

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบค่าซีแควนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า
SEQUENCE IMPEDANCE TESTING OF TRANSFORMERS



โดย

นาย วรณพงศ์ โทธิประพันธ์พงศ์
นาย วสุธา ยอดเจริญ
นาย ทัดเทพ พบครุฑ
นาย สมบูรณ์ สุขชี

ร/พ.

๖ ๒๕๖๗

๒๕๔๙

เลขหมู่..... ๗๒๖๔๗
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี... ๒๑ ส.ย. ๒๕๕๐

b. 11๗๗๐๖๕๒
i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๔๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

การทดสอบค่าซีแควนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า
SEQUENCE IMPEDANCE TESTING OF TRANSFORMERS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

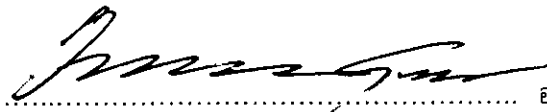
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบค่าซีเควนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย วรรณพงศ์ โภธิประพันธ์พงศ์
 2. นาย วสุธา ยอดเจริญ
 3. นาย ทัดเทพ พบครุฑ
 4. นาย สมบูรณ์ สุขขี


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบค่าซีเควนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

นาย วรณพงศ์ โปธิประพันธ์พงศ์
นาย วสุธา ยอดเจริญ
นาย ทัดเทพ พบครุฑ
นาย สมบูรณ์ สุขชี
รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสและหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งทำการศึกษาและวัดค่าของซีเควนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า และต้องคำนึงถึงค่าซีโรซีเควนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากการต่อกลุ่มเวกเตอร์ในแบบต่างๆ นอกจากนี้หัวข้อการทดลองทำให้นักศึกษาปริญญาตรีได้มีการพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านด้วยกัน ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในการทำโครงการครั้งนี้ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้จัดทำ

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่นักศึกษาปริญญาโทภายในห้อง EPRL ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการทำโครงการ ขอขอบคุณเพื่อนห้อง Pearl Lab ที่ให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือช่าง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ดูแลและให้กำลังใจตลอดมา ทำให้ผู้จัดทำจบการศึกษาในครั้งนี้

ผู้จัดทำ

นาย วรณพงศ์ โพธิ์ประพันธ์พงศ์

นาย วสุชา ยอดเจริญ

นาย ทัดเทพ พบครุฑ

นาย สมบูรณ์ สุขขี

SEQUENCE IMPEDANCE TESTING OF TRANSFORMERS

Wannapong Potiprapanpong

Wasuta Yodcharoen

Tatap Pobkrut

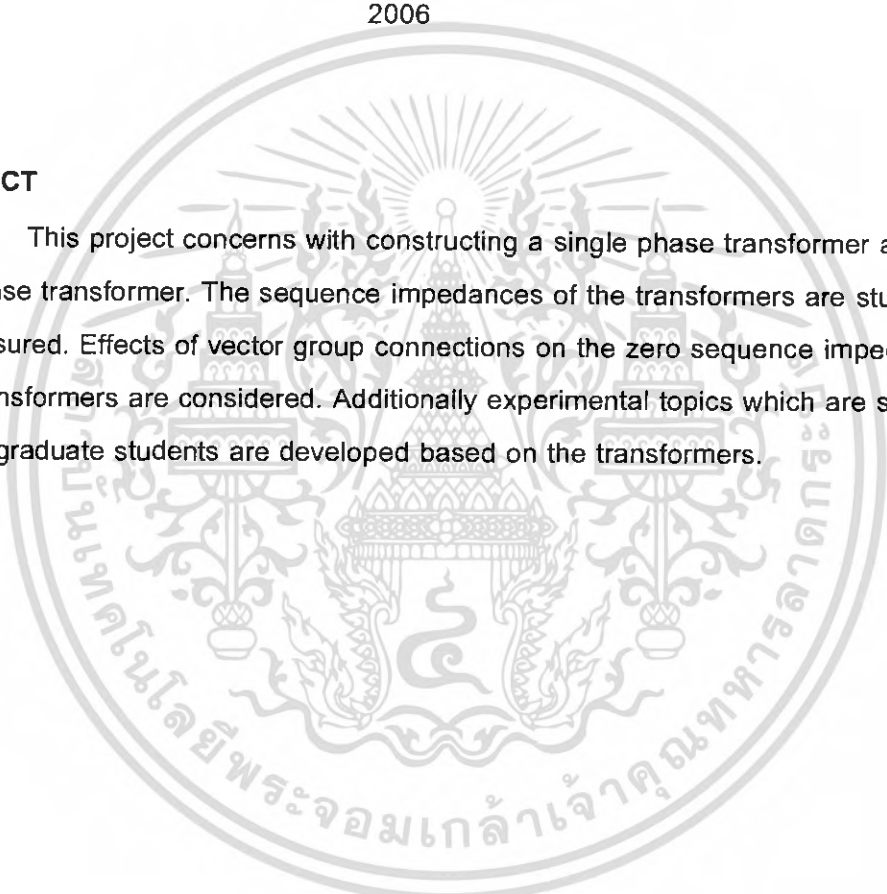
Somboon Sukee

Assoc.Prof.Dr.Anantawat Kunakorn Advisor

2006

ABSTRACT

This project concerns with constructing a single phase transformer and a three phase transformer. The sequence impedances of the transformers are studied and measured. Effects of vector group connections on the zero sequence impedances of the transformers are considered. Additionally experimental topics which are suitable for undergraduate students are developed based on the transformers.



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส.....	3
2.1 การทดสอบขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า(Polarity test).....	3
2.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยการเปิดวงจรและลัดวงจร (Open Circuit test,Short circuit test).....	4
2.2.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยการเปิดวงจร (Open Circuit Test).....	4
2.2.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยการลัดวงจร (Short Circuit Test).....	5
2.3 V-I Method	8
2.4 การทดสอบแบบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส	9
2.5 การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส	10
2.6 รีเกกูเรชั่นของหม้อแปลงไฟฟ้า (Voltage Regulation)	11
บทที่ 3 กลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Vector Group)	13
3.1 ความหมายของกลุ่มเวกเตอร์ (Vector Group).....	13
3.2 การตรวจสอบกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	14
3.3 การต่อกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	24
4.1 ส่วนประกอบสมมาตร (symmetrical components).....	24
4.1.1 ส่วนประกอบสมมาตรสำหรับสมการกระแสไฟฟ้า.....	26
4.1.2 ส่วนประกอบสมมาตรสำหรับสมการแรงดันไฟฟ้า.....	28
4.1.3 ส่วนประกอบสมมาตรสำหรับค่าอิมพีแดนซ์.....	31
4.2 การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	32
4.2.1 การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส.....	32
4.2.2 การทดสอบหาค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance.....	35
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	39
5.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	39
5.1.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส....	39
5.1.1.1 ผลการทดลอง Open และ Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส.....	39
5.1.1.2 ผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส.....	43
5.1.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส....	47
5.1.2.1 ผลการทดลอง Open และ Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	47
5.1.2.2 ผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	49
5.1.3 ผลการทดลอง V-I method และ Voltage Regulation ของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	52
5.1.3.1 ผลการทดลองจากการหา VI-method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส.....	52
5.1.3.2 ผลการทดลอง Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส.....	53
5.1.3.3 ผลการทดลอง Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	56
5.2 ผลการทดลองกลุ่มเวกเตอร์.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance	
ของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวาริแอก 1 เฟส.....	66
5.3.1 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance	
ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส	
ด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบด้าน High voltage.....	66
5.3.2 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance	
ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส	
ด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบด้าน Low voltage.....	69
5.3.3 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance	
ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส	
ด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบด้าน High voltage.....	72
5.3.4 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance	
ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส	
ด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบด้าน Low voltage.....	75
5.4 การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า	
ด้วยวิธี unbalance.....	78
5.4.1 ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์	
ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด.....	78
5.4.2 ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์	
ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด.....	81
5.4.3 ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์	
ด้านเดลต้าเปิดวงจร.....	84
5.4.4 ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์	
ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์.....	87
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	90
6.1 ผลการทดลองหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	90
6.1.1 ผลการทดลองหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส.....	90
6.1.2 ผลการทดลองหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	93
6.2 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส.....	96
6.3 ผลการทดลองหาค่า sequence impedance โดยใช้วิธี unbalance.....	99

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การต่อวงจรทดสอบหาตำแหน่งขั้ว.....	3
2.2 การทดสอบหาขั้วโดยการกำหนดชื่อ.....	4
2.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะทำการเปิดวงจร.....	7
2.4 วงจรสมมูลย์โดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการทดสอบแบบเปิดวงจร.....	7
2.5 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะทำการลัดวงจร	7
2.6 วงจรเสมือนของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ย้ายไปอยู่ทางด้านทางด้านตกตาไฟฟ้า แรงสูง	7
2.7 วงจรเสมือนของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ย้ายไปอยู่ทางด้านทางด้านตกตาไฟฟ้าต่ำ.....	8
2.8 ทดสอบแบบ VI-Method ด้านแรงดันต่ำ.....	8
2.9 การทดสอบแบบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	11
2.10 การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส.....	11
3.1 (ก) ตำแหน่งของกลุ่มเวกเตอร์.....	13
(ข) ลำดับเฟสตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.1 ก	13
3.2 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd0$	16
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd0$	16
3.3 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd2$	16
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd2$	16
3.4 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd4$	16
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd4$	16
3.5 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd6$	17
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd6$	17
3.6 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd8$	17
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd8$	17
3.7 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd10$	17
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dd10$	17
3.8 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy1$	18
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy1$	18
3.9 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy3$	18
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy3$	18
3.10 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy5$	18

รูปที่	หน้า
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy5$	18
3.11 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy7$	19
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy7$	19
3.12 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy9$	19
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy9$	19
3.13 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy11$	19
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Dy11$	19
3.14 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy0$	20
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy0$	20
3.15 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy2$	20
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy2$	20
3.16 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy4$	20
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy4$	20
3.17 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy6$	21
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy6$	21
3.18 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy8$	21
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy8$	21
3.19 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy10$	21
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yy10$	21
3.20 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd1$	22
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd1$	22
3.21 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd3$	22
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd3$	22
3.22 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd5$	22
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd5$	22
3.23 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd7$	23
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd7$	23
3.24 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd9$	23
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd9$	23
3.25 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd11$	23
(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ $Yd11$	23
4.1 ลักษณะของ positive-sequence components	24
4.2 ลักษณะของ negative-sequence components	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.3	ลักษณะของ zero-sequence components25
4.4	รูปวงจรถอดสอบหาค่า Z^0 โดยใช้วาริแอด 1 เฟส33
4.5	(ก) รูปวงจรถอดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ทั้ง 2 ด้าน.....33
	(ข) รูปวงจรมีเหมือนของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ทั้ง 2 ด้าน.....33
4.6	(ก) รูปวงจรถอดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน.....34
	(ข) รูปวงจรมีเหมือนการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้านโดยที่แต่ละเฟสไม่มีค่าอิมพีแดนซ์ร่วมกันอยู่ (หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อเป็น 3 เฟส).....34
	(ค) รูปวงจรมีเหมือนการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้านโดยที่แต่ละเฟสมีค่าอิมพีแดนซ์ร่วมกันอยู่ (หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส).....34
4.7	(ก) รูปวงจรถอดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-\Delta$ ด้าน Y ลงกราวด์.....34
	(ข) รูปวงจรมีเหมือนการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-\Delta$ ด้าน Y ลงกราวด์35
4.8	รูปวงจรถอดสอบหาค่า Z^0 โดยใช้ทดสอบแบบ unbalance37
4.9	การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance โดยต่อแบบด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวด์ 1 จุด.....37
4.10	การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance โดยต่อแบบด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวด์ 2 จุด37
4.11	การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า38
4.12	การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า short circuit ลงกราวด์38
5.1	การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd058
5.2	การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd2 58
5.3	การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd458
5.4	การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd6 59
5.5	การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd8 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
5.6 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd10	59
5.7 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy1	60
5.8 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy3	60
5.9 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy5	60
5.10 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy7	61
5.11 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy9	61
5.12 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy11	61
5.13 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy0	62
5.14 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy2	62
5.15 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy4	62
5.16 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy6	63
5.17 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy8	63
5.18 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy10	63
5.19 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd1	64
5.20 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd3	64
5.21 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd5	64
5.22 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd7	65
5.23 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd9	65
5.24 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd11	65
6.1 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน High Voltage.....	90
6.2 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน Low Voltage	90
6.3 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน High Voltage	91
6.4 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน Low Voltage	91
6.5 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน High Voltage	91
6.6 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน Low Voltage	92
6.7 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ด้าน High Voltage.....	92
6.8 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ด้าน Low Voltage	93
6.9 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน High Voltage	93
6.10 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน Low Voltage	93
6.11 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน High Voltage	94
6.12 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน Low Voltage	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
6.13 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน High Voltage	94
6.14 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน Low Voltage	95
6.15 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence Impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ด้าน High Voltage	95
6.16 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ด้าน Low Voltage.....	95
6.17 รูปแสดงค่า zero sequence impedance . ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์โดยที่ลกราวนด์ทั้งสองด้าน ด้าน High Voltage.....	96
6.18 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์ทั้งสองด้าน ด้าน Low Voltage.....	96
6.19 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์ทั้งสองด้าน ด้าน High Voltage.....	96
6.20 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์ทั้งสองด้าน ด้าน Low Voltage.....	97
6.21 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์หนึ่งด้าน ด้าน High Voltage.....	97
6.22 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์หนึ่งด้าน ด้าน Low Voltage.....	97
6.23 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลกราวนด์ด้าน High Voltage.....	98
6.24 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลกราวนด์ด้าน Low Voltage.....	98

รูปที่	หน้า
6.25 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน High Voltage.....	98
6.26 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน Low Voltage.....	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงการต่อกลุ่มเวกเตอร์ที่การเลื่อนเฟสต่างๆ	14
3.2 ตารางแสดงค่า ratio และรูปวงจรถูกการต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบต่างๆ.....	15
5.1 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน High voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	39
5.2 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	39
5.3 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน High voltage ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	40
5.4 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	40
5.5 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน High voltage ครั้งที่ 3 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	40
5.6 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 3 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	41
5.7 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน High voltage ครั้งที่ 4 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	41
5.8 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 4 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	41
5.9 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน High voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	42
5.10 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	42
5.11 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์เข็ม YOGOKAWA.....	42
5.12 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์เข็ม YOGOKAWA.....	43
5.13 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	43
5.14 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	44

ตารางที่	หน้า
5.15 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 3 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	44
5.16 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 4 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	45
5.17 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	45
5.18 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์เข็ม YOGOKAWA.....	46
5.19 ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส (ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากตารางที่ 5.13 – ตารางที่ 5.18).....	46
5.20 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	47
5.21 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	47
5.22 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	47
5.23 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	47
5.24 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 3 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	48
5.25 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 3 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	48
5.26 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 4 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	48
5.27 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 4 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	48
5.28 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	49
5.29 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	49
5.30 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า
5.31 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	50
5.32 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 3 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	50
5.33 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 4 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	51
5.34 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix.....	51
5.35 ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากตารางที่ 5.30 – ตารางที่ 5.34).....	52
5.36 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage(Transformer A).....	52
5.37 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage(Transformer A)	52
5.38 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage(Transformer B)	52
5.39 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage(Transformer B)	53
5.40 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage(Transformer C)	53
5.41 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage(Transformer C)	53
5.42 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage ของ Transformer A (110V/220V)	53
5.43 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน Low voltage ของ Transformer A (220V/110V)	54
5.44 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage ของ Transformer B (110V/220V)	54
5.45 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน Low voltage ของ Transformer B (220V/110V)	54
5.46 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage ของ Transformer C (110V/220V)	55

ตารางที่	หน้า
5.47 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน Low voltage ของ Transformer C (220V/110V).....	55
5.48 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบ Y-Y โดยจ่ายโหลดทางด้าน Low voltage.....	56
5.49 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบ Y-Y โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage.....	57
5.50 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 1.....	66
5.51 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 2.....	66
5.52 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 3.....	67
5.53 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 4.....	67
5.54 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 5.....	68
5.55 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 6.....	68
5.56 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 1.....	69
5.57 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 2.....	69
5.58 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 3.....	70
5.59 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 4.....	70
5.60 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 5.....	71
5.61 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 6.....	71
5.62 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 1.....	72

ตารางที่	หน้า
5.63 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 2.....	72
5.64 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 3.....	73
5.65 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 4.....	73
5.66 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 5.....	74
5.67 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 6.....	74
5.68 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 1.....	75
5.69 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 2.....	75
5.70 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 3.....	76
5.71 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 4.....	76
5.72 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 5.....	77
5.73 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 6.....	77
5.74 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bankกัน ด้าน High Voltage.....	78
5.75 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bankกัน ด้าน Low Voltage.....	79
5.76 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High Voltage.....	79

ตารางที่	หน้า
5.77 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low Voltage.....	80
5.78 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage.....	81
5.79 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน Low Voltage.....	82
5.80 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High Voltage.....	82
5.81 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low Voltage.....	83
5.82 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจร ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage.....	84
5.83 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจร ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน Low Voltage.....	85
5.84 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจร ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High Voltage.....	85
5.85 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจร ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low Voltage.....	86
5.86 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage.....	87
5.87 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน Low Voltage.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่

หน้า

5.88 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High Voltage.....	88
5.89 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสด้าน Low Voltage.....	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังนั้น การคำนวณกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นถือเป็นปัจจัยที่สำคัญ กระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งออกได้เป็น แบบสมมาตร และแบบไม่สมมาตร ซึ่งหลักการคำนวณกระแสลัดวงจรนั้นสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมคือการวิเคราะห์โดยอาศัยส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical components) ซึ่งแยกการคำนวณออกเป็น 3 วงจรได้แก่ positive sequence , negative sequence และ zero sequence การวิเคราะห์โดยอาศัยส่วนประกอบสมมาตรนี้จำเป็นต้องทำการแปลงรูปอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ จากระบบ 3 เฟสทำให้กลายเป็น positive sequence impedance , negative sequence impedance และ zero sequence impedance ในปฏิญญาฉบับนี้ การนำเสนอการวัดและคำนวณค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส รวมไปถึงผลกระทบของการต่อกลุ่มเวกเตอร์ (vector group) แบบต่างๆที่มีค่าหม้อแปลงไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าและทำการออกแบบและจัดสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส
2. ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆในหม้อแปลงไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ในการต่อลักษณะต่างๆ
4. ศึกษาผลกระทบจากการต่อกลุ่มเวกเตอร์ (vector group) แบบต่างๆที่มีต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
5. เพื่อจัดสร้างชุดการทดลองเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ในปฏิญญาฉบับนี้เป็นการทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัว นำมาต่อในลักษณะต่างๆ ซึ่งแต่ละตัวมีคุณสมบัติคือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้ามีค่าเท่ากับ 220 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 110 โวลต์ กระแสไฟฟ้าขาออก มีค่าเท่ากับ 3 แอมแปร์ โดยใช้แกนเหล็กแบบเชลล์ (shell type) ชนิด EI ซึ่งทำจากซิลิคอน และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส 1 ตัว โดยมีคุณสมบัติคือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้ามีค่าเท่ากับ 380/220 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 191/110 โวลต์ โดยกระแสไฟฟ้าขาออกมีค่าเท่ากับ 3 แอมแปร์ จากนั้นนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้มาทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วทำการทดสอบค่า sequence impedance ของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับระหว่าง หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวที่นำมาต่อขนานกันในลักษณะต่างๆกับหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบใช้แกนร่วมและทำการใช้ค่า sequence impedance วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ทำการค้นหาและศึกษาข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ทำการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จำนวน 3 ตัว โดยมีพิกัดแรงดัน 220/110 โวลต์ พิกัดกระแส 3 แอมแปร์และหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส 1 ตัว พิกัดแรงดันขาเข้า 380/220 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าขาออก 191/110 โวลต์ ต่อแบบสตาร์-สตาร์ พิกัดกระแสขาออก 3 แอมแปร์
3. นำข้อมูลและพิกัดที่ได้มาทำการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า
4. ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว โดยการทำทดสอบด้วยวิธี Open-Circuit Test และ Short-Circuit Test และ V-I method
5. นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาเขียนวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า
6. นำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้มาทำการทดสอบหาค่า sequence impedance โดยมีการทดสอบในลักษณะต่างๆดังนี้
 - 6.1 ต่อแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ต่อลงกราวนด์ทั้งสองด้าน
 - 6.2 ต่อแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ด้านปฐมภูมิต่อลงกราวนด์
 - 6.3 ต่อแบบสตาร์-เดลต้า โดยที่ต่อลงกราวนด์
 - 6.4 ต่อแบบสตาร์-เดลต้า โดยที่แยกนิวตรอน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าและสามารถทำการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าได้
2. สามารถทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้าได้
3. สามารถทำการหากกลุ่มเวกเตอร์ (vector group) ในการต่อแบบต่างๆได้
4. สามารถทำการทดสอบค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อในรูปแบบต่างๆได้
5. สามารถนำชิ้นงานที่ได้มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของชุดการทดลองเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ

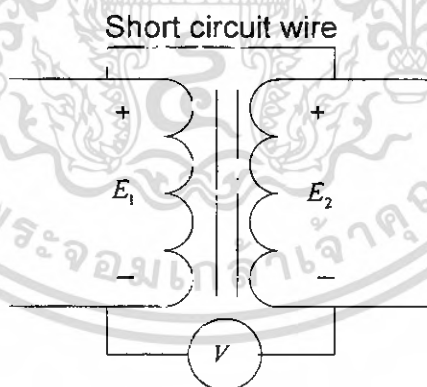
บทที่ 2

การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส

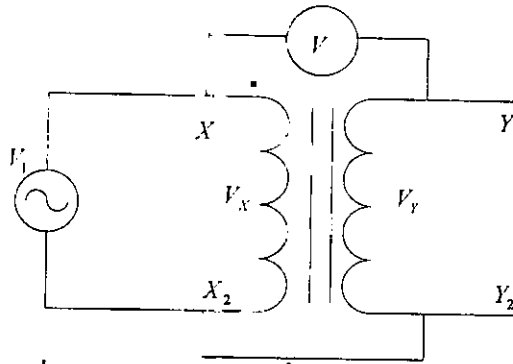
2.1 การทดสอบขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า (Polarity test)

เป็นการทดสอบขั้วหรือทิศทางของศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีทิศทางสอดคล้องกันของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิวิธีการทดสอบแบบ polarity test นั้นจะสามารถทดสอบหาตำแหน่งของขั้วโดยการเชื่อมต่อระหว่างขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำการอ่านค่าจากโวลมิเตอร์ถ้าได้ค่าผลต่างระหว่าง V_1 กับ V_2 แสดงว่ามีขั้วเดียวกัน เรียกว่า Subtractive Polarity ($V = V_1 - V_2$) แล้วถ้าทำการอ่านค่าจากโวลมิเตอร์ได้ค่าผลรวมระหว่าง V_1 กับ V_2 แสดงว่ามีขั้วต่างกันเรียกว่า Additive Polarity ($V = V_1 + V_2$) หรืออาจกำหนดชื่อขั้วขึ้นก่อนการทดสอบเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 2.2 กำหนดชื่อของขดลวด X ที่ตำแหน่ง X_1 เป็น dot ดังนั้น ค่าที่อ่านได้จากโวลมิเตอร์ระหว่าง X_1 กับ Y_1 จะเกิดขึ้น 2 กรณีคือ

1. $V_x + V_y$ จะได้ตำแหน่ง dot ที่ Y_2
2. $V_x - V_y$ จะได้ตำแหน่ง dot ที่ Y_1



รูปที่ 2.1 การต่อวงจรทดสอบหาตำแหน่งขั้ว



รูปที่ 2.2 การทดสอบหาข้อผิดพลาดโดยการกำหนดข้อ

2.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยการเปิดวงจรและลัดวงจร

(Open circuit test, Short circuit test)

ในการทดสอบแบบเปิดวงจรและลัดวงจร เป็นการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้แล้วก็จะสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ และยังสามารเขียนรูปเวกเตอร์แทนจากการทดลองที่เกิดขึ้นจากการหาวงจรสมมูลย์ได้ทำให้สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ เช่น ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า , กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้, แรงเคลื่อนที่หายไปอันเนื่องมาจากอิมพีแดนซ์ของขดลวด เป็นต้น

2.2.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยการเปิดวงจร (Open Circuit Test)

ในการทดสอบแบบนี้จะทำให้สามารถหาค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแกนเหล็กได้ ซึ่งค่าที่ได้ก็คือ R_c (ค่าความต้านทานจริงของแกนเหล็ก) และ X_m (ค่าความต้านทานเสมือนของแกนเหล็ก) โดยในการทดสอบแบบเปิดวงจรนั้นนิยมเปิดวงจรทางด้านศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage side) และจะทำการทดสอบที่ด้านศักดาไฟฟ้าแรงต่ำ (Low voltage side) ดังรูปที่ 2.3

อย่างไรก็ดีในการทดสอบนี้อาจทำการเปิดวงจรทางด้านใดด้านหนึ่งของหม้อแปลงไฟฟ้าก็ได้แต่ที่นิยมเปิดวงจรทางด้านศักดาไฟฟ้าสูงและทำการทดสอบที่ด้านศักดาไฟฟ้าแรงต่ำนั้นเนื่องจากสามารถลดความผิดพลาดจากการอ่านและวัดค่าของกระแสขณะที่ไม่มีภาระซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ที่ทำการวัดค่าด้านศักดาไฟฟ้าแรงต่ำนั้นจะช่วยให้ค่าแอมป์ที่อ่านได้มีค่าที่สูง ($V_L I_L = V_H I_H$) หรืออ่านค่าได้ง่ายขึ้นนั่นเอง โดยในการทดสอบนี้จะต้องปรับค่า V_2 ให้มีค่าเท่ากับพิกัดไฟทางด้านแรงต่ำแล้วทำการวัดค่า V_2, I_2 และ P_2 ตามลำดับ โดยค่าที่ออกมาก็คือค่า V_{OC}, I_{OC} และ P_{OC} ตามลำดับซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำมาสรุปความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้และอาจเขียนวงจรสมมูลย์ขณะทำการทดลอง ดังรูปที่ 2.4 ได้ดังนี้ :

$$P = VI \cos \theta \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{\phi} = I_c + I_m \quad (2.2)$$

$$\theta_{OC} = \cos^{-1} \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}} \quad (2.3)$$

$$I_{c,L} = I_{OC} \cos \theta_{OC} \quad (2.4)$$

$$I_{m,L} = I_{OC} \sin \theta_{OC} \quad (2.5)$$

$$R_{c,L} = \frac{V_{OC}}{I_{c,L}} \quad (2.6)$$

$$X_{m,L} = \frac{V_{OC}}{I_{m,L}} \quad (2.7)$$

และเมื่อทำการย้ายค่าต่างๆมาอยู่ทางด้านศักดาไฟฟ้าสูง ทำการกำหนดให้ด้านปฐมภูมิเป็นด้านแรงดันสูงจะได้

$$a = \frac{V_H}{V_L} \quad (2.8)$$

$$R_{c,H} = a^2 R_{c,L} \quad (2.9)$$

$$X_{m,H} = a^2 X_{m,L} \quad (2.10)$$

I_c : กระแสส่วนที่เป็นฮิสเตอร์ซิสและกระแสไหลวน

I_m : กระแสส่วนที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก

2.2.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยการลัดวงจร (Short Circuit Test)

ในการทดสอบแบบนี้จะทำให้สามารถหาค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความต้านทานของขดลวดทองแดง ณ พิกัดของภาระเต็มพิกัด (Full load) ส่วนที่สูญเสียที่หาได้นี้จะนำมาใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าและยังสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์สมมูลย์ (Z_{sc}) ค่าความต้านทานจริงสมมูลย์ (R_{sc}) และค่าความต้านทานเสมือนสมมูลย์ (X_{sc}) ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่คิดทางด้านที่ใส่มีเตอร์ต่างๆ เข้าไปทำการวัดทางด้านนั้นๆ โดยในการทดสอบลัดวงจรนี้นิยมทำการลัดวงจรทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงต่ำ (Low voltage side) และทำการวัดโดยใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดให้อยู่ทางด้านศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage side) โดยการลัดวงจรอาจใช้แอมป์มิเตอร์เป็นตัวลัดวงจรแทนก็ได้เพื่อชี้ให้เห็นถึงกระแสที่พิกัดขณะลัดวงจร การทดสอบเป็นดังรูปที่ 2.5

ในการทดสอบนี้ทำได้โดยการค่อย ๆ ปรับแรงดันโวลต์เดจจากวาริแอกโดยเริ่มต้นให้ V_1 เท่ากับศูนย์โวลต์จนกระทั่งทำให้ I_1 อ่านค่าของกระแสได้จนเต็มพิกัดของด้านแรงสูงแล้วทำการอ่านค่าที่ได้จาก V_1, I_1 และ P_1 ซึ่งมีค่าเป็น V_{sc}, I_{sc} และ P_{sc} ตามลำดับและสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาหาค่า R_{eq} และ X_{eq} ได้ดังนี้ :

$$\theta_{sc} = \cos^{-1} \frac{P_{sc}}{V_{sc} I_{sc}} \quad (2.11)$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc} \angle 0^\circ}{I_{sc} \angle -\theta_{sc}} \quad (2.12)$$

$$Z_{sc} = Z_{sc} \angle \theta_{sc} \quad (2.13)$$

$$R_{sc} = Z_{sc} \cos \theta_{sc} \quad (2.14)$$

$$X_{sc} = Z_{sc} \sin \theta_{sc} \quad (2.15)$$

สามารถสรุปได้ว่า

$$R_{eq,H} = R_H + R'_L = R_{sc} \quad (2.16)$$

$$X_{eq,H} = X_H + X'_L = X_{sc} \quad (2.17)$$

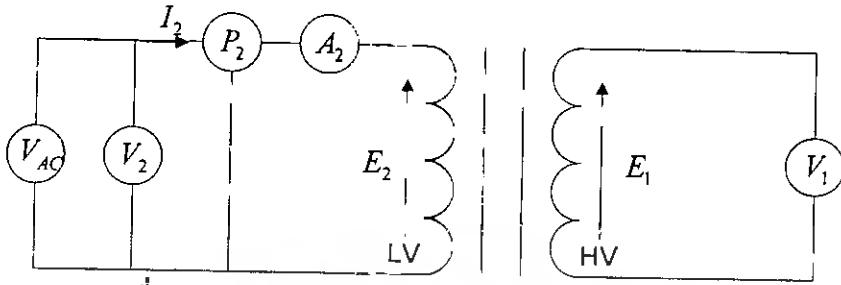
และเมื่อทำการย้ายค่าต่าง ๆ มาอยู่ทางด้านศักดาไฟฟ้าต่ำ

$$R_{eq,L} = \frac{1}{a^2} R_{eq,H} \quad (2.18)$$

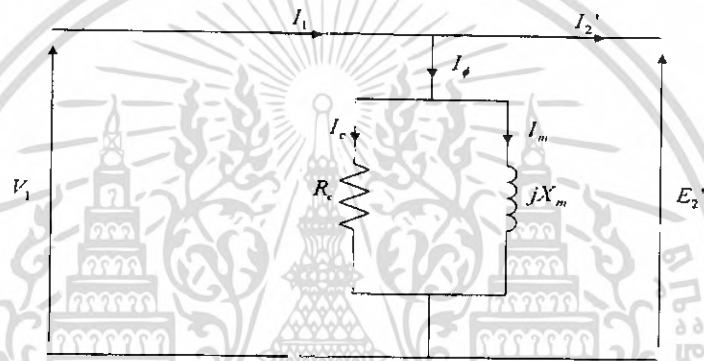
$$X_{eq,L} = \frac{1}{a^2} X_{eq,H} \quad (2.19)$$

จากการทดสอบแบบเปิดและลัดวงจรนี้ทำให้ได้วงจรสมมูลย์โดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งตัวดังรูปที่ 2.6 ซึ่งคิดทางด้านแรงต่ำ หรือ รูปที่ 2.7 ซึ่งคิดทางด้านแรงสูง อย่างไรก็ตาม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

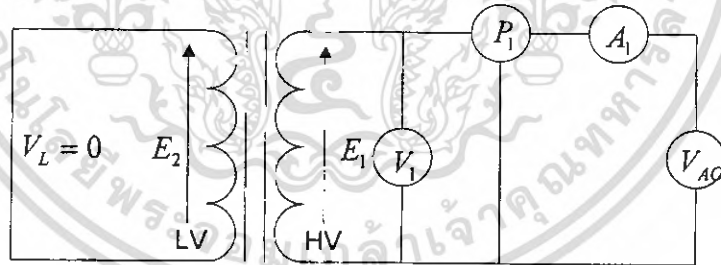
ตามเมื่อรู้ค่า R_1 หรือ R_2 จากการวัดโดยใช้วิธี V-I method ก็จะสามารถคำนวณค่า R_1 หรือ R_2 ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่อีกด้านหนึ่งที่ยังไม่ได้วัดได้



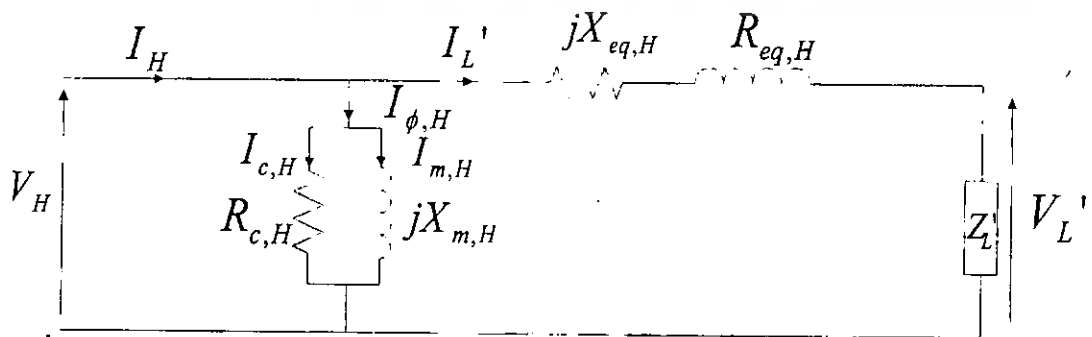
รูปที่ 2.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะทำการเปิดวงจร



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลโดยประมาณของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการทดสอบแบบเปิดวงจร

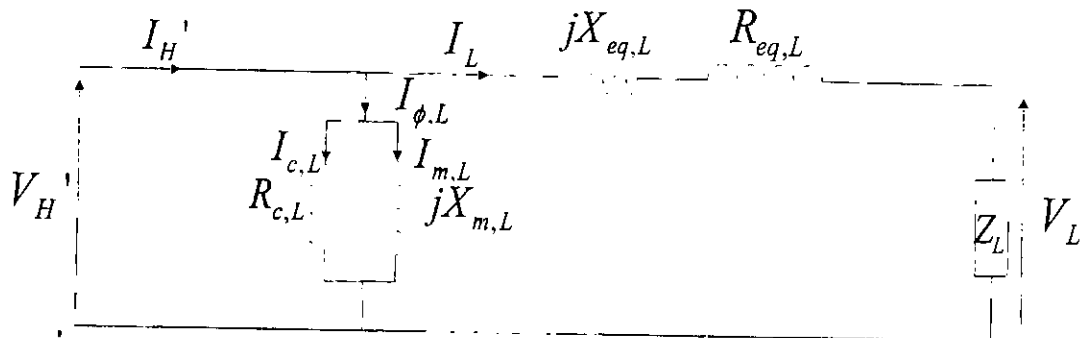


รูปที่ 2.5 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะทำการลัดวงจร



รูปที่ 2.6 วงจรเสมือนของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ย้ายไปอยู่ทางด้านทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรเสมือนของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ย้ายไปอยู่ทางด้านทางด้านศักดาไฟฟ้าต่ำ

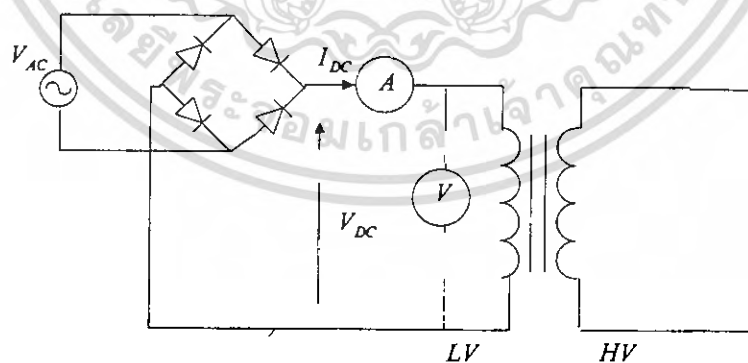
2.3 V-I Method

เป็นการทำการทดสอบหาค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) ของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งทำการทดสอบโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8

ทำการทดสอบโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป และวัดค่าแรงดัน (V) และกระแสไฟฟ้า (I) บันทึกค่าที่ได้ วัดค่า V กับ I ที่ระดับแรงดันที่สูงขึ้นซ้ำอีกหลายครั้ง สามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าได้จาก Ohm's Law

$$V = IR \quad (2.20)$$

นำค่า R ที่หลายระดับแรงดันมาเฉลี่ยกันจะได้ค่า R ของหม้อแปลงไฟฟ้า หรืออาจนำค่า V และ I ที่ได้ไปพล็อตกราฟโดยให้ค่า V อยู่ในแกน y ค่า I อยู่ในแกน x เมื่อพล็อตกราฟแล้วค่าความชัน (slope) ที่ได้จะเป็นค่า R นั้นเอง



รูปที่ 2.8 ทดสอบแบบ V-I Method ด้านแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสอบแบบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

ทำการทดลองการสอบแบบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ดังรูปที่ 2.9 วัดค่าต่างๆจากดังนี้ :

V_{OC_ll} : line to line voltage ของการทดสอบแบบเปิดวงจร

I_{OC} : กระแสไฟฟ้าของการทดสอบแบบเปิดวงจร

$P_{OC_3\phi}$: กำลังไฟฟ้าจริง 3 เฟสของการทดสอบแบบเปิดวงจร

จากการทำ Open Circuit Test สามารถหาค่าของ R_c , X_m ได้จากสมการดังต่อไปนี้ :

$$V_{OC_ln} = \frac{V_{OC_ll}}{\sqrt{3}} \quad (2.21)$$

$$P_{OC_1\phi} = \frac{P_{OC_3\phi}}{3} \quad (2.22)$$

$$R_c = \frac{V_{OC_ln}^2}{P_{OC_1\phi}} \quad (2.23)$$

$$Y_o = \frac{I_{OC}}{V_{OC_ln}} \quad (2.24)$$

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{Y_o^2 - \frac{1}{R_c^2}}} \quad (2.25)$$

R_c : ค่าความต้านทานจริงของแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

X_m : ค่าความต้านทานเสมือนของแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

V_{OC_ln} : แรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของการทดสอบแบบเปิดวงจร

$P_{OC_1\phi}$: กำลังไฟฟ้าต่อเฟสของการทดสอบแบบเปิดวงจร

Y_o : ค่าความนำไฟฟ้าของแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

2.5 การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

ทำการทดลองการสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ดังรูปที่ 2.10 วัดค่าต่างๆดังนี้ :

V_{SC_ll} : line to line voltage ของการทดสอบแบบลัดวงจร

I_{SC} : กระแสไฟฟ้าของการทดสอบแบบลัดวงจร

$P_{SC_3\phi}$: กำลังไฟฟ้าจริง 3 เฟสของการทดสอบแบบลัดวงจร

จากการทำ Short Circuit Test สามารถหาค่าของ R_s , X_s ได้จากสมการดังต่อไปนี้ :

$$V_{SC_ln} = \frac{V_{SC_ll}}{\sqrt{3}} \quad (2.26)$$

$$P_{SC_1\phi} = \frac{P_{SC_3\phi}}{3} \quad (2.27)$$

$$R_s = \frac{P_{SC_1\phi}}{I_{SC}^2} \quad (2.28)$$

$$Z_s = \frac{V_{SC_ln}}{I_{SC}} \quad (2.29)$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} \quad (2.30)$$

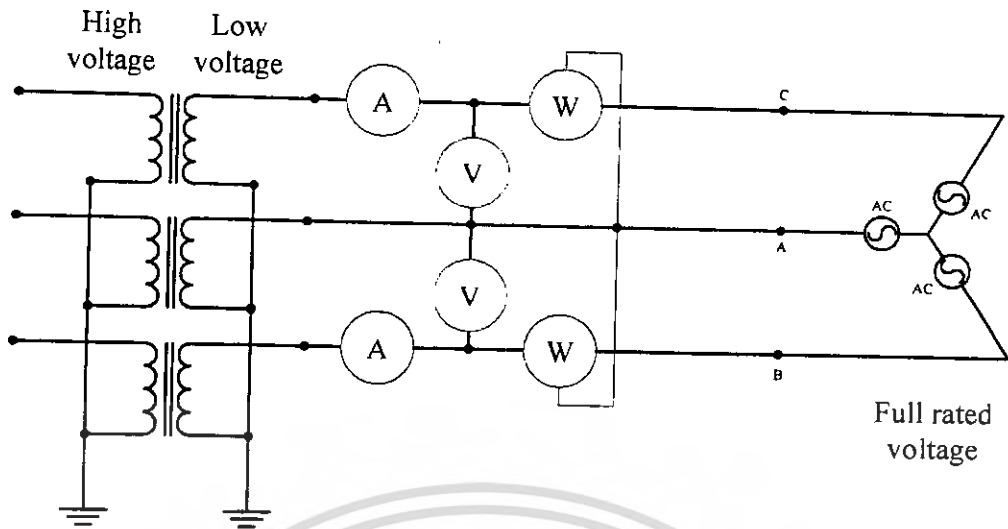
R_s : ค่าความต้านทานจริงของขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

X_s : ค่าความต้านทานเสมือนของขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

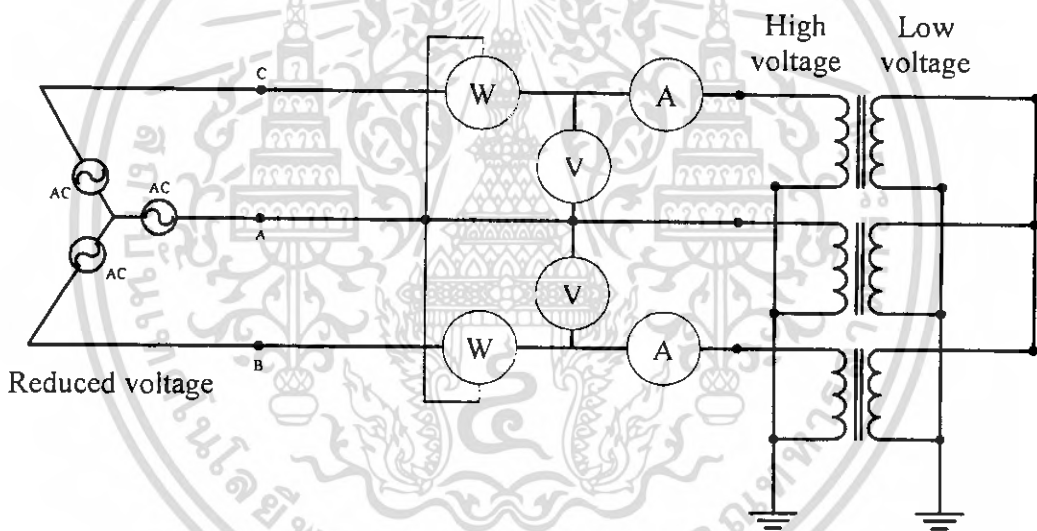
V_{SC_ln} : แรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของการทดสอบแบบลัดวงจร

$P_{SC_3\phi}$: กำลังไฟฟ้าต่อเฟสของการทดสอบแบบลัดวงจร

Z_{SC} : ค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสของขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส



รูปที่ 2.9 การทดสอบแบบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส



รูปที่ 2.10 การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

2.6 ปรากฏการณ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Voltage Regulation)

คืออัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกลดลงมาจากตอนที่ไม่ได้จ่ายไฟ (no-load) เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกตอนที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายไฟเต็มที่ (full load) โดยแรงดันไฟฟ้าขาออกลดลงไปนี้เกิดจากความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ของขดลวดทั้งหมดที่อยู่ในหม้อแปลงไฟฟ้านั้นๆ อย่างไรก็ตาม หม้อแปลงไฟฟ้าตัวเดียวกันย่อมมีปรากฏการณ์เท่ากัน ไม่ว่าจะคิดคำนวณทางด้านใดก็ตามโดยหม้อแปลงไฟฟ้าที่ดีควรมีปรากฏการณ์ไม่เกิน 4% ซึ่งการหาปรากฏการณ์นั้นโดยปกติจะหาจากทางด้านที่จ่ายไฟ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ ว่างกฐนเรช่น} = \frac{V_{out,no\text{load}} - V_{out,load}}{V_{out,no\text{load}}} \times 100\% \quad (2.31)$$

เมือ $V_{out,load}$ คือ แรงดันขออกขณะจ่ยโหลด

$V_{out,no\text{load}}$ คือ แรงดันขออกขณะที่ยังไม่จ่ยโหลด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า (Vector Group)

3.1 ความหมายของกลุ่มเวกเตอร์ (vector group)

ในการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส นั้น เมื่อวัดแรงดันที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าด้านปฐมภูมิกับด้านทุติยภูมิเปรียบเทียบกับกันจะไม่มี ความต่างเฟสเกิดขึ้น (inphase) แต่เมื่อเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส การต่อจะต้องคำนึงถึงการเลื่อนของมุมเฟส (phase shift) จากด้านปฐมภูมิไปด้านทุติยภูมิ ซึ่งการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส นั้นมีหลายรูปแบบการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อนำไปใช้งานนั้นจึงต้องคำนึงถึงแรงดันและความต่างเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย

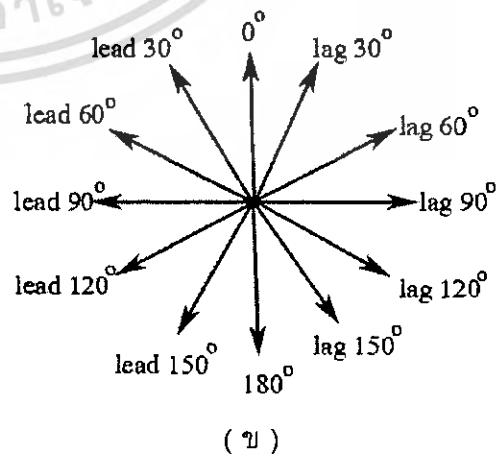
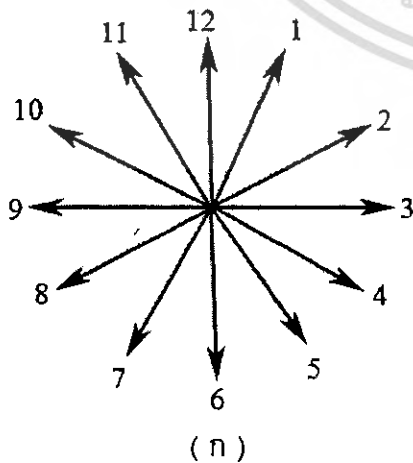
หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าต่างๆ คือ

- ขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิที่อยู่บนแกนเดียวกันนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าที่มีเฟสเดียวกัน (in phase) และแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน
- แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จะสมดุลกันและมีความต่างเฟส 120 องศา

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส มีลักษณะการต่อแบบต่างๆ ดังนี้ :

- ด้านปฐมภูมิต่อเตลต้า ด้านทุติยภูมิต่อเตลต้า ($\Delta - \Delta : Dd$)
- ด้านปฐมภูมิต่อเตลต้า ด้านทุติยภูมิต่อสตาร์ ($\Delta - Y : Dy$)
- ด้านปฐมภูมิต่อสตาร์ ด้านทุติยภูมิต่อสตาร์ ($Y - Y : Yy$)
- ด้านปฐมภูมิต่อสตาร์ ด้านทุติยภูมิต่อเตลต้า ($Y - \Delta : Yd$)

การบอกกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะบอกโดยการระบุการต่อและตามด้วยหมายเลขซึ่งมาจากการระบุตามเข็มนาฬิกาตั้งรูป



รูปที่ 3.1 (ก) ตำแหน่งของกลุ่มเวกเตอร์

(ข) ลำดับเฟสตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.1 ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบระเบียบขณด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส นั้นจะถูกกำหนดให้มีลักษณะที่ใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาการต่อขดลวดดังนี้ :

- (1) ขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิอยู่บนแกนเดียวกัน
- (2) แรงดันของขดลวดทั้งสองชุดมีแรงดันเหนี่ยวนำที่มีเฟสเดียวกัน
- (3) แรงดันทั้ง 3 เฟส เท่ากัน มีมุมห่างกัน 120 องศาตามลำดับ และมีการหมุนไปในทิศทางเดียวกัน

3.2 การตรวจสอบกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้าที่ใช้อยู่โดยทั่วไปถ้าต้องการตรวจสอบกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส สามารถตรวจสอบการต่อแต่ละชนิดได้โดยการต่อ high side terminal ' A ' กับ low side terminal ' c ' และต่อแรงดันไฟฟ้า 400 voltage ชนิด 3 เฟส เข้าที่ high side terminals ทั้ง 3 วัดแรงดันไฟฟ้าระหว่าง terminal ด้าน high side กับ ด้าน low side เป็นคู่ๆ หรือวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่าง neutral ของขดด้าน high side กับ low side terminals แล้วนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาเขียนเพื่อแสดงความสัมพันธ์

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการต่อกลุ่มเวกเตอร์ที่การเลื่อนเฟสต่างๆ

Phase shift	Connections	
0°	Dd0	Yy0
30° lag	Dy1	Yd1
60° lag	Dd2	Yy2
90° lag	Dy3	Yd3
120° lag	Dd4	Yy4
150° lag	Dy5	Yd5
180°	Dd6	Yy6
150° lead	Dy7	Yd7
120° lead	Dd8	Yy8
90° lead	Dy9	Yd9
60° lead	Dd10	Yy10
30° lead	Dy11	Yd11

3.3 การต่อกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

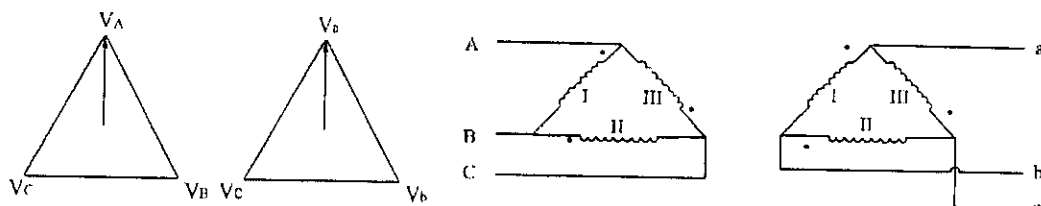
การต่อกลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้ โดยมีค่า ratio ดังนี้ :

$$ratio = \frac{V_{phase, primary}}{V_{phase, secondary}} \quad (3.1)$$

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่า ratio และรูปวงจรถ่ายการต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบต่างๆ

Vector Group	Phase Shift	Ratio	รูปการต่อวงจร
Dd0	0°	N_1 / N_2	รูปที่ 3.2
Dd2	60° lag	N_1 / N_2	รูปที่ 3.3
Dd4	120° lag	N_1 / N_2	รูปที่ 3.4
Dd6	180°	N_1 / N_2	รูปที่ 3.5
Dd8	120° lead	N_1 / N_2	รูปที่ 3.6
Dd10	60° lead	N_1 / N_2	รูปที่ 3.7
Dy1	30° lag	$N_1 / \sqrt{3}N_2$	รูปที่ 3.8
Dy3	90° lag	$N_1 / \sqrt{3}N_2$	รูปที่ 3.9
Dy5	150° lag	$N_1 / \sqrt{3}N_2$	รูปที่ 3.10
Dy7	150° lead	$N_1 / \sqrt{3}N_2$	รูปที่ 3.11
Dy9	90° lead	$N_1 / \sqrt{3}N_2$	รูปที่ 3.12
Dy11	30° lead	$N_1 / \sqrt{3}N_2$	รูปที่ 3.13
Yy0	0°	N_1 / N_2	รูปที่ 3.14
Yy2	60° lag	N_1 / N_2	รูปที่ 3.15
Yy4	120° lag	N_1 / N_2	รูปที่ 3.16
Yy6	180°	N_1 / N_2	รูปที่ 3.17
Yy8	120° lead	N_1 / N_2	รูปที่ 3.18
Yy10	60° lead	N_1 / N_2	รูปที่ 3.19
Yd1	30° lag	$\sqrt{3}N_1 / N_2$	รูปที่ 3.20
Yd3	90° lag	$\sqrt{3}N_1 / N_2$	รูปที่ 3.21
Yd5	150° lag	$\sqrt{3}N_1 / N_2$	รูปที่ 3.22
Yd7	150° lead	$\sqrt{3}N_1 / N_2$	รูปที่ 3.23
Yd9	90° lead	$\sqrt{3}N_1 / N_2$	รูปที่ 3.24
Yd11	30° lead	$\sqrt{3}N_1 / N_2$	รูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

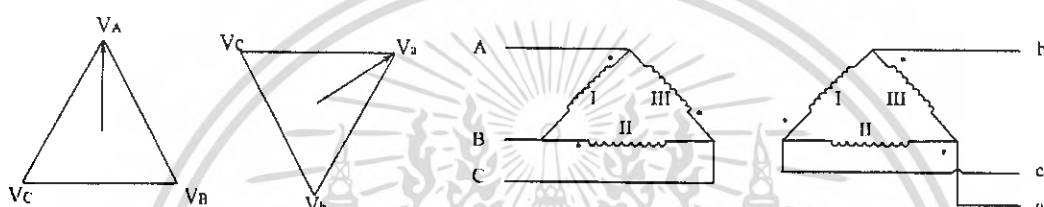


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd0

(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd0

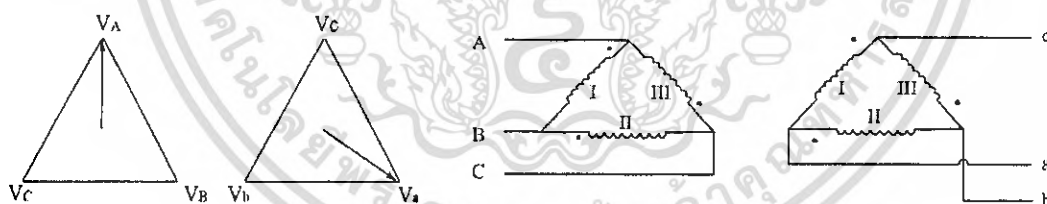


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd2

(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd2



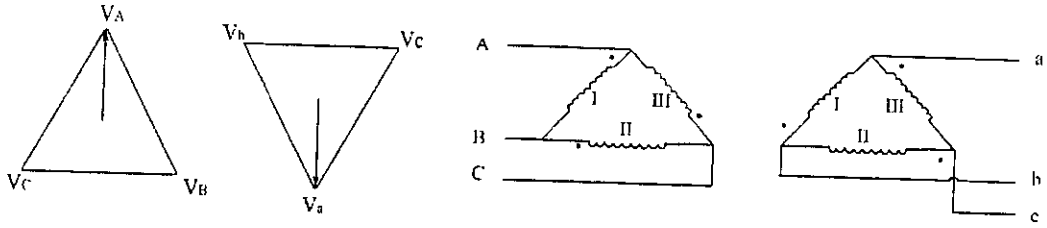
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd4

(ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

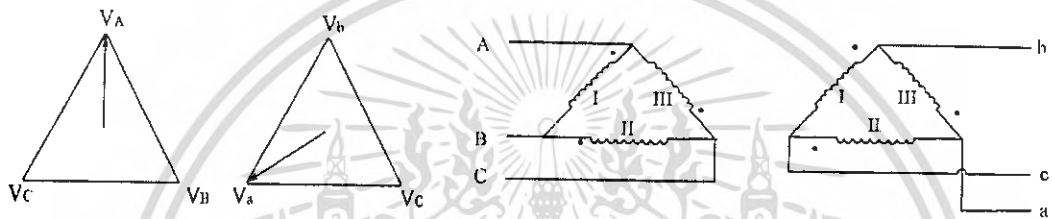


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd6

(ข) แสดงรูปวงจรรวมของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd6

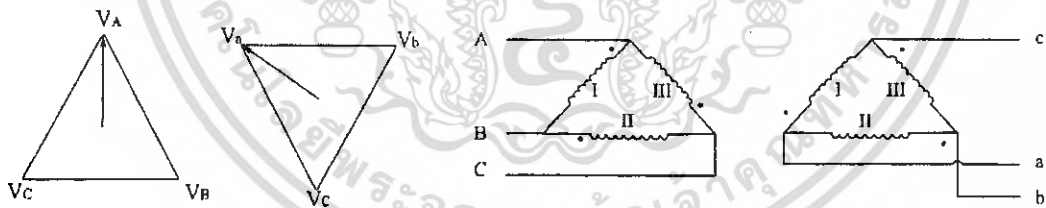


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.6 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd8

(ข) แสดงรูปวงจรรวมของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd8



(ก)

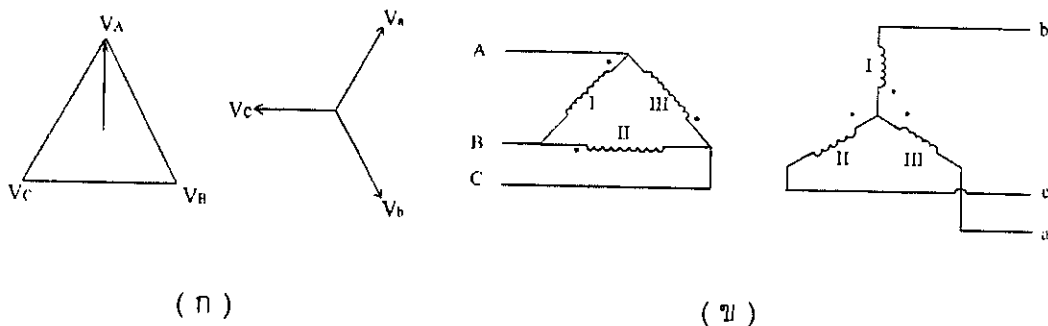
(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd10

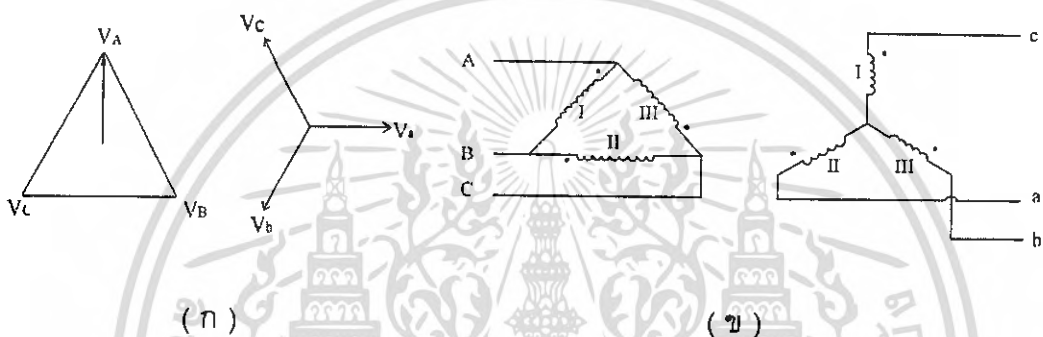
(ข) แสดงรูปวงจรรวมของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dd10

72647

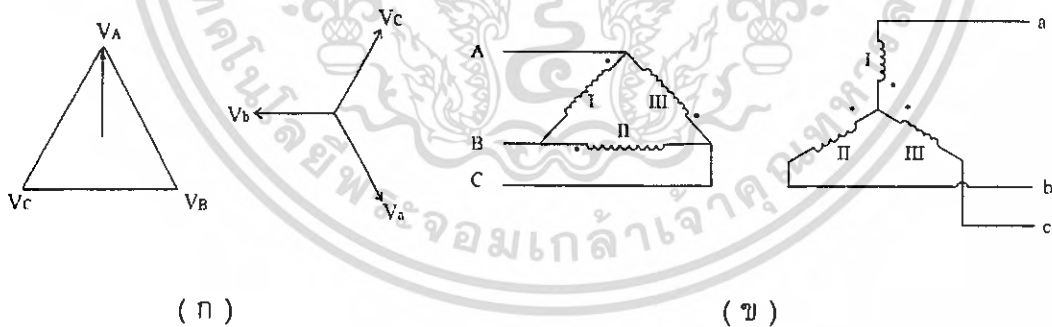
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)
รูปที่ 3.8 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy1
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy1

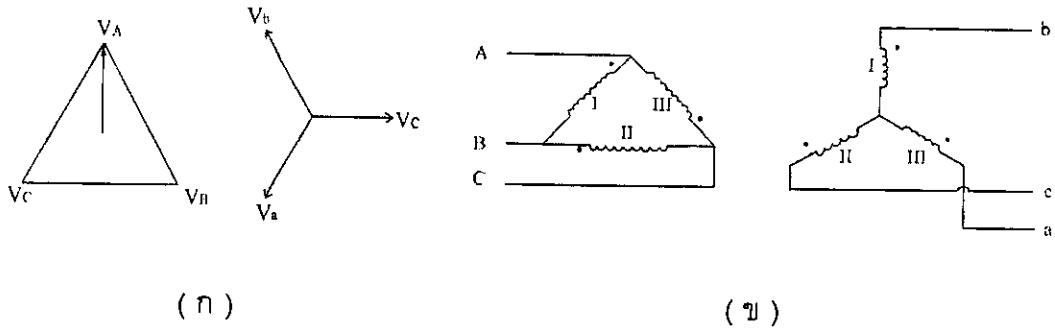


(ก) (ข)
รูปที่ 3.9 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy3
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy3

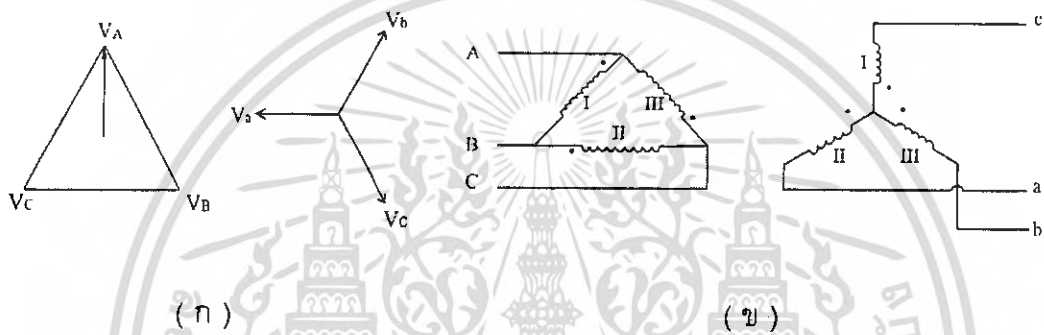


(ก) (ข)
รูปที่ 3.10 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy5
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy5

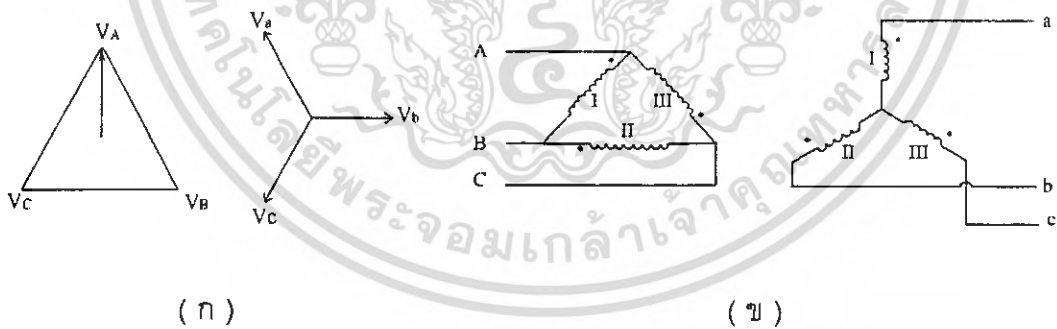
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)
รูปที่ 3.11 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy7
 (ข) แสดงรูปวงจรรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy7

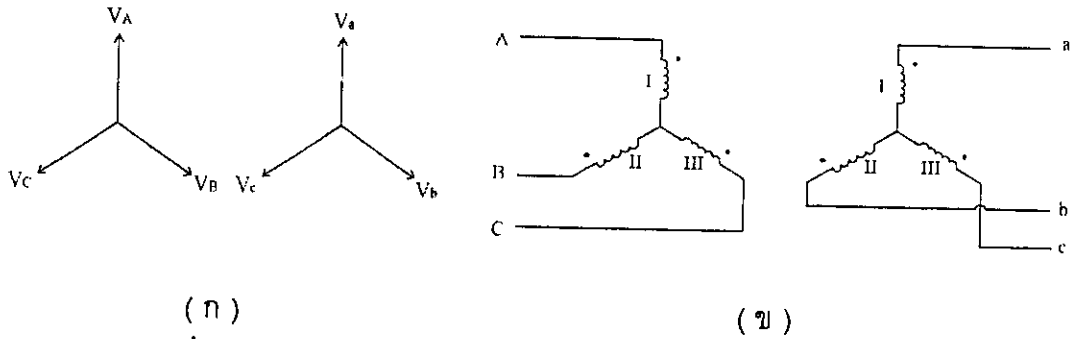


(ก) (ข)
รูปที่ 3.12 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy9
 (ข) แสดงรูปวงจรรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy9

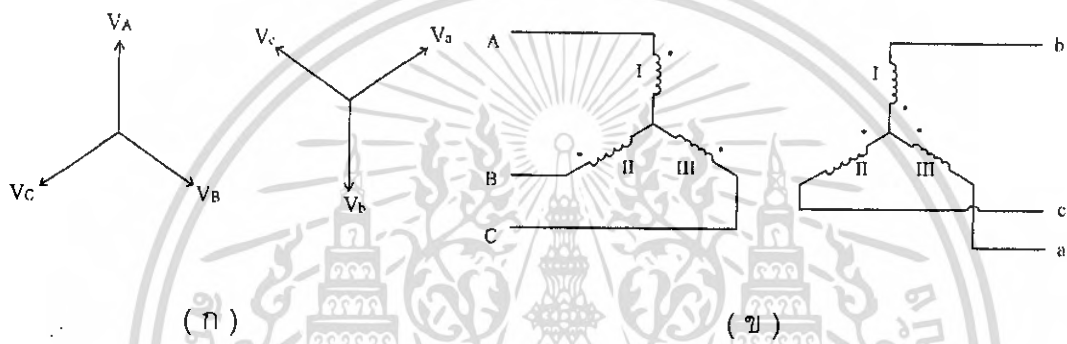


(ก) (ข)
รูปที่ 3.13 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy11
 (ข) แสดงรูปวงจรรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Dy11

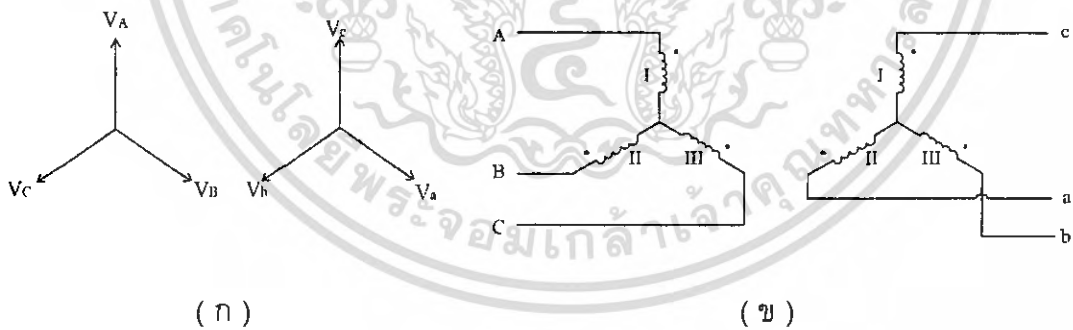
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)
รูปที่ 3.14 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy0
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy0

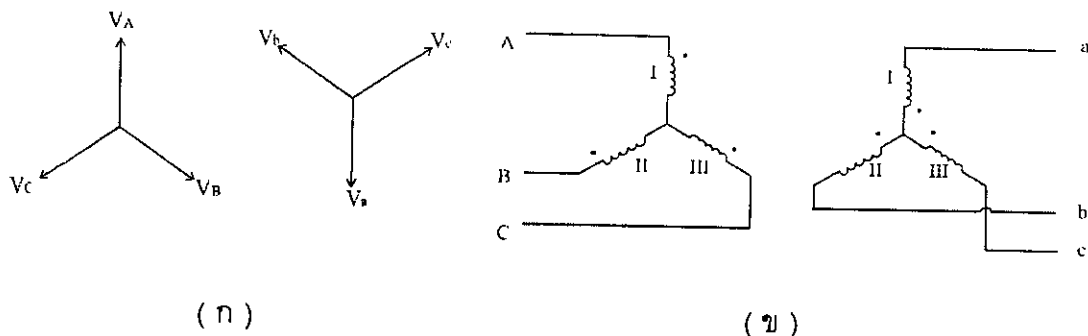


(ก) (ข)
รูปที่ 3.15 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy2
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy2

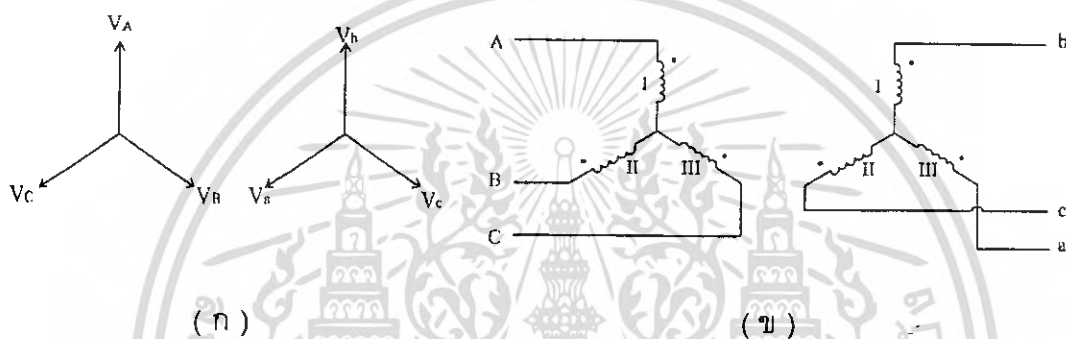


(ก) (ข)
รูปที่ 3.16 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy4
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy4

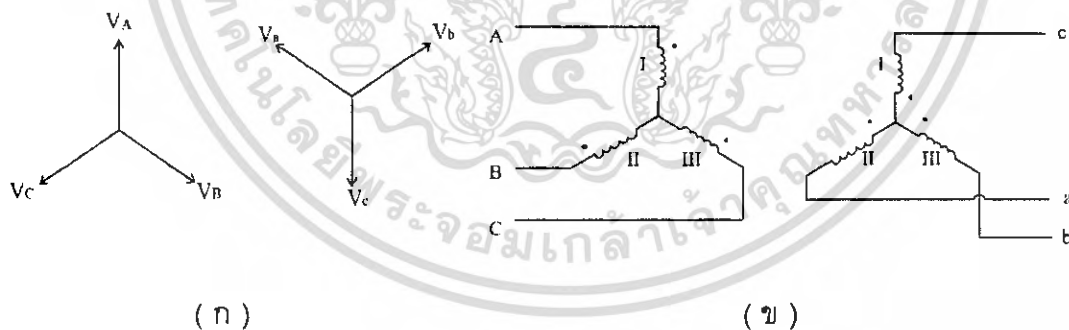
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy6
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy6

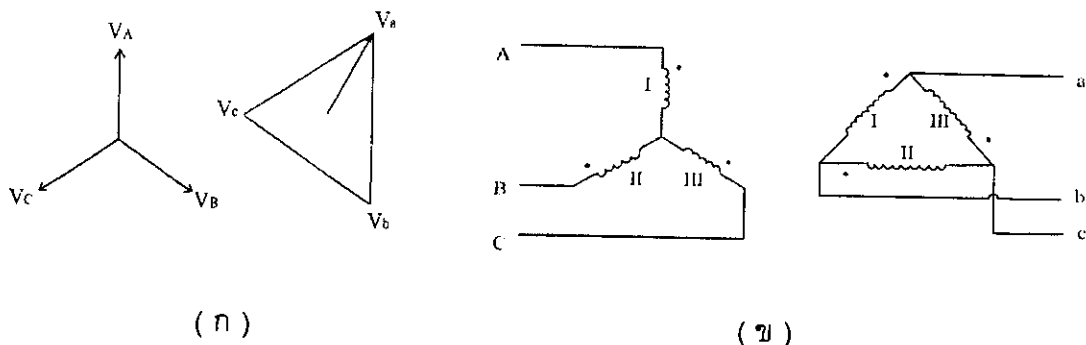


รูปที่ 3.18 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy8
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy8

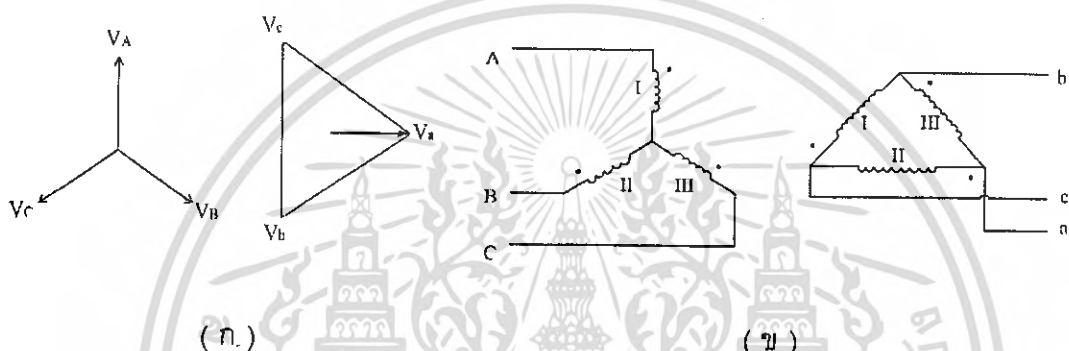


รูปที่ 3.19 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy10
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yy10

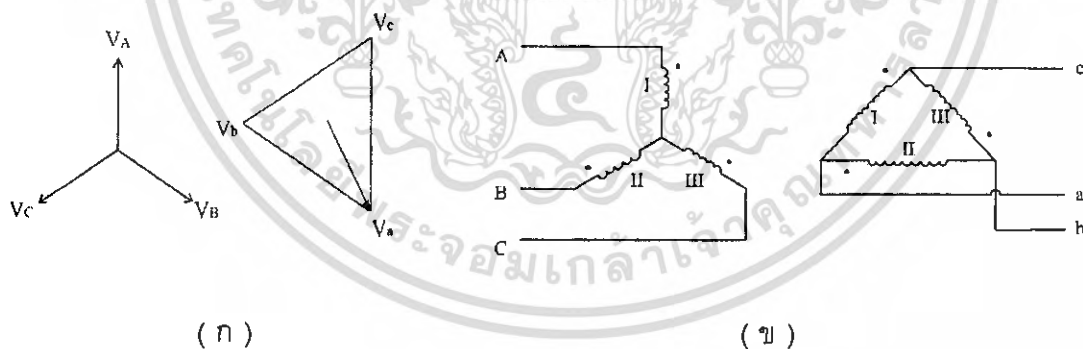
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)
รูปที่ 3.20 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd1
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd1

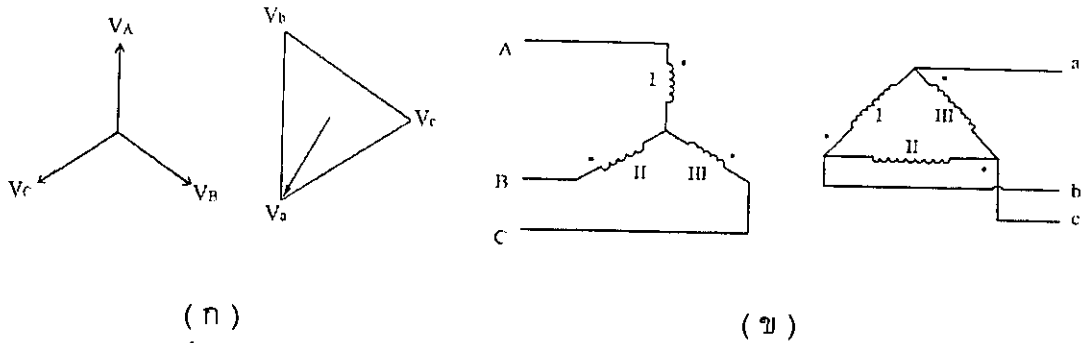


(ก) (ข)
รูปที่ 3.21 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd3
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd3

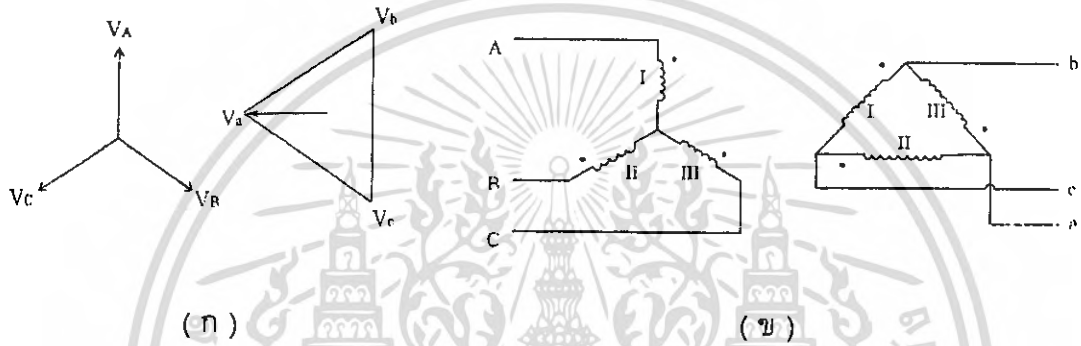


(ก) (ข)
รูปที่ 3.22 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd5
 (ข) แสดงรูปวงจรของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd5

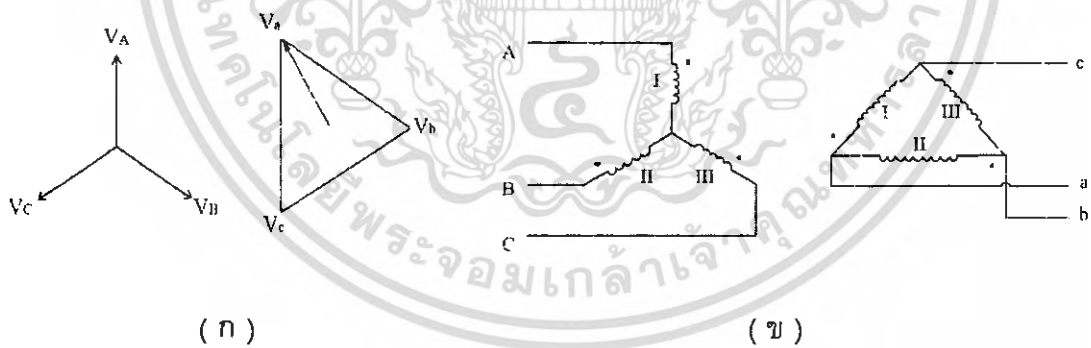
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd7
 (ข) แสดงรูปวงจรรวมของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd7



รูปที่ 3.24 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd9
 (ข) แสดงรูปวงจรรวมของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd9



รูปที่ 3.25 (ก) แสดงรูปเฟสเซอร์ของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd11
 (ข) แสดงรูปวงจรรวมของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Yd11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1 ส่วนประกอบสมมาตร (symmetrical components)

ในการคำนวณความผิดปกติ (fault) ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น การคำนวณความผิดปกติ สมดุล 3 เฟส (balance three-phase fault) ซึ่งก็คือ three-phase fault จะสามารถคำนวณ โดยใช้วิธีคิดที่คำนวณจากค่าอิมพีแดนซ์และค่าแรงดันไฟฟ้าได้แต่ถ้าเป็นความผิดปกติไม่สมดุล (unbalance fault) จะไม่สามารถคิดได้จึงต้องใช้วิธีส่วนประกอบสมมาตร (symmetrical components) มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เกิดลำดับ (sequence) ต่างๆดังนี้ :

1. positive sequence components

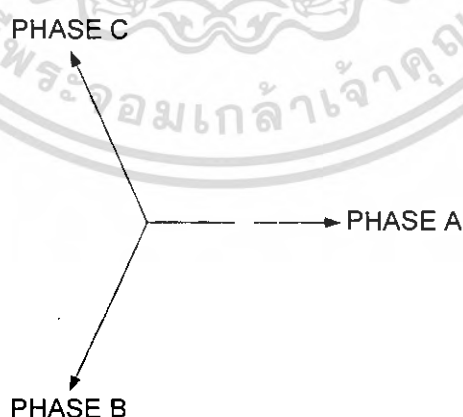
คือ sequence ที่มีลักษณะการเรียงเฟสตามปกติคือเรียงแบบ abc และมีขนาดเท่ากันหมด(ถ้าเฟส A อยู่ที่ 0° เฟส B จะอยู่ที่ 240° และเฟส C จะอยู่ที่ 120° ดังรูปที่ 4.1) ในปริญญาโทเล่มนี้จะใช้สัญลักษณ์ 1 แทนลำดับ (sequence) นี้

2. negative sequence components

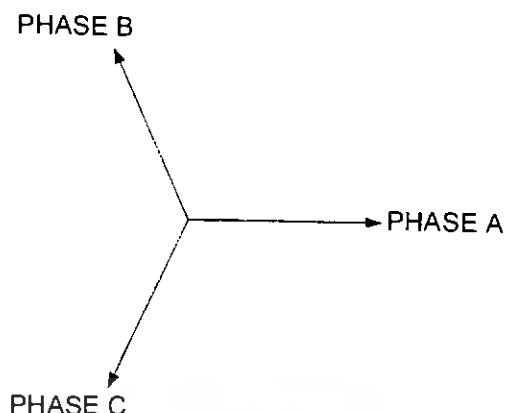
คือ sequence ที่มีลักษณะการเรียงเฟสที่กลับจากปกติคือเรียงแบบ acb และมีขนาดเท่ากันหมด(ถ้าเฟส A อยู่ที่ 0° เฟส B จะอยู่ที่ 120° และเฟส C จะอยู่ที่ 240° ดังรูปที่ 4.2) ในปริญญาโทเล่มนี้จะใช้สัญลักษณ์ 2 แทนลำดับ (sequence) นี้

3. zero sequence components

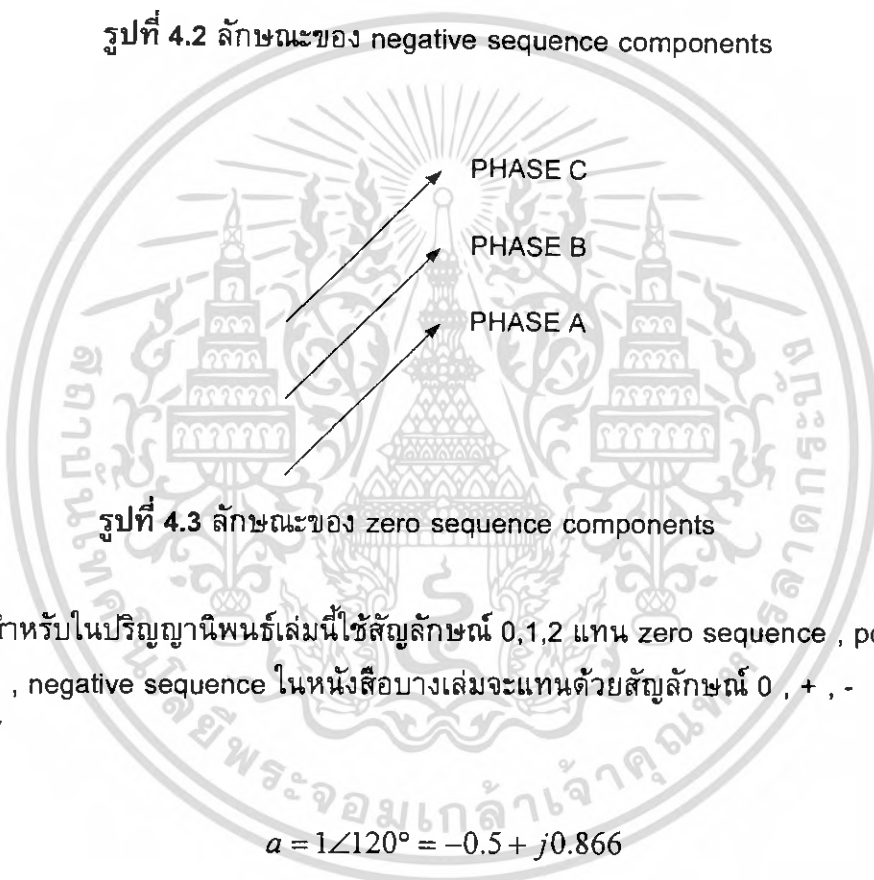
คือ sequence ที่ค่ามุมเฟสของทั้งเฟส A,B,C มีค่าเท่ากันอยู่ที่ค่ามุมค่าหนึ่งและมีขนาดเท่ากันหมดดังรูปที่ 4.3 ในปริญญาโทเล่มนี้จะใช้สัญลักษณ์ 0 แทนลำดับ (sequence) นี้



รูปที่ 4.1 ลักษณะของ positive sequence components



รูปที่ 4.2 ลักษณะของ negative sequence components



รูปที่ 4.3 ลักษณะของ zero sequence components

*สำหรับในปริภูมิเฟสสามเฟสใช้สัญลักษณ์ 0,1,2 แทน zero sequence , positive sequence , negative sequence ในหนังสือบางเล่มจะแทนด้วยสัญลักษณ์ 0 , + , - กำหนดให้

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0.5 + j0.866 \quad (4.1)$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0.5 - j0.866 \quad (4.2)$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \quad (4.3)$$

$$1 + a + a^2 = 0 \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ส่วนประกอบสมมาตรสำหรับสมการกระแสไฟฟ้า

Positive sequence components :

$$I_a^1 = I_a^1 \angle 0^\circ = I_a^1 \quad (4.5)$$

$$I_b^1 = I_a^1 \angle 240^\circ = a^2 I_a^1 \quad (4.6)$$

$$I_c^1 = I_a^1 \angle 120^\circ = a I_a^1 \quad (4.7)$$

Negative sequence components :

$$I_a^2 = I_a^2 \angle 0^\circ = I_a^2 \quad (4.8)$$

$$I_b^2 = I_a^2 \angle 120^\circ = a I_a^2 \quad (4.9)$$

$$I_c^2 = I_a^2 \angle 240^\circ = a^2 I_a^2 \quad (4.10)$$

Zero sequence components :

$$I_a^0 = I_b^0 = I_c^0 \quad (4.11)$$

พิจารณากระแสไฟฟ้าสมมูลย์ 3 เฟส (I_a, I_b, I_c)

$$I_a = I_a^0 + I_a^1 + I_a^2 \quad (4.12)$$

$$I_b = I_b^0 + I_b^1 + I_b^2 \quad (4.13)$$

$$I_c = I_c^0 + I_c^1 + I_c^2 \quad (4.14)$$

เมื่อพิจารณาให้อยู่ในเทอมของเฟส a

$$I_a = I_a^0 + I_a^1 + I_a^2 \quad (4.15)$$

$$I_b = I_a^0 + a^2 I_a^1 + a I_a^2 \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_c = I_a^0 + aI_a^1 + a^2 I_a^2 \quad (4.17)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$$I^{abc} = AI_a^{012} \quad (4.19)$$

เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

ถ้าต้องการหาค่า sequence components ต่างๆ

$$A^{-1}I^{abc} = A^{-1}AI_a^{012} \quad (4.21)$$

$$I_a^{012} = A^{-1}I^{abc} \quad (4.22)$$

เมื่อ

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

ทำให้

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$I_a^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (4.25)$$

$$I_a^1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (4.26)$$

$$I_a^2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (4.27)$$

$$I_b^0 = I_a^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (4.28)$$

$$I_b^1 = a^2I_a^1 = \frac{1}{3}(a^2I_a + I_b + aI_c) \quad (4.29)$$

$$I_b^2 = aI_a^2 = \frac{1}{3}(aI_a + I_b + a^2I_c) \quad (4.30)$$

$$I_c^0 = I_a^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (4.31)$$

$$I_c^1 = aI_a^1 = \frac{1}{3}(aI_a + a^2I_b + I_c) \quad (4.32)$$

$$I_c^2 = a^2I_a^2 = \frac{1}{3}(a^2I_a + aI_b + I_c) \quad (4.33)$$

4.1.2 ส่วนประกอบสมมาตรสำหรับสมการแรงดันไฟฟ้า

Positive sequence components :

$$V_a^1 = V_a^1 \angle 0^\circ = V_a^1 \quad (4.34)$$

$$V_b^1 = V_a^1 \angle 240^\circ = a^2V_a^1 \quad (4.35)$$

$$V_c^1 = V_a^1 \angle 120^\circ = aV_a^1 \quad (4.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Negative sequence components :

$$V_a^2 = V_a^2 \angle 0^\circ = V_a^2 \quad (4.37)$$

$$V_b^2 = V_a^2 \angle 120^\circ = aV_a^2 \quad (4.38)$$

$$V_c^2 = V_a^2 \angle 240^\circ = a^2V_a^2 \quad (4.39)$$

Zero sequence components :

$$V_a^0 = V_b^0 = V_c^0 \quad (4.40)$$

พิจารณาแรงดันไฟฟ้าสมมูล 3 เฟส (V_a, V_b, V_c)

$$V_a = V_a^0 + V_a^1 + V_a^2 \quad (4.41)$$

$$V_b = V_b^0 + V_b^1 + V_b^2 \quad (4.42)$$

$$V_c = V_c^0 + V_c^1 + V_c^2 \quad (4.43)$$

เมื่อพิจารณาให้อยู่ในเทอมของเฟส a

$$V_a = V_a^0 + V_a^1 + V_a^2 \quad (4.44)$$

$$V_b = V_a^0 + a^2V_a^1 + aV_a^2 \quad (4.45)$$

$$V_c = V_a^0 + aV_a^1 + a^2V_a^2 \quad (4.46)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V^{abc} = AV_a^{012} \quad (4.48)$$

เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

ถ้าต้องการหาค่า sequence components ต่าง ๆ

$$A^{-1}V^{abc} = A^{-1}AV_a^{012} \quad (4.50)$$

$$V_a^{012} = A^{-1}V^{abc} \quad (4.51)$$

เมื่อ

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (4.52)$$

ทำให้

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (4.53)$$

จะได้

$$V_a^0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (4.54)$$

$$V_a^1 = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (4.55)$$

$$V_a^2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (4.56)$$

$$V_b^0 = V_a^0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (4.57)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_b^1 = a^2 V_a^1 = \frac{1}{3}(a^2 V_a + V_b + a V_c) \quad (4.58)$$

$$V_b^2 = a V_a^2 = \frac{1}{3}(a V_a + V_b + a^2 V_c) \quad (4.59)$$

$$V_c^0 = V_a^0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (4.60)$$

$$V_c^1 = a V_a^1 = \frac{1}{3}(a V_a + a^2 V_b + V_c) \quad (4.61)$$

$$V_c^2 = a^2 V_a^2 = \frac{1}{3}(a^2 V_a + a V_b + V_c) \quad (4.62)$$

4.1.3 ส่วนประกอบสมมาตรสำหรับค่าอิมพีแดนซ์

$$V^{abc} = Z^{abc} I^{abc} \quad (4.63)$$

$$V_a^{012} = Z^{012} I_a^{012} \quad (4.64)$$

สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

$$Z^{012} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix} \quad (4.65)$$

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} \quad (4.66)$$

จะได้

$$Z^0 = \frac{V_a^0}{I_a^0} \quad (4.67)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z^1 = \frac{V_a^1}{I_a^1} \quad (4.68)$$

$$Z^2 = \frac{V_a^2}{I_a^2} \quad (4.69)$$

4.2 การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น หม้อแปลงไฟฟ้าถือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในทุกๆระบบไฟฟ้า ซึ่งเมื่อเกิดความผิดปกติ (Fault) จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าปริมาณมากทำให้เกิดความเสียหายได้ ซึ่งในการคำนวณค่า fault ของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น จำเป็นต้องรู้ค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีวิธีหาค่า sequence impedance ได้ดังนี้ :

1. positive sequence impedance

สำหรับค่าหม้อแปลงไฟฟ้าค่า positive sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น จะสามารถหาได้โดยการทำ Short circuit test นั้นเอง

$$Z_{\text{positive-sequence}} = Z_{SC} \quad (4.70)$$

2. negative sequence impedance

ค่า negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะมีค่าเท่ากับค่า positive sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นเองเพราะการกลับเฟสจาก positive sequence เป็น negative sequence นั้นจะไม่มีผลกับสิ่งที่อยู่กับที่อย่างหม้อแปลงไฟฟ้า

$$Z_{\text{negative-sequence}} = Z_{\text{positive-sequence}} = Z_{SC} \quad (4.71)$$

3. zero sequence impedance

ค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ (แบบสตาร์หรือแบบเดลต้า) และขึ้นอยู่กับ การต่อลงกราวนด์ หรือไม่ต่อลงกราวนด์

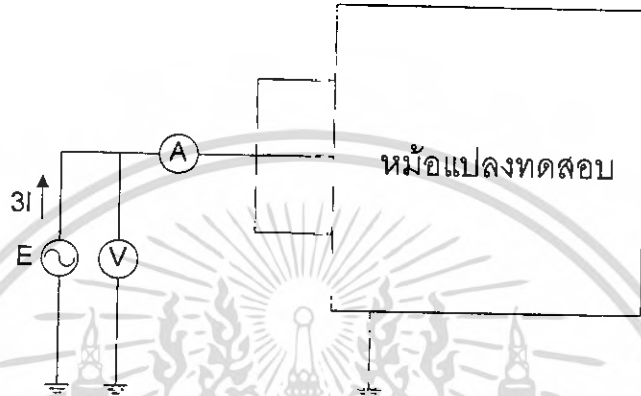
4.2.1 การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอด 1 เฟส

การทดสอบค่า zero sequence impedance แบบนี้จะใช้วาริแอด 1 เฟส 1 ตัว ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า และจะทำการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆเพื่อทำการวัดหาค่า zero sequence impedance ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 2.14 ค่าที่วัดได้จากโวลท์มิเตอร์คือค่า E ค่าที่วัดได้จากแอมป์มิเตอร์คือค่า 3I สามารถคำนวณค่า zero sequence impedance ได้โดยสมการ

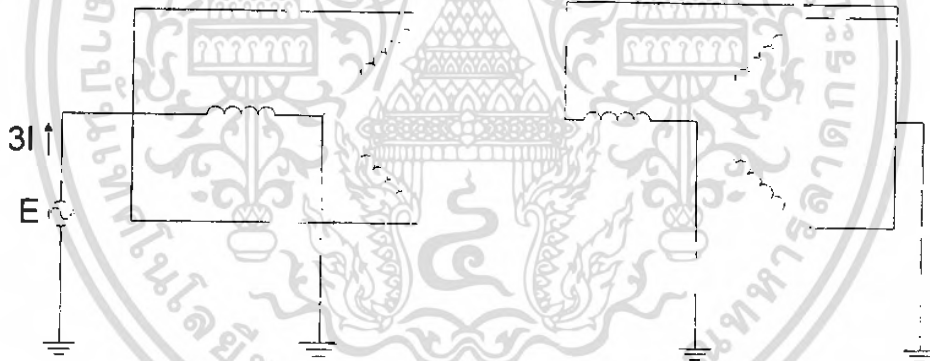
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{\text{zero-sequence}} = \frac{E}{I} \quad (4.72)$$

- แบบที่ 1 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์ทั้งสองด้าน
 แบบที่ 2 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลกราวนด์หนึ่งด้าน
 แบบที่ 3 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลกราวนด์



รูปที่ 4.4 รูปวงจรการทดสอบหาค่า Z^0 โดยใช้วาริแอก 1 เฟส



รูปที่ 4.5 (ก)

$$Z_0 = Z_{\text{leakage}}$$

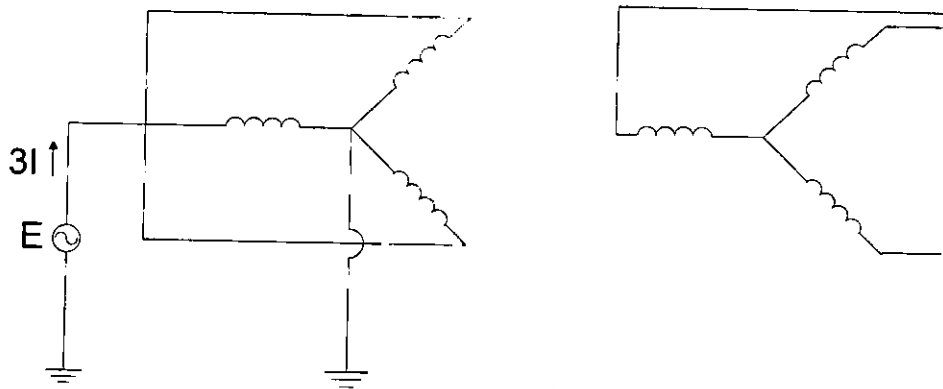


รูปที่ 4.5 (ข)

รูปที่ 4.5 (ก) รูปวงจรการทดสอบ Z^0 แบบการต่อ Y-Y ลกราวนด์ทั้ง 2 ด้าน

(ข) รูปวงจรเสมือนของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ Y-Y ลกราวนด์
 ทั้ง 2 ด้าน

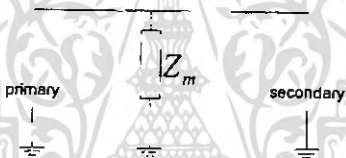
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ก)

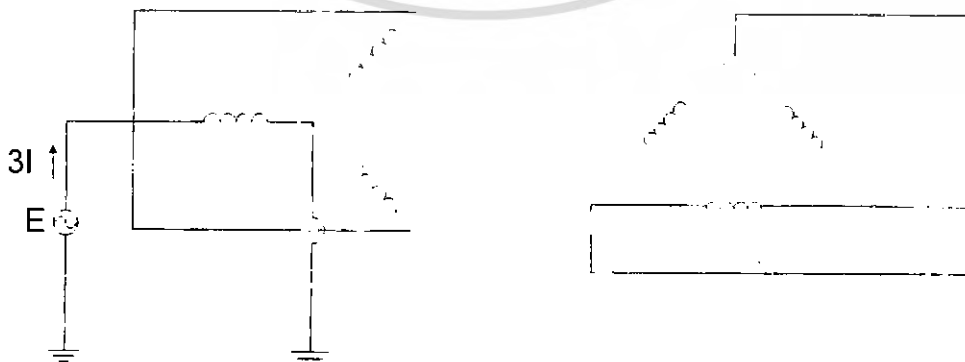


รูปที่ 4.6 (ข)



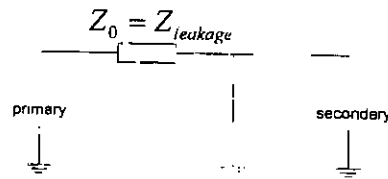
รูปที่ 4.6 (ค)

- รูปที่ 4.6 (ก) รูปวงจรการทดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน
- (ข) รูปวงจรเสมือนการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน โดยที่แต่ละเฟสไม่มีค่าอิมพีแดนซ์ร่วมกันอยู่ (หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อร่วมกัน)
- (ค) รูปวงจรเสมือนการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน โดยที่แต่ละเฟสมีค่าอิมพีแดนซ์ร่วมกันอยู่ (หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส)



รูปที่ 4.7 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ข)

รูปที่ 4.7 (ก) รูปวงจรการทดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-\Delta$ ด้าน Y ลงกราวด์

(ข) รูปวงจรเสมือนการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-\Delta$ ด้าน Y ลงกราวด์

4.2.2 การทดสอบหาค่า sequence impedance โดยการใช้การทดสอบ unbalance

การทดสอบค่า sequence impedance แบบนี้จะใช้วาริแอก 1 เฟส 3 ตัว จ่ายเข้าแยกแต่ละขดลวดโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้านั้นจะปรับวาริแอก 1 เฟสแต่ละตัวให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันดังรูป 2.18 โดยที่การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าจะอยู่ในรูปแบบต่างๆ (สตาร์หรือเดลต้า, ลงกราวด์หรือไม่ลงกราวด์) ทำการทดลองโดยวัดค่า $E_A, E_B, E_C, I_A, I_B, I_C$ พร้อมทั้งการบันทึกค่ามุมเฟสด้วย

นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า sequence impedance ได้ดังนี้

- หาค่าแรงดันไฟฟ้าตาม sequence ต่างๆ

$$V_a^{012} = A^{-1} V^{abc} \quad (4.73)$$

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (4.74)$$

- หาค่ากระแสไฟฟ้าตาม sequence ต่างๆ

$$I_a^{012} = A^{-1} I^{abc} \quad (4.75)$$

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4.76)$$

- คำนวณหาค่า sequence impedance

$$V_a^{012} = Z^{012} I_a^{012} \quad (4.77)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z^{012} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix} \quad (4.78)$$

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} \quad (4.79)$$

จะได้

$$Z^0 = \frac{V_a^0}{I_a^0} \quad (4.80)$$

$$Z^1 = \frac{V_a^1}{I_a^1} \quad (4.81)$$

$$Z^2 = \frac{V_a^2}{I_a^2} \quad (4.82)$$

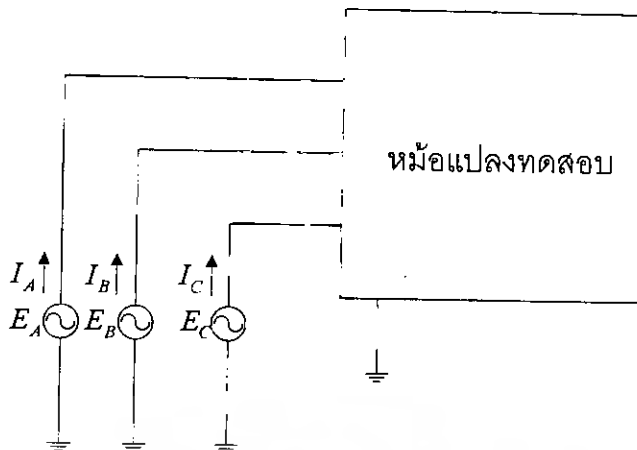
ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบค่า sequence impedance ในการต่อต่างๆทั้งหมด 4 รูปแบบ

แบบที่ 1 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวนด์ 1 จุด ดังรูปที่ 4.9

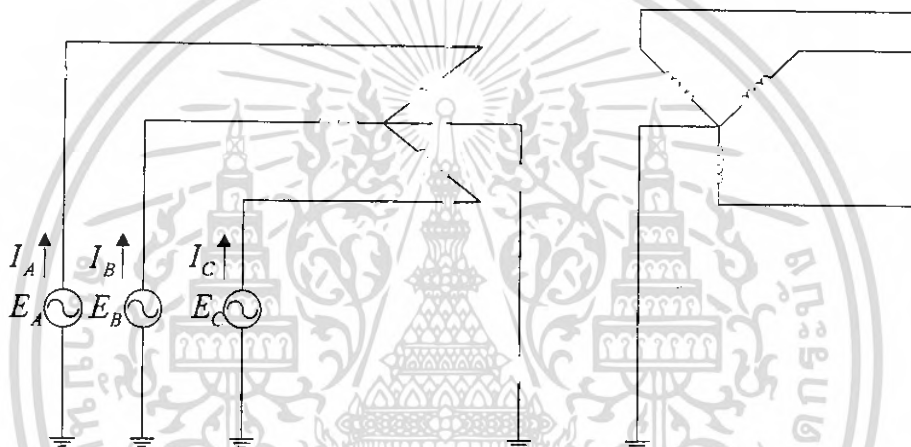
แบบที่ 2 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวนด์ 2 จุด ดังรูปที่ 4.10

แบบที่ 3 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า ดังรูปที่ 4.11

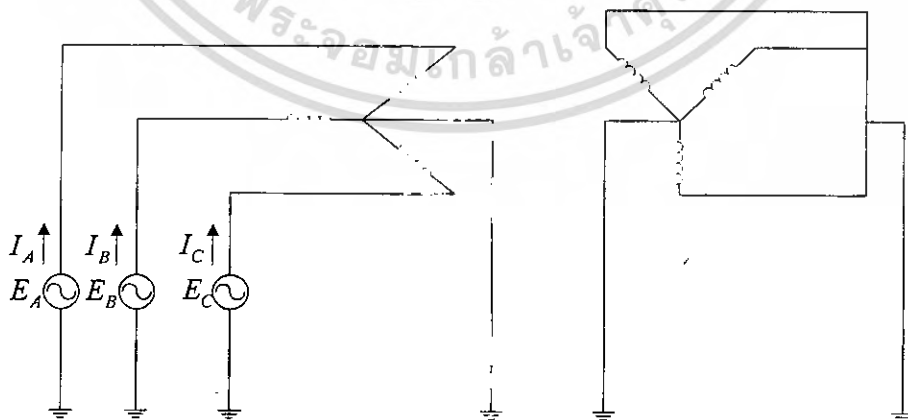
แบบที่ 4 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า short circuit ลงกราวนด์ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.8 รูปวงจรการทดสอบหาค่า sequence impedance โดยใช้ทดสอบแบบ unbalance

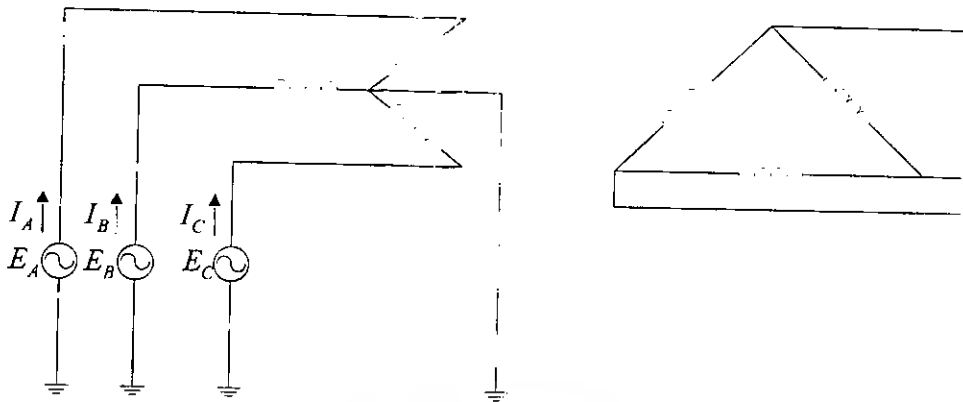


รูปที่ 4.9 การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance โดยต่อแบบด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวนด์ 1 จุด

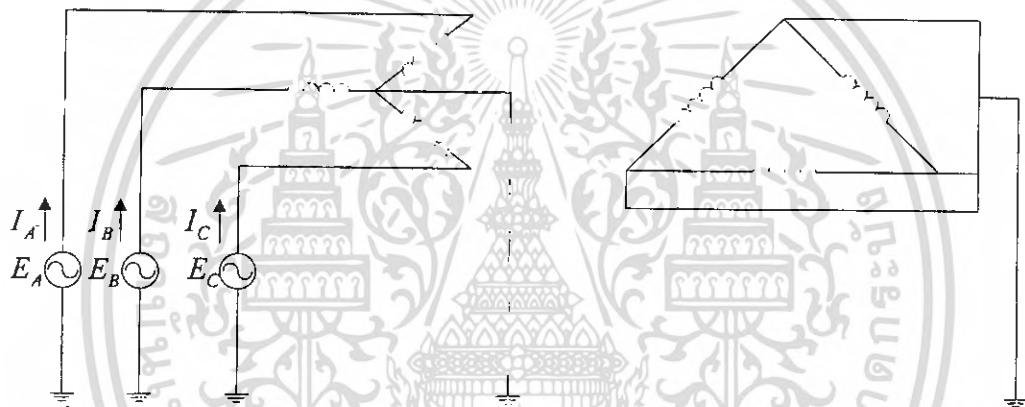


รูปที่ 4.10 การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance โดยต่อแบบด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวนด์ 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า



รูปที่ 4.12 การทดสอบค่า sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า short circuit ลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า

5.1.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

5.1.1.1 ผลการทดลอง Open และ Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

ตารางที่ 5.1 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{oc} (V)	110	110	110
I_{oc} (A)	0.304	0.282	0.283
P_{oc} (W)	18.9	18.1	18.2
Q_{oc} (VAR)	27.5	24.5	25.6
S_{oc} (VA)	33.5	30.5	31.4
Power factor	0.56	0.59	0.58
V_{out} (V)	221.5	220.2	220.0

ตารางที่ 5.2 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{sc} (V)	6	5.7	5.8
I_{sc} (A)	1.58	1.58	1.58
P_{sc} (W)	9.2	9.0	9.1
Q_{sc} (VAR)	1.7	1.7	1.8
S_{sc} (VA)	9.4	9.2	9.3
Power factor	0.98	0.99	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 2
วัดโดยมิเตอร์ดิจิตอล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{oc} (V)	110	110	110
I_{oc} (A)	0.302	0.281	0.284
P_{oc} (W)	18.8	18.1	18.1
Q_{oc} (VAR)	27.5	25.1	25.5
S_{oc} (VA)	33.3	31.0	31.2
Power factor	0.56	0.59	0.58
V_{out} (V)	220.5	220.5	219.6

ตารางที่ 5.4 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 2
วัดโดยมิเตอร์ดิจิตอล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{sc} (V)	5.8	5.8	5.8
I_{sc} (A)	1.58	1.58	1.58
P_{sc} (W)	9.1	9.0	9.0
Q_{sc} (VAR)	1.8	1.7	1.9
S_{sc} (VA)	9.5	9.3	9.7
Power factor	0.98	0.99	0.98

ตารางที่ 5.5 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 3
วัดโดยมิเตอร์ดิจิตอล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{oc} (V)	110	110	110
I_{oc} (A)	0.301	0.283	0.285
P_{oc} (W)	18.7	18.3	18.2
Q_{oc} (VAR)	27.4	25.3	25.4
S_{oc} (VA)	33.2	31.2	31.2
Power factor	0.56	0.59	0.58
V_{out} (V)	220.4	219.9	219.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 3
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{sc} (V)	5.6	5.5	5.6
I_{sc} (A)	1.58	1.58	1.58
P_{sc} (W)	8.5	8.4	8.6
Q_{sc} (VAR)	1.7	1.6	1.8
S_{sc} (VA)	8.6	8.6	8.8
Power factor	0.99	0.98	0.98

ตารางที่ 5.7 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 4
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{oc} (V)	110	110	110
I_{oc} (A)	0.300	0.285	0.284
P_{oc} (W)	18.6	18.5	18.2
Q_{oc} (VAR)	27.3	25.4	25.4
S_{oc} (VA)	33.0	31.4	31.3
Power factor	0.56	0.59	0.58
V_{out} (V)	220.0	220.2	219.7

ตารางที่ 5.8 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 4
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{sc} (V)	5.6	5.6	5.6
I_{sc} (A)	1.58	1.58	1.58
P_{sc} (W)	8.4	8.6	8.6
Q_{sc} (VAR)	1.7	1.6	1.8
S_{sc} (VA)	8.6	8.8	8.8
Power factor	0.99	0.98	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{oc} (V)	110	110	110
I_{oc} (A)	0.299	0.285	0.285
P_{oc} (W)	18.6	18.4	18.2
Q_{oc} (VAR)	27.2	25.4	25.5
S_{oc} (VA)	33.0	31.3	31.4
Power factor	0.57	0.59	0.58
V_{out} (V)	219.9	220.0	220.0

ตารางที่ 5.10 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{sc} (V)	5.5	5.6	5.6
I_{sc} (A)	1.58	1.58	1.58
P_{sc} (W)	8.6	8.5	8.6
Q_{sc} (VAR)	1.7	1.6	1.8
S_{sc} (VA)	8.9	8.7	8.8
Power factor	0.98	0.98	0.98

ตารางที่ 5.11 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์เข็ม YOGOKAWA

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{oc} (V)	110	110	110
I_{oc} (A)	0.31	0.28	0.28
P_{oc} (W)	18.1	18.1	18.1
V_{out} (V)	220.7	220.2	220.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 1
วัดโดยมิเตอร์เข็ม YOGOKAWA

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{SC} (V)	5.9	5.8	5.9
I_{SC} (A)	1.6	1.6	1.6
P_{SC} (W)	9.5	9.5	9.5

5.1.1.2 ผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

ตารางที่ 5.13 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 1
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L}$ (Ω)	640.22	668.53	664.86
$X_{m,L}$ (Ω)	447.29	485.54	486.96
$R_{c,H}$ (Ω)	2560.88	2674.12	2659.44
$X_{m,H}$ (Ω)	1789.16	1942.16	1947.84
$R_{eq,H}$ (Ω)	3.685	3.605	3.6
$X_{eq,H}$ (Ω)	0.916	0.132	0.591
$Z_{cu,H}$ (Ω)	3.80	3.61	3.65
$R_{eq,L}$ (Ω)	0.92125	0.90125	0.9
$X_{eq,L}$ (Ω)	0.229	0.033	0.14775
$Z_{cu,L}$ (Ω)	0.95	0.90	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 2
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	645.88	670.91	667.37
$X_{m,L} (\Omega)$	442.24	483.34	474.97
$R_{c,H} (\Omega)$	2583.5	2683.64	2669.48
$X_{m,H} (\Omega)$	1768.96	1933.36	1899.88
$R_{eq,H} (\Omega)$	3.62	3.54	3.59
$X_{eq,H} (\Omega)$	0.519	0.641	0.475
$Z_{cu,H} (\Omega)$	3.66	3.60	3.62
$R_{eq,L} (\Omega)$	0.905	0.885	0.8975
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.12975	0.16025	0.11875
$Z_{cu,L} (\Omega)$	0.91	0.90	0.90

ตารางที่ 5.15 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 3
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	647.06	661.20	664.83
$X_{m,L} (\Omega)$	442.84	480.48	474.02
$R_{c,H} (\Omega)$	2588.2	2644.8	2659.3
$X_{m,H} (\Omega)$	1771.4	1921.9	1896.1
$R_{eq,H} (\Omega)$	3.40	3.36	3.45
$X_{eq,H} (\Omega)$	0.98	0.89	0.83
$Z_{cu,H} (\Omega)$	3.54	3.48	3.54
$R_{eq,L} (\Omega)$	0.85	0.84	0.86
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.25	0.22	0.21
$Z_{cu,L} (\Omega)$	0.89	0.87	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 4
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	650.54	654.05	664.83
$X_{m,L} (\Omega)$	443.89	478.08	476.55
$R_{c,H} (\Omega)$	2602.2	2616.2	2659.3
$X_{m,H} (\Omega)$	1775.6	1912.3	1906.2
$R_{eq,H} (\Omega)$	3.36	3.45	3.45
$X_{eq,H} (\Omega)$	1.11	0.83	0.83
$Z_{cu,H} (\Omega)$	3.54	3.54	3.54
$R_{eq,L} (\Omega)$	0.84	0.86	0.86
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.28	0.21	0.21
$Z_{cu,L} (\Omega)$	0.89	0.89	0.89

ตารางที่ 5.17 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 5
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	650.54	657.61	664.83
$X_{m,L} (\Omega)$	446.07	476.71	474.02
$R_{c,H} (\Omega)$	2602.2	2630.4	2659.3
$X_{m,H} (\Omega)$	1784.3	1906.8	1896.1
$R_{eq,H} (\Omega)$	3.45	3.40	3.45
$X_{eq,H} (\Omega)$	0.50	0.98	0.83
$Z_{cu,H} (\Omega)$	3.48	3.54	3.54
$R_{eq,L} (\Omega)$	0.86	0.85	0.86
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.12	0.27	0.21
$Z_{cu,L} (\Omega)$	0.87	0.89	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ครั้งที่ 1
วัดโดยมิเตอร์เข็ม YOGOKAWA

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	636.7	636.83	636.83
$X_{m,L} (\Omega)$	427.36	499.16	499.16
$R_{c,H} (\Omega)$	2546.8	2547.32	2547.32
$X_{m,H} (\Omega)$	1709.44	1996.64	1996.64
$R_{eq,H} (\Omega)$	3.52	3.52	3.52
$X_{eq,H} (\Omega)$	1.11	0.88	1.11
$Z_{cu,H} (\Omega)$	3.69	3.63	3.69
$R_{eq,L} (\Omega)$	0.88	0.88	0.88
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.28	0.22	0.28
$Z_{cu,L} (\Omega)$	0.92	0.91	0.92

ตารางที่ 5.19 ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส
(ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากตารางที่ 5.13 – ตารางที่ 5.18)

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	645.16	658.19	660.59
$X_{m,L} (\Omega)$	441.62	483.89	480.95
$R_{c,H} (\Omega)$	2580.64	2632.76	2642.36
$X_{m,H} (\Omega)$	1766.48	1935.56	1923.8
$R_{eq,H} (\Omega)$	3.51	3.48	3.51
$X_{eq,H} (\Omega)$	0.856	0.726	0.778
$Z_{cu,H} (\Omega)$	3.62	3.57	3.60
$R_{eq,L} (\Omega)$	0.88	0.87	0.88
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.214	0.182	0.195
$Z_{cu,L} (\Omega)$	0.91	0.89	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

5.1.2.1 ผลการทดลอง Open และ Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ตารางที่ 5.20 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$V_{line-line}$ (V)	190.40	190.80	190.00
I_{Line} (A)	0.14	0.12	0.14
$P_{3\phi}$ (W)	25.20	21.80	26.50

ตารางที่ 5.21 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{phase} (V)	27.10	27.60	29.90
I_{sc} (A)	1.58	1.58	1.58
$P_{1\phi,sc}$ (W)	42.60	43.50	44.10

ตารางที่ 5.22 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$V_{line-line}$ (V)	189.70	190.80	190.60
I_{Line} (A)	0.17	0.14	0.13
$P_{3\phi}$ (W)	30.40	24.60	21.20

ตารางที่ 5.23 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 2 วัดโดยมิเตอร์ดิจิตัล metrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{phase} (V)	27.10	28.3	29.2
I_{sc} (A)	1.58	1.60	1.60
$P_{1\phi,sc}$ (W)	42.10	44.70	46.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.24 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 3
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$V_{line-line}$ (V)	189.40	189.50	190.40
I_{Line} (A)	0.16	0.14	0.13
$P_{3\phi}$ (W)	29.40	26.40	21.10

ตารางที่ 5.25 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 3
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{phase} (V)	27.80	28.3	29.1
I_{sc} (A)	1.59	1.59	1.58
$P_{1\phi,sc}$ (W)	43.80	44.40	45.80

ตารางที่ 5.26 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 4
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$V_{line-line}$ (V)	189.30	189.60	189.40
I_{Line} (A)	0.16	0.15	0.12
$P_{3\phi}$ (W)	29.20	27.00	19.80

ตารางที่ 5.27 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 4
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{phase} (V)	27.90	28.40	29.10
I_{sc} (A)	1.59	1.58	1.59
$P_{1\phi,sc}$ (W)	43.70	44.40	45.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.28 Open circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน High voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$V_{line-line}$ (V)	190.80	189.70	189.20
I_{Line} (A)	0.15	0.14	0.13
$P_{3\phi}$ (W)	27.80	25.20	19.90

ตารางที่ 5.29 Short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทางด้าน Low voltage ครั้งที่ 5 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{phase} (V)	28.00	28.40	29.30
I_{sc} (A)	1.58	1.55	1.57
$P_{\phi,sc}$ (W)	44.00	43.80	45.60

5.1.2.2 ผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ตารางที่ 5.30 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 1 วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L}$ (Ω)	1438.58	1669.94	1362.26
$X_{m,L}$ (Ω)	927.70	1125.91	947.75
$R_{c,H}$ (Ω)	5754.31	6679.75	5449.06
$X_{m,H}$ (Ω)	3710.68	4503.64	3791.00
$R_{eq,H}$ (Ω)	17.09	17.38	17.58
$X_{eq,H}$ (Ω)	1.62	1.51	6.89
$Z_{cu,H}$ (Ω)	17.16	17.45	18.86
$R_{eq,L}$ (Ω)	4.27	4.35	4.39
$X_{eq,L}$ (Ω)	0.41	0.38	1.72
$Z_{cu,L}$ (Ω)	4.29	4.36	4.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.31 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 2
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	1183.80	1479.90	1713.60
$X_{m,L} (\Omega)$	801.67	902.21	944.82
$R_{c,H} (\Omega)$	4735.00	5919.50	6854.40
$X_{m,H} (\Omega)$	3206.70	3608.80	3779.30
$R_{eq,H} (\Omega)$	16.89	17.57	18.16
$X_{eq,H} (\Omega)$	3.07	2.47	2.32
$Z_{cu,H} (\Omega)$	17.16	17.74	18.31
$R_{eq,L} (\Omega)$	4.22	4.39	4.54
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.77	0.62	0.58
$Z_{cu,L} (\Omega)$	4.29	4.44	4.58

ตารางที่ 5.32 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 3
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	1220.10	1360.20	1718.10
$X_{m,L} (\Omega)$	840.36	915.99	981.36
$R_{c,H} (\Omega)$	4880.60	5440.90	6872.40
$X_{m,H} (\Omega)$	3361.40	3663.90	3925.50
$R_{eq,H} (\Omega)$	17.37	17.63	18.30
$X_{eq,H} (\Omega)$	2.19	2.69	1.86
$Z_{cu,H} (\Omega)$	17.51	17.83	18.39
$R_{eq,L} (\Omega)$	4.34	4.41	4.58
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.55	0.67	0.47
$Z_{cu,L} (\Omega)$	4.38	4.46	4.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.33 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 4
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	1227.20	1331.40	1811.70
$X_{m,L} (\Omega)$	845.28	880.92	1009.50
$R_{c,H} (\Omega)$	4908.80	5325.70	7246.90
$X_{m,H} (\Omega)$	3381.10	3523.70	4038.10
$R_{eq,H} (\Omega)$	17.39	17.83	18.13
$X_{eq,H} (\Omega)$	2.70	2.44	2.39
$Z_{cu,H} (\Omega)$	17.60	18.00	18.29
$R_{eq,L} (\Omega)$	4.35	4.46	4.53
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.67	0.61	0.60
$Z_{cu,L} (\Omega)$	4.40	4.50	4.57

ตารางที่ 5.34 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ครั้งที่ 5
วัดโดยมิเตอร์ดิจิทัล matrix

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	1309.50	1428.00	1798.80
$X_{m,L} (\Omega)$	887.00	954.66	989.430
$R_{c,H} (\Omega)$	5238.10	5712.10	7195.30
$X_{m,H} (\Omega)$	3548.00	3818.70	3957.70
$R_{eq,H} (\Omega)$	17.51	18.18	18.48
$X_{eq,H} (\Omega)$	2.31	2.05	2.54
$Z_{cu,H} (\Omega)$	17.67	18.30	18.65
$R_{eq,L} (\Omega)$	4.38	4.55	4.62
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.58	0.51	0.64
$Z_{cu,L} (\Omega)$	4.42	4.57	4.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
(ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากตารางที่ 5.30 – ตารางที่ 5.34)

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
$R_{c,L} (\Omega)$	1235.15	1399.88	1680.89
$X_{m,L} (\Omega)$	860.40	955.54	974.57
$R_{c,H} (\Omega)$	4940.60	5599.52	6723.56
$X_{m,H} (\Omega)$	3441.60	3822.16	3898.28
$R_{eq,H} (\Omega)$	17.25	17.72	18.13
$X_{eq,H} (\Omega)$	2.38	2.23	3.20
$Z_{cu,H} (\Omega)$	17.42	17.86	18.50
$R_{eq,L} (\Omega)$	4.31	4.43	4.53
$X_{eq,L} (\Omega)$	0.60	0.56	0.80
$Z_{cu,L} (\Omega)$	4.36	4.47	4.63

5.1.3 ผลการทดลอง V-I method และ Voltage Regulation ของหม้อแปลงไฟฟ้า

5.1.3.1 ผลการทดลองจากการหา V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

ตารางที่ 5.36 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสด้านHigh voltage(Transformer A)

Volt (V)	1.035	2.80	3.202	4.35	
Current (A)	0.678	1.766	2.05	3.01	
Resistance(Ω)	1.527	1.586	1.561	1.445	$R_{avg} = 1.530 \Omega$

ตารางที่ 5.37 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้านLow voltage(Transformer A)

Volt (V)	0.314	0.678	1.080	1.525	
Current (A)	0.750	1.538	2.36	3.31	
Resistance(Ω)	0.419	0.441	0.458	0.461	$R_{avg} = 0.445 \Omega$

ตารางที่ 5.38 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสด้านHigh voltage(Transformer B)

Volt (V)	1.052	2.784	3.35	4.58	
Current (A)	0.685	1.795	2.32	3.07	
Resistance(Ω)	1.536	1.551	1.444	1.492	$R_{avg} = 1.506 \Omega$

ตารางที่ 5.39 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage (Transformer B)

Volt (V)	0.365	0.635	1.172	1.550	$R_{avg} = 0.442 \Omega$
Current (A)	0.857	1.469	2.62	3.36	
Resistance(Ω)	0.426	0.432	0.447	0.461	

ตารางที่ 5.40 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage (Transformer C)

Volt (V)	1.140	2.965	3.49	4.30	$R_{avg} = 1.537 \Omega$
Current (A)	0.732	1.927	2.30	2.8	
Resistance(Ω)	1.557	1.539	1.517	1.535	

ตารางที่ 5.41 V-I method test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage (Transformer C)

Volt (V)	0.365	0.756	1.194	1.613	$R_{avg} = 0.450 \Omega$
Current (A)	0.807	1.720	2.64	3.53	
Resistance(Ω)	0.452	0.440	0.452	0.457	

5.1.3.2 ผลการทดลอง Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

ใช้โหลดเป็นหลอดไส้ขนาดกัน

หลอดไฟขนาด 100W 220V

Resistance ของหลอดไฟ 1 หลอด = $220(220)/100 = 484 \Omega$

Resistance ของหลอดไฟ 2 หลอดขนานกัน = $484/2 = 242 \Omega$

No load เป็นการ open circuit

ตารางที่ 5.42 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage ของ Transformer A (110V/220V)

	No load	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด
V_{in} (V)	110	110	110	110	110
I_{in} (A)	-	1.1	2	2.85	3.75
V_{load} (V)	219.7	218.2	217.1	215.9	214
W_{in} (W)	-	115	215	315	410
% VR (%)	-	0.69	1.18	1.73	2.59

ตารางที่ 5.43 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน

Low voltage ของ Transformer A (220V/110V)

	No load	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด
V_{in} (V)	220	220	220	220	220
I_{in} (A)	-	0.28	0.42	0.57	0.72
V_{load} (V)	110.3	109.8	109.5	109.2	108.9
W_{in} (W)	-	50	85	120	150
% VR (%)	-	0.45	0.73	1	1.27

ตารางที่ 5.44 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน

High voltage ของ Transformer B (110V/220V)

	No load	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด
V_{in} (V)	110	110	110	110	110
I_{in} (A)	-	1.1	2	2.85	3.7
V_{load} (V)	219.9	217.9	216.8	214.4	212.9
W_{in} (W)	-	115	215	310	410
% VR (%)	-	0.91	1.41	2.5	3.18

ตารางที่ 5.45 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน

Low voltage ของ Transformer B (220V/110V)

	No load	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด
V_{in} (V)	220	220	220	220	220
I_{in} (A)	-	0.27	0.42	0.57	0.72
V_{load} (V)	109.9	109.6	109.4	109.1	108.8
W_{in} (W)	-	50	85	120	150
% VR (%)	-	0.27	0.45	0.73	1

ตารางที่ 5.46 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage ของ Transformer C (110V/220V)

	No load	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด
V_{in} (V)	110	110	110	110	110
I_{in} (A)	-	1.1	1.95	2.85	3.7
V_{load} (V)	220.2	217.6	216.2	214.8	213
W_{in} (W)	-	101.5	215	315	410
% VR (%)	-	1.18	1.82	2.45	3.27

ตารางที่ 5.47 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยจ่ายโหลดทางด้าน Low voltage ของ Transformer C (220V/110V)

	No load	1 หลอด	2 หลอด	3 หลอด	4 หลอด
V_{in} (V)	220	220	220	220	220
I_{in} (A)	-	0.27	0.42	0.57	0.72
V_{load} (V)	110.1	109.5	109.2	109.4	109
W_{in} (W)	-	50	85	120	150
% VR (%)	-	0.54	0.82	0.64	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3.3 ผลการทดลอง Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ตารางที่ 5.48 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบ Y-Y

โดยจ่ายโหลดทางด้าน Low voltage

		no load	2 หลอด	4 หลอด	6 หลอด	8 หลอด	9 หลอด
		no load	242	121	80.67	60.5	53.78
Vin/phase (V)	A	220.2	220.2	220.0	220.6	220.4	219.4
	B	220.2	219.8	219.8	219.8	219.5	219.5
	C	220.2	220.1	220.1	220.0	220.0	219.6
lin(line)= lin/phase (A)	A	0.071	0.343	0.643	0.939	1.232	1.370
	B	0.058	0.330	0.633	0.931	1.222	1.364
	C	0.070	0.331	0.630	0.927	1.218	1.360
Pin/phase (W)	A	5.1	74.1	140.7	206.3	271.4	300.5
	B	2.7	71.8	138.8	204.5	268.2	299.3
	C	2.0	71.5	138.1	203.6	267.9	298.5
Vload/phase (V)	A	110.4	107.7	105.1	102.7	100.1	98.9
	B	110.8	107.7	105.1	102.7	100.1	99.1
	C	110.4	107.8	105.2	102.8	100.4	99.0
Voltage Regulation(%)		-	2.52	4.88	7.06	9.35	10.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

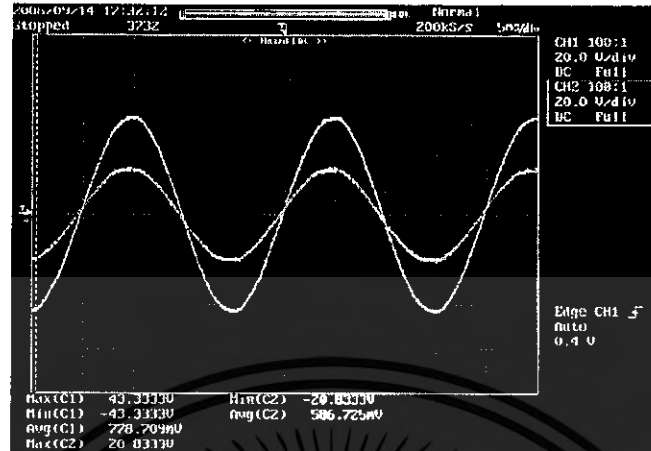
ตารางที่ 5.49 Voltage Regulation test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบ Y-Y
โดยจ่ายโหลดทางด้าน High voltage

		No load	1 โหลด	2 โหลด	3 โหลด	4 โหลด
		no load	484	242	161.33	121
Vin/phase (V)	A	109.9	109.6	109.2	109.0	108.6
	B	109.6	109.2	108.8	108.6	108.6
	C	109.6	109.4	109.2	108.7	108.6
lin(line)= lin/phase (A)	A	0.142	0.962	1.827	2.65	3.43
	B	0.115	0.938	1.796	2.62	3.42
	C	0.140	0.937	1.796	2.62	3.42
Pin/phase (W)	A	5.1	104.7	199.7	288.2	372.6
	B	2.7	102.0	195.3	284.5	371.0
	C	2.0	101.6	195.8	284.5	371.4
Vload/phase (V)	A	219.8	211.5	203.6	195.8	188.2
	B	219.8	211.2	202.8	195.3	188.3
	C	219.7	211.6	203.4	195.2	188.3
Voltage Regulation(%)		-	3.68	7.40	10.96	14.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลองกลุ่มเวกเตอร์

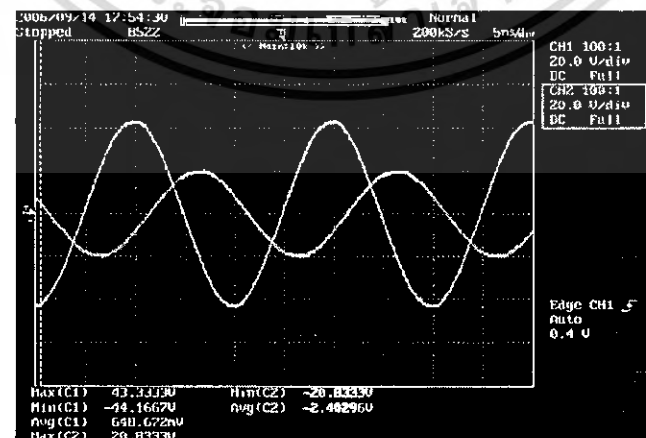
รูปจากการทดลองเป็นดังนี้ แรงดันด้าน High voltage — แรงดันด้าน Low voltage



รูปที่ 5.1 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd0

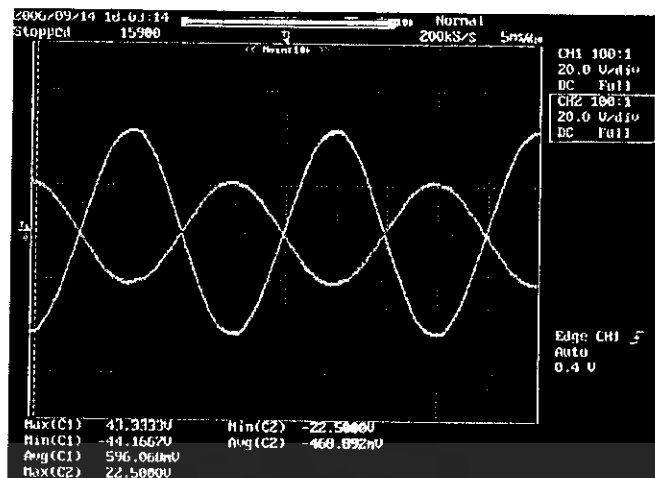


รูปที่ 5.2 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd2

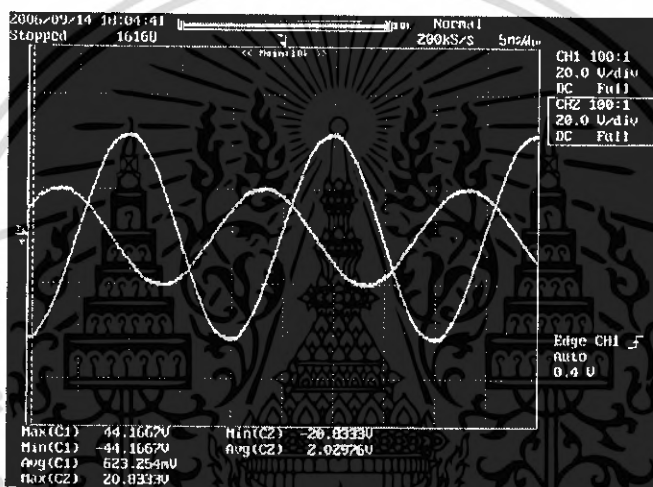


รูปที่ 5.3 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd4

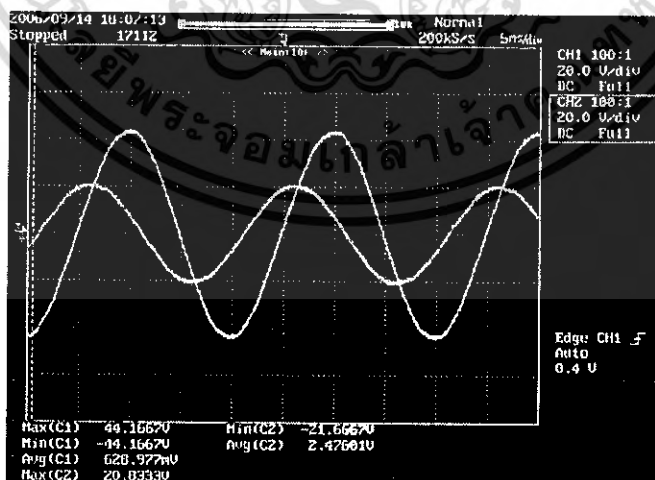
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd6

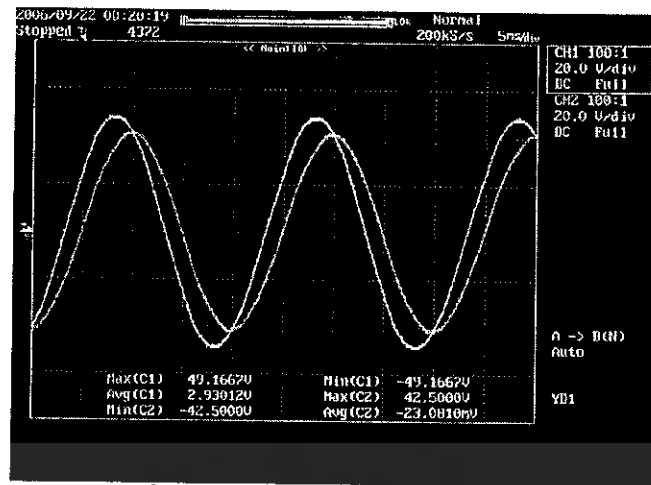


รูปที่ 5.5 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd8

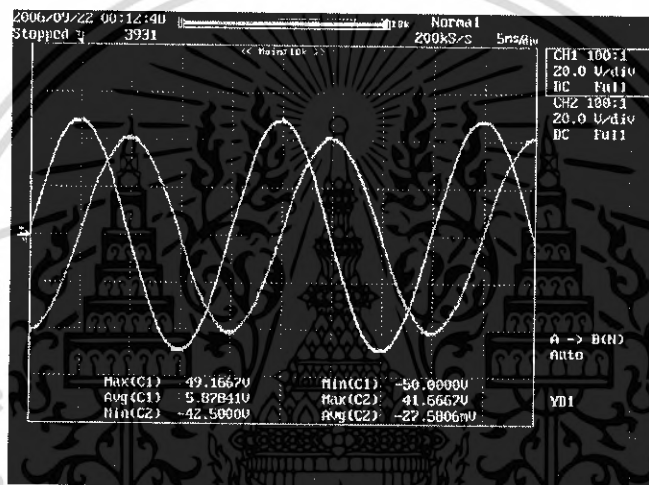


รูปที่ 5.6 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dd10

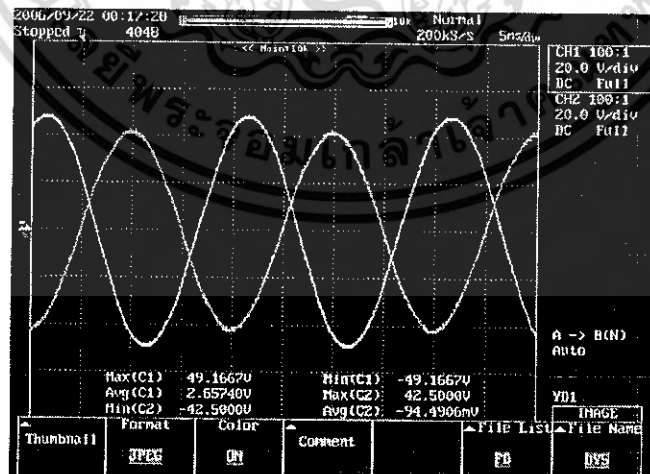
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy1

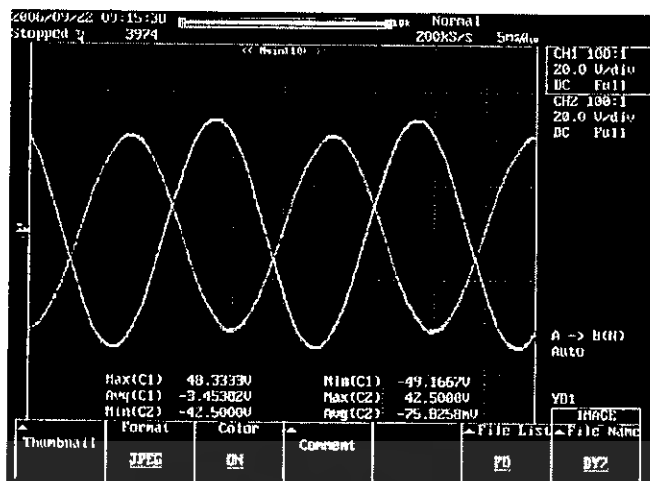


รูปที่ 5.8 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy3

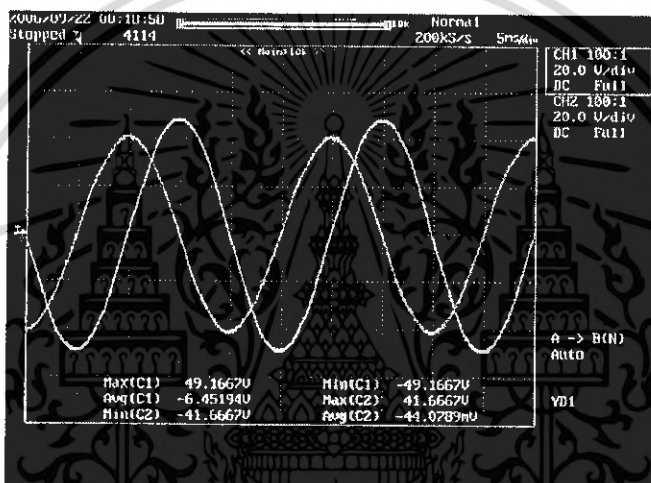


รูปที่ 5.9 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy5

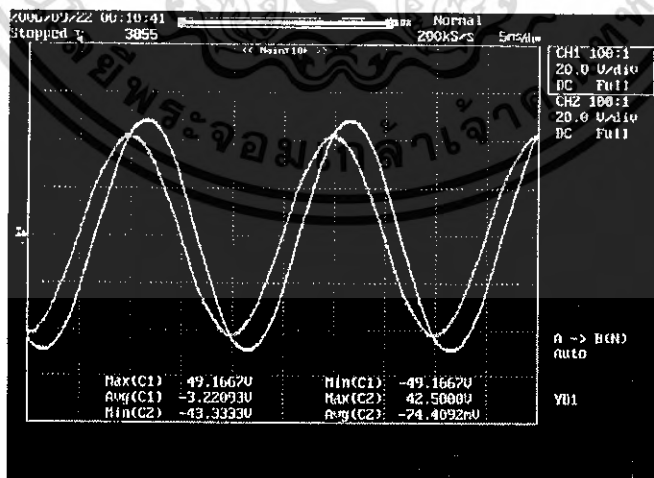
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy7

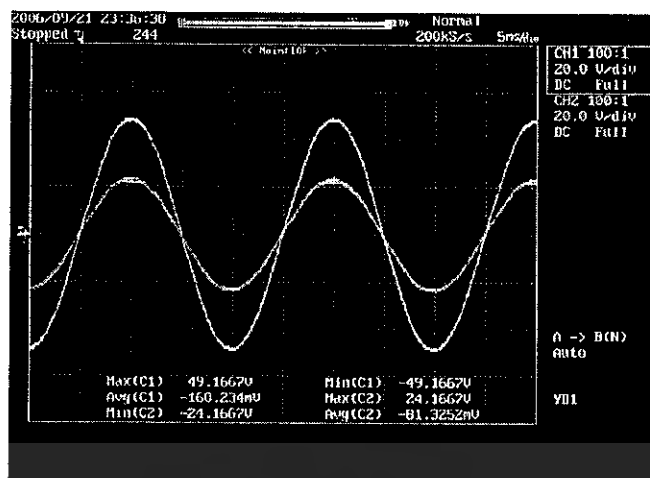


รูปที่ 5.11 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy9

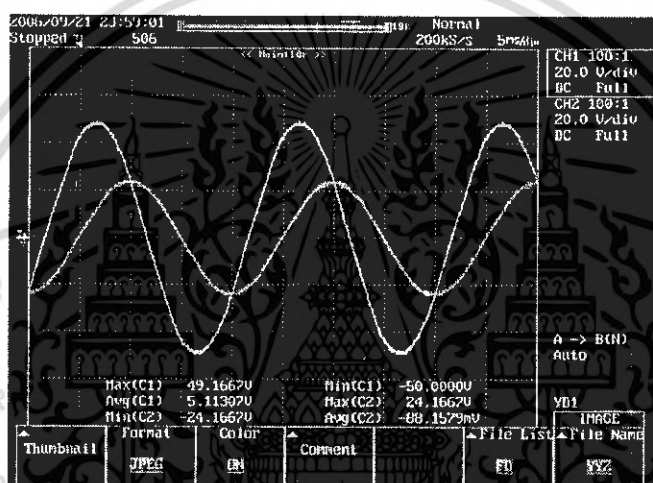


รูปที่ 5.12 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Dy11

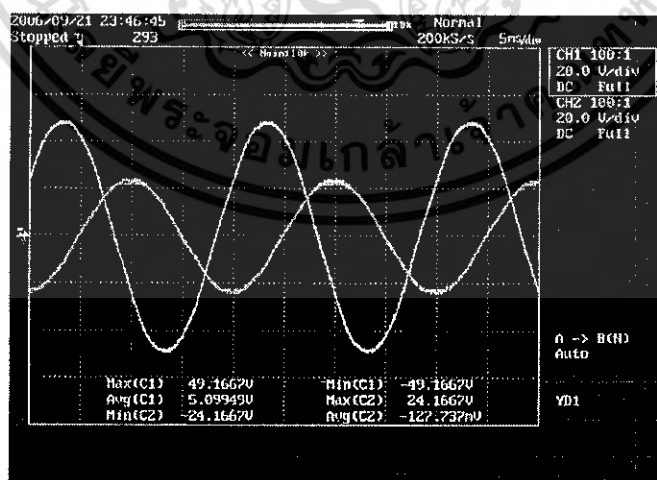
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy0

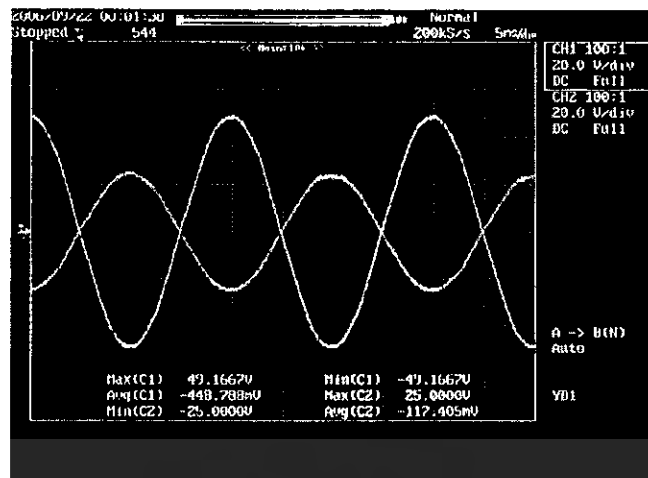


รูปที่ 5.14 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy2

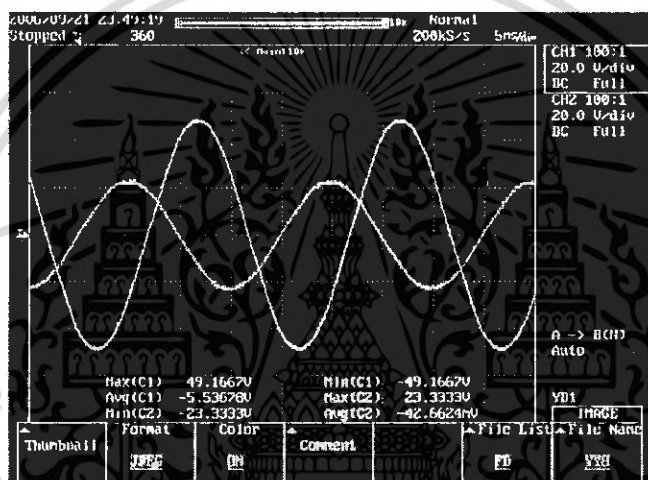


รูปที่ 5.15 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy4

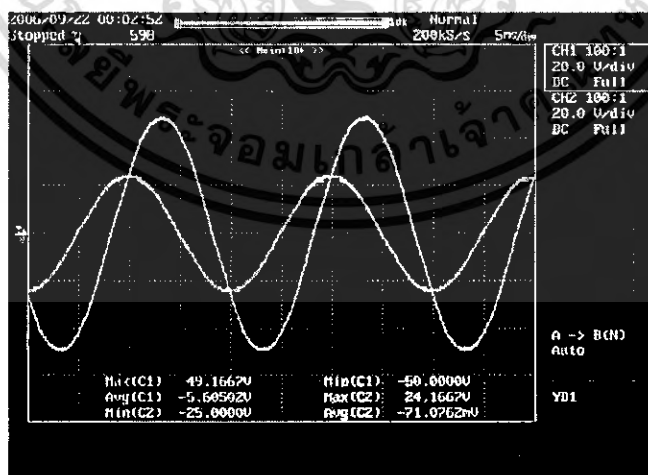
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy6

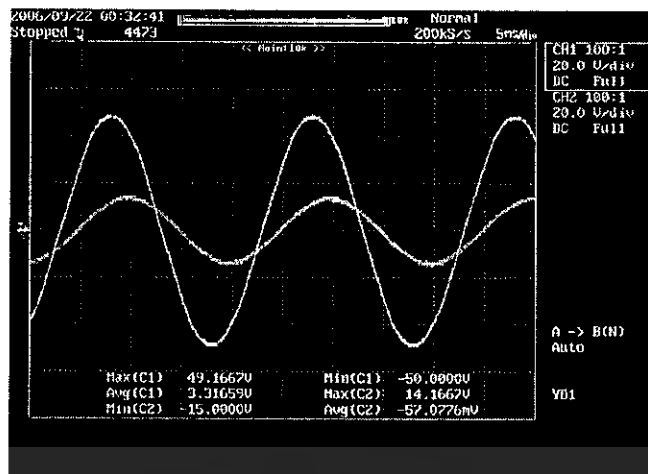


รูปที่ 5.17 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy8

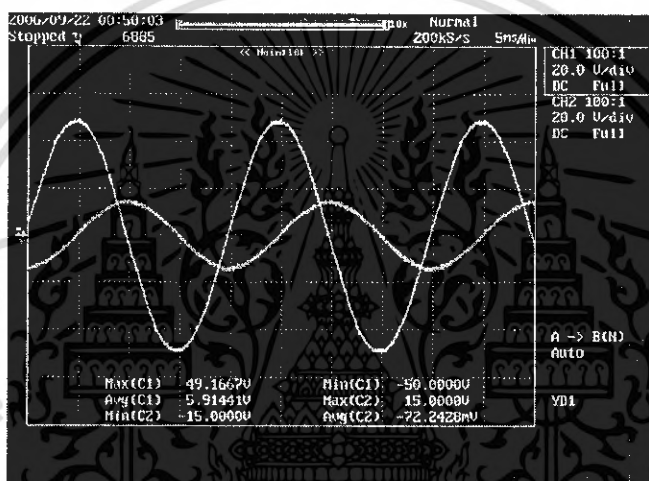


รูปที่ 5.18 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yy10

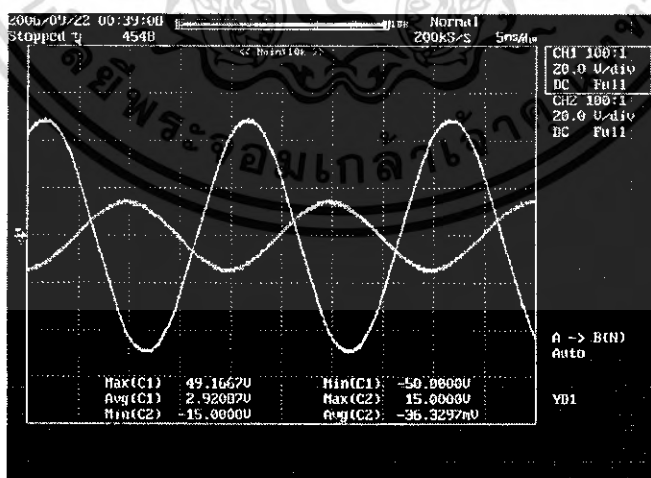
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd1

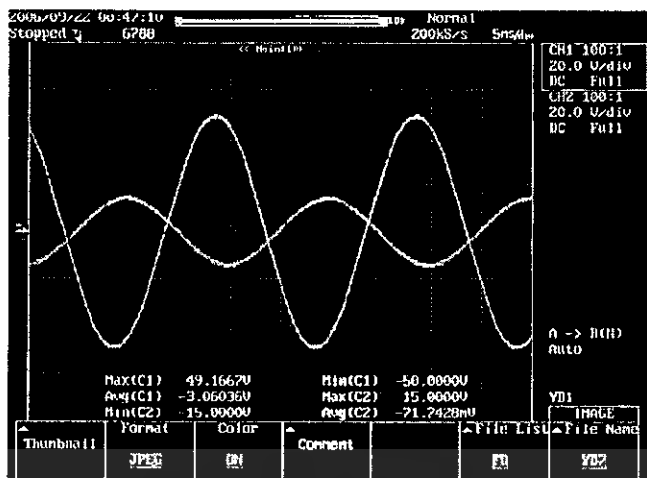


รูปที่ 5.20 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd3

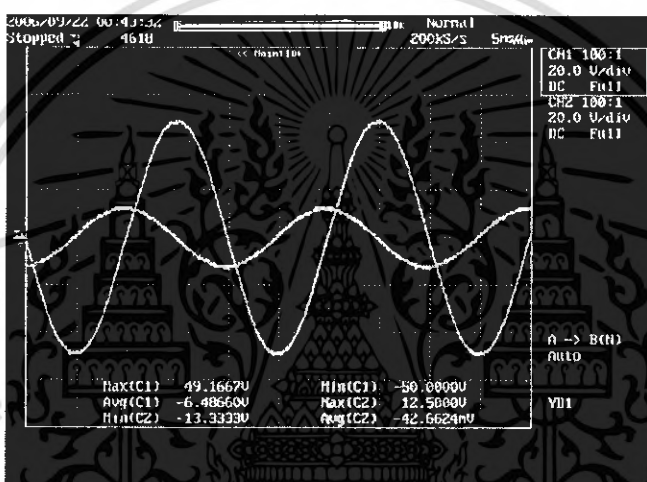


รูปที่ 5.21 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd5

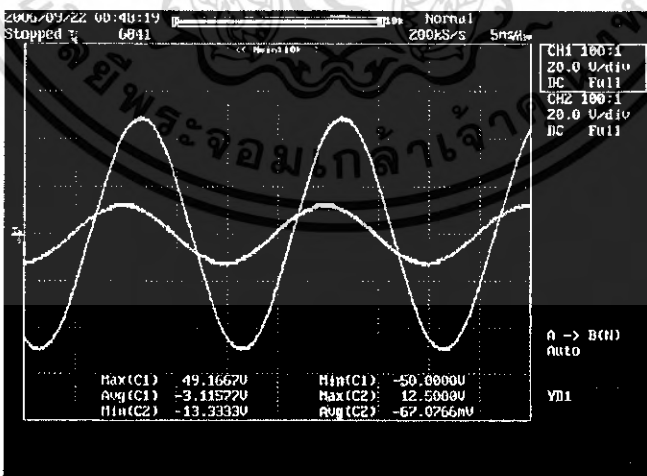
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd7



รูปที่ 5.23 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd9



รูปที่ 5.24 การต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบ Yd11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedanceของหม้อแปลงไฟฟ้า

ด้วยวาริแอก 1 เฟส

5.3.1 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1

เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟสด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบ

ด้าน High voltage

ตารางที่ 5.50 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 1

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	1.50	2.20	3.40	4.90	5.70	4.39
	$I(A)$	0.35	0.50	0.76	1.12	1.29	
	$Z(\Omega)$	4.27	4.40	4.47	4.38	4.42	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	27.40	35.90	46.20	56.90	66.90	999.16
	$I(A)$	0.036	0.04	0.046	0.050	0.056	
	$Z(\Omega)$	761.11	882.79	1011.7	1145.6	1194.6	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	1.60	2.80	4.44	4.80	5.70	3.97
	$I(A)$	0.38	0.68	1.10	1.24	1.47	
	$Z(\Omega)$	4.03	4.09	3.98	3.88	3.89	

ตารางที่ 5.51 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 2

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	3.3	4.1	4.8	5.7	6.5	4.17
	$I(A)$	0.800	0.988	1.13	1.36	1.57	
	$Z(\Omega)$	4.13	4.15	4.25	4.19	4.14	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	20.1	30.0	40.6	50.4	60.1	953.5
	$I(A)$	0.030	0.036	0.042	0.046	0.050	
	$Z(\Omega)$	670	833.3	966.6	1095.6	1202	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	2.4	4.0	4.3	5.2	6.3	4.04
	$I(A)$	0.590	0.985	1.075	1.292	1.555	
	$Z(\Omega)$	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.52 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 3

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	3.1	4.6	5.5	6.1	7	4.666
	$I(A)$	0.644	0.992	1.198	1.29	1.533	
	$Z(\Omega)$	4.81	4.64	4.59	4.72	4.57	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	42	60.6	82	101.1	120.4	1324.5
	$I(A)$	0.044	0.052	0.06	0.067	0.074	
	$Z(\Omega)$	954.55	1165.4	1366.7	1509.0	1627.0	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	3.1	3.9	4.7	5.6	6.4	4.07
	$I(A)$	0.752	0.961	1.15	1.386	1.58	
	$Z(\Omega)$	4.12	4.06	4.09	4.04	4.05	

ตารางที่ 5.53 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 4

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	1.6	2.3	3.1	4.5	5.4	3.888
	$I(A)$	0.410	0.600	0.787	1.154	1.395	
	$Z(\Omega)$	3.90	3.83	3.94	3.90	3.87	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	50.2	100.0	150.0	200.3	220.4	1483.3
	$I(A)$	0.048	0.066	0.086	0.122	0.150	
	$Z(\Omega)$	1045.8	1515.2	1744.2	1641.8	1469.3	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	0.8	2.7	3.1	4.4	5.5	3.71
	$I(A)$	0.210	0.737	0.846	1.199	1.471	
	$Z(\Omega)$	3.81	3.66	3.66	3.67	3.74	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.54 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 5

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	1.3	2.0	3.6	4.6	5.5	3.87
	$I(A)$	0.341	0.518	0.935	1.179	1.408	
	$Z(\Omega)$	3.81	3.86	3.85	3.90	3.91	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	30.1	45.1	55.3	65.5	75.0	1085.8
	$I(A)$	0.038	0.045	0.050	0.054	0.057	
	$Z(\Omega)$	792.11	1002.2	1106.0	1213.0	1315.8	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	1.6	2.4	3.5	4.4	5.2	3.74
	$I(A)$	0.420	0.634	0.957	1.171	1.408	
	$Z(\Omega)$	3.81	3.79	3.66	3.76	3.69	

ตารางที่ 5.55 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 6

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	0.8	1.5	3.8	4.7	6.1	3.87
	$I(A)$	0.206	0.392	0.988	1.203	1.566	
	$Z(\Omega)$	3.88	3.83	3.85	3.91	3.90	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	20.4	40.5	60.2	80.2	100.4	1133.0
	$I(A)$	0.030	0.043	0.052	0.059	0.066	
	$Z(\Omega)$	680.00	941.86	1157.7	1364.4	1521.2	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	1.3	2.2	3.9	4.6	5.3	3.69
	$I(A)$	0.360	0.598	1.043	1.249	1.423	
	$Z(\Omega)$	3.61	3.68	3.74	3.68	3.72	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อร่วมกันเป็น 3 เฟสด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบ ด้าน Low voltage

ตารางที่ 5.56 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 1

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)	1.20	1.80	2.70	3.80	4.80	
	I (A)	0.82	1.33	1.73	2.41	2.75	
	Z (Ω)	1.46	1.35	1.56	1.58	1.63	
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)	30.70	40.90	49.30	58.80	73.30	
	I (A)	0.103	0.114	0.127	0.145	0.167	
	Z (Ω)	299.03	348.58	383.16	405.52	438.92	
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)	0.50	1.30	1.90	2.40	2.80	
	I (A)	0.51	1.44	2.01	2.60	3.00	
	Z (Ω)	0.97	0.90	0.95	0.92	0.93	

ตารางที่ 5.57 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 2

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)	1.1	1.8	2.5	2.9	3.4	
	I (A)	0.839	1.59	1.95	2.46	2.76	
	Z (Ω)	1.31	1.13	1.28	1.18	1.23	
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)	20.3	30.2	40.0	50.1	60.2	
	I (A)	0.083	0.10	0.114	0.128	0.143	
	Z (Ω)	244.6	302	350.9	391.4	420.9	
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)	2.0	3.0	3.3	3.6	4.1	
	I (A)	1.455	2.27	2.50	2.81	3.08	
	Z (Ω)	1.37	1.32	1.32	1.28	1.33	

ตารางที่ 5.58 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 3

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)	2	2.7	3	3.5	4	
	I (A)	1.265	1.813	2.07	2.36	2.71	
	Z (Ω)	1.58	1.49	1.45	1.48	1.48	1.50
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)	30.5	41.3	50.4	60.3	70.5	
	I (A)	0.101	0.116	0.129	0.144	0.16	
	Z (Ω)	301.98	356.03	390.70	418.75	440.63	381.62
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)	1.3	1.8	2.7	3.3	3.9	
	I (A)	0.97	1.337	2.01	2.5	3.03	
	Z (Ω)	1.34	1.35	1.34	1.32	1.29	1.33

ตารางที่ 5.59 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 4

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)	0.6	1.2	1.6	1.9	2.4	
	I (A)	0.590	1.146	1.582	1.783	2.29	
	Z (Ω)	1.02	1.05	1.01	1.07	1.05	1.04
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)	5.3	15.7	25.4	35.0	45.0	
	I (A)	0.041	0.076	0.096	0.111	0.125	
	Z (Ω)	129.27	206.58	264.58	315.32	360.00	255.15
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)	1.1	1.3	1.8	2.3	3.1	
	I (A)	1.083	1.216	1.772	2.24	2.97	
	Z (Ω)	1.02	1.07	1.02	1.03	1.04	1.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.60 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 5

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	1.1	1.8	2.4	2.8	3.0	1.04
	$I(A)$	1.032	1.792	2.25	2.67	2.90	
	$Z(\Omega)$	1.07	1.00	1.07	1.05	1.03	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	22.2	44.1	66.1	88.2	110.0	365.82
	$I(A)$	0.090	0.124	0.157	0.202	0.298	
	$Z(\Omega)$	246.67	355.65	421.02	436.63	369.13	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	1.1	1.6	1.8	2.3	3.0	1.04
	$I(A)$	1.087	1.520	1.695	2.22	2.88	
	$Z(\Omega)$	1.01	1.05	1.06	1.04	1.04	

ตารางที่ 5.61 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 6

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	1.2	1.7	1.9	2.5	3.2	1.04
	$I(A)$	1.158	1.620	1.801	2.40	3.08	
	$Z(\Omega)$	1.04	1.05	1.05	1.04	1.04	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	10.6	20.3	30.0	40.5	50.2	283.78
	$I(A)$	0.062	0.086	0.103	0.119	0.132	
	$Z(\Omega)$	170.97	236.05	291.26	340.34	380.30	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	0.6	1.2	1.8	2.3	3.0	1.03
	$I(A)$	0.589	1.187	1.690	2.23	2.89	
	$Z(\Omega)$	1.02	1.01	1.07	1.03	1.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสด้วยวาริแอก 1 เฟส ทำการทดสอบด้าน High voltage

ตารางที่ 5.62 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 1

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	4.20	6.20	9.20	12.50	16.40	
	$I(A)$	0.23	0.36	0.50	0.68	0.89	
	$Z(\Omega)$	18.16	18.37	18.35	18.29	18.36	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	3.70	6.50	9.40	13.60	16.90	
	$I(A)$	0.12	0.20	0.29	0.41	0.51	
	$Z(\Omega)$	31.90	32.23	32.87	32.90	32.90	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	6.70	8.90	11.60	14.70	17.30	
	$I(A)$	0.38	0.53	0.69	0.87	1.02	
	$Z(\Omega)$	16.83	16.81	16.81	16.83	16.91	

ตารางที่ 5.63 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 2

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	6.9	10.9	15.7	22.4	25.1	
	$I(A)$	0.386	0.633	0.879	1.29	1.44	
	$Z(\Omega)$	17.88	17.22	17.86	17.36	17.43	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	9.6	20.1	25.0	30.5	49.8	
	$I(A)$	0.296	0.612	0.765	0.926	1.512	
	$Z(\Omega)$	32.4	32.8	32.6	32.90	32.90	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	6.3	11.1	16.2	22.7	26.8	
	$I(A)$	0.374	0.661	0.951	1.344	1.582	
	$Z(\Omega)$	16.8	16.8	17.0	16.9	16.9	

ตารางที่ 5.64 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 3

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	5.7	10.2	16	19.3	25.5	
	$I(A)$	0.324	0.585	0.92	1.106	1.467	
	$Z(\Omega)$	17.59	17.44	17.39	17.45	17.38	17.45
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	10.4	17.5	27.3	34.8	51.9	
	$I(A)$	0.311	0.522	0.808	1.03	1.528	
	$Z(\Omega)$	33.44	33.52	33.78	33.78	33.96	33.70
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	4.9	9.4	18.5	21.4	25.3	
	$I(A)$	0.286	0.554	1.1	1.298	1.489	
	$Z(\Omega)$	17.13	16.97	16.82	16.49	16.99	16.88

ตารางที่ 5.65 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 4

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	4.3	8.1	12.7	16.1	20.4	
	$I(A)$	0.254	0.476	0.748	0.949	1.198	
	$Z(\Omega)$	16.93	17.02	16.98	16.97	17.03	16.99
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	10.0	20.1	30.3	40.3	50.0	
	$I(A)$	0.308	0.611	0.918	1.218	1.512	
	$Z(\Omega)$	32.47	32.90	33.01	33.08	33.06	32.90
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	3.4	7.3	11.1	13.4	17.1	
	$I(A)$	0.203	0.436	0.663	0.799	1.013	
	$Z(\Omega)$	16.75	16.74	16.74	16.77	16.88	16.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.66 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 5

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	5.4	10.3	15.4	20.4	25.3	
	$I(A)$	0.322	0.609	0.912	1.208	1.500	
	$Z(\Omega)$	16.77	16.91	16.89	16.89	16.87	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	8.7	16.6	24.4	32.0	40.5	
	$I(A)$	0.266	0.506	0.740	0.968	1.228	
	$Z(\Omega)$	32.71	32.81	32.97	33.06	32.98	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	5.1	10.2	15.3	20.4	25.3	
	$I(A)$	0.308	0.615	0.914	1.218	1.509	
	$Z(\Omega)$	16.56	16.59	16.74	16.75	16.77	

ตารางที่ 5.67 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage ครั้งที่ 6

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	3.2	6.7	9.4	12.8	15.1	
	$I(A)$	0.191	0.398	0.561	0.761	0.900	
	$Z(\Omega)$	16.75	16.83	16.76	16.82	16.78	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	5.3	10.6	15.8	20.1	25.2	
	$I(A)$	0.163	0.323	0.482	0.612	0.766	
	$Z(\Omega)$	32.52	32.82	32.78	32.84	32.90	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	2.5	4.3	6.4	8.5	10.2	
	$I(A)$	0.151	0.257	0.384	0.513	0.611	
	$Z(\Omega)$	16.56	16.73	16.67	16.60	16.69	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสด้วยวาริแอด 1 เฟส ทำการทดสอบด้าน Low voltage

ตารางที่ 5.68 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 1

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)	3.40	5.70	6.80	8.50	10.10	
	I (A)	0.79	1.26	1.61	2.04	2.32	
	Z (Ω)	4.30	4.21	4.22	4.17	4.35	
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)	4.4	6.6	8.7	10.9	13.0	
	I (A)	0.543	0.80	1.08	1.31	1.57	
	Z (Ω)	8.12	8.25	8.03	8.30	8.28	
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)	2.60	5.50	8.50	9.50	10.80	
	I (A)	0.53	1.20	1.87	2.10	2.41	
	Z (Ω)	4.88	4.60	4.54	4.51	4.49	

ตารางที่ 5.69 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 2

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)	1.5	2.3	3.4	3.9	4.8	
	I (A)	0.350	0.518	0.754	0.846	1.11	
	Z (Ω)	4.29	4.44	4.51	4.61	4.32	
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)	6.7	10.3	14.9	17.3	23.5	
	I (A)	0.833	1.296	1.852	2.16	2.90	
	Z (Ω)	8.04	7.94	8.05	8.01	8.10	
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)	2.8	6.4	8.0	10.4	12.8	
	I (A)	0.628	1.441	1.813	2.35	2.89	
	Z (Ω)	4.45	4.44	4.41	4.42	4.43	

ตารางที่ 5.70 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 3

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	3.1	5.5	7.0	10.3	12.7	
	$I(A)$	0.68	1.215	1.568	2.3	2.83	
	$Z(\Omega)$	4.56	4.53	4.46	4.48	4.49	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	5.1	8.6	12.8	18.8	23.1	
	$I(A)$	0.632	1.05	1.548	2.28	2.79	
	$Z(\Omega)$	8.07	8.19	8.27	8.25	8.28	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	3.9	5.4	7.1	8.8	11.9	
	$I(A)$	0.879	1.21	1.612	2.01	2.73	
	$Z(\Omega)$	4.44	4.46	4.40	4.38	4.36	

ตารางที่ 5.71 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 4

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	1.2	2.3	3.1	3.9	4.6	
	$I(A)$	0.295	0.560	0.747	0.948	1.128	
	$Z(\Omega)$	4.07	4.11	4.15	4.11	4.08	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	5.9	9.3	12.2	16.6	21.8	
	$I(A)$	0.749	1.171	1.522	2.08	2.72	
	$Z(\Omega)$	7.88	7.94	8.02	7.98	8.01	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	2.8	5.4	7.7	10.0	12.8	
	$I(A)$	0.682	1.278	1.838	2.38	3.00	
	$Z(\Omega)$	4.11	4.23	4.19	4.20	4.27	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.72 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 5

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	3.0	6.2	8.4	10.6	11.4	4.15
	$I(A)$	0.731	1.489	2.03	2.55	2.73	
	$Z(\Omega)$	4.10	4.16	4.14	4.16	4.18	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	3.4	6.8	11.0	13.3	20.5	7.97
	$I(A)$	0.432	0.854	1.377	1.658	2.56	
	$Z(\Omega)$	7.87	7.96	7.99	8.02	8.01	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	2.3	3.9	6.1	8.4	11.5	4.24
	$I(A)$	0.548	0.921	1.430	1.981	2.69	
	$Z(\Omega)$	4.20	4.23	4.27	4.24	4.28	

ตารางที่ 5.73 ตารางแสดงผลการทดสอบ zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low voltage ครั้งที่ 6

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	$V(V)$	2.8	5.2	7.6	9.9	12.2	4.12
	$I(A)$	0.694	1.259	1.860	2.39	2.95	
	$Z(\Omega)$	4.08	4.13	4.09	4.14	4.14	
Y-Y connected one neutral grounded	$V(V)$	5.1	10.1	15.0	19.4	24.0	7.98
	$I(A)$	0.644	1.270	1.874	2.42	3.00	
	$Z(\Omega)$	7.92	7.95	8.00	8.02	8.00	
Y-delta connected neutral solidly grounded	$V(V)$	1.5	2.6	4.5	8.5	12.3	4.15
	$I(A)$	0.367	0.628	1.082	2.03	2.92	
	$Z(\Omega)$	4.08	4.14	4.15	4.19	4.21	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธี unbalance

5.4.1 ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด

ตารางที่ 5.74 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	0.7	6.4	4.6	1.0	6.5	5.6
I_A (A)	$0.70\angle 14^\circ$	$1.39\angle 0^\circ$	$1.28\angle 25^\circ$	$0.72\angle 7^\circ$	$1.43\angle 14^\circ$	$1.37\angle 29^\circ$
V_B (V)	3.3	1.4	6.6	5.7	4.0	7.0
I_B (A)	$1.06\angle 270^\circ$	$0.76\angle 238^\circ$	$1.50\angle 245^\circ$	$1.41\angle 266^\circ$	$1.2\angle 238^\circ$	$1.56\angle 241^\circ$
V_C (V)	7.2	4.1	2.6	7.5	5.1	3.3
I_C (A)	$1.46\angle 122^\circ$	$1.14\angle 148^\circ$	$0.98\angle 126^\circ$	$1.47\angle 122^\circ$	$1.18\angle 140^\circ$	$0.98\angle 126^\circ$
I_N (A)	-	-	-	-	-	-
Z_0 (Ω)	15.64	108.53	61.00	32.87	11.59	21.00
Z_1 (Ω)	3.56	3.73	3.72	4.02	4.15	4.15
Z_2 (Ω)	5.18	3.95	3.91	4.77	3.17	2.94
$I_n/3$ (A)	-	-	-	-	-	-
I_0 (A)	0.12	0.013	0.019	0.059	0.062	0.051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.75 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลง
กราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุดของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน
ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	3.9	1.4	3.7	2.1	3.6	3.5
I_A (A)	$2.97\angle 36^\circ$	$1.94\angle 40^\circ$	$2.92\angle 3.6^\circ$	$2.13\angle 29^\circ$	$2.84\angle 0^\circ$	$2.97\angle 3.6^\circ$
V_B (V)	2.9	3.9	0.7	3.8	1.5	2.3
I_B (A)	$2.65\angle 223^\circ$	$2.93\angle 259^\circ$	$1.60\angle 234^\circ$	$2.83\angle 252^\circ$	$1.97\angle 245^\circ$	$2.51\angle 248^\circ$
V_C (V)	1.2	1.7	2.7	1.4	3.2	3.6
I_C (A)	$0.48\angle 162^\circ$	$2.05\angle 119^\circ$	$2.51\angle 144^\circ$	$1.85\angle 119^\circ$	$2.68\angle 140^\circ$	$3.00\angle 133^\circ$
I_N (A)	-	-	-	-	-	-
Z_0 (Ω)	29.24	14.69	7.20	19.57	19.17	29.91
Z_1 (Ω)	1.47	1.05	1.03	1.09	1.12	1.11
Z_2 (Ω)	0.55	1.04	1.22	1.17	1.19	1.40
$I_n/3$ (A)	-	-	-	-	-	-
I_0 (A)	0.027	0.054	0.122	0.036	0.034	0.014

ตารางที่ 5.76 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลง
กราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุดของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	9.7	32.6	15.5	18.4	30.6	15.4
I_A (A)	$0.71\angle 338^\circ$	$1.49\angle 11^\circ$	$1.16\angle 18^\circ$	$1.19\angle 18^\circ$	$1.46\angle 3.6^\circ$	$0.82\angle 0^\circ$
V_B (V)	14.9	11.1	34.3	29.2	20.0	17.3
I_B (A)	$1.12\angle 256^\circ$	$0.74\angle 223^\circ$	$1.50\angle 248^\circ$	$1.22\angle 241^\circ$	$1.10\angle 238^\circ$	$0.93\angle 245^\circ$
V_C (V)	33.0	16.2	10.0	6.6	24.9	19.8
I_C (A)	$1.46\angle 130^\circ$	$1.15\angle 133^\circ$	$0.70\angle 90^\circ$	$0.58\angle 90^\circ$	$1.43\angle 130^\circ$	$0.98\angle 122^\circ$
I_N (A)	$0.62\angle 209^\circ$	$0.62\angle 86^\circ$	$0.67\angle 328^\circ$	$0.59\angle 346^\circ$	$0.32\angle 101^\circ$	$0.12\angle 212^\circ$
Z_0 (Ω)	35.43	31.16	34.20	34.88	34.38	40.48
Z_1 (Ω)	18.05	18.12	18.69	18.99	19.01	19.27
Z_2 (Ω)	19.85	20.23	17.50	17.47	17.43	20.39
$I_n/3$ (A)	0.21	0.21	0.22	0.20	0.11	0.04
I_0 (A)	0.20	0.21	0.22	0.19	0.089	0.032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.77 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลง
กราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 1 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	10.9	10.0	10.0	8.0	6.2	5.9
I_A (A)	$2.34\angle 18^\circ$	$1.94\angle 353^\circ$	$2.65\angle 18^\circ$	$1.62\angle 11^\circ$	$1.13\angle 346^\circ$	$1.42\angle 3.6^\circ$
V_B (V)	7.5	4.9	13.1	6.0	2.1	8.6
I_B (A)	$1.42\angle 230^\circ$	$1.66\angle 248^\circ$	$2.90\angle 248^\circ$	$1.17\angle 238^\circ$	$0.95\angle 245^\circ$	$1.84\angle 248^\circ$
V_C (V)	2.4	14.0	4.6	3.9	10.7	7.7
I_C (A)	$1.06\angle 122^\circ$	$2.99\angle 137^\circ$	$1.40\angle 104^\circ$	$1.08\angle 122^\circ$	$2.14\angle 137^\circ$	$1.54\angle 119^\circ$
I_N (A)	$0.96\angle 32^\circ$	$1.03\angle 158^\circ$	$1.30\angle 338^\circ$	$0.45\angle 40^\circ$	$0.97\angle 162^\circ$	$0.32\angle 266^\circ$
Z_0 (Ω)	8.09	8.70	5.47	7.70	8.01	8.87
Z_1 (Ω)	4.41	4.46	3.93	4.65	4.62	4.63
Z_2 (Ω)	4.44	4.25	3.14	5.29	4.71	4.23
$I_n/3$ (A)	0.32	0.34	0.43	0.15	0.32	0.11
I_0 (A)	0.31	0.30	0.41	0.15	0.31	0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด

ตารางที่ 5.78 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุดของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	5.0	2.5	4.0	5.6	5.5	3.9
I_A (A)	$1.33\angle 11^\circ$	$0.69\angle 349^\circ$	$1.06\angle 11^\circ$	$1.44\angle 11^\circ$	$1.40\angle 14^\circ$	$1.01\angle 11^\circ$
V_B (V)	3.3	3.4	5.1	3.2	5.8	5.0
I_B (A)	$0.89\angle 248^\circ$	$0.91\angle 252^\circ$	$1.36\angle 248^\circ$	$0.86\angle 252^\circ$	$1.47\angle 252^\circ$	$1.27\angle 252^\circ$
V_C (V)	2.5	5.1	2.5	5.8	2.9	5.1
I_C (A)	$0.69\angle 137^\circ$	$1.34\angle 130^\circ$	$0.69\angle 130^\circ$	$1.30\angle 130^\circ$	$0.71\angle 130^\circ$	$1.19\angle 130^\circ$
I_N (A)	$0.53\angle 7.2^\circ$	$0.56\angle 151^\circ$	$0.54\angle 277^\circ$	$0.58\angle 54^\circ$	$0.73\angle 306^\circ$	$0.21\angle 248^\circ$
Z_0 (Ω)	4.53	5.00	4.13	4.54	4.11	6.11
Z_1 (Ω)	3.72	3.78	3.72	4.06	3.97	4.05
Z_2 (Ω)	3.37	2.80	3.63	5.10	3.53	4.23
$I_n/3$ (A)	0.18	0.19	0.18	0.19	0.24	0.070
I_0 (A)	0.16	0.15	0.18	0.18	0.22	0.063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.79 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลง
กราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุดของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน
ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	2.0	1.8	1.5	2.8	2.7	2.8
I_A (A)	1.94 \angle 7.2°	1.81 \angle 11°	1.48 \angle 7.2°	2.45 \angle 11°	2.38 \angle 7.2°	2.47 \angle 7.2°
V_B (V)	1.6	3.1	2.3	3.1	2.2	1.5
I_B (A)	1.51 \angle 248°	3.00 \angle 248°	2.19 \angle 248°	2.82 \angle 252°	2.03 \angle 248°	1.46 \angle 248°
V_C (V)	2.9	2.0	2.9	1.6	3.1	2.6
I_C (A)	2.77 \angle 130°	1.90 \angle 130°	2.81 \angle 126°	1.36 \angle 130°	2.65 \angle 130°	2.26 \angle 130°
I_N (A)	1.10 \angle 108°	1.09 \angle 241°	1.16 \angle 162°	1.34 \angle 295°	0.57 \angle 94°	0.93 \angle 58°
Z_0 (Ω)	1.09	1.08	1.13	1.02	1.70	1.45
Z_1 (Ω)	1.05	1.03	1.03	1.13	1.13	1.11
Z_2 (Ω)	0.98	1.03	0.99	1.08	1.26	1.21
$I_n/3$ (A)	1.10	1.09	1.16	0.45	0.19	0.31
I_0 (A)	0.35	0.37	0.36	0.45	0.15	0.28

ตารางที่ 5.80 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลง
กราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	11.1	17.1	27.2	8.6	4.0	27.2
I_A (A)	0.62 \angle 0°	0.87 \angle 3.6°	1.46 \angle 7.2°	0.48 \angle 356°	0.19 \angle 7.2°	1.47 \angle 3.6°
V_B (V)	28.0	11.0	15.8	25.2	17.3	24.5
I_B (A)	1.42 \angle 241°	0.57 \angle 238°	0.76 \angle 245°	1.29 \angle 241°	0.94 \angle 245°	1.23 \angle 245°
V_C (V)	16.2	27.3	10.4	13.6	28.5	21.0
I_C (A)	0.81 \angle 119°	1.44 \angle 126°	0.57 \angle 119°	0.67 \angle 119°	1.45 \angle 130°	1.07 \angle 122°
I_N (A)	0.76 \angle 234°	0.79 \angle 108°	0.82 \angle 356°	0.76 \angle 230°	1.14 \angle 169°	0.35 \angle 346°
Z_0 (Ω)	21.41	17.97	16.97	19.84	18.11	13.95
Z_1 (Ω)	19.39	19.24	19.00	19.44	19.35	19.33
Z_2 (Ω)	20.07	18.86	18.28	19.94	20.76	17.47
$I_n/3$ (A)	0.25	0.26	0.27	0.25	0.38	0.12
I_0 (A)	0.23	0.26	0.29	0.25	0.39	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.81 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-Y ด้าน primary ลงกราวนด์ ด้าน secondary ลงกราวนด์ 2 จุด ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	8.4	4.7	13.2	2.6	8.4	10.1
I_A (A)	1.82 \angle 7.2°	1.05 \angle 3.6°	2.97 \angle 7.2°	0.50 \angle 3.6°	1.82 \angle 7.2°	2.20 \angle 7.2°
V_B (V)	4.1	12.9	9.4	7.6	4.3	11.7
I_B (A)	0.93 \angle 245°	2.92 \angle 245°	1.98 \angle 248°	1.70 \angle 245°	0.91 \angle 245°	2.54 \angle 245°
V_C (V)	13.2	8.5	5.0	12.8	6.9	9.0
I_C (A)	3.00 \angle 130°	3.00 \angle 130°	3.00 \angle 130°	3.00 \angle 130°	3.00 \angle 130°	3.00 \angle 130°
I_N (A)	1.83 \angle 104°	1.69 \angle 227°	1.69 \angle 342°	2.04 \angle 162°	0.83 \angle 50°	0.56 \angle 281°
Z_0 (Ω)	4.46	4.23	4.25	4.29	4.40	4.80
Z_1 (Ω)	4.47	4.54	4.56	4.66	4.66	4.64
Z_2 (Ω)	4.30	4.50	4.54	4.84	4.59	3.72
$I_n/3$ (A)	0.61	0.56	0.56	0.68	0.28	0.19
I_0 (A)	0.59	0.56	0.56	0.69	0.27	0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจร

ตารางที่ 5.82 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจร ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	3.8	8.2	4.4	3.7	8.0	8.7
I_A (A)	$0.37 \angle 227^\circ$	$0.34 \angle 61^\circ$	$0.39 \angle 349^\circ$	$0.48 \angle 331^\circ$	$0.14 \angle 135^\circ$	$0.42 \angle 14^\circ$
V_B (V)	5.3	2.7	8.7	10.5	6.2	2.9
I_B (A)	$0.36 \angle 227^\circ$	$0.33 \angle 61^\circ$	$0.42 \angle 349^\circ$	$0.50 \angle 331^\circ$	$0.12 \angle 135^\circ$	$0.42 \angle 14^\circ$
V_C (V)	9.8	5.4	2.2	3.7	8.1	3.2
I_C (A)	$0.38 \angle 230^\circ$	$0.31 \angle 61^\circ$	$0.40 \angle 349^\circ$	$0.50 \angle 328^\circ$	$0.11 \angle 135^\circ$	$0.41 \angle 14^\circ$
I_N (A)	$1.19 \angle 216^\circ$	$1.04 \angle 76^\circ$	$1.30 \angle 342^\circ$	$1.56 \angle 317^\circ$	$0.46 \angle 104^\circ$	$1.25 \angle 11^\circ$
Z_0 (Ω)	4.90	4.90	4.76	4.59	5.10	4.55
Z_1 (Ω)	470.11	723.20	630.96	379.83	1030.1	1094.0
Z_2 (Ω)	311.85	211.34	236.15	413.01	85.61	418.10
$I_n/3$ (A)	0.40	0.35	0.43	0.52	0.15	0.42
I_0 (A)	0.37	0.32	0.40	0.49	0.12	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.83 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลง
กราวนด์ ด้านเตลต้าเปิดวงจร ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน
ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	4.0	8.4	5.5	8.1	4.9	6.4
I_A (A)	$1.18 \angle 166^\circ$	$0.75 \angle 36^\circ$	$0.77 \angle 266^\circ$	$0.29 \angle 356^\circ$	$0.82 \angle 234^\circ$	$0.43 \angle 86^\circ$
V_B (V)	7.4	4.5	8.0	6.8	8.4	4.5
I_B (A)	$1.13 \angle 166^\circ$	$0.69 \angle 36^\circ$	$0.80 \angle 266^\circ$	$0.32 \angle 356^\circ$	$0.78 \angle 234^\circ$	$0.34 \angle 86^\circ$
V_C (V)	10.4	6.3	3.8	6.4	5.1	6.7
I_C (A)	$1.25 \angle 166^\circ$	$0.64 \angle 36^\circ$	$0.77 \angle 266^\circ$	$0.23 \angle 356^\circ$	$0.83 \angle 234^\circ$	$0.39 \angle 86^\circ$
I_N (A)	$3.61 \angle 162^\circ$	$2.03 \angle 32^\circ$	$2.06 \angle 263^\circ$	$0.84 \angle 342^\circ$	$2.10 \angle 234^\circ$	$1.13 \angle 86^\circ$
Z_0 (Ω)	1.56	1.62	1.57	1.84	1.41	1.78
Z_1 (Ω)	212.10	209.04	642.95	299.64	393.99	230.86
Z_2 (Ω)	53.96	36.81	135.99	21.66	72.90	27.11
$I_n/3$ (A)	1.20	0.68	0.69	0.28	0.70	0.38
I_0 (A)	1.19	0.69	0.78	0.28	0.81	0.39

ตารางที่ 5.84 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลง
กราวนด์ ด้านเตลต้าเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	10.5	25.3	25.2	34.7	10.1	23.1
I_A (A)	$0.17 \angle 227^\circ$	$0.16 \angle 90^\circ$	$0.17 \angle 335^\circ$	$0.49 \angle 86^\circ$	$0.39 \angle 194^\circ$	$0.045 \angle 166^\circ$
V_B (V)	15.0	16.4	30.3	7.0	10.8	22.3
I_B (A)	$0.16 \angle 227^\circ$	$0.15 \angle 90^\circ$	$0.18 \angle 335^\circ$	$0.48 \angle 86^\circ$	$0.39 \angle 194^\circ$	$0.04 \angle 166^\circ$
V_C (V)	20.3	20.6	20.2	20.5	30.6	25.1
I_C (A)	$0.17 \angle 227^\circ$	$0.15 \angle 90^\circ$	$0.18 \angle 335^\circ$	$0.48 \angle 86^\circ$	$0.40 \angle 194^\circ$	$0.045 \angle 166^\circ$
I_N (A)	$0.50 \angle 230^\circ$	$0.47 \angle 86^\circ$	$0.54 \angle 338^\circ$	$1.49 \angle 86^\circ$	$1.21 \angle 194^\circ$	$0.13 \angle 166^\circ$
Z_0 (Ω)	17.06	16.80	16.63	16.53	17.06	19.22
Z_1 (Ω)	9994.4	7849.1	14306	7134.8	11238	14100
Z_2 (Ω)	1854.1	971.58	1653.0	2752.0	4399.1	499.60
$I_n/3$ (A)	0.17	0.16	0.18	0.50	0.40	0.043
I_0 (A)	0.17	0.15	0.18	0.48	0.39	0.043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.85 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลง
กราวนด์ ด้านเดลต้าเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	14.8	9.4	6.7	10.5	10.1	8.8
I_A (A)	$0.77\angle 40^\circ$	$0.82\angle 90^\circ$	$1.00\angle 122^\circ$	$0.29\angle 58^\circ$	$0.17\angle 79^\circ$	$0.21\angle 280^\circ$
V_B (V)	3.2	17.2	4.1	6.4	8.2	10.4
I_B (A)	$0.75\angle 40^\circ$	$0.84\angle 90^\circ$	$0.99\angle 122^\circ$	$0.28\angle 58^\circ$	$0.16\angle 79^\circ$	$0.22\angle 280^\circ$
V_C (V)	8.0	5.0	18.5	9.2	10.7	7.2
I_C (A)	$0.74\angle 40^\circ$	$0.83\angle 90^\circ$	$1.00\angle 122^\circ$	$0.27\angle 58^\circ$	$0.16\angle 79^\circ$	$0.22\angle 280^\circ$
I_N (A)	$2.32\angle 40^\circ$	$2.56\angle 90^\circ$	$3.11\angle 122^\circ$	$0.85\angle 58^\circ$	$0.51\angle 79^\circ$	$0.67\angle 280^\circ$
Z_0 (Ω)	4.46	4.31	4.44	4.37	4.52	4.26
Z_1 (Ω)	887.11	2740.1	3383.3	1973.0	2604.3	2767.5
Z_2 (Ω)	344.46	927.93	1534.8	274.33	203.00	290.51
$I_n/3$ (A)	0.77	0.85	1.04	0.28	0.17	0.22
I_0 (A)	0.75	0.83	1.00	0.28	0.17	0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์

ตารางที่ 5.86 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลงกราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	2.6	6.5	5.0	4.9	3.8	0.8
I_A (A)	$0.62 \angle 14^\circ$	$1.53 \angle 14^\circ$	$1.18 \angle 14^\circ$	$1.16 \angle 7.2^\circ$	$0.92 \angle 14^\circ$	$0.20 \angle 29^\circ$
V_B (V)	5.1	2.5	6.3	5.2	6.0	3.5
I_B (A)	$1.28 \angle 252^\circ$	$0.67 \angle 252^\circ$	$1.57 \angle 252^\circ$	$1.31 \angle 252^\circ$	$1.48 \angle 252^\circ$	$0.87 \angle 260^\circ$
V_C (V)	6.6	5.3	2.6	6.2	3.6	6.3
I_C (A)	$1.58 \angle 126^\circ$	$1.27 \angle 130^\circ$	$0.67 \angle 126^\circ$	$1.50 \angle 130^\circ$	$0.87 \angle 126^\circ$	$1.49 \angle 130^\circ$
I_N (A)	$0.86 \angle 173^\circ$	$0.82 \angle 50^\circ$	$0.85 \angle 288^\circ$	-	$0.62 \angle 256^\circ$	$1.17 \angle 162^\circ$
Z_0 (Ω)	4.61	4.15	4.57	5.36	4.81	4.68
Z_1 (Ω)	4.12	4.13	4.08	4.12	4.10	4.18
Z_2 (Ω)	3.63	5.34	3.74	3.09	3.30	3.82
$I_n/3$ (A)	0.29	0.27	0.28	-	0.21	0.39
I_0 (A)	0.25	0.29	0.24	0.073	0.16	0.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.87 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลง
กราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส Bank กัน
ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	0.6	3.5	2.3	3.6	2.2	2.0
I_A (A)	$0.68 \angle 18^\circ$	$2.99 \angle 11^\circ$	$1.94 \angle 18^\circ$	$3.00 \angle 11^\circ$	$1.92 \angle 11^\circ$	$1.82 \angle 14^\circ$
V_B (V)	2.2	1.6	3.2	2.4	3.1	3.1
I_B (A)	$2.05 \angle 263^\circ$	$1.63 \angle 248^\circ$	$2.89 \angle 252^\circ$	$2.29 \angle 252^\circ$	$2.87 \angle 256^\circ$	$2.77 \angle 245^\circ$
V_C (V)	3.2	2.4	1.1	2.8	3.1	2.3
I_C (A)	$2.75 \angle 126^\circ$	$2.19 \angle 133^\circ$	$1.13 \angle 126^\circ$	$2.55 \angle 130^\circ$	$2.85 \angle 126^\circ$	$2.12 \angle 130^\circ$
I_N (A)	$1.70 \angle 173^\circ$	$1.08 \angle 40^\circ$	$1.36 \angle 284^\circ$	$0.65 \angle 32^\circ$	$0.84 \angle 187^\circ$	$0.88 \angle 234^\circ$
Z_0 (Ω)	1.76	1.56	1.44	1.50	1.76	1.13
Z_1 (Ω)	1.10	1.10	1.11	1.12	1.10	1.11
Z_2 (Ω)	0.96	1.25	1.01	1.96	0.67	1.06
$I_n/3$ (A)	0.57	0.36	0.45	0.22	0.28	0.29
I_0 (A)	0.43	0.35	0.42	0.24	0.17	0.29

ตารางที่ 5.88 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลง
กราวนด์ ด้านเดลต้า short ลงกราวนด์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
ด้าน High Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	11.30	7.2	6.0	20.2	22.8	27.8
I_A (A)	$0.67 \angle 7.2^\circ$	$0.42 \angle 7.2^\circ$	$0.32 \angle 0^\circ$	$1.13 \angle 7.2^\circ$	$1.23 \angle 7.2^\circ$	$1.48 \angle 7.2^\circ$
V_B (V)	6.6	20.1	19.30	12.30	16.50	20.50
I_B (A)	$0.36 \angle 248^\circ$	$1.17 \angle 245^\circ$	$1.10 \angle 245^\circ$	$0.65 \angle 241^\circ$	$0.88 \angle 245^\circ$	$1.07 \angle 245^\circ$
V_C (V)	2.7	13.10	24.80	15.90	19.50	15.90
I_C (A)	$0.16 \angle 115^\circ$	$0.71 \angle 130^\circ$	$1.34 \angle 119^\circ$	$0.87 \angle 130^\circ$	$1.05 \angle 122^\circ$	$0.85 \angle 122^\circ$
I_N (A)	-	$0.67 \angle 227^\circ$	$0.96 \angle 169^\circ$	$0.43 \angle 43^\circ$	$0.32 \angle 43^\circ$	$0.54 \angle 349^\circ$
Z_0 (Ω)	15.76	15.77	20.51	19.69	14.60	18.43
Z_1 (Ω)	17.49	17.58	18.17	18.31	18.61	18.90
Z_2 (Ω)	17.77	18.28	16.19	13.90	22.94	18.58
$I_n/3$ (A)	-	0.22	0.32	0.14	0.11	0.18
I_0 (A)	0.16	0.24	0.27	0.12	0.12	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.89 ตารางแสดงผลการทดสอบแบบ unbalance ต่อแบบ Y-delta ด้านสตาร์ลง
กราวนด์ ด้านเตลต้า short ลงกราวนด์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
ด้าน Low Voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
V_A (V)	4.2	12.7	9.2	14.4	11.3	14.7
I_A (A)	0.97 \angle 7.2°	2.79 \angle 7.2°	1.96 \angle 7.2°	2.97 \angle 7.2°	2.33 \angle 7.2°	2.91 \angle 3.6°
V_B (V)	8.5	4.2	13.7	7.7	11.8	11.2
I_B (A)	2.00 \angle 248°	0.95 \angle 248°	2.97 \angle 248°	1.62 \angle 248°	2.45 \angle 248°	2.31 \angle 248°
V_C (V)	12.9	9.4	4.4	7.7	3.6	13.7
I_C (A)	2.89 \angle 126°	2.04 \angle 126°	0.903 \angle 119°	1.65 \angle 126°	0.76 \angle 119°	2.91 \angle 122°
I_N (A)	1.64 \angle 166°	1.50 \angle 47°	1.83 \angle 284°	1.34 \angle 11°	1.72 \angle 310°	0.65 \angle 65°
Z_0 (Ω)	4.74	4.50	4.54	4.79	4.72	4.48
Z_1 (Ω)	4.37	4.55	4.69	4.78	4.83	4.88
Z_2 (Ω)	4.33	4.79	4.38	5.24	4.93	5.22
$I_n/3$ (A)	0.55	0.50	0.61	0.45	0.57	0.22
I_0 (A)	0.53	0.55	0.59	0.47	0.56	0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

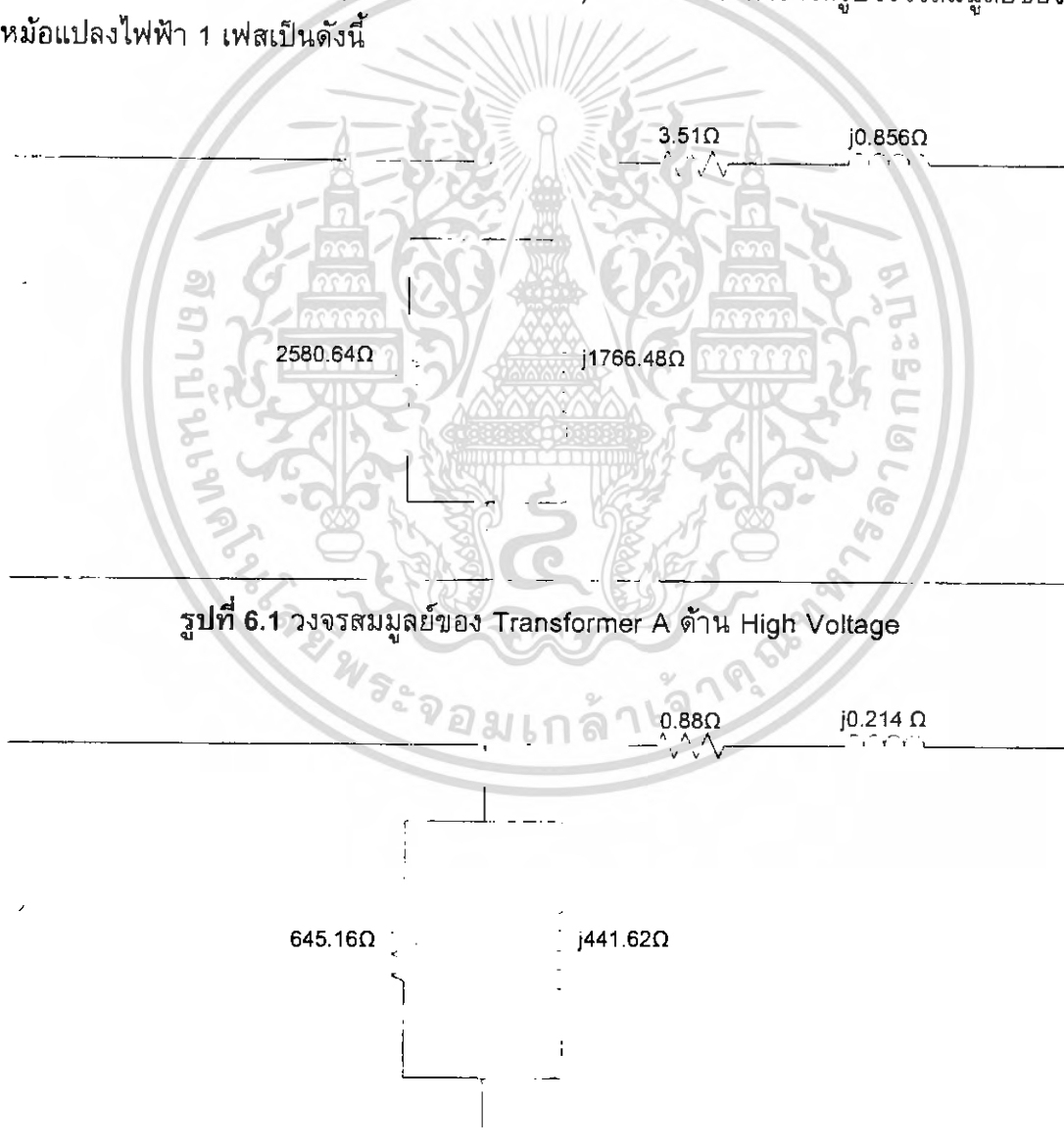
สรุปผลการทดลอง

6.1 ผลการทดลองหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

การหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งชนิด 1 เฟสและ 3 เฟส ซึ่งการหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นได้จากการทำ short circuit test และ open circuit test ได้ผลการทดลองดังนี้

6.1.1 ผลการทดลองหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

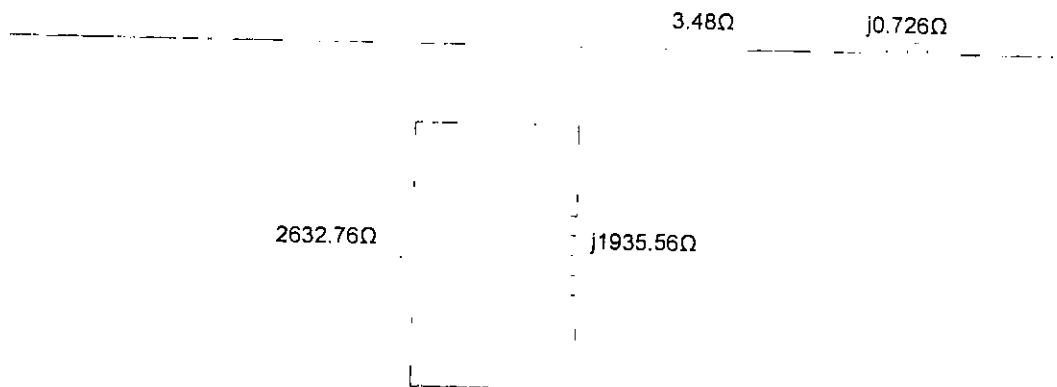
จากการทดลองและคำนวณค่าต่างๆของการทดสอบแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test) และการทดสอบแบบลัดวงจร (Short Circuit Test) แบบ 1 เฟส ทำให้ได้รูปร่างวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสเป็นดังนี้



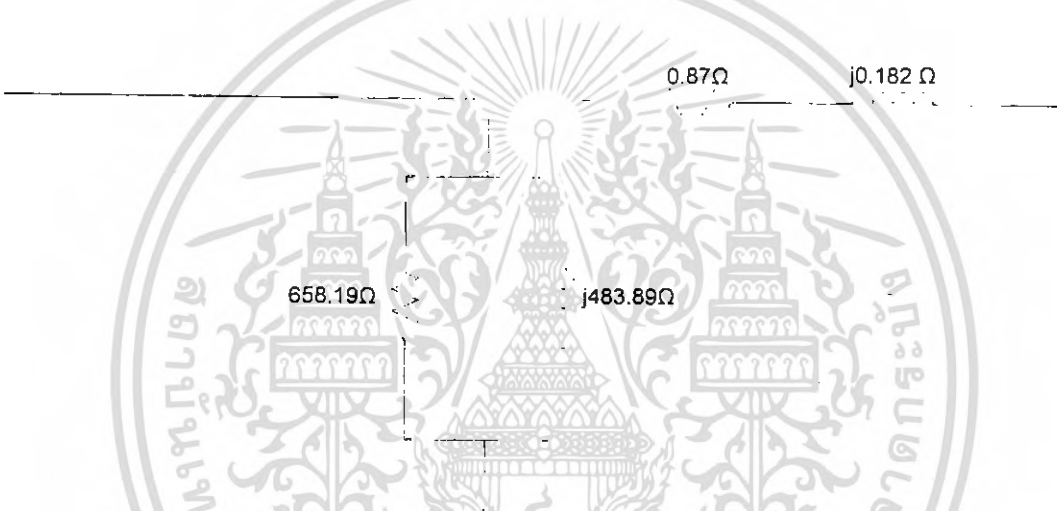
รูปที่ 6.1 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน High Voltage

รูปที่ 6.2 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน Low Voltage

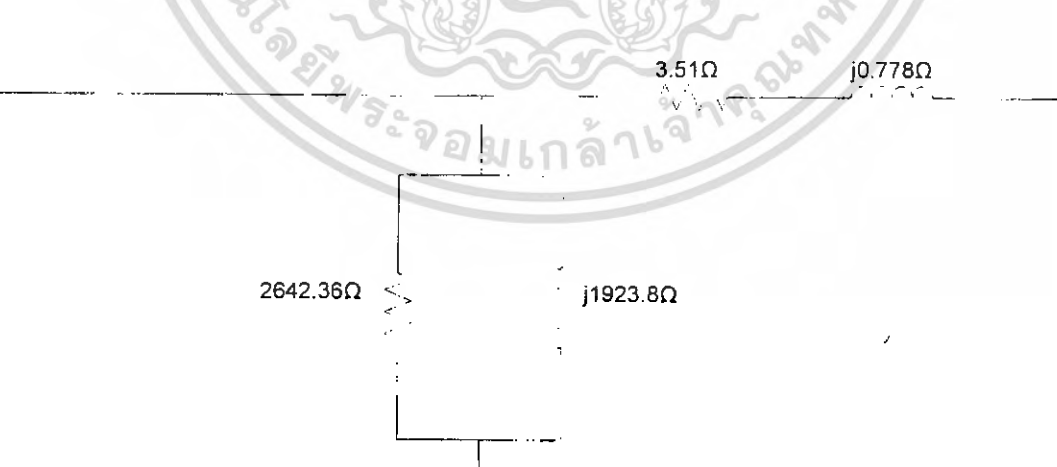
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน High Voltage

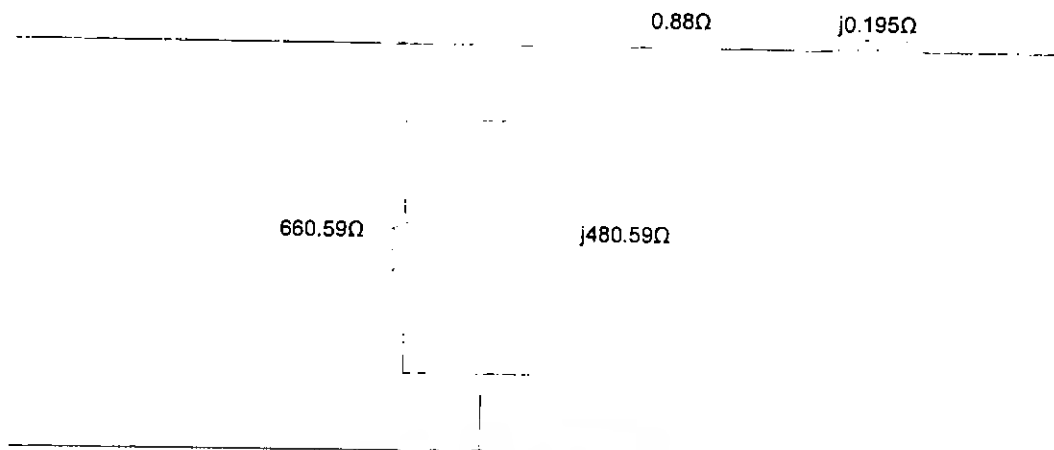


รูปที่ 6.4 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน Low Voltage



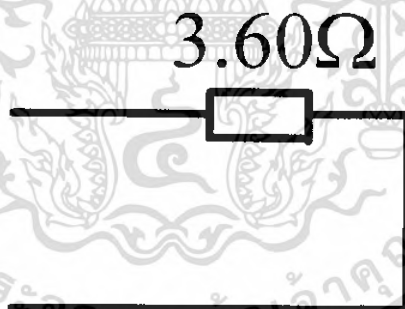
รูปที่ 6.5 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน High Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

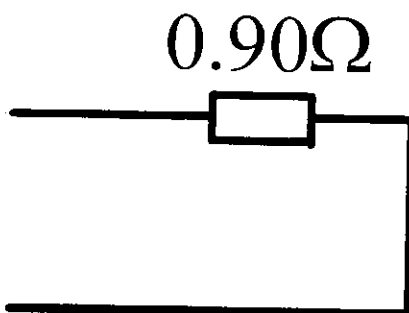


รูปที่ 6.6 วงจรสมมูลของ Transformer C ด้าน Low Voltage

เมื่อทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสด้วยการทดสอบแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test) และการทดสอบแบบลัดวงจร (Short Circuit Test) ซึ่งจากสมการที่ 4.70 และสมการที่ 4.71 ทำให้ได้ค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) และมีรูปวงจรเป็นดังนี้ (ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว)



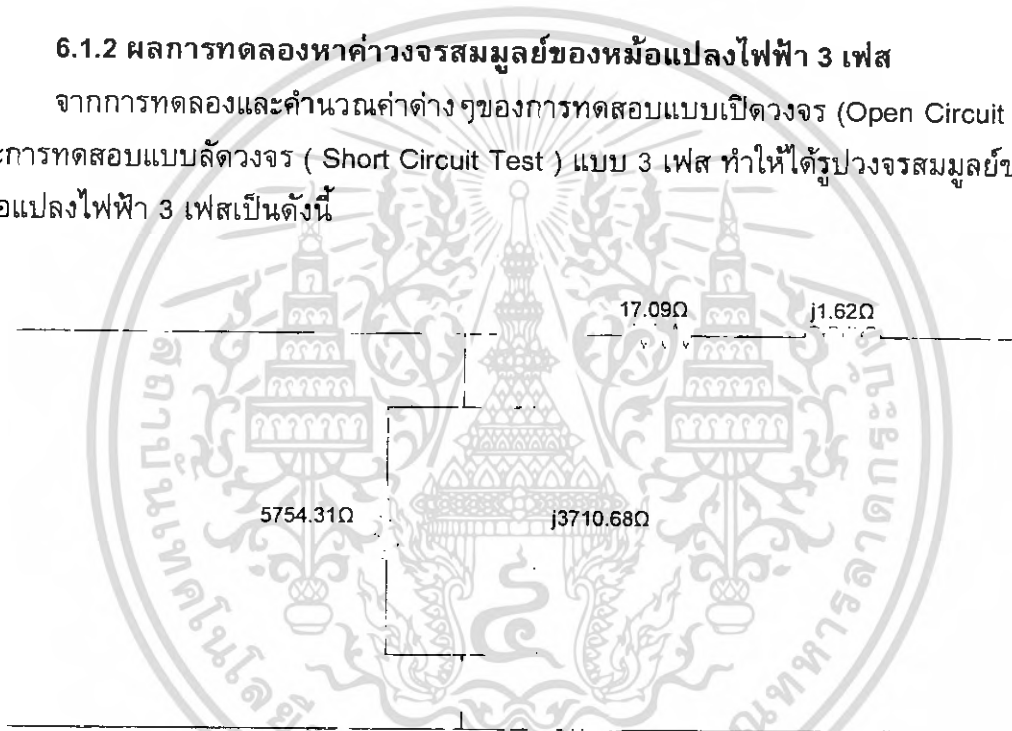
รูปที่ 6.7 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ด้าน High Voltage



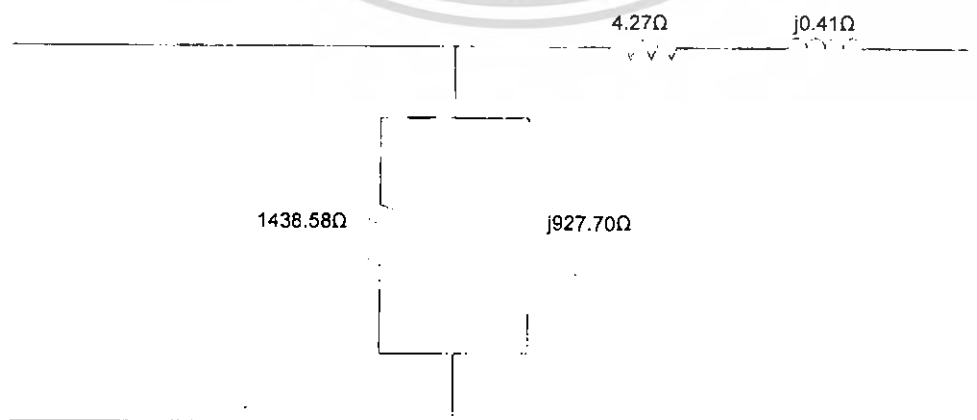
รูปที่ 6.8 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ด้าน Low Voltage

6.1.2 ผลการทดลองหาค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

จากการทดลองและคำนวณค่าต่างๆของการทดสอบแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test) และการทดสอบแบบลัดวงจร (Short Circuit Test) แบบ 3 เฟส ทำให้ได้รูปวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสเป็นดังนี้

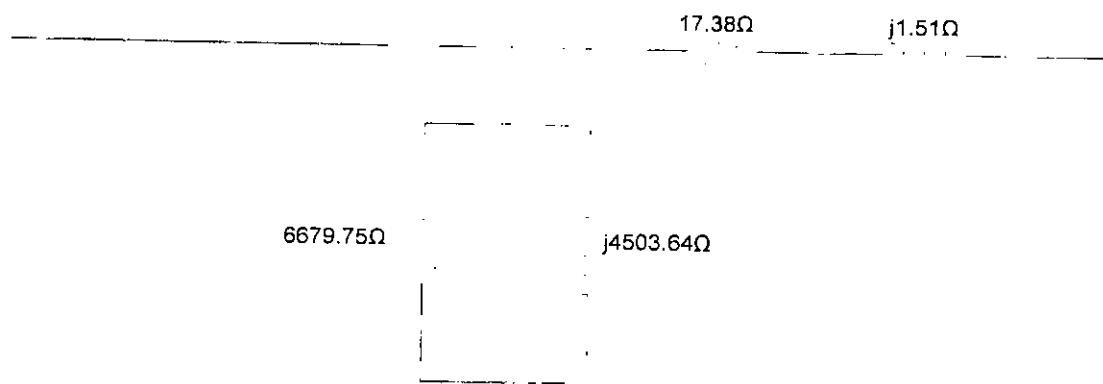


รูปที่ 6.9 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน High Voltage

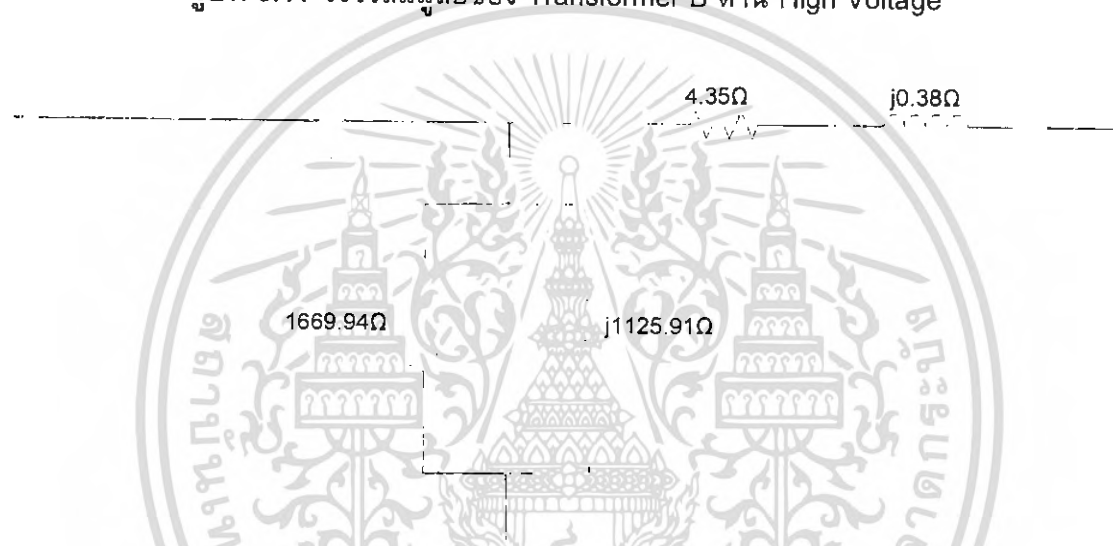


รูปที่ 6.10 วงจรสมมูลย์ของ Transformer A ด้าน Low Voltage

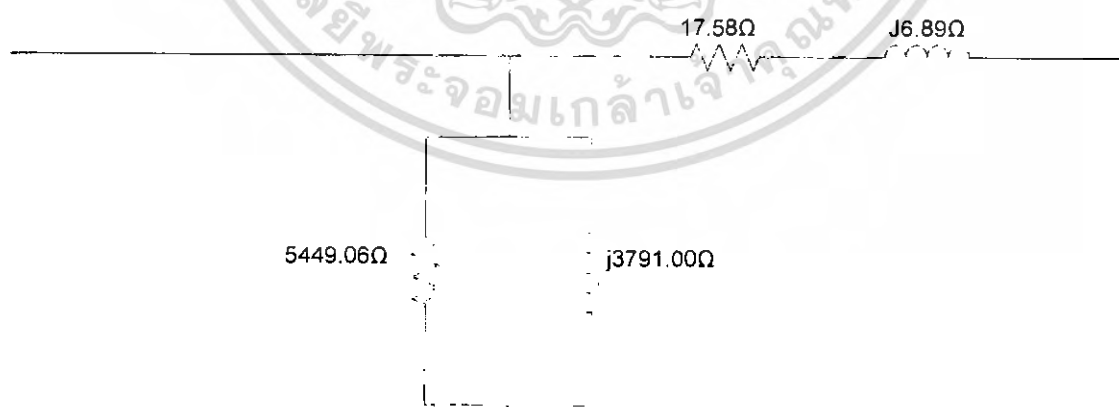
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน High Voltage

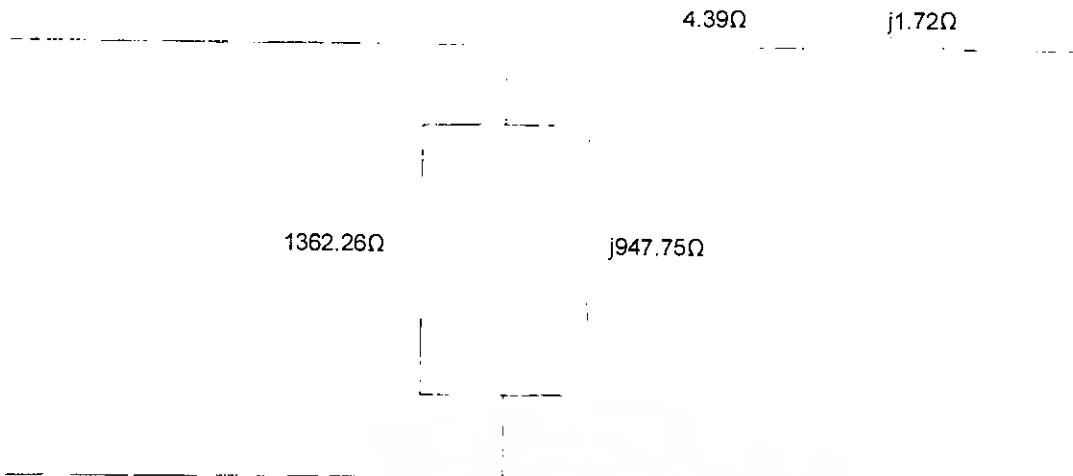


รูปที่ 6.12 วงจรสมมูลย์ของ Transformer B ด้าน Low Voltage



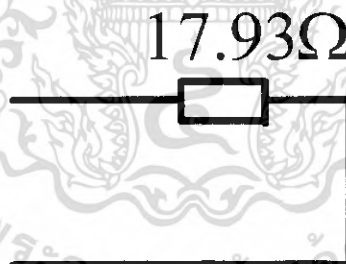
รูปที่ 6.13 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน High Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

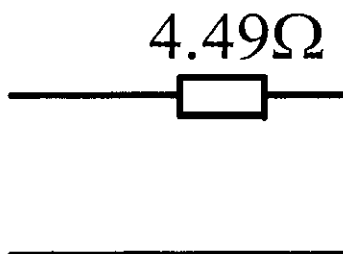


รูปที่ 6.14 วงจรสมมูลย์ของ Transformer C ด้าน Low Voltage

เมื่อทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสด้วยการทดสอบแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test) และการทดสอบแบบลัดวงจร (Short Circuit Test) ซึ่งจากสมการที่ 4.70 และสมการที่ 4.71 ทำให้ได้ค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eg}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) และมีรูปวงจรเป็นดังนี้ (ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส)



รูปที่ 6.15 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ด้าน High Voltage



รูปที่ 6.16 รูปแสดงค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ด้าน Low Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส

จากการทดลองนี้จะทำให้ได้ค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งแบบ 1 เฟสต่อรวมกันและแบบ 3 เฟส ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

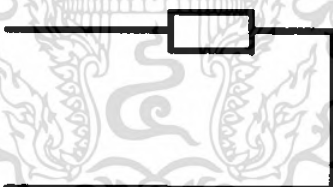
แบบที่ 1 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์ทั้งสองด้าน เป็นการทดลองโดยต่อวงจรดังรูปที่ 4.5 (ก) ซึ่งจะทำให้ได้ค่า zero sequence impedance มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{sc}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) ซึ่งจากการทดลองนี้ได้รูปวงจรดังนี้

4.14Ω



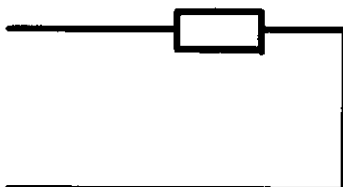
รูปที่ 6.17 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์โดยที่ลงกราวด์ทั้งสองด้าน ด้าน High Voltage

1.23Ω



รูปที่ 6.18 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์ทั้งสองด้าน ด้าน Low Voltage

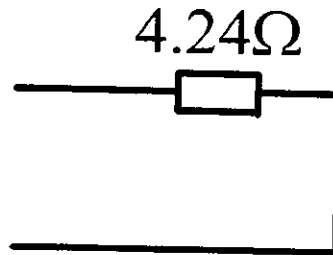
17.33Ω



รูปที่ 6.19 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์ทั้งสองด้าน ด้าน High Voltage

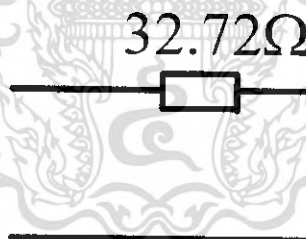
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



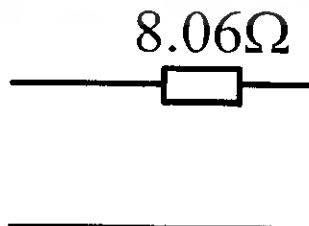
รูปที่ 6.20 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์ทั้งสองด้าน ด้าน Low Voltage

แบบที่ 2 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์หนึ่งด้าน เป็นการทดลองโดยต่อวงจรดังรูปที่ 4.6 (ก) และจากวงจรสมมุยดังรูปที่ 4.6 (ข, ค) จะเห็นว่าค่า zero sequence impedance นั้นขึ้นอยู่กับค่า mutual impedance (Z_m) ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ทำให้ค่าที่ได้ในหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นดังนี้

- หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส เนื่องจากไม่ได้ใช้แกนเหล็ก (core) ร่วมกันทำให้ Z_m มีค่าเป็นอนันต์ผลที่ได้จากการทดลองนี้จึงไม่สามารถสรุปค่า Z^0 ที่แน่นอนได้
- หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส เนื่องจากเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสที่สร้างให้อยู่ในแกนเหล็ก (core) เดียวกัน ทำให้ค่า Z^0 ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ Z_m ซึ่งจากการทดลองทำให้ได้รูปวงจรดังนี้

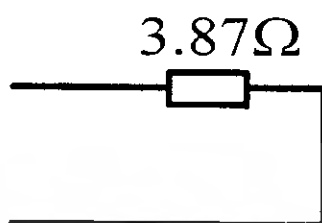


รูปที่ 6.21 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์หนึ่งด้าน ด้าน High Voltage

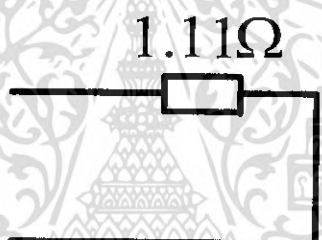


รูปที่ 6.22 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์หนึ่งด้าน ด้าน Low Voltage

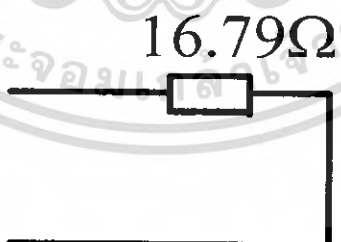
แบบที่ 3 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวด์ เป็นการทดลองโดยต่อวงจรดังรูปที่ 4.7 (ก) ซึ่งจะให้ได้ค่า zero sequence impedance มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) ซึ่งจากการทดลองนี้ได้รูปวงจรถัดนี้



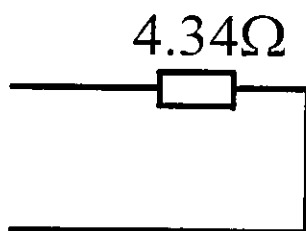
รูปที่ 6.23 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวด์ ด้าน High Voltage



รูปที่ 6.24 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวด์ ด้าน Low Voltage



รูปที่ 6.25 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวด์ ด้าน High Voltage



รูปที่ 6.26 รูปแสดงค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ซึ่งต่อใช้งานแบบสตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน Low Voltage

จากการตรวจการทดสอบค่า zero sequence impedance จะเห็นได้ว่ากลุ่มเวกเตอร์เดียวกัน (เช่น $Yy0, Yy2, Yy4$ เป็นต้น) จะไม่มีผลต่อค่า zero sequence impedance เนื่องจากการต่อกลุ่มเวกเตอร์แบบต่างๆที่เป็นชุดเดียวกันนั้น จะเป็นการระบุตำแหน่งของเฟส a,b,c เท่านั้น เพื่อได้ใช้งานได้มุม phase shift ที่ถูกต้อง ดังนั้นกลุ่มเวกเตอร์แบบต่างๆจึงไม่มีผลต่อค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า สิ่งที่มีผลต่อค่า zero sequence impedance นั้นเป็นลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น คือ

- ต่อแบบสตาร์หรือแบบเดลต้า
- การต่อลงกราวนด์หรือไม่ต่อลงกราวนด์

6.3 ผลการทดลองหาค่า sequence impedance โดยใช้วิธี unbalance

การทดลองนี้จะทำให้ได้ค่า sequence impedance ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้าครบทั้งหมด ซึ่งทำจากที่ทำการทดลองสำหรับค่ามุมเฟสของ E_A, E_B, E_C นั้นมีค่าเท่ากับ $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ เนื่องจากการทดลองเป็นการจ่ายไฟเข้าวาริแอก 1 เฟสโดยตรงแล้วทำการป้อนให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าจึงทำให้ค่ามุมไม่เปลี่ยนแปลง โดยผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

แบบที่ 1 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวนด์ 1 จุด ดังรูปที่ 4.9 ผลที่ได้คือ

- ค่า Z^1, Z^2 มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test)

- ค่า Z^0 ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสจะมีค่าเท่ากับค่าการทดลองหา zero sequence impedanceด้วยวาริแอก 1 เฟสต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวนด์หนึ่งด้าน

- ค่า Z^0 ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวที่นำมาต่อร่วมกันมีค่าไม่แน่นอน

แบบที่ 2 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบสตาร์ short circuitลงกราวนด์ 2 จุด ดังรูปที่ 4.10 ผลที่ได้คือ

- ค่า Z^0, Z^1, Z^2 มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 3 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า ดังรูปที่ 4.11 ผลที่ได้คือ

- ค่า Z^1, Z^2 มีค่าสูงมากเนื่องจากการเปิดวงจร (Open circuit) ซึ่งทำให้ค่าความต้านทานปกติจะสูงมากทำให้ค่า positive sequence impedance และ negative sequence impedance มีค่าสูง

- ค่า Z^0 มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test)

แบบที่ 4 : ด้าน primary ต่อแบบสตาร์ลงกราวนด์ ด้าน secondary ต่อแบบเดลต้า short circuit ลงกราวนด์ ดังรูปที่ 4.12

- ค่า Z^1, Z^2 มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) เนื่องจากการ short circuit และต่อลงกราวนด์

- ค่า Z^0 มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดทองแดง (Z_{eq}) ที่ได้จากการทำการทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test)



เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษณะ วงศ์วิหิต, ชีร์ศักดิ์ สมสุข, วิชัยเพชร จันทร์ลา, การออกแบบหม้อแปลงขนาดเล็กด้วยแกน EI ที่เหมาะสม, ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปีการศึกษา 2542, ปพ.ก281ก 2542
- [2] ชีร์พล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์, การออกแบบหม้อแปลงขนาดเล็กด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสม, วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2545, วพ.ช 633 ก.2545
- [3] S.V.Kulkarni,S.A. Khaparde, **Transformer Engineering Design and Practice**, Indian Institute of Technology, Bombay , Mumbai ,India
- [4] ตร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] Hadi Saadat, **Power System Analysis**, McGraw-Hill, 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารประกอบการทดลอง

การทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า

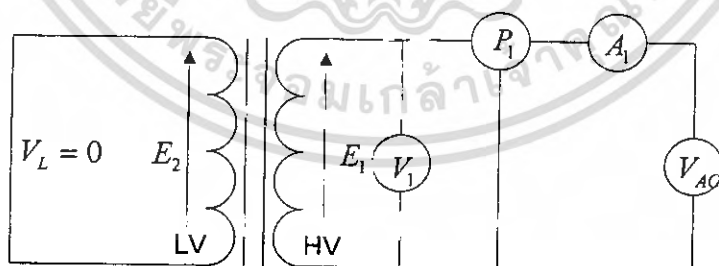
วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎี symmetrical components
2. สามารถทำการทดสอบหาค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้
3. เพื่อศึกษาผลของค่า sequence impedance ในการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ

ทฤษฎี

การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส

ในการทดสอบแบบนี้จะทำให้สามารถหาค่าของการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความต้านทานของขดลวดทองแดง ณ พิกัดของภาระเต็มพิกัด (Full load) ส่วนที่สูญเสียที่หาได้นี้จะนำมาใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าและยังสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์สมมูลย์ (Z_{sc}) ค่าความต้านทานจริงสมมูลย์ (R_{sc}) และค่าความต้านทานเสมือนสมมูลย์ (X_{sc}) ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่คิดทางด้านที่ใส่มีเตอร์ต่างๆ เข้าไปทำการวัดทางด้านนั้นๆ โดยในการทดสอบลัดวงจรนี้ นิยมทำการลัดวงจรทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงต่ำ (Low voltage side) และทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดให้อยู่ทางด้านศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage side) โดยการลัดวงจรอาจใช้แอมป์มิเตอร์เป็นตัวลัดวงจรแทนก็ได้เพื่อชี้ให้เห็นถึงกระแสที่พิกัดขณะลัดวงจร การทดสอบเป็นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะทำการลัดวงจร

ในการทดสอบนี้ทำได้โดยการค่อยๆ ปรับแรงดันโวลเตจจากวาริแอกโดยเริ่มต้นให้ V_1 เท่ากับศูนย์โวลต์จนกระทั่งทำให้ I_1 อ่านค่าของกระแสไฟฟ้าได้จนเต็มพิกัดของด้านแรงสูงแล้วทำการอ่านค่าที่ได้จาก V_1, I_1 และ P_1 ซึ่งมีค่าเป็น V_{sc}, I_{sc} และ P_{sc} ตามลำดับและสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาหาค่า R_{eq} และ X_{eq} ได้ดังนี้

$$\theta_{SC} = \cos^{-1} \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}}$$

$$Z_{SC} = \frac{V_{SC} \angle 0^\circ}{I_{SC} \angle -\theta_{SC}}$$

$$Z_{SC} = Z_{SC} \angle \theta_{SC}$$

$$R_{SC} = R_{SC} \cos \theta_{SC}$$

$$X_{SC} = X_{SC} \sin \theta_{SC}$$

สามารถสรุปได้ว่า

$$R_{eq,H} = R_H + R'_L = R_{SC}$$

$$X_{eq,H} = X_H + X'_L = X_{SC}$$

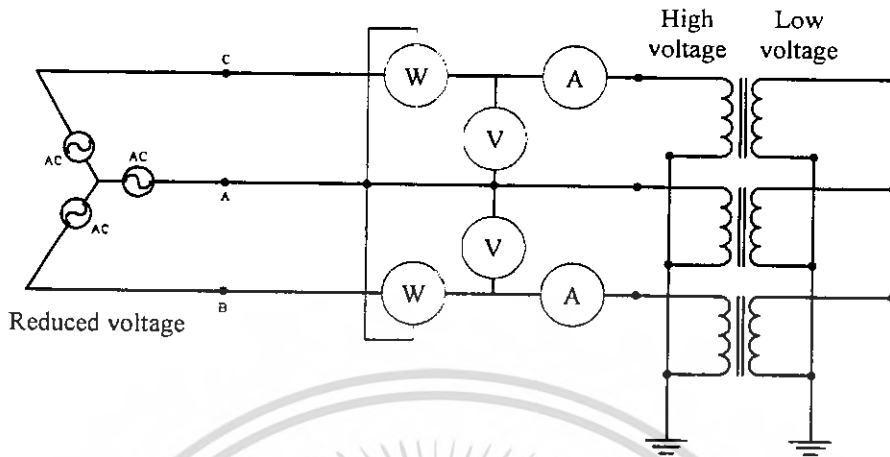
และเมื่อทำการย้ายค่าต่างๆมาอยู่ทางด้านตกคาไฟฟ้าต่ำ (ถ้ากำหนดให้ด้านปฐมภูมิเป็นด้าน

แรงดันสูงจะได้ $a = \frac{V_H}{V_L}$)

$$R_{eq,L} = \frac{1}{a^2} R_{eq,H}$$

$$X_{eq,L} = \frac{1}{a^2} X_{eq,H}$$

การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส



รูปที่ 2 การทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

วัดค่าต่าง ๆ ดังนี้

V_{SC_ll} : line to line voltage ของการทดสอบแบบลัดวงจร

I_{SC} : กระแสไฟฟ้าของการทดสอบแบบลัดวงจร

$P_{SC_3\phi}$: กำลังไฟฟ้าจริง 3 เฟสของการทดสอบแบบลัดวงจร

จากการทำ Short Circuit Test สามารถหาค่าของ R_s , X_s ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{SC_ln} = \frac{V_{SC_ll}}{\sqrt{3}}$$

$$P_{SC_1\phi} = \frac{P_{SC_3\phi}}{3}$$

$$R_s = \frac{P_{SC_1\phi}}{I_{SC}^2}$$

$$Z_s = \frac{V_{SC_ln}}{I_{SC}}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}$$

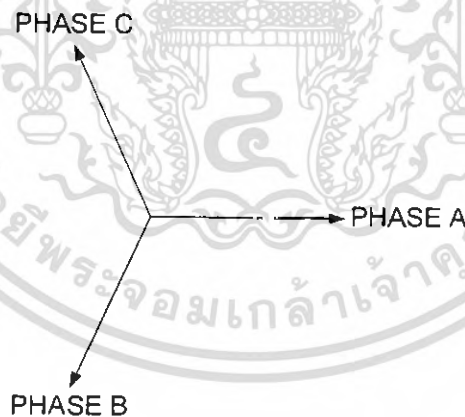
- R_s : ค่าความต้านทานจริงของขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
- X_s : ค่าความต้านทานเสมือนของขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
- V_{SC_In} : แรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของการทดสอบแบบลัดวงจร
- $P_{SC,3\phi}$: กำลังไฟฟ้าต่อเฟสของการทดสอบแบบลัดวงจร
- Z_{SC} : ค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสของขดลวดทองแดงของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

ส่วนประกอบสมมาตร (symmetrical components)

ในการคำนวณความผิดปกติ (fault) ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น การคำนวณความผิดปกติ สมดุล 3 เฟส (balance three-phase fault) ซึ่งก็คือ three-phase fault จะสามารถคำนวณ โดยใช้วิธีคิดที่คำนวณจากค่าอิมพีแดนซ์และค่าแรงดันได้ แต่ถ้าเป็นความผิดปกติไม่สมดุล (unbalance fault) จะไม่สามารถคิดได้จึงต้องใช้วิธีส่วนประกอบสมมาตร (symmetrical components) มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เกิดลำดับ (sequence) ต่าง ๆ ดังนี้

1. positive sequence components

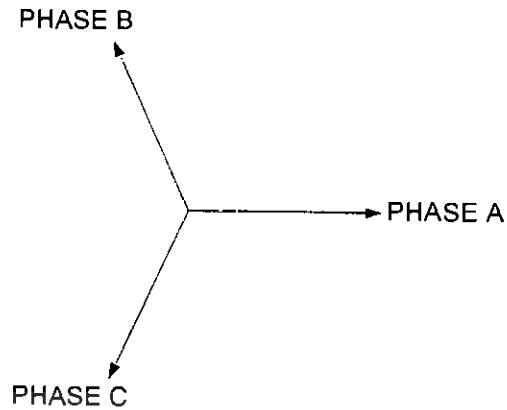
คือ sequence ที่มีลักษณะการเรียงเฟสตามปกติคือเรียงแบบ abc และมีขนาดเท่ากันหมด(ถ้าเฟส A อยู่ที่ 0° เฟส B จะอยู่ที่ 240° และเฟส C จะอยู่ที่ 120° ดังรูปที่ 3) ในปริญญา นิพนธ์เล่มนี้จะใช้สัญลักษณ์ 1 แทนลำดับ (sequence) นี้



รูปที่ 3 ลักษณะของ positive sequence components

2. negative sequence components

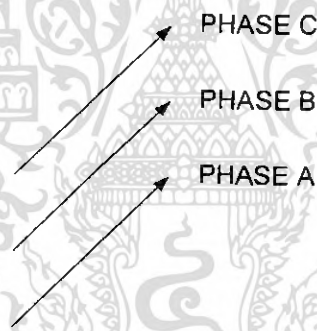
คือ sequence ที่มีลักษณะการเรียงเฟสที่กลับจากปกติคือเรียงแบบ acb และมีขนาดเท่ากันหมด(ถ้าเฟส A อยู่ที่ 0° เฟส B จะอยู่ที่ 120° และเฟส C จะอยู่ที่ 240° ดังรูปที่ 4) ในปริญญา นิพนธ์เล่มนี้จะใช้สัญลักษณ์ 2 แทนลำดับ (sequence) นี้



รูปที่ 4 ลักษณะของ negative sequence components

3. zero sequence components

คือ sequence ที่ค่ามมเฟสของทั้งเฟส A,B,C มีค่าเท่ากันอยู่ที่ค่ามมค่าหนึ่งและมีขนาดเท่ากันหมดดังรูปที่ 5 ในปริญญาโทเรียนี้จะใช้สัญลักษณ์ 0 แทนลำดับ (sequence) นี้



รูปที่ 5 ลักษณะของ zero sequence components

กำหนดให้

$$a = 1\angle 120^\circ = -0.5 + j0.866$$

$$a^2 = 1\angle 240^\circ = -0.5 - j0.866$$

$$a^3 = 1\angle 360^\circ = 1$$

$$1 + a + a^2 = 0$$

สำหรับสมการกระแสไฟฟ้า

Positive sequence components :

$$I_a^1 = I_a^1 \angle 0^\circ = I_a^1$$

$$I_b^1 = I_a^1 \angle 240^\circ = a^2 I_a^1$$

$$I_c^1 = I_a^1 \angle 120^\circ = a I_a^1$$

Negative sequence components :

$$I_a^2 = I_a^2 \angle 0^\circ = I_a^2$$

$$I_b^2 = I_a^2 \angle 120^\circ = a I_a^2$$

$$I_c^2 = I_a^2 \angle 240^\circ = a^2 I_a^2$$

Zero sequence components :

$$I_a^0 = I_b^0 = I_c^0$$

พิจารณากระแสไฟฟ้าสมดุล 3 เฟส (I_a, I_b, I_c)

$$I_a = I_a^0 + I_a^1 + I_a^2$$

$$I_b = I_b^0 + I_b^1 + I_b^2$$

$$I_c = I_c^0 + I_c^1 + I_c^2$$

เมื่อพิจารณาให้อยู่ในเทอมของเฟส a

$$I_a = I_a^0 + I_a^1 + I_a^2$$

$$I_b = I_a^0 + a^2 I_a^1 + a I_a^2$$

$$I_c = I_a^0 + aI_a^1 + a^2I_a^2$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix}$$

$$I^{abc} = AI_a^{012}$$

เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

ถ้าต้องการหาค่า sequence components ต่างๆ

$$A^{-1}I^{abc} = A^{-1}AI_a^{012}$$

$$I_a^{012} = A^{-1}I^{abc}$$

เมื่อ

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

ทำให้

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

จะได้

$$I_o^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$I_a^1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

$$I_a^2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

$$I_b^0 = I_a^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$I_b^1 = a^2I_a^1 = \frac{1}{3}(a^2I_a + I_b + aI_c)$$

$$I_b^2 = aI_a^2 = \frac{1}{3}(aI_a + I_b + a^2I_c)$$

$$I_c^0 = I_a^0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

$$I_c^1 = aI_a^1 = \frac{1}{3}(aI_a + a^2I_b + I_c)$$

$$I_c^2 = a^2I_a^2 = \frac{1}{3}(a^2I_a + aI_b + I_c)$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับสมการแรงดันไฟฟ้า

$$V^{abc} = AV_o^{012}$$

เมื่อ

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

จะได้

$$V_a^{012} = A^{-1}V^{abc}$$

เมื่อ

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

ทำให้

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

สำหรับค่าอิมพีแดนซ์

$$V^{abc} = Z^{abc} I^{abc}$$

$$V_a^{012} = Z_a^{012} I_a^{012}$$

สำหรับค่า sequence impedance หม้อแปลงไฟฟ้า

$$Z^{012} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดเอกสารประกอบคำร้องเรื่องการทดสอบหาค่าซีเคอร์เนอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการนำใช้

จะได้

$$Z^0 = \frac{V_a^0}{I_a^0}$$

$$Z^1 = \frac{V_a^1}{I_a^1}$$

$$Z^2 = \frac{V_a^2}{I_a^2}$$

สำหรับค่า sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้ามี่ลักษณะดังนี้

1. positive sequence impedance

สำหรับค่าหม้อแปลงไฟฟ้าค่า positive sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น จะสามารถหาได้โดยการทำ Short circuit test นั้นเอง

$$Z_{\text{positive-sequence}} = Z_{SC}$$

2. negative sequence impedance

ค่า negative sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะมีค่าเท่ากับค่า positive sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นเองเพราะการกลับเฟสจาก positive sequence เป็น negative sequence นั้นจะไม่มีผลกับสิ่งที่อยู่กับที่อย่างหม้อแปลงไฟฟ้า

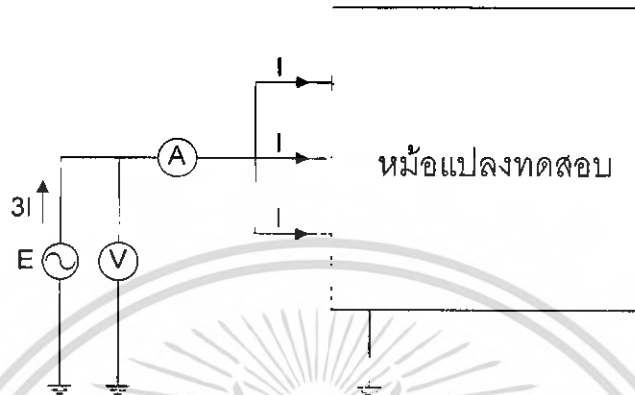
$$Z_{\text{negative-sequence}} = Z_{\text{positive-sequence}} = Z_{SC}$$

3. zero sequence impedance

ค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ (แบบสตาร์หรือแบบเดลต้า) และขึ้นอยู่กับ การต่อลงกราวนด์ หรือไม่ต่อลงกราวนด์

การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้ วาริแอก 1 เฟส

การทดสอบค่า zero sequence impedance แบบนี้จะใช้วาริแอก 1 เฟส 1 ตัว ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าและจะทำการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่าง ๆ เพื่อทำการวัดหาค่า zero sequence impedance ทำการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้างดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 รูปวงจรถ่ายการทดสอบหาค่า Z^0 โดยใช้วาริแอก 1 เฟส

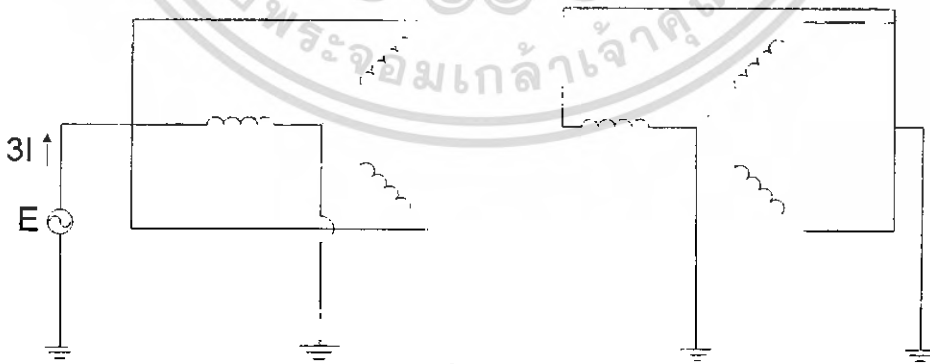
ค่าที่วัดได้จากโวลท์มิเตอร์คือค่า E

ค่าที่วัดได้จากแอมป์มิเตอร์คือค่า 3I

สามารถคำนวณค่า zero sequence impedance ได้โดยสมการ

$$Z_{zero-sequence} = \frac{E}{I}$$

แบบที่ 1 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวนด์ทั้ง 2 ด้าน



รูปที่ 7 (ก)

$$Z^0 = Z_{leakage}$$

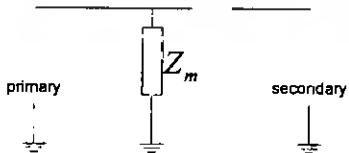
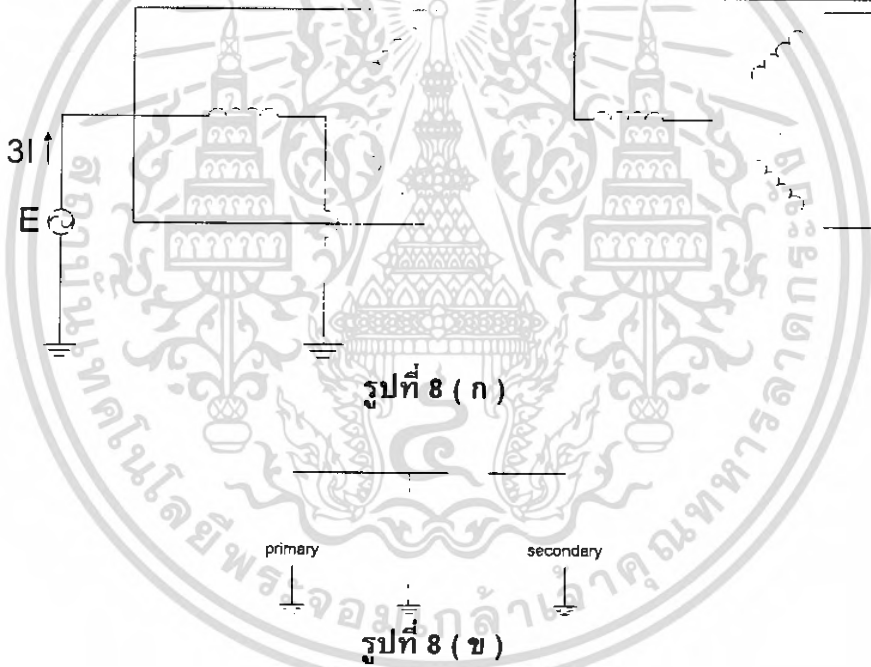


รูปที่ 7 (ข)

รูปที่ 7 (ก) รูปวงจรการทดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ทั้ง 2 ด้าน

(ข) รูปวงจรเสมือนของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 2 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-สตาร์ โดยที่ลงกราวด์ 1 ด้าน



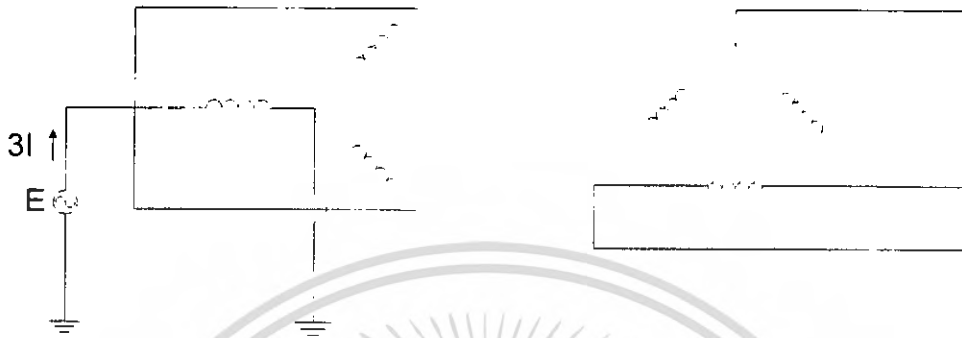
รูปที่ 8 (ค)

รูปที่ 8 (ก) รูปวงจรการทดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน

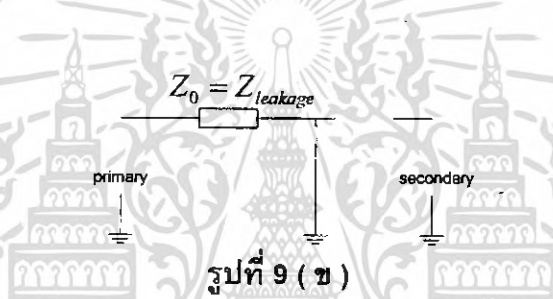
(ข) รูปวงจรเสมือนของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y-Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน โดยที่แต่ละเฟสไม่มีค่า mutual impedance จากเฟสอื่นๆ (หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อเป็น 3 เฟส)

(ค) รูปวงจรเสมือนของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y - Y$ ลงกราวด์ 1 ด้าน โดยที่แต่ละเฟสมีค่า mutual impedance จากเฟสอื่นๆ (หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส)

แบบที่ 3 : ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ สตาร์-เดลต้า โดยที่ด้านที่ต่อสตาร์ลงกราวด์



รูปที่ 9 (ก)



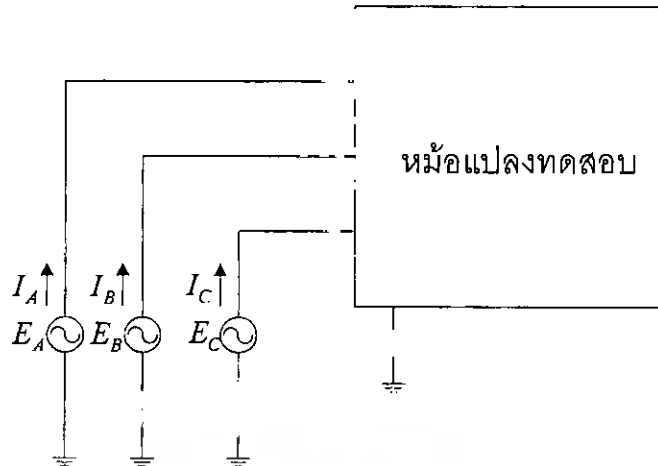
รูปที่ 9 (ข)

รูปที่ 9 (ก) รูปวงจรการทดสอบ Z^0 แบบการต่อ $Y - \Delta$ ด้าน Y ลงกราวด์

(ข) รูปวงจรเสมือนของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการต่อ $Y - \Delta$ ด้าน Y ลงกราวด์

การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้การทดสอบแบบ unbalance

การทดสอบค่า zero sequence impedance แบบนี้จะใช้วาริแอด 1 เฟส 3 ตัว จ่ายเข้าแยกแต่ละโดยที่การจ่ายแรงดันไฟฟ้านั้นจะทำการปรับวาริแอด 1 เฟส แต่ละตัวให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 รูปวงจรการทดสอบหาค่า Z^0 โดยใช้ทดสอบแบบ unbalance

วัดค่า $E_A, E_B, E_C, I_A, I_B, I_C$ พร้อมทั้งการบันทึกค่ามมเฟสด้วย
 นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า sequence impedance ได้ดังนี้

- หาค่าแรงดันไฟฟ้าตาม sequence ต่างๆ

$$V_a^{012} = A^{-1} V^{abc}$$

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

- หาค่ากระแสไฟฟ้าตาม sequence ต่างๆ

$$I_a^{012} = A^{-1} I^{abc}$$

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

- คำนวณหาค่า sequence impedance

$$V_a^{012} = Z^{012} I_a^{012}$$

$$Z^{012} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_a^0 \\ V_a^1 \\ V_a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^0 & 0 & 0 \\ 0 & Z^1 & 0 \\ 0 & 0 & Z^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix}$$

จะได้



$$Z^0 = \frac{V_a^0}{I_a^0}$$

$$Z^1 = \frac{V_a^1}{I_a^1}$$

$$Z^2 = \frac{V_a^2}{I_a^2}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส	1 ตัว
2. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	3 ตัว
3. วาริแอก 1 เฟส	3 ตัว
4. วาริแอก 3 เฟส	1 ตัว
5. Digital Power meter	3 เครื่อง
6. Digital Oscilloscope	1 เครื่อง
7. Current Probe	1 ชุด
8. Differential Probe	1 ชุด
9. Junction box	2 ชุด
10. สายต่อวงจร	30 เส้น

ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อหาค่า Z^1, Z^2

1. ทำการทดลองหาค่า Z_{eq} ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสโดยใช้วาริแอก 1 เฟส ต่อวงจรทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) ดังรูปที่ 1 ทำการวัดค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า โดยทำการทดลองกับหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสให้ครบทั้ง 3 ตัว บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1
2. ทำการทดลองหาค่า Z_{eq} ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้วาริแอก 3 เฟส ต่อวงจรทดสอบแบบลัดวงจร (short circuit test) ดังรูปที่ 2 ทำการวัดค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า โดยทำการทดลองกับหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสให้ครบทั้ง 3 เฟส บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อหาค่า Z^0

3. ทำการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้วาริแอก 1 เฟส โดยวัดค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวมาต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 11ก ทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าค่อยๆเพิ่มขึ้น บันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟาลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3,4 (ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขึ้นโดยดูค่ากระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิดค่าพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า) โดยทำการทดลองทั้งทางด้านแรงดันต่ำและแรงดันสูง
4. ทำการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้วาริแอก 1 เฟส โดยวัดค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวมาต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 11ข ทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าค่อยๆเพิ่มขึ้น บันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟาลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3,4 (ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขึ้นโดยดูค่า

กระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิดค่าพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า) โดยทำการทดลองทั้งทางด้านแรงดันต่ำ และแรงดันสูง

5. ทำการทดลองหาค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้วาริแอก 1 เฟส โดยวัดค่า zero sequence impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวมาต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 11ค ทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าค่อยๆเพิ่มขึ้น บันทึกค่าแรงดัน และกระแสไฟฟาลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3,4 (ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขึ้นโดยดูค่า กระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิดค่าพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า) โดยทำการทดลองทั้งทางด้านแรงดันต่ำ และแรงดันสูง

6. ทำการทดลองซ้ำกับการทดลองข้อที่ 3,4,5 โดยเปลี่ยนจากหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5,6

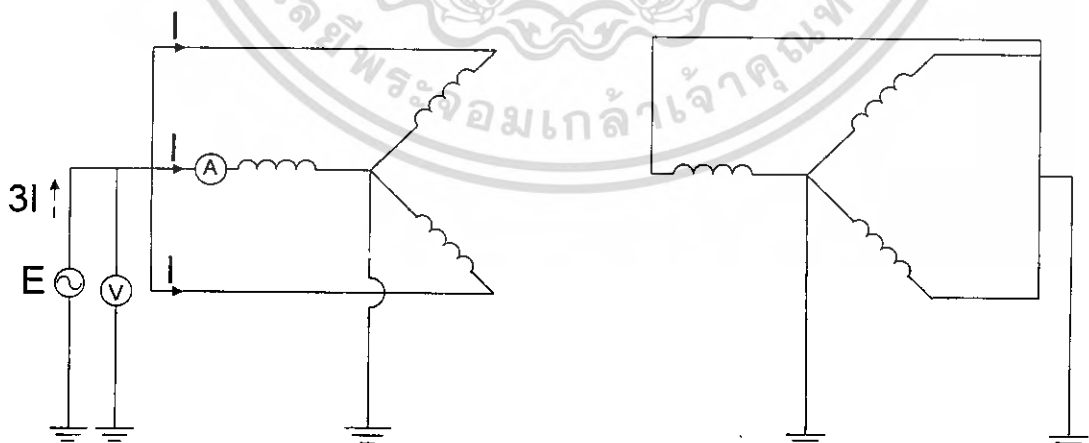
ตอนที่ 3 การทดสอบแบบ unbalance เพื่อหาค่า sequence impedance ต่าง ๆ

7. ทำการทดลองคำนวณหาค่า sequence impedance ต่างๆโดยใช้วิธี unbalance โดยการนำ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 3 ตัวมาต่อเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสมาจ่ายเข้าด้วยวาริแอก 1 เฟส 3 ตัว โดยต่อวงจรดังรูปที่ 12 ทำการวัดค่า $V_A, V_B, V_C, I_A, I_B, I_C$ ซึ่งทำการวัดค่าขนาดและค่า มุมเฟส บันทึกการทดลองลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 7 โดยทำการทดลองด้าน high voltage

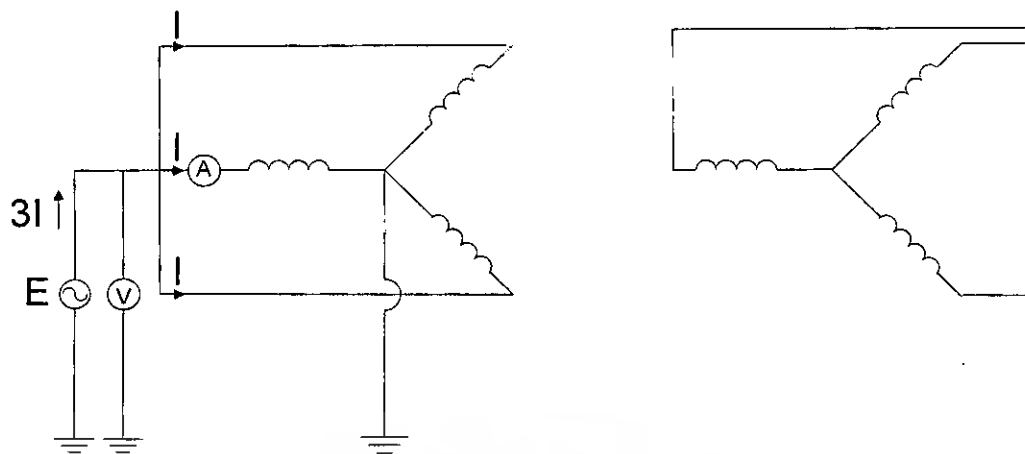
8. ทำการทดลองซ้ำการทดลองข้อที่ 7 โดยเปลี่ยนจากหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เป็นหม้อแปลง ไฟฟ้า 3 เฟส บันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 8

9. ทำการคำนวณค่าต่างๆในตารางบันทึกผลการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้

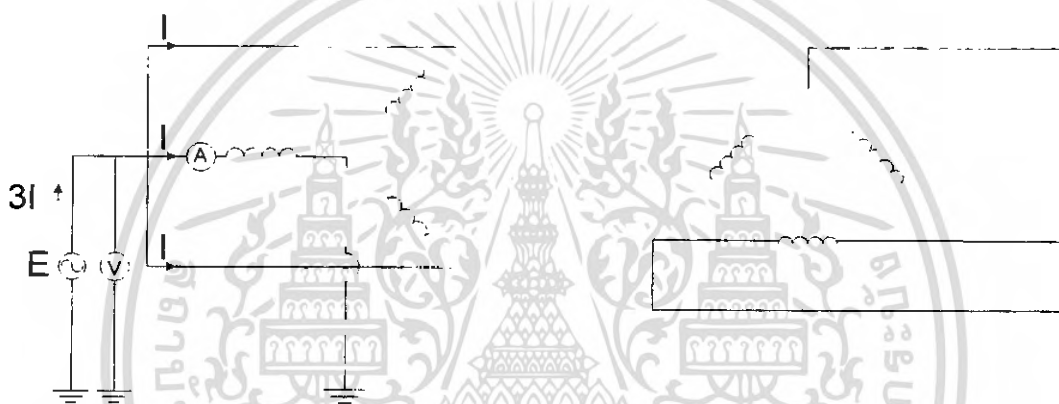
รูปวงจรการทดลอง



รูปที่ 11 (ก)



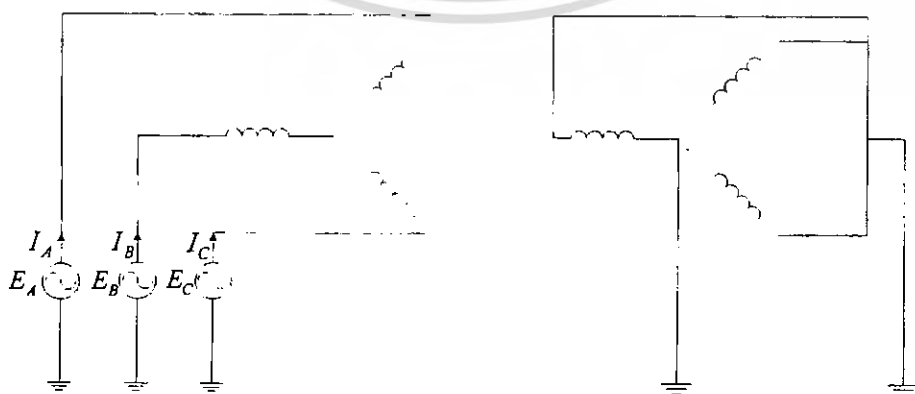
รูปที่ 11 (ข)



รูปที่ 11 (ค)

รูปที่ 11 รูปวงจรการทดลองหาค่า Z^0 ของการทดสอบแบบวาริแอก 1 เฟส

- (ก) ต่อแบบ $Y-Y$ โดยที่ลงกราวนด์ทั้งสองด้าน
- (ข) ต่อแบบ $Y-Y$ โดยที่ลงกราวนด์หนึ่งด้าน
- (ค) ต่อแบบ $Y-\Delta$ โดยที่ด้านที่ต่อสตา์ลงกราวนด์



รูปที่ 12 รูปวงจรการทดลองหาค่า Z^0 ของการทดสอบแบบ unbalance

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

	Transformer A	Transformer B	Transformer C
V_{SC} (V)			
I_{SC} (A)			
P_{SC} (W)			
$R_{eq,H}$ (Ω)			
$X_{eq,H}$ (Ω)			
$Z_{eq,H}$ (Ω)			
$R_{eq,L}$ (Ω)			
$X_{eq,L}$ (Ω)			
$Z_{eq,L}$ (Ω)			

ตารางที่ 2 short circuit test ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

	PHASE A	PHASE B	PHASE C
V_{PHASE} (V)			
I_{SC} (A)			
$P_{1\phi,SC}$ (W)			
$R_{eq,H}$ (Ω)			
$X_{eq,H}$ (Ω)			
$Z_{eq,H}$ (Ω)			
$R_{eq,L}$ (Ω)			
$X_{eq,L}$ (Ω)			
$Z_{eq,L}$ (Ω)			

ตารางที่ 3 การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส

ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ทำการทดสอบด้าน Low voltage

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						

ตารางที่ 4 การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส

ของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ทำการทดสอบด้าน High voltage

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						

ตารางที่ 5 การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส
ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทำการทดสอบด้าน Low voltage

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						

ตารางที่ 6 การทดสอบหาค่า zero sequence impedance โดยใช้วาริแอก 1 เฟส
ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทำการทดสอบด้าน High voltage

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
Y-Y connected both neutrals solidly	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-Y connected one neutral grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						
Y-delta connected neutral solidly grounded	V (V)						
	I (A)						
	Z (Ω)						

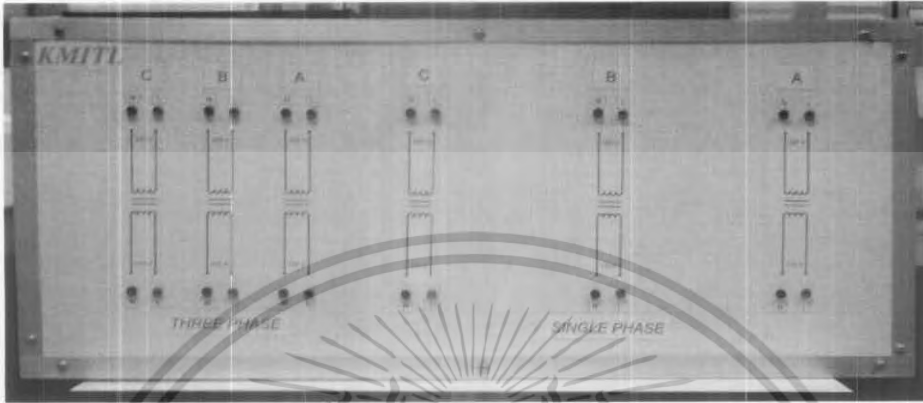
ตารางที่ 7 การทดสอบแบบ unbalance เพื่อหาค่า sequence impedance ต่างๆของ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสต่อรวมกันเป็น 3 เฟส ด้าน High voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
V_A (V)			
I_A (A)			
V_B (V)			
I_B (A)			
V_C (V)			
I_C (A)			
I_N (A)			
Z_0 (Ω)			
Z_1 (Ω)			
Z_2 (Ω)			
$I_n/3$ (A)			
I_0 (A)			

ตารางที่ 8 การทดสอบแบบ unbalance เพื่อหาค่า sequence impedance ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้าน High voltage

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
V_A (V)			
I_A (A)			
V_B (V)			
I_B (A)			
V_C (V)			
I_C (A)			
I_N (A)			
Z_0 (Ω)			
Z_1 (Ω)			
Z_2 (Ω)			
$I_n/3$ (A)			
I_0 (A)			

ภาคผนวก ข
รูปชุดการทดลอง



รูปที่ 1 ชุดการทดลอง (ด้านหน้า)



รูปที่ 2 ชุดการทดลอง (ด้านหลัง)



รูปที่ 3 ตัวอย่างลักษณะของการต่อวงจรเพื่อหาค่า sequence impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้