอลยังมีผลที่สำคัญต่อฮาร์โมนิคในกระแสกระตุ้น ในตอนนี้ถ้าสมมติให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงมีคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน ดังนั้นกระตุ้นที่จ่ายให้กับหม้อแปลงแต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกัน 1ใน 3 ของลูกคลื่น ซึ่งถ้าหากว่ามีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ในกระแสกระตุ้นมันจะมีเฟสตรงกันและผลรวมของมันต้องไม่เป็นศูนย์

แต่ในเมื่อผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของกระแสกระตุ้นต้องเป็นศูนย์ เนื่องจากการแยกจุดนิวทรอล จึงไม่สามารถจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 หรือลำดับอื่นๆ ที่เป็นค่าทวีคูณของ 3 ในกระแสกระตุ้นได้เลย

ออสซิโลแกรมของ i_{φ_A} ในรูป 3-4b. เป็นตัวอย่างหนึ่งของรูปคลื่นกระแสกระตุ้นของการต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอล จะเห็นว่า i_{φ_A} มีลักษณะเป็นดับเบิ้ลทอป (double topped) ซึ่งก็เป็นผลมาจากองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 5

เฉพาะฮาร์โมนิคที่ 3 และฮาร์โมนิคลำดับทวีคูณของ 3 เท่านั้นที่จะถูกกำจัดโดยการแยกนิวทรอล ส่วนฮาร์โมนิคลำดับอื่นๆ ของกระแสกระตุ้นทั้งสามยังสามารถไหลได้ เนื่องจากต่างเฟสกัน 120 องศาและผลรวมเป็นศูนย์

โดยที่องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ในกระแสกระตุ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ เมื่อไม่มีกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กไม่เป็นซายน์ และเกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ขึ้นในแรงเคลื่อนทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิในหม้อแปลงแต่ละตัว ที่ความหนาแน่นระดับธรรมดาของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก แรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 มักจะมีค่าอยู่ในช่วง 30 % ถึง 70 % ขององค์ประกอบหลักของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล ดังนั้นแม้ว่าแรงเคลื่อนที่จ่ายให้หม้อแปลงทางไลน์จะเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ แต่รูปคลื่นของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลกลับไม่เป็นซายน์ เมื่อจุดนิวทรอลของวงจรหม้อแปลงไม่ต่อเข้ากับจุดนิวทรอลของแหล่งจ่าย

ความสัมพันธ์ของค่าที่ขณะใดขณะหนึ่งระหว่างแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ และแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอล คือ

$$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN} \qquad (1)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \qquad (2)$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \qquad (3)$$

โดยที่องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 และที่เป็นค่าทวีคูณของ 3 ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลทั้ง 3 เฟส มีเฟสตรงกันและมีขนาดเท่ากัน ผลต่างระหว่างองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล 2 ค่าใดๆ ทางด้านขวาของสมการ (1),(2),(3) จึงมีค่าเป็นศูนย์ภายใต้เงื่อนไขของความสมดุลย์

ดังนั้นก็อาจจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 และที่เป็นค่าทวีคูณของ 3 ในแรงเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบกับนิวทรอลได้โดยไม่ปรากฏองค์ประกอบเหล่านี้เลยในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์

องค์ประกอบฮาร์โมนิคอื่นๆ ไม่มีปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอล เว้นแต่ว่าจะมีองค์ประกอบเหล่านี้อยู่แล้วในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ดังนั้นถ้าแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์สมดุลย์และเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ องค์ประกอบหลักของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอลก็จะมีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{3}$ หรือ 0.577 ของค่ายังผลของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ส่วนองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 และที่เป็นค่าทวิคูณของ 3 ของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอล จะหาค่ายังผลได้จากคุณสมบัติทางแม่เหล็กซึ่งไม่เป็นเชิงเส้นของแกนเหล็ก

ถ้าไม่คิดฮาร์โมนิคตั้งแต่อันดับที่ 9 ขึ้นไปและสมมติว่าแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์เป็นคลื่นรูปซายน์ ค่ายังผล V_Y ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลคือ

$$V_Y = \sqrt{V^2_{Y1} + V^2_{Y3}}$$

เมื่อ V_{Y1} คือค่ายังผลขององค์ประกอบหลัก และ V_{Y3} คือค่ายังผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 อยู่ในช่วง 30-70 % ขององค์ประกอบหลักถ้ากำหนดให้

$$V_{Y3} = 0.50\ V_{Y1}$$

ดังนั้น

$$V_Y = V_{Y1}\sqrt{1+0.25} = 1.12V_{Y1}$$

$$= 1.12\ Vline/\sqrt{3}$$

เมื่อ V_{line} คือค่ายังผลของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ที่สมดุลย์และเปลี่ยนแปลงตามแบบซายน์และถือว่าหม้อแปลงมีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน ดังนั้นค่ายังผลของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลจึงไม่เท่ากับ $V_{line}/\sqrt{3}$ ซึ่งเป็นค่าที่แรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลที่เปลี่ยนแปลงแบบซายน์แต่จะมากกว่าค่านี้

ยิ่งกว่านี้ค่าสูงสุดขององค์ประกอบหลักและฮาร์โมนิคที่ 3 ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลเกิดขึ้นที่ประมาณเวลาเดียวกันในรอบคลื่น ดังนั้นรูปคลื่นของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลจึงมียอดแหลมดังออสซิโลแกรมของ V_{AN} ในรูป 3-4b. ค่ายอดของแรงเคลื่อนตกคร่อมหม้อแปลงแต่ละตัวมีค่ามากกว่าค่ายอดขององค์ประกอบหลักประมาณ 30-70 % ซึ่งอาจใกล้เคียงกับค่ายอดของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ความเครียดจากแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ฉนวนมีค่าสูงขึ้น เป็นสภาพที่ไม่ต้องการให้เกิด

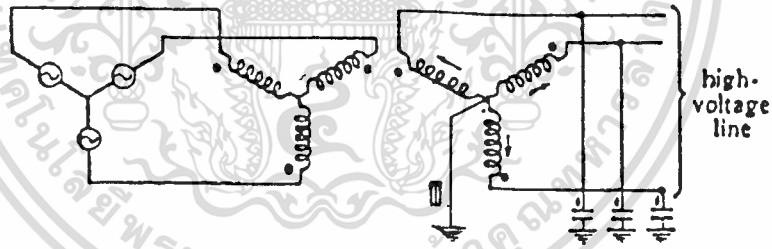
เมื่อแรงเคลื่อนของแหล่งจ่ายแบบ Y สมดุลย์และเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ และหม้อแปลงมีคุณสมบัติสนามแม่เหล็กกระตุ้นเหมือนกัน องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของแรงเคลื่อนตกคร่อมหม้อแปลงจะปรากฏเป็นแรงเคลื่อนที่มีความถี่เป็น 3 เท่า อยู่ระหว่างนิวทรอลของแหล่งจ่ายและนิวทรอลปฐมภูมิของหม้อแปลงดังออสซิโลแกรม V_{GN} ในรูป 5-4b. ถ้าต่อนิวทรอลของแหล่งจ่ายลงดินแรงเคลื่อนที่มีความถี่เป็น 3 เท่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 30-70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอล จะปรากฏอยู่ระหว่างจุดนิวทรอลของขดลวดปฐมภูมิกับกราวด์ ถ้าทั้งนิวทรอลของแหล่งจ่ายและนิวทรอลของด้านปฐมภูมิไม่ต่อลงกราวด์ แรงเคลื่อนไลน์เทียบกับกราวด์และแรงเคลื่อนจุดนิวทรอลของปฐมภูมิเทียบกับกราวด์จะหาได้จากคาปาซิแตนซ์ของไลน์เทียบกับกราวด์และขดลวดหม้อแปลงเทียบกับกราวด์

ในบางกรณีแรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 อาจจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยปรากฏการณ์เรโซแนนซ์สภาพอันตรายนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อวงจรการต่อหม้อแปลงต่อเข้ากับสายส่งหรือเคเบิ้ลยาว ๆ และเมื่อต่อจุดนิวทรอลของขดลวดหม้อแปลงลงดินดังรูป

ในการต่อแบบนี้ นิวทรอลของวงจรหม้อแปลงมีศักย์เทียบกับกราวด์ ดังนั้นแม้ว่าแรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 ที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในหม้อแปลงแต่ละตัวจะไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ แต่มันจะปรากฏเป็นองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับกราวด์ แรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 นี้ทำให้เกิดกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 ในวงจรอนุกรมซึ่งประกอบด้วยคาปาซิแตนซ์ของไลน์เทียบกับกราวด์ของขดลวดซึ่งต่อลงกราวด์ของหม้อแปลงดังรูปที่ 3-5 ถ้าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ที่ความถี่ 3 เท่าของหม้อแปลงโดยประมาณ จะเกิดเงื่อนไขที่เข้าใกล้การรีโซแนนซ์แบบอนุกรม แรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 ของไลน์เทียบกับนิวทรอลจะสูงขึ้นอย่างน่ากลัว อาจจะสูงถึง 3 เท่าของค่าแรงเคลื่อนที่ไลน์เทียบกับนิวทรอลเดิม



รูป3-5 เส้นทางของฮาร์โมนิคที่ 3 เกิดขึ้นเมื่อวงจรต่อแบบ Y-Y ที่นิวทรอลลงกราวด์โดยต่อถึงกันด้วยสายส่งที่ยาว การต่อเช่นนี้ควรจะหลีกเลี่ยง แรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 อาจจะเกิดขึ้นจากเหตุผลนี้

สรุป

จุดสำคัญของเนื้อหาที่ได้กล่าวถึงในเรื่องปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคในวงจรสมดุลย์ 3 เฟส สรุปเกี่ยวกับองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ของกระแสและแรงเคลื่อนในวงจรสมดุลย์ 3 เฟส ที่มีขนาดเท่ากันและเฟสตรงกัน ส่วนลำดับเฟสขององค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 5 ตรงกันข้ามกับลำดับเฟสขององค์ประกอบหลัก

เนื่องจากการมีเฟสตรงกัน กระแสฮาร์โมนิคที่ 3 จึงไม่สามารถไหลในไลน์ของระ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

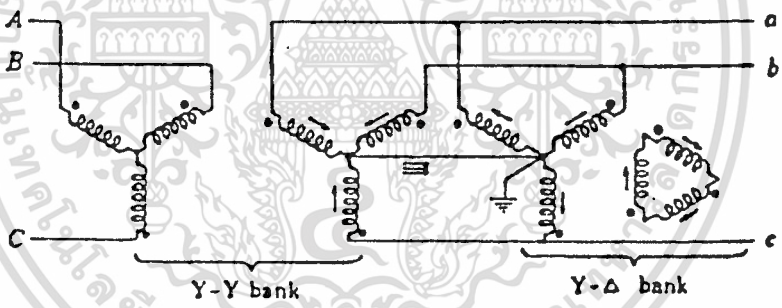
บบสมดุลย์ 3 เฟสได้ ยกเว้นเมื่อมีทางไหลกลับโดยต่อนิวทรอล อย่างไรก็ดีกระแสฮาร์โมนิคที่ 3 สามารถไหลในวงจร Δ โดยไม่ปรากฏในไลน์ที่ต่อกับ Δ

จากการที่ผลรวมขณะใดขณะหนึ่งของแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ของระบบ 3 เฟส ต้องเป็นศูนย์ องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 จึงไม่สามารถปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ของระบบสมดุลย์ 3 เฟส เพราะองค์ประกอบเหล่านี้มีเฟสตรงกันผลรวมไม่เป็นศูนย์ แต่ก็อาจมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 ในแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลโดยไม่ปรากฏในแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์เลย

คุณสมบัติทางแม่เหล็กนั้นต้องการกระแสกระตุ้นที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ องค์ประกอบฮาร์โมนิคที่ 3 นี้มีขนาดประมาณ 40 % ขององค์ประกอบหลักของกระแสกระตุ้น

การประยุกต์หลักการต่อวงจร 3 เฟส ของหม้อแปลง 1 เฟส สรุปได้คือ

ถ้าต้องการให้แรงเคลื่อนของหม้อแปลงเปลี่ยนแปลงแบบซายน์ ก็ต้องยอมให้มีกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 ไหลทั้งในขดลวดที่ต่อแบบ Δ หรือผ่านทางจุดนิวทรอล



รูป3-6 การใช้วงจรต่อแบบ Y-Y ที่มีสายกราวด์ เพื่อทำให้แรงเคลื่อนที่นิวทรอลเท่ากัน และจำกัดแรงเคลื่อนฮาร์โมนิคที่ 3 ในวงจร Y-Y ลูกศรแสดงวงจรของกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 ของวงจร Y-Y

แม้ว่าคุณสมบัติของการต่อแบบ Y-Y ที่มีสายนิวทรอลจะมีความเหมาะสมอยู่พอสมควร แต่การที่ต้องมีสายที่ 4 ก็เป็นข้อด้อยและยังก่อให้เกิดกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 ในไลน์ 3 เฟส ซึ่งปัญหาที่ตามมาคือการรบกวนแบบเหนี่ยวนำ

การกำจัดกระแสกระตุ้นฮาร์โมนิคที่ 3 เช่นในการต่อแบบ Y-Y โดยแยกนิวทรอล แรงเคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอลอาจจะไม่สมดุลย์และอาจจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิคที่3 ขนาดใหญ่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมแรงเคลื่อนเทียบกับนิวทรอลที่เป็นฮาร์โมนิคที่ 3 นี้อาจทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากปรากฏการณ์รีโซแนนซ์ ดังนั้นการต่อหม้อแปลง 1 เฟสแบบ Y-Y จึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กระแสเฟสเดียวในวงจรหม้อแปลง 3 เฟส

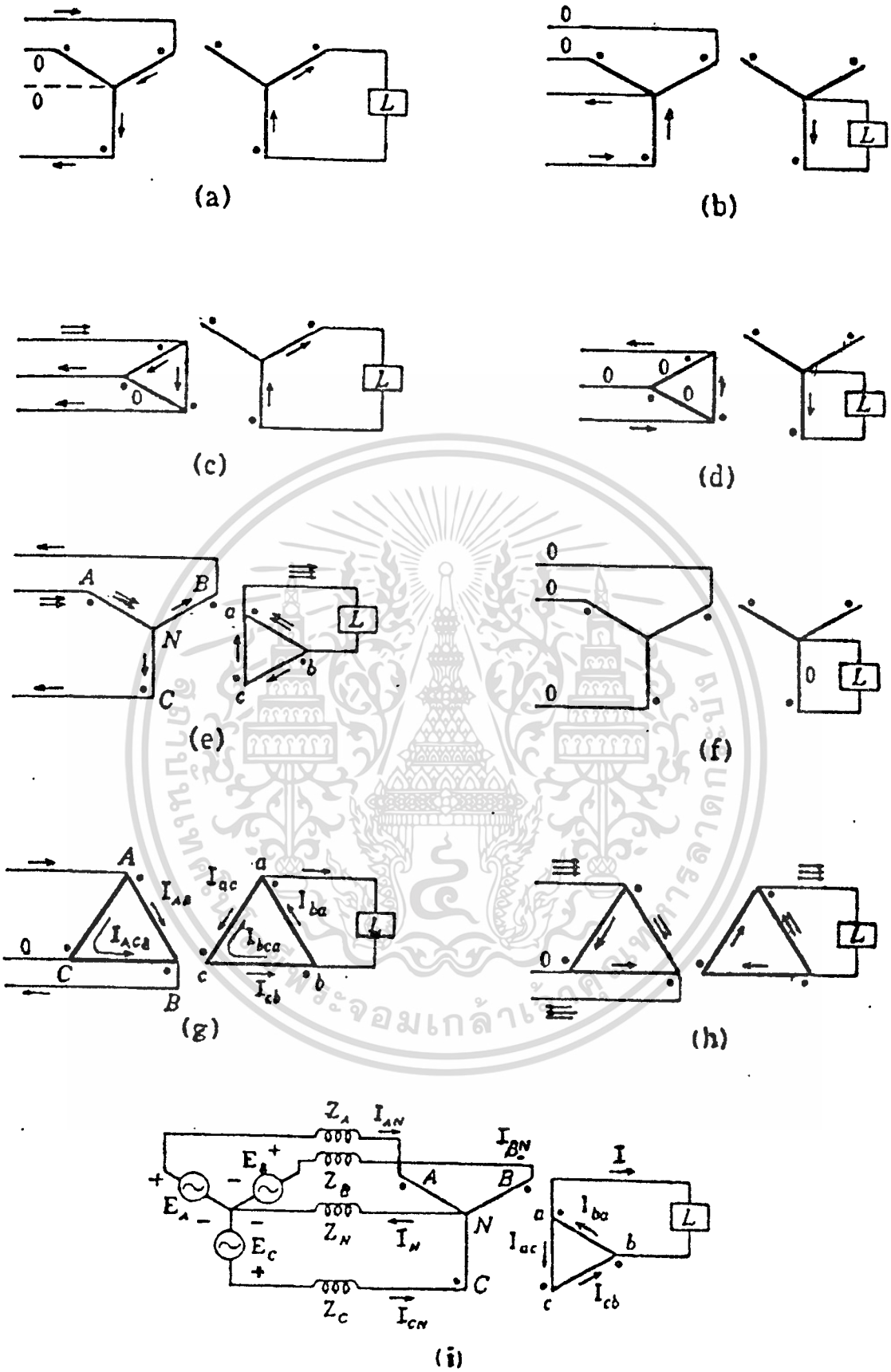
โหลดที่มีลักษณะเป็น 1 เฟส มักจะจ่ายโดยระบบ 3 เฟส ยิ่งกว่านั้นยังอาจเกิดการลัดวงจรเฟสเดียวขึ้นในระบบเหล่านี้ เราจึงควรศึกษาการกระจายของกระแส 1 เฟสในวงจรหม้อแปลง 3 เฟส ไว้บ้าง

จากรูปแสดงการจัดระบบวงจรหม้อแปลง 3 เฟส จ่ายให้กับโหลด 1 เฟสในลักษณะต่าง ๆ ขดลวดของหม้อแปลงแสดงด้วยเส้นหนัก ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวเดียวกันจะขนานกัน (ตามลักษณะโครงสร้าง) เครื่องหมายจุดแสดงสภาพขั้วเหมือนกันของทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิ กระแสลัพธ์ (ไม่คิดกระแสกระตุ้น) แสดงด้วยลูกศรโดยที่หนึ่งลูกศรแทนกระแสหนึ่งหน่วย เพื่อให้อัตราส่วนรวมเป็น 1:1 ในรูป 4-1a. , 4-1b. ถึง 4-1e. การกระจายกระแสถูกจำกัดโดยการต่อหม้อแปลงแต่เพียงอย่างเดียวและหาได้โดยความเป็นจริงที่ว่าถ้ามีกระแสทางทุติยภูมิของหม้อแปลงตัวไหนก็ตาม จะต้องมีกระแสเกิดขึ้นทางด้านปฐมภูมิโดยมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้าม (กำหนดให้มีอัตราส่วนรอบ 1:1 และไม่คิดกระแสกระตุ้น) ในรูป 4-1a.,4-1b.,4-1c.และ 4-1d. ด้านทุติยภูมิต่อเป็น Y ดังนั้นกระแสทุติยภูมิหนึ่งเฟสสามารถไหลได้เฉพาะในวงจรอนุกรมเพียงหนึ่งเส้นทาง แต่ในรูป 4-1e. ด้านทุติยภูมิต่อเป็น Δ กระแสทุติยภูมิหนึ่งเฟสจึงไปได้ 2 ทาง ที่ขนานกันคือทาง ba และ bca โดยที่กระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง bc และ ca เท่ากัน กระแสปฐมภูมิของหม้อแปลงเหล่านั้นก็จะเท่ากันด้วย กระแส I_{ba} และ I_{bca} ไหลกลับสู่แหล่งจ่ายโดยผ่านทางหม้อแปลง B และ C ดังนั้นแต่ละค่ากระแสจึงเป็นครึ่งหนึ่งของกระแส I_{AN} ในหม้อแปลง A ดังแสดงด้วยลูกศรใน 4-1e. ดังนั้นกระแสทุติยภูมิ I_{bc} และ I_{ca} ในหม้อแปลง B และ C ต่างก็เป็นครึ่งหนึ่งของกระแส I_{ba} ในขดทุติยภูมิของหม้อแปลง A ตัวหม้อแปลง A จึงจ่ายกระแสเพียง 2 ใน 3 ของกระแสโหลดหนึ่งเฟส ส่วนหม้อแปลง B และ C ต่างก็จ่ายกระแส 1 ใน 3 ดังแสดงด้วยลูกศรใน 4-1e.

ในรูป 4-1f. ซึ่งแสดงด้วยหม้อแปลงหนึ่งเฟสต่อแบบ Y-Y โดยแยกจุดนิวทรอลด้านปฐมภูมิ เนื่องจากกระแสที่ไหลในด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงตัวหนึ่ง จะต้องไหลกลับสู่แหล่งจ่ายผ่านทางปฐมภูมิของหม้อแปลงอีก 2 ตัวที่เหลือ ดังนั้นกระแสหนึ่งเฟสที่จ่ายจากไลน์ไปยังนิวทรอลทางด้านทุติยภูมิก็จะถูกจำกัดให้มีค่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งหาได้จากคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กกระตุ้นของหม้อแปลงตัวที่ไม่ได้จ่ายโหลดอีกสองตัว

ในการต่อแบบ $\Delta - \Delta$ ดังรูป 4-1g. มีเส้นทางขนานกันทั้งในวงจรปฐมภูมิและทุติยภูมิ การกระจายของกระแสหนึ่งเฟสระหว่างหม้อแปลง จึงไม่ขึ้นกับการต่อวงจรแต่เพียง-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4-1 รูปแสดงกระแสเฟสเดียวในวงจรหม้อแปลง 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์สมมูล กระแสส่วนหนึ่งจะจ่ายมาจากหม้อแปลง ba อีกส่วนหนึ่งจ่ายจากทาง bca ซึ่งมีหม้อแปลง 2 ตัวคือ bc และ ca อนุกรมกัน และทั้งหมดนี้ก็ขนานกับหม้อแปลง ba กระแสในไลน์ c ด้านทุติยภูมิเป็นศูนย์ จากรูปจะได้

$$I_{ac} = I_{cb} = -I_{bca} \quad (1)$$

เมื่อ I_{bca} คือกระแสไหลจาก b ไปยัง a ผ่านทาง bca แทนค่าไปในสมการที่ผ่านมาจะได้

$$I_{ba}Z_{ab} - I_{bca}(Z_{bc}+Z_{ca}) = 0 \quad (2)$$

ดังนั้น

$$I_{ba}/I_{bca} = (Z_{bc}+Z_{ca})/Z_{ab} \quad (3)$$

นั้นคือกระแสจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอิมพีแดนซ์สมมูลของเส้นทางขนาน ba และ bca ถ้าหม้อแปลงเหมือนกันทุกประการ หม้อแปลง ba จะจ่ายกระแส 2 ใน 3 ของกระแสโหลด โดยอีก 1 ใน 3 จะจ่ายโดยหม้อแปลง bc และ ca ซึ่งอนุกรมกันดังรูป 4-1h.

อีกวงจรหนึ่งที่มีเส้นทางขนานทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิคือ การต่อแบบ Y - Δ ที่ต่อจุดนิวทรอลของปฐมภูมิเข้ากับนิวทรอลของแหล่งจ่ายดังรูป 4-1i. ในวงจรนี้การกระจายกระแสขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ ไม่เพียงแต่ของหม้อแปลงแต่ยังรวมอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายด้วย สมการและกระแสปฐมภูมิ คือ

$$I_{AN} + I_{BN} + I_{CN} = I_N \quad (4)$$

ถ้าไม่คิดกระแสกระตุ้น ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกันคือ

$$I_{ba} = aI_{AN} \quad (5)$$

$$I_{cb} = aI_{BN} \quad (6)$$

$$I_{ac} = aI_{CN} \quad (7)$$

เมื่อ a คืออัตราส่วนของจำนวนรอบทางปฐมภูมิและทุติยภูมิโดยที่ไลน์ C ทางทุติยภูมิเปิดวงจร

$$I_{cb} = I_{ac} \quad (8)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่จ่ายให้โหลด และกระแสทุติยภูมิในหม้อแปลงคือ

$$I = I_{ba} - I_{ac} \quad (9)$$

ให้ E_A ,E_B ,E_C เป็นเวคเตอร์แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายและให้ Z_N เป็นอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนในสายนิวทรอล ขณะเดียวกันให้ Z_A ,Z_B ,Z_C เป็นอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนในแต่ละเฟสทางปฐมภูมิ อิมพีแดนซ์เหล่านี้เป็นผลรวมทางเวคเตอร์ของอิมพีแดนซ์จากแหล่งจ่าย อิมพีแดนซ์จากไลน์และอิมพีแดนซ์สมมูลของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ สมการแรงเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบ 3 เฟสก็คือ

$$E_A = I_{AN}Z_A + I_N Z_N + aV_{ab} \quad (10)$$

$$E_B = I_{BN}Z_B + I_N Z_N + aV_{bc} \quad (11)$$

$$E_C = I_{CN}Z_C + I_N Z_N + aV_{ca} \quad (12)$$

เมื่อ V_{ab} ,V_{bc} ,V_{ca} เป็นเวคเตอร์แรงเคลื่อนที่ขั้วทุติยภูมิ เนื่องจาก V_{ab} ,V_{bc} ,V_{ca} เป็นแรงเคลื่อนไลน์เทียบกับไลน์ ผลรวมทางเวกเตอร์ของมันจึงเป็นศูนย์

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} = 0 \quad (13)$$

สมการทั้งหมดตั้งแต่สมการที่ (4) ถึง (13) เป็นความสัมพันธ์ทั่วๆ ไปสำหรับการต่อแบบ Y - Δ ที่มีโหลด 1 เฟส เมื่ออิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันหรือแรงเคลื่อนจากแหล่งจ่าย E_A ,E_B และ E_C ไม่สมดุลย์จะสามารถหาค่าสมการทั้งสิบนี้และเวคเตอร์กระแสกับแรงเคลื่อนอีก 14 ค่าได้ โดยวงจรต้องไม่เปลี่ยนแปลงและทราบค่าเวคเตอร์ของแรงเคลื่อนหรือกระแสที่เป็นอิสระต่อกัน 4 ค่า ซึ่งการแก้ปัญหาค่อนข้างจะยุ่งยาก

อย่างไรก็ดีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสจะง่ายมาก ถ้าแรงเคลื่อนของแหล่งจ่าย E_A ,E_B และ E_C สมดุลย์กันและอิมพีแดนซ์ Z_A ,Z_B ,Z_C เท่ากัน ถ้าแรงเคลื่อนของแหล่งจ่ายสมดุลย์ ผลรวมทางเวคเตอร์จะเป็นศูนย์ (สมการ 13) ผลรวมของสมการ (10) ,(11) และ (12) คือ

$$0 = (I_{AN} + I_{BN} + I_{CN})Z + 3I_N Z_N \quad (14)$$

เมื่อ Z คืออิมพีแดนซ์ของแต่ละเฟสปฐมภูมิ แต่ผลรวมทางเวคเตอร์ของกระแสไลน์ด้านปฐมภูมิเท่ากับกระแสนิวทรอล I_N (สมการ 4) ดังนั้นจากสมการ (14)

$$0 = I_N(Z + 3Z_N) \quad (15)$$

หรือ

$$I_N = 0 \quad (16)$$

ถ้าแรงดันของแหล่งจ่ายสมดุลย์และอิมพีแดนซ์ของเฟสทางด้านปฐมภูมิเท่ากันแล้วจะไม่มีกระแสในสายนิวทรอล และกระแสจะกระจายในลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นเมื่อไม่ต่อจุดนิวทรอลของปฐมภูมิดังรูป 4-1e.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวการทดลอง

ในบทนี้เรามีการทดลองเกี่ยวกับสภาวะไม่สมดุลย์ของโหลด หรือวงจรโหลดเพียง 1 เฟส และมีการต่อในรูปแบบต่างๆ โดยที่โหลดที่เราใช้เป็นความต้านทาน 240 โอห์ม รูปแบบต่างๆ ที่เราสามารถจะทำได้มีดังนี้

1. Δ - Δ
2. Δ - Y
   2.1 โหลดต่อระหว่างไลน์กับนิวทรอล
   2.2 โหลดต่อระหว่างไลน์กับไลน์
3. Y - Y ต่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย
   3.1 โหลดต่อระหว่างไลน์กับนิวทรอล
   3.2 โหลดต่อระหว่างไลน์กับไลน์
4. Y - Y ไม่ต่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย
   4.1 โหลดต่อระหว่างไลน์กับนิวทรอล
   4.2 โหลดต่อระหว่างไลน์กับไลน์
5. Y - Δ ต่อนิวทรอลด้านกับปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย
6. Y - Δ ไม่ต่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย

จากการทดลอง ผลที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วโดยละเอียดของส่วนทฤษฎีในทุกๆ กรณีของวงจร ในที่นี้เรามีการทดลองเพียง 3 แบบเพราะสามารถสังเกตผลแทนได้ในทุกๆ รูปแบบ

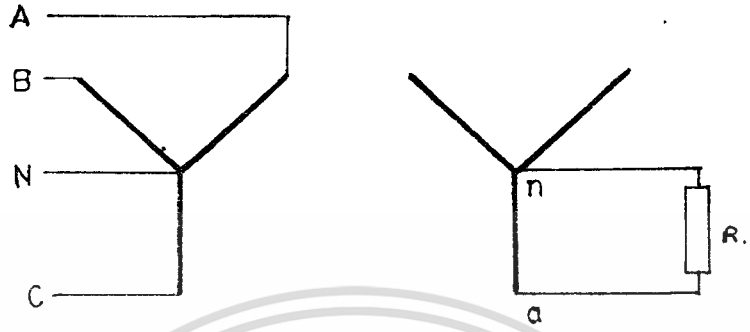
การทดลองที่ 1 การต่อแบบ Y - Y โดยต่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย โดยโหลดต่อระหว่างไลน์กับนิวทรอล การทดลองนี้เราจะไม่พบปรากฏการณ์อาร์โมนิคแต่อย่างใด

การทดลองที่ 2 การต่อแบบ Y - Y แยกนิวทรอลระหว่างปฐมภูมิของหม้อแปลงกับแหล่งจ่ายโหลดที่ใช้ต่อระหว่างไลน์กับนิวทรอลในการทดลองนี้จะพบผลของฮาร์โมนิคเป็นอย่างมาก

การทดลองที่ 3 การต่อแบบ Y - Δ แยกนิวทรอลระหว่างปฐมภูมิของหม้อแปลงกับแหล่งจ่าย ต่อโหลด 1 เฟสระหว่างไลน์กับนิวทรอลแต่วงจรนี้เราจะได้สังเกตกระแสในวงจร Δ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การต่อแบบ Y - Y ต่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย



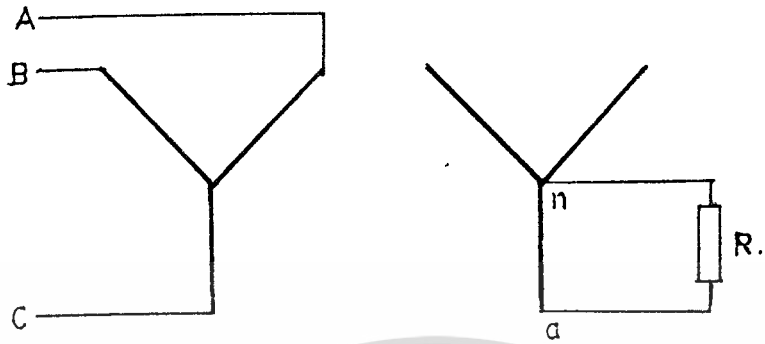
รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y และทุติยภูมิเป็น Y ด้วย โหลด 240 โอห์มต่ออยู่ที่เฟส a และมีการต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย

PH.	V - line			V - phase			I- line				I - phase		
	AB	BC	CA	AN	BN	CN	A	B	C	N	AB	BC	CA
	ab	bc	ca	an	bn	cn	a	b	c	n	ba	cb	ac
	rs	st	tr	rmp	smp	tmp	r	s	t	mp	rs	st	tr
PRI.	370	382	380	230	240	245	1.4	0.2	0.3	–	–	–	–
SEC.	370	380	380	210	220	222	4.4	–	–	4.4	–	–	–
LOAD	–	–	–	210	–	–	4.4	–	–	4.4	–	–	–

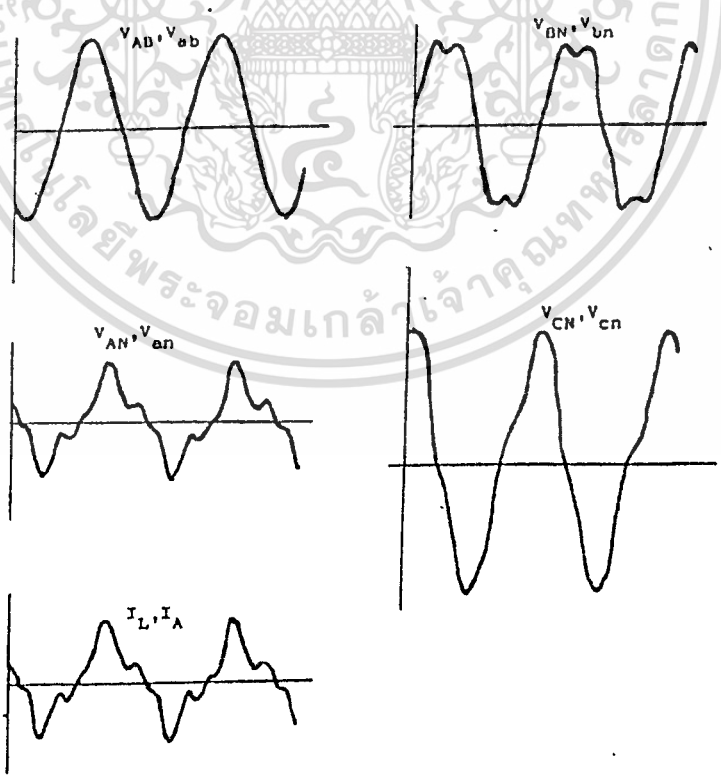
ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อแบบ Y - Y แบบต่อนิวทรอลด้านปฐมภูมิกับแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การทดลองที่ 2</u> การต่อแบบ Y - Y แยกนิวทรอลด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกับแหล่งจ่าย



รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y และทุติยภูมิต่อเป็นแบบ Y ด้วยโหลด 240 โอห์มต่ออยู่ที่เฟส a โดยไม่ต่อนิวทรอล



รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทางด้านปฐมภูมิภูมิและทุติยภูมิ

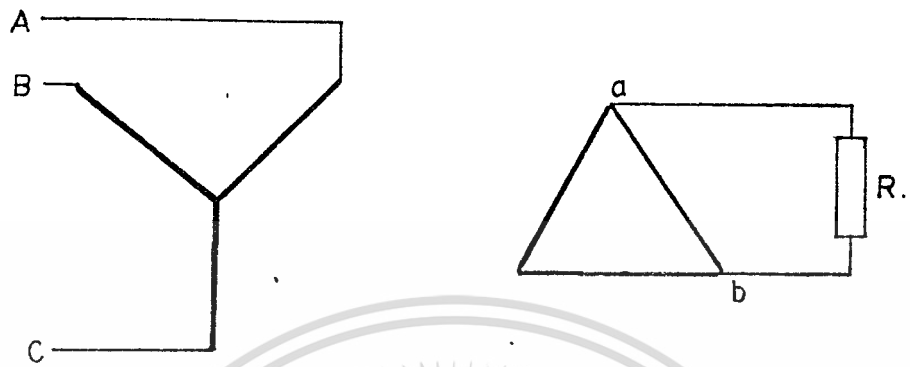
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PH.	V – line			V – phase			I–line				I – phase		
	AB	BC	CA	AN	BN	CN	A	B	C	N	AB	BC	CA
	ab	bc	ca	an	bn	cn	a	b	c	n	ba	cb	ac
	rs	st	tr	rmp	smp	tmp	r	s	t	mp	rs	st	tr
PRI.	370	380	380	120	250	340	0.6	0.4	2.5	–	–	–	–
SEC.	370	382	380	115	250	340	3.1	–	–	3.1	–	–	–
LOAD	–	–	–	115	–	–	3.1	–	–	3.1	–	–	–

ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อแบบ Y – Y แบบไม่มีนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การทดลองที่ 3</u> การต่อแบบ Y – Δ แยกนิวทรอลระหว่างปฐมภูมิของหม้อแปลงกับแหล่งจ่าย



รูปวงจรการทดลอง โดยที่ขดลวดด้านปฐมภูมิต่อแบบ Y แต่ด้านทุติยภูมิต่อแบบ Δ โหลด 240 โอห์ม 1 ตัวต่ออยู่ระหว่างไลน์ A กับไลน์ B

PH.	V – line			V – phase			I-line				I – phase		
	AB	BC	CA	AN	BN	CN	A	B	C	N	AB	BC	CA
	ab	bc	ca	an	bn	cn	a	b	c	n	ba	cb	ac
	rs	st	tr	rmp	smp	tmp	r	s	t	mp	rs	st	tr
PRI.	370	380	380	215	217	224	2.8	0.8	0.8	–	–	–	–
SEC.	213	218	223	–	–	–	4.5	4.5	–	–	2.8	1	1.4
LOAD	223	–	–	–	–	–	4.5	–	–	–	–	–	–

ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจร การต่อแบบ Y – Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การทดลองในบทนี้ ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะไม่สมดุลย์ เป็นสภาวะที่ไม่สมดุลย์เนื่องจากมีโหลดเพียงเดียว ในวงจรด้านทุติยภูมิซึ่งมีทั้ง Δ และ Y แต่ด้านปฐมภูมิเราต่อแบบ Y เพื่อให้สอดคล้องกับระบบไฟ 3 เฟส 4 สาย 380 โวลท์ เพราะขดของหม้อแปลงในแต่ละขดสอดคล้องกับแรงเคลื่อน 220 โวลท์ กรณีเนื่องจากโหลดไม่สมดุลย์จากการทดลองนี้เราสังเกตทางด้านกระแส ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรการต่อแบบต่างๆ เช่น Y - Δ ,Y - Y ฯล และอาจจะเป็นได้ทั้งการต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย หรือไม่ต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย สำหรับผลการต่อหรือไม่ต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่ายนี้คือปรากฏการณ์ฮาร์โมนิค จะเกิดที่เราพบในวงจรการทดลองแบบ Y - Y แบบไม่ต่อนิวทรอลจะปรากฏฮาร์โมนิคในแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ และการที่เราใช้ลักษณะของโหลดไม่สมดุลย์หรือโหลดเพียงเฟสเดียวนี้ มีผลถึงกระแสทางด้านปฐมภูมิ คือกระแสจะไม่สมดุลย์เป็นอย่างมาก ทิศทางการไหลของกระแสในหลายๆ รูปแบบการต่อโดยมีโหลดเพียงเฟสเดียวนี้ สามารถสังเกตได้จากรูป 4-1 การทดลองนี้เราไม่ได้ทดลองทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ แต่ก็ได้มีการทดลองทั้งแบบ Y และ Δ ซึ่งสามารถแทนทิศทางการไหลของกระแสได้ในทุกๆ รูปแบบการต่อ

การศึกษาสภาวะไม่สมดุลย์นี้ เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุและความเป็นไปในสภาพที่เกี่ยวข้องกับวงจรโหลดของหม้อแปลง อันจะเป็นการช่วยให้เข้าใจปรากฏการณ์หรือลักษณะที่เกิดในตัวหม้อแปลงได้ดียิ่งขึ้น สำหรับผลจากปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ในบทที่ 3 หรือในส่วนของ 5(e) ของบทความนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การต่อหม้อแปลงเพื่อการแปลงเฟส

มีอยู่หลายครั้งที่มันถูกออกแบบให้ทำการแปลงกำลังไฟฟ้าจากระบบหลายเฟสอันหนึ่งไปสู่แบบอื่นด้วยจำนวนของเฟสที่ต่างกัน ตัวอย่างอันหนึ่งในที่นี้แม้ว่าการผลิตกระแสไฟฟ้า 3 เฟส การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟสนี้จะเป็นรูปแบบมาตรฐานจริงในทางปฏิบัติ ในบรรดาโครงข่ายระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ 2 เฟส ซึ่งถูกใช้มาก่อนที่จะมีการวิวัฒนาการก็ยังคงมีใช้อยู่จนถึงปัจจุบันนี้ จนกระทั่งไปสู่การวิวัฒนาการและได้เปลี่ยนไปเป็นระบบจ่ายแบบ 3 เฟส ซึ่งจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่มากขึ้น บริษัทที่ผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟสทั้งหลายยังคงต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยให้ความสนใจในระบบ 2 เฟสด้วย โครงข่ายระบบ 2 เฟสนี้โดยปกติสามารถที่จะจ่ายมาจากระบบ 3 เฟสได้ โดยผ่านวงจรการต่อของหม้อแปลงที่เอื้ออำนวย

ในการประยุกต์ใช้งานที่นอกเหนือไปจากนี้ เช่นระบบกำลังไฟฟ้า 6 เฟส และ12 เฟส อาจจะถูกออกแบบใช้งานเฉพาะในสถานีย่อย เพื่อการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสตรง โดยวิธีของซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ หรือวงจรเรียงกระแสที่เป็นอิเลคทรอนิคส์ การเพิ่มจำนวนเฟสของกระแสสลับที่จ่ายแก่วงจรเรียงกระแสที่เป็นอิเลคทรอนิคส์ จะช่วยลดผลของฮาร์โมนิคในไฟกระแสสลับทางด้านอินพุทและมีผลทำให้รูปคลื่นของแรงเคลื่อนกระแสตรงด้านเอ้าพุทเรียบยิ่งขึ้น หลาย ๆ วงจรเรียงกระแสแบบ 6 เฟสที่มีการใช้งานโดยมากมักจะจ่ายมาจากระบบกำลังไฟฟ้า 12 เฟส ด้วยซิงโครนัสหรือโรตารี่คอนเวอร์เตอร์ เครื่องจักรไฟฟ้าชนิดหมุนได้ทั้งหลายซึ่งมีส่วนประกอบอันหนึ่งคือขดลวดอเมเจอร์ หน้าที่และการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับซิงโครนัสและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีขนาดทางกายภาพลดลงแต่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในขณะที่มีจำนวนเฟสของระบบจ่ายกระแสสลับเพิ่มมากขึ้น จำนวนของเฟสที่มากขึ้นทำให้ต้องมีขดลวดอเมเจอร์ที่ซับซ้อนมากขึ้น รวมทั้งส่วนประกอบอื่น ๆ อีกมากซึ่งเราไม่ต้องการ ดังนั้นซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์โดยส่วนมากแล้วจะจ่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 6 เฟส ถึงแม้ว่าเครื่องจักร 12 เฟส ยังคงเป็นที่ต้องการใช้อยู่อีกมากก็ตาม

โดยผลทางเศรษฐศาสตร์เป็นไปได้ยากที่จะจ่ายแก่วงจรเรียงกระแสหรือซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ จากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 6 เฟส หรือ 12 เฟส แต่ถ้าเป็นการแปลงกำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบ 3 เฟสไปเป็น 6 เฟส หรือ 12 เฟส โดยวิธีการต่อของหม้อแปลงจะเป็นไปได้ง่ายกว่า

รูปแบบการจัดเรียงของการต่อหม้อแปลงเพื่อให้ได้ผลของการแปลงเฟสอันนี้โดยที่ไม่จำกัดผลที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะได้รวมการจัดเรียงรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้ถูกพิจารณามาในที่นี้ด้วยแล้ว

เอกสารนี้ถูกป้องกันลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

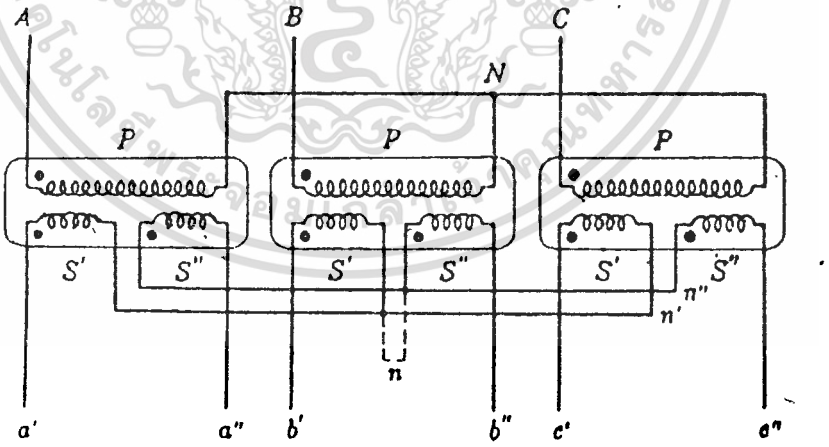
การต่อจากระบบ 3 เฟส ไปเป็น 6 เฟส แบบสมมาตร

ระบบแรงเคลื่อนสมดุลย์ 6 เฟสประกอบด้วยแรงเคลื่อน 6 ชุดที่มีค่าเท่ากันและมีระยะห่างระหว่างเฟส 60 องศา คือระหว่างเฟสของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นตามกันมาเป็นลำดับ

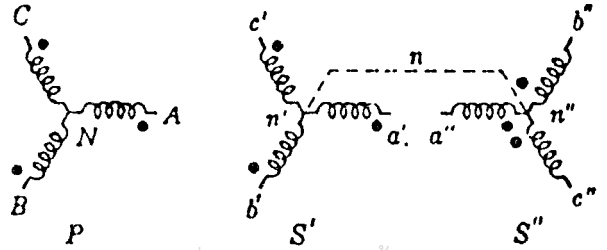
หลายๆ รูปแบบการจัดเรียงการต่อเป็นพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้แปลงกำลังไฟฟ้าจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟส อย่างง่ายๆ คือต้องประกอบด้วยหม้อแปลง 3 เฟส หรือวงจรการต่อของหม้อแปลงเฟสเดียว 3 ตัว โดยมีขดลวดปฐมภูมิ 1 ขดและขดลวดทุติยภูมิที่เป็นอิสระจากกัน 2 ขดสำหรับแต่ละเฟส 3 เฟสด้านปฐมภูมิซึ่งอาจถูกต่อได้ทั้ง Y หรือ Δ บางครั้งจึงทำให้มีผลกระทบที่สำคัญคือปรากฏการณ์ของฮาร์โมนิค ดังแสดงในส่วน (e)ของบทความนี้ ทั้งนี้ทางด้านทุติยภูมิจะสามารถต่อได้หลายๆ แบบ

5(a) การต่อ 6เฟส แบบ Y (Six - phase Star Connection)

พิจารณาวงจรการต่อของหม้อแปลงซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลง 3 ตัว แต่ละตัวมีขดปฐมภูมิ 1 ขดและขดทุติยภูมิที่เหมือนกัน 2 ขด รูปแบบการจัดเรียงของหม้อแปลงเป็นจริงดังแสดงในรูป 5-1a. และแสดงการต่อให้เห็นแบบง่ายในรูป 5-1b. โดยที่ขดลวดในหม้อแปลงแต่ละตัวถูกต่อโดยลากขนานกับหม้อแปลงตัวอื่นๆ ด้านปฐมภูมิถูกต่อกับแหล่งจ่าย 3 เฟสแบบสมดุลย์ ด้านทุติยภูมิถูกต่อแบบ Y โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ s' และ s" ซึ่งมีขั้วตรงข้ามกัน นั้นคือจุดนิวทรอล n' ของกลุ่ม s'ได้จากขั้วต่อที่ไม่มีเครื่องหมายของทั้ง 3 ขดด้านทุติยภูมิ ในขณะที่จุดนิวทรอล n" ของกลุ่ม s" ได้จากขั้วต่อที่มีเครื่องหมายจุดต่อเข้าด้วยกัน

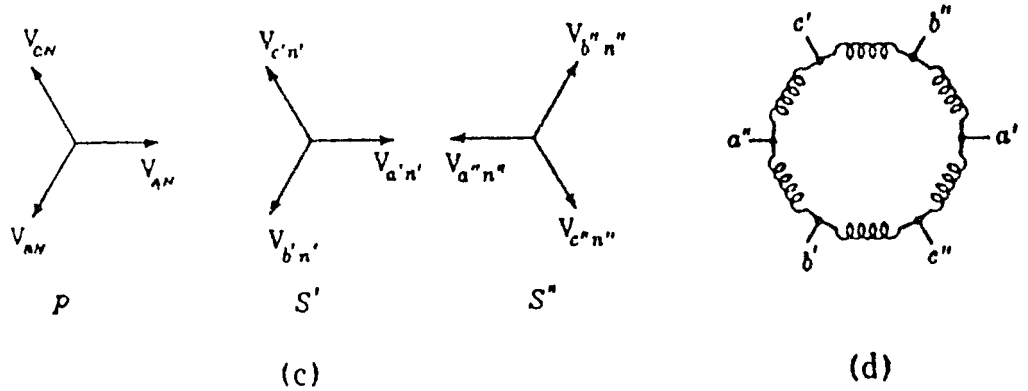


(a)



(b)

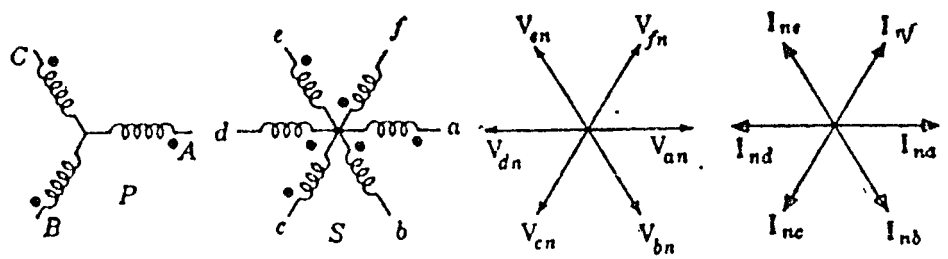
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) (d)

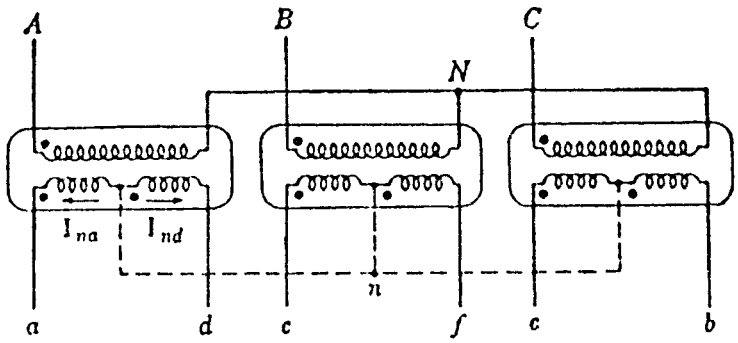
รูป 5-1 การต่อ 3 เฟส Y ไปเป็น 6 เฟส แบบดับเบิ้ล Y และเวคเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อน เมื่อจุดนิวทรอล n' และ n" ถูกต่อเข้าด้วยกันด้วยเส้นประ n ,การต่อแบบดับเบิ้ล Y มาเป็น 6 เฟสแบบ Y แสดงในรูป 5-2a. ,โหลดสมดุลย์ 6 เฟสแสดงในรูป 5-1d.

เวคเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อน (กำจัดค่าแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมลีคเกจอิมพีแดนซ์ออกไป) แสดงในรูป5-1C. โดยที่แทนแรงเคลื่อนที่ปรากฏในทิศทางซึ่งแสดงโดยลำดับของชื่อข้างท้ายแรงเคลื่อนด้านทุติยภูมิของกลุ่ม s' มีเฟสตามแรงเคลื่อนด้านปฐมภูมิสำหรับกลุ่ม s"มีเฟสในทิศตรงข้าม ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างเฟส 60 องศายังคงมีอยู่ระหว่างแรงเคลื่อน 3 เฟส 2 กลุ่ม ด้านทุติยภูมิ ด้วยเหตุนี้ถ้าจุดนิวทรอลทั้งสอง n' และ n" ถูกต่อเข้าด้วยกันดังแสดงการต่อ n ด้วยเส้นประในรูป 5-1a.และ 5-1b. แรงเคลื่อน 6 เฟสก็จะได้จากด้านทุติยภูมินี้ และด้วยการต่อระหว่างจุดนิวทรอล 2 จุดนี้ เป็นวงจรสมมูลย์ที่ถูกแทนด้วย 2 ทุติยภูมิที่ต่อแบบ Y ดังแสดงในรูป 5-2a. นั่นคือรูปแบบ Y แบบ 6 จุดต่อในรูป-5-2a. ขั้วด้านทุติยภูมิถูกกำหนดให้เป็น a, b, c, d, e, f ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับลำดับของแรงเคลื่อน 6 เฟส เวคเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อน 6 เฟส กับนิวทรอลและกระแสไลน์ที่ถูกส่งไปแบบสมดุลย์โดยมีเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นหนึ่งรวมทั้งโหลด 6 เฟสดังแสดงในรูป 5-2b.

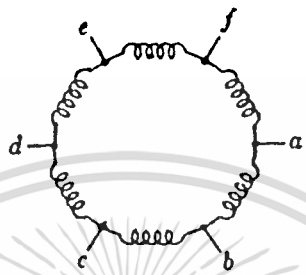


(a) (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

รูป 5-2 การต่อ 3 เฟส Y ไปเป็น 6 เฟส ต่อแบบ Y และเวคเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อนและกระแสสมดุลย์ 6 เฟสเมื่อจุดต่อ n ด้วยเส้นประถูกตัดทิ้งไปจากรูป 5-2c. ระบบ 6 เฟสแบบ Y มาเป็นการต่อแบบตรงข้ามกันและโหลดสมดุลย์ 6 เฟส ดังแสดงในรูป 5-2d.

ในการต่อ 6 เฟสแบบ Y แต่ละขั้วที่ไม่มีเครื่องหมายของกลุ่ม s' ทางด้านทุติยภูมิถูกต่อเข้ากับแต่ละขั้วที่มีเครื่องหมายจุดของกลุ่ม s" การต่อด้านทุติยภูมิในความเป็นจริงสามารถทำได้ในรูป 5-2c. โดยที่การต่อ n ด้วยเส้นประเป็นจุดนิวทรอลของ 6 เฟส Y ไม่มีเพียงแต่ 4 ขั้วต่อด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ละตัวจะสามารถทำอย่างที่ต้องการได้เท่านั้น ขดทุติยภูมิเดี่ยวที่มีจุดแยกกึ่งกลางก็สามารถทำเป็น 6 เฟสได้

ถ้าวงจรการต่อของหม้อแปลงถูกต่อเข้ากับชิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทางด้านกระแสตรงของมันแก่ระบบ 3 สาย จุดนิวทรอล n ของการต่อทุติยภูมิ 6 เฟสแบบ Y สามารถใช้เป็นนิวทรอลของกระแสตรงได้

แรงเคลื่อนทางทุติยภูมิของการต่อ 6 เฟสแบบ Y รูปแบบจริงๆ แล้วของระบบ 6 เฟส จะมีค่าแรงเคลื่อนที่ถูกกำหนดระหว่างขั้วไลน์แต่ละขั้ว หลายๆ รูปแบบของการต่อซึ่งจะให้แรงเคลื่อนสมดุลย์ 6 เฟสก็ต่อเมื่อขดลวดของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิถูกต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ 6 เฟสดังรายละเอียดต่อไป

5(b) การต่อแบบตรงข้ามกัน (Diametrical Connection) ถ้าขั้วด้านทุติยภูมิของการต่อ 6 เฟส Y รูป5-2c.ถูกต่อเข้ากับโหลดสมดุลย์ 6 เฟสดังเช่นอเมเจอร์ของชิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์แสดงไดอะแกรมในรูป 5-2d. กระแส 6 เฟสที่ส่งไปยังโหลดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสมดุลย์ดังแสดงโดยเวคเตอร์ไดอะแกรมรูป 5-2b. พิจารณาทุติยภูมิหนึ่งของหม้อแปลงซึ่งจ่ายออกไปเป็นเฟส a และ d ของระบบ 6 เฟส กระแส I_{na} และ I_{nd} แสดงโดยทิศทางของลูกศรข้าง ๆ ขดทุติยภูมิของรูป 5-2c. จากเวคเตอร์ไดอะแกรมรูป 5-2b. กระแส I_{na} และ I_{nd} มีค่าเท่ากันแต่มีเฟสตรงข้ามกันและด้วยเหตุนี้ผลรวมทางเวคเตอร์ของมันซึ่งมีค่ากระแสที่เท่ากัน ไหลเข้าที่จุดแยกกึ่งกลางผ่านเส้นต่อนิวทรอลด้วยเส้นปะของรูป 5-2c. จึงรวมเป็นศูนย์ นั้นคือกระแสที่เหมือนกันไหลในทิศทางเดียวกันของทั้งด้านทุติยภูมิด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เส้นต่อนิวทรอลที่เป็นเส้นปะในรูป 5-2c. จะสามารถตัดทิ้งไปได้โดยไม่มีปัญหาแต่อย่างใด เมื่อการต่อนิวทรอลของ 6 เฟสแบบ Y ได้ถูกละเลยไปรูปแบบการต่อแบบนี้จึงถูกเรียกว่า "การต่อแบบตรงข้ามกัน" เพราะว่าในแต่ละทุติยภูมิได้ถูกต่อข้ามในจุดตรงข้ามกันบนโหลด 6 เฟส แสดงดังที่เขียนไว้ที่ขั้วต่อในรูป 5-2c. และ 5-2d.

ข้อแนะนำ ถ้าขั้วด้านทุติยภูมิไม่ต่อเข้ากับโหลด ไม่มีค่าแรงเคลื่อนที่จำกัดอยู่ระหว่างชุดของทุติยภูมิหนึ่งกับชุดอื่นแล้ว รูปแบบการต่อก็จะเสียไปเป็นแบบ 1 เฟส อิสระจากกัน 3 ชุด ๆ ละเฟส นั้นคือมันจะทำได้ก็ต่อเมื่อแต่ละเฟสได้ต่อเข้าด้วยกับโหลดสมดุลย์ 6 เฟสเท่านั้น เป็นการต่อแบบด้านตรงข้ามที่ให้แรงเคลื่อนสมดุลย์ 6 เฟส

5(c) การต่อแบบดับเบิ้ลสตาร์ (Double-Y Connection) พิจารณารูปแบบของการต่อแบบดับเบิ้ลสตาร์แสดงในรูป 5-1a. และ 5-1b. ถ้าโหลด 6 เฟสนั้นสมดุลย์ในแต่ละกลุ่มที่ถูกต่อแบบ Y ทางด้านทุติยภูมิให้กระแสสมดุลย์ 3 เฟส เช่นเดียวกับกระแสหลักที่เกี่ยวข้องกัน ผลรวมทางเวคเตอร์ของกระแสทั้งสามของ 3 เฟสสมดุลย์จึงเป็นศูนย์ ด้วยเหตุผลนี้จึงไม่มีกระแสไหลในการต่อ n ด้วยปะรูป 5-1a. และ 5-1b. เชื่อมต่อจุดนิวทรอลของทั้ง 2 กลุ่ม Y ด้วยการต่อเช่นนี้จะสามารถละเลยไปได้โดยทั้ง 2 กลุ่ม Y มีอิสระจากกัน นอกจากมันถูกต่อเข้าระหว่างกันผ่านโหลด การแยกจุดนิวทรอลทั้งสองก็อาจจะมีผลกระทบอันสำคัญจากปรากฏการณ์ทางฮาร์โมนิคดังรายละเอียดในส่วน 5(e) ของบทความนี้

ข้อแนะนำ เหมือนกับการต่อแบบตรงข้ามกัน การต่อแบบดับเบิ้ล Y จะให้แรงเคลื่อนสมดุลย์ 6 เฟส ก็ต่อเมื่อทั้ง 2 กลุ่มของการต่อแบบ Y ทางด้านทุติยภูมิ ได้ถูกต่ออย่างสมบูรณ์กับโหลดสมดุลย์ 6 เฟส ดังเช่นขดอเมเจอร์ของซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์มีไดอะแกรมแสดงในรูป 5-1d. โดยลักษณะการต่อเช่นนี้ควรทำตามที่ได้เขียนแสดงขั้วต่อไว้ในรูป 5-1a. และ 5-1d.

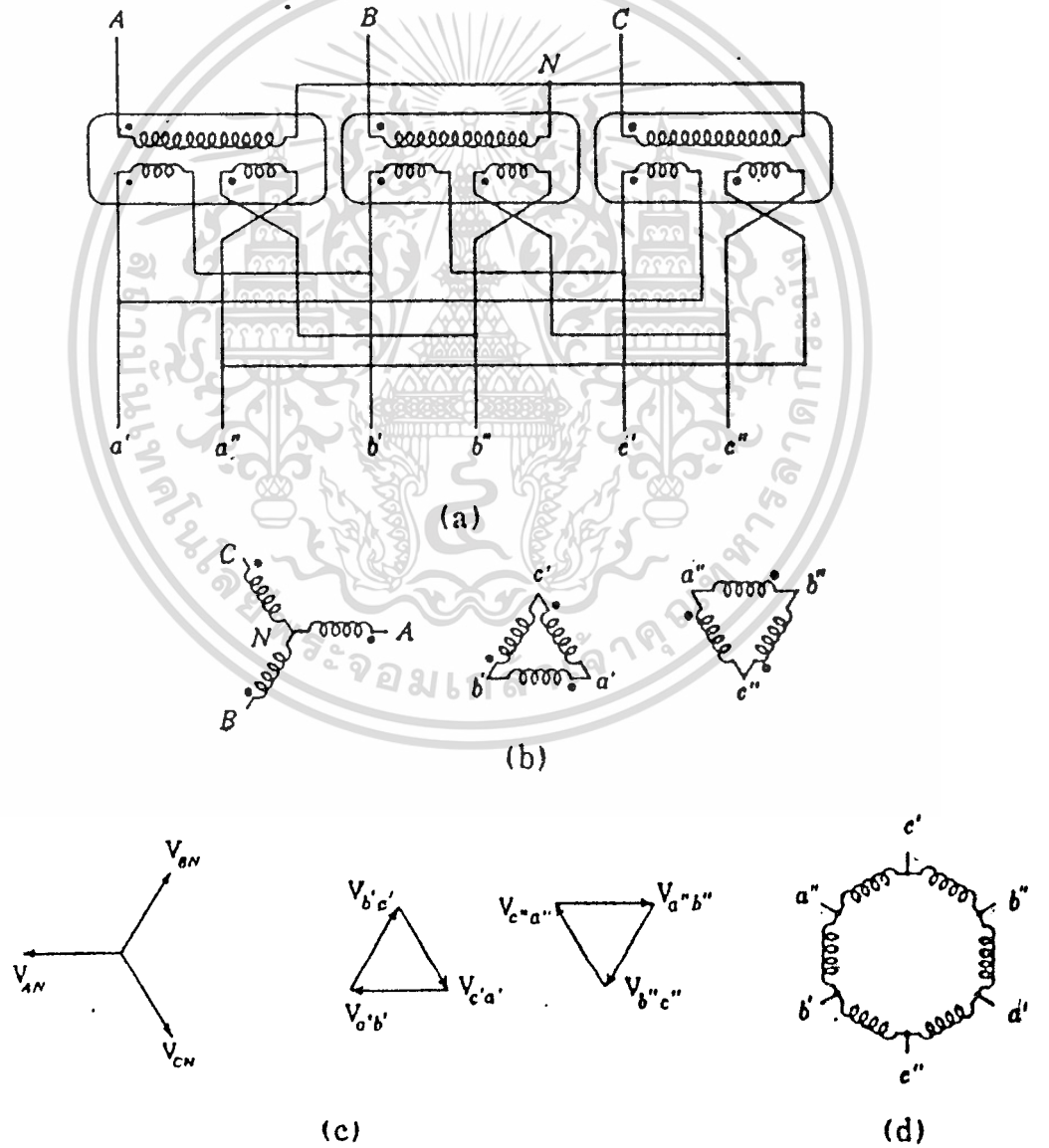
การต่อแบบดับเบิ้ล Y มักจะใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบอิเลคทรอนิคส์ นิวทรอลของ Y ถูกต่อผ่านหม้อแปลงแบบออโตหรือจุดแยกกึ่งกลางของรีแอคเตอร์ที่เรารู้จักกันในแบบหม้อแปลงต่อระหว่างเฟส (Interphase Transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5(d) การต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า. (Double -Δ connection)

การแปลงเฟสของระบบแรงเคลื่อน 3 เฟส เป็น 6 เฟส แบบดับเบิ้ลเดลต้า (Double - Δ connection) เป็นการต่อโดยขดลวดทางด้านทุติยภูมิเป็นแบบ Δ 2 ชุดทำให้เกิดความแตกต่างกันทางเวคเตอร์จะทำให้แรงเคลื่อนที่มีระยะห่างระหว่างเฟส 60 องศา เป็นระบบ 6 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 5-3

การต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้านั้นมีลักษณะการต่อคล้ายกับการต่อแบบดับเบิ้ลสตาร์ในแง่ของลักษณะการต่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิที่แบ่งออกเป็น 2 ชุด และเป็นการแปลงเฟสจาก 3 เฟส เป็น 6 เฟส เหมือนกัน การใช้งานของแรงเคลื่อนแบบ 6 เฟสในบางครั้งนำไปใช้กับซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์แบบ 6 เฟส



รูปที่ 5-3 การต่อ 3 เฟส แบบ Y แบบดับเบิ้ลเดลต้าและรูปเวคเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อน รูปโหลดสมดุลย์ 6 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5(e) ผลกระทบของการต่อวงจรหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ (Effects of the Primary connections) ปรากฏการณ์อาร์โมนิคที่ 3 มีผลกระทบอย่างมากในการต่อวงจรทางด้านปฐมภูมิของวงจรไฟฟ้าระบบ 3 เฟสเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนไปไม่ว่าจะเป็นผลกระทบจากแรงเคลื่อนหรือกระแสอาจจะเปลี่ยนแปลงไปได้ จากผลของปรากฏการณ์อาร์โมนิคที่ 3 เราอาจจะสันนิษฐานได้ว่าเกิดมาจากคุณสมบัติภายในของหม้อแปลงและการต่อขดลวดทางด้านปฐมภูมิรวมไปถึงโหลดที่นำมาต่อทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงด้วย

ปรากฏการณ์อาร์โมนิคที่ 3 อาจจะเกิดขึ้นได้ในกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิถ้าเป็นการต่อแบบ Δ แต่ถ้าต่อแบบ Y อาจจะไม่เกิดอาร์โมนิคที่ 3 แต่ถึงอย่างไรก็ตามการต่อแบบ Y ไม่ใช่ว่าจะไม่ทำให้เกิดอาร์โมนิคที่ 3 เสมอไปในบางครั้งถ้าต่อแบบ Y ทางด้านปฐมภูมิและทางด้านทุติยภูมินำแรงเคลื่อนไปจ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสที่มีผลของอาร์โมนิคที่ 3 ก็จะทำให้ทางด้านปฐมภูมิเกิดอาร์โมนิคที่ 3 ตามไปด้วย

ในการพิจารณาถึงปรากฏการ์อาร์โมนิคที่ 3 นั้นสิ่งหนึ่งที่มีผลอย่างมากคือลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงที่นำมาใช้เป็นชุดจ่ายไฟ สำหรับแกนของหม้อแปลงที่ใช้ในงานจริงมีหลายชนิด เช่นแบบ core หรือแบบ shell ทั้งนี้รวมไปถึงการนำเอาหม้อแปลง 1 เฟสมาต่อขนานกันด้วย ตัวอย่างเช่น หม้อแปลง 3 เฟสที่ใช้กันแบบ core จะให้แรงเคลื่อนที่มีลักษณะของรูปคลื่นค่อนข้างจะใกล้เคียงรูปซายน์มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวการทดลอง

ในบทนี้เราได้แบ่งเป็น 5 การทดลองซึ่งทั้งหมดเป็นการแปลงจากระบบ 3 เฟส ไปเป็น 6 เฟสมีทั้งการต่อแบบสมมาตรและแบบต่อข้ามดังนี้

การทดลองที่ 1 คือวงจรการต่อที่มีด้านทุติยภูมิเป็นแบบ Y 2 กลุ่ม ต่อเข้าด้วยกันที่จุดนิวทรอล ในการทดลองนี้เพื่อให้เป็นผลที่เกิดภายในตัวหม้อแปลงเอง จึงต่อวงจรการทดลองเข้ากับโหลดสมดุลย์ 6 เฟส โดยใช้การต่อของความต้านทาน 6 ตัว ทำการต่อคล้ายแบบ Δ แต่เป็น 6 เฟส

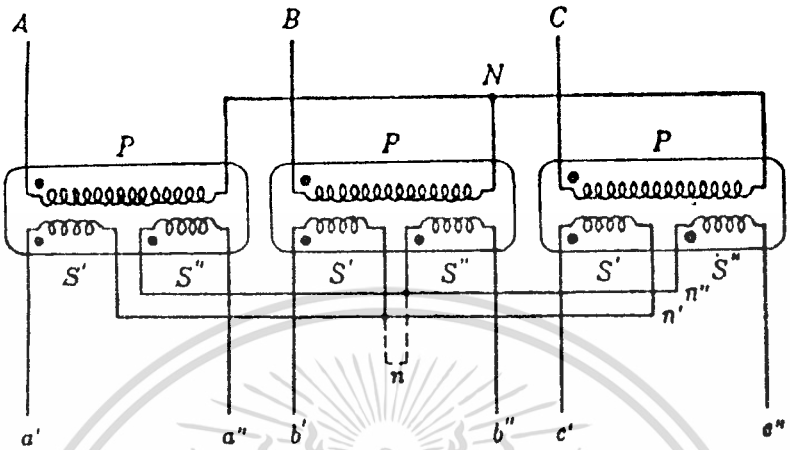
การทดลองที่ 2 จากลักษณะการต่อของการทดลองที่ 1 ถ้าโหลด 6 เฟสที่นำมาต่อสมดุลย์แล้วจะไม่มีกระแสไหลผ่านไลน์นิวทรอลนั่นคือ จะเห็นว่าในการทดลองนี้ไม่มีการต่อเพื่อให้เป็นขั้วนิวทรอลดังกล่าว โดยที่โหลด 6 เฟสยังคงใช้ความต้านทาน 6 ตัวต่อแบบเดิม

การทดลองที่ 3 มีลักษณะการต่อของวงจรหม้อแปลงแบบเดียวกับในการทดลองที่ 2 แต่ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงผลกระทบอันเกิดจากการต่อนิวทรอล โหลดที่ใช้ในการทดลองซึ่งคือความต้านทานทั้ง 6 ตัวจึงมีการต่อคล้ายแบบ Y แต่เป็น 6 เฟส

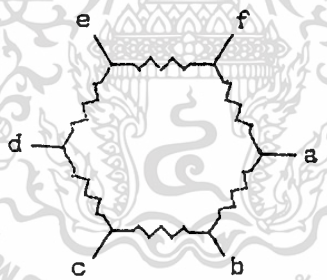
การทดลองที่ 4 จากลักษณะทั้ง 3 การทดลองข้างต้นใช้ลักษณะวงจรการต่อหม้อแปลงด้านทุติยภูมิแบบ Y ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้เป็นแบบ Δ 2 กลุ่มซึ่งสามารถให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 เฟส เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การต่อ 6 เฟสดับเบิ้ลสตาร์แบบต่อนิวทรอลเข้าด้วยกัน



รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านทุติยภูมิต่อแบบ Y ทั้ง 2 กลุ่มต่อนิวทรอลเข้าด้วยกัน



รูปวงจรโหลดความต้านทานแบบ 6 เฟสสมดุลย์โดยที่ความต้านทานแต่ละตัวมีค่า 240 โอห์ม

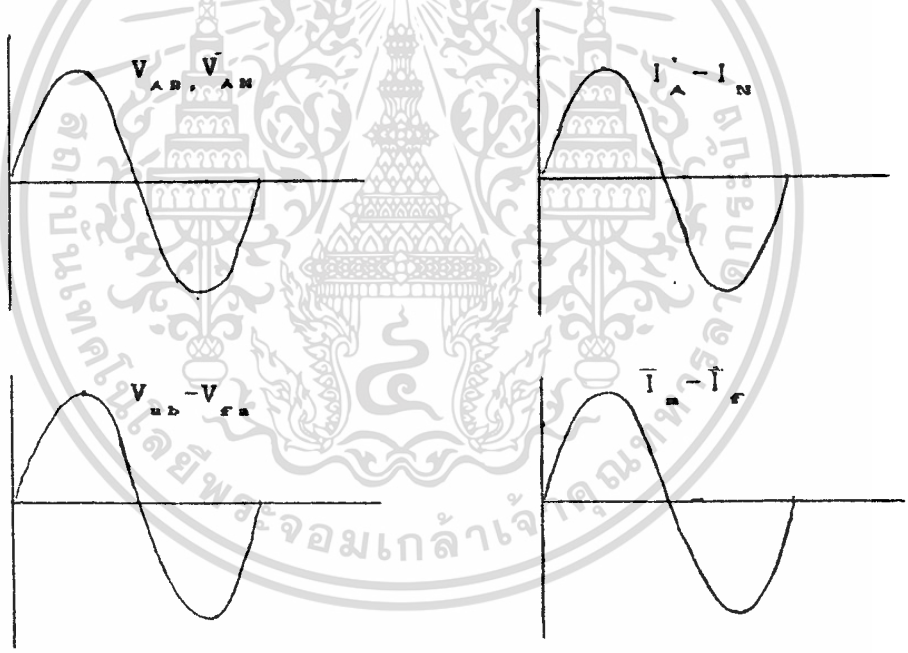
PHASE	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-a
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	57.60	63.00	58.32	59.40	60.12	60.48

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสเป็นองศา (วัดตามวงรอบลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIMARY	VAB	VBC	VCA	VAN	VBN	VCN
	375	370	375	222	215	215
	IA	IB	IC	IN	-	-
	2.2	2	1.92	0.4	-	-
SECONDARY	Vab	Vbc	Vcd	Vde	Vef	Vfa
	220	234	222	227	227	229
	Van	Vbn	Vcn	Vdn	Ven	Vfn
	230	224	224	229	225	224
	Ia	Ib	Ic	Id	Ie	If
	1	0.75	0.9	0.95	0.9	0.9

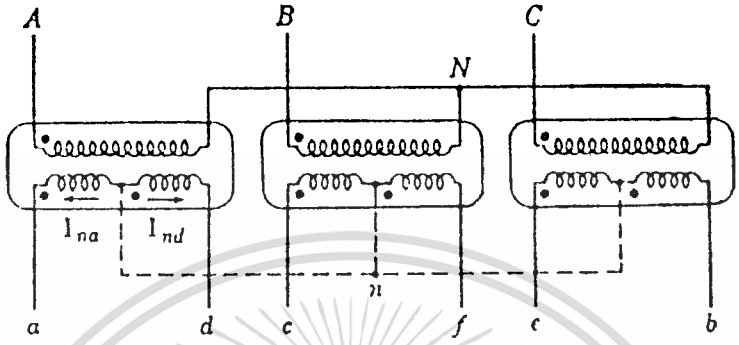
ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 6 เฟส Y แบบต่อนิวทรอล เข้าด้วยกัน



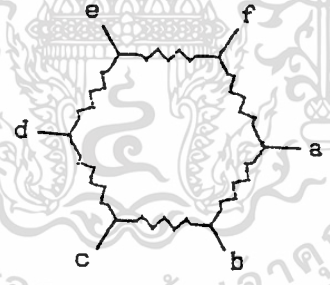
รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การต่อแบบตรงข้ามกันโดยที่ไม่มีนิวทรอล



รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านทุติยภูมิต่อเข้าด้วยกันโดยผ่านวงจรของโหลดและไม่มีนิวทรอล



รูปวงจรโหลดความต้านทานแบบ 6 เฟสสมดุลย์โดยที่ความต้านทานแต่ละตัวมีค่า 240 โอห์ม

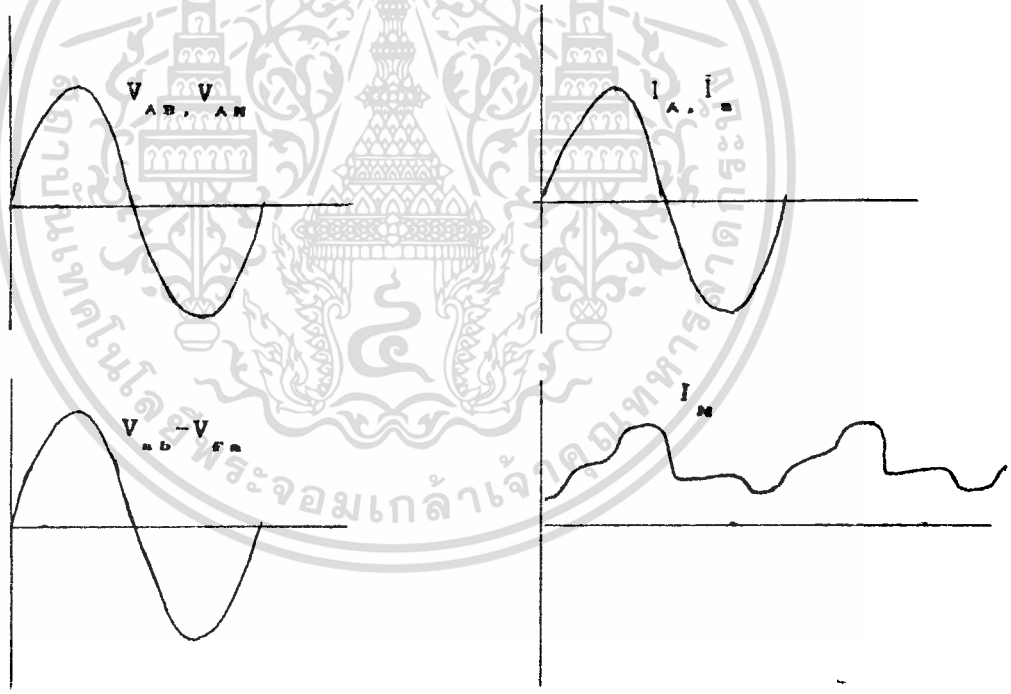
PHASE	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-a
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	59.40	59.40	58.68	58.32	62.28	58.68

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสเป็นองศา (วัดตามวงรอบลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIMARY	VAB	VBC	VCA	VAN	VBN	VCN
	380	370	380	223	220	218
	IA	IB	IC	IN	-	-
	2.1	2	1.9	0.3	-	-
SECONDARY	Vab	Vbc	Vcd	Vde	Vef	Vfa
	228	232	229	226	233	225
	Van	Vbn	Vcn	Vdn	Ven	Vfn
	234	222	230	228	230	221
	Ia	Ib	Ic	Id	Ie	If
	0.78	0.90	0.98	0.98	0.98	0.92

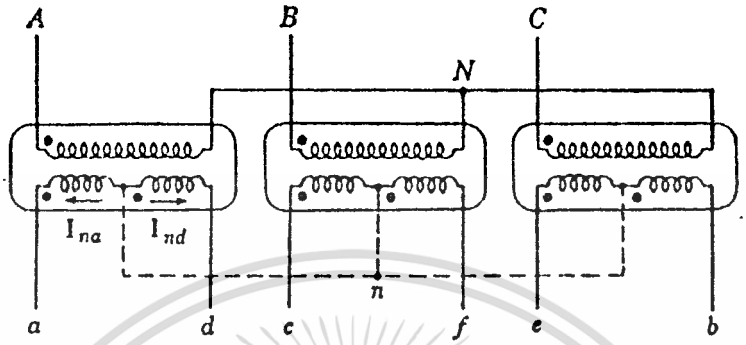
ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 6 เฟสแบบต่อข้ามกันและไม่มีนิวทรอล



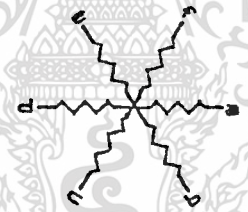
รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 การต่อแบบตรงข้ามกันโดยที่ไม่มีนิวทรอลและต่อกับวงจรโหลดแบบ Y



รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านทุติยภูมิต่อเข้าด้วยกันโดยผ่านวงจรของโหลดและไม่มีนิวทรอล



รูปวงจรโหลดความต้านทานแบบ 6 เฟสสมดุลย์โดยที่ความต้านทานแต่ละตัวมีค่า 240 โอห์ม ต่อคล้าย Y แบบ 6 เฟส

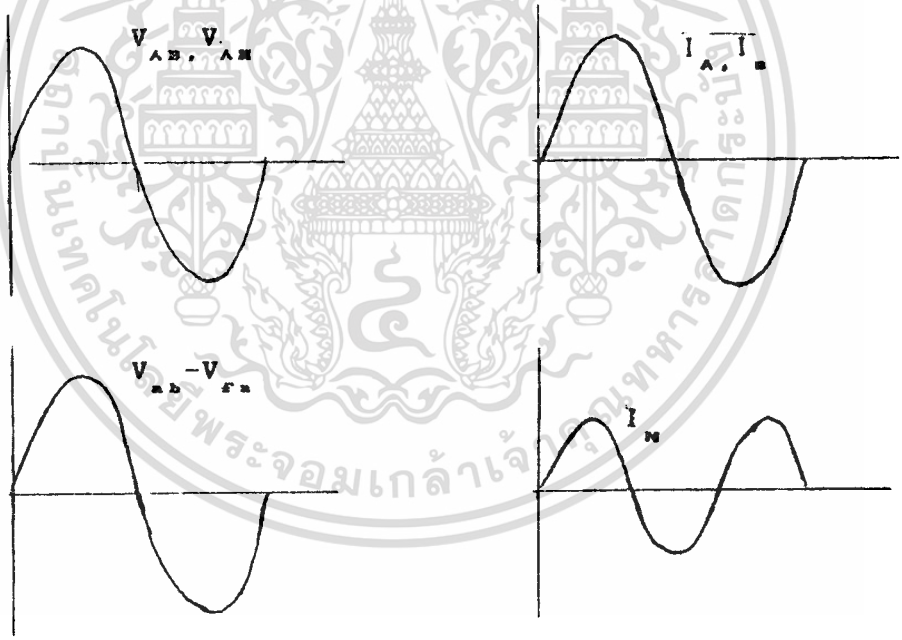
PHASE	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-a
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	59.40	62.28	58.45	61.23	58.35	60.20

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสเป็นองศา (วัดตามวงรอบลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIMARY	VAB	VBC	VCA	VAN	VBN	VCN
	385	370	382	224	219	218
	IA	IB	IC	IN	-	-
	2.2	2	1.6	0.18	-	-
SECONDARY	Vab	Vbc	Vcd	Vde	Vef	Vfa
	225	233	227	228	233	225
	Van	Vbn	Vcn	Vdn	Ven	Vfn
	230	227	227	235	227	228
	Ia	Ib	Ic	Id	Ie	If
	0.93	0.78	0.95	0.90	0.92	0.98

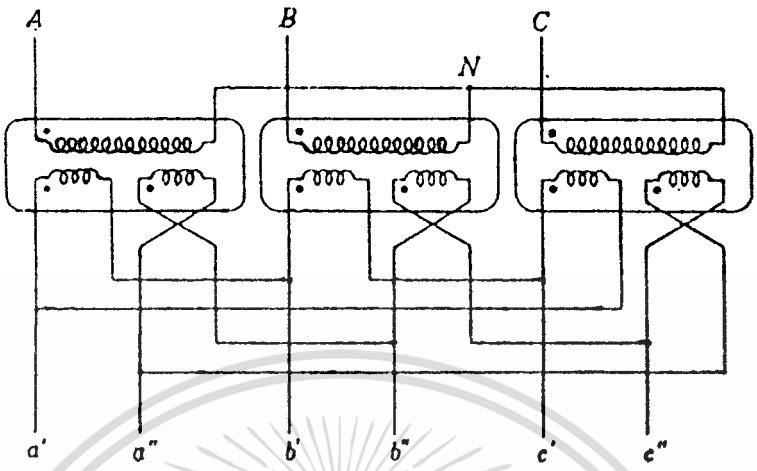
ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 6 เฟสแบบต่อข้ามกันโดยที่วงจรของโหลดคล้าย Y



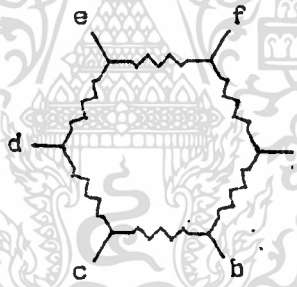
รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 การต่อ 6 เฟสแบบดับเบิ้ลเดลต้า



รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านทุติยภูมิต่อแบบดับเบิ้ล ▲



รูปวงจรโหลดความต้านทานแบบ 6 เฟสสมดุลย์โดยที่ความต้านทานแต่ละตัวมีค่า 240 โอห์มต่อคล้าย ▲ แบบ 6 เฟส

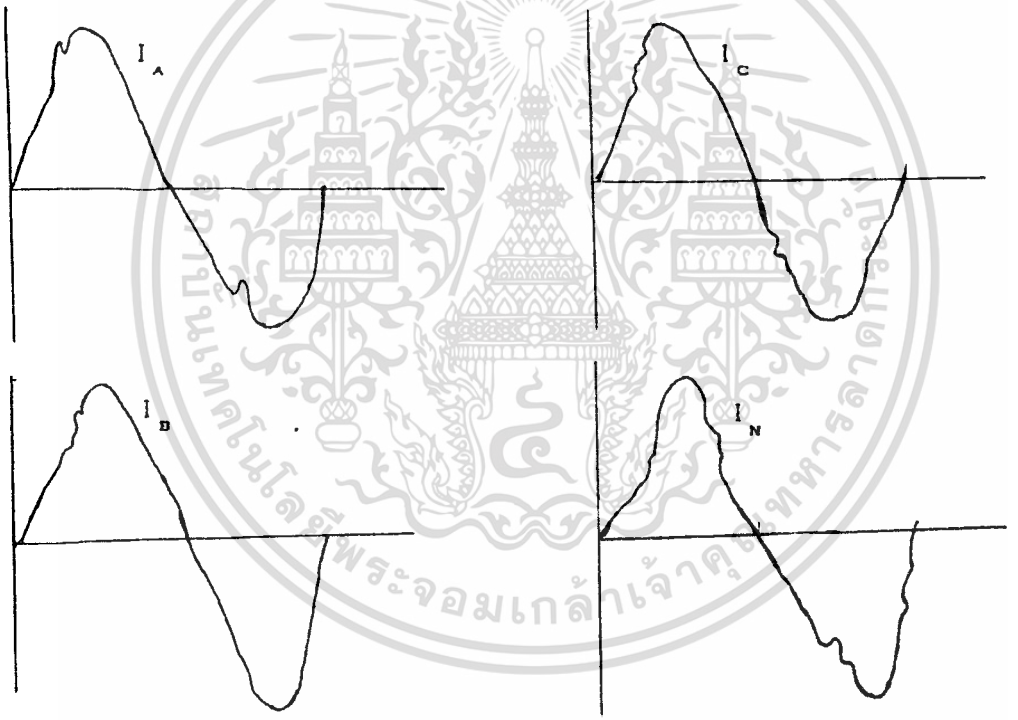
PHASE	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-a
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	63.00	61.20	55.80	61.20	59.40	57.60

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสเป็นองศา (วัดตามวงรอบลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

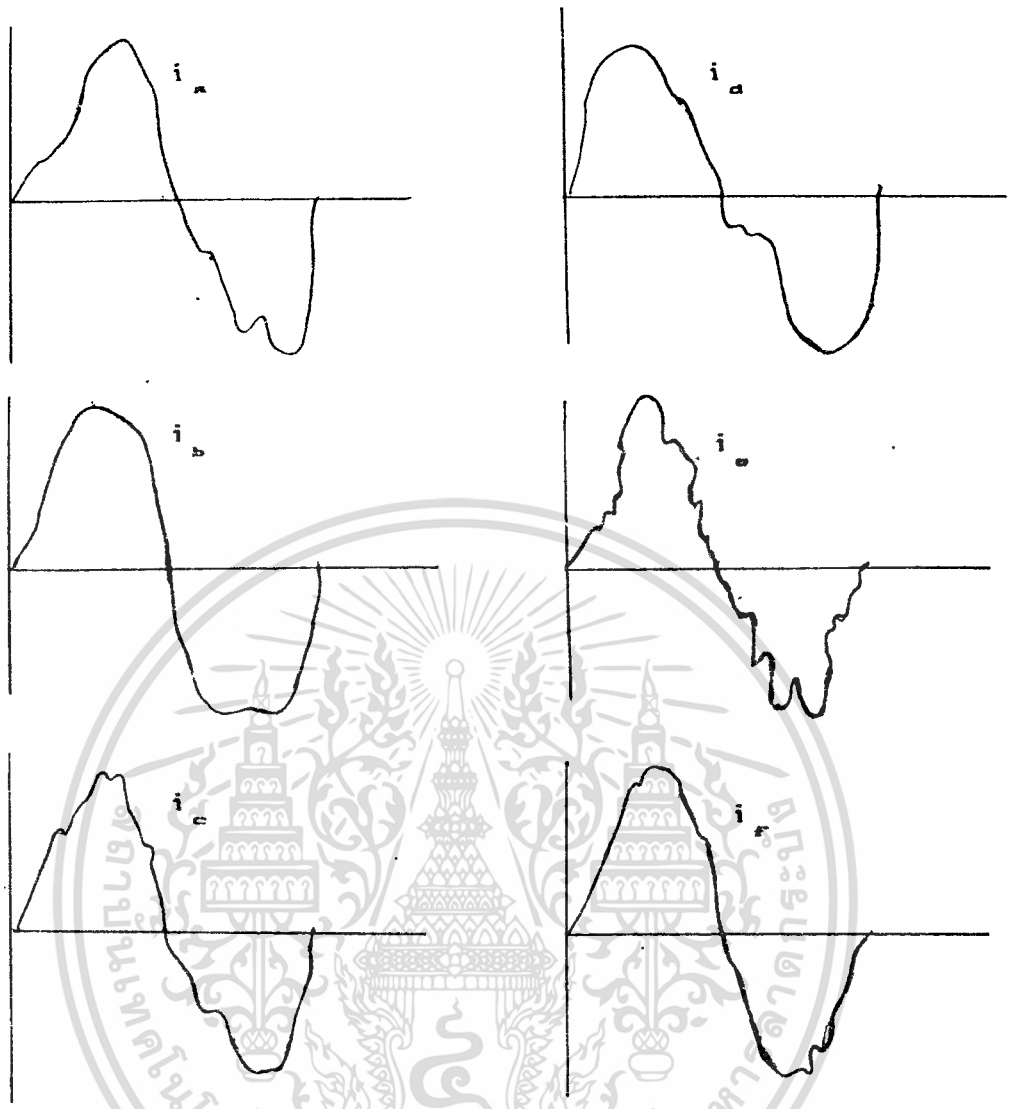
PRIMARY	VAB	VBC	VCA	VAN	VBN	VCN
	380	380	381	225	220	219
	IA	IB	IC	IN	-	-
	1.2	0.90	0.40	1.1	-	-
SECONDARY	Vab	Vbc	Vcd	Vde	Vef	Vfa
	139	135	129	140	134	130
	Van	Vbn	Vcn	Vdn	Ven	Vfn
	-	-	-	-	-	-
	Ia	Ib	Ic	Id	Ie	If
	0.60	0.50	0.58	0.60	0.50	0.50

ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 6 เฟสแบบดับเบิ้ล Δ



รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทางด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทางด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการศึกษาและทดลอง ในลักษณะของการแปลงเฟสโดยหม้อแปลง เป็นการต่อในลักษณะสมมาตร นั่นก็คือในวงจรการแปลงเฟสโดยที่ด้านทุติยภูมิเป็นแบบสตาร์ 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีเฟสตรงข้ามกัน ถ้าเพียงเท่านั้นเราจะได้แรงเคลื่อนเอาพุทด้านทุติยภูมิ 3 เฟสแบบสตาร์ จำนวน 2 ชุด แต่เมื่อเรานำนิวทรอลของทั้ง 2 ชุดมาต่อร่วมกัน เราก็จะได้แรงเคลื่อนเอาพุทด้านทุติยภูมิ 6 เฟสแบบสตาร์ เพราะทั้ง 2 ชุด 3 เฟสข้างต้นนั้นมีเฟสตรงข้ามกันดังรูป 5-1 ซึ่งในลักษณะของอีกรูปแบบหนึ่งในการต่อ คือเอาพุทด้านทุติยภูมิเป็นแบบเดลต้า ก็ใช้หลักการเดียวกันแต่จะได้แรงเคลื่อน 6 เฟสแบบเดลต้าแทน

ในการทดลองนี้เราจะสังเกตุได้ว่าค่าที่วัดได้ต่างๆ นั้น ในแต่ละเฟสใกล้เคียงกันมากไม่ว่าจะเป็นค่าของแรงเคลื่อนหรือค่าของกระแส เนื่องจากในการทดลองเราพยายามใช้โหลดที่มีค่าเท่าๆ กันในแต่ละเฟส หรือเราเรียกว่า "โหลดสมดุลย์ 6 เฟส " มีทั้งโหลดที่ต่อคล้าย Δ และโหลดที่ต่อคล้าย Y แต่เป็น 6 เฟส จากผลการทดลองเรามีการใช้โหลดแบบ Y เพื่อพยายามวัดค่าของกระแสนิวทรอล i_N แต่ก็ไม่สามารถวัดค่าได้เลย และถึงแม้จะมีการปลดสายนิวทรอลออกในการทดลองที่ 2 ก็จะสามารถให้ผลของแรงเคลื่อนเอาพุทเหมือนเดิม จากผลการทดลองเราสังเกตุได้ว่า พบฮาร์โมนิคที่ 3 ในการทดลองที่ 2 และ 3 เมื่อวัดจากกระแสนิวตรอล i_N ด้านปฐมภูมิ แต่ก็มีค่าน้อยมากและไม่พบผลของฮาร์โมนิคในกระแสหรือแรงเคลื่อนที่อื่นๆ อีกเลย สำหรับเหตุผลของการเกิดฮาร์โมนิคนี้ เกี่ยวกับการต่อด้านทุติยภูมิที่ปลดสายนิวทรอลออก เกี่ยวกับผลของการต่อรูปแบบต่างๆ จะปรากฏฮาร์โมนิคอย่างไรนั้นดูได้ในบทที่ 3 และในส่วน 5(e) ของบทความนี้

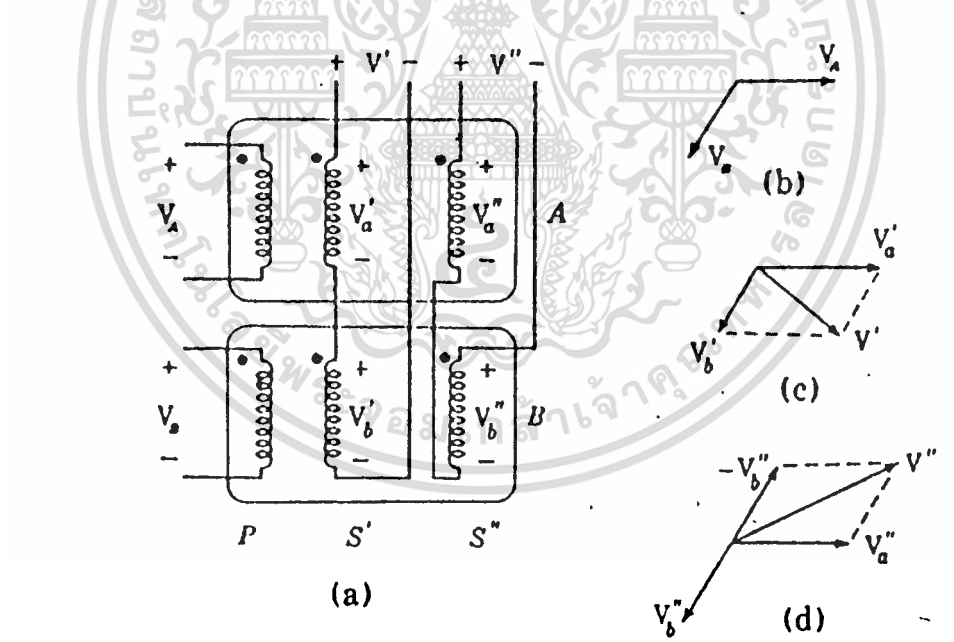
แม้ว่าเพียง 2-3 ตัวอย่างในจำนวนรูปแบบการต่อเพื่อการแปลงเฟสที่มีอยู่จำนวนมาก แต่จากรายละเอียดคร่าวๆ ข้างต้นก็เป็นหลักการทั่วๆ ไป มันเป็นการแปลงระบบกำลังไฟฟ้าหลายเฟสที่มีจำนวนเฟสแบบหนึ่ง ไปสู่ระบบกำลังไฟฟ้าหลายเฟสด้วยจำนวนเฟสอื่นๆ อีกแบบหนึ่ง โดยการใช้การต่อวงจรหม้อแปลงด้วยจำนวนขดลวดที่มีการต่อเข้าด้วยกันด้านทุติยภูมิอย่างพอเพียงก็จะสามารถกระทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การแปลงเฟสโดยการต่อแบบข้ามทางด้านทุติยภูมิ

การต่อหม้อแปลงเพื่อวัตถุประสงค์ในการแปลงเฟสของระบบไฟฟ้าสามารถทำได้โดยไม่มีข้อกำจัดในด้านจำนวนของเฟสและแรงเคลื่อน ดังนั้นการจะพิจารณาในเรื่องของการแปลงเฟสจะมาดูกันโดยพิจารณาหม้อแปลง 2 ตัว คือหม้อแปลง A และหม้อแปลง B ดังแสดงในรูป 6-1a. จะเห็นได้ว่ามีการแยกขดลวดออกเป็น 2 ชุด คือชุดปฐมภูมิและชุดทุติยภูมิ ให้ขดลวดทางด้านทุติยภูมิมีขดลวด 2 ขดต่อหม้อแปลง 1 ตัว และ VA,VB เป็นแรงเคลื่อนที่ต่อทางด้านปฐมภูมิซึ่งจะแสดงในรูปของเวคเตอร์ที่แสดงในรูป 6-1b. การรวมกันทางเวคเตอร์แสดงให้เห็นถึงมุมต่างเฟสกันระหว่างแรงเคลื่อน 2 ชุดคือ VA และ VB ที่จ่ายมาจากระบบไฟฟ้าภายนอกในที่นี้เราจะให้แรงเคลื่อนของกลุ่ม s' ทางด้านทุติยภูมิประกอบไปด้วยแรงเคลื่อน Va และ Vb ส่วนแรงเคลื่อนของกลุ่ม s" ประกอบไปด้วยแรงเคลื่อน Va" และ Vb" แสดงในรูป 6-1a.



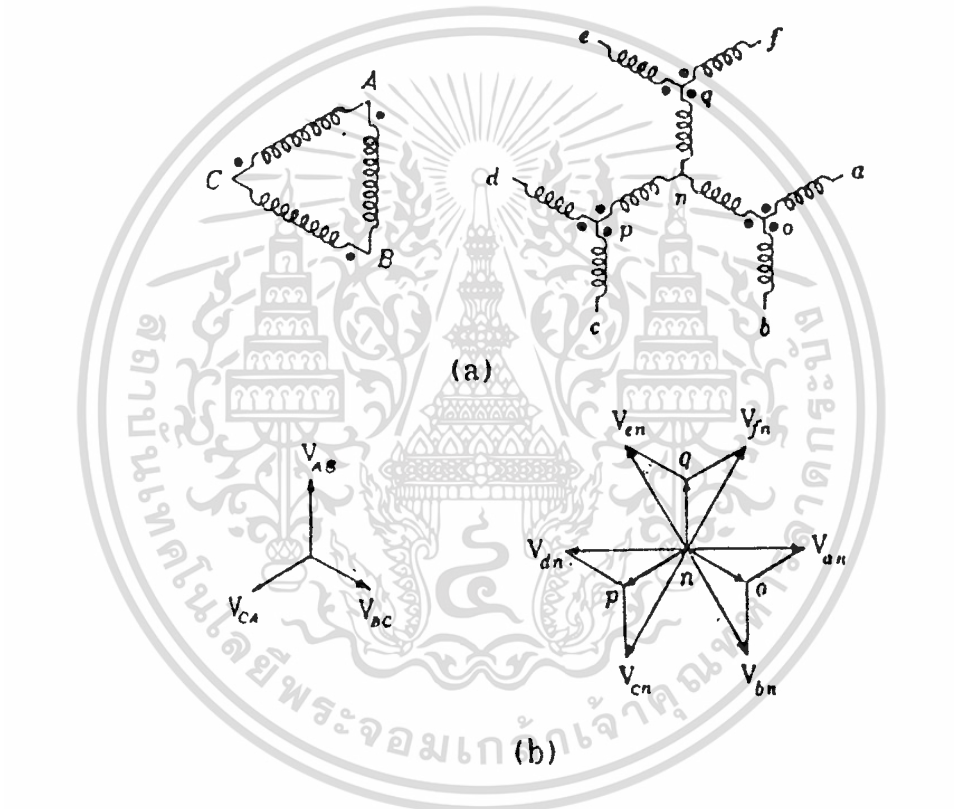
รูปที่6-1 การแปลงเฟสในการต่อทางด้านทุติยภูมิ

ถ้าในที่นี้ให้ลีคเกจอิมพีแดนซ์ซึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมมีค่าน้อยมากเพื่อสะดวกในการรวมกันทางเวคเตอร์ และให้แรงเคลื่อน Va,Va" เป็นเฟสเดียวกันกับ VA ให้ Vb และ Vb" เป็นเฟสเดียวกันกับ VB ด้วยซึ่งจะแสดงในรูปของเวคเตอร์ไดอะแกรม การแปลงเฟสทำได้โดยการต่อของชุดแรกคือกลุ่ม s เอาขดลวดทั้งสองในกลุ่มมาต่อกันแบบอนุกรมดังรูป 6-1a. จะให้แรงเคลื่อนลัพธ์รวมออกมาจากการรวมกันของ Va และ Vbได้เท่ากับ V

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงในรูป6-1c. แรงเคลื่อนที่ได้ออกมานี้เป็นการรวมของแรงเคลื่อนและระยะห่างระหว่างเฟสของเวคเตอร์ Va และ Vbถ้าต่อในทิศทางตรงกันข้ามกับแบบแรก แรงเคลื่อนลัพธ์และระยะห่างระหว่างเฟสก็จะตรงกันข้ามกับแบบแรกด้วยและในที่นี้จะกำหนดให้ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง B ต่อกันแบบตรงกันข้ามกับชุดแรก ดังนั้นจะได้แรงเคลื่อนลัพธ์ออกมาอีกชุดหนึ่งเป็น V" ซึ่งแสดงในรูป 6-1d.

6(a) การต่อแบบฟอคเกคสตาร์หรือดับเบิ้ลซิคแซค (Forked - Y or Double - zigzag Connection)



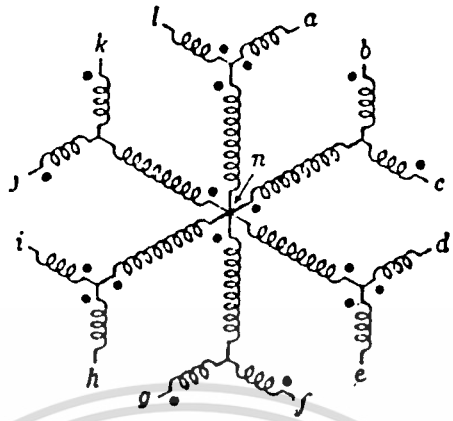
รูปที่ 6-2 การต่อแบบฟอคเกคสตาร์หรือดับเบิ้ลซิคแซค

การต่อแบบฟอคเกคสตาร์เป็นการต่อที่จะต้องใช้ขดลวดในการต่อหลายชุด ในการนำขดลวดมาต่อนั้นจะมาจากหม้อแปลง 3 เฟสหรือแบบ 1 เฟส 3 ตัวก็ได้ แต่มีข้อแม้ว่าขดลวดปฐมภูมิจะต้องมีอย่างน้อย 1 ขด และขดลวดทุติยภูมิจะต้องมีอย่างน้อย 3 ขด ใน 1 ชุด แล้วนำมาต่อกันดังรูปที่แสดงไว้ สำหรับขดลวดปฐมภูมิจะต่อแบบ Δ หรือ Y ก็ได้แต่ในตัวอย่างจะต่อแบบ Δ เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนให้กับทางด้านปฐมภูมิเป็นแบบ 3 เฟส ก็จะสามารถจ่ายแรงเคลื่อนเป็น 6 เฟสออกมาทางด้านทุติยภูมิ

ข้อสำคัญในการต่อของขดลวดทางด้านทุติยภูมิจะต้องให้ขั้วที่มีเครื่องหมายจุดถูกต้องตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6(b) การต่อแบบควอดรูเพิ้ลซิคแซค (Quadruple - Zigzag Connection)



รูปที่ 6-3 การต่อแบบควอดรูเพิ้ลซิคแซค

การต่อแบบครอดรูเพิ้ลซิคแซคเป็นการแปลงเฟสจาก 3 เฟสเป็น 12 เฟส การต่อแบบนี้เป็นการต่อที่มีลักษณะคล้าย ๆ กับการต่อแบบฟอคเกคสตาร์ แต่การต่อการจะมีขดลวดหลายชุดกว่าโดยจะต้องมีขดลวดทางด้านทุติยภูมิอย่างน้อย 6 ขดต่อ 1 ชุด สำหรับการต่อจะแสดงในรูปที่ 6-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

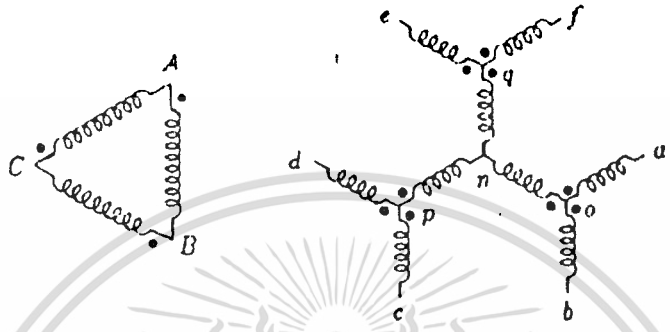
แนวการทดลอง

ในบทนี้ การทดลองเป็นการศึกษาถึงเรื่องการแปลงเฟสแบบข้ามทางด้านทุติยภูมิจากระบบ 3 เฟสไปเป็น 6 เฟส

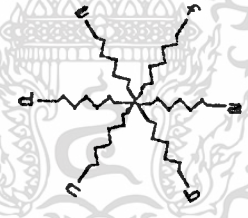
การทดลองที่ 1 เป็นลักษณะการแปลงเฟสแบบฟอคเกดสตาร์หรือดับเบิ้ลซิคแซค(Forked -Y or Double-Zigzag connections) โดยด้านปฐมภูมิต่อแบบ Δ ด้านทุติยภูมิต่อแบบ Y 2 ชุด จะให้แรงเคลื่อนออกมาเป็น 6 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การต่อแบบฟอคเกดสตาร์หรือดับเบิ้ลซิคแซค (Forked-Y or Double zigzag connections)



รูปวงจรการทดลองโดยที่ขดลวดด้านทุติยภูมิทั้ง 3 กลุ่มต่อแยกออกจากกันเป็น 6 แฉก



รูปวงจรโหลดความต้านทานแบบ 6 เฟสสมดุลย์โดยที่ความต้านทานแต่ละตัวมีค่า 240 โอห์มต่อคล้าย Y แบบ 6 เฟส

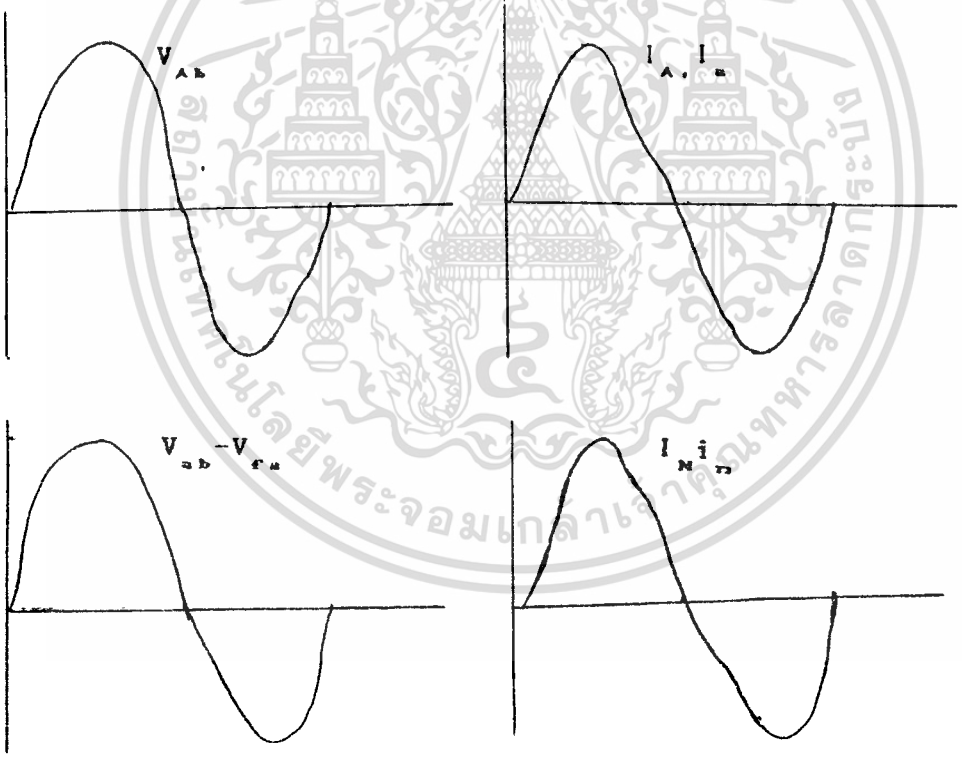
PHASE	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-a
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	61.20	56.70	61.20	61.20	55.80	63.00

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสเป็นองศา (วัดตามวงรอบลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIMARY		VAB	VBC	VCA	VAN	VBN	VCN
		212	213	214	-	-	-
		IA	IB	IC	IN	-	-
		4.8	4.9	4.8	-	-	-
SECONDARY		Vab	Vbc	Vcd	Vde	Vef	Vfa
		385	365	385	370	355	390
		Van	Vbn	Vcn	Vdn	Ven	Vfn
		380	385	385	375	365	365
	In	Ia	Ib	Ic	Id	Ie	If
	0.12	0.75	0.78	0.80	0.70	0.60	0.65

ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 6 เฟสแบบฟอคเกคสตาร์หรือดับเบิ้ลซิคแซค



รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การต่อหม้อแปลงสำหรับการแปลงเฟสแบบข้ามทางด้านทุติยภูมินั้น จุดสำคัญอยู่ที่การต่อขดลวดภายในของหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิ เพื่อที่จะทำให้เกิด Phase Displacement ระหว่างกันในแต่ละเฟสดังรูปที่ 6-1 ไม่ว่าจะเป็นแบบฟอคเกคสตาร์หรือแบบควอดรูเพิ้ลซิคแซค หลักการต่อเป็นแบบเดียวกันจะแตกต่างกันเล็กน้อยอยู่ที่จำนวนของเฟสที่ต้องการต่อ สำหรับแบบฟอคเกคสตาร์จะเป็นการต่อให้เป็น 6เฟส ที่มีมุมต่างกัน 60 องศาและ แบบควอดรูเพิ้ลซิคแซค เป็นการต่อให้เป็น 12 เฟส ที่มีมุมต่างกัน 30 องศา

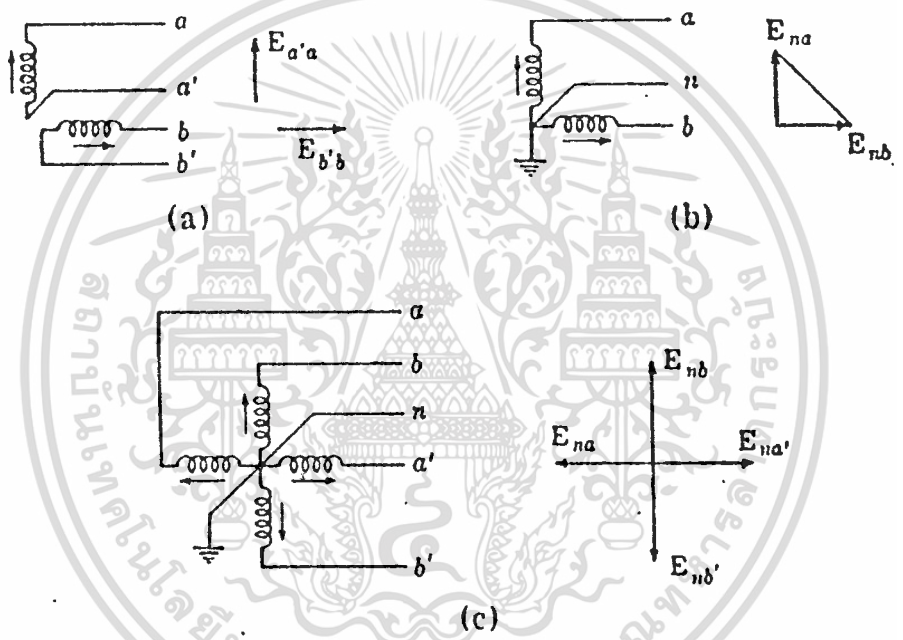
ประโยชน์ของการต่อแบบฟอคเกจสตาร์และแบบควอดรูเพิ้ลซิคแซคนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะนำไปใช้กับงานเฉพาะด้านเช่น ชุดคอนโทรลเรกติฟายซ์แบบ 6 เฟส และ 12 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การแปลงจากระบบ 3 เฟสไปเป็น 2 เฟส

ในระบบแรงเคลื่อนสมดุลย์ 2 เฟส จะประกอบด้วยแรงเคลื่อน 2 ชุดที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา ในรูปที่ 7-1ได้แสดงถึงแบบต่างๆ ของระบบ 2 เฟสที่ใช้กันอยู่ซึ่งขดลวดนั้นใช้แทนตัวกำเนิดไฟฟ้าหรือแทนขดลวดของหม้อแปลงที่สามารถเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ ทิศทางของลูกศรนั้นแสดงถึงเฟสที่ต่างกัน 90 องศา ในระบบ 2 เฟส 4 สายนั้นแต่ละเฟสเป็นอิสระจากกัน



รูปที่ 7-1 แสดงถึงแบบต่างๆ ของระบบ 2 เฟส 7-1a. 4 สาย ,7-1b. 3 สาย 7-1c.5 สาย แบบ 5 สาย 7-1c. นั้นสามารถแทนได้ด้วยการต่อแบบสตาร์ของระบบ 4 เฟส ตามรูป 7-1b.นั้นแสดงถึงระบบ 2 เฟส 3 สาย แต่ถ้าขดลวดนั้นได้ต่อรวมกันที่จุดที่เป็นกลางแล้วจะเป็นแบบ 5 สายตามรูป 7-1c. การต่อแบบตามรูป 7-1c. นั้นจะมีความถูกต้องมากกว่าระบบ 4 เฟส แต่ที่ใช้กันมากนั้นจากรูปที่ 7-1 จะใช้กันมากในการแปลงเฟสไปเป็น 2 เฟส สำหรับการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าจาก 3 เฟสเป็น 2 เฟสนั้นอาจจะใช้หม้อแปลงทั่วๆไป บางครั้งอาจจะใช้หม้อแปลงแบบออโตก็ได้ วงจรข้างล่างนี้สามารถที่จะใช้เป็นรูปแบบของ การส่งกำลังเป็นแบบ 2 เฟส 3 เฟสและ 1 เฟส 3 สายได้ รูปแบบของการต่อสามารถอธิบายได้ข้างล่างนี้

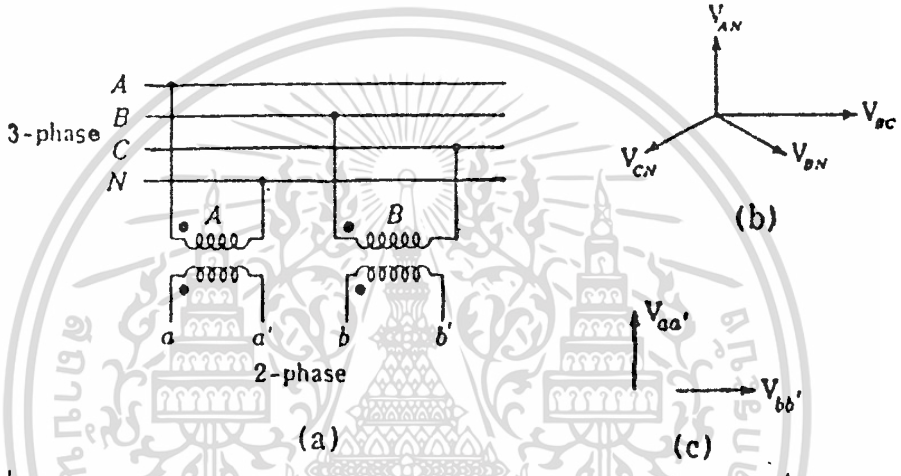
7(a) การแปลงระบบจาก 3 เฟส 4 สายไปเป็นระบบ 2 เฟส

ในระบบ 3 เฟสสมดุลย์ที่มีการต่อแบบสตาร์นั้น แรงเคลื่อนระหว่างไลน์ V_{ac} นั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งฉากกับแรงเคลื่อนเฟส V_{AN} ของระบบ ในระบบ 2 เฟสสมดุลย์นั้นจะได้จากขดลวดทางทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้งสองที่มีขดปฐมภูมิต่อตามรูป 7-2a. ในรูปนี้ขดลวดทางทุติยภูมิเป็นอิสระจากกัน แต่ถ้าออกแบบดีๆ แล้วสามารถที่จะต่อเป็นแบบ 3 สาย หรือแบบ 5 สายก็ได้

เวคเตอร์ไดอะแกรมทางด้านปฐมภูมิและทางด้านทุติยภูมิได้แสดงไว้ในรูป 7-2b. และ 7-2c. จากสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง B เป็น $\sqrt{3}$ เท่าของหม้อแปลง A ดังนั้นอัตราส่วนจำนวนรอบ N_1/N_2 ของหม้อแปลง B ก็จะต้องเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของหม้อแปลง A ด้วยสำหรับเอ้าพุท 2 เฟสสมดุลย์ ข้อเสียของรูปแบบการต่อแบบนี้คือต้องหาอินพุท 3 เฟส 4 สายและกระแสของ 3 เฟสนั้นไม่สมดุลย์



รูปที่ 7-2 แสดงการต่อหม้อแปลงจากระบบ 3 เฟส 4 สาย เป็นระบบ 2 เฟส

โดยทั่วๆ ไปในการใช้งานจริงนั้น ถ้าแรงเคลื่อนระหว่างไลน์หรือแรงเคลื่อนระหว่างเฟสของระบบไฟ 3 เฟสเหมือนกับ 2 เฟสแล้ว หม้อแปลง 1 ตัวสามารถที่จะละเลยได้ส่วนอีกตัวหนึ่งสามารถแทนด้วยหม้อแปลงแบบออโต

7(b) การต่อแบบสก๊อต (Scott Connection)

การต่อแบบสก๊อตนั้นได้แสดงการต่อไว้ในรูปที่ 7-3a. หม้อแปลง M เป็นหม้อแปลง "main" มีขดลวดเดี่ยวที่มีปลายทั้งสองคือ bb โดยมีแทปที่จุดกึ่งกลางของขด BOC ทางด้าน 3 เฟส ขณะที่หม้อแปลง T "teaser" โดยที่แต่ละด้านจะมีขดลวดอยู่หนึ่งขด หม้อแปลงทั้งสองนั้นมีอัตราส่วนที่ต่างกันตามที่ได้แสดงไว้ข้างล่างนี้

ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นจะไหลจาก 3 เฟส ซึ่งสามารถที่จะอธิบายการทำงานได้ดังนี้ โดยกำหนดให้ขดลวดทั้งสองคือ aa และ bb เป็นขดลวดทางด้านปฐมภูมิถ้าทั้งสองเฟสนั้นสมดุลย์คือ Vaa และ Vbb ตามรูป 7-3b. ได้ป้อนเข้ากับขดลวดทั้งสองเฟสค่าแรงเคลื่อนลัคเกจนั้นน้อยมากจึงไม่นำมาคิด เวคเตอร์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดทั้งสามทางด้าน 3 เฟสนั้นแสดงโดยเวคเตอร์ V_{AO}, V_{BO} และ V_{OC} ในรูป 7-3c. ขณะที่ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ถูกกำกับโดยชื่อข้างท้ายเรียงตามลำดับ V_{AO} มีทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเดียวกันกับ Vaa ส่วน V_{BO} ,V_{OC} มีทิศทางเดียวกันกับ Vbb ตามที่ได้แสดงไว้ในรูป 7-3a. ในรูป 7-3a. จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ทางด้าน 3 เฟส คือ

$$V_{AB} = V_{AO} + V_{OB} \quad (1)$$

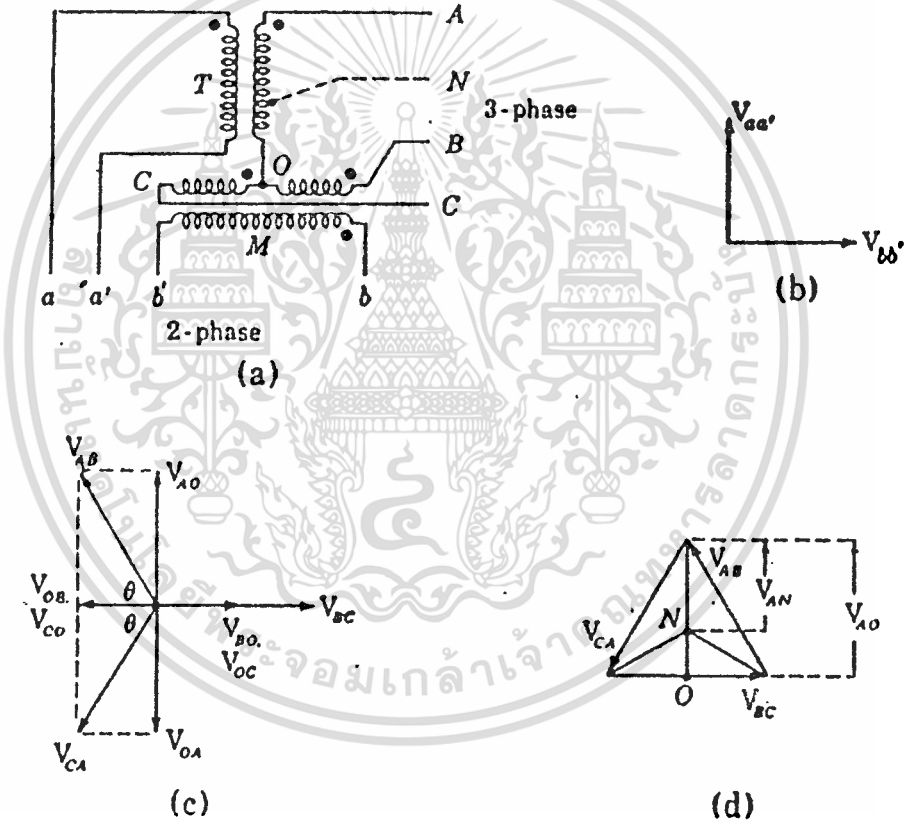
$$V_{BC} = V_{BO} + V_{OC} \quad (2)$$

$$V_{CA} = V_{CO} + V_{OA} \quad (3)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหล่านี้แสดงไว้ในรูป 7-3c. ถ้าสมมติว่าระบบไฟ 3 เฟสนั้นสมดุลย์ มุม O ตามรูป 7-3c. นั้นจะต้องเป็น 60 องศา ดังนั้น

$$V_{AO}/V_{AB} = \sin 60$$

$$= 0.866 \quad (4)$$



รูปที่ 7-3 การต่อแบบสก๊อตสำหรับการแปลงเฟสจากระบบ 3 เฟสเป็น 2 เฟสและเวคเตอร์ไดอะแกรมของแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ทางด้าน 3เฟส หม้อแปลง"teaser"ทางด้าน T ทำงานที่ 0.866 ของแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ของ 3 เฟส ดังนั้นถ้า "main"และ "teaser" เป็นหม้อแปลงที่มีจำนวนรอบเท่ากัน ดังนั้นจะมีค่าเป็น 0.866 เท่าของด้านที่พันจำนวนมากรอบในการพันแบบ 3 เฟส ของขด AO ของ "teaser" ตามที่อยู่ในขด BC ของหม้อแปลง "main"

จากเวคเตอร์ไดอะแกรมสามารถวาดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าได้ดังแสดงในรูปที่ 7-3d. จะเห็นได้ว่าแรงเคลื่อน V_{AO} ของหม้อแปลง "teaser" มีเฟสเดียวกันกับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนไลน์เทียบกับนิวทรอลของเฟส A ของระบบสมมาตร จุดนิวทรอลที่จะยอมรับได้ถ้าต้องการให้แรงเคลื่อน V_{AN}, V_{BN}, V_{CN} มีค่าเท่ากันสามารถที่จะทำได้โดยปรับจุดแทป N ที่หม้อแปลง 3 เฟสของขดลวด T จากสมการที่ 4 จะได้

$$V_{AO} = \sqrt{3}/2\ V_{line} \qquad (5)$$

และเนื่องจากระบบสมดุลย์ จะได้

$$V_{AN} = 1/\sqrt{3}\ V_{line} \qquad (6)$$

$$V_{AN}/V_{AO} = (1/\sqrt{3})*(2/\sqrt{3})$$

$$= 2/3 \qquad (7)$$

ถ้าขดลวดของหม้อแปลง "teaser"ได้แทปที่จุด N เพื่อว่า 2/3 ของรอบอยู่ระหว่าง A กับ N ดังแสดงในรูปที่ 7-3a.จุด N นี้คือ จุดนิวทรอลของระบบไฟ 3 เฟส

7(c) การต่อแบบ T (T-Connection)

ถ้าทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเหมือนกับทางด้าน 3 เฟสของการต่อแบบสก๊อต กำลังไฟฟ้าถูกส่งผ่านจาก 3 เฟสไปยัง 3 เฟส การต่อในลักษณะนี้เรียกว่า"การต่อแบบ T"ซึ่งก็คือ วิธีของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยหม้อแปลง 2 ตัว ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งหม้อแปลงแบบออโตและหม้อแปลงที่แยกขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิถึงแม้ว่าการต่อแบบ T จะไม่ทำให้จำนวนเฟสเปลี่ยนแปลงไปเหมือนกับการต่อแบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ที่นำมากล่าวเพราะการต่อแบบนี้คล้ายกับการต่อแบบสก๊อต

เมื่อทั้งทางด้านปฐมภูมิและทางด้านทุติยภูมิได้ต่อในรูปแบบ T แรงเคลื่อนทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง "main" จะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ของขดปฐมภูมิและทุติยภูมิของ 3 เฟส แต่แรงเคลื่อนของขดปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง "teaser"จะมีค่าเท่ากับ 0.866 ของแรงเคลื่อนของขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ (ดูสมการที่ 4) การต่อในลักษณะนี้แตกต่างจากการต่อแบบสก๊อตนั้นก็คือ อัตราส่วนของหม้อแปลงทั้งสองควรที่จะเหมือนกันและกระแสที่ไหลในหม้อแปลงทั้งสองคือ กระแสไลน์ของ 3 เฟส หม้อแปลง "teaser"จะมีกระแสแรงเคลื่อนในทิศทางเดียวกันกับหม้อแปลง"main" แต่ควรจะทำงานที่ 0.866 ของอัตราพิกัดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งดีกว่าที่จะใช้หม้อแปลง "teaser" ออกแบบให้ใช้งาน 0.866 ของอัตราของแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ของ 3 เฟส ดังนั้นหม้อแปลงทั้งสองจะเปลี่ยนกันไม่ได้

การกำหนดกระแสแรงเคลื่อนของระบบ 3 เฟสที่มีโหลดสมดุลย์คือ $\sqrt{3}\ V_{line}\ I_{line}$ และดังนั้นถ้า V_2 และ I_2 คืออัตราพิกัดกำลังของแรงเคลื่อนและกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง "main" อัตราของโวลท์-แอมป์ของการขนานของ 3 เฟส คือ $\sqrt{3}\ V_2 I_2$

ในด้านการคำนวนอัตราส่วนของการขนานของ 3 เฟส กับผลรวมของอัตราของหม้อแปลง ถ้าหม้อแปลง"teaser" มีอัตราของกระแสและแรงเคลื่อนเดียวกันกับหม้อแปลง"main"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของอัตราของหม้อแปลงคือ $2V_2I_2$ ซึ่งจะได้

$$(\sqrt{3}\ V_2I_2)/(2\ V_2I_2) = 0.866 \qquad (8)$$

สิ่งนี้เหมือนกับการขนานแบบ โอเพน-เดลต้า (Open - Delta) อย่างไรก็ตามถ้าหม้อแปลง "teaser" ถูกออกแบบการทำงานที่ 0.866 ของแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ของ 3 เฟส นั่นคือ

$$(\sqrt{3}\ V_2I_2)/(V_2I_2 + 0.866\ V_2I_2) = (\sqrt{3})/(1+\sqrt{3}/2)$$

$$= 0.928 \qquad (9)$$

การต่อแบบ T-T นั้นจะไม่ใช้บ่อยนักเพราะถ้าหม้อแปลงสามารถเปลี่ยนกันได้ มันจะไม่มีข้อได้เปรียบมากกว่าแบบ โอเพน-เดลต้า (Open - Delta)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวการทดลอง

การทดลองในบทนี้เป็นการศึกษาถึงการแปลงจากระบบ 3 เฟสไปเป็น 2 เฟส ของหม้อแปลง นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการต่อแบบสก๊อตอีกด้วย

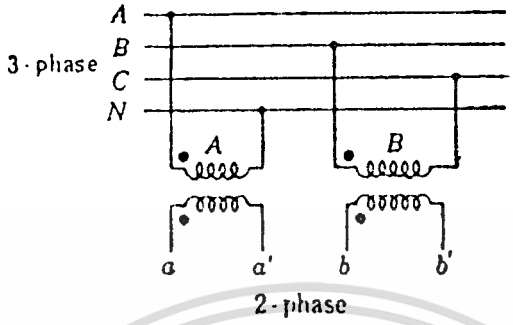
การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 เป็นการทำการแปลงไฟจากไลน์ 3 เฟสแบบ Y ไปเป็น 2 เฟส โดยใช้หม้อแปลง 1 เฟส 2 ตัว โดยเป็นการนำไฟจากไลน์และจากเฟสมาอย่างละ 1 ชุด

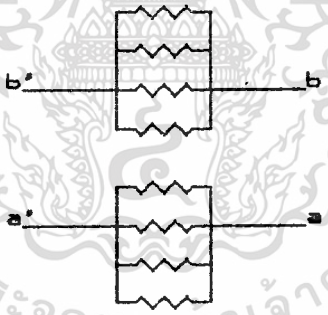
การทดลองที่ 2 เป็นการต่อแบบสก๊อต โดยใช้หม้อแปลง 1 เฟส 2 ตัวที่มีการต่อจุดร่วมกันทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง โดยเป็นการนำไฟจากไลน์ 3 เฟสมาเป็นอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 การแปลงไฟจากระบบ 3 เฟส 4สายเป็น 2 เฟส



รูปวงจรการทดลอง เป็นการนำไฟจากเฟสและไลน์จากระบบไฟ 3 เฟส 4 สายมาอย่างละ 1 ชุด



รูปวงจรโหลดเป็นความต้านทานค่า 240 โอห์มมาต่อขนานกัน 4 ตัวในแต่ละชุด

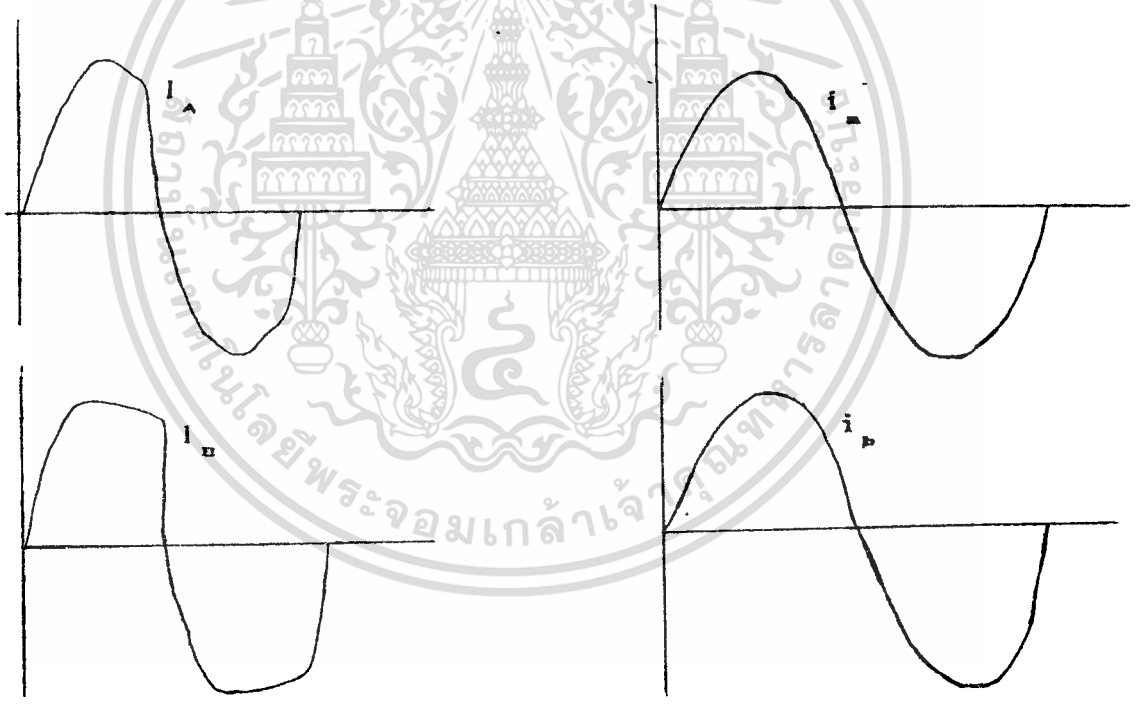
PHASE	a-b
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	90

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสโดยจับไลน์ข้างใดข้างหนึ่งของแต่ละชุดมารวมกันให้เป็นนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIMARY	VAB	VBC	VCA	VAN	VBN	VCN
	378	382	385	221	218	228
	IA	IB	IC	-	-	-
	0.56	0.40	0.40	-	-	-
SECONDARY	Vaa	Vbb	Van	Vbn	-	-
	78	80	78	80	-	-
	Ia	Ib	In	-	-	-
	1.30	1.02	1.70	-	-	-

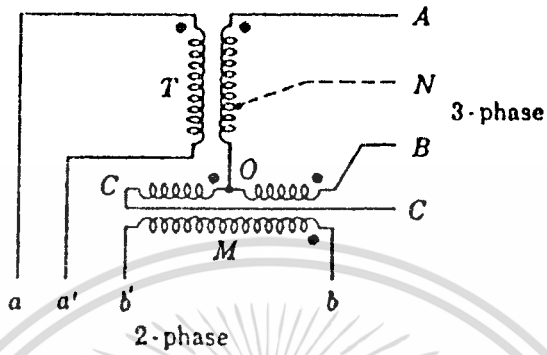
ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 2 เฟส จากระบบไฟ 3 เฟส 4 สาย



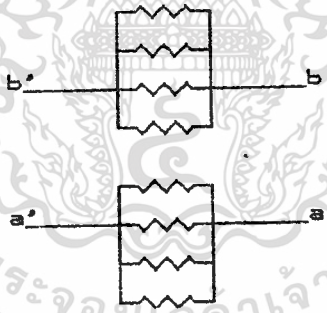
รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่2 การต่อระบบไฟ 2 เฟสแบบสก๊อต (Scott connection)



รูปวงจรการทดลองการต่อหม้อแปลงเพื่อรับไฟจากเฟสและไลน์อย่างละ 1 ชุด (ในที่นี้เราไม่ได้ต่อนิวทรอล)



รูปโหลดเป็นความต้านทานค่า 240 โอห์มมาต่อขนานกัน 4 ตัวในแต่ละชุด

PHASE	a-b
PHASE DISPLACEMENT (DEGREE)	90

ตารางแสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสโดยจับไลน์ข้างใดข้างหนึ่งของแต่ละชุดมารวมกันให้เป็นนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRIMARY	VOA	VOB	VOC
	330	193	193

PRIMARY	VAB	VBC	VCA
	382	383	381
	IA	IB	IC
	0.35	0.47	0.47
SECONDARY	Vaa'	Vbb'	-
	71	72	-
	Ia	Ib	-
	1.2	1.2	-

ตารางแสดงค่าแรงเคลื่อนและกระแสของวงจรการต่อ 2 เฟส แบบสก๊อต

รูปแสดงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนและกระแสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการศึกษาและทดลอง ในลักษณะของการแปลงเฟส โดยใช้หม้อแปลง 2 ตัวที่มีขดแต่ละขดแยกอิสระจากกัน โดยขดลวดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงตัวแรกต่อเข้ากับแรงเคลื่อนเฟส ส่วนอีกตัวหนึ่งต่อเข้ากับแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ โดยต่อเข้ากับระบบที่เป็นแบบสตาร์นั้น จากการวิจัยพบว่ารูปคลื่นของกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง B (ตัวที่ 2) นั้นเกิดผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยดังในรูปที่แสดงไว้ในผลการทดลอง สาเหตุอาจเกิดจากการผิดเพี้ยนของหม้อแปลง การต่อวิธีนี้มีข้อเสียคือต้องหาอินพุท 3 เฟส 4 สายมาป้อนให้ ส่วนการต่อแบบสก๊อต (Scott Connection) นั้นเป็นการนำหม้อแปลง 2 ตัวที่มีขดแต่ละขดแยกอิสระต่อกัน โดยที่หม้อแปลงตัวหนึ่งมีขดทุติยภูมิอยู่หนึ่งขด ส่วนอีกตัวหนึ่งมีอยู่สองขด แล้วนำมาต่อกันที่จุดกึ่งกลาง แล้วต่อเข้ากับระบบสามเฟสดังในรูปที่ 7-3 จากการวิจัยทดลองพบว่า เกิดฮาร์โมนิคของกระแสขึ้นที่ขดลวดทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงทั้งสอง ดังในรูปที่แสดงไว้ในผลการทดลอง ซึ่งสาเหตุของการเกิดฮาร์โมนิคนี้สามารถศึกษารายละเอียดได้ในบทที่ 3 และส่วน 5(e) ของบทความก่อนหน้านี้ นอกจากนี้แล้วเราสามารถคำนวณมุม θ ตามรูป 7-3c. ได้ดังนี้

$$\sin\theta = V_{CA}/V_{AB}$$
$$= 330/382$$
$$= 0.863$$
$$\theta = 59.75 \approx 60$$

ซึ่งจากการคำนวณนั้นสามารถสรุปได้ว่า หม้อแปลง "teaser" ทางด้าน T (V_{AO}) ทำงานที่ 0.863 ของแรงเคลื่อนระหว่างไลน์ของสามเฟส (V_{AB}) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_{AO}/V_{AB} = a = 0.863$$

จาก $N_1/N_2 = a$

จะได้ $N_1 = aN_2$

$$N_1 = 0.863\ N_2$$

เราสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า จำนวนรอบของด้าน V_{AO} จะมีค่าเป็น 0.863 เท่าของด้าน V_{AB} ซึ่งจากคุณสมบัติที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบหม้อแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 1

เรื่อง สภาวะไม่สมดุลย์ของระบบในการต่อแบบ Y-Y และนิวทรอลต่อเข้ากับแหล่งจ่าย

เรื่อง วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยไม่ต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่ายในสภาวะโหลดไม่สมดุลย์

เรื่อง สภาวะโหลดไม่สมดุลย์ในการต่อแบบ Y-Δ

เรื่อง การแปลงเฟสจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟสโดยการต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า (Double - Δ)

เรื่อง การแปลงเฟสจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟสโดยการต่อแบบฟอคเกคสตาร์ (Forked -Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1

เรื่อง สภาวะไม่สมดุลย์ของระบบในการต่อแบบ Y-Y และนิวทรอลต่อเข้ากลับแหล่งจ่าย

วัตถุประสงค์

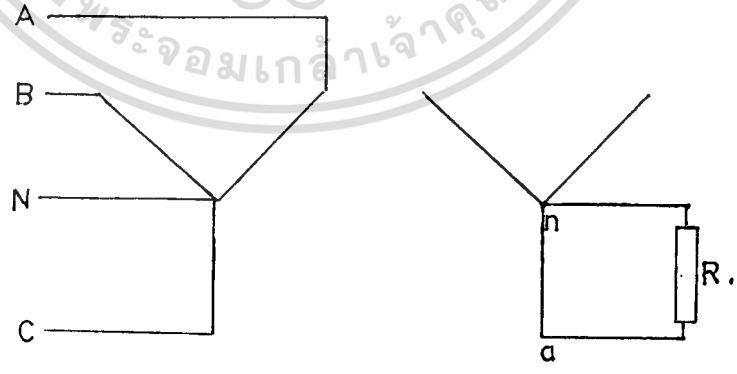
1. เพื่อศึกษาจากความสมดุลย์ของระบบเนื่องจากโหลดมีเพียงเฟสเดียว
2. สังเกตผลในทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อระบบไม่สมดุลย์
3. สังเกตปรากฏการณ์ทางด้านรูปคลื่นของพลังงานไฟฟ้า

อุปกรณ์

1. หม้อแปลง 1 เฟสจำนวน 3 ตัว
2. AC. Voltmeter
3. AC. Ampmeter
4. Multimeter
5. โหลดความต้านทาน 240 โอห์ม
6. Oscillocope
7. ตัวต้านทาน 0.1 โอห์ม 10 วัตต์

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรหม้อแปลง แบบ Y-Y ดังรูป



รูปวงจรหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย

2. ต่อโหลดความต้านทาน 240 โอห์ม เข้ากับเฟส a ทางด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จ่ายเข้าทางปฐมภูมิ 380 โวลท์ 3 เฟส 4 สาย ต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย

4. ใช้โวลท์มิเตอร์วัดค่าแรงเคลื่อน ใช้แอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแส ตามตำแหน่งต่างๆ ที่สามารถวัดค่าได้ แล้วบันทึกค่าลงในตาราง

5. นำค่าความต้านทาน 0.1โอหม์ 10 วัตต์ ต่ออนุกรมเข้าไปกับไลน์ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อวัดรูปคลื่นกระแส ถ้าพบรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปเพราะจากปรากฏการณ์ฮาร์โมนิค บันทึกรูปคลื่นที่ได้ทั้งแรงเคลื่อนและกระแสลงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

เรื่อง วงจรการต่อหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยไม่ต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่ายในสภาวะโหลดไม่สมดุลย์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษสภาวะไม่สมดุลย์ของระบบเนื่องจากโหลดมีเพียงเฟสเดียว
2. สังเกตผลในทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อระบบไม่สมดุลย์
3. ปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นเมื่อไม่ต่อนิวทรอล

อุปกรณ์

1. หม้อแปลง 1 เฟสจำนวน 3 ตัว
2. AC. Voltmeter
3. AC. Ampmeter
4. Multimeter
5. โหลดความต้านทาน 240 โอหม์
6. Oscillocope
7. ตัวต้านทาน 0.1 โอหม์ 10 วัตต์

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรหม้อแปลง แบบ Y-Y ดังรูป

รูปวงจรหม้อแปลงแบบ Y-Y โดยไม่ต่อนิวทรอล

2. ต่อโหลดความต้านทาน 240 โอหม์ เข้ากับเฟส a ทางด้านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จ่ายเข้าทางปฐมภูมิ 380 โวลท์ 3 เฟส 4 สายต่อสายนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย

4. ใช้โวลท์มิเตอร์วัดค่าแรงเคลื่อน ใช้แอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแส ตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่สามารถวัดค่าได้ แล้วบันทึกค่าลงในตาราง

5. นำค่าความต้านทาน 0.1 โอหม์ 10 วัตต์ ต่ออนุกรมเข้าไปกับไลน์ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อวัดรูปคลื่นกระแส ถ้าพบรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปเพราะปรากฏการณ์อาร์โมนิค บันทึกรูปคลื่นที่ได้ทั้งแรงเคลื่อนและกระแสลงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

เรื่อง สภาวะโหลดไม่สมดุลย์ในการต่อแบบ Y-Δ

วัตถุประสงค์

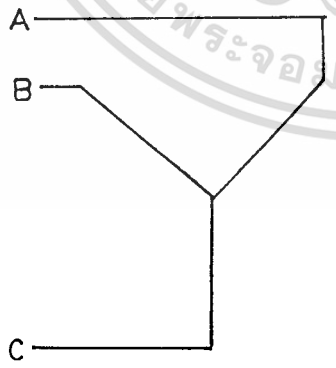
1. เพื่อศึกษาสภาวะไม่สมดุลย์ของระบบเนื่องจากโหลดมีเพียงเฟสเดียว
2. สังเกตผลในทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อระบบไม่สมดุลย์
3. สังเกตปรากฏการณ์ทางด้านรูปคลื่นของพลังงานไฟฟ้า

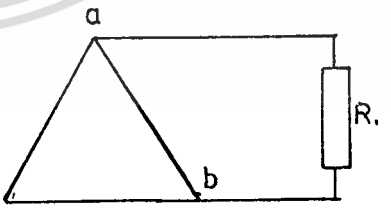
อุปกรณ์

1. หม้อแปลง 1 เฟสจำนวน 3 ตัว
2. AC. Voltmeter
3. AC. Ampmeter
4. Multimeter
5. โหลดความต้านทาน 240 โอห์ม
6. Oscillocope
7. ตัวต้านทาน 0.1 โอห์ม 10 วัตต์

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรหม้อแปลง แบบ Y-Δ ดังรูป





รูปวงจรหม้อแปลงแบบ Y-Δ โดยต่อนิวทรอลเข้ากับแหล่งจ่าย

2. ต่อโหลดความต้านทาน 240 โอห์ม เข้ากับไลน์ a และ b ทางด้านทุติยภูมิ
3. จ่ายไฟเข้าทางปฐมภูมิ 380 โวลท์ 3 เฟส 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้โวลท์มิเตอร์วัดค่าแรงเคลื่อน ใช้แอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแส ตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่สามารถวัดค่าได้ แล้วบันทึกค่าลงในตาราง

5. นำค่าความต้านทาน 0.1 โอหม์ 10 วัตต์ ต่ออนุกรมเข้าไปกับไลน์ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อวัดรูปคลื่นกระแส ถ้าพบรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปเพราะปรากฏการณ์ฮาร์โมนิค บันทึกรูปคลื่นที่ได้ทั้งแรงเคลื่อนและกระแสลงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4

เรื่อง การแปลงเฟสจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟสโดยการต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า (Double-Δ)

วัตถุประสงค์

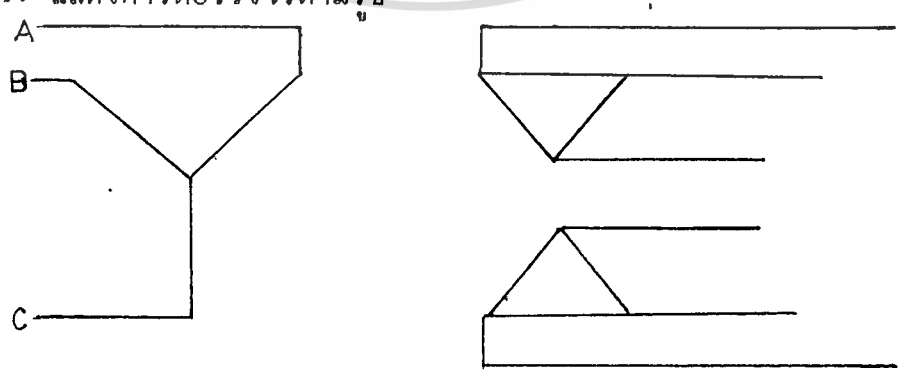
1. เพื่อศึกษาการต่อวงจรแปลงเฟสจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟส โดยการต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า
2. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ฮาร์โมนิคที่ 3 จากการต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า
3. เพื่อศึกษาถึงความสมดุลย์ของกระแสและแรงเคลื่อนของการต่อแบบดับเบิ้ลเดลต้า

อุปกรณ์

1. ชุดหม้อแปลง 3 เฟส
2. AC. voltmeter
3. AC. Ammeter
4. Multimeter
5. โหลดความต้านทาน
6. Oscilloscope
7. ตัวต้านทานขนาด 0.1 โอห์ม 10 วัตต์
8. Variac

ขั้นตอนการทดลอง

1. แสดงการต่อวงจรตามรูป



รูปการต่อวงจรการแปลงเฟสแบบดับเบิ้ล Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ป้อนแรงเคลื่อน 380 โวลท์ 3ϕ เข้าที่ Variac แล้วปรับแรงเคลื่อนลงมาโดยใช้มัลติมิเตอร์วัดระหว่างไลน์กับไลน์ให้ได้ 220 โวลท์

3. ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนทางด้านปฐมภูมิในแต่ละเฟสแล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง

4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิในแต่ละเฟสแล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง

5. นำแอมป์มิเตอร์ต่ออนุกรมเข้าไปในแต่ละเฟสของวงจรทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ แล้วบันทึกที่ได้ลงในตาราง 6 นำเอาตัวต้านทานค่า 0.1โอห์ม 10 วัตต์ ต่ออนุกรมเข้าไปในวงจรแล้วใช้ Osiloscope วัดรูปคลื่นกระแสคร่อมตัวต้านทาน แล้วบันทึกรูปร่างคลื่นที่ได้ลงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5

เรื่อง การแปลงเฟสจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟสโดยการต่อแบบฟอคเกคสตาร์ (Froked-y)

วัตถุประสงค์

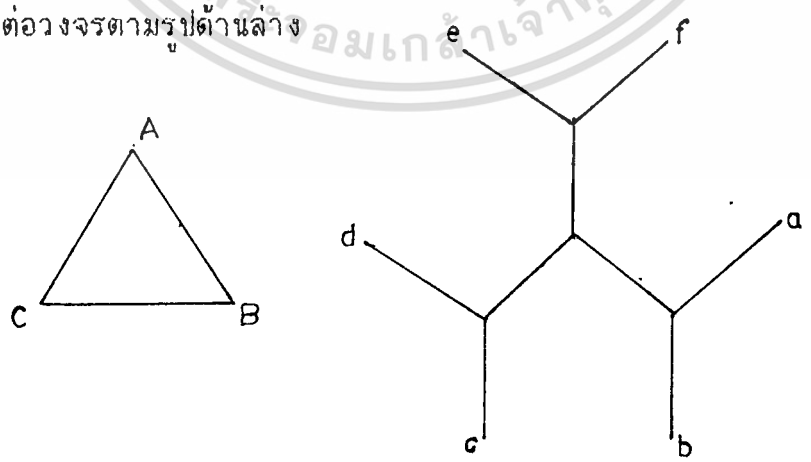
1. เพื่อศึกษาการต่อวงจรแปลงเฟสจาก 3 เฟสไปเป็น 6 เฟสโดยการต่อแบบฟอค-เกจสตาร์
2. เพื่อศึกษาประเภทการเอ้อาร์โมนิคที่ 3 จากการต่อแบบฟอคเกคสตาร์
3. เพื่อศึกษาถึงความสมดุลย์ของกระแสและแรงเคลื่อนของการต่อแบบฟอคเกคสตาร์

อุปกรณ์

1. ชุดหม้อแปลง 3 เฟส
2. AC. voltmeter
3. AC. Ammeter
4. Multimeter
5. โหลดความต้านทาน
6. Oscilloscope
7. ตัวต้านทานขนาด 0.1 โอห์ม 10 วัตต์

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปด้านล่าง



รูปการต่อวงจรการแปลงเฟสแบบฟอคเกคสตาร์ (Froked-y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต่อแหล่งจ่ายแรงเคลื่อน 380 โวลท์ 3ϕ เข้ากับวงจรทางด้านปฐมภูมิ

3. ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนทางด้านปฐมภูมิในแต่ละเฟสโดยวัดจากไลน์เทียบกับไลน์และไลน์เทียบกับนิวทรอลแล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง

4. ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนทางด้านทุติยภูมิในแต่ละเฟสโดยวัดจากไลน์เทียบกับไลน์และไลน์เทียบกับนิวทรอลแล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง

5. นำแอมป์มิเตอร์ต่ออนุกรมเข้าไปในแต่ละเฟสของวงจรทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ แล้วบันทึกค่ากระแสที่ได้ลงในตาราง

6. นำเอาตัวต้านทานค่า 0.1 โอห์ม 10 วัตต์ ต่ออนุกรมเข้าไปในวงจร แล้วใช้ oscilloscope วัดรูปคลื่นกระแสคร่อมตัวต้านทานแล้วบันทึกรูปร่างคลื่นที่ได้ลงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 2

เวคเตอร์กรุ๊ป (VECTOR GROUP)

มาตรฐานที่ใช้กำหนดขั้วต่าง ๆ ของการต่อหม้อแปลง 3 เฟส ทั้งด้านแรงเคลื่อนสูง (HV) และแรงเคลื่อนต่ำ (LV) จากมาตรฐานของ B.S.171 ปี 1936 กำหนดให้ขั้วต่าง ๆ ของ HV นั้นใช้อักษรตัวใหญ่แต่ละเฟสเป็น ABC ตามลำดับอยู่ที่ด้านหนึ่งของหม้อแปลงส่วนอีกด้านหนึ่งใช้อักษรตัวเล็ก abc ซึ่งมีเฟสสอดคล้องกับทางด้าน HV ด้วย สำหรับขั้วต่อของนิวทรอลให้อยู่ในตำแหน่งก่อนตำแหน่งของขั้วต่าง ๆ ของขั้วไลน์ เนื่องจากขดลวดมี 2 ปลาย จึงใช้อักษร 1 และ 2 แทนต้นและปลายขด ถ้าขดลวดมีแทปก็กำหนดให้อักษรเรียงตามลำดับ เช่น ขดหนึ่งมี 4 แทปจะใช้อักษร $A_1, A_2, \ldots, A_6$ โดยที่ A_1 และ A_6 เป็นต้นขดและปลายขดของเฟส A

ถ้าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำทาง H.V. เป็น A_1, A_2 และมีทิศจาก A_1 ไปยัง A_2 จะทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดทางด้าน LV ในขณะนั้นมีทิศทางจาก A_1 ไปยัง A_2 ด้วย

การแบ่งกลุ่มของการต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ

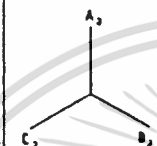
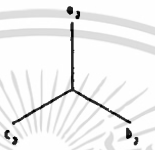
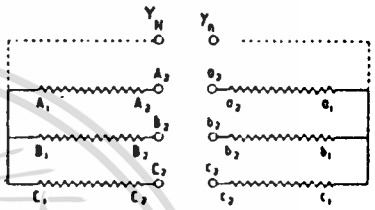
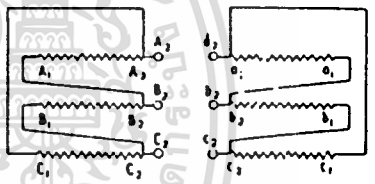
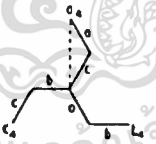
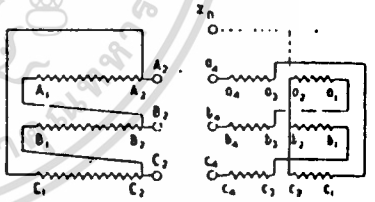
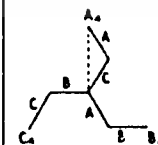
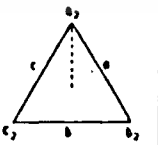
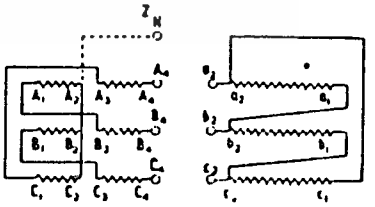
กลุ่มที่ 1 ความต่างเฟสระหว่างด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็นศูนย์ การต่อแบบนี้ได้แก่ Y_y0, D_d0, D_z0, Z_d0

กลุ่มที่ 2 ความต่างเฟสระหว่างปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 180 หรือเฟสตรงข้ามกัน การต่อแบบนี้เช่น Y_y6, D_d6, D_z6, Z_d6

กลุ่มที่ 3 เฟสทางด้านทุติยภูมิล้าหลังเฟสทางด้านปฐมภูมิ 30 การต่อแบบนี้ได้แก่ D_y1, Y_d1, Y_z1, Z_y1

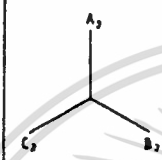
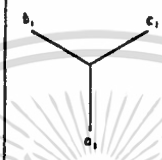
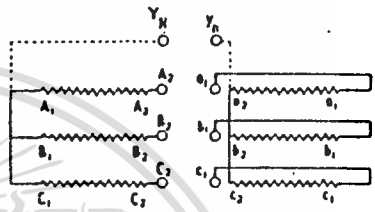
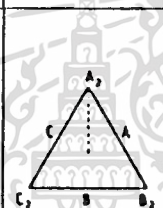
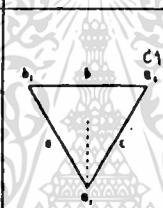
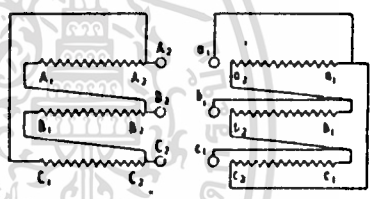
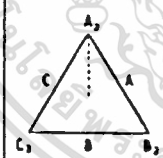
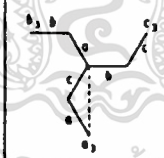
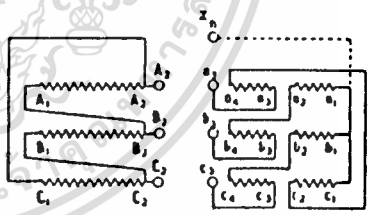
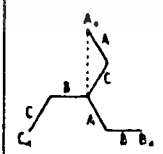
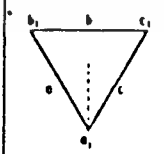
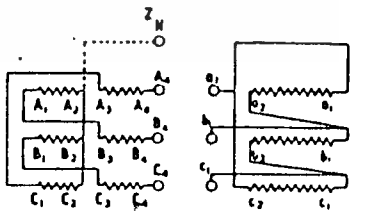
กลุ่มที่ 4 เฟสทางด้านทุติยภูมินำหน้าเฟสทางด้านปฐมภูมิ 30 ได้แก่ D_{y11}, Y_{d11}, Y_{z11}, Z_{y11}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHASOR SYMBOLS	MARKING OF LINE TERMINALS AND PHASOR DIAGRAM OF INDUCED VOLTAGES		WINDING CONNECTIONS
	H.V. WINDING	L.V. WINDING	
$Y_Y O$			
$D d O$			
$D z O$			
$Z d O$			

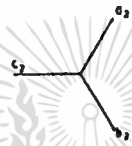
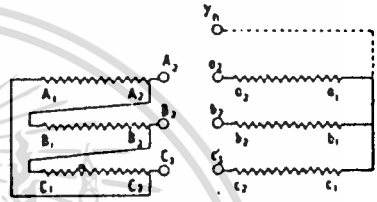
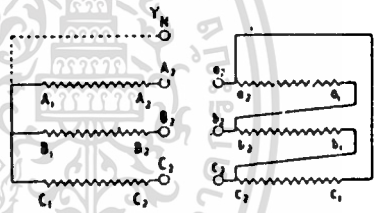
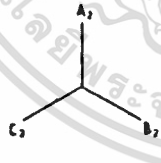
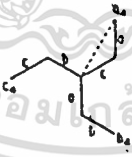
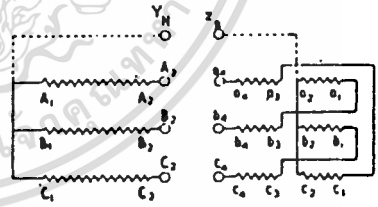
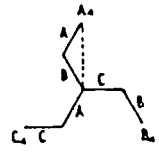
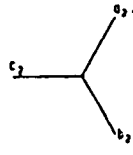
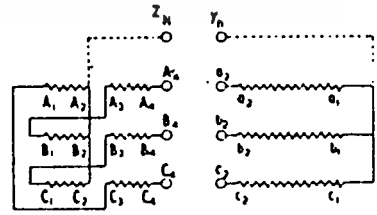
กลุ่มที่ 1 ZERO PHASE DISPLACEMENT = 0°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHASOR SYMBOLS	MARKING OF LINE TERMINALS AND PHASOR DIAGRAM INDUCED VOLTAGES		WINDING CONNECTIONS
	H.V. WINDING	L.V. WINDING	
$Y_Y 6$			
Dd6			
Dz6			
Zd6			

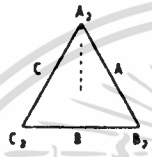
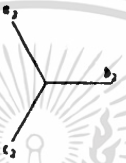
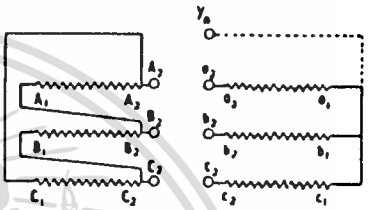
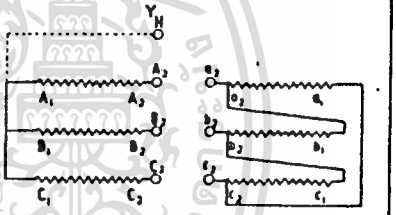
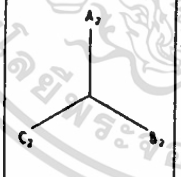
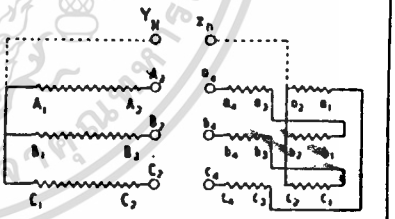
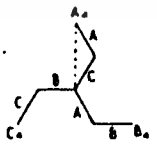
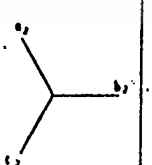
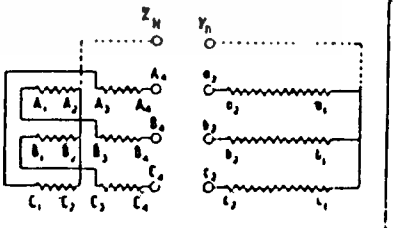
กลุ่มที่ 2 PHASE DISPLACEMENT = 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHASOR SYMBOLS	MARKING OF LINE TERMINALS AND PHASOR DIAGRAM OF INDUCED VOLTAGES		WINDING CONNECTIONS
	H.V. WINDING	L.V. WINDING	
Dy1			
Yd1			
Yz1			
Zy1			

กลุ่มที่ 3 30° LAG PHASE DISPLACEMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHASOR SYMBOLS	MARKING OF LINE TERMINALS AND PHASOR DIAGRAM OF INDUCED VOLTAGES		WINDING CONNECTIONS
	H.V. WINDING	L.V. WINDING	
Dy11			
Yd11			
Yz11			
Zy11			

กลุ่มที่ 4 30° LEAD PHASE DISPLACEMENT

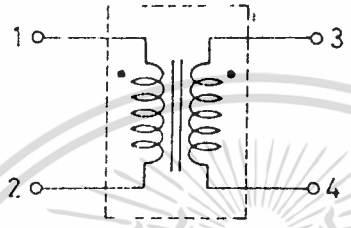
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 3

การออกแบบหม้อแปลง

ทฤษฎีหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนแปลงระดับของแรงเคลื่อนกระแสสลับไปสู่อีกระดับหนึ่งตามที่ต้องการ โดยอาศัยการส่งผ่านพลังงานทางสนามแม่เหล็ก



หม้อแปลงตัวหนึ่งอาจมีขดทุติยภูมิหลายๆ ขดก็ได้ เครื่องหมายจุด (.) ที่ปลายขดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนที่ขดปฐมภูมิกับขั้วทุติยภูมิคือ ขั้วที่ 1 กับขั้วที่ 3 จะมีเฟสตรงกันคือในขณะที่ค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าขั้ว 1 สูงกว่าที่ขั้ว 2 และที่ขั้ว 3 จะสูงกว่าที่ขั้ว 4 และในทำนองเดียวกันขณะที่ขั้ว 1 มีค่าแรงเคลื่อนต่ำกว่าจุดที่ 2 ที่ขั้ว 3 ก็จะมีศักดาต่ำกว่าที่ขั้ว 4 ด้วย

โดยสรุปแล้วเมื่อหม้อแปลงจะรับพลังงานไฟฟ้าเข้าทางขดปฐมภูมิ สูญเสียเป็นพลังงานความร้อนไปบางส่วนและที่เหลือก็เป็นพลังงานไฟฟ้าออกที่ขดทุติยภูมิ หม้อแปลงจึงถูกกำหนดขนาดเป็นหน่วยกำลังที่มันถ่ายเทได้ ซึ่งคือค่า VA (กำลังไฟฟ้าได้จากแรงเคลื่อนกระแสสลับ * ค่ากระแส)

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคือ

$$E_1/E_2 = n_1/n_2$$

เมื่อ E1 = แรงเคลื่อนทางด้านขดปฐมภูมิ

E2 = แรงเคลื่อนทางด้านขดทุติยภูมิ

n1 = จำนวนรอบของขดทางด้านปฐมภูมิ

n2 = จำนวนรอบของขดทางด้านทุติยภูมิ

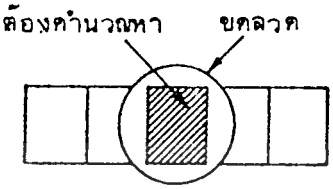
การออกแบบหม้อแปลง

1. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแกนกลาง จะหาขนาดพื้นที่หน้าตัดได้ต้องรู้พิกัดกำลังของหม้อแปลงว่าจะให้จ่ายได้เท่าไหร่ กำลังของหม้อแปลงก็คือผลคูณของกระแสและแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่อนที่หม้อแปลงตัวนี้จะจ่ายได้ นั่นคือเท่ากับ V*A เมื่อ V คือแรงเคลื่อนเอาพุทและ A คือกระแสเอาพุท

พื้นที่หน้าตัด = $\sqrt{VA}/5.58$ (ตารางนิ้ว)



รูปพื้นที่หน้าตัด

2. หาจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ เอาพื้นที่หน้าตัดที่หาได้ในข้อ 1 มาคำนวณจำนวนรอบของขดปฐมภูมิตามสูตร

$$N = \frac{E*10^{8}}{4.4*F*B_{m}*A}$$

E คือ แรงดันขดปฐมภูมิ (220)

F คือ ความถี่ของไฟทางอินพุท (50H_{z})

B_{m} คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ผ่านแกนเหล็กขณะที่ยังไม่อิ่มตัว (ใช้ 64500 เส้น/ตารางนิ้ว)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนที่หาได้จากข้อ 1 (ตารางนิ้ว)

3. หาจำนวนรอบของทุติยภูมิ หาได้จากสูตร (ต่อ)

$$E_{1}, E_{2} = n_{1}, n_{2}$$

โดย E1 = แรงเคลื่อนขดปฐมภูมิ

E2 = แรงเคลื่อนขดทุติยภูมิ

n_{1} = จำนวนรอบขดปฐมภูมิ

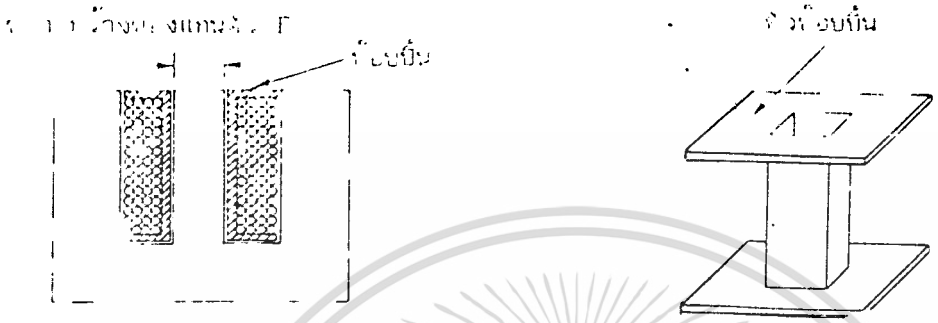
n_{2} = จำนวนรอบขดทุติยภูมิ

4. หาขนาดของขดลวดที่ใช้พัน

4.1 ข้อจำกัดทางด้านไฟฟ้า ข้อจำกัดทางด้านนี้คือ ลวดต้องไม่ร้อนเกินไปเมื่อจ่ายกระแสเต็มที่ ดังนั้นก็หมายความว่าต้องไม่ให้ลวดรับกระแสมากไป เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของลวด ตัวเลขที่ใช้มากคือ 400-700 เซอร์คิวลามิล/แอมแปร์ ซึ่งถ้ากำหนดว่าจะใช้กระแสกี่แอมป์ก็สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดได้ ตัวเลข 400-700 นี้แล้วแต่เราจะเลือกใช้

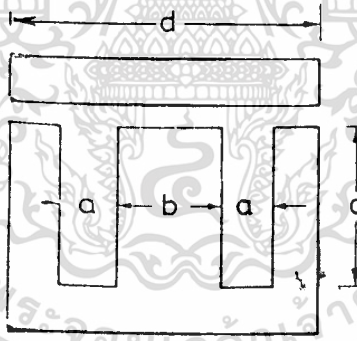
เอกสารนี้จัดทำขึ้นที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อจำกัดด้านขนาด เนื่องจากลักษณะตัวแกนเป็นรูปตัว E และ I ซึ่งมีช่องว่างไว้ให้พันลวดตามรูป และมีผู้ผลิตขึ้นมาเป็นขนาดต่าง ๆ เนื่องจากเราไม่พันลวดลงบนแกนเลยโดยตรง แต่พันในบ๊อบบิ้น แล้วจึงเอาบ๊อบบิ้นมาสวมแกนตัว E ตามรูป



รูปแบบการวางตัวของขดลวดในบ๊อบบิ้น

รายละเอียดขนาดของตัว E และ I จะมีสัดส่วนดังนี้คือ



รูปสัดส่วนของแกนเหล็กรูปตัว I

A:B:C:d = 1:2:3:6 จากอัตราส่วนนี้ถ้าเราทราบระยะด้านใดด้านหนึ่งย่อมคำนวณหาความยาวของด้านที่เหลือได้หมด แกนตัว E ที่มีขายจะมีขนาดดังต่อไปนี้ (บอกขนาดของด้าน b เป็นมิลลิเมตรคือ 10,13,16,19,20,22,25,28,32,38,45,52,63)

ในการเลือกขนาดของขดลวด ต้องเลือกให้ขดลวดทั้งหมดพันลงในบ๊อบบิ้นแล้วสวมลงแกนได้ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่หน้าตัดแกนอยู่เท่าใด

ตารางที่ I จะบอกว่าลวดทองแดงเบอร์ไหนเมื่อพันรอบแกนบ๊อบบิ้นแล้วได้พื้นที่หน้าตัดของขดลวด 1 ตารางนิ้วต้องพันกี่รอบเช่น ลวดเบอร์ 23 SWG. ถ้าพันรอบแกนบ๊อบบิ้น 1340 รอบพื้นที่หน้าตัดจะมีขนาด 1 ตารางนิ้ว

คำนวณ หม้อแปลง 220V จ่ายได้รวม 330VA ด้วยขดทุติยภูมิ 110 โวลท์ 2 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ดัดแปลง ทำซ้ำ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หาพื้นที่หน้าตัด = $\sqrt{VA}/5.58$

= 3.10 ตารางนิ้ว

2. หารอบปฐมภูมิ = $\frac{E*10^{8}}{4*F*B*A}$

= $\frac{220*10^{8}}{4*50*64500*3.1}$

= 550 รอบ

3. ลองดูขนาดแกนและตัวบ๊อบบิ้น ถ้าเลือกบ๊อบบิ้นขนาดช่องกลาง 3.8*5.0 ซม. สวมแกนเหล็กขนาด 3.8 ได้ เรียงแผ่นเหล็กซ้อนกันได้ความหนาสูงสุด 6 ซม.

พื้นที่หน้าตัดจะเท่ากับ $\frac{3.8*5.0}{4*50*64500*3.10}$ = 3 ตารางนิ้ว พอใช้ได้

ดังนั้นเลือกแผ่นตัว E ที่มีแกนกลางกว้าง 3.8 ซม. บ๊อบบิ้นขนาด 3.8*50 ซม.

4. เลือกขนาดลวด ใช้ตัวเลข 450 cm/amp

กระแสอินพุทปฐมภูมิ = VA/A = 300/220 = 1.36 แอมป์แปร์

ต้องใช้ลวดมีขนาด = 450*1.36 = 612

ตามตารางที่ 1 เลือกใช้ลวดเบอร์ 23 SWG.

หาจำนวนรอบขดทุติยภูมิ = n_1*E_2/E_1

= 550*220/110 = 275 รอบ

ทั้งสองขดเหมือนกันคือ 275 รอบ

เนื่องจากขดทุติยภูมิมี 2 ขดเหมือนกันแต่ละขดจึงจ่ายกำลัง = 300/2 = 150 VA

กระแสแต่ละขดย่อมเท่ากับ = VA/A = 150/110 = 1.36 แอมป์แปร์ เท่ากับทางปฐมภูมิดังนั้นจึงเลือกลวดเบอร์เดียวกันทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิ

5. ตรวจสอบว่าพันลวดทั้ง 3 ขดแล้วจะลงในบ๊อบบิ้นและตัว E ได้หรือไม่ช่วงหน้าตัดจะบรรจุลวด 3 ขดคือ ปฐมภูมิ 1 ขด ,ทุติยภูมิ 2 ขด

จากตารางที่ 1 พื้นที่หน้าตัดของขดปฐมภูมิ = 550/1340 = 0.41 ตารางนิ้ว

พื้นที่หน้าตัดของขดทุติยภูมิ 2 ขด ขดละเท่าๆ กัน

= 275/1340 = 0.2 ตารางนิ้ว

รวมพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด = 0.41+0.2+0.2

= 0.81 ตารางนิ้ว

พื้นที่หน้าตัดถ้ามีบ๊อบบิ้นหรือแกนตัว E ของจริงก็วัดดูจากของจริงดูเลยก็ได้ ถ้าไม่มีก็คำนวณโดยอาศัยขนาดของบ๊อบบิ้นจากตารางโดยได้ขนาดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b = 3.8

a = 3.8/2 = 1.9

c = 3/2 *3.8 = 5.7

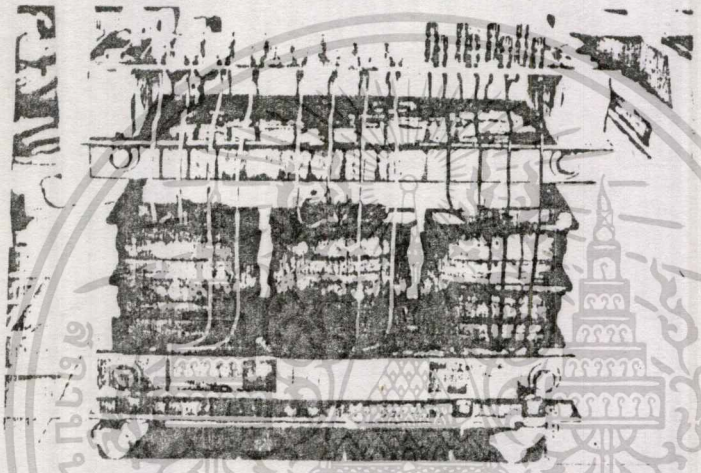
พื้นที่ช่องว่าง = a*c = 1.9*5.7

2.54*2.54

= 1.67 ตารางนิ้ว

ดังนั้นใช้บ๊อบบิ้นขนาดนี้ และตัว E ขนาดนี้ได้เพราะพื้นที่หน้าตัดใหญ่พอ

ข้อมูลทางเทคนิคสำหรับหม้อแปลง 3 เฟส ที่ใช้ทดลอง



รูปหม้อแปลง 3 เฟส 220V 10 KVA

ข้อมูลทางเทคนิคในการนำไปใช้งาน

* ขนาดกำลังของหม้อแปลง 10 KVA
* แรงเคลื่อนทางขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ 220 V
* ชนิดของแกนหม้อแปลงเป็นแบบ CORE
* มีขดลวดเป็นทองแดงเคลือบน้ำยาชนิดทนความร้อนได้สูงชนิด EIW
* มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ
* ความถี่ของระบบไฟฟ้า 50 Hz

ข้อมูลทางเทคนิคในการออกแบบ

* แผ่นเหล็กมีค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กประมาณ 1.0 TESLA
* พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กประมาณ 52.5 ตารางเซนติเมตร
* จำนวนขดลวดทางปฐมภูมิแต่ละขดมีจำนวนรอบ 189 รอบ
* จำนวนขดลอดทางทุติยภูมิแต่ละขดมีจำนวนรอบ 199 รอบ
* ขนาดของขดลวดที่ใช้มีขนาด SWG.16 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร
* น้ำหนักลวดทองแดงประมาณ 20.5 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* น้ำหนักแกนเหล็กประมาณ 54 kg
* น้ำหนักเหล็กฉากและอื่นๆ 6 kg
* น้ำหนักรวมทั้งหมดของแต่ละตัว 80.5 kg

ตารางที่ 1

ตารางความสัมพันธ์ของจำนวนรอบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด

ขนาดเบอร์ลวด SWG	จำนวนรอบ/พื้นที่หน้าตัดขดลวด 1 ตารางนิ้ว	พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด 1 เส้น (เซอร์คิวลามิล)
15	177	5178
16	221	4107
17	277	3257
18	437	2048
19	548	1524
20	681	1288
21	852	1022
22	1065	810.1
23	1340	624.4
24	1665	509.5
25	2100	404
26	2630	320.4
27	3320	254.1
28	4145	201.5
30	5250	104.9
31	6510	126.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์สำเร็จและ สมบรูณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนของอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิประศาสน์วิชาความรู้แก่นักศึกษา โดยเฉพาะอาจารย์ วีรศักดิ์ วงค์วิวัติ ที่ปรึกษาในการทำโครงการนี้ ได้ให้คำแนะนำในการทดลองและแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้ความสนใจในปริญญานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี จนโครงงานนี้สำหรับลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิศวกรรมไฟฟ้าที่มีส่วนช่วย และให้ความร่วมมือในด้านต่างๆ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1) สัมพันธ์หาญชเล, "เครื่องกลไฟฟ้า 1" , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีธนบุรี, 2528

TK 2011 P.669 2) BERNARD HOCHART, "POWER TRANSFORMER HANDBOOK", FIRST ENGLISH EDITION,TRANSLATED FROM THE FRENCH BY C.E. DAVISON

TK 2691 G5 3) B.L. RAWAT, "TRANSFORMER", MC GRAW-HILL COMPANY LIMITED, NEW DELHI

4) STAFF MIT, "MAGNETIC CIRCUITS AND TRANSFORMER", 15 th PRINTING MIT PRESS, MASSACHUSETTS, 1965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้