หนังสือหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

(TESTING OF POWER TRANSFORMER)

เลขทะเบียน 82949
วันที่ 29 ก.ค. 2551
b 11956860
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

ปีการศึกษา 2550

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

(TESTING OF POWER TRANSFORMER)

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช

อ.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นรเศรษฐ พัฒนเดช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พีรวุฒิ ยุทธโกวิท)

I

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

นายวิศรุต เล็กอุทัย
นายวุฒิชัย นันดา
นายสิทธา ขอบเขต
อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิ งกำลัง 3 เฟส
24/12 kV 50 H ดสอบและผลการ
ทดสอบในหัวข้อ วนแรงดัน, การวัด
ค่าความสูญเสีย นฉนวนต่อแรงดัน
อิมพัลส์ฟ้าผ่า เ ารประเมินวินิจฉัย
คุณสมบัติทางไ

TESTING OF POWER TRANSFORMER

Wisaroot Lekuthai
Woothichai Nanta
Sittha Khobkhet
Norasage Pattanadech Supervisor
Peerawut Yuthagowith Supervisor
2007

ABSTRACT

This p sformer 24/12 kV
50 Hz compli easuring winding
resistance, vol ghtning insulation
level. The test sformer insulation
system.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดี จากหลายฝ่ายๆ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์นรเศรษฐ พัฒนเดช และอาจารย์พีรวุฒิ ยุทธโกวิท ที่คอยดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดเสมอมา ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษาสิ่งต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่การศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงงานตลอดทั้งปีการศึกษา 2550 โดยมิเห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณพิสิฐ ศักดิ์ลิรรัตน์ และพี่ๆ ที่ห้องทดสอบที่บริษัทเอบีบี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงงาน รวมถึงให้คำแนะนำในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณวิโรจน์ ปริญญาโท ที่ช่วยให้คำแนะนำ แนวทางการทำงาน เพื่อนร่วมงานและสมาชิกในห้องปฏิบัติการวิจัยด้าน และคอยให้กำลังใจในการทำงานด้านการเรียนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ที่มีค่ามากในยามที่เกิดความท้อแท้ เผชิญกับความล้มเหลว ฝันอุปสรรคต่างๆ จนประสบความสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I
ABSTRACT II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญภาพ IX
สารบัญตาราง XIV
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัด 1
1.3 ขอ 1
1.4 ขั้น 2
1.5 ปร 3
บทที่ 2 ทฤษฎี 4
2.1 ทฤ 4
2.2 ทฤ 5
2.2 5
2.2 6
2.2 6
2.3 การ 8
2.3 8
2.3.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ 8
2.3.3 ทฤษฎีและวิธีการวัด 9
2.3.4 กระบวนการในการทดสอบ 10
2.3.5 ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความด้านทานของขดลวด 10
2.4 การหาอัตราส่วนแรงดัน กลุ่มของเวคเตอร์ การระบุมุมเฟส 11
2.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 11
2.4.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ 11
2.4.3 วงจรทดสอบ 14
2.4.4 กระบวนการวัดอัตราส่วนแรงดัน 21
2.4.5 ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความด้านทานของขดลวด 22

2.5 การวัดค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจร
และค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า 22
2.5.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 22
2.5.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ 23
2.5.3 วงจรทดสอบ 28
2.5.4 กระบวนการวัด 30
2.5.5 การคำนวณผลการทดสอบ 31
2.5.6 ค่าที่ยอมรับได้ของการทดสอบ 32
2.6 การวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า
และค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า 33
2.6 33
2.6 33
2.6 39
2.6 44
2.6 45
2.6 46
2.7 กา
จา 46
2.7 46
2.7 46
2.7 46
2.7 47
2.7 48
2.8 การทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันเหนียวนำ 48
2.8.1 วัตถุประสงค์ 48
2.8.2 ลักษณะทั่วไป 48
2.8.3 หลักการในการทดสอบ 50
2.8.4 สิ่งที่จำเป็นสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 50
2.8.5 ขั้นตอนและการต่อวงจรในการทดสอบ 51
2.8.6 ระยะเวลาในการทดสอบ 52
2.9 การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วน 54
2.9.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 54
2.9.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ 54

2.9.3 หลักการวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วน..... 55
2.9.4 การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า..... 57
2.9.5 กระบวนการวัดการดิสชาร์จบางส่วน..... 62
2.9.6 กระบวนการสืบหาแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน..... 64
2.9.7 ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วน..... 67
2.10 การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า
และแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ซิ่ง..... 68
2.10.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอ..... 68
2.10.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ..... 68
2.10.3 หลักการทั่วไปในการทดสอบ..... 70
2.1 73
2.1 77
2.1 79
2.1 งฉนวน..... 79
2.11 กา e rise)..... 80
2.1 80
2.1 80
2.1 83
2.1 84
2.1 89
2.1 90
2.12 กา 90
2.1 90
2.12.2 ลักษณะทั่วไป..... 90
2.12.3 คำนิยามของอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์..... 91
2.12.4 กระบวนการวัด..... 92
2.13 การวัดระดับของเสียง..... 93
2.13.1 จุดประสงค์ของการวัด..... 93
2.13.2 ลักษณะทั่วไป..... 93
2.13.3 การวัดและวงจรในการวัดเสียง..... 94
2.13.4 ข้อปฏิบัติในการวัด..... 97
2.13.5 ค่าที่ยอมรับได้ของการทดสอบ..... 100

2.14 การทดสอบการเปลี่ยนแท็ปขณะมีภาระทางไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่นๆ..... 101
2.14.1 วัตถุประสงค์..... 101
2.14.2 กระบวนการทดสอบ..... 101
2.14.3 การทดสอบอุปกรณ์อื่นๆ..... 102
2.15 การวัดค่าฮาร์โมนิกของกระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า..... 102
2.15.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ..... 102
2.15.2 หลักการทั่วไป..... 102
2.15.3 วงจรการวัด..... 102
2.15.4 กระบวนการวัด..... 102
2.15.5 ค่าที่ได้จากการวัด..... 104
2.16 กา 105
2.1 105
2.1 105
2.1 105
2.17 กา
ใน 106
2.1 106
2.1 106
2.1 107
บทที่ 3 หม้อแ 111
3.1 หม้
(ป 111
3.1 111
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ..... 112
3.1.2.1 เครื่องมือที่ทำหน้าที่ทางวงจรไฟฟ้า..... 112
3.1.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และบันทึกค่าต่างๆ จากการทดสอบ..... 114
3.1.2.3 เครื่องมือที่ช่วยในการวัดค่าต่างๆ..... 121
3.2 หม้อแปลงทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..... 124
3.2.1 หม้อแปลงทดสอบ..... 124
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ..... 124
3.1.2.1 เครื่องมือที่ทำหน้าที่ทางวงจรไฟฟ้า..... 124

3.1.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และบันทึกค่าต่างๆ จากการทดสอบ 124
3.1.2.3 เครื่องมือที่ช่วยในการวัดค่าต่างๆ..... 127
บทที่ 4 ตัวอย่างการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า..... 129
4.1 ตัวอย่างการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่บริษัทเอบีบี (ประเทศไทย) จำกัด.... 129
4.1.1 การหาอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์..... 129
4.1.2 การวัดค่าความต้านทานของขดลวด..... 131
4.1.3 การวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า และค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า..... 136
4.1.4 การวัดค่าฮาร์โมนิกของกระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้..... 139
4.1 ...ะค่า 141
4.1 145
4.1 147
4.1 ...)..... 148
4.1 163
4.1 ...ประจุ 165
4.2 ดัว... ...าบัน เท... 167
4.2. 167
4.2. ...)..... 170
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 187
5.1 สรุปผลการดำเนินงานโครงงาน..... 187
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 188
เอกสารอ้างอิง 189
ภาคผนวก 190

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า 4
2.2 วงจรการวัดวิธีใช้โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ 11
2.3 วงจรการวัดวิธีเคลวิน (ธอมป์สัน) บริดจ์ 11
2.4 ลักษณะการตั้งสัญลักษณ์ตามลักษณะการต่อของขดลวด 13
2.5 วงจรการวัดอัตราส่วนแรงดันวิธีใช้โวลต์มิเตอร์สองตัว 14
2.6 วงจรการทดสอบขั้วของหม้อแปลงหนึ่งเฟสวิธีอนุกรมขดลวดแรงดัน 15
2.7 วงจรการทดสอบขั้วของหม้อแปลงหนึ่งเฟสวิธีขนานขดลวดแรงดัน 15
2.8 วงจรการทดสอบขั้วของหม้อแปลงสามเฟสวิธีใช้โวลต์มิเตอร์ 15
2.9 วงจรการ 15
2.10 ลักษณะท่ 16
2.11 การต่อวง 16
2.12 การต่อวง 16
2.13 การเปรีย 17
2.14 การกระจ
และความ 18
2.15 การจับคู่ว
จุดนิวตรอ 19
2.16 การจับคู่ว
จุดนิวตรอ 19
2.17 การจับคู่ว
แบบเดลต้ 20
2.18 การจับคู่วัดอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงเรียงกระแส 20
2.19 การจับคู่วัดอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงเรียงกระแสที่มีการต่อแบบสตาร์ 21
2.20 การเปรียบเทียบแรงดันด้วยเฟสไดอะแกรมเพื่อตรวจสอบขั้วของหม้อแปลง 22
2.21 วงจรสมมูลของหม้อแปลงในขณะทำการลัดวงจร 24
2.22 เฟสเซอร์ไดอะแกรมในขณะทำการลัดวงจร 24
2.23 วงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส 29
2.24 วงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสวิธีใช้โวลต์มิเตอร์สองตัว 29
2.25 วงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสวิธีใช้โวลต์มิเตอร์สามตัว 29
2.26 ขั้นตอนการคำนวณค่าภาระทางไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัด 32
2.27 วงจรสมมูลของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า 33

2.28 เวกเดอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า..... 33
2.29 ฮิสเดอริซีสลูป..... 34
2.30 แสดงแรงดันที่ผิดเพี้ยนเนื่องจากอิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่าย..... 36
2.31 กราฟแสดงพฤติกรรมการเป็นแม่เหล็กของแกนเหล็ก..... 39
2.32 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่จ่าย กระแสขณะหม้อแปลงไม่มี
ภาระทางไฟฟ้าและความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก..... 39
2.33 วงจรการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าของ
หม้อแปลงหนึ่งเฟสโดยจ่ายแรงดันไลน์ทูนิวทรัล..... 40
2.34 วงจรสมมูลแสดงพฤติกรรมของกระแสเชิงความจุ โดยการจ่ายแรงดัน
ไลน์ทูนิวทรัล..... 40
2.35 วงจรการ
หม้อแปล 41
2.36 วงจรสมมู
ไลน์ทูไลน 42
2.37 ตารางแส
ภาระทาง 42
2.38 วงจรการ
สำหรับกล 43
2.39 วงจรการ
สำหรับกล 43
2.40 วงจรการ
สำหรับกล 44
2.41 วงจรการ
สำหรับกลุ่มของเวกเดอร์ Yy และ YNy..... 44
2.42 วงจรการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับ
จากแหล่งจ่ายภายนอกสำหรับหม้อแปลงสามเฟส..... 48
2.43 วงจรพื้นฐานของการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันเหนี่ยวนำ..... 51
2.44 กราฟแสดงเวลาและแรงดันของการทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับระยะสั้น..... 52
2.45 กราฟแสดงเวลาและแรงดันของการทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับระยะยาว..... 53
2.46 กราฟแสดงเวลาในการทดสอบของหม้อแปลงที่ใช้มาตราฐาน IEEE
สำหรับหม้อแปลงประเภท 2..... 53
2.47 วงจรสมมูลของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของระบบฉนวนของหม้อแปลง..... 54
2.48 วงจรสมมูลของการวัดค่าการดิสชาร์บางส่วน..... 56

2.49 วงจรที่ใช้ทดสอบเมื่อไม่มีบุชชิ่ง 56
2.50 ระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้า 57
2.51 วงจรที่ใช้ทดสอบและปรับเทียบการดิสชาร์จบางส่วนสำหรับบุชชิ่งที่มี
คาปาซิทีฟแทป 58
2.52 วงจรที่ใช้ทดสอบและปรับเทียบการดิสชาร์จบางส่วน สำหรับบุชชิ่งที่ไม่มี
คาปาซิทีฟแทป 58
2.53 ผลกระทบของตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวต่อความไวในการวัด 61
2.54 การตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้วิธี PRPDA 65
2.55 การตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนโดยระบบวัดแบบดั้งเดิม 67
2.56 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเต็ม 69
2.57 ลักษณะข 69
2.58 ลักษณะรู 69
2.59 วงจรของ 70
2.60 ลักษณะท 70
2.61 ลักษณะท 71
2.62 วงจรการ 73
2.63 ลักษณะด่ 75
2.64 ลักษณะด่
สำหรับหม 75
2.65 ลักษณะด่ ...งเฟส
ในการทด 77
2.66 ลักษณะด่ ...มเฟส 78
2.67 ไดอะแกร 81
2.68 ลักษณะของอุณหภูมิต่างๆ ทีเกิดขึนภายในหม้อแปลง 82
2.69 วงจรการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของหม้อแปลง 84
2.70 วงจรการวัดค่าความด้านทานขณะทำการดัดวงจรจ่ายกำลังไฟ 85
2.71 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำมันในกรณีต่าง ๆ 86
2.72 การเปลี่ยนของอุณหภูมิขณะทำการทดสอบ 88
2.73 ลักษณะของกราฟที่ใช้ในการหาค่าความด้านทานของขดลวด
ขณะทำการดัดวงจร 88
2.74 วงจรพื้นฐานของอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์ 92
2.75 วงจรทั่วไปในการวัดค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์ (ในรูปเป็นการยกตัวอย่าง
การต่อแบบสตาร์-เดลต้า) 92

2.76 แกนเหล็กแบบต่างๆ 93
2.77 การทดสอบที่มีการต่อแบบต่างๆของหม้อแปลง ในการวัดค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์ 97
2.78 ตำแหน่งที่สำคัญของไมโครโฟนในการวัดระดับเสียงของหม้อแปลงที่ไม่ใช้ระบบระบายความร้อน 103
2.79 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในแกนเหล็กกับความหนาแน่นของฟลักซ์ 104
2.80 การเกิดฮาร์โมนิกในฟังก์ชั่นคของวามหนาแน่นของฟลักซ์ 104
2.81 รูปวงจรการวัดค่าฮาร์โมนิก 105
2.82 วงจรการวัดค่าความต้านทานของฉนวน 106
2.83 วงจรการวัดค่าประกอบกำลังและค่าความเก็บประจุของขดลวด 108
2.84 แสดงลักษ ชสเซอร์.. 109
2.85 ลักษณะก 109
2.86 วงจรการ 109
3.1 หม้อแปล 111
3.2 ป้ายบอก 111
3.3 ชุดควบคุ 112
3.4 ชุดควบคุ 113
3.5 หม้อแปล 113
3.6 เครื่องวัด 114
3.7 เครื่องดร 114
3.8 เครื่องวัด 115
3.9 เครื่อง NC 115
3.10 เครื่องวัด 116
3.11 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 16 ชั้น 1600 kV 116
3.12 ชุดควบคุมและแสดงผลการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ 117
3.12 ชุดสร้างรูปคลื่นซอป 117
3.13 เครื่องวัดการเกิดดีสชาร์จบางส่วน 118
3.14 ตัวกรองสัญญาณในการวัดการเกิดดีสชาร์จบางส่วน 118
3.15 เครื่องวัดค่าความต้านทานของฉนวน 119
3.16 เครื่องวัดค่าประกอบกำลังของฉนวน (tanδ) 119
3.17 เครื่องวัดความระดับเสียงของหม้อแปลง 120
3.18 สายเทอร์โมคูเปิลที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ 120
3.19 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยรอบหม้อแปลง 121

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.20 หม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส 122
3.21 โวลต์เดจดิไวเดอร์สำหรับแรงดันอิมพัลส์ 122
3.22 โวลต์เดจดิไวเดอร์สำหรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 122
3.23 ตัวเก็บประจุขนาด 2000 pF 123
3.24 ตัวต้านทานชันต์ ใช้ในการอ่านค่ากระแสอิมพัลส์ 123
3.25 หม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ 124
3.26 หม้อแปลงปรับขึ้นแรงดัน 125
3.27 เครื่องตรวจสอบกลุ่มของเวคเตอร์ และวัดอัตราส่วนของหม้อแปลง 125
3.28 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 126
3.29 เครื่องมือที่ใช้ในการปรับระยะแก๊ปและอ่านค่าแรงดัน 126
3.30 ออสซิโลส 126
3.29 โวลต์เดจ 127
3.30 ตัวต้านท 127
3.31 ดิไวเดอร์ 128
4.1 วงจรทดส 129
4.2 ขั้นตอนก 130
4.3 วงจรทดส 132
4.4 ขั้นตอนก 133
4.5 วงจรทดส
และค่ากร 137
4.6 ขั้นตอนก ไฟฟ้า
และค่ากร 138
4.7 วงจรทดส 139
4.8 ขั้นตอนการทดสอบ (เนื่องจากใช้วงจรการทดสอบเหมือนกับการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า เพราะฉะนั้น จึงมีเพียงสองขั้นตอน) 140
4.9 วงจรทดสอบหาค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า 141
4.10 ขั้นตอนการทดสอบการหาค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า 142
4.11 วงจรทดสอบหาค่าความคงทนฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก 145

4.12 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความคงทนฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจาก
แหล่งจ่ายภายนอก..... 146
4.13 วงจรทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันเหนี่ยวนำv..... 147
4.14 ขั้นตอนการทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันเหนี่ยวนำ..... 148
4.15 วงจรทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า..... 149
4.16 ขั้นตอนการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า..... 162
4.17 วงจรทดสอบหาค่าความด้านทานของฉนวน ในกรณีต่าง ๆ..... 163
4.18 ขั้นตอนการทดสอบการหาค่าความด้านทานของฉนวน ในกรณีต่าง ๆ..... 164
4.19 วงจรทดสอบหาค่าประกอบการกระจายตัว (tan δ) ของค่าความเก็บประจุ
ในระบบฉนวน..... 165
4.20 ขั้นตอนก ... าม
เก็บประจุ 166
4.21 วงจรทดส 167
4.22 ขั้นตอนก 168
4.23 วงจรทดส 170
4.24 ขั้นตอนก 171

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การจัดประเภทการทดสอบของการทดสอบความคงทนของฉนวนตามแรงดันสูงสุดที่อุปกรณ์ของหม้อแปลงสามารถทนได้ ตามมาตรฐาน IEC 7

2.2 การต่อวงจรของการทดสอบการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงที่มีสามขดลวดแรงดัน 31

2.3 ค่าแรงดันที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของฉนวนตามระดับแรงดัน U_m 47

2.4 แสดงการวัดค่าพาเชียลดิสชาร์จในการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันเหนี่ยวนำ 49

2.5 แสดงชนิดของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนในระบบฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า ... 66

2.6 การตั้งค่า 79

2.7 ตารางแส 87

4.1 ผลการทด 130

4.2 ผลการทด 132

4.3 ผลการทด และค่ากร 137

4.4 ผลการทด 140

4.5 ผลการทด และค่าคว 143

4.6 ผลการทด จ่ายภายน 146

4.7 ผลการทด 147

4.8 ผลการทด 149

4.9 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่บันทึกได้ 150

4.10 ผลการทดสอบหาค่าความด้านทานของฉนวน 164

4.11 ผลการทดสอบค่าประกอบการกระจายตัว (tan δ) 166

4.12 ผลการทดสอบอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์ 169

4.13 ผลการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า 170

4.14 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่บันทึกได้ 172

ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

หม้อแปลงไฟฟ้าจัดว่าเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่สำคัญชนิดหนึ่งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงระดับแรงดันเพื่อทำให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งหม้อแปลงไฟฟ้านั้นต้องสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง และต้องมีความถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะหน้าที่การทำงานที่หม้อแปลงจะถูกนำไปใช้งาน

ดังนั้นก่อนที่จะมีการนำหม้อแปลงไปใช้งานในสถานที่จริง จึงต้องมีการทำการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อแปลง รวมถึงการวัดและบันทึกค่าต่างๆ เพื่อใช้เป็นการอ้างอิงสภาพการทำงา วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ใน

1.2 วัตถุประส

เอียด และเทคนิคต่างๆ ของการ ง รวมทั้งสามารถแก้ปัญหาที่เกิด าดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างถู

1.3 ขอบเขตข

เมมาตรฐาน

IEC60060-1	General definitions and test requirements
IEC60060-2	Measuring systems
IEC60060-3	Definitions and requirements for on-site test
IEC60076-1	General
IEC60076-2	Temperature rise
IEC60076-3	Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
IEC60076-4	Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors
IEC60076-5	Ability to withstand short circuit

IEC60076-10 Determination of sound levels

IEC60076-10-1 Determination of sound levels – Application guide

IEC60354 Loading guide for oil immerse power transformers

IEEE Std C57.12.90-1999

IEEE Std C57.12.00-2000

IEEE Std C57.98-1993

2. ทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐานข้างต้น
3. ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยอ้างอิงตามมาตรฐานข้างต้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

หัวข้อการ				**.ย.**	**ต.ค.**
1. ศึกษาค้นคว้ หม้อแปลงไ 2. ศึกษาค้นคว้ ทดสอบหม้อ 3. ทำการศึกษ และเรียนรู้ก เครื่องมือทด ทดสอบจริง 4. ทำการออ ทดสอบสำห ที่จะทำการท 5. เตรียมตัวสอบปลายภาค เรียนที่ 1					

ระยะเวลาที่วางแผนไว้

ระยะเวลาที่ทำงานจริง

หัวข้อการทำงาน	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
6. ทบทวนมาตรฐานอีกครั้ง รวมถึงออกแบบกระบวนการทดสอบที่จะต้องไปทดสอบที่บริษัทเอบีบี (ประเทศไทยจำกัด)					
7. ทดสอบหม้อแปลงและเก็บผลการ บริษัทเอบีบี ไทยจำกัด)					
8. ออกแบบรา ทดสอบที่ได้					
9. ออกแบบก ทดสสอบและ แปลงที่ห้อ ไฟฟ้าแรงสูง					
10. เตรียมตัวสอ เรียนที่ 2					

1.5 ประโยชน์ที่

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า และการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างละเอียด ทำให้สามารถทำการทดสอบได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งทราบปัญหาและสามารถแก้ปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในขณะทำการทดสอบได้อย่างถูกต้อง

2. สามารถนำการวิจัยนี้ไปเป็นคู่มือสำหรับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า และเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับผู้ที่สนใจศึกษาในหัวข้อวิจัยนี้

3. สามารถนำหลักการการทดสอบหม้อแปลงในหัวข้อต่างๆ มาทำการพัฒนาเพื่อสร้างอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและทดสอบหม้อแปลงได้ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแรงดันระดับหนึ่งไปยังแรงดันอีกระดับหนึ่ง อาจสูงขึ้นหรือต่ำลง หรือเท่าเดิมก็ได้ เช่น หม้อแปลงขดลวดแยก หลักการทำงานของหม้อแปลงจะอาศัยการเหนี่ยวนำของขดลวด ที่อยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ดลอดเวลา ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลง ประกอบด้วย แกนเหล็กซึ่งเป็นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก และมีขดลวดสองชุด ชุดหนึ่งเป็นด้านป้อนแรงดันเข้า อีกชุดหนึ่งเป็นด้านจ่ายแรงดันออก พันอยู่บนแกนเหล็ก ดังรูป นอกจากแกนเหล็กและขดลวดแล้ว ก็มีฉนวนซึ่งถือเป็น

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำบนขดลวดเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์

$$e(t) = -N\frac{d(\varphi)}{dt} \qquad (2.1)$$

เมื่อป้อนแรงดันกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดทางด้านกำลังไฟฟ้าเข้าจะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วย

$$\varphi(t) = \varphi_{\max} \sin \omega t \quad (2.2)$$

ฉะนั้นแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดอีกชุดหนึ่งด้านจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเปลี่ยนไปตามเวลา คือ

$$e(t) = -N\omega\varphi_{\max} \cos \omega t \quad (2.3)$$

จะเห็นได้ว่าแรงดันเหนี่ยวนำ $e(t)$ จะนำหน้าเส้นฟลักซ์แม่เหล็ก $\varphi(t)$ เป็นมุมทางไฟฟ้า 90° $(=\pi/2)$ แรงดันเหนี่ยวนำค่า r.m.s. คือ

$$E = \frac{2}{\sqrt{2}} \pi f N \varphi_{\max} \quad (2.4)$$

$$E = 4.44 f N \varphi_{\max}$$

[illegible] งหม้อแปลง คือ

(2.5)

2.2 ทฤษฎีการ [illegible] การผลิตหม้อแปลง อีกขั้น [illegible] รถนำมาใช้งานได้หรือไม่ มีประสิ [illegible] ข้อตกลงที่ทำไว้กับลูกค้าหรือไม่นั้น [illegible] ัน

[illegible] 3 ประเภท คือ การทดสอบที่ด้ [illegible] งประการของหม้อแปลง (Type te [illegible] จากหัวข้อที่อยู่ใน 2 ประเภทข้าง [illegible] ข้อต่างๆ ในการทดสอบที่แตกต่ [illegible]

2.2.1 การทดสอบที่ต้องทำเป็นประจำ (Routine test) การทดสอบประเภทนี้หมายถึง การทดสอบที่จำเป็นต้องทำการทดสอบกับหม้อแปลงทุกลูกที่ถูกผลิตขึ้นมา การทดสอบประเภทนี้ประกอบด้วย

1) การวัดค่าความต้านทานของขดลวด (Measurement of winding resistance)

2) การวัดค่าอัตราส่วนแรงดัน และการตรวจสอบกลุ่มของเวคเตอร์ หรือทิศทางของเฟส (Measurement of voltage ratio and check of phase displacement)

3) การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงขณะเกิดการลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า (Measurement of short-circuit impedance and load loss)

4) การวัดค่ากระแสและค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า (Measurement of no-load loss and current)

5) การทดสอบความคงทนของฉนวน (Dielectric routine test)

6) การทดสอบการเปลี่ยนแทปขณะมีภาระทางไฟฟ้า (Test on on-load tap changer)

2.2.2 การทดสอบเฉพาะลักษณะบางประการของหม้อแปลง (Type or design test) การทดสอบประเภทนี้ หมายถึง การทดสอบโดยการเลือกสุ่มหม้อแปลงที่ผลิตขึ้นมาจากการออกแบบที่เหมือนกัน มาทำการทดสอบเพียงบางลูกเท่านั้น โดยมีหัวข้อในการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของหม้อแปลง (Temperature-rise test)

2) การทดสอบความคงทนของฉนวน (Dielectric type test)

2.2.3 การทดสอบลักษณะพิเศษของหม้อแปลง (Special test) เป็นการทดสอบที่ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบก็ได้ โดยส่วนใหญ่การทดสอบประเภทนี้จะเป็นการเก็บค่าเพื่อใช้ในการอ้า ดสอบประเภทนี้จะทำการทดสอบ ัวข้อต่างๆ ในการทดสอบดังนี้

st)

ระหว่างขดลวดกับ

ขดลวด (Deterr inding)

zero-sequence

impedance)

tion of sound

levels)

(Measurement of

the harmonics

urement of the

power taken by the fan and oil pump motors)

7) การวัดค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างขดลวดกับกราวด์ หรือการวัดค่าตัวประกอบการสูญเสียเป็นความร้อนของความเก็บประจุในระบบฉนวน (Measurement of insulation resistance to earth of the winding and/or measurement dissipation factor (tanδ) of insulation system capacitances)

8) การวัดวิเคราะห์ค่าความตอบสนองของความถี่ (Measurement of frequency response analysis)

จากการจำแนกหัวข้อต่างๆ ในประเภทการทดสอบจะพบว่าในหัวข้อการทดสอบความคงทนของฉนวนจะถูกจำแนกลงในประเภทของการทดสอบทุกประเภท เนื่องจากในหัวข้อการทดสอบความคงทนของฉนวนนั้น จะสามารถจำแนกการทดสอบออกได้อีกหลาย

ชนิด เช่น การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า เป็นต้น ซึ่งในการที่จะแบ่งการทดสอบในหัวข้อการทดสอบความคงทนของฉนวนลงในประเภทการทดสอบใดนั้น ขึ้นอยู่กับพิกัดของหม้อแปลงที่จะทำการทดสอบ และค่าแรงดันสูงสุดจากภายนอกที่ขดลวดหม้อแปลงสามารถทนได้ (U_m) โดยค่านี้เป็นค่าที่ได้มาจากการออกแบบ โดยการทดสอบในหัวข้อการทดสอบความคงทนของฉนวนมีดังนี้

1) การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง (Lightning impulse and switching impulse test)

2) การทดสอบความคงทนของฉนวน ต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก (Separate source AC withstand voltage test or applied voltage test)

3) การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced voltage test)

ในการทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในหัวข้อทั่วๆ ไปนั้น มาตรฐานไม่ได้มีการกำหนดลำดั เรคงทนของฉนวนไว้ดังนี้

ยภายนอก

ซึ่งรายละเอียดข ภายหลัง

ตารางที่ 2.1 ก นดามแรงดันสู C

ลักษณะการฉน ของขดลวด	U_m (kV)				SD เทียบกราวด์	SD ทดสอบสามเฟสเทียบเฟส	AC ทดสอบจากแหล่งจ่ายภายนอก
การฉนวนสม่ำเสมอ	≤ 72.5	T	NA	NA	NA	R	R
	$72.5 < U_m < 170$	R	NA	S	NA	R	R
	$170 < U_m < 300$	R	R	R	NA	S	R
	≥ 300	R	R	R	NA	S	R
การฉนวนไม่สม่ำเสมอ	$72.5 < U_m < 170$	R	NA	S	R	R	R
	$170 < U_m < 300$	R	R	R	S	S	R
	≥ 300	R	R	R	S	S	R

กำหนด

LI คือ ทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

SI คือ ทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

ACLD คือ ทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับเหนี่ยวนำระยะเวลานาน

ACSD คือ ทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับเหนี่ยวนำระยะเวลาสั้น

AC คือ ทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก

R คือ การทดสอบที่ต้องทำเป็นประจำ

T คือ การทดสอบเฉพาะลักษณะบางประการ

S คือ การทดสอบในกรณีพิเศษ

NA คือ ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบ

2.3 การวัดค่าค

ณะที่หม้อแปลงมี

ภาระทางไฟฟ้า

ว่ามีการเชื่อมต่อที่

ผิดพลาดหรือไ

ภูมิปกติเพื่อจะใช้

อ้างอิงในเรื่องก

ฟกระแสตรงให้กับ

ขดลวด ซึ่งค่าที่

ที่ใช้แล้ว อุณหภูมิ ก็มีผลต่อค่าความด้านทานของขดลวดด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความด้านทานของขดลวดก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{C + \Theta_2}{C + \Theta_1} \qquad (2.6)$$

เมื่อ

R_1 คือ ค่าความด้านทานที่อุณหภูมิ

R_2 คือ ค่าความด้านทานที่อุณหภูมิ

Θ คือ อุณหภูมิ หน่วย °C

C คือ ค่าคงที่ของชนิดวัสดุที่ใช้ทำขดลวด

ตามมาตรฐาน IEC ได้กำหนด

C = 235 for copper

C = 225 for aluminium

และ IEEE กำหนดว่า

C = 234.5 for copper

2) คุณสมบัติของขดลวดในขณะทำการวัดค่า

ในขณะที่ทำการวัดค่าความต้านทานของขดลวด ตัวขดลวดไม่ได้มีคุณสมบัติเป็นเพียงตัวต้านทานเท่านั้น แต่ยังเป็นตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่อีกด้วย

ดังนั้นเมื่อทำการจ่ายแรงดันให้กับขดลวด เราจะสามารถสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้นได้จากสมการความสัมพันธ์

$$u = R \cdot i + C\frac{\partial \Phi}{} \qquad alt \qquad u = R \cdot i + L\frac{\partial i}{} \tag{2.7}$$

เมื่อ

นำจากกระแส

ดไม่คงที่ ค่าความ

เป็นตัวเหนี่ยวนำ ผลต่อการอ่านค่า

แรงดันด้วย ดัง มีความอิ่มตัวแล้ว

จึงจะได้ค่าแรงดัน ไป

2.3.3 ทฤษฎีและวิธีการวัด

1) วิธีใช้โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์

ทำโดยการจ่ายกระแสเข้าไปให้กับขดลวด แล้วใช้แอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ในการวัดค่ากระแสและแรงดันดังรูป 2.2 หลังจากนั้นจึงนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณโดยใช้กฎของโอห์ม ตามสมการ

$$R_x = \frac{U}{I} \tag{2.8}$$

โดยวิธีการนี้มีข้อดีคือง่ายต่อการทำการวัดค่า แต่เนื่องจากการที่ต้องอ่านค่าทั้งสองค่าในเวลาเดียวกัน จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่า

2) วิธีเคลวิน(ธอมป์สัน)บริดจ์

อาศัยหลักการของวงจรบริดจ์ของเคลวิน(ธอมป์สัน) คือ ทำการเปรียบเทียบแรงดันดกคร่อมตัวด้านทานเป็นคู่ๆ โดยการทำการปรับค่า R_v และ R_{dec} ดังรูป เพื่อให้วงจรบริดจ์เกิดความสมดุล โดยสามารถสังเกตได้จากการที่กัลวานอมิเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ และนำค่าความด้านทานทั้งหมดมาคำนวณดามสมการ 2.9

$$R_x = R_N \frac{R_{dec}}{R_V} \tag{2.9}$$

วิธีการนี้มีข้อดีคือ ให้ความละเอียดในการวัดค่าที่สูง แต่วงจรที่ใช้ในการวัดนั้นมีความซับซ้อน ผู้ใช้จึงต้องมีประสบการณ์ในการทดสอบสูงเช่นกัน

2.3.4 กระบวนการในการทดสอบ

ในการทดสอบจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะต้องอ่านค่า
หลังจากที่กระแ หนี่ยวนำในขณะที่
กระแสไม่คงที่ จ

ากระแสตรงให้กับ
ขดลวด โดยค่า C จะมีค่าไม่เกิน
10% ของกระแ 15% เพราะหาก
จ่ายกระแสมาก การเปลี่ยนแปลง
ได้ สำหรับค่าก ระมาณ 1.2 เท่า
ของค่ายอดของ อิ่มตัว

นทาน แล้วทำการ
ปรับค่า R_N และ แสดงผลเป็นศูนย์
แล้วนำมาคำนว

$$R_x = R_{dec} \frac{R_N}{R_V} \tag{2.10}$$

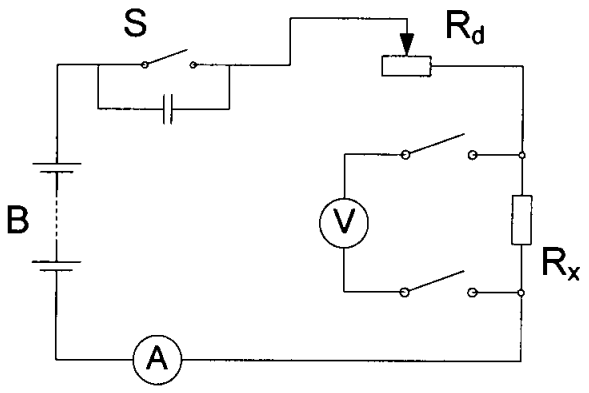
จากสมการจะพบว่าหากเราปรับค่า R_N/R_v ให้มีค่าเป็นสิบ เราจะสามารถอ่านค่าความด้านทานของขดลวดได้โดยตรงจากค่า R_{dec}

2.3.5 ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความต้านทานของขดลวด

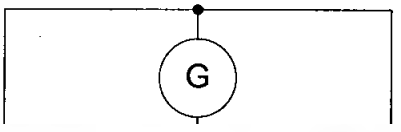
ดามมาตรฐาน IEEE ได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความด้านทานได้ไม่เกิน ±0.5% และความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าของอากาศได้ไม่เกิน ±1%

1) วิธีใช้โวลต์มิเดอร์และแอมป์มิเดอร์

ถ้าใช้เครื่องมือวัดที่เป็นอะนาล็อกให้มีความคลาดเคลื่อนได้ 0.5% และมีระดับความถูกต้องของเครื่องมือที่ 0.2 และมาตรฐานตัวด้านทานที่ 0.1 เพื่อใช้ในการวัดค่ากระแส



รูปที่ 2.2 วงจรการวัดวิธีใช้โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์



15% โดยมีระดับ

ความถูกต้องขอ

มคลาดเคลื่อนได้

±1 $^{\circ}C$ ซึ่งอาจ

ลื่อนในการวัดค่า

ความต้านทานข

2.4 การหาอัตราส่วนแรงดัน กลุ่มของเวคเตอร์ การระบุมุมเฟส

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1) เพื่อหาค่าอัตราส่วนแรงดัน ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ออกแบบมาไว้และนำไปใช้ในการระบุคุณสมบัติของหม้อแปลง

2) เพื่อหากลุ่มของเวคเตอร์ หรือการระบุมุมเฟส ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ออกแบบมาไว้ และนำไปใช้ในการระบุคุณสมบัติของหม้อแปลง

2.4.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ

1) การวัดอัตราส่วนแรงดัน

อัตราส่วนแรงดันสามารถหาได้ 2 วิธี คือ การวัดโดยตรงโดยใช้โวลต์มิเตอร์หรือการใช้หลักการของวงจรบริดจ์

สำหรับวิธีแรก คือ เมื่อเราจ่ายแรงดันสลับไปที่ปฐมภูมิ ซึ่งค่านั้นอยู่ระหว่าง 100–250 โวลต์ ที่ความถี่พิกัดของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ แล้วทำการวัดค่าแรงดันทางด้านขดลวดปฐมภูมิกับค่าแรงดันทางด้านขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งเมื่อได้ค่าแรงดันที่วัดได้ แล้วสามารถหาอัตราส่วนแรงดันโดยสมการ

$$r = \frac{N_p}{N_s} = \frac{E_p}{E_s} \tag{2.11}$$

โดยที่

r คือ อัตราส่วนแรงดัน

E คือ แรงดันขณะเปิดวงจร

N คือ จำนวนรอบในการพัน

p คือ ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

ค่าผิดพลาดของ

(2.12)

(2.13)

(2.14)

โดยที่

ส่วนวิธีที่สอง คือ การที่เรานำหลักการของวงจรบริดจ์มาใช้วัด เราสามารถนำค่าอัตราส่วนแรงดันที่อ่านได้ไปใช้ได้โดยตรง ส่วนในการหาค่าผิดพลาด สามารถหาได้โดย

$$f = \frac{r_{act} - r_{decl}}{r_{decl}} \cdot 100 \tag{2.15}$$

เพื่อหลีกเลี่ยงค่าผิดพลาด จะต้องทำการทดสอบเมื่อหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานนั้นมีค่า ±0.1 %

2) ลักษณะของกลุ่มของเวคเตอร์ และการระบุมุมเฟสทั่วไป

ขดลวดของหม้อแปลงสามเฟสสามารถทำการต่อได้ 3 แบบ คือ สตาร์, เดลต้า และ ซิกแซก และการระบุมุมเฟสจะอยู่ในช่วง 0° ถึง 360° ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการต่อ

ในการเรียกลักษณะการต่อขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสจะมีรหัสที่เป็นมาตรฐานในการเรียกตามมุมเฟสของหม้อแปลง โดยใช้การอ้างอิงตามทิศของตัวเลขบนหน้าปัดนาฬิกา เช่น Dyn11, Ynd5, Yy6, Dd0 เป็นต้น

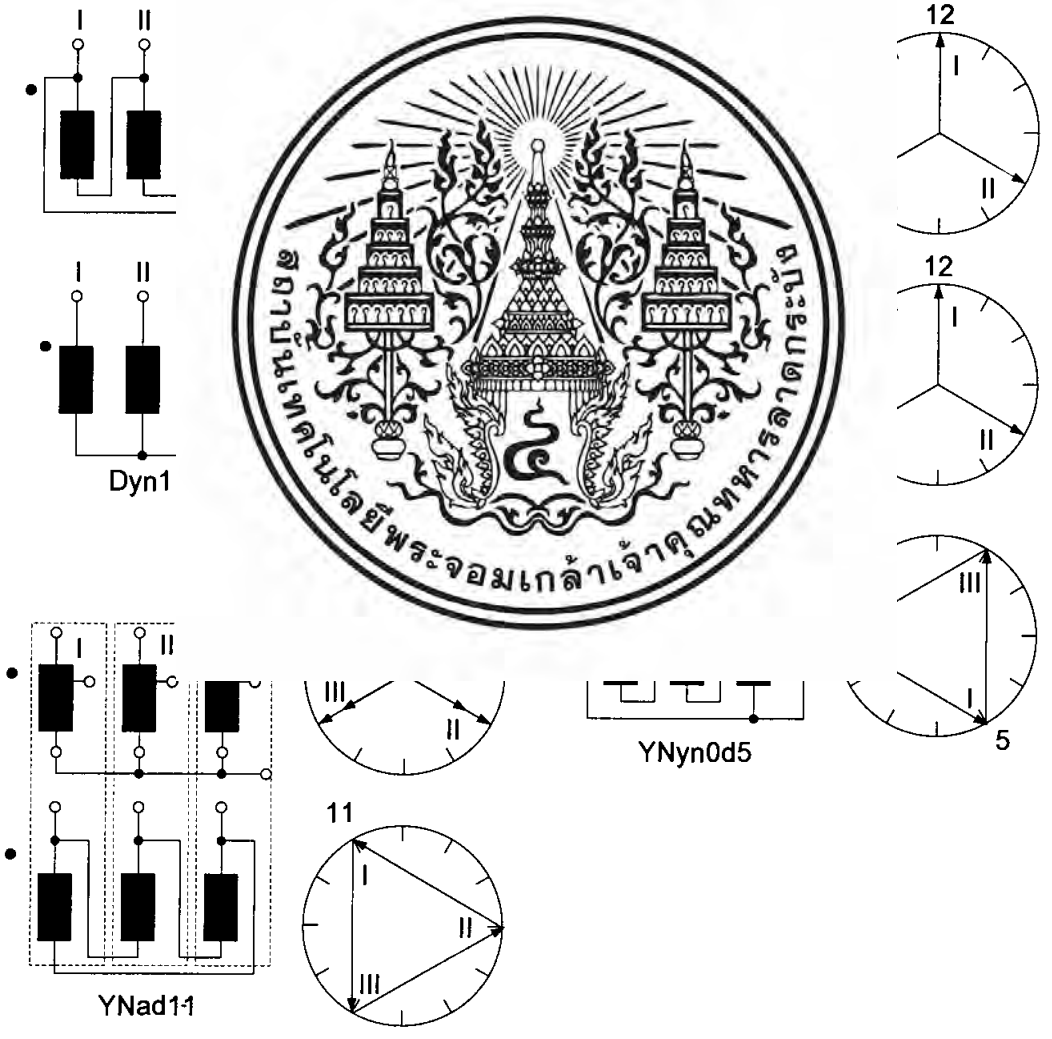
สัญลักษณ์ต่างๆ ของการต่อขดลวดแรงดัน

D, d คือ การต่อขดลวดแบบเดลต้า

Y, y คือ การต่อขดลวดแบบสตาร์

N, n คือ นิวตรอน

โดยที่อักษรตัวใหญ่แทนขดลวดด้านแรงดันสูง และอักษรตัวเล็กแทนขดลวดด้าน แรงดันต่ำและในสัญลักษณ์อักษรตัวแรกจะแทนแรงดันทางด้านแรงดันสูงเสมอ ในส่วนของตัวเลข คือ ทิศทางตามเข็มนาฬิกาที่เวคเตอร์ของเฟสแรกของขดลวดทางด้านแรงดันต่ำชี้ไป ส่วนทิศทางของทางด้านแรงดันสูงจะอยู่ที่ 12 นาฬิกาเสมอ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการตั้งสัญลักษณ์ตามลักษณะการต่อของขดลวด

2.4.3 วงจรทดสอบ

1) การวัดอัตราส่วนแรงดันโดยโวลต์มิเตอร์ 2 เครื่อง

วงจรที่ใช้ในการหาอัตราส่วนแรงดัน ดังรูปที่ 2.5 จะสามารถใช้กับกลุ่มของเวคเตอร์ทุกกลุ่มการป้อนแรงดันควรจะป้อนทางด้านแรงดันสูง เพื่อจะได้หลีกเลี่ยงอันตราย โวลต์มิเตอร์ทางด้านแรงดันต่ำควรจะมีค่าความด้านทานสูง เพื่อลดความผิดพลาดในการวัด

2) การตรวจสอบขั้วของหม้อแปลงโดยใช้โวลต์มิเตอร์

สำหรับหม้อแปลง 1 เฟส จะมีทั้งขั้วเหมือนกันและขั้วต่างกัน ซึ่งในการวัดเราจะทำการลัดวงจรทางด้านคู่ใดคู่หนึ่งของขดลวดทั้งทางด้านแรงดันสูงและแรงดันต่ำ ส่วนคู่ที่เหลือก็ทำการวัดโดยใช้โวลต์มิเตอร์ ทำให้สามารถหาอัตราส่วนแรงดันได้ทั้งในแบบที่ขั้วเหมือนกันและต่างกัน ซึ่งหากขั้วเหมือนกัน จะหาได้ตามสมการ 2.16 รูปที่ 2.6 และถ้าหากขั้วต่างกันจะหาได้ตามสมการ 2.17 รูปที่ 2.7

(2.16)

(2.17)

กลุ่มของเวคเตอร์

ซึ่งการต่อวงจร เดันสูงเข้าด้วยกัน

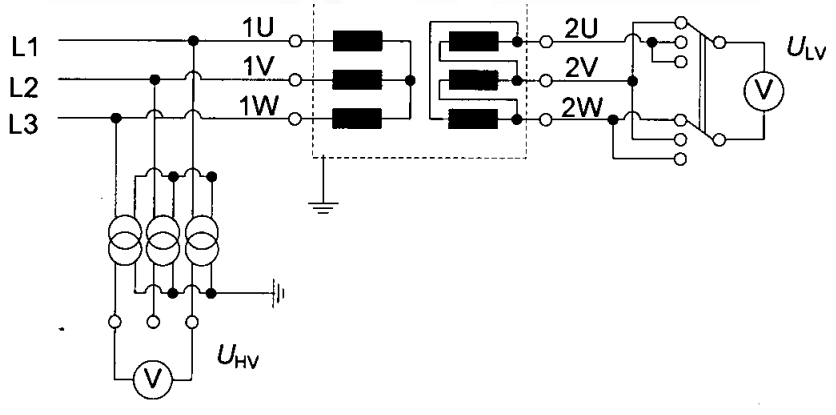
ดังรูปที่ 2.8 เมื่ จะสามารถนำไป

คิดหากลุ่มของเ

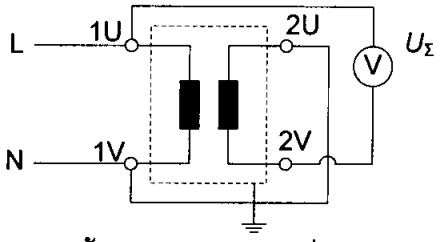
วิธีนี้ใช้ได้ทั้งหม ระแสตรงทางด้าน

แรงดันสูง ดังรูป ลต์มิเตอร์ที่ถูกต่อ

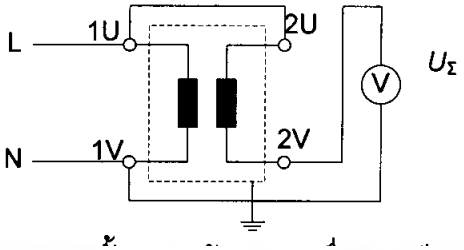
อยู่ทางด้านแรงด



รูปที่ 2.5 วงจรการวัดอัตราส่วนแรงดันวิธีใช้โวลต์มิเตอร์สองตัว



รูปที่ 2.6 วงจรการทดสอบขั้วของหม้อแปลงหนึ่งเฟสวิธีอนุกรมขดลวดแรงดัน



รูปที่ ดแรงดัน

รูป เดอร์

จ์

นข้าม โดยจะมีค่า

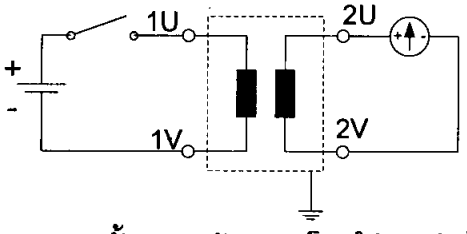
ความด้านทานข ดังรูปที่ 2.9 และ

2.10 ซึ่งส่วนให เดอร์แบบพิเศษก็

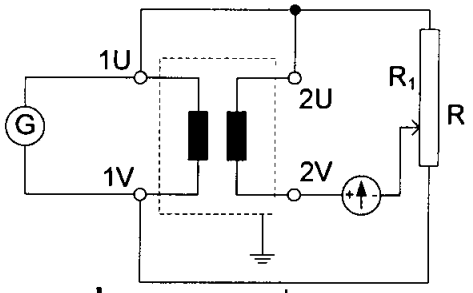
จะใช้แหล่งจ่าย ะกับหม้อแปลงที่

ต้องการจะทดสอบ อาจจะใช้วงจรบริดจ์ในการทดสอบแทนได้

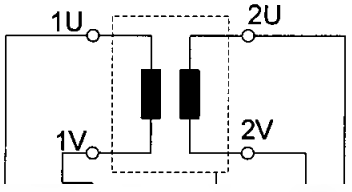
การวัดโดยใช้วงจรบริดจ์จะต้องถูกต่อวงจรให้สัมพันธ์กับกลุ่มของเวคเดอร์ด้วย ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12



รูปที่ 2.9 วงจรการทดสอบขั้วของหม้อแปลงโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.10 ลักษณะทั่วไปของวงจรบริดจ์



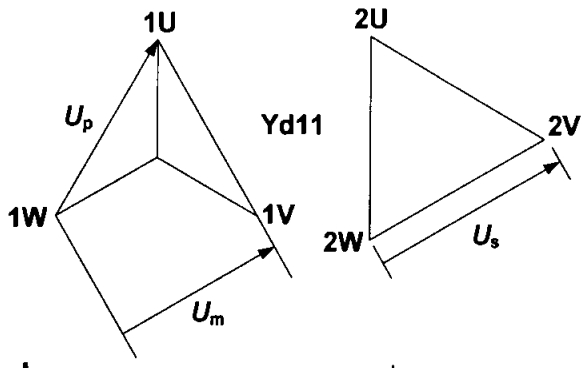
5) การวัดอัตราส่วนแรงดันสำหรับหม้อแปลงสามเฟส

โดยปกติอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงสามเฟสสามารถวัดได้โดยใช้แหล่งจ่ายหนึ่งเฟส ถ้าหากยังมีการคำนึงถึงการแพร่กระจายของฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเหล็กโดยเฉพาะขดลวด ซึ่งการรวมตัวของขดลวดที่มีการแพร่กระจายคล้ายๆกัน การวัดวงจรจะได้จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกลุ่มเวคเตอร์ของหม้อแปลงที่ถูกทดสอบ ซึ่งการเปรียบเทียบดูดังรูปที่ 2.13

ตัวอย่างจากรูปที่ 2.13 ใช้วงจรบริดจ์ในการวัดเพื่อแสดงให้เห็นค่าอัตราส่วนที่ได้

$$r_{mdecl} = k \cdot r_{decl} \qquad (2.18)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 การเปรียบเทียบแรงดันที่ได้วิธีใช้วงจรบริดจ์

โดยที่

r_{mdecl} คือ ค่าอัตราส่วนสำหรับวงจรที่ทำการวัด

$$r_{decl} = \frac{U_{pN}}{} \quad (2.19)$$

โดยที่

การเปรียบเทีย

(2.20)

โดยที่

ในกรณีนี้ ค่า k

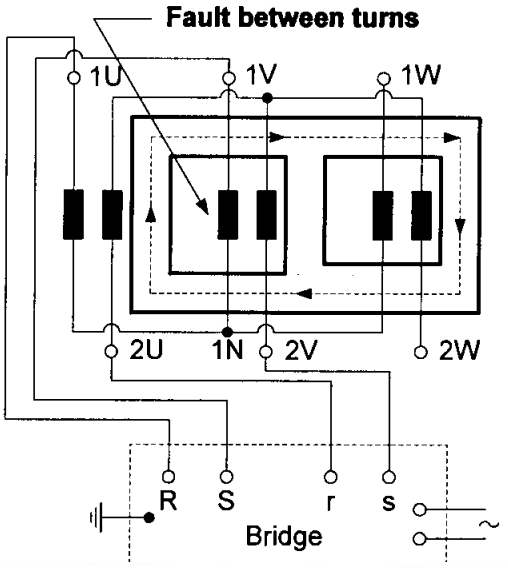
(2.21)

สำหรับกลุ่มของ
การวัดอัตราส่ว

$$\frac{1U-1V}{2U-2V}, \frac{1V-1W}{2V-2W}, \frac{1W-1U}{2W-2U} \quad (2.22)$$

การวัดแบบนี้โดยดรงควรจะหลีกเลี่ยง เนื่องจากจะไม่สามารถทราบได้ว่ามีการลัดวงจรระหว่างขดลวดได้ ดังรูปที่ 2.14 ถ้ามีการลัดวงจรที่เฟสใดเฟสหนึ่ง ฟลักซ์แม่เหล็กจะไม่รั่วไหลออกไปจะไหลอยู่ในแกนเหล็กและต่อมาฟลักซ์แม่เหล็กก็จะสมดุล
สำหรับกลุ่มของเวคเตอร์นี้ สามารถวัดได้ ดังสมการที่ 2.23

82949



รูปที่ 2.14 กา· ...ɔบ Yy และความ
เสีย

(2.23)

...งจรบริดจ์จะทำให้
เกิดการสมดุลข... ...ยต่อแอมป์มิเตอร์
อนุกรมกับวงจร

...ป์ที่ 2.15
การวัดอัตราส่วน

(2.24)

การวัด

$$2U-2V \quad ' N-2U \tag{2.25}$$

2. วงจรแบบสตาร์โดยที่ไม่มีนิวทรัลที่อยู่ภายนอกหม้อแปลง ดังรูปที่ 2.16
การวัดอัตราส่วนแรงดันที่ถูกต้อง

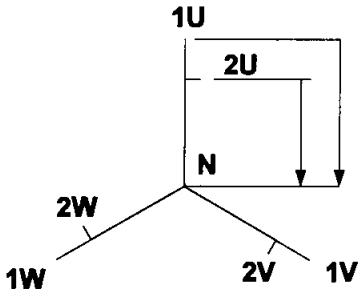
$$\frac{1U-1V1W}{2U-1V1W}, \frac{1V-1U1W}{2V-1U1W}, \frac{1W-1U1V}{2W-1U1V} \tag{2.26}$$

โดยที่

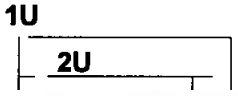
$1V1W, 1W1U, 1U1V$ - ต่อวงจรทางไฟฟ้าอยู่

สำหรับการวัดวงจรนี้ จะต้องปรับค่าอัตราส่วนของวงจรบริดจ์ดังนี้

$$r_{mdecl} = \frac{3 \cdot r_{decl}}{r_{decl}+2} \tag{2.27}$$



รูปที่ 2.15 การจับคู่วัดอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงอัตโนมัติสามเฟส
ที่มีจุดนิวตรอนอยู่ภายนอก



รูปเ มเฟส

การวัดอัตราส่ว

(2.28)

แรงดัน $2U-1U$ ันต่อจำนวนรอบ
หากมีป้ายข้อมูล

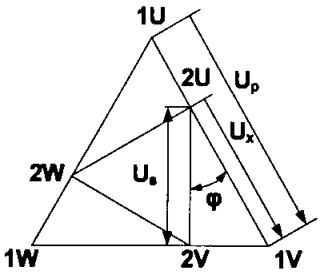
$$U_{x1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} \quad (2.29)$$

$$p = |U_s| - |U_p| \quad (2.30)$$

$$p = |U_p|^2 - 2 \cdot |U_p| \cdot |U_s| \quad (2.31)$$

โดยที่

U_p คือ แรงดันทางด้านปฐมภูมิ
U_s คือ แรงดันทางด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 2.17 การจับคู่วัดอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงอัตโนมัติสามเฟสที่มีการต่อแบบเดลต้า

ส่วนที่ใหญ่ที่สุดของขดลวดคิดเป็น "ส่วน x" ในการคำนวณ ตัวอย่างเช่น ถ้า $\varphi > 60^\circ$ ส่วนระหว่าง $1U-2U$ จะพิจารณาเป็นค่า U_x และค่า U_x ที่อยู่นอกเหนือหลักเกณฑ์จะพิจารณาจากผลที่เป็นค่าบวก
อัตราส่วนแรงดันที่วัดได้คือ

(2.32)

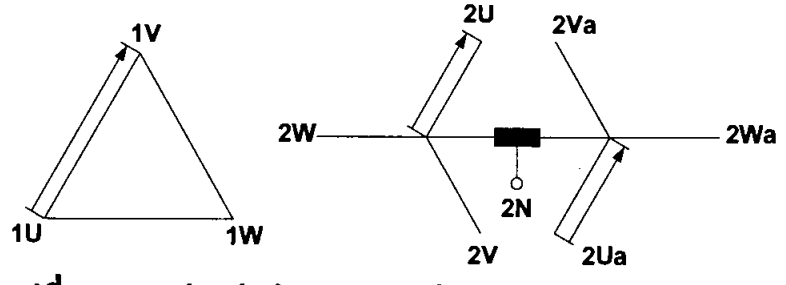
อร์แบบพิเศษ
แบบเดลต้าและ 2
สดาร์ จุดนิวทรัล
าการเปรียบเทียบ
กลุ่มของเวคเตอ
งบเฟสถึงเฟสจะ
เปรียบเทียบได้ก
การวัดอัตราส่วน

(2.33)

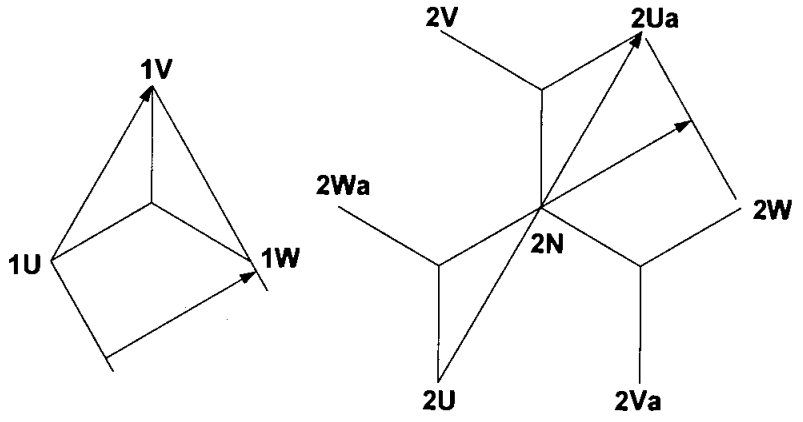
การต่อวงจรของ

(2.34)

ลงที่มีการควบคุมการเลื่อนของเฟส ไม่สามารถที่จะใช้วงจรบริดจ์ในการวัดอัตราส่วนแรงดันได้ ซึ่งการวัดจะทำได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์สองตัว แต่ความถูกต้องจะลดลง ถ้าเป็นการต่อระหว่างขดลวดร่วมกัน การเลื่อนของเฟสของขดลวดจะเรียงตัวตามแนวของขดลวดทำให้สามารถวัดค่าได้โดยใช้วงจรบริดจ์ ลำดับเฟสระหว่างแรงดันสูงและต่ำจะต้องทำการทดสอบก่อนด้วย



รูปที่ 2.18 การจับคู่วัดอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงเรียงกระแส



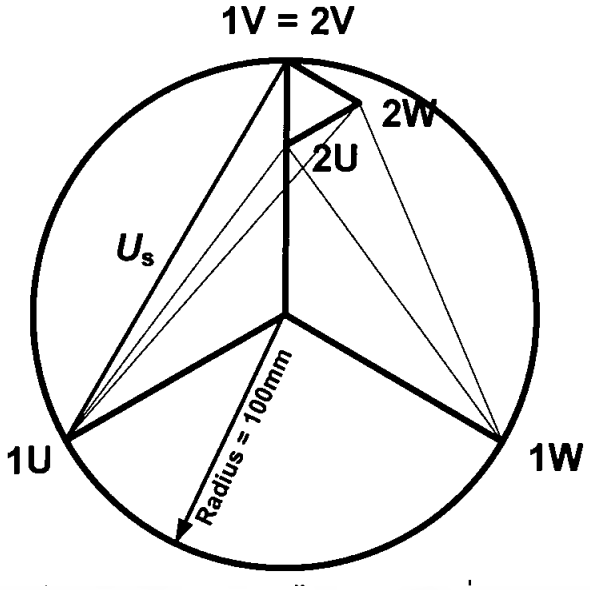
รูปที่ 2.19 การจับคู่วัดอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงเรียงกระแสที่มีการต่อแบบสตาร์

2.4.4 กระบวนการวัดอัตราส่วนแรงดัน

นแรงดันต่ำโดยไม่
มีการใช้หม้อแ เจะใช้ที่ค่าแรงดัน
ประมาณ 10% น 1% เครื่องวัดที่
เป็นดิจิตอลที่มี

ร์ไดอะแกรม จาก
ขั้วและกลุ่มของ หมือนกับที่จุด 1V
ซึ่งจุดทั้งสองจุด และ 2W สามารถ
วัดได้จากแรงดั ราส่วนแรงดันสูง
เฟสเซอร์ไดอะ ำ ด้านแรงดันต่ำ
จะต้องใช้หม้อแ

สำหรับวงจรการทดสอบ ดังรูปที่ 2.9 เครื่องมือวัดจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพแล้ว โดยทำการต่อทางด้านแรงดันสูงโดยต่อขนานกับหม้อแปลงที่ถูกทดสอบ ดังรูปที่ 2.9 และต่อตัวต้านทานอนุกรมกับวงจร เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องวัด ถ้ามีขั้วที่ต้องการทดสอบถูกต้อง โวลต์มิเตอร์จะวัดไปทางด้านบวก เมื่อเปิดสวิตช์ไฟกระแสตรง



รูปที่ 2.20 กา ้วของหม้อแปลง
สา

ริดจ์
รของหม้อแปลงที่
ต้องการทดสอบ ลวดต่อลงกราวน์
เพื่อป้องกันการ

ดลวด
ายต่อการใช้งาน
ค่าความคลาดเ

รับได้ คือ ±0.5%

2.5 การวัดค่า ามสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางเพพา

2.5.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อทำการวัดค่าแรงดันกับค่าอิมพีแดนซ์ในขณะที่หม้อแปลงมีการลัดวงจร และค่าความสูญเสียในขณะที่หม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งทั้งสองค่านี้จะเป็นค่าที่ผู้ผลิตใช้ในการรับรองกับผู้ใช้ โดยค่าความสูญเสียของหม้อแปลงนอกจากจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองขณะใช้งานแล้ว ค่าความสูญเสียที่สูงจะส่งผลให้ขาดความปลอดภัยในขณะที่หม้อแปลงทำงานด้วย โดยเฉพาะในหม้อแปลงขนาดใหญ่

เมื่อเรานำค่าที่ได้จากการค่าความสูญเสียที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจะทำให้เราสามารถทราบค่าความสูญเสียจากกระแสไหลวนอันเกิดเนื่องจาก ฟลักซ์รั่วไหลกับส่วนต่างๆ ของตัวถัง นอกจากนี้ค่าเราจำเป็นต้องใช้ค่าแรงดันขณะ

ลัดวงจรกับค่าความสูญเสียขณะมีภาระทางไฟฟ้าในการทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของหม้อแปลงด้วย สำหรับหม้อแปลงที่มีแทปต้องทำการวัดแรงดันลัดวงจรที่แทปสูงสุดและต่ำสุด หรืออาจทำที่แทปพิกัดด้วยก็ได้ ซึ่งค่าแรงดันที่วัดไว้นี้จะมีความสำคัญในการระบบขนานหม้อแปลง

2.5.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ

ในการวัดแรงดันลัดวงจร จะกระทำโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ด้านใดด้านหนึ่งของขดลวด (ด้านปฐมภูมิ หรือทุติยภูมิ) และทำการลัดวงจรอีกด้านหนึ่งที่เหลือ โดยแรงดันที่ป้อนเข้าจะทำการป้อนเข้าที่ขนาดกระแสพิกัด เมื่อกระแสพิกัดไหลผ่านขดลวดทั้งสองด้านของขดลวดจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นคือ ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้า

ในความเป็นจริงแล้วค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น จะมีส่วนประกอบของค่าความ
สูญเสียขณะไม่ ยกระแสพิกัดมีค่า
น้อยมากเมื่อเที ไม่นำมาคิด

ที่ 2.22 สามารถ
นำมาคำนวณด

(2.35)

(2.36)

เมื่อ

ε_{cc} คือ ความสมพนธของแรงดนลดวงจร ในหน่วย %

U_r คือ แรงดันพิกัดของหม้อแปลง

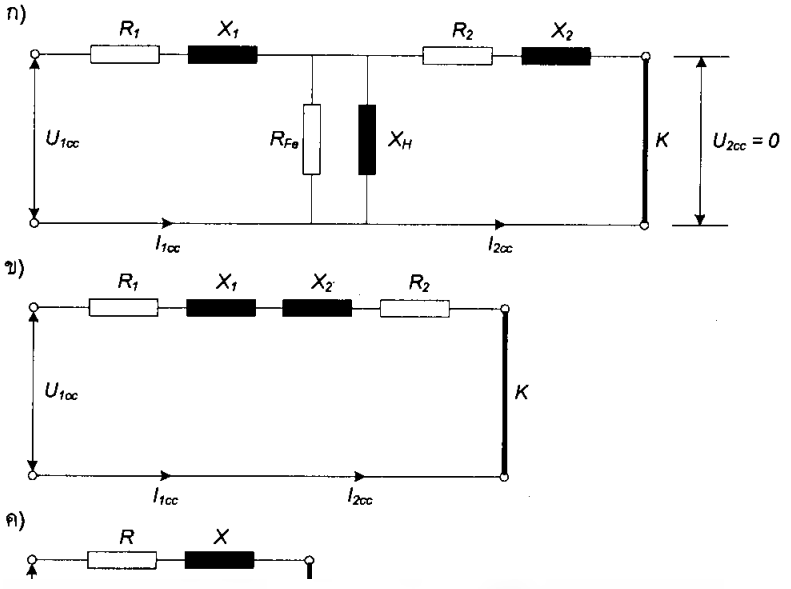
ค่าความสัมพันธ์ของแรงดันลัดวงจรจะอยู่ในรูปเปอร์เซนต์ของแรงดันพิกัดของขดลวดที่ได้รับพลังงาน และเป็นค่าที่สามารถนำไปหาค่ากระแสที่ไหลจริงในขณะเกิดการลัดวงจร ตามสมการ

$$I = \frac{100}{\varepsilon_{cc}} \cdot I_r \tag{2.37}$$

เมื่อ

I คือ กระแสลัดวงจร

I_r คือ กระแสพิกัด



ง) เนื่องจาก $R_{Fe}, X_H >> R_1, R_2, X_1, X_2$ ของสมการแสดงค่า R_{Fe}, X_H ได้

ค) วงจรสมมูลแสดงให้เห็นว่าการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า เป็นการวัดค่าความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด

2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลัดวงจร และกระแสในขณะที่ภาระทางไฟฟ้าค่าแรงดันลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นตามกระแสของภาระทางไฟฟ้า ตามสมการ

$$U_{cc} = U_{ccm} \cdot \frac{I_r}{I_m} \tag{2.38}$$

เมื่อ

U_{cc} คือ แรงดันลัดวงจรที่กระแสพิกัด I_r

U_{ccm} คือ แรงดันลัดวงจรที่กระแส I_m

I_m คือ กระแสโหลดระหว่างการทดสอบ

3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสัมพันธ์ของแรงดันลัดวงจรหรือแรงดันลัดวงจรกับอุณหภูมิของขดลวด ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิกัดน้อยกว่า 2 MVA

4) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลัดวงจรและความถี่ แรงดันลัดวงจรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความถี่เมื่อ U_r มีค่าน้อยกว่า U_x มากๆ ตามสมการ

$$U_{cc} = U_{ccm} \cdot \frac{f_r}{f_m} \tag{2.39}$$

เมื่อ

f_r คือ ความถี่พิกัด

f_m คือ ความถี่ระหว่างการทดสอบ

แรงดันไฟฟ้าลัดวงจรสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด ใช้สมการ

(2.40)

(2.41)

(2.42)

(2.43)

(2.44)

(2.45)]

เมื่อ

R คือ ค่าความต้านทานของการลัดวงจร

I_r คือ กระแสพิกัด

U_{cc} คือ แรงดันของการลัดวงจร

P_L คือ ค่าความสูญเสียขณะมีภาระทางไฟฟ้า

5) ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้า

ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าคือค่าความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดจากหม้อแปลงในขณะที่จ่ายกระแสพิกัดที่ความถี่พิกัด โดยที่ทำการลัดวงจรขดลวด และอุณหภูมิของขดลวดเท่ากับอุณหภูมิอ้างอิง (สำหรับมาตรฐาน IEC คือ 75 องศาเซลเซียส และ IEEE คือ 85 องศาเซลเซียส) โดยค่าความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยค่าความ

สูญเสียที่เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านขดลวด (I^2R loss) และค่าความสูญเสียสเตรย์ (Stray loss or Eddy current loss) ที่เกิดจากการรั่วของสนามแม่เหล็กในขดลวดและบริเวณตัวถังของหม้อแปลง โดยหาได้จากสมการ

$$P_L = P_j + P_a \tag{2.46}$$

เมื่อ

P_L คือ ค่าความสูญเสียขณะที่ขดลวดมีอุณหภูมิ 75 °C/ 85 °C

P_j คือ ค่าความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด

P_a คือ ค่าความสูญเสียสเตรย์

6) ความสัมพันธ์ของค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าและกระแสของภาระทางไฟฟ้า

ดส่วนโดยตรงกับ

กำลังสองของกร

(2.47)

เมื่อ

:มีภาระทางไฟฟ้า

เมื่อทราบค่าคว

ภาระทางไฟฟ้าที่

ถูกต้อง ต้องคิด ามในระหว่างการทดสอบในห้องทดสอบอุณหภูมิจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอ้างอิง ในการคำนวณค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าให้เป็นค่าที่อุณหภูมิอ้างอิงต้องทำการแยกส่วนประกอบของค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าให้เป็นสองส่วน คือ ค่าความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด และค่าความสูญเสียสเตรย์ ตามสมการ

$$P_L = P_j + P_a = \Sigma I_r^2 R + P_a \tag{2.48}$$

$$P_a = P_L - \Sigma I_r^2 R \tag{2.49}$$

เมื่อ

R คือ ค่าความต้านทานของขดลวด

8) ความสัมพันธ์ของความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้ากับอุณหภูมิของขดลวด

เมื่ออุณหภูมิของขดลวดเพิ่มขึ้น ค่าความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวดจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าความสูญเสียสเตรย์จะมีค่าลดลง โดยสามารถดูความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานกับอุณหภูมิได้ในหัวข้อการวัดค่าความต้านทานของขดลวด สำหรับการปรับค่าความสูญเสียทั้งสองค่า สามารถดูได้จากสมการ

$$P_{j2} = P_{j1} \cdot \frac{C + \Theta_2}{C + \Theta_1} \qquad P_{a2} = P_{a1} \cdot \frac{C + \Theta_1}{C + \Theta_2} \qquad (2.50)$$

เมื่อ

P_{j1} คือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลผ่านขดลวดที่อุณหภูมิ Θ_1

P_{j2} คือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลผ่านขดลวดที่อุณหภูมิ Θ_2

P_{a1} คือ ค่าความสูญเสียสเตรย์ที่อุณหภูมิ Θ_1

P_{a2} คือ ค่าความสูญเสียสเตรย์ที่อุณหภูมิ Θ_2

ตามมาตรฐาน I

ตามมาตรฐาน II

นการวัดค่าความ

สูญเสียของหม้อ

:มีภาระทางไฟฟ้า

กับความถี่

ะไม่เปลี่ยนแปลง

ตามความถี่ แต่ค่าความสูญเสียสเตรย์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสมการ

$$P_L = P_j + P_{am} \cdot \left(\frac{f_r}{f_m}\right)^2 + P_{st} \cdot \left(\frac{f_r}{f_m}\right)^{0.8} \qquad (2.51)$$

เมื่อ

P_L คือ ค่าความสูญเสียที่ความถี่พิกัด f_r

P_{am} คือ ค่าความสูญเสียสเตย์ภายในขดลวดที่ความถี่ทดสอบ f_m

P_{st} คือ ค่าความสูญเสียสเตย์ในโครงสร้างและดัวถังที่ความถี่ทดสอบ f_m

ถ้าไม่สามารถทำการทดสอบที่ความถี่พิกัดของหม้อแปลงที่จะทำการทดสอบได้ ให้คำนวณตามสมการที่ 2.51 เพื่อที่จะทำให้ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

กระแสที่ใช้ในการทำการทดสอบต้องมีลักษณะเป็นรูปคลื่นซายน์และไม่มีฮาร์โมนิก ไม่เช่นนั้นขอบเขตที่ยอมรับได้ก็จะมีค่าสูงค่าสูงขึ้นด้วย

2.5.3 วงจรทดสอบ

วงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสดูรูปที่ 2.23 ส่วนวงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสดูรูปที่ 2.24 ในการทำการลัดวงจรจะทำการจ่ายแรงดันทางด้านแรงดันต่ำ เพื่อความสะดวกในการจัดเตรียมอุปกรณ์และเกิดกระแสไหลน้อยทางด้านแรงดันสูงที่ทำการลัดวงจรไว้

การวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสอาจสามารถใช้วัตต์มิเตอร์สองเครื่องในการวัดก็สามารถทำได้ โดยดูการต่อวงจรจากรูป 2.24 ส่วนการใช้วัตต์มิเตอร์สามเครื่องสามารถดูได้จากรูปที่ 2.25

ทั้งสองวิธีนี้จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันด้วย เพื่อทำการลดระดับแร

งขณะมีภาระทาง
ไฟฟ้าของหม้อแ ่ความของมุมเฟส
เพียงเล็กน้อยแ วามผิดพลาดของ
ระบบวัดจะสาม

งที่น้อยเกินความ
เหมาะสม เนื่อ จึงทำให้เกิดการ
หักล้างกันเอง โ รียบเทียบกับวิธีที่
ใช้วัตต์มิเตอร์ส ไม่เป็นที่นิยม แม้
กระนั้นก็ตามวิธี ม่เป็นที่ยอมรับใน
มาตรฐาน IEEE

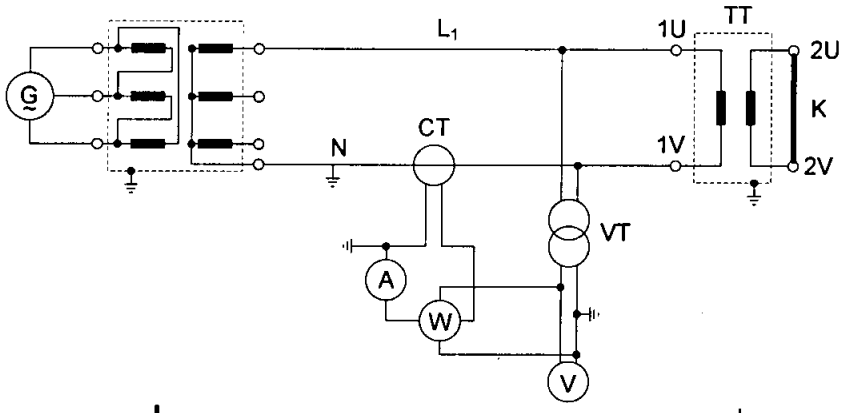
ต่อเฟสจะสามารถ
ใช้ได้เพียงวิธีใช้

2.5.4 กระบวนการวัด

ก่อนที่จะทำการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าต้องทำการวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิของขดลวดตามมาตรฐาน IEC และ IEEE

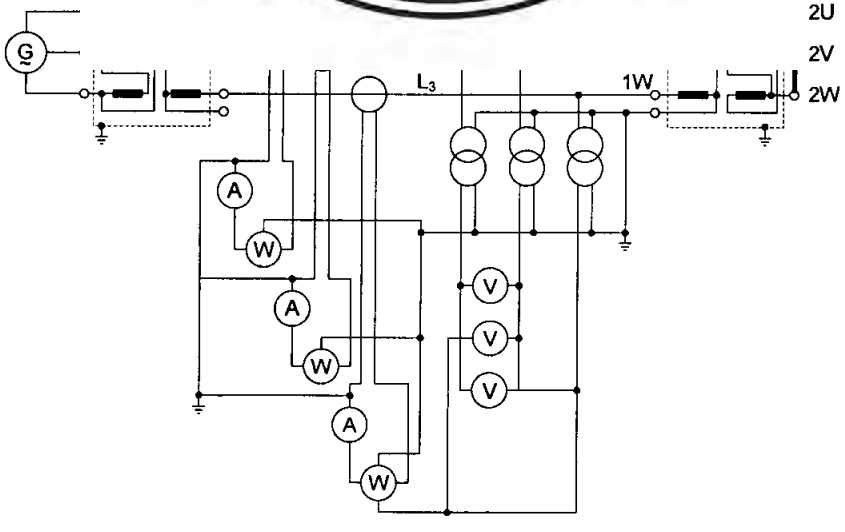
ถ้ามีหม้อแปลงกระแสอยู่ในตัวหม้อแปลงที่จะทำการทดสอบ จะต้องทำการลัดวงจรหม้อแปลงกระแสแล้วต่อลงกราวด์ เพื่อหลีกเลี่ยงการอิ่มตัวของแกนเหล็กและการเกิดแรงดันเกินที่ด้านทุติยภูมิ

ถ้าหม้อแปลงที่ทำการทดสอบมีการใช้เครื่องเปลี่ยนแทป ทั้งแบบขณะมีภาระทางไฟฟ้าและไม่มีภาระทางไฟฟ้า ให้ทำการทดสอบครั้งแรกที่แทปพิกัด หลังจากนั้นจึงทำที่แทปที่สูงที่สุดและแทปที่ต่ำที่สุดตามลำดับ



รูปที่ 2.23 วงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส

รูปที่ 2.24 เตอร์สองตัว



รูปที่ 2.25 วงจรการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสวิธีใช้โวลต์มิเตอร์สามตัว

ระหว่างการทดสอบให้ทำการปรับเพิ่มกระแสที่จ่ายให้กับหม้อแปลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงระดับกระแสที่จะทำการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของกระแสอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเพิ่มขึ้นที่รวดเร็วของกระแสจะทำให้อุปกรณ์ของหม้อแปลงเกิดความเสียหาย ระยะเวลาในการทดสอบควรมีระยะเวลาสั้น เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ขดลวดเกิดความร้อน

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยประมาณ หาได้จากสมการ

$$T \cong 160 \cdot \frac{g}{J^2} \qquad (2.52)$$

เมื่อ

T คือ ระยะเวลาในการทดสอบ

g คือ อุณหภูมิจากขดลวดถึงน้ำมัน (ค่านี้มาจากการออกแบบ)

J คือ [illegible] A/m^2

หม้อแปลงขณะมี

ภาระทางไฟฟ้า

ว่ามาตรฐาน IEC

จะระบุว่าค่ากระ

หรือให้ความที่ไม่

คงที่ ค่าความคล

ฟฟ้าสำหรับหม้อ

แปลงไฟฟ้าหนึ่ง

ข้าคู่ ในการวัดค่า

ความสูญเสียข

นึ่งเฟส ทำการต่อ

หม้อแปลงกระแ

งขณะมีภาระทาง

ไฟฟ้าสำหรับหม่

การหาค่าแรงดันลัดวงจรและค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามขดลวดแรงดันไม่สามารถหาได้โดยการทดสอบการลัดวงจรเพียงคู่เดียว การหาค่าต้องคำนวณจากค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งสามคู่ โดยดูการต่อวงจรได้จากตารางที่ 2.2

การทดสอบการลัดวงจรจะทำให้เราทราบค่าความสูญเสีย และค่าอิมพีแดนซ์ โดยค่าที่ได้ต้องนำไปปรับเป็นค่าที่กระแสพิกัดและอุณหภูมิอ้างอิง

การคำนวณค่าแรงดันลัดวงจรต่อหนึ่งขดลวดแรงดัน

ค่าที่วัดได้ทั้งสามค่าจะแสดงในลักษณะของกำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าแรงดันลัดวงจรในแต่ละขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\varepsilon_{cc1} = \frac{\varepsilon_{cc12} + \varepsilon_{cc13} - \varepsilon_{cc23}}{2} \quad (2.53)$$

$$\varepsilon_{cc2} = \frac{\varepsilon_{cc12} + \varepsilon_{cc23} - \varepsilon_{cc13}}{2} \quad (2.54)$$

$$\varepsilon_{cc3} = \frac{\varepsilon_{cc23} + \varepsilon_{cc13} - \varepsilon_{cc12}}{2} \quad (2.55)$$

ทำการตรวจสอบได้จากสมการ

$$\varepsilon_{cc12} = \varepsilon_{cc1} + \varepsilon_{cc2} \quad (2.56)$$

$$\varepsilon_{cc13} = \varepsilon_{cc1} + \varepsilon_{cc3} \quad (2.57)$$

$$\varepsilon_{cc23} = \varepsilon_{cc2} + \varepsilon_{cc3} \quad (2.58)$$

3) การคำนวณค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าต่อหนึ่งขดลวดแรงดัน ให้นำค่าที่วัดได้จากการทดสอบมาคำนวณตามสมการ

(2.59)

(2.60)

(2.61)

ต่อขดลวดแรงดัน

ให้นำค่าความสู เสอบตามตารางที่ 2.1 มาคำนวณ

วดแรงดันสามารถนำมาคำนวณเ รทดสอบนั้นไม่ใช่ค่าที่ดรงตามสม การวัดค่าแต่ละคู่ของขดลวดแรงด ดแรงดัน

6 โดยสามารถดูสมการที่ใช้ในการคำนวณได้จากหัวข้อหลักการโดยทั่วไป

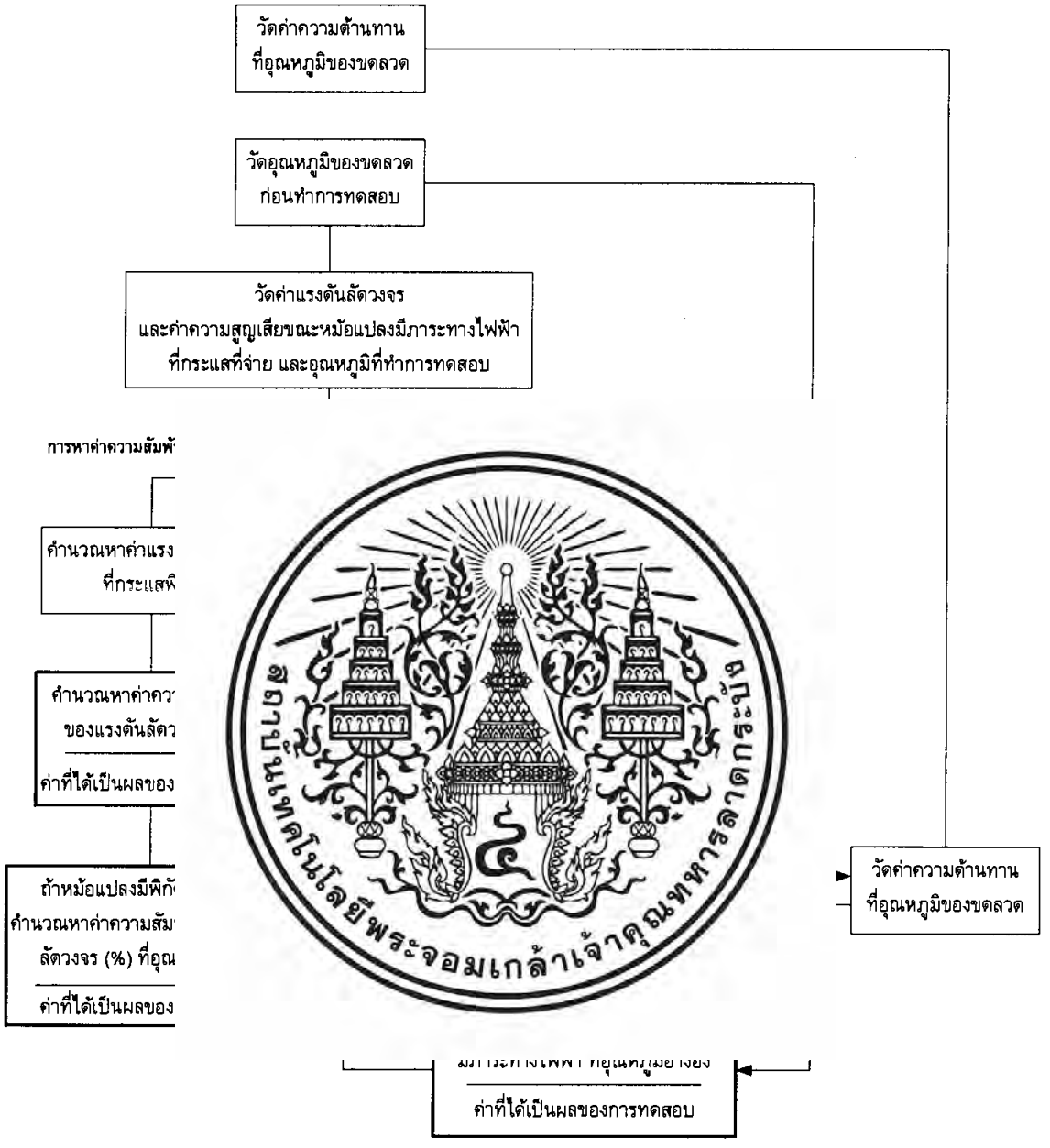
ตารางที่ 2.2 การต่อวงจรของการทดสอบการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงที่มีสามขดลวดแรงดัน

การต่อวงจรทดสอบ			
คู่ขดลวดแรงดันที่ทำการทดสอบ	ขดลวดแรงดันที่ทำการป้อนแรงดัน	ขดลวดแรงดันที่ทำการลัดวงจร	ขดลวดแรงดันที่ทำการเปิดวงจร
1-2	1	2	3
1-3	1	3	2
2-3	2	3	1

กำหนด 1 คือ ขดลวดแรงดันสูง

2 คือ ขดลวดแรงดันระหว่างกลาง

3 คือ ขดลวดแรงดันต่ำ



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนการคำนวณค่าภาระทางไฟฟ้าขณะมีภาระทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัด

2.5.6 ค่าที่ยอมรับได้ของการทดสอบ

ในการทดสอบการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้า มาตรฐานไม่ได้มีการกำหนดค่าที่ยอมรับได้ไว้ แต่ทางผู้ใช้งานหม้อแปลงจะเป็นคนกำหนดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีภาระทางไฟฟ้ากับทางผู้ผลิตว่าค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นต้องมีค่าไม่เกินเท่าใด โดยมาตรฐาน IEEE ได้กำหนดค่าขอบเขตของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัดที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกิน ±3%

2.6 การวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

2.6.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า โดยที่ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ได้มานั้นจะแสดงค่าความสูญเสียของแกนเหล็กตลอดอายุการใช้งานของหม้อแปลง ดังนั้นการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมาก

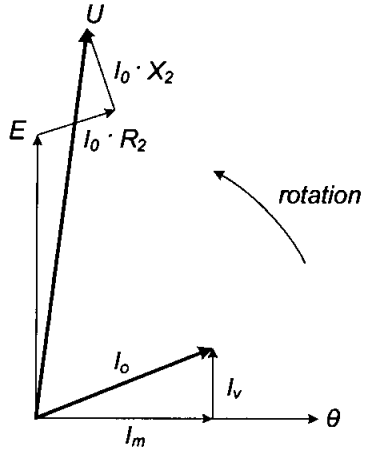
2.6.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ

1) ทฤษฎีเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางฟ้า

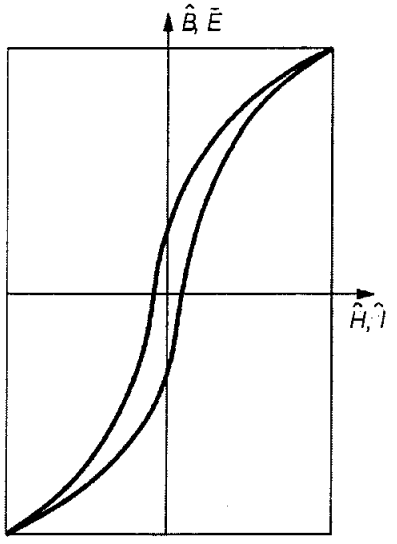
การที่ให้พลังงานกับหม้อแปลงโดยการจ่ายแรงดันพิกัดไปที่ด้านใดด้านหนึ่งของขดลวดขณ ที่ ดามวงจรสมมูล รูปที่ 2.27 และ

ดอริซีสลูป ในรูปที่ 2.29 โดยพื้น ใน 1 คาบ ทำให้ สนามแม่เหล็กเ

(2.62)



รูปที่ 2.28 เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.29 ฮิสเดอริซีสลูป

เมื่อ

ดันเหนี่ยวนำบน

ขดลวด เป็นไปต

(2.63)

เมื่อ

(2.64)

แรงดันเหนี่ยวนำ

(2.65)

โดย

$$\hat{\Phi}_H = \hat{B}_{Fe} \cdot A$$

$$\omega = 2\pi f$$

เมื่อ

$\hat{B}$ คือ ความหน่าแน่นของฟลักซ์ในแกนเหล็ก(ค่าสูงสุด) หน่วย เทสลา

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

ω คือ ความถี่เชิงมุม

f คือ ความถี่ หน่วย เฮิรตซ์

จะได้

$$u = \omega \hat{B} A N \sin \omega t \qquad (2.66)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

จะได้แรงดันเหนี่ยวนำเฉลี่ย $\overline{U}$ ที่ขดลวดอีกด้าน คือ

$$\overline{U} = 4.0 f\hat{B}AN \tag{2.67}$$

สำหรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (r.m.s.) ของแรงดันเหนี่ยวนำ คือ

$$U_e = 4.44 f\hat{B}AN \tag{2.68}$$

เมื่อ

$\overline{U}$ คือ แรงดันเหนี่ยวนำเฉลี่ย หน่วย โวลต์

U_e คือ ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเนี่ยวนำ หน่วย โวลต์

2) ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภ

(2.69)

เมื่อ

ละความสูญเสีย

(2.70)

3. ความสูญเสียทีเกิดจากกระแสไหลผ่าน

$$P_j = I_0^2 \cdot R_2 \tag{2.71}$$

สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป ค่าความสูญเสียไดอิเล็กตริก และค่าความสูญเสียที่เกิดจากขดลวดสามารถละทิ้งได้เนื่องจากมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความสูญเสียที่เกิดจากแกนเหล็ก

$$P_{Fe} >> P_c + P_j \tag{2.72}$$

นั่นหมายความว่าค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า คือค่าความสูญเสียที่เกิดจากแกนเหล็ก

3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้ากับความพิดเพี้ยนของแรงดัน

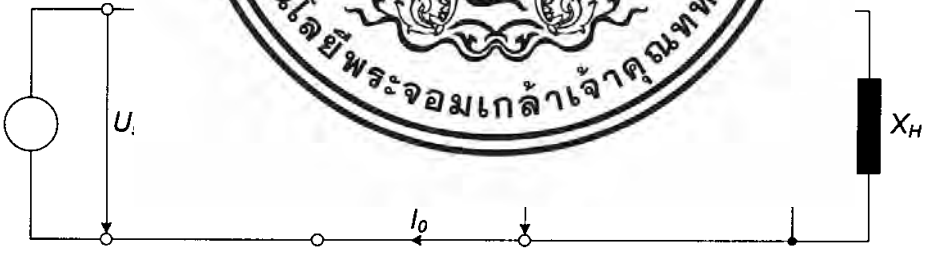
ในการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า แรงดันที่จ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกทำให้ผิดเพี้ยนเนื่องจากแรงดันที่จ่ายให้หม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าในขณะทดสอบไม่เป็นรูปคลื่นซายน์ทำให้เกิดแรงดันดกคร่อมอิมพิแดนซ์ภายในแหล่งจ่าย วงจรสมมูลของการทดสอบค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.30

การวัดโดยทั่วไปสมมติให้ค่าความสูญเสียฮีสเตอริซีส ขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของการเหนี่ยวนำ และค่าเฉลี่ยของแรงดันที่จ่าย ถ้าตั้งแรงดันที่จ่ายไว้แล้ว แรงดันที่ผิดเพี้ยนจะไม่มีผลกับค่าความสูญเสียฮีสเตอริซีส

ส่วนค่าความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน ขึ้นอยู่กับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดัน และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันก็จะได้รับผลกระทบโดยตรงกับแรงดันที่ผิดเพี้ยน จึงทำให้ค่าความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนมีผลกระทบด้วย

เนื่องจากค่าควา งมากกับค่าความ
แตกต่างของรูป
ค่าฟอร์มแฟกเด (2.73)

เรงดันที่มีลักษณะ
เป็นคลื่นสูงสุด (ริง ส่วนแรงดันที่มี
ลักษณะคลื่นเรีย ามสูญเสียที่วัดได้
จึงต้องมีการคำ



X_d คือ รีแอกแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

X_{AT} คือ รีแอกแดนซ์ของหม้อแปลงแรงดันขึ้น

X_2 คือ รีแอกแดนซ์ของขดลวดด้านแรงดันต่ำ

R_{FE} คือ ความด้านทานของแกนเหล็ก

X_H คือ ความด้านทานหลัก

$U_{\sin}$ คือ แรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ยังไม่เกิดความผิดเพี้ยน

U_{dist} คือ แรงดันที่เกิดความผิดเพี้ยนเนื่องจากอิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่าย

I_0 คือ กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า

รูปที่ 2.30 แสดงแรงดันที่ผิดเพี้ยนเนื่องจากอิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่าย

ความผิดเพี้ยนของแรงดันจะไม่เกิดขึ้นในขณะหม้อแปลงใช้งานจริง เป็นเพราะว่าอิมพีแดนซ์ของระบบน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง ด้วยเหตุผลนี้ และเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสียระหว่างหม้อแปลงได้ ค่าความสูญเสียที่ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าจึงต้องรับรองว่าได้ใช้แหล่งจ่ายที่เป็นรูปคลื่นซายน์

4) การแก้ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าด้วยค่าฟอร์มแฟกเดอร์

สมการแสดงค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ยังมีความผิดเพี้ยนอยู่

$$P_{0m} = P_h + P_w \cdot \left(\frac{k_f}{1.11}\right)^2 \tag{2.74}$$

เมื่อ

ที่ยังมีความ

หารด้วย ค่าสูญ

(2.75)

ดามมาตรฐาน II

(2.76)

เมื่อ

$U \cdot 1.11$

โดยที่ค่าแรงดันเฉลี่ยกับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันต้องต่างกันไม่เกิน 3% ถ้ามากกว่านี้จะต้องตรวจสอบและแก้ไขวงจรที่ใช้วัดใหม่
ดามมาตรฐาน IEEE การแก้ไขทำได้โดยสมการ

$$\frac{P_h}{P_0} = P_1 \quad \text{และ} \quad \frac{P_w}{P_0} = P_2 \tag{2.77}$$

แล้วจะได้เป็น

$$P_0 = \frac{P_{0m}}{P_1 + P_2 \cdot \left(\frac{U}{\overline{U} \cdot 1.11}\right)^2} = \frac{P_{0m}}{P_1 + P_2 \cdot \left(\frac{k_f}{1.11}\right)^2} = \frac{P_{0m}}{P_1 + P_2 \cdot k} \tag{2.78}$$

เมื่อทราบค่าต่อหน่วยของ P_1 และ P_2 สามารถคำนวณโดยใช้รูปคลื่นซายน์ที่แท้จริงได้เลย แต่ถ้าไม่ทราบ จะใช้ค่า 0.5 ต่อหน่วยกับทั้งสองค่า ถ้าค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่แก้แล้วต่างกับค่าที่วัดได้เกิน 5% โดยใช้สมการข้างต้น จะต้องตรวจสอบและแก้ไขวงจรที่ใช้วัดใหม่

5) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้ากับอุณหภูมิของแกนเหล็ก

โดยปกติแล้วอุณหภูมิจะมีผลกับค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงๆ เท่านั้น

ตามมาตรฐาน IEC กำหนดให้ทำการทดสอบหม้อแปลงที่อุณหภูมิแวดล้อมในห้องทดสอบ โดยไม่ต้องแก้อุณหภูมิไปที่อุณหภูมิอ้างอิง

ตามมาตรฐาน IEEE กำหนดให้อุณหภูมิอ้างอิงของค่าความสูญเสียขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ง $\pm 10^{\circ}C$ ของ

อุณหภูมิอ้างอิง

และอุณหภูมิที่จุด

ต่ำสุดของหม้อแ

ะหม้อแปลงไม่มี

ภาระทางไฟฟ้า

(2.79)

เมื่อ

ที่อุณหภูมิ

ที่อุณหภูมิเฉลี่ย

ของน้ำมันขณะทำการทดสอบ

Θ_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมันขณะทำการทดสอบ

K_T คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแกนเหล็ก สำหรับแกนเหล็กบริสุทธิ์ ค่าสัมประสิทธิ์จะเท่ากับ 0.00065

6) กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า

พฤติกรรมการเป็นแม่เหล็กของแกนเหล็กไม่เป็นเชิงเส้น ในรูปที่ 2.31 และค่าความสูญเสียจากแกนเหล็กเป็นไปตามพื้นที่ในลูปในรูปที่ 2.29 กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าจะไม่ผิดเพี้ยนเมื่อจ่ายแรงดันที่เป็นรูปคลื่นซายน์ ดูในรูปที่ 2.32 สำหรับหม้อแปลง

ไฟฟ้ากำลังขนาดเล็ก กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 1 ถึง 5 % ของ กระแสพิกัด ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 0.1 ถึง 0.3%

กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าจะเป็นค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่วัดได้ระหว่างการทดสอบ และจะคิดให้อยู่ในรูปเปอร์เซนต์ของกระแสพิกัดของขดลวดในขณะจ่ายแรงดัน สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส ค่ากระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าจะเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งสามเฟส

กระแสที่จ่ายให้กับหม้อแปลง เป็นกระแสที่เพียงพอสำหรับกระตุ้นแกนเหล็กให้อิ่มตัว และเป็นผลรวมของกระแสเชิงความจุที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นตัวเก็บประจุของขดลวดด้วย ถ้าความเป็นแม่เหล็กต่ำ กระแสเชิงความจุอาจจะเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง และผลที่ตามมาก็คือ กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจนถึงค่าต่ำสุดเมื่อเพิ่มแรงดัน แต่หากว่าเพิ่มแรงดันให้มากกว่าค่ากระแสที่ต่ำสุด กระแสขณะหม้อแปลง

รูปที่ 2.32 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่จ่าย กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

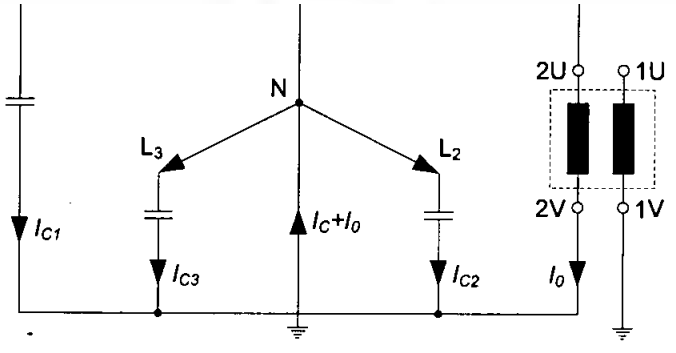
2.6.3 วงจรทดสอบ

1) หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส

การต่อวงจรทดสอบ และวงจรสมมูลของการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า เมื่อใช่แหล่งจ่ายที่เป็นไลน์ทูนิวทรัล ดูในรูปที่ 2.33 และ 2.34 ตามลำดับ ส่วนการต่อวงจรทดสอบ และวงจรสมมูลของการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า เมื่อใช้แหล่งจ่ายที่เป็นไลน์ทูไลน์ ดูในรูปที่ 2.4.9 และ 2.4.10 ตามลำดับ

แต่ในการต่อวงจรทดสอบ จุดที่เชื่อมลงดินจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้เมื่อทำการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงหนึ่งเฟส ข้อผิดพลาดเกิดจากกระแสไหลลงดินเนื่องมาจากความเป็นตัวเก็บประจุของสายเคเบิลที่ต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ จุดเชื่อมต่อลงดินของวงจรา

รูปที่ 2.33 ว ของหม้อแปลง



รูปที่ 2.34 วงจรสมมูลแสดงพฤติกรรมของกระแสเชิงความจุ โดยการจ่ายแรงดันไลน์ทูนิวทรัล

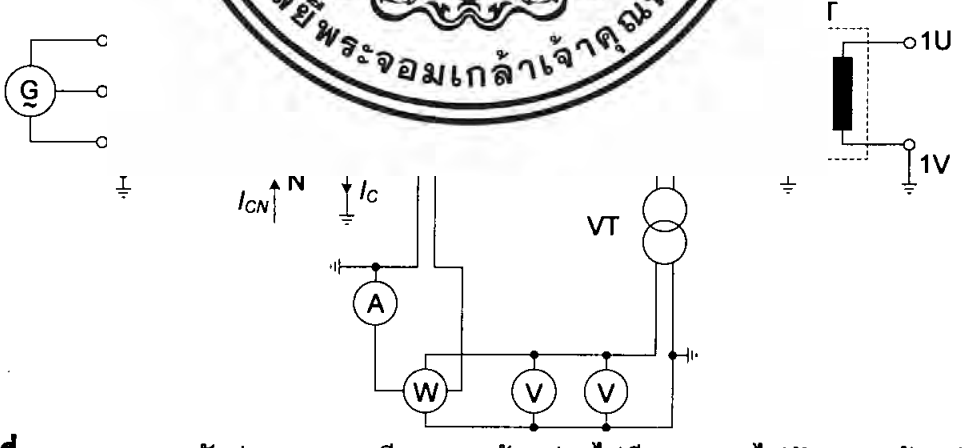
ในรูปที่ 2.34 กระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า I_0 ได้รับผลกระทบจาก กระแสเชิงความจุ I_c โดยปกติ ค่ากระแสเชิงความจุทั้ง 3 ค่า คือ I_{c1} , I_{c2} และ I_{c3} จะมีค่าเท่าๆกัน และมีมุมต่างเฟส 120° ในกรณีนี้ผลรวมของกระแสจะมีค่าเป็นศูนย์

ถ้าแหล่งจ่ายไม่มีจุดที่มีความต่างศักย์เท่ากับดิน ในรูปที่ 2.35 จะเกิดกระแสเหลือ I_c โดยกระแสเหลือมีผลกับกระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ต่อลงดินด้วย ข้อผิดพลาดนี้สามารถขจัดได้โดยการต่อจุดเชื่อมลงดิน ก่อนหม้อแปลงกระแสในด้านแหล่งจ่าย การจ่ายแรงดันไลน์ทูไลน์ให้กับหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ ผลของกระแส I_c ต่อกระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า I_0 สามารถดูได้จากวงจรสมมูล รูปที่ 2.36

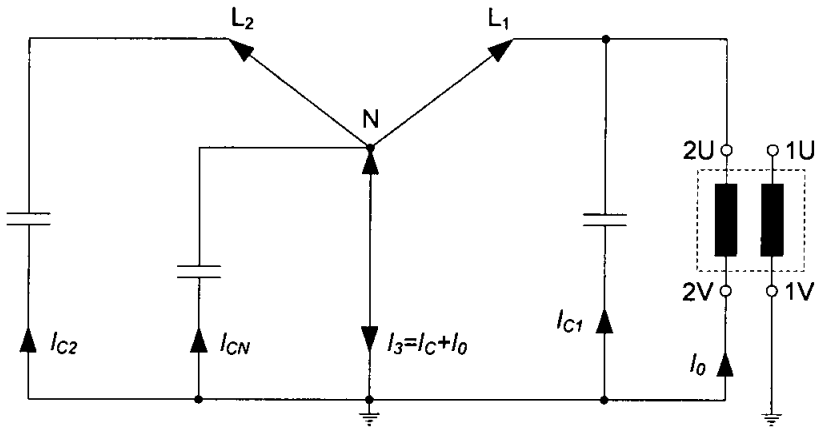
2) หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

เมื่อการทดสอบค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ จะต้องแบ่งวงจรให้เป็นสองด้าน คือ
ด้านปฐมภูมิ แล ำการทดสอบ ซึ่ง
สามารถดูได้ใน แบบต่างๆด้วย
าจะต้องให้ความถี่
ที่คงที่แม้ว่าภา ดวงจรของเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าแล องมีค่าที่น้อยมาก
เพราะว่าค่าอิมพ์

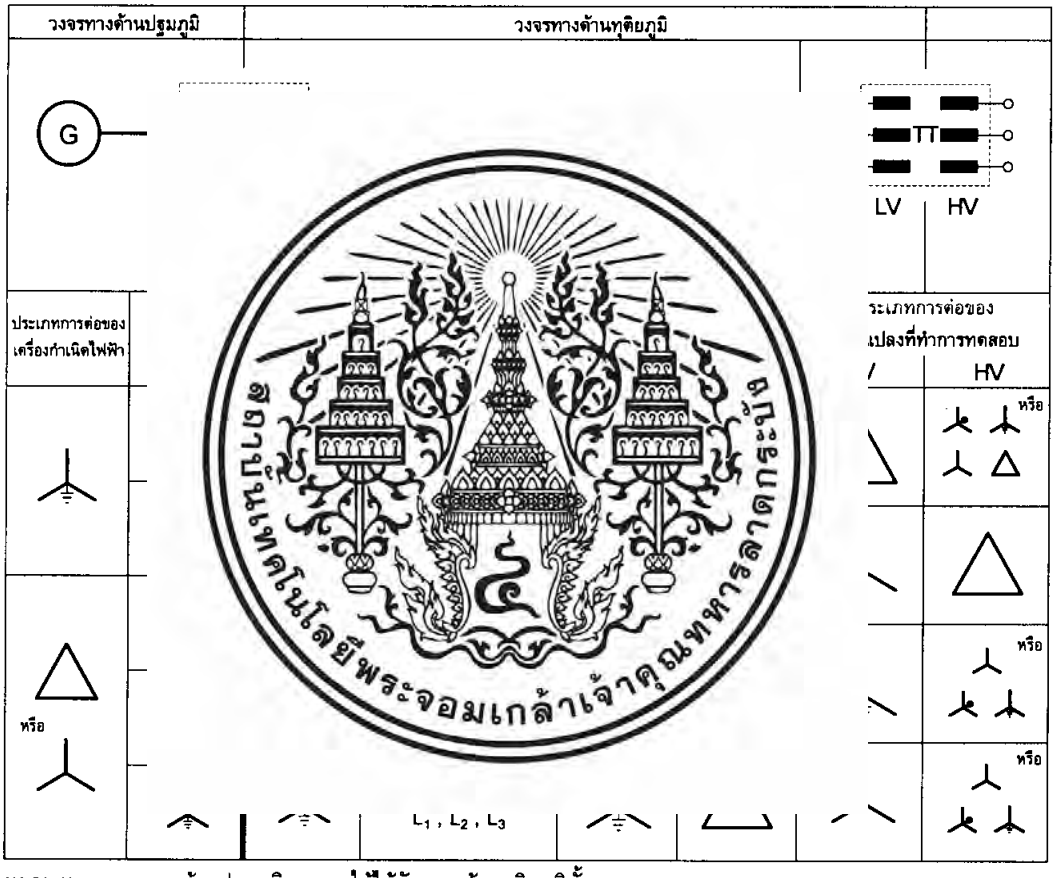
กขดลวดจะถูกวัด
เพื่อที่จะหาค่าฟ องการต่อขดลวด
แบบสตาร์จะมีค่



รูปที่ 2.35 วงจรการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าของหม้อแปลงหนึ่งเฟสโดยจ่ายแรงดันไลน์ทูไลน์



รูปที่ 2.36 วงจรสมมูลแสดงพฤติกรรมของกระแสเชิงความจุ โดยการจ่ายแรงดันไลน์ทูไลน์



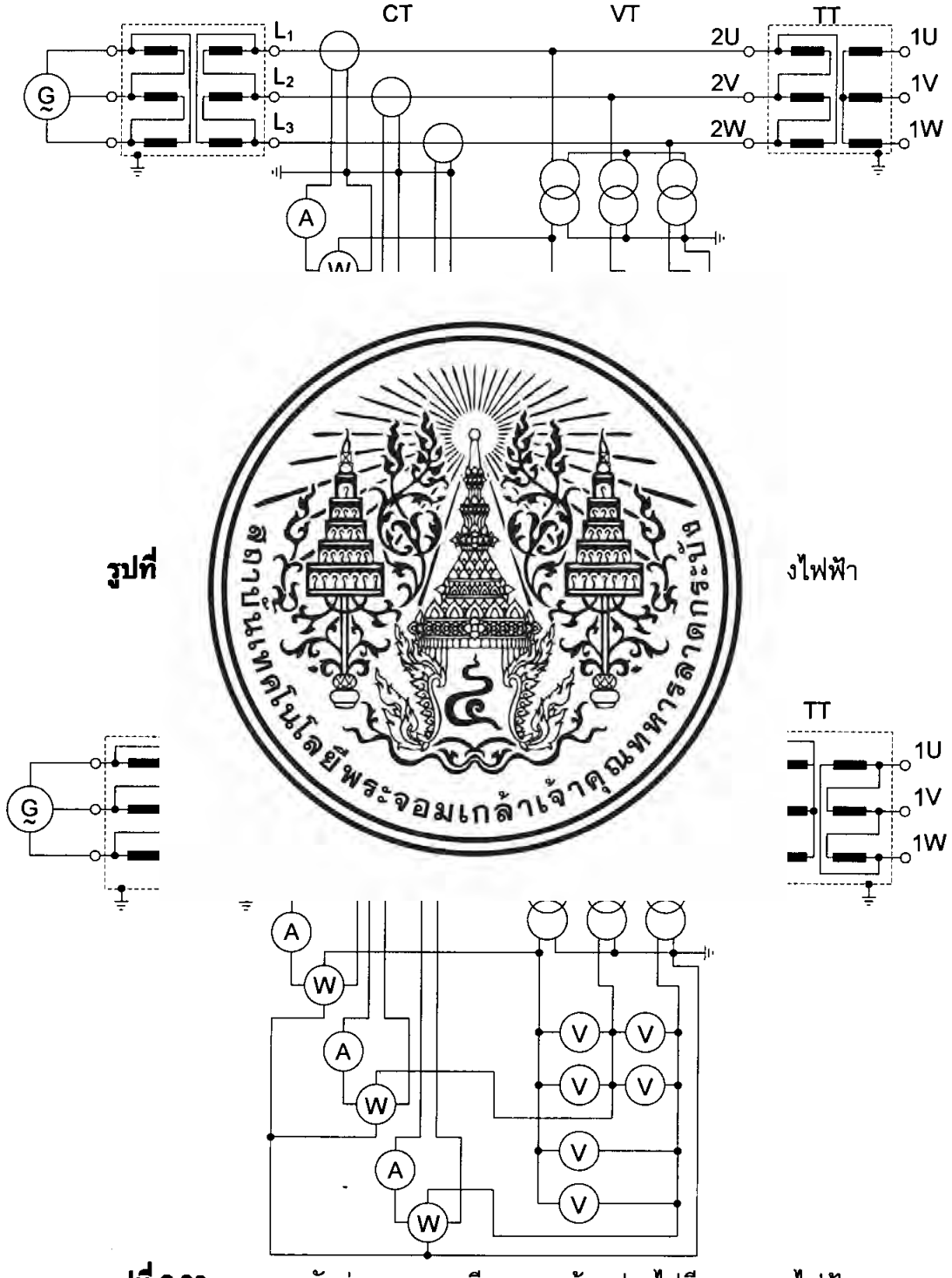
หมายเหตุ : วงจรทางด้านปฐมภูมิสามารถใช้ได้กับวงจรด้านทุติยภูมิทั้งหมด

รูปที่ 2.37 ตารางแสดงการต่อวงจรการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าแบบต่างๆ สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

ในรูปที่ 2.38 ถึง 2.41 แสดงการต่อวงจรทดสอบแบบต่างๆ ในรูปที่ 2.38 จะใช้สำหรับทดสอบหม้อแปลงที่มีกลุ่มของเวกเตอร์เป็นแบบ Yd, YNd หรือ Dd โดยที่วัดด์มิเตอร์จะต่อแบบสตาร์ และโวลด์มิเตอร์จะวัดค่าแรงดันไลน์ทูไลน์ สำหรับทดสอบหม้อแปลงที่มีกลุ่มของเวกเตอร์เป็นแบบ Dyn ในรูปที่ 2.39 หม้อแปลงแรงดัน และ วัดด์มิเตอร์จะต่อแบบสตาร์ และโวลด์มิเตอร์จะวัดค่าแรงดันไลน์ทูไลน์ นั่นเป็นเพราะว่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่สามสามารถไหล

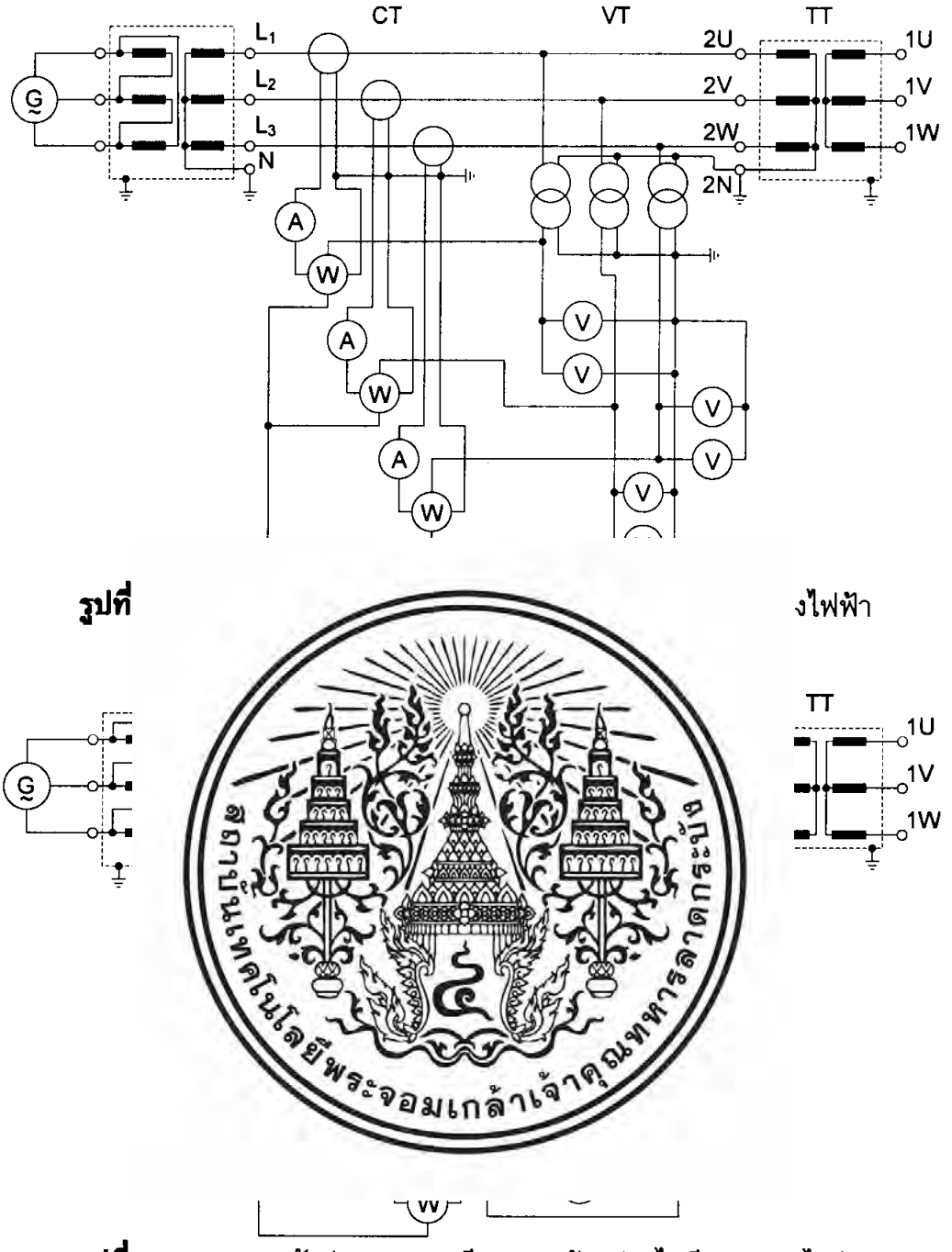
ผ่านขดลวดแรงดันสูงในการต่อแบบเดลต้า ดังนั้นจึงควรระวังการผิดเพี้ยนของแรงดันที่จะเกิดขึ้นที่ขดลวดแรงดันต่ำ

ในรูปที่ 2.40 ใช้สำหรับกลุ่มของเวกเตอร์ Yyn และ YNyn ซึ่งโวลต์มิเตอร์จะวัดค่าแรงดัน ไลน์ทูไลน์ ส่วนในรูปที่ 2.41 ใช้สำหรับกลุ่มของเวกเดอร์ Yy และ YNy ซึ่งโวลต์มิเตอร์ต่อแบบเดลต้าที่ต้านทุดิยภูมิและแรงดันที่ได้เป็นแบบแรงดันไลน์ทูไลน์



รูปที่ งไฟฟ้า

รูปที่ 2.39 วงจรการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า สำหรับกลุ่มของเวกเตอร์ Dyn



รูปที่ 2.41 วงจรการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า สำหรับกลุ่มของเวกเตอร์ Yy และ YNy

2.6.4 กระบวนการทดสอบ

ทำการลัดวงจรหม้อแปลงกระแสที่มีอยู่ที่หม้อแปลงที่จะทดสอบ และต่อบุชชิ่งแทปลงดิน ก่อนที่จะทำการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า ควรตรวจสอบอัตราส่วนแรงดันก่อน และตรวจสอบระดับน้ำมันของหม้อแปลงก่อน

ก่อนที่จะทำการวัดค่าจริงควรกระตุ้นหม้อแปลงด้วยแรงดัน 1.1 ถึง 1.15 เท่าของแรงดันพิกัด เพื่อลดอำนาจแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่หลังจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในการวัด

ค่าความต้านทานของขดลวด หรือที่เกิดจากอิมพัลส์สวิตชิง ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ถูกต้องจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแกนเหล็กอิ่มตัวแล้วเท่านั้น

โดยปกติจะเริ่มวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าที่ 110% ของแรงดันพิกัด แล้วลดลงมาเป็น 100%, 90% และ 80% ของแรงดันพิกัด โดยจะจ่ายเป็นค่าแรงดันเฉลี่ยที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสจะใช้ค่าแรงดันเฉลี่ยของทั้งสามเฟสเพื่อหาค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า ถ้าไม่สามารถปรับแรงดันให้เท่ากับแรงดันที่ต้องการได้ แต่ปรับได้อยู่ใน 0.1% ของแรงดันที่ต้องการ ก็สามารถหาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงได้โดยใช้วิธีการอินเตอร์โพเลท

เมื่อทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสขนาดใหญ่ วัดด์มิเตอร์ 3 เครื่อง อาจแสดงผลต่างกัน โดยเป็นไปได้ที่อีก 1 เครื่อง จะแสดงผลออกมาในทางตรงกันข้าม เป็นเพราะความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กไม่คงที่และมุมต่างเฟสของกระแสและแรงดันในหนึ่งเ ,แม่เหล็กของแกนเหล็กทำให้กระแ

เรูปคลื่นซายน์ จึงทำให้วัดค่าควา ารคำนวณผลการทดสอบจึงสามา ตามมาตรฐาน II

(2.80)

ตามมาตรฐาน II

(2.81)

โดยในมาตรฐาน IEEE การวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าต้องอ้างอิงไปที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ $20^{\circ}C$

ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่วัดได้จะถือให้เป็นค่ากระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสให้นำค่ากระแสที่วัดได้เฉลี่ยของทั้งสามเฟสมาเป็นค่ากระแสขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า

การแก้ไขค่าที่ผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือวัดมีผลกระทบน้อยต่อการวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า เพราะฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องแก้ไขค่าที่ผิดพลาดจากเครื่องมือ

2.6.6 ค่าที่ยอมรับได้ของการทดสอบ

การวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้านั้น มาตรฐานไม่ได้มีการกำหนดเกณฑ์ว่าต้องมีค่าเท่าใดถึงจะผ่านการทดสอบ โดยผู้ใช้หม้อแปลงจะเป็นผู้กำหนดกับทางผู้ผลิตเองว่าค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าได้ไม่เกินเท่าไร ซึ่งค่าความสูญเสียที่ต่ำย่อมหมายถึงราคาของหม้อแปลงที่จะสูงขึ้นตามไปด้วย

2.7 การวัดหาค่าความทนของฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก

2.7.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันภายนอก ซึ่งฉนวนหลักไม่ได้หมายถึงฉนวนระหว่างขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่รวมถึงฉนวนที่อยู่ระหว่างขดลวดและระบบดินด้วย

ไม่ต่ำกว่า 10 °C

ในการทดสอบจ าเป็น 2 ประเภท

คือ 1. แบบฉนว ที่แตกต่างกันตาม

ชนิดของฉนวน

ายจะขึ้นอยู่กับค่า

แรงดันสำหรับท หม้อแปลงเป็นผู้ที่

ออกแบบมา

ดลวดภายในหม้อ

แปลงจะมีการฉ ายแรงดันทดสอบ

(U_p) ซึ่งแรงดันท ปลง ทุกส่วนของ

ขดลวดจะถูกทด

น ขดลวดภายในหม้อแปลงจะมีการฉนวนที่ไม่เท่ากัน การจ่ายแรงดันทดสอบ (U_p) นั้นจะต้องจ่ายแรงดันที่ระดับของฉนวนที่มีความทนน้อยที่สุด

2.7.3 กระบวนการทดสอบ

1) ก่อนที่เริ่มการทดสอบนั้น ต้องมั่นใจก่อนว่าการฉนวนของหม้อแปลงที่เราจะทดสอบเป็นแบบชนิดไหน หากมีการฉนวนแบบสม่ำเสมอ จะสามารถจ่ายแรงดันทดสอบได้ แต่ถ้าหากมีการฉนวนแบบไม่สม่ำเสมอ จะต้องจ่ายแรงดันทดสอบที่ระดับของฉนวนที่มีความทนน้อยที่สุด นั้นคือส่วนที่เป็นนิวตรอน

2) บุชชิ่งจะต้องมีการตรวจสภาพก่อนนำมาใช้ในการทดสอบ ในส่วนของกับดักฟ้าผ่าและบุชชิ่งอาร์คชิ่งฮอร์นจะต้องปลดออกก่อนทำการทดสอบ

ตารางที่ 2.3 ค่าแรงดันที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของฉนวนตามระดับแรงดัน U_m

ค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถทนได้ U_m (kV r.m.s)	แรงดันทดสอบความทนของฉนวนจากแหล่งจ่ายภายนอก (kV r.m.s)
3.6	10
7.2	20
12	28
17.5	38
24	50
36	70
52	95
60	115

5
0
5
5

าลงกราวน์ ส่วน

ทางด้านแรงดันสู (U_p)

ด เช่น ทรงกลมที่

ใช้เป็นตัวป้องกั ลายบุชชิ่งมีค่าสูง

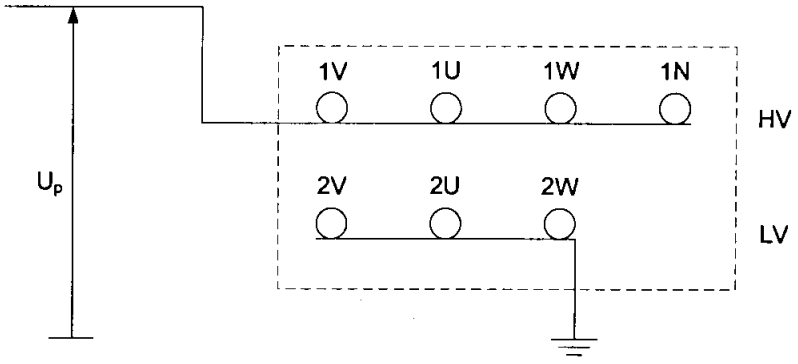
(ส่วนอื่นของหม้อ

1) การทดสอบในหัวข้อนี้จะต้องจ่ายแรงดันความถี่สูง หากจะต้องการจ่ายแรงดันที่ความถี่สูงกว่านี้จะเป็นการทดสอบในหัวข้อต่อไปคือ การทดสอบความทนของฉนวนต่อแรงดันเหนี่ยวนำ ซึ่งการต่อวงจรในการทดสอบของหม้อแปลงที่มีการฉนวนแตกต่างกันจะเหมือนกัน ดังรูปที่ 2.42

2) หม้อแปลงที่ใช้จ่ายแรงดันทดสอบ ส่วนมากจะใช้หม้อแปลงแคทเคท ซึ่งเป็นหม้อแปลง 1 เฟส

3) ต่อ Reactor ขนาน เพื่อชดเชยกระแสที่อาจมีค่าสูงเกินไปเนื่องจากจ่ายให้กับโหลด (หม้อแปลงที่ทดสอบ)

4) จากหม้อแปลงแคทเคท ต่อวงจรมาที่ดิไวเดอร์เพื่อทำการวัดหาค่าแรงดัน ซึ่งค่าสูงสุดที่วัดได้จากดิไวเดอร์จะต้องหารด้วย $\sqrt{2}$ จึงจะเท่ากับค่าแรงดันที่เราต้องการทดสอบ



รูปที่ 2.42 วงจรการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอกสำหรับหม้อแปลงสามเฟส

2.7.5 ระยะเวลาในการทดสอบ

25% ของแรงดัน

ทดสอบ แต่ต้อง แล้วให้ลงแรงดัน

อย่างรวดเร็ว

ามถี่พิกัด

2.8 การทดสอบ

อที่จะต้องการ

ทนสอบความทน

ลิขสิทธิ์โดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พาเชียลดิสชาร์จควบคู่ไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาค่าต่างๆ ของหม้อแปลง ดังนี้

1) ทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับระยะสั้น “Short duration AC” (ACSD) และทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับระยะยาว “Long duration AC” (ACLD)

2) หม้อแปลงที่ทดสอบมีการฉนวนแบบไหน ซึ่งอาจจะมีการฉนวนแบบสม่ำเสมอ หรือมีการฉนวนแบบไม่สม่ำเสมอ

3) หม้อแปลงที่ทดสอบมีค่าแรงดันทดสอบขดลวดภายในหม้อแปลง (U_m) มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่า 72.5 กิโลโวลต์

ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ ข้างต้น ที่ใช้ในการพิจารณาการวัดหาค่าพาเชียล-ดิสชาร์จนั้น ดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการวัดค่าพาเชียลดิสชาร์จในการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันเหนี่ยวนำ

ลักษณะการฉนวนของขดลวด	ค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถทนได้ U_m (kV)	หม้อแปลงสามเฟส			หม้อแปลงหนึ่งเฟส	
		ACLD	ACSD		ACLD	ACSD
			ทดสอบหนึ่งเฟสเทียบกราวด์	ทดสอบสามเฟสเทียบเฟส		ทดสอบหนึ่งเฟสเทียบกราวด์
การทดสอบตามมาตรฐาน IEC						
การฉนวนสม่ำเสมอ					PD PD	o PD
การฉนวนไม่สม่ำเสมอ					PD PD	PD
ระดับ 1 การฉนวนสม่ำเสมอ						o
ระดับ 1 การฉนวนไม่สม่ำเสมอ	< 115		o	o		o
ระดับ 2	> 115	PD			PD	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในโอกาสที่พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.8.3 หลักการในการทดสอบ

1) หากแรงดันทดสอบ (U_p) ที่ใช้ในการทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันเหนี่ยวนำ มีค่าเกิน 2 เท่าของแรงดันพิกัดทางด้านแรงสูง อาจจะส่งผลให้เกิดการอิ่มตัวที่แกนเหล็กจนไม่สามารถขึ้นแรงดันได้ ดังรูปที่ 2.43 ดังนั้นจึงต้องควบคุมให้ความถี่ที่ใช้ทดสอบมีค่าต่ำตามสมการนี้

$$E = 4.44 f N B_{\max} A \qquad (2.82)$$

โดยที่

E คือ แรงดันเหนี่ยวนำ

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

f คือ ความถี่

B คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า

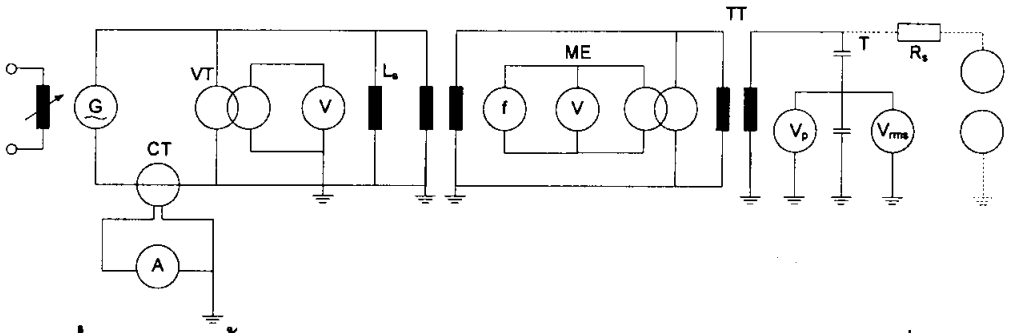
เกิดการเหนี่ยวนำ
ไปทางด้านแรงด์ ันทดสอบขดลวด
ภายในหม้อแปล บคู่ไปด้วยหรือไม่
หม้อแปลงที่เรา
ต้องการจะทดส

การใส่น้ำมันแล้ว
ต้องรอให้น้ำมัน ng Time ซึ่งเวลา
ที่จะรอให้น้ำมั ้อแปลงแต่ละใบ
ตัวอย่างเช่น หม้ เลต์ ใช้เวลา 5 วัน
เป็นต้น

1. แหล่งจ่ายของวงจร คือ เครื่องกำเนิดแรงดันที่ใช้ในการจ่ายแรงดันให้หม้อแปลงทดสอบ จะต้องมีช่วงของความถี่ 50 – 400 Hz นอกจากนี้จะมีตัวชดเชยกระแส ซึ่งโดยปกติแล้ว จะทำการชดเชยกระแสทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงทดสอบ แต่ตามหลักการแล้วสามารถจะชดเชยได้ทั้งด้านแรงดันสูงหรือทางด้านแรงดันต่ำ

2. หม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ

เป็นหม้อแปลงที่ใช้ในการปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายก่อนที่จะจ่ายเข้าทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงที่เป็นชนิดอัตโนมัติ หากหม้อแปลงมีหลายขดลวด ขดลวดที่ไม่ถูกใช้จะถูกต่อลงกราวน์



รูปที่ 2.43 วงจรพื้นฐานของการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันเหนี่ยวนำ

3. การวัดแรงดันและความถี่

แรงดันจะถูกวัดระดับความดันของไฟฟ้าทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงที่ถูก

ทดสอบด้วยโว แรงดันที่ต้องการ

สามารถคำนวณ

(2.83)

โดยที่

าของการทดสอบ

นั้นขึ้นอยู่กับค่าต

ที่ทดสอบ คือ

1) หม้อแปลงทดสอบมีการฉนวนแบบสม่าเสมอ

จะเริ่มจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ 200 เฮิร์ด จ่ายให้กับหม้อแปลงแปลงแรงดันขึ้น ทำการปรับหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันให้อยู่ในขอบเขตที่สามารถวัดค่าแรงดันได้ จากนั้นต่อเข้ากับหม้อแปลงที่ต้องการทำการทดสอบ โดยจ่ายเข้าทางด้านแรงดันต่ำเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำไปทางด้านแรงดันสูง ซึ่งทางด้านแรงดันสูงทำการเปิดวงจรไว้ จ่ายระดับแรงดันและเวลาตามที่กำหนดไว้

2) หม้อแปลงทดสอบที่มีการฉนวนแบบไม่สม่ำเสมอ

จะเริ่มจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ 200 เฮิร์ด จ่ายให้กับหม้อแปลงแปลงแรงดันขึ้น ใช้วิธีการเหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว (Induced Single Phase)

2.8.6 ระยะเวลาในการทดสอบ

เวลาในการทดสอบนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายและหม้อแปลงที่ใช้ทดสอบ

1) โดยทุกๆ ค่าความถี่รวมถึงหากความถี่ของแหล่งจ่ายเป็นสองเท่าของความถี่พิกัดหม้อแปลงที่ใช้ทดสอบ ระยะเวลาในการทดสอบ คือ 60 วินาที

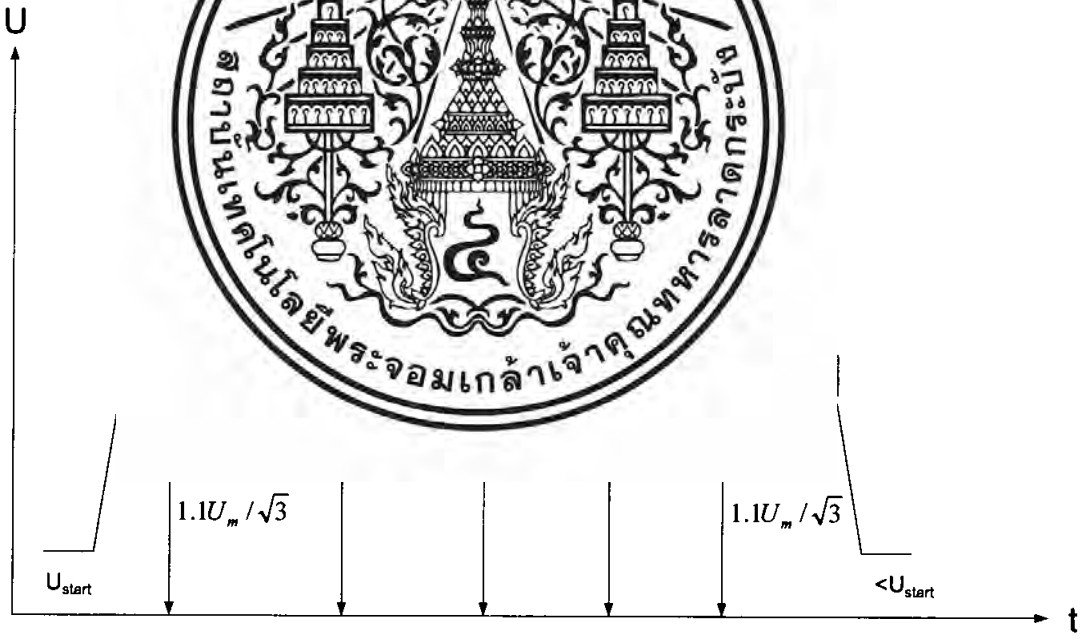
2) แต่หากความถี่ของแหล่งจ่ายมากกว่าสองเท่าของความถี่พิกัดหม้อแปลงที่ใช้ทดสอบ สามารถคำนวณหาระยะเวลาในการทดสอบ จะเป็นไปตามสมการนี้

$$t = 120 \cdot \frac{f_r}{f_p} \qquad (2.84)$$

โดยที่

t คือ เวลาในการทดสอบ

หมายเหตุ : ระ



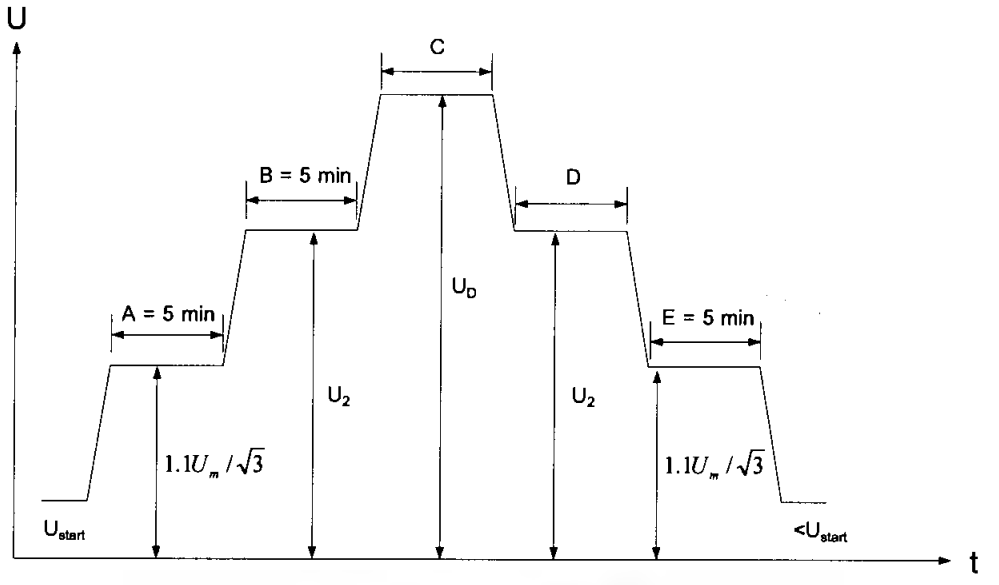
C คือ เวลาในการทดสอบ

$U_2 = 1.3 \cdot U_m$ (*phase to phase*)

$= 1.3 \cdot U_m / \sqrt{3}$ (*phase to earth*)

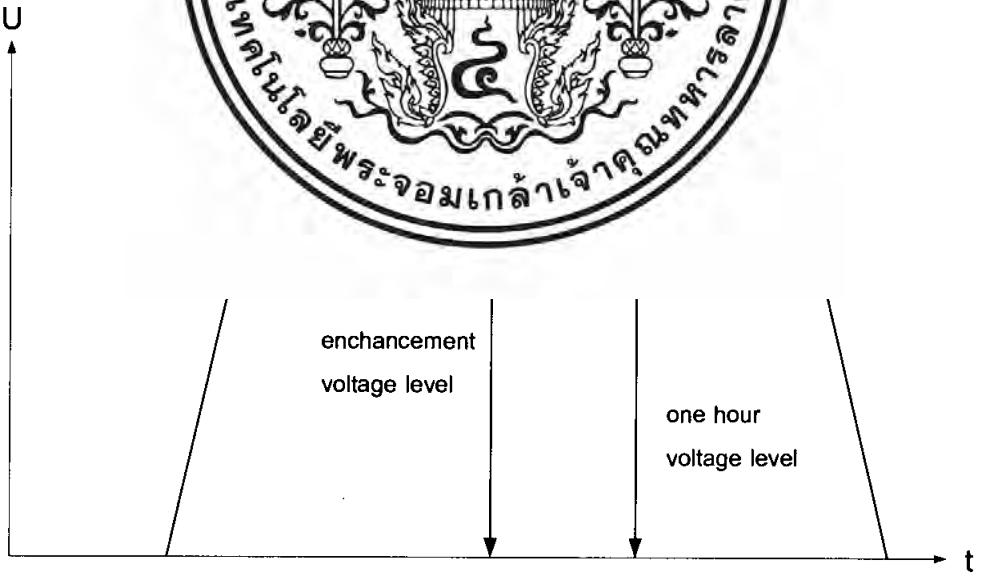
$U_p = 2 \cdot U_r$

รูปที่ 2.44 กราฟแสดงเวลาและแรงดันของการทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับระยะสั้น



00 kV ใช้เวลา

รูปที่ 2.45 ...ลับระยะยาว



A คือ เวลาที่ใช้ในการวัดค่าพาเชียลดิสชาร์จ

B = 7,200 รอบ

C = 60 นาที

รูปที่ 2.46 กราฟแสดงเวลาในการทดสอบของหม้อแปลงที่ใช้มาตราฐาน IEEE สำหรับหม้อแปลงประเภท 2

2.9 การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วน

2.9.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนเป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายฉนวน แล้วยังเป็นการทดสอบเพื่อแสดงสภาพของฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้า เป้าหมายของการวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนทำเพื่อรับรองว่าค่าการดิสชาร์จบางส่วนจะไม่เป็นอันตรายต่อหม้อแปลงไฟฟ้า การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนสามารถจะระบุตำแหน่งที่ฉนวนเกิดความเครียดของสนามไฟฟ้าภายในหม้อแปลงไฟฟ้าได้ ซึ่งความเครียดของสนามไฟฟ้าอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เมื่อใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเวลานาน

การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนมีการกำหนดให้ทดสอบในมาตรฐานต่างๆ โดยจะทำการทดสอบร่วมกับการทดสอบความคงทนของฉนวนโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แต่สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสงกระแสตรง การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนจะ

ทำการทดสอบ ายแรงดันไฟฟ้า

กระแสตรง ใน ใช้การวัดค่าการ

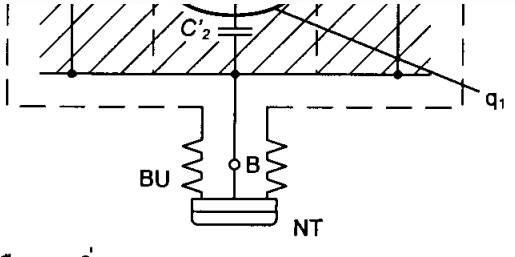
ดิสชาร์จบางส่ว วันดับสุดท้ายของ

การทดสอบควา

ๆ เนื่องจากการที่

ฉนวนเรียงกันเ 2.47 ในระหว่าง

การวัดค่าการดิส ข้าไป



BU คือ บุชชิ่ง

HV คือ ด้านแรงดันสูง

NT คือ จุดต่อนิวทรัล

$C_{1,2,3}$ คือ ส่วนประกอบต่างๆของหม้อแปลง รวมไปถึงน้ำมันหม้อแปลง

C_1 คือ จุดที่มีความบกพร่อง

รูปที่ 2.47 วงจรสมมูลของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของระบบฉนวนของหม้อแปลง

ค่าการดิสชาร์จบางส่วนสามารถแปลงเป็นค่าการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เมื่อประจุเคลื่อนที่อย่างเร็วหรือระหว่างประจุเคลื่อนที่ทันทีในครั้งแรก จุดเชื่อมต่อของฉนวนแต่ละส่วนที่ต่ออนุกรมระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว จะถือเป็นจำนวนของตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมอยู่ในวงจรทดสอบ

ถ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วต่อผ่านตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k ดูรูปที่ 2.48 การเคลื่อนที่ของหระจุในการเรียงตัวแบบอนุกรมของจุดเชื่อมต่อของฉนวนจะถูกสะท้อนไปที่ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k

การตรวจจับการเคลื่อนที่ของประจุสามารถทำได้โดยอาศัยการไหลเวียนของกระแสพัลส์ ในตัวเก็บประจุที่มีการต่อแบบขนานกันคือ C_k และ C_l ดังรูปที่ 2.48

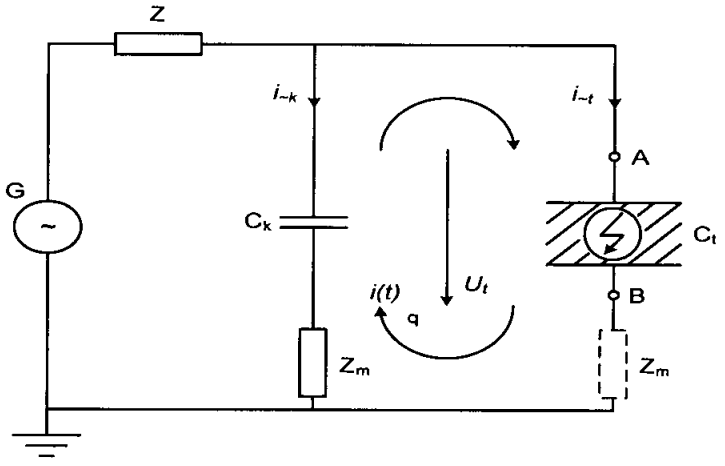
การที่จะเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในจุดบกพร่องของฉนวนต้องมีลักษณะ 2 ประการคือ

ฟฟ้าที่แหล่งจ่าย
วน์
เป็นผลมาจากการ
ออกแบบที่ผิดพ ı หรือการที่วัสดุที่
เป็นฉนวนมีข้อ หายน่าจะเกิดจาก
การทดสอบต่าง

เพัลส์ที่ไหลวนอยู่
ในตัวเก็บประจุ

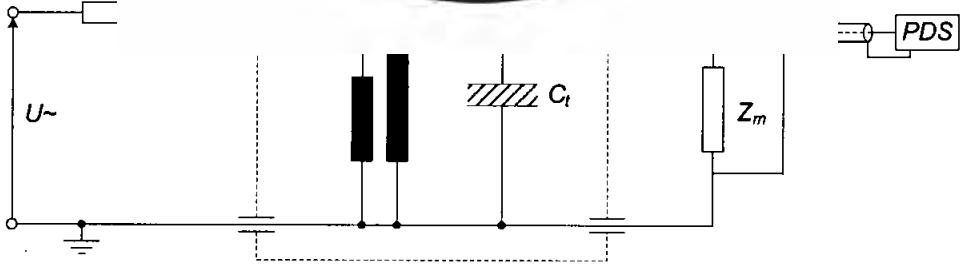
48 อิมพิแดนซ์วัด
Z_m สามารถต่อ เกิดขึ้นจากการที่
ประจุไหลผ่านระ เดรฐาน IEC และ
IEEE ได้มีการดังกฎเพื่อทำการวัดค่าและประเมินค่าสัญญาณที่เกิดจากการดิสชาร์จบางส่วน โดยมีการระบุค่าที่ยอมรับได้ร่วมด้วย มาตรฐาน IEC ได้กล่าวถึงการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าต่างจากมาตรฐาน IEEE โดยที่มาตรฐาน IEC ได้แปลงสัญญาณให้เป็นประจุไฟฟ้าปรากฏโดยให้อยู่ในหน่วย พิโกคูลอมบ์ (pC) แต่มาตรฐาน IEEE ได้แปลงสัญญาณให้เป็นแรงดันรบกวนคลื่นวิทยุ (RIV) โดยให้อยู่ในหน่วยไมโครโวลต์ (μV)

การใช้วิธีแรงดันรบกวนคลื่นวิทยุ สำหรับการตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนยังไม่เป็นที่นิยม และตามมาตรฐาน IEEE วิธีนี้ยังไม่ได้รับรองอย่างเป็นทางการ เพราะฉะนั้นวิธีที่นิยมในปัจจุบันก็คือ การตรวจจับสัญญาณของประจุไฟฟ้าที่ปรากฏในหน่วยพิโกคูลอมบ์ ตามมาตรฐาน IEEE std C57.113



C_t คือ วัตถุทดสอบ

C_k คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว



PDS คือ ระบบวัดการดิสชาร์จบางส่วน

C_k คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว

C_t คือ วัตถุทดสอบ

Z คือ ตัวกรองสัญญาณ

Z_m คือ อิมพิแดนซ์วัด

รูปที่ 2.49 วงจรที่ใช้ทดสอบเมื่อไม่มีบุชชิ่ง

สำหรับการตรวจจับประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ จำเป็นต้องหาผลรวมของกระแสของการดิสชาร์จบางส่วนด้วย โดยการหาผลรวมของกระแสของการดิสชาร์จสามารถหาโดยอาศัยขอบเขตของเวลา (Digital Oscilloscope) หรืออาศัยขอบเขตของความถี่ (band-pass filter) แต่ในส่วนใหญ่นิยมใช้วิธี "Quasi-Integration" ในการตรวจจับกระแสของการดิสชาร์จบางส่วนในขอบเขตของความถี่ โดยใช้ ตัวกรองสัญญาณคลื่นความถี่กว้าง และตัวกรองสัญญาณคลื่นความถี่แคบ

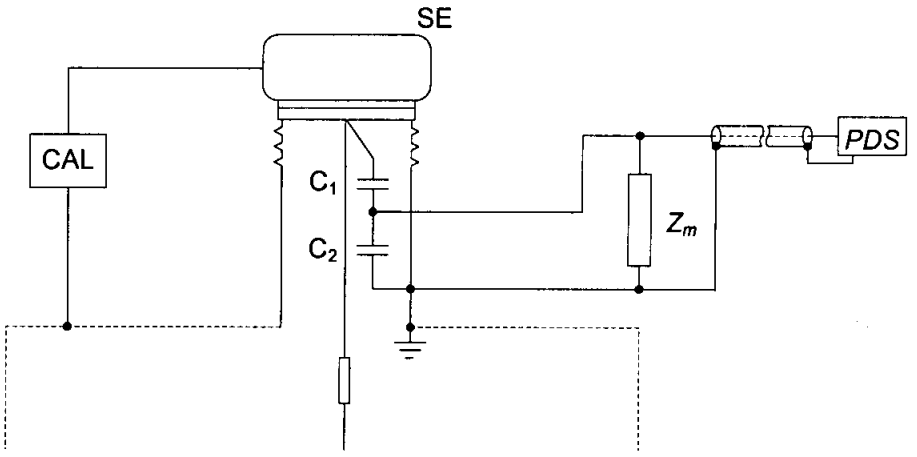
สำหรับช่วงเวลาของกระแสสั้น (นาโนวินาที) แหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ในการทดสอบจะต้องแยกกับวงจรการวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วน โดยการใช้ตัวกรองสัญญาณ Z (การต่อของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น)

สำหรับทางด้านแรงดันสูงที่ไม่มีบุชชิ่ง จำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k ขนานกับวัดถุที่จะทดสอบ C_t ดูในรูปที่ 2.49

PR คือ กระดาษอัดฉนวน
BI คือ ฉนวนหุ้มขดลวด
LV คือ ขดลวดแรงต่ำ
HV คือ ขดลวดแรงสูง
RW คือ ขดลวดเรกกูเรชั่น

รูปที่ 2.50 ระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้า

แปลง ในรูปที่ 2 ดัที่บุชชิ่งของหม้อ
ดัวเก็บประจุ C_t ที่ซึ่งต่อขนานกับ
หม้อแปลงไฟฟ้ นระบบฉนวนของ
2.50 สำหรับหม้ หมดแสดงในรูปที่
นั่นก็คือการต่อข ปที่ทดสอบกับดิน



C_1 คือ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว หรือ C_k

SE คือ อิเล็กโตรด

รูปที่ 2.51 วงจร [illegible] มีคาปาซิทีฟแทป

PDS คือ ระบบวัดการดิสชาร์จบางส่วน

CAL คือ เครื่องคาลิเบรท

SE คือ อิเล็กโตรด

C_k คือ ตัวเก็บประจุภายนอก

Z_m คือ อิมพิแดนซ์วัด

รูปที่ 2.52 วงจรที่ใช้ทดสอบและปรับเทียบการดิสชาร์จบางส่วน สำหรับบุชชิ่งที่ไม่มีคาปาซิทีฟแทป

สำหรับบุชชิ่งที่ไม่มีคาปาซิทีฟแทป จำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุภายนอก C_k ขนานกับบุชชิ่ง ดูในรูปที่ 2.52

การประเมินกระแสของการดิสชาร์จบางส่วน จะมีความแตกต่างบางอย่างระหว่าง มาตรฐาน IEC และ IEEE ดังนี้

1) มาตรฐาน IEC

ตามมาตรฐาน IEC การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนจะกระทำโดยการวัด ประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ q ซึ่งในที่นี้ ประจุไฟฟ้าที่ปรากฏสามารถหาได้โดยการรวมกระแสของการดิสชาร์จบางส่วนโดยอาศัยตัวกรองสัญญาณคลื่นความถี่กว้างหรือตัวกรองสัญญาณคลื่นความถี่แคบ

ระบบการวัดการดิสชาร์จบางส่วนจะต่อผ่านสายโคเอเชียลไปถึงอิมพิแดนซ์วัด Z_m ดูในรูปที่ 2.51 และ 2.52 ประจุไฟฟ้าที่ปรากฏจะถูกวัดในหน่วยพิโกคูลอมบ์ ซึ่งก็คือประจุที่ไหลผ่านระหว่าง ...ึ่งที่ต่อขนาน และตัวเก็บประจุบุช... ที่ 2.51 ...ส่วนภายในบุชชิ่งหรือในระบบฉน... ...างส่วนภายนอก) ถ้าการดิสชาร์จ... ...แหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่ว... (pC) จะถูกทำให้ถูกต้องโดยการ... ...ครื่องปรับเทียบที่ซึ่งประกอบไปด้... ...ะต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุขนาด... ...รวัดการดิสชาร์จบางส่วนของหม... ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวที่ต่อขนาน ...าแยกแต่ละบุชชิ่งเท่านั้น

เมื่อ $C_0 << C_k$ ลูกคลื่นที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดแรงดันลูกคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นประจุไฟฟ้า q_0 ที่ตั้งค่าไว้แล้วโดยการปรับค่า U_o มาตรฐาน IEC 60270 กำหนดให้ ช่วงเวลาขึ้นของลูกคลื่นที่ถูกปล่อยออกมาจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 นาโนวินาที และค่า U_o ต้องอยู่ระกว่าง 2V และ 50V โดยที่สามารถเลือกขั้วทางไฟฟ้า และทำให้ได้ความถี่ 100 Hz

$$q_0 = U_0 \cdot C_0 \tag{2.85}$$

เมื่อ

q_0 คือ ประจุที่ถูกปล่อยออกมา

U_0 คือ แรงดันที่มาจากเครื่องกำเนิดแรงดันลูกคลื่นสี่เหลี่ยม

C_0 คือ ตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับเทียบ

วงจรที่ใช้ในการวัดที่ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุที่ทำการทดสอบ C_t หรือวัดถุทดสอบ ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว C_k อิมพิแดนซ์วัด Z_m สายโคเอเซียล และระบบวัดต้องทำการปรับเทียบแล้ว ดูในรูปที่ 2.51 และ 2.52 ระหว่างการวัดการดิสชาร์จบางส่วน ค่าที่อ่านได้จากระบบวัดจะอ่านออกมาในหน่วยพิโกคูลอมบ์

2) มาตรฐาน IEEE

สำหรับการทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนเป็นประจำ มาตรฐาน IEEE กำหนดให้ใช้วิธี RIV (RIV=Radio Interference Voltage) โดยวิธี RIV นี้จะวัดในหน่วยไมโครโวลต์ ตัวกรองสัญญาณคลื่นความถี่แคบจะใช้วิธี quasi-integration ในการตรวจจับลูกคลื่นของกระแสของการดิสชาร์จบางส่วน โดยอาศัยการตรวจจับ quasi-peak ที่ความถี่ตรงกลางระหว่าง 0.85 MHz และ 1.15 MHz ตัวกรองสัญญาณคลื่นความถี่แคบได้ทำมาเพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากภายนอกในห้องทดสอบที่ไม่มีการป้องกันสัญญาณภายนอกโดยการปรับค่าความถี่ในช่วงของตัวกรองสัญ er"

ซ้ำมาของลูกคลื่น

การดิสชาร์จบาง วสาเหตุที่ทำให้ไม่

สามารถเปลี่ยน าฏในหน่วยพิโกคู

ลอมบ์ (pC) ได้โ

ระบวนการชดเชย

แรงดันดก ΔU าความเป็นตัวเก็บ

ประจุของบุชชิ่ง

เวกับการวัดประจุ

ไฟฟ้าที่ปรากฏ ยน์ที่จ่ายเข้าไปจะ

สัมพันธ์กับค่าที่ μV

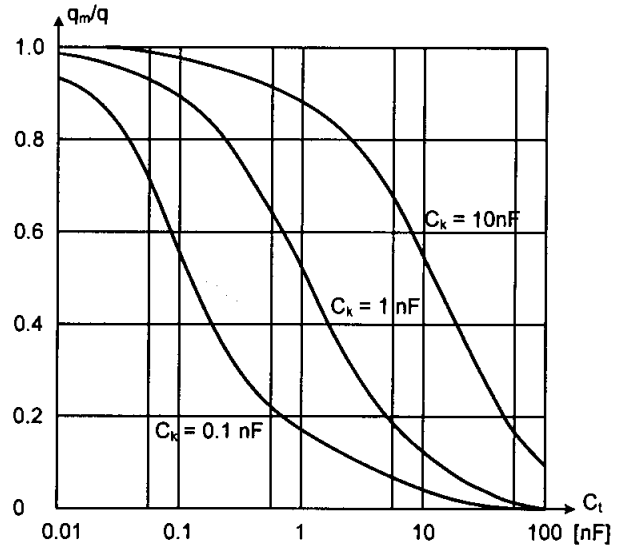
าในหน่วยไมโคร

โวลต์ μV ซึ่งค่า

จากมาตรฐาน IEEE C57.12.90 การดิสชาร์จบางส่วนของหม้อแปลงจะถูกวัดได้ในรูปประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ วิธีการนี้จะให้ข้อดีหลายด้านรวมทั้งการลดทอนของสัญญาณลดลง

3) ความไวในการตรวจจับการดิสชาร์จบางส่วน

ประจุที่เกิดขึ้นจริง q_1 ที่ปล่อยมาในระหว่างการเสียสภาพฉับพลันภายในในจุดที่มีความบกพร่องภายในฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่สามารถวัดค่าได้ ดูในรูปที่ 2.47 มีแต่ประจุที่ถ่ายทอดระหว่างค่าความเป็นตัวเก็บประจุของจุดที่มีความบกพร่อง C_1 และค่าความเป็นตัวเก็บประจุของระบบฉนวน (C_2' และ C_3' ในรูปที่ 2.47) เท่านั้นสามารถวัดได้ที่บุชชิ่ง (C_k) ค่าความเป็นตัวเก็บประจุ C_2' และ C_3' (ชุดขดลวดและระบบฉนวนของหม้อแปลง) จะทำการต่อโดยตรงกับบุชชิ่ง



รูปที่ 2.53 ผล

$$\frac{q_m}{q} = \frac{C_k}{C_t + C_k}$$

ประกอบของวงจร
ทดสอบ โดยเฉพ ตัวเก็บประจุคาบ
เกี่ยว C_k ผลข ร์จบางส่วน แสดง
ไว้ในรูปที่ 2.53 ญ่เกิดขึ้นในวงจร
ทดสอบ เช่นการ

าเนิดการดิสชาร์จ
บางส่วนภายในห งลงโดยเครือข่าย
RLCM ของหม้อ ince และ Mutual
Inductance) ลูก เอาจจะวัดได้ไม่
ถูกต้องเสมอไปด้วยระบบการดิสชาร์จบางส่วนประยุกต์ (applied PD system)

ค่าของประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ q_m ไม่ใช่ประเด็นที่สำคัญในการตัดสินว่าแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนนี้อันตรายต่อระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าเสมอไป กระบวนการตรวจสอบแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนภายในจะถูกอธิบายไว้ในหัวข้อ กระบวนการการตรวจจับแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน

ปกติแล้ว Z_m และระบบการวัด จะต้องเข้ากันได้ดีกับ "quasi-integration" ของกระแสของการดิสชาร์จบางส่วน และจะไม่แนะนำการใช้อิมพิแดนซ์วัด Z_m ผสมผสานกับระบบตรวจจับที่มาจากแหล่งผลิตที่ต่างกัน

สำหรับการทดสอบแบบส่งต่อ จะใช้ในการวัดบุชชิ่งที่มี $U_m > 72.5\,kV$ (IEC) หรือ $U_m > 115\,kV$ (IEEE) แนะนำว่าบุชชิ่งทั้งหมดที่ทำการทดสอบจะต้องดิดตั้งอิมพิแดนซ์วัด

Z_m เพื่อให้มั่นใจว่าการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะสามารถตรวจจับได้ในเวลาเดียวกัน ถ้าการดิสชาร์จบางส่วนถูกตรวจจับในวงจรทดสอบ การบอกตำแหน่งของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนจะทำได้รวดเร็วขึ้น

เพื่อหลีกเลี่ยงการดีสชาร์จภายนอก(โคโรนา) วงจรวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนสำหรับบุชชิ่งทั้งหมดของหม้อแปลงจะต้องดิดตั้งอิเล็กโตรด รวมไปถึงบุชชิ่งต้องต่อลงดินด้วย ดูในรูปที่ 2.51 และ 2.52 อิเล็กโตรดจะถูกใช้กับทุกส่วนที่มีความแหลมคมในส่วนบนสุดของหม้อแปลงและที่จุดเชื่อมต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในห้องทดสอบแรงดันสูงควรปราศจากการดิสชาร์จบางส่วนด้วย วัดถุทุกชิ้นที่อยู่ในบริเวณที่ทำการทดสอบจะต้องต่อลงดิน

2.9.5 กระบวนการวัดการดิสชาร์จบางส่วน

กระบวนการวัดการดิสชาร์จบางส่วนได้อธิบายไว้เรื่องการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแร EC และมาตรฐาน IEEE บางครั้งข ปดามแต่ละความต้องการ และปร

ดสอบร่วมกับการทดสอบความคง วัดถุทดสอบ U_m เหนือระดับปกติ แสสลับระยะยาวหรือทดสอบด้วย า U_m ซึ่งได้กล่าวไว้ในเรื่องการทด ะ 2.45

มากกว่า 72.5 kV สำหรับตัวกรอง มถี่แคบสามารถนำมาใช้ในระบบ

เสอบต่ำ ๆ ตาม มาตรฐาน IEC สัญญาณรบกวนพื้นหลังต้องต่ำกว่าคริงหนึ่งของประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ ในห้องทดสอบที่มีการป้องกันสัญญาณรบกวนค่าสัญญาณรบกวนพื้นหลังจะมีค่าน้อยมาก

การวัดการดิสชาร์จบางส่วนควรทำที่แรงดันทดสอบที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.44 และ 2.45 ควรมีการจดบันทึกค่าที่วัดได้ในหน่วยพิโกคูลอมบ์ทุกค่าที่บุชชิ่ง

ระหว่างการทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ การวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วนจะถูกทำทุกๆ 5 นาที ในแต่ละบุชชิ่ง วิธีที่ดีที่สุดในการตรวจสอบการดิสชาร์จบางส่วนของระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าคือการใช้ระบบการวัดหลายช่องสัญญาณ ที่สามารถวัดทุก ๆบุชชิ่งได้พร้อมกัน

ค่าที่ยอมรับได้สำหรับการวัดค่าการดีสชาร์จบางส่วน

การทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนจะประสบผลสำเร็จก็ต่อเมื่อไม่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนต่อเนื่องมากกว่าค่าประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ ในหน่วยพิโกคูลอมบ์ที่บุชชิ่งอันใดอันหนึ่ง หรือเมื่อไม่มีค่าประจุไฟฟ้าปรากฏเพิ่มขึ้นในช่วงทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับระยะยาว

ค่าประจุไฟฟ้าปรากฏที่ยอมรับได้ในมาตรฐาน IEC คือ

- 300 pC ที่ 130% U_m
- 500 pC ที่ 150% U_m
- ระดับของการดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ต้องไม่มากกว่า 100 pC ที่ $1.1\,U_m$

เมื่อ

U_m คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการทดสอบตามที่มาตรฐาน IEC กำหนด หรือแรงดันเฟส ...ุกออกแบบขึ้นมาเป็นพิเศษ

...ระดับเดียวกัน 1 ชั่วโมง ของแรง... ...น 1 ชั่วโมง ในรูป 2.46 ระยะเวลา... ...น (อย่างน้อย 10 นาที)

...นทดสอบมากกว่า หรือเท่ากับ 115 ...รองสัญญาณคลื่น ความถี่แคบจะถู... ...เลื่นความถี่แคบที่ แนะนำคือ 1 MH... ...วรอยู่ในช่วง 0.85 MHz ถึง 1.15 M...

...ลด์ μV) ควรทำที่ระดับแรงดันทดสอบต่ำๆ ซึ่งค่านี้ใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลังในห้องทดสอบ จากมาตรฐานค่าระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลังควรต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของค่า μV ของหม้อแปลงที่ต้องการ ส่วนในห้องปฏิบัติการที่มีการป้องกันสัญญาณรบกวน ค่าระดับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง ต้องมีค่าต่ำมาก

ค่าที่ยอมรับได้สำหรับการวัดค่าการดีสชาร์จบางส่วน

การวัดการดิสชาร์จบางส่วนจะประสบผลสำเร็จก็ต่อเมื่อไม่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนมากกว่าระดับ RIV ที่กำหนดที่บุชชิ่งอันใดอันหนึ่ง หรือไม่เกิด RIV ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสสลับระยะยาว ดามมาตรฐาน IEEE การทดสอบการดิสชาร์จบางส่วน จะประสบผลสำเร็จก็ต่อเมื่อมีคุณสมบัติครบดามนี้

- ขนาดของระดับการดิสชาร์จบางส่วน ไม่เกิน 100 μV
- ระดับการดิสชาร์จบางส่วนสามารถเพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 30 μV ระหว่างการทดสอบที่ระดับแรงดันเดียวกัน 1 ชั่วโมง
- ระดับการดิสชาร์จบางส่วนไม่มีการเพิ่งขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที ของการทดสอบ

2.9.6 กระบวนการสืบหาแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน

ถ้าการดิสชาร์จบางส่วนมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้จะต้องมีการหาแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนทั้งในและนอกระบบฉนวน วิธีการหาจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการดิสชาร์จบางส่วนด้วย

1) การหาแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนภายนอก

ขั้นแรก คือ การนำแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนภายนอกที่เป็นไปได้ออกทั้งหมด โดยแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนภายนอกที่เป็นไปได้ เช่น หม้อแปลงหรือวงจรทดสอบ แหล่งจ่ายแรงดันทดสอบ โดรดจะสามารถตรวจจับได้โดยก้ได้โดยการแยกวัดการดิสชาร์จบบซึ่งมีลักษณะเฉพาะโดยข้อมูลทางสถิติของการดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการมีอิเล็กตรอนเริ่มต้นอย่างเพียงพอซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการดิสชาร์จของไฟฟ้าในจุดที่มีความบกพร่องของระบบฉนวนของหม้อแปลง ดูลักษณะทางกายภาพของการเกิดดิสชาร์จในภาคผนวก ก การมีอิเล็กตรอนเริ่มต้นอย่างเพียงพอนั้นก็ขึ้นกับชนิดของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนด้วย และขึ้นกับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนด้วย เป็นผลให้มี 5 ลักษณะที่แสดงถึงแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน ดูในตารางที่ 2.5

รูปแบบของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนจะขึ้นกับลักษณะของการดิสชาร์จที่จุดที่มีการบกพร่อง และตามทฤษฎีจะสามารถตรวจจับได้ในระบบฉนวนทั่วไปรูปแบบของการดิสชาร์จบางส่วนจะไม่ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างของระบบฉนวน

การตรวจจับการดิสชาร์ดบางส่วนได้พัฒนาขึ้นโดยเรียกว่า PRPDA (Phase Resolving Partial Discharge Analyser) ใช้บันทึกรูปแบบของการดิสชาร์จบางส่วน ระบบตรวจจับที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะแสดงการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลของการดิสชาร์จบางส่วน ที่แรงดันทดสอบเฉพาะการดิสชาร์จบางส่วนจะถูกบันทึกเป็นฟังก์ชั่นของตำแหน่งของเฟสและฟังก์ชั่นของค่าประจุไฟฟ้าที่ปรากฏ ระหว่างเวลาที่กำหนด ผลที่ได้จะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ในรูปที่ 2.54 สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนจะต้องมีอย่างน้อย 3000 cycle สำหรับแหล่งจ่าย 50 Hz ต้องใช้เวลาวัด 60 วินาที

รูปที่ 2.55 แสดงลูกคลื่นของการดิสชาร์จบางส่วนใน 1 cycle ซึ่งบันทึกโดยระบบวัดแบบดั้งเดิม ในการสืบหาแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน และรูปแบบของการดิสชาร์จบางส่วนครั้งแรกควรบันทึกภายใต้สภาพการทดสอบดังต่อไปนี้

เปรียบเทียบ ค่า

การดิสชาร์จที่เ

ารฐานที่แสดงใน

ตารางที่ 2.5

แบบจะมีความ

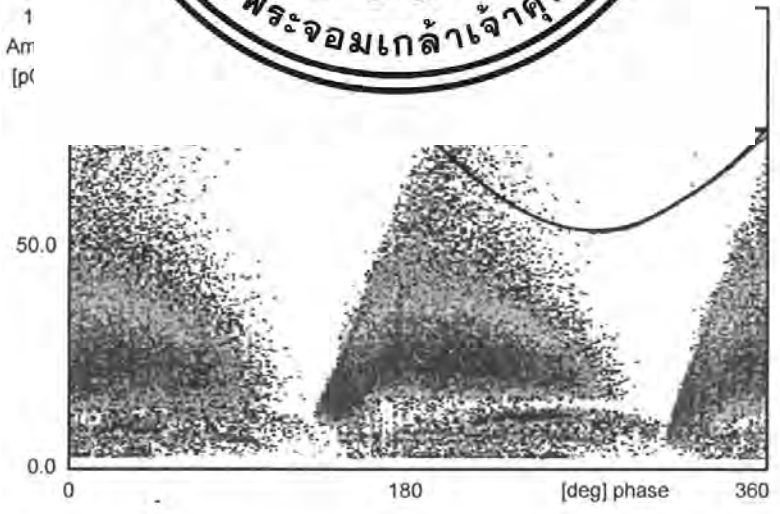
หลากหลายมาก

าร์จบางส่วน และ

แหล่งกำเนิดการ

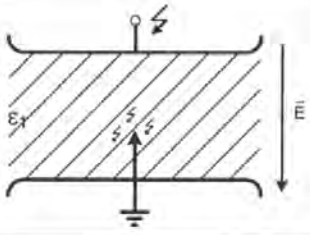
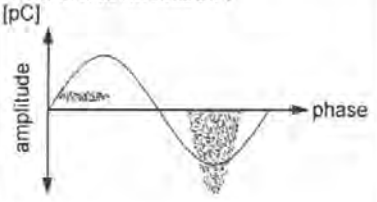
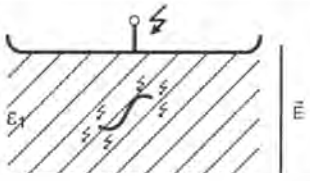
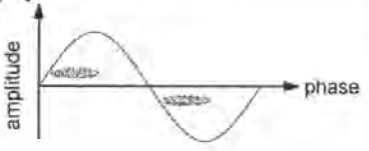
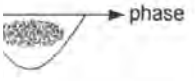
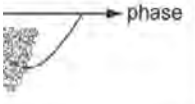
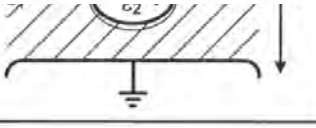
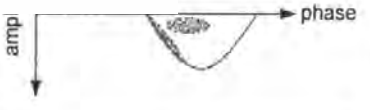
พฤติกรรมที่คงที่

ระหว่างการทดส



รูปที่ 2.54 การตรวจจับสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้วิธี PRPDA

ตารางที่ 2.5 แสดงชนิดของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วนในระบบฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

ชนิดของแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน	รูปจำลองแหล่งกำเนิดการดิสชาร์จบางส่วน	รูปแบบของการดิสชาร์จบางส่วน
โลหะที่เป็นตัวนำที่มีส่วนที่ติดกับอิเล็กโตรดโลหะโดยตรง		การดิสชาร์จบางส่วนแบบที่ 1 
โลหะที่เป็นตัวนำไม่มีส่วนที่ติดกับอิเล็กโตรดโลหะ		การดิสชาร์จบางส่วนแบบที่ 2 
วัตถุที่ไม่เป็นตัวนำ (โ มีส่วนที่ติดกับอิเล็กโ		...บบที่ 3 
วัตถุที่ไม่เป็นตัวนำ (โ ไม่มีส่วนที่ติดกับอิเล็ก		...บบที่ 4 
วัตถุที่ไม่เป็นตัวนำ (โ ไม่มีส่วนที่ติดกับอิเล็ก มีหน้าสัมผัสไม่คงที่		...บบที่ 5 

ลิขสิทธิ์โดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

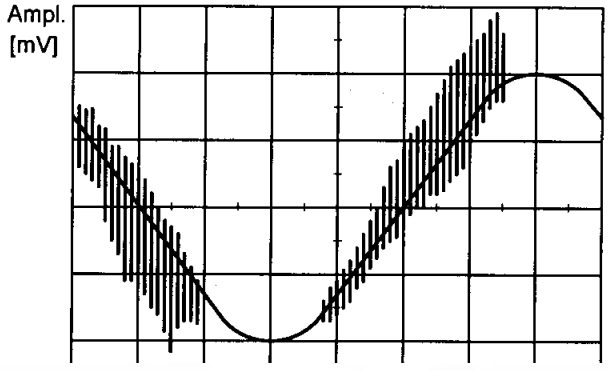
คุณลักษณะของรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ควรนำมาวิเคราะห์คือ

1. ตำแหน่งเฟสของสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วน

2. ความมีสมมาตรของสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนระหว่างด้านบวกและด้านลบของรูปคลื่นซายน์

3. จำนวนของสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนต่อหนึ่งรอบคลื่น

การเทียบผลให้ถูกรูปแบบของรูปแบบมาตรฐานด้องอาศัยประสบการณ์ และความสามารถในการเข้าใจ ถ้าจุดบกพร่องถูกซ้อนทับ การเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐาน และหาลักษณะของรูปแบบให้ถูกต้องก็จะยากขึ้นไปอีก



รูปที่ 2. บดั้งเดิม

แปลงไฟฟ้า การ

หาดำแหน่งของ รอื่น ๆ เช่น การ

ดรวจจับเสียงที่เกิดขึ้น เป็นต้น

2.9.7 ความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าการดิสชาร์จบางส่วน

การปรับเทียบค่าประจุปรากฏที่วัดได้ในหน่วยพิโกคูลอมบ์ และในหน่วยไมโครโวลต์ จะใช้ได้เฉพาะกับการดิสชาร์จบางส่วนที่ใกล้กับบุชชิ่งเท่านั้น สำหรับการดิสชาร์จบางส่วนอื่นๆที่ไกลจากบุชชิ่งความคลาดเคลื่อนอาจมากกว่า 50%

ปรากฏการเรโซแนนซ์ในวงจรการวัดการดิสชาร์จบางส่วนมีผลกับระบบ RIV แล้วอาจทำให้เกิดค่าที่ผิดพลาดถ้าความถี่ดรงกลางของตัวกรองสัญญาณความถี่แคบเป็นค่าเดียวกับความถี่เรโซแนนซ์ในวงจรการดรวจจับการดิสชาร์จบางส่วน

การเปลี่ยนค่าแรงดันที่วัดได้ในหน่วยไมโครโวลต์ เป็นค่าประจุไฟฟ้าปรากฏ จะทำได้ในบางกรณีเท่านั้น

2.10 การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

2.10.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เนื่องจากในการใช้งานจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงอันดรายอันเกิดจากฟ้าผ่า และการสวิตช์ชิ่งได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทดสอบความคงทนของฉนวนว่าสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า และการถูกรบกวนระบบอันเกิดจากการสวิตช์ชิ่งได้หรือไม่

2.10.2 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบ

1) ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเต็ม

ตามมาตรฐาน IEC และ IEEE ได้บอกถึงลักษณะของรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าเต็มไว้ดังรูปที่ 2.56

มคลาดเคลื่อนได้ประมาณ ±30%

มคลาดเคลื่อนได้ประมาณ ±20%

รถสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่สมบูรณ์แ ร้างเส้นตรงที่ลากผ่านจุดที่มีค่า 3(เจุดสองจุดเท่ากับ T แล้วเราสามาร

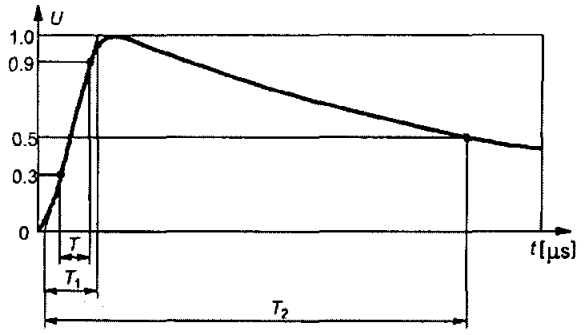
(2.86)

สุดของรูปคลื่นสูงกว่าแรงดันอิมพั มรูปที่ 2.57 เป็นระยะเวลา 2-6 μs และค่าโอเวอร์ชูต (Os) ทผานเสนตดศูนยครงแรกจะดองมีค่าไม่เกิน 30% ของแอมพลิจูดที่ทำการทดสอบ

ตามมาตรฐานของ IEEE กล่าวว่าหางคลื่นของแรงดันอิมพัลส์สับจะต้องมีลักษณะไปในทางเดียวกับหางของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเต็ม โดยที่ค่าของแรงดันทดสอบและระยะเวลาของคลื่นที่ถูกตัดสามารถดูได้จากตารางที่ 2.3 ในมาตรฐาน IEEE C57.12.00 [50] และมีจุดสูงสุดของรูปคลื่นสูงกว่ารูปคลื่นแบบเต็มอยู่ประมาณ 10% มีโอเวอร์ชู้ดไม่เกิน 30%

3) ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันชนิดนี้ตามมาตรฐาน IEC และ IEEE สามารถดูได้จากรูปที่ 2.56 โดยมีรายละเอียดของลักษณะของรูปคลื่นดังนี้



รูปที่ 2.56 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเด็ม

รูปที่ 2.58 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

มีระยะเวลาหน้าคลื่น (T_1) $\geq$ 100 μs โดยที่ T_1 = 1.67T

มีระยะเวลาถึง 90% ของค่ายอด (T_d) $\geq$ 200 μs

มีระยะเวลาที่ค่าแรงดันดกมาเป็นศูนย์ $T_z \geq 500$ μs จะดีกว่าถ้า

$T_z \geq 1000$ μs (IEC) , $T_z \geq 1000$ μs (IEEE)

โดยที่ระยะเวลา T คือ ระยะเวลาตั้งแต่ ค่าแรงดัน 30% ถึงค่า 90% ของค่ายอด

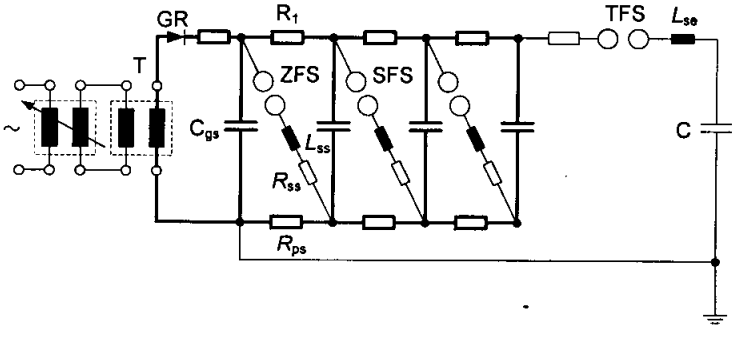
4) หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์มีวงจรดังรูปที่ 2.59 โดยมีหลักการทำงานดังนี้

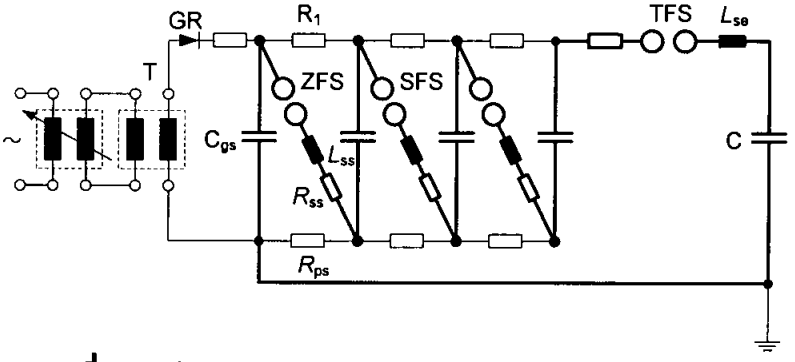
1. ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากห้องทดสอบเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วทำการสะสมแรงดันไว้ในตัวเก็บประจุแต่ละชั้น ตัวเครื่องจะการสะสมแรงดันในลักษณะขนานกันไปทุกชั้นที่ใช้งานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยมีสเฟียร์แกปทำหน้าที่เสมือนตัวต้านทานขนาดใหญ่เพื่อป้องกันการลัดวงจรของแรงดัน โดยดูการสะสมแรงดันได้จากรูปที่ 2.60

2. เมื่อทำการสะสมแรงดันจนถึงค่าที่จะทำการทดสอบแล้ว ไกสวิตช์ที่อยู่ในสเฟียร์แกปจะทำการเพิ่มความเครียดสนามไฟฟ้าขึ้น เพื่อเป็นการจุดชนวนให้เกิดการเบรกดาวน์ผ่านสเฟียร์แกป หลังจากนั้นแรงดันที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุแต่ละชั้นจะเบรกดาวน์ผ่านสเฟียร์แกปในแต่ละชั้น โดยค่าแรงดันที่ได้ในขั้นสุดท้ายจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุแต่ละชั้นนำมาอนุกรมกัน ดูการปล่อยแรงดันอิมพัลส์ได้จากรูปที่ 2.61

เป็นการทดสอบ
ความคงทนของ งดัน ความคงทน
ของฉนวนระหว่ เนวนระหว่างรอบ



รูปที่ 2.60 ลักษณะทางเดินของกระแสขณะทำการสะสมแรงดัน



รูปที่ 2.61 ลักษณะทางเดินของกระแสขณะทำการปล่อยแรงดัน

ในขดลวดแรงดัน โดยบริเวณที่จะได้รับผลกระทบจากแรงดันอิมพัลส์มากที่สุด คือ บริเวณส่วนหน้าของขดลวดที่ได้รับแรงดันอิมพัลส์ก่อน หลังจากนั้นความรุนแรงของแรงดัน ก็จะค่อยๆ ลดล งรอบของขดลวด แรงดันจึงสามาร

งไฟฟ้าลูกหนึ่งๆ จะต้องทำการทด ยกว่าค่า บีไอแอล (BIL: Basic ligh และค่า บีเอสแอล (BSL: Basic sv ดซ์ซิ่ง โดยค่าที่จะ เป็นตัวกำหนดค องกันหม้อแปลง ไฟฟ้าจากแรงดั

ผู้ทดสอบจะทำ การทดสอบแรง เปลงไฟฟ้ามีแทป จะทำการทดสอ อบแรงดันอิมพัลส์ สวิตซ์ซิ่งจะทำก ะของแรงดันที่ใช้ ทดสอบนั้นจะเ เวอร์ผ่านอากาศ ระหว่างบุชซิ่งหรื

ในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์จะต้องกระทำก่อนการทดสอบความคงทนของฉนวนประเภทอื่น และตามมาตรฐาน IEC กำหนดให้มีการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตซ์ซิ่งเป็นอันดับแรก เนื่องจากแรงดันอิมพัลส์ที่ผ่านหม้อแปลงในขณะการทดสอบนั้น มีระยะเวลาที่แรงดันไหลผ่านหม้อแปลงที่สั้นมาก โดยมิอาจสังเกตได้จากความผิดปกติจากรูปคลื่นเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อสถานการณ์อื่นๆ เป็นการตรวจสอบลักษณะของฉนวนหลังการทดสอบแรงดันอิมพัลส์เพื่อความมั่นใจว่าฉนวนสามารถทนต่อการทดสอบได้

ลำดับในการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์นั้น ในกรณีที่ต้องทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตซ์ซิ่ง ผู้ทดสอบจะต้องทำการทดสอบในหัวข้อนี้ก่อนจึงตามด้วยการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า โดยมีรายละเอียดตามแต่ละมาตรฐานดังนี้

1) การทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

มาตรฐาน IEC มีลำดับดังนี้

1. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่มีขนาดแรงดันต่ำกว่าแรงดันทดสอบบีไอแอลหนึ่งครั้ง (มีค่าประมาณ 50%-75% ของแรงดันบีไอแอล) เพื่อใช้เป็นรูปคลื่นอ้างอิง

2. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่ระดับแรงดันทดสอบบีไอแอลหนึ่งครั้ง (100% ของ BIL)

3. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสับที่มีขนาดต่ำกว่าแรงดันทดสอบบีไอแอล หนึ่งครั้ง หรือมากกว่า

4. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสับที่ระดับแรงดันทดสอบบีไอแอลสองครั้ง

เทดสอบบีไอแอล

สองครั้ง

วามต้องการของ

ผู้ใช้งานหม้อแป ว% ของแรงดัน

ทดสอบบีไอแอล

ดันต่ำกว่าแรงดัน

ทดสอบ บีไอ

ผลิจูดที่มาดรฐาน

กำหนดสองครั้ง สอบหากผู้ใช้งาน

หม้อแปลงต้องก

เลิจูดที่มาดรฐาน

กำหนดสองครั้ง

4. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่ระดับแรงดันทดสอบบีไอแอลหนึ่งครั้ง

2) การทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

มีลำดับการทดสอบดังนี้

1. ทำการทดสอบด้วยแรงดันที่มีขนาดต่ำกว่าค่าแรงดันทดสอบที่มาตรฐานกำหนดหนึ่งครั้ง ค่าที่ทำการทดสอบจะมีค่าประมาณ 60% ของแรงดันทดสอบ

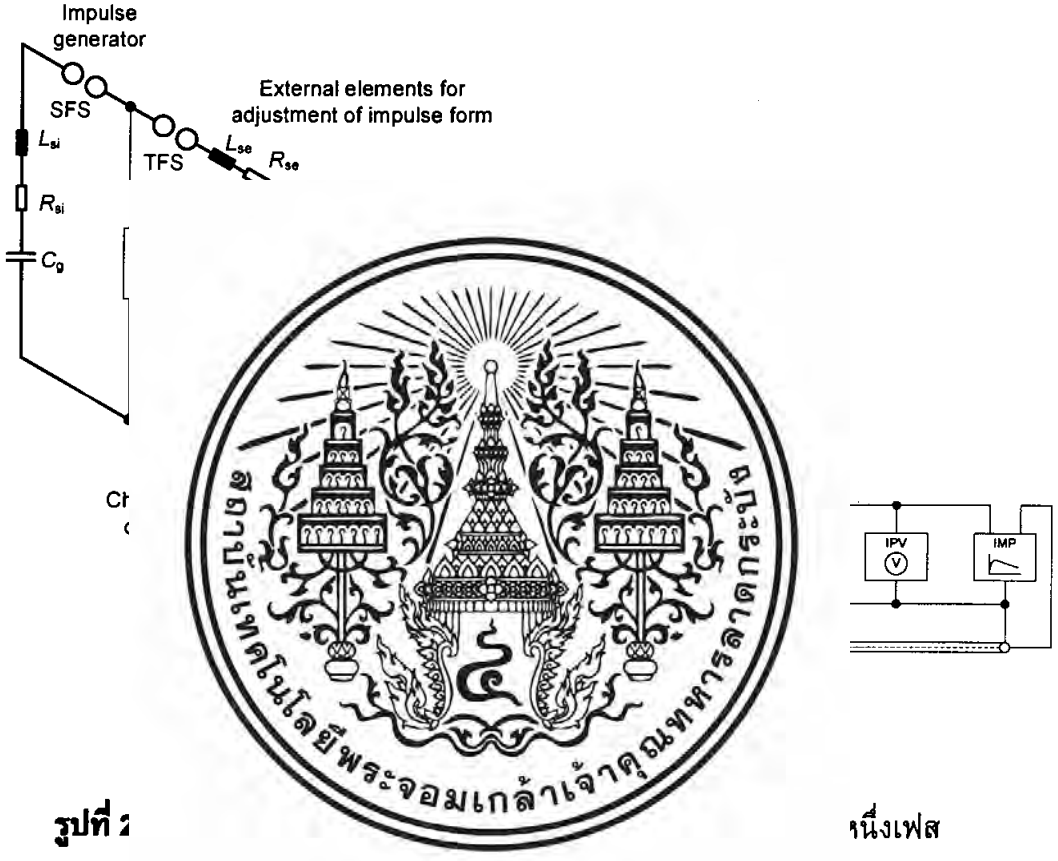
2. ทำการทดสอบที่ระดับแรงดันทดสอบ โดยตามาตรฐาน IEC ทำการทดสอบ 3 ครั้ง และตามมาตรฐาน IEEE ทดสอบ 2 ครั้ง

2.10.4 วงจรการทดสอบ

วงจรการทดสอบมีรูปวงจรดังรูปที่ 2.62 สามารถแบ่งวงจรออกได้สามส่วนดังนี้

1. วงจรหลัก แสดงลักษณะเส้นหนา
2. วงจรวัดแรงดัน แสดงในลักษณะเส้นปกติ
3. วงจรชอปปิ้งแกป แสดงในลักษณะเส้นประ

วงจรทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ซึ่งก็จะมีลักษณะเดียวกับรูป 2.62 มีเพียงแต่ค่าความต้านทานและค่าความเก็บประจุเท่านั้นที่แตกต่างออกไป



รูปที่ 2 นึ่งเฟส

จากรูปวงจรที่ 2.62 จะพบว่าในการวัดค่ากระแสนั้นจะทำโดยการต่อตัวต้านทานชันต์อนุกรมกับวงจร ซึ่งการต่อตัวต้านทานชันต์นี้สามารถต่อได้ 3 วิธีตามบริเวณที่เราต้องการทดสอบความคงทนของฉนวน ดังนี้

1. การต่อตัวต้านทานชันต์โดยตรงกับขดลวดแรงดันที่ทำการทดสอบ เป็นการทดสอบความคงทนของฉนวนระหว่างรอบในขดลวดแรงดันของหม้อแปลง ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความนิยมที่สุด เนื่องมีจากการดอบสนองต่อค่าของกระแสได้ดี อีกทั้งความรุนแรงของแรงดันอิมพัลส์ที่เกิดขึ้นนั้นจะมีมากที่สุดบริเวณขดลวดแรงดัน แต่การใช้วิธีการนี้กับขดลวดแรงดันต่ำที่มีกระแสสูงอาจสร้างความเสียหายให้กับตัวต้านทานชันต์ได้

2. การต่อตัวต้านทานชันต์ที่ขดลวดแรงดันที่ไม่ได้ทำการป้อนแรงดันอิมพัลส์ วิธีนี้จะเป็นการทดสอบความคงทนของฉนวนระหว่างขดลวดแรงดัน วิธีนี้จะลดโอกาสการเกิด

ความเสียหายให้กับตัวต้านทานซันด์ได้มาก แต่การตอบสนองต่อข้อบกพร่องของฉนวนก็ลดน้อยตามไปด้วย วิธีนี้จึงจะใช้ในกรณีที่มีกระแสจากแรงดันอิมพัลส์สูง หรือกรณีที่ตรวจพบความผิดพลาดจากรูปคลื่นแรงดันแล้วต้องการตรวจสอบบริเวณที่ฉนวนมีข้อบกพร่อง

3. การต่อตัวต้านทานซันด์บริเวณตัวถังของหม้อแปลง วิธีนี้จะเป็นการทดสอบความคงทนของฉนวนระหว่างขดลวดแรงดันกับตัวถังของหม้อแปลง แต่เนื่องจากความรุนแรงของแรงดันอิมพัลส์ที่มีต่อฉนวนบริเวณนี้มีน้อยมาก อีกทั้งการตอบสนองต่อความบกพร่องมีน้อย วิธีการนี้จึงจะใช้ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบหาสาเหตุของข้อบกพร่องเท่านั้น

ในการทดสอบนั้นผู้ทดสอบสามารถเลือกใช้วิธีใดก็ได้ แต่หากใช้วิธีใดแล้วต้องใช้วิธีนั้นในการทำการทดสอบทุกเฟส และทุกขดลวดแรงดัน โดยในรายงานฉบับนี้จะเน้นในการต่อตัวต้านทานซันด์โดยตรงกับขดลวดแรงดันเท่านั้น

1) วงจรการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

อบหม้อแปลงต่อ

แรงดันอิมพัลส์ฟ้

ารามิเตอร์ต่าง ๆ

สำหรับวงจรการ

งจรที่จะใช้ในการ

ทดสอบ ซึ่งจะส่

วงจรทดสอบของ

การต่อวงจรวัดก

ที่ 2.63 และหม้อ

แปลงสามเฟสดู

การทดสอบจะทำ

การต่อลงกราวด์

บบอัตโนมัติ หรือ

กรณีที่ต้องการเ

านก่อน และตาม

มาตรฐาน IEC

ยผ่านอิมพีแดนซ์

ซันด์ที่มีค่าน้อย

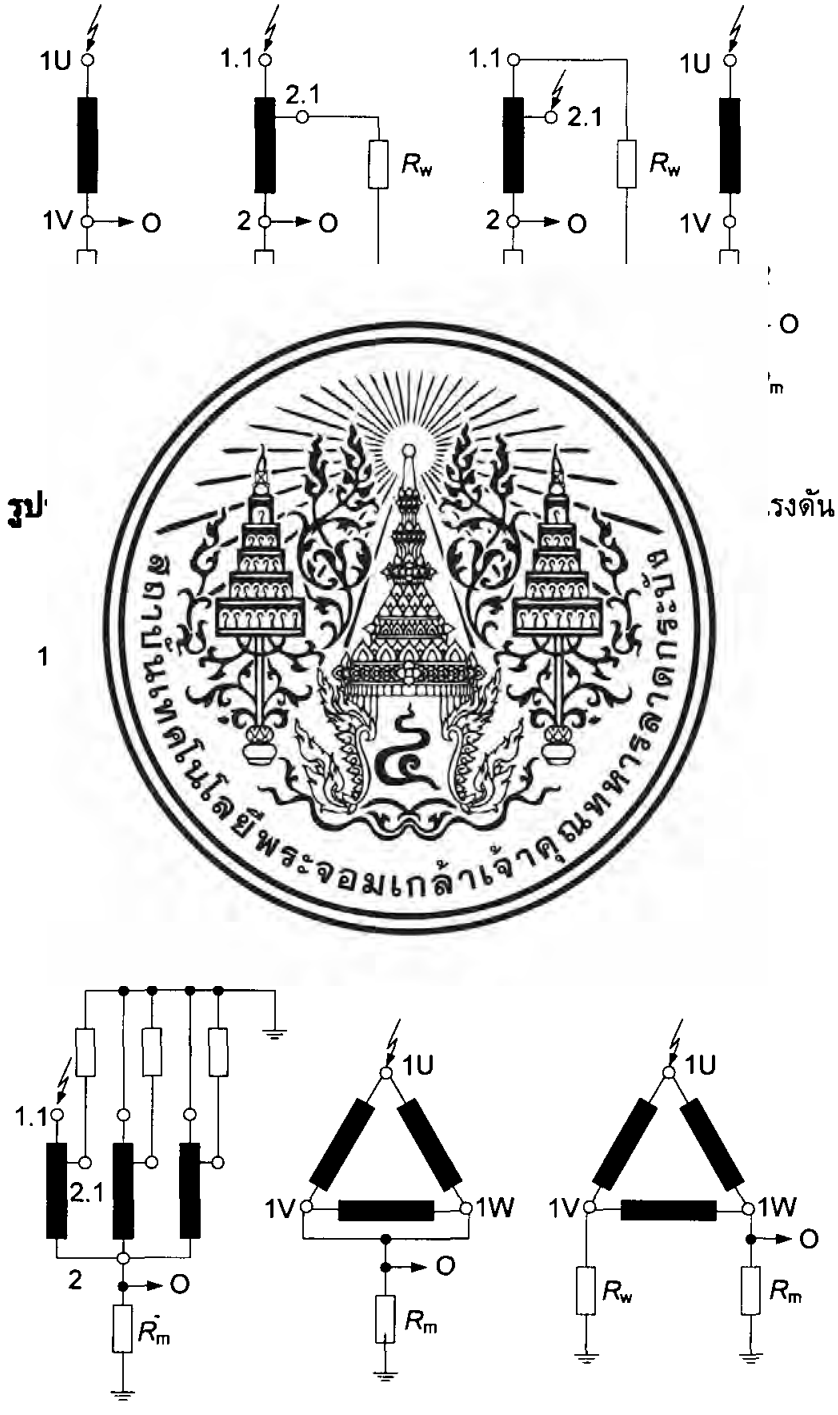
ตำแหน่งของแทปที่ทำการทดสอบนั้นจะมีความแตกต่างของมาตรฐาน IEC และ IEEE โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตามมาตรฐาน IEC การทดสอบจะทำการทดสอบที่แทปพิกัด แทปสูงสุด และแทปต่ำสุด ส่วนแทปอื่นจะทำการทดสอบหรือไม่ก็ได้ แต่ถ้าหากว่าหม้อแปลงที่ทำการทดสอบมีความต่างของแทปไม่เกิน 5% มาตรฐานกำหนดให้สามารถทำการทดสอบที่แทปพิกัดเพียงแทปเดียวก็ได้ ส่วนการทดสอบที่นิวทรัลนั้นให้เลือกใช้แทปที่ให้อัตราส่วนระหว่างแรงดันสูงที่สุดสำหรับทำการทดสอบ

ตามมาตรฐาน IEEE การทดสอบจะทำการทดสอบที่แทปที่ให้ค่าความเครียดต่อรอบภายในขดลวดแรงดันที่ทำการทดสอบน้อยที่สุด

การทดสอบแรงดันอิมพัลส์ที่จุดนิวทรัล เมื่อจุดนิวทรัลของขดลวดมีค่าพิกัดที่สามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ เราสามารถทำการทดสอบได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีการโดยอ้อม มีวิธีการคือ ทำการป้อนแรงดันอิมพัลส์เข้าพร้อมกันทุกเฟสของขดลวดแรงดัน ส่วนนิวทรัลให้ทำการต่อลงกราวด์โดยผ่านค่าอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่ง หรือปล่อยลอยไว้ เมื่อทำการป้อนค่าแรงดันอิมพัลส์ตามมาตรฐานเข้าที่ทุกเฟส ค่าแอมพลิจูดจะลดค่าลงมาอยู่ในระดับสำหรับการทดสอบจุดนิวทรัล แต่การทดสอบนี้รูปคลื่นที่ได้จะไม่มีความแน่นอน



รูปที่ 2.64 ลักษณะต่างๆ ของการต่อวงจรทดสอบเข้ากับขดลวดแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

2. วิธีการโดยอ้อม มีวิธีการคือ ทำการป้อนแรงดันอิมพัลส์เข้าพร้อมกันทุกเฟสของขดลวดแรงดัน ส่วนนิวทรัลให้ทำการต่อลงกราวด์โดยผ่านค่าอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่ง หรือปล่อยลอยไว้ เมื่อทำการป้อนค่าแรงดันอิมพัลส์ตามมาตรฐานเข้าที่ทุกเฟส ค่าแอมพลิจูดจะลดค่าลงมาอยู่ในระดับสำหรับการทดสอบจุดนิวทรัล แต่การทดสอบนี้รูปคลื่นที่ได้จะไม่มีความแน่นอน

3. วิธีการโดยตรง คือการป้อนแรงดันอิมพัลส์เข้าที่จุดนิวทรัลโดยตรง ส่วนไลน์ทุกเฟสให้ทำการต่อลงกราวด์ หากใช้วิธีนี้ในการทดสอบระยะเวลาหน้าคลื่นของรูปคลื่นมาตรฐาน IEC กำหนดให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้ถึง 13 μs และมาตรฐาน IEEE กำหนดให้เพิ่มขึ้นได้ถึง 10 μs และมาตรฐาน IEEE จะยอมรับเฉพาะการทดสอบโดยตรงเท่านั้น

2) วงจรการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

วงจรสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสดูรูปที่ 2.65 แรงดันที่กระจายในขดลวดจะมีลักษณะเป็นลิเนียร์คล้ายกับในการทดสอบแรงดันเหนี่ยวนำ ในขณะที่ทำการทดสอบขดลวดที่ไม่ได้ทำการ[illegible]น้ด้วย ดังนั้นการทดสอบจึงทำเพื[illegible]

[illegible]มือนการทดสอบแรงดันอิมพัลส์[illegible]าดสอบให้ทำการลัดวงจรหรือต่อ[illegible]

[illegible]น้ที่มีระดับแรงดันสูงที่สุด คือ การ[illegible]สอบที่ขดลวดที่มีระดับแรงดันน้อ[illegible]ะดับเดียวกับที่ใช้ทดสอบที่ขดลว[illegible]

[illegible]ดันสูงเฟสที่ไม่ได้ทำการทดสอบ[illegible]ในเฟสที่ไม่ได้ทำการทดสอบ

[illegible]ทฤษฎีแล้วจะมีค่าตามอัตราส่วนของรอบของขดลวดแต่การแกว่งอาจทำให้แรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงต้องทำการตรวจสอบกับแรงดันย่อขนาดที่ใช้ในการอ้างอิง

มาตรฐาน IEC ต้องการให้หม้อแปลงสามเฟสที่มีการต่อแบบสตาร์ให้ทำการต่อวงจรดามรูปที่ 2.66 โดยนิวทรัลจะต้องทำการต่อลงกราวด์ ซึ่งวงจรดังรูปจะทำให้เกิดค่าแรงดันระหว่างเฟสมีค่าเป็น 1.5 เท่าของแรงดันทดสอบ

มาตรฐาน IEEE จะทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่งในลักษณะเฟสสู่กราวด์

ตำแหน่งของแทปที่ใช้ในการทดสอบ โดยปกติแล้วไม่มีการกำหนดแทปที่แน่นอนที่จะใช้ในการทดสอบ ยกเว้นที่ทำการทดสอบกับหม้อแปลงที่ขดลวดแรงดันสองขดขึ้นไป ในกรณีนี้ควรเลือกแทปที่ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดแรงดันที่ไม่ได้ทำการทดสอบเกิดขนาดแรงดันขึ้นใกล้เคียงระดับแรงดันที่กำหนดในการทดสอบ

ในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง ตามมาตรฐาน IEC

3) การทดสอบแรงดันอิมพัลส์โดยตรงและโดยอ้อม

จากการทดสอบจะพบว่าแรงดันอิมพัลส์ที่ป้อนให้กับเฟสที่ต้องการทำการทดสอบสามารถแสดงได้ว่ามีลักษณะเป็นการทดสอบแรงดันโดยตรง แต่ในกรณีที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีลักษณะของการฉนวนที่ไม่สม่ำเสมอ และต้องการทำการทดสอบที่ขั้วที่มีการฉนวนต่ำจะต้องทำการต่อจุดที่ต้องการทำการทดสอบลงกราวด์โดยผ่านตัวต้านทาน และทำการป้อนแรงดันทดสอบเข้าบริเวณที่มีการฉนวนสูงแทน ผู้ทดสอบสามารถทำการปรับแต่งค่าแอมพลิจูดและรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ให้ได้ตามความต้องการของการฉนวนโดยการปรับตัวต้านทานเมื่อแอมพลิจูดของแรงดันอิมพัลส์มีค่าไม่เกิน 80% ของค่าความต้องการของฉนวนของจุดที่รับการป้อนแรงดันทดสอบ

2.10.5 กระบวนการทดสอบ

น้อย 3 วัน

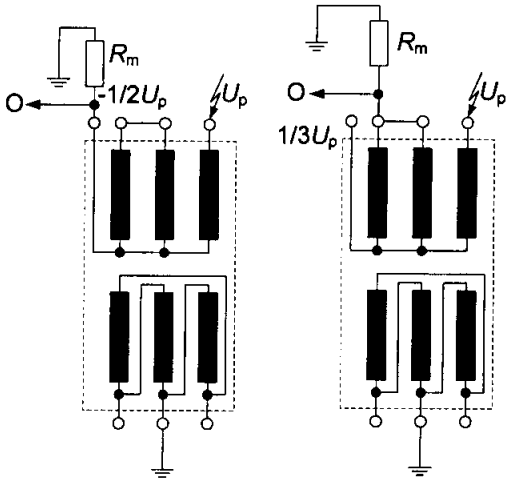
ามด้านทานของ

ขดลวดของหม้อ

ในหม้อแปลง

ลง

รูปที่ 2.65 ลักษณะต่อวงจรทดสอบเข้ากับขดลวดแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง



รูปที่ 2.66 ลักษณะต่อวงจรทดสอบเข้ากับขดลวดแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

ในดามรูปที่ 2.56
สำหรับรูปคลื่นแ
นย่อขนาดแรงดัน
และรูปคลื่นที่ระ องรูปคลื่นแรงดัน
และรูปคลื่นของ นดิจิทัล ซึ่งเครื่อง
บันทึกที่เป็นดิจิ ชั่นได้ โดยสิ่งที่จะ
ทำการบันทึกมีด
เดัน และลักษณะ
ลักษณะรูปคลื่น บที่ระดับแรงดัน
ที่มากกว่า 50% รวัด จะมีความไว
ต่อการตรวจพบ ...งอย่างมากหากนำ
รูปคลื่นกระแสมาจำลองกับช่วงระยะเวลาที่ต่างไปซึ่งจะสามารถบอกถึงความผิดพลาดได้ดี ตามมาตรฐาน IEEE ทำการบันทึกรูปคลื่นแรงดัน รวมทั้งรูปคลื่นกระแสในขดลวด และรูปคลื่นกระแสในนิวทรัล โดยจะทำการบันทึกทุกรูปที่ทำการทดสอบที่ระดับแรงดันที่มากกว่า 40% ของแรงดันทดสอบ โดยค่าไทม์สเกลของสโคปที่จะใช้ในขณะทำการทดสอบสามารถดูได้จากตาราง 2.6

2) กระบวนการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิดช์ชิ่ง

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดแฟลชโอเวอร์ในอากาศระหว่างอุปกรณ์การทดสอบอื่นๆ แรงดันที่ใช้ในการทดสอบจึงเป็นขั้วลบ แต่หากจะทำการทดสอบแรงดันขั้วบวก ห้องทดสอบต้องมีขนาดที่กว้างขวางพอสำหรับการจัดวงจรทดสอบ สำหรับการทดสอบจะทำการทดสอบที่ขดลวดและแทปที่มีระดับแรงดันสูงสุด และมีกระบวนการดังนี้

1. ทำการปรับรูปคลื่นแรงดันทดสอบให้มีลักษณะของรูปคลื่นดามหัวข้อ 2.6

2. ทำการทดสอบตามลำดับในหัวข้อ 2.10.3

3. ทำการตรวจสอบสภาพฉนวนของหม้อแปลงโดยนำรูปคลื่นย่อขนาดแรงดันและรูปคลื่นที่ระดับแรงดันทดสอบมาเปรียบเทียบกัน

ตารางที่ 2.6 การตั้งค่ามาตรวัดเวลาสำหรับเครื่องมือวัดในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์

รูปคลื่นแรงดันที่ทำการทดสอบ	รูปคลื่นที่ทำการบันทึก	เครื่องมือวัดแบบอนาล็อก (μs)	เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล (μs)
รูปคลื่นเต็ม	แรงดัน	50 – 100	(100) – 150
	กระแส	50 – 100	(100) – 150
รูปคลื่นสับ	แรงดัน	10	10 – 25
	กระแส	10 – 25	(10) – 25

องการ เราอาจทำ
การป้อนแรงดันเ กันข้ามกับแรงดัน
ที่จะทำการทดส บสภาพการอิ่มตัว
ของแกนเหล็กอ าวนเพื่อฟังเสียง
ที่เกิดขึ้นในหม้อ

งดัน และรูปคลื่น
กระแสในขณะทำ ันทึกที่เป็นดิจิทัล
ซึ่งเครื่องบันทึก ณะทรานสเฟอร์
ฟังก์ชั่นได้ นอก งในขณะทำการ
ทดสอบด้วยก็ได้ 00 ถึง 2500 μs
สำหรับแรงดันรูป นดิจิทัลค่าพิกัดที่
ใช้ในการดึงตัวอย่างข้อมูลมีค่าอยู่ประมาณ 10 MHz

2.10.7 การประเมินผลการทดสอบและการตรวจความผิดพลาดของฉนวน

1) การประเมินผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

การประเมินผลการทดสอบทำโดยการนำรูปคลื่นของแรงดันและกระแสในการทดสอบที่ระดับแรงดันอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ระดับแรงดันทดสอบ ทั้งแบบรูปคลื่นเต็ม และรูปคลื่นสับ การเปรียบเทียบจะทำการตรวจสอบความแตกต่างของรูปคลื่น หากรูปคลื่นไม่มีความแตกต่างกันเลยแสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นผ่านการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า ถ้าหากพบความแตกต่างระหว่างสองรูปคลื่น ให้ทำการตรวจสอบตามไดอะแกรมรูปที่ 2.67

2) การประเมินผลการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง

การประเมินผลทำได้โดยเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันที่ระดับอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับระดับแรงดันทดสอบ ถ้าหากรูปคลื่นมีลักษณะเหมือนกันแสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นผ่านการทดสอบแรงดันอิมพัลส์สวิตช์ชิ่ง แต่อย่างไนก็ตามระยะเวลาที่แรงดันลดเหลือศูนย์ครั้งแรกนั้นจะไม่คงที่เนื่องจากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับความอิ่มตัวของแกนเหล็ก แต่หากเกิดความแตกต่างขึ้นที่บริเวณอื่นของรูปคลื่น หรือความถี่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดจะต้องทำการตรวจเช็ควงจรทดสอบและทำการตรวจสอบตามไดอะแกรมในรูปที่ 2.67

นอกจากนี้การทดสอบประเภทนี้จะสามารถตรวจพบแรงดันเบรกดาวน์ภายในหม้อแปลงได้ง่าย เนื่องจากแรงดันอิมพัลส์ที่กระจายในขดลวดจะเบรกดาวน์ในลักษณะเกิดการลัดวงจรระหว่างขดลวดแรงดัน หรือระหว่างส่วนต่างๆ ของขดลวด รวมทั้งการเกิดแฟลชโอเวอร์ระหว่างขดลวดแรงดันกับกราวด์ สามารถแยกแยะได้จากลักษณะของรูปคลื่นที่ทำการบันทึกไว้

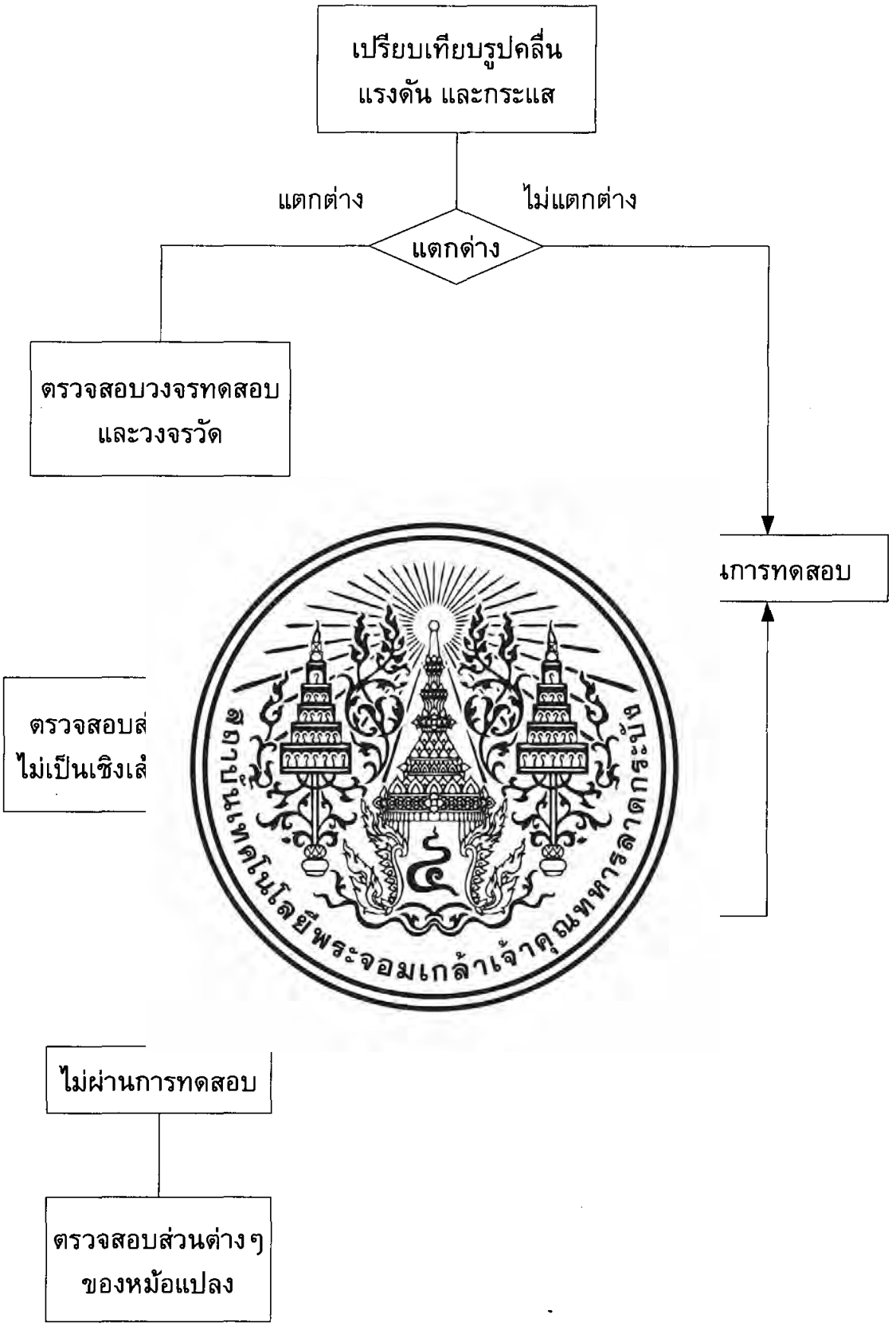
2.11 การทดส rise)

ขึ้นในขณะที่หม้อ
แปลงทำงานเต็ม คุณภาพของหม้อ
แปลงให้กับทาง นการประมาณค่า
อุณหภูมิที่สูงที่สุ

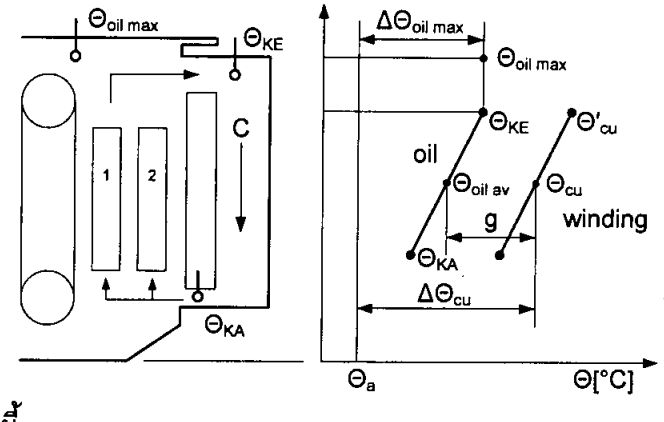
เน้ำมันหม้อแปลง
และอุณหภูมิที่เท ได้จากรูปที่ 2.68

งอดรวจจับสัมผัส
โดยดรงหรือโดย การวัดโดยอ้อม
โดยคำนวณจากค่าความต้านทานของขดลวดที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ตามสมการที่ 2.6 ในเรื่องการวัดค่าความต้านทานของขดลวด แต่ในปัจจุบันอาจมีการใช้สายไฟเบอร์ออปติกพันเข้าไปพร้อมกับขดลวดและต่อออกมา เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิของขดลวดโดยตรง แต่วิธีนี้ยังไม่มีการกำหนดลงในมาตรฐาน

อุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง และขดลวดนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจากด้านล่างของหม้อแปลงสู่ด้านบนของหม้อแปลง



รูปที่ 2.67 ไดอะแกรมขั้นตอนการทำการทดสอบ



โดยมีค่าต่างๆ ดังนี้

$\Theta_{oil\ max}$ คือ อุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันหม้อแปลง

$\Delta\Theta_{oil\ max}$ คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดของน้ำมันหม้อแปลง

ามร้อน

ความร้อน

ลง

ในการทดสอบนี้จะทำการลัดวงจรหม้อแปลงทางด้านจ่ายภาระทางไฟฟ้า (ในทางปฏิบัติจะลัดวงจรทางแรงต่ำ) เพื่อเป็นการจำลองลักษณะการใช้งานจริงของหม้อแปลงในขณะทำงานเต็มพิกัดในเวลาที่ต่อเนื่องกัน โดยในการทดสอบจะแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ

2.1) ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ให้เท่ากับค่าความสูญเสียทางไฟฟ้าทั้งหมด (Total loss) โดยจะทำการจ่ายค่ากระแสที่สูงเกินกว่ากระแสพิกัด เพื่อเป็นการจำลองค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าไปด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันหม้อแปลง

2.2) ทำการจ่ายกระแสที่ขนาดกระแสพิกัด เพื่อหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของ

ขดลวด

3) ระบบระบายความร้อนของหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละลูก จะมีการติดตั้งระบบระบายความร้อนที่แตกต่างกัน ยกเว้นครีบ (radiator) ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนที่มีการติดตั้งที่หม้อแปลงทุกลูก โดยตามมาตรฐาน IEC ได้ทำการกำหนดลักษณะของระบบระบายความร้อนไว้ดังนี้

3.1) อักษรตัวแรกหมายถึงระบบการระบายความร้อนภายในที่มีการสัมผัสโดยตรงกับขดลวด ซึ่งส่วนมากจะเป็นตัวอักษร O ซึ่งหมายถึง น้ำมันหม้อแปลง

3.2) อักษรตัวที่สองหมายถึง อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อช่วยในการหมุนเวียนสารระบายความร้อน เช่น น้ำมัน ที่อยู่ภายในหม้อแปลงออกสู่อุปกรณ์ระบายความร้อนหรือครีบ มีอักษรดังนี้

N คือ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ใดๆ

F คือ ทำการติดตั้งปั๊มเพื่อควบคุมการไหลเวียนเฉพาะภายในอุปกรณ์ระบายความร้อ

ไกรณ์ระบายความ

ร้อน และภายใน

หม้อแปลง

ยนอกหม้อแปลง

เช่น

นแบบธรรมชาติ

ัดลมไว้ที่ครีบของ

หม้อแปลง เป็น

2.11.3 วงจรทดสอบ

หม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องตั้งอยู่ในบริเวณห้องทดสอบ โดยที่ผนังรอบๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบระบายความร้อนของหม้อแปลง และห้องทดสอบจะต้องไม่มีการรบกวนจากลม

หม้อแปลงจะต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน เช่น รีเลย์ต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดอันตราย เพื่อเป็นการป้องกันผู้ทดสอบจากอุบัติเหตุทางไฟฟ้า การจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะต้องต่อโดยที่ไม่ทำอันตรายต่อสายวัดอุณหภูมิ ที่ติดอยู่บริเวณอุปกรณ์ระบายความร้อน และตัวถังของหม้อแปลง สายไฟที่ใช้จะต้องมีขนาดที่เพียงพอกับปริมาณของกระแสที่จ่ายให้กับหม้อแปลง และควรหลีกเลี่ยงการดึงลากสายไฟที่มีการเชื่อม

เพื่อให้การทดสอบมีความเหมาะสมและเป็นประโยชน์แก่ผู้ทดสอบเอง ดังนั้นการทราบเวลาที่ใช้ในการทดสอบก็เป็นสิ่งสำคัญ โดยสามารถดูรูปวงจรทดสอบได้จากรูปที่ 2.69

วงจรหลักของการทดสอบนี้จะเป็นการวัดค่าความสูญเสีย ดังนั้นจึงมีการต่อรูปวงจรเหมือนกับการวัดค่าความสูญเสียในขณะมีภาระทางไฟฟ้า แต่วงจรนี้จะมีส่วนแตกต่างบริเวณสวิตซ์ T_1 และ T_2 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวตัดต่อวงจรในส่วนของวงจรการวัดค่าความต้านทานของขดลวด ซึ่งจะทำการวัดในทันทีเมื่อทำการหยุดจ่ายกระแสและแรงดันให้กับหม้อแปลง โดยสามารถดูรูปวงจรขณะทำการดัดวงจรได้จากรูปที่ 2.70

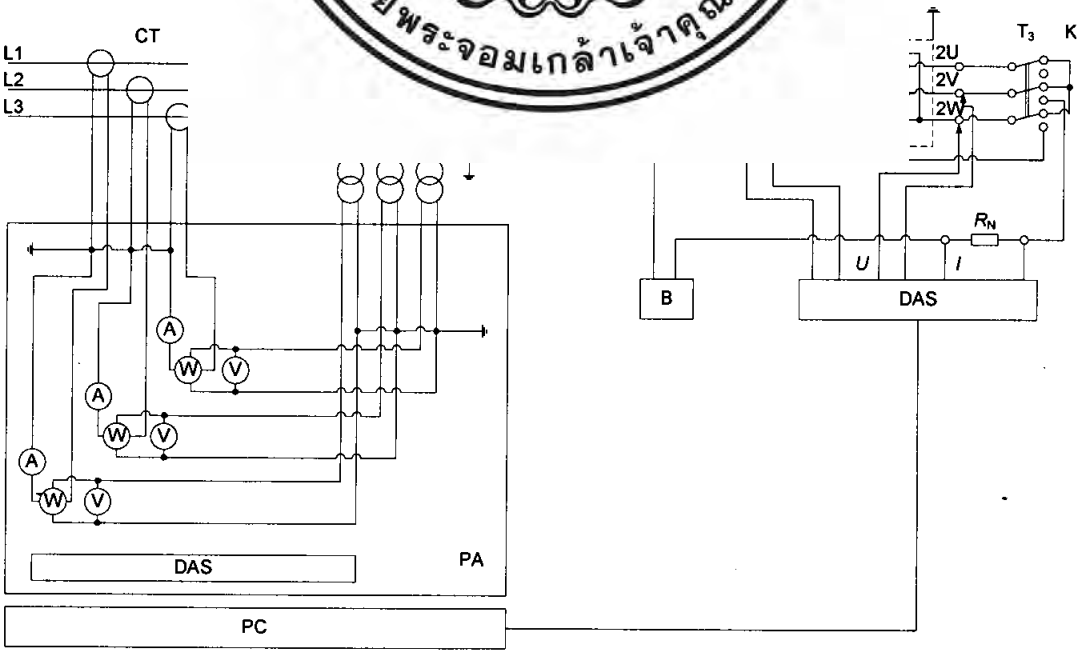
โดยในการทดสอบกับหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีกระแสที่ไหลทางฝั่งแรงดันต่ำสูง การใช้สวิตซ์ดัดต่อนั้นอาจไม่เหมาะสม ในกรณีนี้จึงมีการใช้บัสบาร์ที่สามารถทำการเปิดวงจรได้เร็วยกตัวอย่างเช่น การใช้สกรูแคลมป์ในการยึดบัสบาร์ นอกจากนี้จะต้องทำการตรวจสอบสภาพน้ำมันในหม้อแปลงเสมอ ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ

2.11.4 กระบวนการทดสอบ

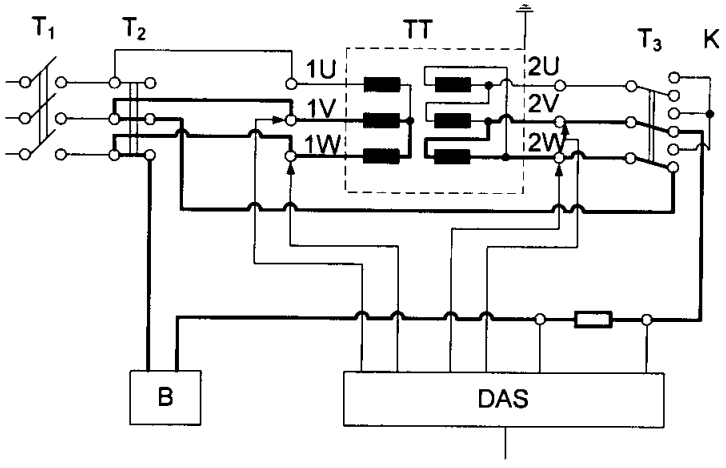
1) การวัดอุณหภูมิของอากาศโดยรอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ณหภูมิของอากาศ
โดยรอบหม้อแ ไฟฟ้าที่จะทำการ
ทดสอบ โดยจะ ำหม้อแปลงไฟฟ้า
โดยเซนเซอร์หรื มันด้วย

งสูญเสียของหม้อ
แปลงขณะมีภา ่อแปลงเพื่อสร้าง
ความสูญเสียขณ ณหภูมิไว้ดังนี้
อนเข้าสู่ครีบ เพื่อ
ทำการวัดค่าอุณ



รูปที่ 2.69 วงจรการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของหม้อแปลง



รูปที่ 2.70 วงจรการวัดค่าความต้านทานขณะทำการตัดวงจรจ่ายกำลังไฟ

างที่ออกจากครีบ

เพื่อทำการวัดค่า

าหรับวัดอุณหภูมิ

จึงต้องทำการวัด

ภูมิที่ด้านบนของ

หม้อแปลงเพื่อท

เออกมาจากวาล์ว

ระบายน้ำมันทาง

ของหม้อแปลง

เป็นแทปที่ให้ค่า

ความสูญเสียสูง

ะทำจนกระทั่งค่า

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้

ปลงของอุณหภูมิ

น้อยกว่า 1 เคล

นมาตรฐาน IEEE

กำหนดให้อุณหภูมเกดการเบลยนแบลง เดเมเกน 2.5% หรอ 1 เคลวน เนระยะเวลา 3 ชั่วโมง เช่นกัน

ในกรณีที่ต้องการลดระยะเวลาในการทำการทดสอบลง อาจทำได้โดยการเริ่มการทดสอบที่ค่าสูญเสียที่สูงกว่าต้องทำการทดสอบจริงโดยไม่ต้องเปิดระบบระบายอากาศ แต่ในกรณีนี้ผู้ทดสอบจะต้องมีความชำนาญในการกำหนดระยะเวลาในการเริ่มต้นได้ถูกต้องเพื่อป้องกันอันดรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับหม้อแปลงทดสอบ โดยดูลักษณะของกราฟได้จากรูปที่ 2.68

3) การหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมัน

การหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมันสามารถหาได้จากสมการ

ตามมาตรฐาน IEC

$$\Theta_{oil\ av} = \frac{1}{2}(\Theta_{oil\ max} + \Theta_{KA}) \qquad (2.87)$$

ตามมาตรฐาน IEEE

$$\Theta_{oil\ av} = \Theta_{oil\ max} - \frac{1}{2}(\Theta_{KE} - \Theta_{KA}) \quad (2.88)$$

โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta\Theta_{oil\ av} = \Theta_{oil\ av} - \Theta_a \quad (2.89)$$

หากในกรณีที่ผู้ทดสอบไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องทำการทดสอบ ค่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของน้ำมันที่ได้มาจากการทดสอบแบบลดกำลังไฟฟ้าจะต้องนำมาทำการปรับค่าตามสมการ

$$\Delta\Theta_{oil\ max\,N} = \Delta\Theta_{oil\ max\,M}\left(\frac{P_{tot}}{P_M}\right)^x \quad (2.90)$$

เมื่อ

รทดสอบแบบลดกำลังไฟฟ้า

เมื่อ

1 คือ ทำการทดสอบที่ระดับความสูญเสียทดสอบ และทำการเปิดระบบระบายความร้อน

2 คือ ทำการทดสอบที่ระดับความสูญเสียทดสอบ แต่ทำการปิดระบบระบายความร้อน

3 คือ ทำการทดสอบที่ระดับความสูญเสียที่สูงกว่าระดับทดสอบ และทำการปิดระบบระบายความร้อน

รูปที่ 2.71 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำมันในกรณีต่างๆ

4) การวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของขดลวด

การวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของขดลวดเป็นขั้นตอนที่สองในการทดสอบที่ต้องต่อวงจรแบบการทดสอบหาค่าความสูญเสียในขณะมีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งจะกระทำหลังจากที่การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันมีค่าคงที่ตามหัวข้อที่ 2) ข้างต้น โดยทำการลดขนาดกระแสที่จ่ายให้กับหม้อแปลงทดสอบอยู่ที่ระดับกระแสพิกัด โดยจะคงที่การจ่ายกระแสระดับนี้ไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจได้ว่าได้ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของขดลวดที่วัดได้นั้นถูกต้อง โดยดูลักษณะของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนการจ่ายกระแสได้จากกราฟในรูปที่ 2.72

ขั้นตอนการวัดค่าความต้านทานของขดลวด

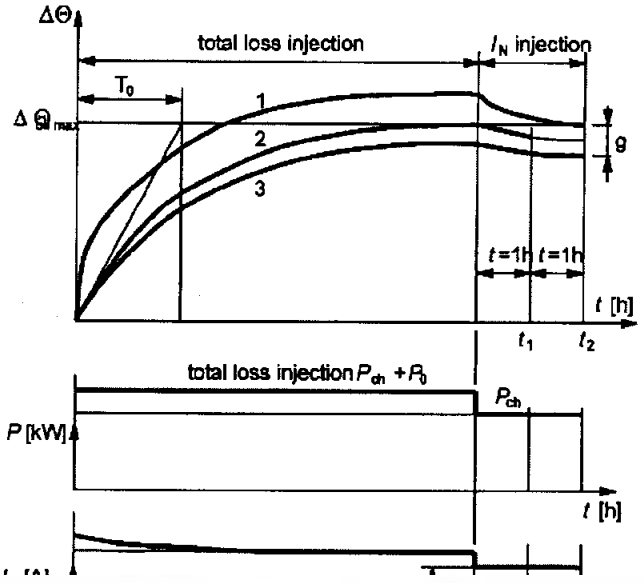
4.1) ในทันทีที่ทำการตัดวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าออก และทำการปลดส่วนลัดวงจรออก จะต้องทำการต่อวงจรการวัดค่าความต้านทานของขดลวดเข้ากับขดลวดที่จะทำการวัด โดยถ้าเป็นไปได้ให้ทำการวัดทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำไปพร้อมๆ กัน แต่ถ้าหากทำไม่ได้ขดลวดอีก

เปลี่ยนแปลงตาม
ระยะเวลา ค่าค ทำการตัดวงจร
ระบายความร้อน
แบบ OFAF ด ม้ว่าจะตัดวงจรไป
แล้ว แต่ตามมาต ายความร้อนก็ได้
นี่ยวนำลดลง แต่
จะต้องไม่นานเ ตั้งโวลต์มิเตอร์ไว้
บริเวณขดลวดเ งความเหนี่ยวนำ
โดยค่าของควา ในเวลา 10 ถึง 20
นาที ในการวัดค และแอมมิเตอร์ที่
มีระบบการจัดเ รทดสอบจะต้องมี
ประสบการณ์แล

ซึ่งในปัจจุบันจะนิยมใช้วิธีการแบบโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ที่มีระบบจัดเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าความต้านทานขณะที่เริ่มทำการตัดวงจร ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่อุณหภูมิทดสอบที่ถูกต้อง

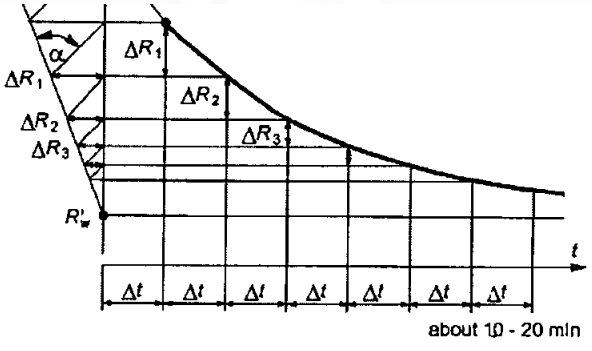
ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงค่า x จากสมการที่ 2.90

ระบบระบายความร้อน	มาตรฐาน IEC	มาตรฐาน IEEE
ONAN	0.9	0.8
ONAF	0.9	0.9
OFAF	1.0	1.0
ODAF	1.0	1.0



โดยที่

ต้านทานขณะดัด
วงจรได้ ผู้ทำการ งกราฟ เพื่อหาค่า
ความด้านทานข ที่ 2.73



เมื่อ

R_w คือ ค่าความด้านทานของขดลวดในขณะทำการดัดวงจร

R'_w คือ ค่าความด้านทานที่มีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมัน

รูปที่ 2.73 ลักษณะของกราฟที่ใช้ในการหาค่าความด้านทานของขดลวดขณะทำการดัดวงจร

โดยเมื่อได้ค่าความต้านทานของขดลวดขณะทำการดัดวงจรแล้ว จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ

$$\Theta'_{Cu} = \frac{R_W}{R_C}(235 + \Theta_C) - 235 \qquad (2.91)$$

จะได้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของขดลวดที่แท้จริง

เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันลดลงในระหว่างการจ่ายกระแสที่ระดับกระแสพิกัด ค่าอุณหภูมิของขดลวดที่ได้จากการคำนวณดามสมการที่ 2.91 จะต้องนำมาปรับค่าตามรูปที่ 2.72

ในขั้นแรกจะต้องทำการคำนวณการแพร่ความร้อนจากขดลวดสู่น้ำมันในขณะจ่ายกระแสที่ระดับกระแสพิกัดจากสมการ

$$g = \Theta'_{Cu} - \Theta_{oil\ av(Ir)} \qquad (2.92)$$

แล้วนำค่าที่ได้มาบวกกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของขดลวด ที่ทำการวัดในขั้นตอนแรกในข

(2.93)

ี่ 2.93 จะเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่

ระแสพิกัดได้ ค่าการแพร่ของอุณ

(2.94)

เมื่อ

y คือ ค่ายกกำลังดามมาตรฐานของ IEC และ IEEE โดยมีค่าดามระบบระบายความร้อนดังนี้ 1.6 สำหรับแบบ ON และ OF 2.0 สำหรับระบบ OD

สมการนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อค่ากระแสที่ใช้ทดสอบมีค่าน้อยกว่ากระแสพิกัดไม่เกิน 10%

2.11.5 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดสอบ

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของการทดสอบนี้นั้นเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในขั้นดอนต่างๆ ของการทดสอบดังนี้

1) การวัดค่าอุณหภูมิสูงสุด และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมัน

2) การวัดค่าอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งอาจมีผลกระทบจากความร้อนที่แผ่ออกมาจากหม้อแปลง

3) การวัดค่าความต้านทานของขดลวด ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการสร้างกราฟเพื่อหาค่าความต้านทานของขดลวดขณะทำการดัดวงจร

2.11.6 การประเมินผลการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะประเมินผลโดยการนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเทียบกับค่าที่ได้ทำการรับรองการผู้ใช้หม้อแปลงว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยค่าอุณหภูมิต่างๆ ย่อมส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของหม้อแปลงด้วย เช่น หากค่าการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันและขดลวดมีค่าสูง อายุของฉนวนที่อยู่ภายในหม้อแปลงก็จะมีอายุการใช้งานที่สั้นลงไปด้วย อีกทั้งในขณะที่ทำการทดสอบการลัดวงจรนั้นจะเป็นการทดสอบการทำงานของหม้อแปลงขณะทำงานเต็มพิกัดอีกด้วย หากในขั้นตอนนี้ค่าอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นโดยไม่มีการคงที่ หรืออุณหภูมิสูงเกินกว่า 120 องศาเซลเซียส จะถือว่าหม้อแปลงไม่ผ่านการทดสอบ อีกทั้งหากในขณะทำการทดสอบหม้อแปลงเกิดมีความดันเพิ่มขึ้นสง หรือมีน้ำมันทะลักออกมาก็จะถือว่าหม้อแป อไป

2.12 การวัดค่า

ะบบนั้นจะต้องใช้ความรู้ความเข้า ดับเฟสนั้นเป็นวิธีเฉพาะที่ใช้กับหม

เส ฯลฯ สามารถวิเคราะห์โดยหา าดของทั้งกระแสและแรงดันก็จะเ ส

ขึ้นจากหนึ่งเฟสกราวน์ฟอลต์ แ ที่แตกต่างกันในระบบ ซึ่งจะต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีส่วนประกอบทางไฟฟ้าและพฤติกรรมของลำดับเฟสในส่วนนั้นๆ

วิธีการเหล่านี้มีโอกาสที่จะเปลี่ยนระบบสามเฟสที่ไม่สมดุลไปเป็นระบบสามเฟสที่สมดุลได้ ดังนี้

- ระบบเฟสลำดับบวก (ใช้หมุนเฟส UVW)
- ระบบเฟสลำดับลบ (ใช้หมุนเฟส UWV)
- ระบบเฟสลำดับศูนย์ (ใช้ในทางเดียวกันของหนึ่งเฟสทั้งสามเฟส)

ส่วนประกอบของแรงดันและกระแสในระบบสามเฟสนั้นจะเป็นทำงานเป็นสัดส่วนกับค่าอิมพิแดนซ์ กล่าวคือ ค่าอิมพิแดนซ์ลำดับบวก, ค่าอิมพิแดนซ์ลำดับลบ และค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์

สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าค่าอิมพิแดนซ์ลำดับบวก (Z_+) และค่าอิมพิแดนซ์ลำดับลบ (Z_-) มีค่าเท่ากัน ซึ่งเท่ากับค่าอิมพิแดนซ์ในการลัดวงจรปกติ แต่ค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์ (Z_0) เป็นค่าที่แตกต่างจากอิมพิแดนซ์ลำดับบวก ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับการต่อของขดลวดและการออกแบบแกนเหล็กภายในหม้อแปลงไฟฟ้านั้น

2.12.3 คำนิยามของอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์

อิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์เป็นค่าอิมพิแดนซ์ที่วัดได้จากจุดเชื่อมต่อของเฟสกับนิวทรัล เมื่อจุดเชื่อมต่อของทั้งสามเฟสต่อวงจรกันอยู่ อิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์มีเฉพาะในหม้อแปลงสามเฟสที่มีการขดลวดแบบสตาร์หรือแบบซิกแซก ค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์มีคุณสมบัติเฉพาะในแต่ละเฟส คือมีค่าเป็นสามเท่าของค่าที่วัดได้ ดังรูปที่ 2.74

$$Z_0 = 3 \cdot \frac{U}{I} \tag{2.95}$$

เมื่อ

วิมพิแดนซ์เริ่มต้น

(Z_b) ของหม้อแ ปกติ (อิมพิแดนซ์

ลำดับบวกจากก

(2.96)

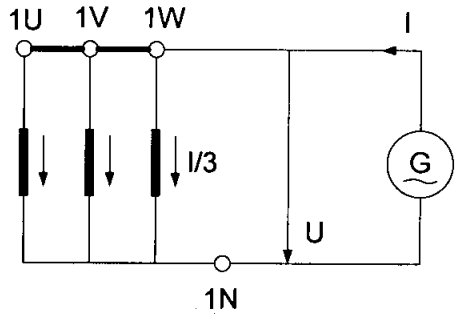
เมื่อ

ซึ่งสามารถหาค

$$z_0 = \frac{Z_0}{Z_b} \cdot 100 \quad or\ alt. \quad z_0 \frac{S_r}{U_r^2} \cdot 100 \tag{2.97}$$

อิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์มีสององค์ประกอบเหมือนกับค่าอิมพิแดนซ์อื่นๆ ค่าตัวด้านทานลำดับศูนย์ (R_0) และค่าความด้านทานของขดลวดต่อไฟฟ้ากระแสสลับลำดับศูนย์ ในทางปฏิบัติ ค่า $R_0 \langle\langle X_0$ ทำให้ไม่พิจารณาค่าความด้านทาน อีกความหมายหนึ่ง คือ อิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์จะเท่ากับค่าความด้านทานของขดลวดต่อไฟฟ้ากระแสสลับลำดับศูนย์

การวัดค่าอิมพิแดนซ์จะไม่ใช้การวัดโดยตรง แต่จะใช้วงจรที่มีลักษณะคล้ายการลัดวงจรของอิมพิแดนซ์ปกติในการวัดแทน ดังรูปที่ 2.75



รูปที่ 2.74 วงจรพื้นฐานของอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์

2.12.4 กระบวนการวัด

วงจรทดสอบทั่วไปดังรูปที่ 2.75 และทำการวัดที่ความถี่พิกัด จุดสำคัญในการทดสอบวัดค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์สำหรับความแตกต่างของจุดนิวทรัลและระบบ ดังรูปที่ 2.76 การวัดควรจะทำ ...เนย์ที่ถูกต้องที่สุด (ชนิดของรีแอคเ... ...ุล ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแ... ...ผลจากการวัดค่าของแรงดันที่แต...

รูปที่ 2.75 วงจรทั่วไปในการวัดค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์
(ในรูปเป็นการยกตัวอย่างการต่อแบบสตาร์-เดลต้า)

แต่ถ้าฟลักซ์ของอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์ที่มีสาเหตุมาจากความร้อนที่สูงเกินของโครงสร้างที่เป็นโลหะ เช่น ตัวถังหม้อแปลง, ฝาปิดหม้อแปลง, แคลมป์ ในกรณีนี้กระแสที่ใช้ในการวัดไม่ควรจะเกิน 30% กระแสปกติ I_r หากจำเป็นต้องเพิ่มกระแสให้ถึงระดับปกติควรจะทำในระยะเวลาที่สั้นมาก (ไม่กี่วินาที) และการทดสอบแรงดันประยุกต์ค่าแรงดันจะต้องไม่สูงกว่าแรงดันที่เฟสถึงนิวทรัล

สำหรับหม้อแปลงที่กระแสต่อจำนวนรอบมีความสมดุล (ชนิดลัดวงจร) กระแสที่ใช้ในการทดสอบสามารถใช้ได้ถึงระดับกระแสปกติ

การวัดค่าอิมพิแดนซ์ลำดับศูนย์สำหรับหม้อแปลงประเภทสตาร์-สตาร์ โดยที่ไม่มีการต่อแบบเดลต้าทางเทอทารีท จะเป็นชนิดรีแอคเตอร์ และหม้อแปลงประเภทสตาร์-เดลต้าจะเป็นชนิดลัดวงจร

2.13 การวัดระดับของเสียง

2.13.1 จุดประสงค์ของการวัด

เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว และทำการย้ายไปในที่ต้องการทดสอบ จะมีการวัดในเรื่องระดับของเสียงที่ออกมาจากหม้อแปลง

1. เสียงจะได้มาจากการทำงานของหม้อแปลง หรือเสียงที่เหมาะสม ในแต่ละสถานที่จะมีเสียงที่ไม่ต้องการ เพื่อเป็นการป้องกันเสียงรบกวน ซึ่งในแต่ละมาตรฐานที่ใช้ในประเทศต่างๆจะกำหนดค่าที่เหมาะสมกับระดับของเสียงนั้น

ความสำคัญมาก
ดยทั้งสองหัวข้อนี้
จะใช้กับอุปกรณ์ ะดับความดังลง
องธรรมชาติของ
มนุษย์

(a.) (b.)

รูป a.) แกนเหล็กแบบสามเฟสที่มีก้าน 3 ก้าน (Three-phase core with three limbs)
รูป b.) แกนเหล็กแบบสามเฟสที่มีก้าน 5 ก้าน (Three-phase core with five limbs)

รูปที่ 2.76 แกนเหล็กแบบต่าง ๆ

1. ที่มาของเสียงจากหม้อแปลง

1.1 เสียงขณะที่หม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า (เสียงจากแกนเหล็ก)

เสียงขณะที่หม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้านั้นมีสาเหตุมาจากแม่เหล็กอย่างแท้จริง (ซึ่งจากแดกด่างกันไปตามส่วนของแกนเหล็ก) เสียงนี้เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำให้เป็นแม่เหล็ก การสั่นนั้นจะผ่านตามน้ำมันและกลไกของเครื่องจักรเหมือนกับการสั่นของกลไก

ของเครื่องไปยังตัวถังและแผ่นระบายความร้อนจนผ่านไปถึงอากาศรอบนอก ความดังในการสั่นนั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กภายในแกนเหล็กและค่าความเป็นแม่เหล็กของแกนเหล็กนั้นๆ

สเปกตัมความถี่ของระดับการได้ยินเสียงประกอบด้วยค่าสองเท่าของความถี่พิกัดและเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเลขคู่ เช่น ที่ความถี่ของระบบคือ 50 Hz ฮาร์มอนิกระดับของเสียงที่สามารถได้ยินจะประกอบด้วย 100 Hz, 200Hz, 300 Hz, 400 Hz และอื่นๆ

ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวระบายความร้อน, ปั๊มลม และเสียงจากพัดลม (เสียงจากพัดลม)

โดยปกติ จะต้องทำการวัดระดับเสียงขณะที่หม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า

1.2 เสียงขณะที่หม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า (เสียงจากขดลวด)

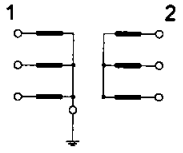
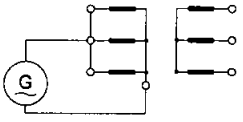
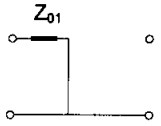
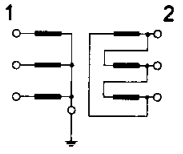
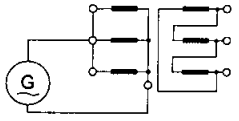
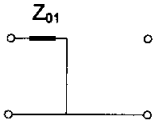
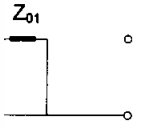
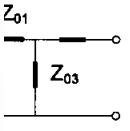
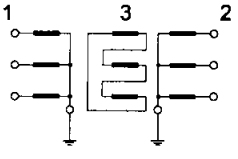
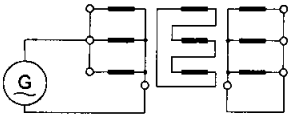
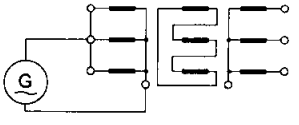
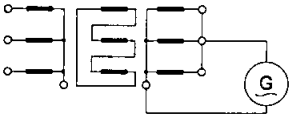
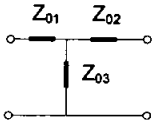
เนื่องด้วยทั้งแรงจากแม่เหล็กและกระแสที่จ่ายให้กับโหลดได้ทำให้เกิดสั่นที่ขดลวด, ตัวถัง เ เหนี่ยวนำต่ำ) เสียงที่เกิดขึ้นอา งเสียง หรือระดับความเข้มของเสี าหนักเสียง าของเสียงจาก แหล่งต่างๆ นั้นจ ับของเสียงเป็น ค่าเฉพาะ และเสี งเสียงได้ องเสียงทั้งขณะที่หม้อแปลงมีภาร กค้า ดังนี้ ฟ้า, โดยตัดระบบและปั๊ม ระบายค ไฟฟ้า, โดยที่ต่อระบบและปั๊มระบายความร้อนให้ทำงานอยู่

1.3 ขณะที่หม้อแปลงอยู่ในขณะมีภาระ และไม่มีภาระทางไฟฟ้า, โดยตัดระบบระบายความร้อน ส่วนปั๊มยังถูกต่อใช้งานอยู่

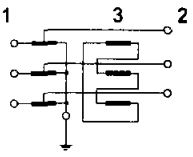
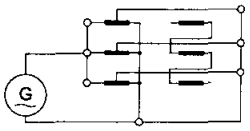
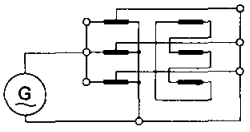
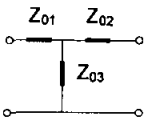
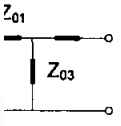
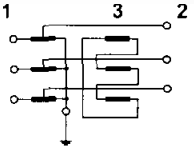
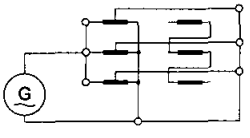
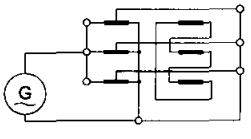
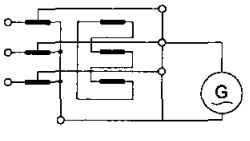
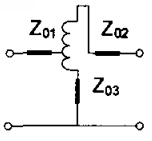
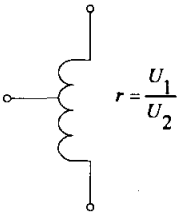
1.4 ขณะที่หม้อแปลงไม่ทำงาน, โดยที่ต่อระบบและปั๊มระบายความร้อนให้ทำงานอยู่

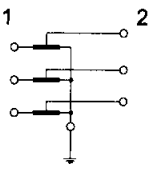
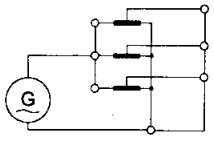
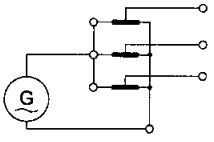
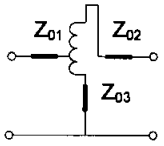
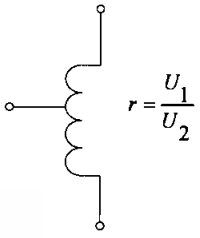
2. ตามมาตราฐาน IEEE นั้น ให้ต่อระบบระบายความร้อนให้ทำงานที่แรงดันพิกัดจนกว่าจะทำการทดสอบ

สำหรับการวัดเสียงรบกวนของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า การต่อวงจรจะคล้ายกับการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า การปรับแรงดันจะใช้การปรับจากค่าเฉลี่ยของโวลต์มิเตอร์

ลำดับ	ประเภทของหม้อแปลง	วงจรวัดค่าอิมพิแดนซ์	วงจรลำดับศูนย์
1		การวัดค่า Z_{01} 	
2		การวัดค่า Z_{01} 	
3		การวัดค่า Z_{01}	
4			
5		การวัดค่า Z_{012}, 3 เปิดวงจร  การวัดค่า Z_{013}  การวัดค่า Z_{023} 	

ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ลำดับ	ประเภทของหม้อแปลง	วงจรวัดค่าอิมพิแดนซ์	วงจรลำดับศูนย์
6		การวัดค่า Z_{012}, 3 เปิดวงจร  การวัดค่า Z_{013}  การวัดค่า Z_{023} 	
7			
8	 not earth Network neutrals 1 and / or 2 grounded $r = \frac{U_1}{U_2}$	การวดคา Z_{012}, 3 เปดวงจร  การวัดค่า Z_{013}  การวัดค่า Z_{023} 	 

ลำดับ	ประเภทของหม้อแปลง	วงจรวัดค่าอิมพิแดนซ์	วงจรลำดับศูนย์
9	 not earth Network neutrals 1 and / or 2 grounded $r =$	การวัดค่า Z_{012}  การวัดค่า Z_{013} 	  al nsformer

รูปที่ 2.77 การ เดนซ์ลำดับศูนย์

า การต่อวงจรจะ
คล้ายกับการวัด ดับเสียงทั้งหมด,
ทั้งขณะที่หม้อแป ฟฟ้า

สอบอื่นๆ คือ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงเหผู้ทดสอบทำงานใกล้กับหม้อแปลงที่ถูกทดสอบได้ ดังนนจะต้องมีการระวังไม่ให้ไมโครโฟนใกล้กับส่วนที่เป็นแรงสูง ผู้ทดสอบจะต้องเน้นเรื่องความปลอดภัยในระหว่างการทดสอบเป็นสิ่งแรก เพื่อรักษาระยะปลอดภัย รวมทั้งตำแหน่งต่างๆ ในการวัด

2. สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

หม้อแปลงที่ถูกทดสอบจะถูกตั้งในส่วนที่ห่างจากเสียงสะท้อนของกำแพงหรือจากอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อที่จะได้รับผลกระทบน้อยที่สุดจากคลื่นต่างๆ การวางตำแหน่งของหม้อแปลงควรจะให้ตัวถังขนานกับผนังของห้องทดสอบ

หม้อแปลงจะต้องมีการติดตั้งล้อหรือตัวค้ำที่ฐานของตัวหม้อแปลง ซึ่งระห่างจากตัวถังถึงพื้นจะต้องไม่น้อยกว่าระยะปฏิบัติการปกติ

3. เงื่อนไขในการทดสอบ

ถ้าหม้อแปลงถูกใช้ในการปรับค่าแรงดันระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับหม้อแปลงที่ถูกทดสอบ ซึ่งหม้อแปลงนี้ตั้งอยู่ในห้องทดสอบแล้ว การต่อวงจรในการทดสอบจะต้องมีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ จึงทำให้มีระดับเสียงรบกวนที่ต่ำ

สิ่งสำคัญคือ เมื่อถึงแรงดันถึงภาวะกระตุ้นจะต้องเป็นรูปคลื่นไซน์และต้องควบคุมขนาดของแรงดันและความความถี่ที่พิกัดในระหว่างการทดสอบ

อีกเรื่องที่ต้องคำนึงถึง คือ การให้เวลากับแรงดันที่เป็นกระแสตรงก่อนที่จะเริ่มการทดสอบ เพราะยังคงมีเหลือฟลักซ์แม่เหล็กกระแสตรงค้างอยู่จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกเลขคี่ในสเปกตรัมของเสียงและส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นโดยรวมของระดับเสียงที่วัดออกมา ในหน่วยเดซิเบล เวลาที่ต้องใช้นี้ประมาณ 10-20 นาที สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดกลาง และสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีก้าน 5 ก้าน จะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.77

4. ตำแหน่งในการวัดและเครื่องมือวัด

ระบายความร้อน น) :

ะยะ 0.3 เมตร

ระบายความร้อน

ะยะ 2 เมตร

สำหรับหม้อแปล

สำหรับหม้อแปล

ถัง

มาณระยะห่างที่

กำหนดไว้และห่

ระบายความร้อน.....

- ทำการวัดที่ระยะห่างจากจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงอ้างอิงเป็นระยะ 0.3 เมตร (1 ฟุต)

ระบายความร้อบแบบใช้พัดลม :

- ทำการวัดที่ระยะ 2 เมตร (6 ฟุต) จากจุดรอบๆ ตัวระบายความร้อน

สำหรับหม้อแปลงที่ตัวถังมีความสูงต่ำกว่า 2.4 เมตร (7.2 ฟุต)

- จะทำการวัดที่ระดับความสูง 1/2 ของความสูงตัวถัง

สำหรับหม้อแปลงที่ตัวถังมีความสูงสูงกว่า 2.4 เมตร (7.2 ฟุต) :

- จะทำการวัดที่ระดับความสูง 1/3 และ 2/3 ของความสูงตัวถัง

ในส่วนของตำแหน่งของไมโครโฟน กำหนดไว้ที่ระยะประมาณระยะห่างที่กำหนดไว้และห่างกันไม่เกิน 1 เมตรในแต่ละจุดของการวัด

5. เครื่องมือวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดจะต้องมีการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญทันที ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ ถ้ามีการคลาดเคลื่อนมากกว่า 0.3 เดซิเบล (ตามมาตราฐาน IEC) และ 1 เดซิเบล ตาม(มาตราฐาน IEEE) จะถือว่าเครื่องมือวัดนี้ใช้ไม่ได้

6. ค่าแก้ไขของเสียงสะท้อนที่ไม่ต้องการ

ตามมาตราฐาน IEC 60076-10 ตัวประกอบค่าแก้ไขสภาพแวดล้อม (K) จะนำมาใช้ในการคำนวณหากมีเสียงสะท้อนต่างๆ ที่ไม่ต้องการ

ตามมาตราฐาน IEEE C57.12.90 ไม่ให้ใช้ค่าแก้ไข เนื่องจากจะไม่มีเสียงสะท้อนหากมีระยะห่าง 3 เมตร จากไมโครโฟนหรือจากผนังต่างๆ

7. การวัดระดับเสียงรบกวนของพื้นหลัง

ระดับความดันเสียงของพื้นหลังจะต้องทำการวัดโดยทันทีก่อนที่จะทำการวัด

ระดับเสียงของห อนกับการวัด

หม้อแปลงที่ถูกท อแปลงนั่นเอง

วัดระดับเสียงของ

พื้นหลังมีค่าแตก ราฐาน IEC) หรือ

3 เดซิเบล (ตาม

(2.98)

เมื่อ

1 จุด ถึง 10 จุด

(ตามมาตราฐาน

8. ลำดับการทดสอบ

หลังจากมีการวัดระดับเสียงของพื้นหลังแล้ว จะต้องทำการวัดระดับความดันเสียงอย่างต่อเนื่องจนครบทุกจุดในทันที เครื่องมือที่ใช้วัดจะต้องมีความไวในการตอบสนองเพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด

ระดับความดันเสียงเฉลี่ยที่ไม่ได้แก้ไข ($\overline{L_{pA0}}$) คำนวณจากระดับความดันเสียง (L_{pAi}) ถ้าขอบเขตของค่า L_{pAi} ที่ถูกวัดมีค่าไม่เกิน 5 เดซิเบล (หรือ 3 เดซิเบล ตามมาตราฐาน IEEE) การคำนวณจะเป็นไปตามสมการนี้

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} 10^{0.1 L_{pAi}}\right) \qquad (2.99)$$

เมื่อ

$\overline{L_{pA0}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความดันเสียงที่ไม่ได้แก้ไข

N คือ จำนวนจุดในการวัด

L_{pAi} คือ การวัดระดับความดันเสียงที่จุดวัด i

หลังจากทำการวัดแล้ว จะต้องมีการวัดระดับเสียงของพื้นหลังครั้งที่ 2 ด้วย ตามมาตราฐาน IEC 60076-10 เมื่อได้ค่าจากการทดสอบแล้ว ค่าระดับเสียงของพื้นหลังในเมื่อก่อนทดสอบและหลังการทดสอบมีค่าต่างกันไม่เกิน 3 เดซิเบล และค่าระดับเสียงเฉพาะกับค่าระดับเสียงของพื้นหลังจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 8 เดซิเบล

ค่าระดับความดันเสียง ($\overline{L_{pA}}$) ที่แก้ไขแล้ว จะคำนวณได้จากสมการ

$$\overline{L_{pA}} = 10 \log \left(10^{0.1\overline{L_{pA0}}} - 10^{0.1\overline{L_{bgA}}} \right) - K \quad (2.100)$$

ำไขเฉพาะที่ถูกใช้

จะต้องอยู่ในเงื่อ ...รวมกับเสียงของ พื้นหลังแตกต่าง

ที่ประกันคุณภาพ

ของหม้อแปลงไ ...

(2.101)

เมื่อ

...แล้ว ค่าที่ได้จาก จากวัดจะต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 เดซิเบล แต่ค่าตัวประกอบต่างๆ จะต้องมีค่าที่คงที่

1. การปรับแรงดัน : 1% ของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดค่าผิดพลาด 0.5 เดซิเบล สำหรับค่าความเหนี่ยวนำ 1.6 เทสลา และ 1 เดซิเบล สำหรับค่าความเหนี่ยวนำ 1.8 เทสลา

2. การปรับความถี่ : 1 เฮิร์ทซ์ของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดค่าผิดพลาด 0.4 เดซิเบล

3. ฮาร์มอนิกในสภาวะแรงดันกระตุ้น

4. ฟลักซ์แม่เหล็กของแรงดันกระแสตรงดกค้างในแกนเหล็ก (ระดับของเสียงจะเพิ่มขึ้นถึง 3 เดซิเบล เมื่อเริ่มการทดสอบอย่างรวดเร็ว)

5. ความผิดพลาดในเรื่องของระยะห่างในการวัด

6. ระยะห่างน้อยมากระหว่างตัวถังด้านล่างกับพื้น (ระดับของเสียงจะเพิ่มขึ้นถึง 4 เดซิเบล)

7. เสียงสะท้อนจากผนังห้องที่ทดสอบ

8. ความแตกต่างที่น้อยมากระหว่างระดับเสียงของพื้นหลังกับเสียงของหม้อแปลงที่ถูกทดสอบ

2.14 การทดสอบการเปลี่ยนแท็ปขณะมีภาระทางไฟฟ้าและอุปกรณ์อื่น ๆ

2.14.1 วัตถุประสงค์

แม้ว่าการทดสอบการเปลี่ยนแท็ปขณะมีภาระทางไฟฟ้านี้ได้จัดเป็นการทดสอบประเภทที่ต้องทำเป็นประจำในห้องทดสอบ ตามมาตราฐานแล้ว สิ่งสำคัญคือการตรวจสอบการทำงานของแท็ปบนหม้อแปลงเมื่อมีการใช้งาน หรือมีภาระทางไฟฟ้านั่นเอง

้องมีการทดสอบ

เพื่อตรวจหาค่า

ให้เป็นไปตามการ

ทำงานโดยปรา

น IEC)

เป็นขณะที่มีภาระ

ทางไฟฟ้า หรือไ

กัด (1 รอบ คือ

เริ่มจากแท็ปแร

งมาที่ 85% ของ

แรงดันพิกัด

ระทางไฟฟ้า

งทำการทดสอบ

ขณะที่หม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า

2.2 ทำการทดสอบเปลี่ยนแท็ปจำนวน 10 แท็ปโดยเปลี่ยนแท็ปไปครั้งละ 2 แท็ปทางด้านใดด้านหนึ่ง เมื่อการทำงานของแท็ปเคลื่อนไปไม่ตรงกับเส้นที่บอกตำแหน่งของแท็ปนั้นๆ หรืออีกประการหนึ่ง คือ เริ่มจากกึ่งกลางของแท็ปกับด้านหนึ่งของขดลวดที่ทำการลัดวงจรต้องทำที่กระแสพิกัดของแท็ป

วงจรการทดสอบขณะที่หม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า จะต้องทำงานที่แรงดันพิกัด ซึ่งเหมือนกับการวัดค่าความสูญเสียขณะที่หม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า และวงจรการทดสอบขณะที่หม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า จะต้องทำงานที่กระแสพิกัด ซึ่งก็เหมือนกับการวัดค่าความสูญเสียขณะที่หม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้านั่นเอง

การสังเกตการทำงานของแท็ป ไม่ว่าหม้อแปลงจะทำการจ่ายโหลด หรือไม่ได้มีการจ่ายโหลดก็ตาม สิ่งที่สังเกตุคือ เสียง ที่แปลกจากการทำงานของอุปกรณ์โดยปกตินั่นเอง

2.14.3 การทดสอบอุปกรณ์อื่น ๆ

ทุกส่วนของไม่ว่าจะเป็นการร้อยสายของอุปกรณ์และการวงจรควบคุมจะต้องทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบความคงทนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก ซึ่งจ่ายแรงดันที่ 2 kV r.m.s. ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ก็ต้องต่อลงดินด้วย เป็นเวลา 1 นาที ตามมาตราฐาน IEEE C57.12.00 ค่าแรงดันเฉพาะ ซึ่งทดสอบด้วยวิธีนี้จะมีค่า 1.5 kV r.m.s ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ ยกเว้น วงจรหม้อแปลงกระแส จะต้องถูกทดสอบด้วยแรงดัน 2.5 kV r.m.s

อุปกรณ์อื่นๆ เช่น มอเตอร์ ที่มีค่าแรงดันทดสอบต่ำกว่าค่าเฉพาะ ก็ควรที่จะถอดอุปกรณ์นั้นออกก่อน

2.15 การวัดค่

าจะเป็นผลให้เกิด

กระแสในแกนเห ของความสัมพันธ์

ระหว่างแรงแม่เห curve

นาดน้อยมากใน

หม้อแปลงไฟฟ้า กที่มีอยู่ในกระแส

ขณะไม่มีภาระท

งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เพื่อทำการติดตั้ง ลง

าความหนาแน่น

ของฟลักซ์แม่เห 2.79 โดยค่าฮาร์โมนิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นของแม่เหล็ก โดยดูได้จากกราฟในรูปที่ 2.80

2.15.3 วงจรการวัด

วงจรการวัดค่าฮาร์โมนิกนั้น จะมีการต่อวงจรเหมือนกับการทดสอบการวัดค่าความสูญเสียของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า แต่จะทำการต่อเครื่องมือวิเคราะห์ฮาร์โมนิกเข้ากับแอมมิเตอร์ดังรูปที่ 2.81

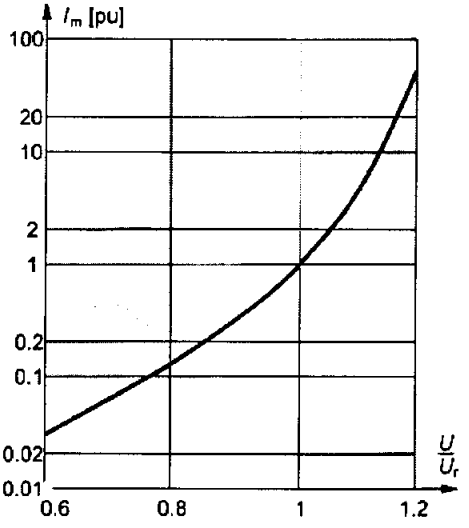
2.15.4 กระบวนการวัด

ในการวัดแรงดันที่ป้อนให้กับการทดสอบนั้นจะใช้โวลต์มิเตอร์ธรรมดา โดยปกติจะต้องสามารถวัดแรงดันที่ ระดับ 90%, 100% และ 110% ของแรงดันพิกัดได้ การเพิ่มแรงดันจะทำการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่ศูนย์จนถึงระดับที่ต้องการ

ฟฟ้าสำหรับอัดเกลียว
องตัวระบายความร้อน

4 = เส้นกำหนดแสดงรูปร่าง
5 = ที่เปลี่ยนแท็ปขณะมีภาระทางไฟฟ้า
6 = บุชชิ่งทางด้านแรงดันสูง
7 = บุชชิ่งทางด้านแรงดันต่ำ
D = ระยะห่างของไมโครโฟน
H = ความสูงของตัวถัง
X = ระยะในการวัดระดับเสียง

รูปที่ 2.78 ตำแหน่งที่สำคัญของไมโครโฟนในการวัดระดับเสียงของหม้อแปลงที่ไม่ใช้ระบบระบายความร้อน



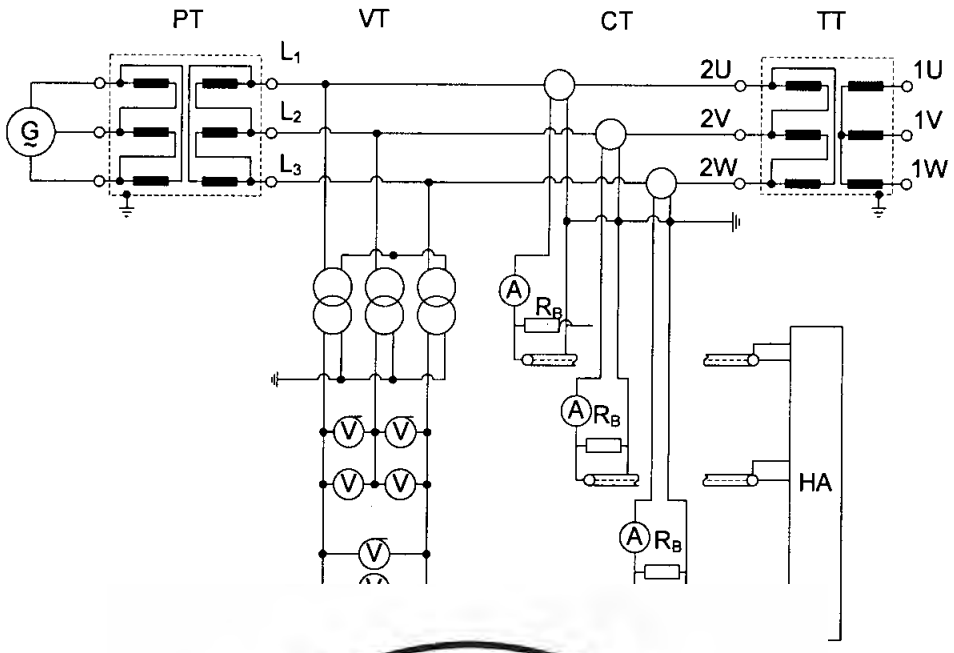
รูปที่ 2.7 ของฟลักซ์

รูป การเกิดความผิดพลาดของความหนาแน่นของฟลักซ์

โดยไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะทำให้แกนเหล็กเกิดการอิ่มตัวทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ โดยจากเหตุผลเดียวกันนี้จึงต้องค่อยๆ ทำการลดระดับแรงดันเมื่อต้องการเลิกการทดสอบ

2.15.5 ค่าที่ได้จากการวัด

ค่าฮาร์โมนิกที่วัดได้จากการทดสอบนั้น มาตรฐานไม่ได้มีการกำหนดเกณฑ์ว่าต้องมีค่าเท่าใด การวัดค่านั้นทำเพื่อเป็นการเก็บไว้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อใช้ในการตรวจสภาพของหม้อแปลงหลังจากใช้งาน และเพื่อเป็นการบันทึกค่าไว้เพื่อปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันหรือรีเลย์ต่างๆ



2.16 การวัดค่า

เพื่อหาความด้า ดเมกเกอร์นั้น ทำ
ด้านทานที่ได้นี้ส นเอง ซึ่งค่าความ
ว่าย

กล่าวได้ว่าค่าค ห์ม (MΩ) เราอาจ
อุณหภูมิ ความ ว่น การออกแบบ
ด้านทานของฉน รซึ่ง เมื่อค่าความ
ลับมาเป็นค่าเดิม
ได้โดยการทำความสะอาดและทำให้ฉนวนแห้ง

ค่าความด้านทานของฉนวนจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป และในบางทดสอบก็จำเป็นต้องกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปให้อยู่ในค่าเดียวกันด้วย

ตามมาตรฐาน IEEE std C57.12.00 ระบุว่าค่าความด้านทานของฉนวนจะต้องวัดระหว่างแกนเหล็กกับดิน และจะต้องวัดหลังจากจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอย่างน้อย 500 โวลต์ ในระยะเวลา 1 นาที

2.16.3 วงจรการวัดและกระบวนการวัด

วงจรการวัดค่าความด้านทานของฉนวนนั้นมีลักษณะเหมือนกับวงจรการทดสอบความคงทนของฉนวน ต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก การทดสอบจะทำโดยการต่อขั้วของหม้อแปลงในแต่ละด้านเชื่อมถึงกัน ดังรูปที่ 2.82

จะใช้เครื่องวัดเมกโอห์ม ที่มีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงรวมอยู่ด้วย ในการวัดค่าความต้านทานของฉนวน เครื่องวัดเมกโอห์มจะใช้ในย่านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปกติ คือ 0.5 kV 1kV 2.5 kV และ 5 kV

ระยะเวลาในการวัดควรเป็น 1 นาที การอ่านค่าจะอ่านค่าหลังจากเริ่มวัด 15 และ 60 วินาที ความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้หลังจากเริ่มวัด 60 วินาที และ 15 วินาที ควรอยู่ในช่วง 1.3 – 3 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้โดยทั่วไป

อุณหภูมิของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบควรที่จะต้องบันทึกค่าไว้ด้วย และควรทำให้อุณหูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอ้างอิงมากที่สุดคือ 20°C

ในวงจรการวัดเดียวกันนั้นสามารถหาค่าดัชนีโพลาไรเซชั่น (PI) ได้ การหาค่า PI คือการหาอัตราส่วนระหว่างค่าที่อ่านได้ 10 นาที กับ 1 นาที โดยที่ค่า PI มากกว่า 2 ถือว่าฉนวนอยู่ในสภาพดี แต่ถ้าค่า PI น้อยกว่า 1 จะถือว่าสภาพของฉนวนนั้นมีปัญหา

2.17 การวัดค่า **ระบบฉนวน**

ค่าความต้านทาน
ของฉนวนซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินสภาพของฉนวนภายในหม้อแปลง

ลักษณะสำคัญของค่าประกอบกำลังยังเป็นค่าในทัศนคติเท่านั้น อย่างไรก็ตามค่าประกอบกำลังนี้เป็นประโยชน์ในการตัดสินสภาพของฉนวนอย่างมาก

2.17.2 หลักการทั่วไปในการทดสอบ

มาตรฐาน IEC ได้กำหนดลักษณะของค่าประกอบกำลังว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าเสมือน

มาตรฐาน IEEE ได้กำหนดลักษณะอีกส่วนหนึ่งของค่าประกอบกำลังไว้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่กระจายในเนื้อฉนวนในหน่วยวัตต์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากแรงดันและกระแสในหน่วยของโวลต์-แอมแปร์ เมื่อทำการทดสอบด้วยแรงดันรูปคลื่นซายน์ ค่าประกอบกำลังของฉนวนปกติจะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์

การวัดค่าประกอบกำลังของฉนวนภายในห้องทดสอบ จะเป็นประโยชน์ในการมาเปรียบเทียบกับค่าประกอบกำลังที่ทำการวัดในบริเวณติดตั้งหม้อแปลง เพื่อพิจารณาสภาพของฉนวนหลังทำการขนย้ายหม้อแปลงไปยังจุดติดตั้ง

โดยไม่สามารถกำหนดค่าที่เหมาะสมของค่าประกอบกำลังนี้ได้ เนื่องจากเหตุผลดังนี้

1) ไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์น้อยมากระหว่างความสามารถในการทดสอบความทนทานของฉนวนกับค่าประกอบกำลัง

2) การเปลี่ยนแปลงค่าประกอบกำลังกับอุณหภูมิไม่มีความแน่นอน

3) ชนิดของของเหลวและฉนวนต่างๆ ที่ถูกใช้ในหม้อแปลงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าประกอบกำลังของฉนวนอย่างมาก

2.17.3 วงจรและกระบวนการทดสอบ

ร์อวิธีที่เรียกว่า วิธี

โวลต์-แอมแปร์-

C_X ซึ่งเป็นตัวเก็บ

ประจุของหม้อแ มาตรฐาน

ค่าความเก็บประจุ

ของหม้อแปลง แ

ดันสูงที่มีค่าความ

สูญเสียทางฉนว

ทาน R_3, R_4 และ r

นอกจากนั้นจะมี

ตามพระราชดำริในโอกาสที่พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อเป็นการลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนภายนอก จะมีการใช้สายโคแอกเชียลทำการเชื่อมระหว่าง C_X กับวงจรบริดจ์ และใช้ระหว่างตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_N กับวงจรบริดจ์ด้วย เมื่อวงจรบริดจ์สมดุลผู้ทดสอบสามารถทำการหาค่าความเก็บประจุ C_X และค่าประกอบกำลัง tanδ ได้จากสมการ

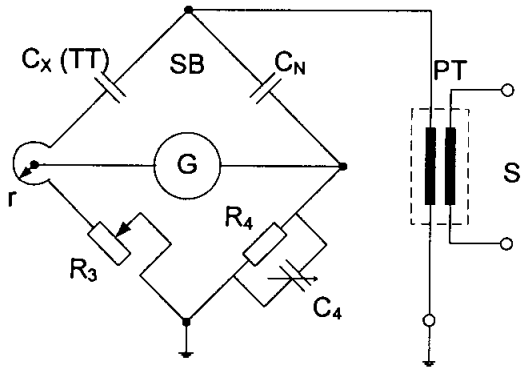
$$C_X = \frac{C_N \cdot R_4}{R_3 + r} \tag{2.102}$$

$$tan\delta = C_4 \cdot \omega \cdot R_4 \tag{2.103}$$

เมื่อ

$$\omega = 2\pi f \tag{2.104}$$

ในวงจรบริดจ์นี้ส่วนมากจะใช้ค่าความต้านทาน R_4 ที่สามารถทำการคำนวณได้ง่ายเช่น 100/π, 1000/π หรือ 10000/π ในหน่วยโอห์ม



รูปที่ ...ตลวด

...ยบกระแสและ

ไมโครโปรเซสเซ...

...ได้อธิบายมาแล้ว

ข้างต้น โดยดูลัก...

...ทำการจ่ายกระแส

ออกเป็น 4 ส่วนเ...

...รฐาน C_N รวมถึง

การต่อวงจรระห...

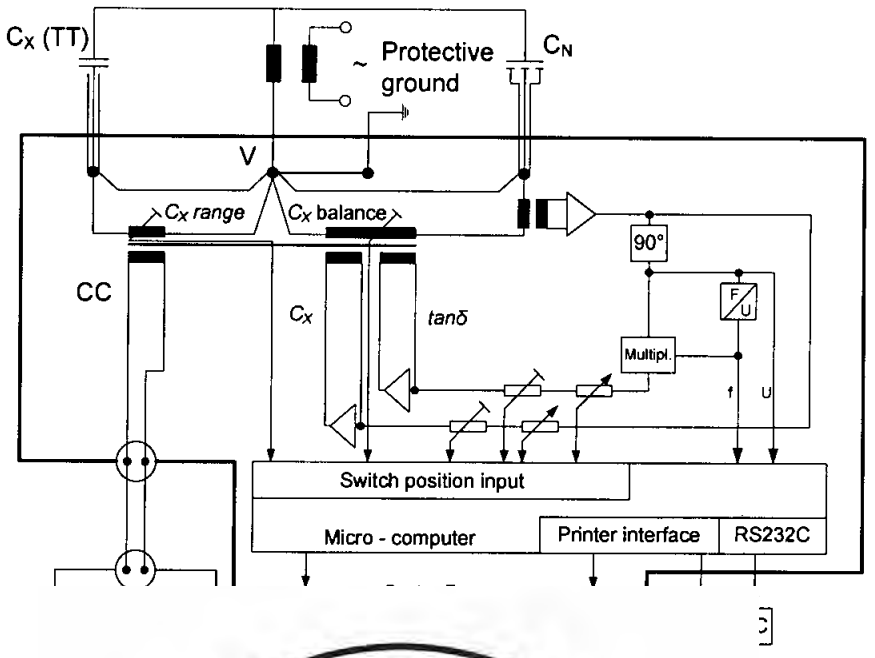
...่อนกับที่กล่าวมา

ข้างต้น

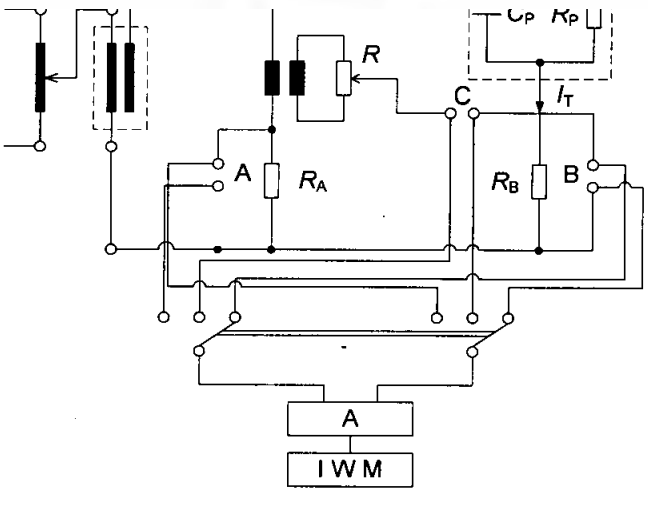
...ะสมกระแสของ

ไฟฟ้ากระแสสลับ ...หน่วย mA ...หรือ μA ...ค่าความสูญเสียในหน่วยของไฟฟ้ากระแสสลับในหน่วย W และค่าความเก็บประจุในหน่วย pF โดยเปอร์เซนต์ของค่าประกอบกำลังจะถูกคำนวณจากค่ากระแสสะสมและค่าความสูญเสียที่บันทึกไว้ในหน่วยของวัตต์

การทดสอบแบบดับเบิ้ลเทสต์มีการต่อวงจรวัดแบบพิเศษ โดยกระแสของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ (I_T) จะอยู่ในรูปของการขนานกันของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานตามรูปที่ 2.85 จากนั้นวงจรที่สมดุลจะถูกต่อเข้ากับวงจรวัด และในส่วนของความเก็บประจุ I_C ของหม้อแปลงจะถูกทำให้สมดุล เหลือเพียงส่วนประกอบที่มีเฟสเดียวกัน I_R ของกระแสจะถูกวัดด้วยมิเตอร์ โดยสามารถดูรูปวงจรการทดสอบดับเบิ้ลเทสต์ได้จากรูปที่ 2.86



รูปที่ 2.84 แส ารโปรเซสเซอร์



รูปที่ 2.86 วงจรการทดสอบแบบดับเบิ้ลเทสต์

2. กระบวนการวัดตามมาตรฐาน IEEE [51]

ก่อนทำการทดสอบนั้นขดลวดทุกขดจะต้องถูกทำการลัดวงจรเข้าด้วยกัน ส่วนระดับของแรงดันที่จะใช้ในการทดสอบนั้นจะต้องไม่สูงเกินกว่า 10kV

ในการทดสอบค่าประกอบกำลังนั้นจะต้องถูกทำการทดสอบระหว่างขดลวดกับกราวด์ และระหว่างขดลวดกับขดลวด โดยสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีสองขดลวดจะต้องทำการทดสอบ 3 ลักษณะคือ

ขดลวดแรงดันสูง กับ ขดลวดแรงดันต่ำและกราวด์

ขดลวดแรงดันต่ำ กับ ขดลวดแรงดันสูงและกราวด์

ขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ กับ กราวด์

หากทำการทดสอบค่าประกอบกำลังของฉนวนในขณะที่อุณหภูมิของฉนวนมีค่าสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิอ้างอิง คือ 20°C ค่าที่ได้จะนำมาปรับให้ถูกต้องตามสมการ

(2.105)

เบ

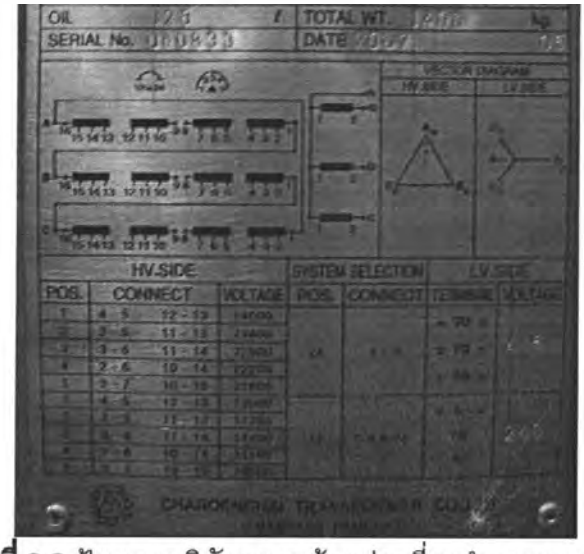
มาตรฐาน IEEE)

บทที่ 3
หม้อแปลงทดสอบและเครื่องมือที่ใช้การทดสอบ

3.1 หม้อแปลงและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบที่บริษัท เอบีบี (ประเทศไทยจำกัด)

3.1.1 หม้อแปลงทดสอบ

หม้อแปลงที่จะใช้ในการทดสอบนั้นเป็นหม้อแปลง 3 เฟส พิกัด 400 kVA 24000/12000 V 50 Hz มีกลุ่มของเวคเตอร์แบบ Dyn11 มีระบบระบายความร้อนแบบ ONAN มีค่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของขดลวด 65°C โดยมีลักษณะภายนอกดังรูปที่ 3.1



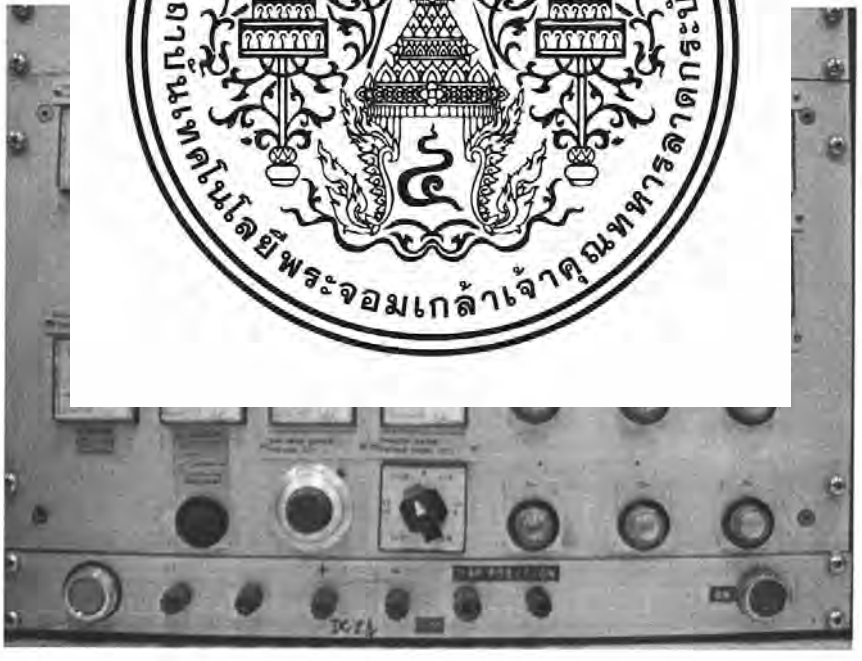
รูปที่ 3.2 ป้ายบอกพิกัดของหม้อแปลงที่จะทำการทดสอบ

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

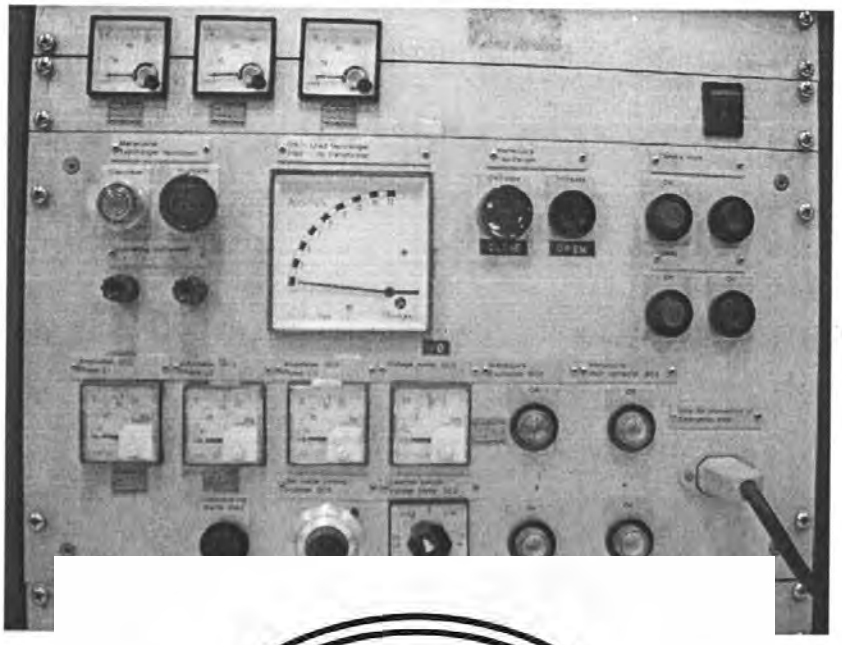
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้น สามารถทำการแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องมือที่ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงาน แรงดันหรือกระแสให้กับหม้อแปลงทดสอบ ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการต่อวงจรทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงทดสอบ ส่วนเครื่องมืออีกประเภทหนึ่งคือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ เพื่อบันทึกเป็นผลการทดสอบ โดยในการบอกถึงรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจะใช้การแบ่งประเภทตามหลักการนี้

3.1.2.1 เครื่องมือที่ทำหน้าที่ทางวงจรไฟฟ้า

1) เครื่องผลิตกำลังไฟฟ้า (Generator) ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบการวัดค่าความสูญเสียขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า การวัดค่าความสูญเสียขณะมีภาระทางไฟฟ้า การวัดค่าฮาร์โมนิก การวัดค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ การวัดค่าการเพิ่มอุณหภูมิของหม้อแปลง การทดสอ ปลี่ยนแทปขณะมีภาระทางไฟฟ้า ิกัด 6.25 MVA 0.8 p.f. 3 เฟส 5



รูปที่ 3.3 ชุดควบคุมการขึ้นแรงดันของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าพิกัด 50Hz



รูปที่ 3

:00 Hz

:

เครื่องผลิตกำลัง

ทดสอบ โดยหม้อ

:

กระแสสลับ 1 เฟ

ที่ใช้ในการทดสอ

200kV รวมจ่ายแ

มแรงดันไฟฟ้าที่

าเสมอในทุกการ

-84.4kV 50 Hz

ขึ้นแรงดันไฟฟ้า

ก โดยหม้อแปลง

ขึ้นแรงดันได้อีก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

รูปที่ 3.5 หม้อแปลงแคสเคด จ่ายแรงดันได้ 350 kV

3.1.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และบันทึกค่าต่างๆ จากการทดสอบ

1) เครื่องวัดค่าความต้านทานของขดลวด มีลักษณะตามรูปที่ 3.6 โดยเครื่องวัดที่ใช้ในห้องทดสอบ เป็นเครื่องวัดของ Tettex Instrument แบบมีระบบจัดเก็บข้อมูล มีช่วงการวัดระหว่าง 1 μΩ ถึง 20 kΩ และสามารถทำการจ่ายกระแสเพื่อใช้ในการวัดได้ 50A

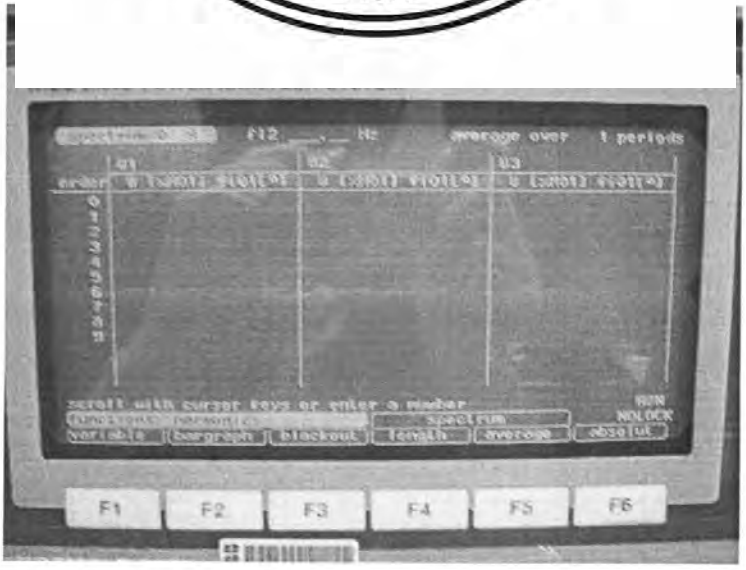
2) เครื่องวัดอัตราส่วนของหม้อแปลง และกลุ่มเวคเตอร์ มีลักษณะตามรูปที่ 3.5 เครื่องที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องวัดของบริษัท Tettex Instrument สามารถทำการจ่ายแรงดันได้ในช่วง 95 – 240 VAC จ่ายกระแสได้ไม่เกิน 3.15A ที่ความถี่ 50Hz และ 60Hz

รูปที่ 3.7 เครื่องตรวจสอบกลุ่มของเวคเตอร์ และวัดอัตราส่วนของหม้อแปลง

3) เครื่องวัดแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เครื่องมือวัดชนิดนี้จะใช้ทำงานร่วมกับเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้ในการอ่านค่าพลังงาน แรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับหม้อแปลงทดสอบในการทดสอบที่ต้องทำการเปิดเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเครื่องที่ใช้ในห้องทดสอบจะเป็นเครื่องวัดของ LEM รุ่น NORMA D6000 โดยเครื่องวัดจะต้องทำงานร่วมกับหม้อแปลงกระแส และหมอแปลงแรงดันเพื่อใช้ในการแปลงกระแส และแรงดันให้อยู่ในระดับที่เครื่องวัดสามารถทำงานได้

นอกจากนี้เครื่อง NORMA นี้ยังสามารถใช้ทำการวัดค่าฮาร์โมนิก และอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ได้อีกด้วย

รูปที่ 3. ทดสอบ



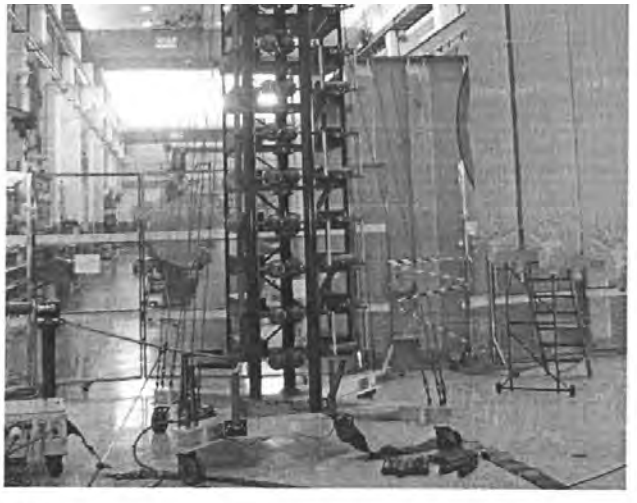
รูปที่ 3.9 เครื่อง NORMA ขณะทำการวัดค่าฮาร์โมนิก

4) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลงทดสอบ ในการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแหล่งจ่ายภายนอก

5) ชุดสร้างและตรวจจับแรงดันอิมพัลส์ ใช้ในการจำลองการเกิดแรงดันอิมพัลส์ในลักษณะต่างๆ เช่น แรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า เป็นต้น โดยเครื่องมือชุดนี้จะแบ่งอุปกรณ์หน้าที่การทำงานออกเป็น 4 ส่วน คือ

5.1) เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ มีจำนวน 16 ชั้น สามารถสะสมประจุได้ชั้นละ 100kV รวมความสามารถในการสร้างแรงดันอิมพัลส์ได้ 1600kV

รูปที่ นอก



รูปที่ 3.11 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 16 ชั้น 1600kV

5.2) ชุดควบคุมการขึ้นแรงดัน ใช้ชุดควบคุมของ Haefely Control GC 223 สามารถทำการปรับระยะห่างของแกปได้เองโดยอัตโนมัติ สามารถเลือกระดับแรงดันที่จะทำการสะสมในแต่ละชั้นได้

5.3) ชุดสร้างรูปคลื่นชอป มีจำนวน 6 ชั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสเฟียร์แกป 25 เซนติเมตร

5.4) ชุดตรวจจับรูปคลื่นอิมพัลส์ ใช้อุปกรณ์ของ Haefely รุ่น Test AG HiAS 743 สามารถตรวจจับและแสดงผลรูปคลื่นแรงดัน และกระแสได้พร้อมกัน สามารถทำการเปรียบเทียบลักษณะของรูปคลื่น ในแต่ละรูปได้ พร้อมทั้งสามารถพิมพ์รูปคลื่นออกมาได้

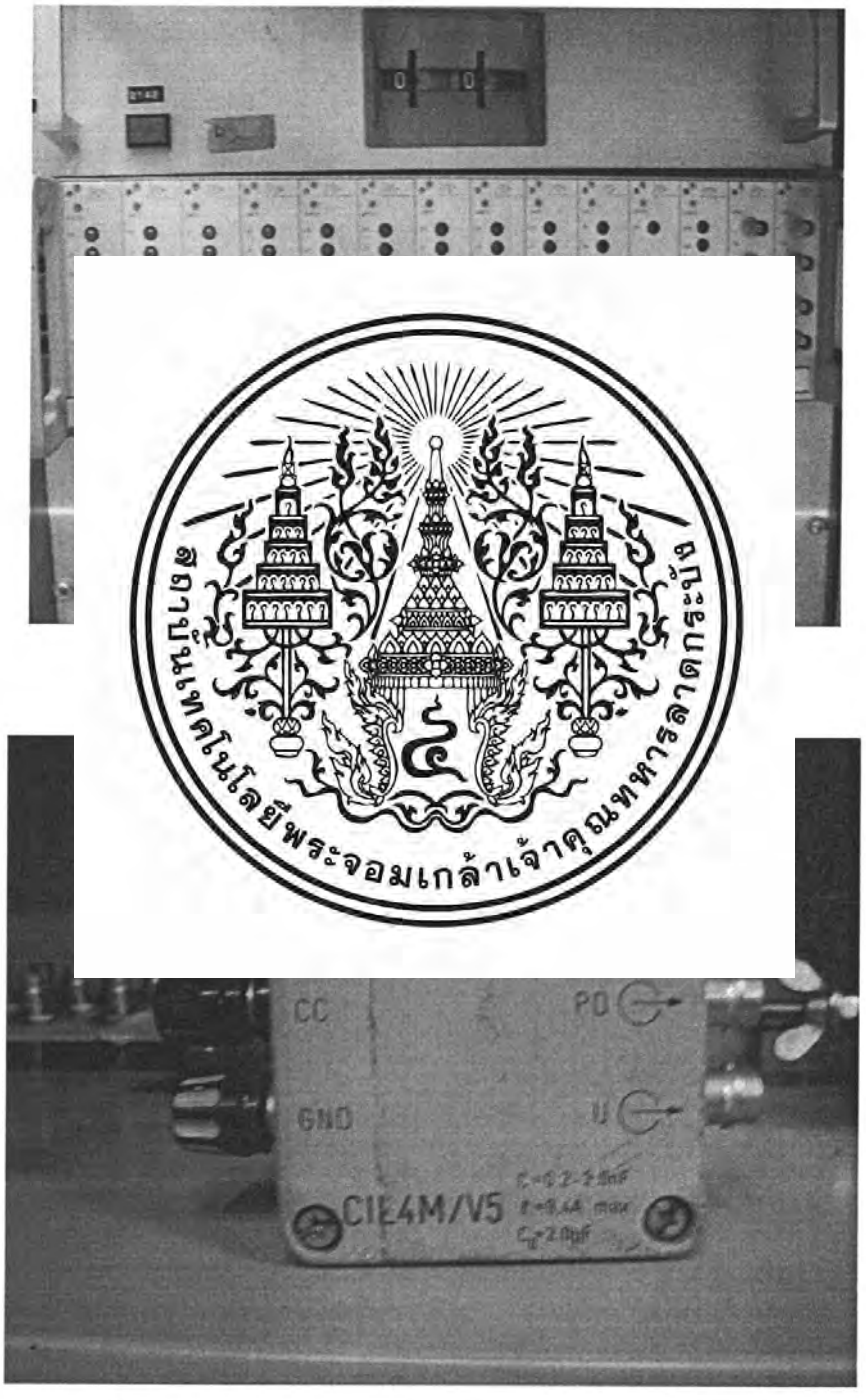
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศูนย์วิทยทรัพยากร
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ 3.12 ชุ งดันอิมพัลส์

รูปที่ 3.12 ชุดสร้างรูปคลื่นชอป

6) เครื่องตรวจจับการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลง ใช้ในการตรวจจับสัญญาณการเกิดดีสชาร์จบางส่วนภายในหม้อแปลง โดยเครื่องมือตรวจจับที่ห้องทดสอบจะมีการต่อข้อมูลเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลเป็นรูปคลื่น และข้อมูลที่เป็นตัวเลขอย่างชัดเจน

7) เครื่องวัดค่าความต้านทานของฉนวน หรือที่เรียกว่า เมกเกอร์ สามารถทำการจ่ายแรงดันสำหรับทำการวัดได้ 5000VDC



รูปที่ 3.14 ตัวกรองสัญญาณในการวัดการเกิดดีสชาร์จบางส่วน

เรื่องของ Tettex

Instrument รุ่น r จ่ายแรงดันได้ไม่

เกิน 15kV จ่ายก

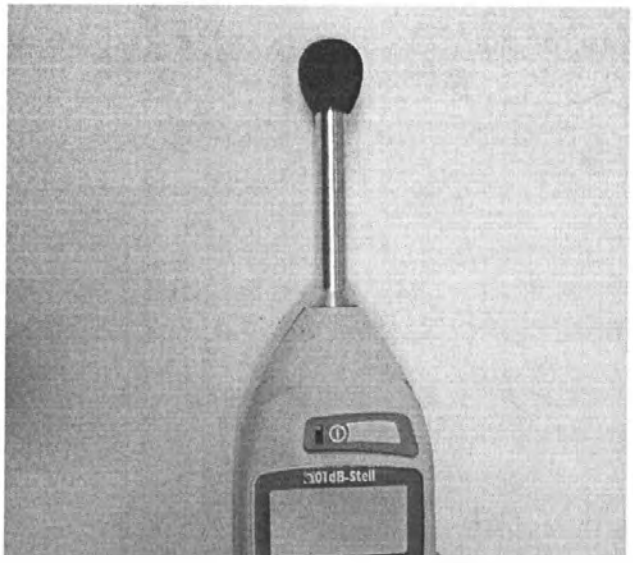
องที่ใช้ขึ้นอยู่กับ

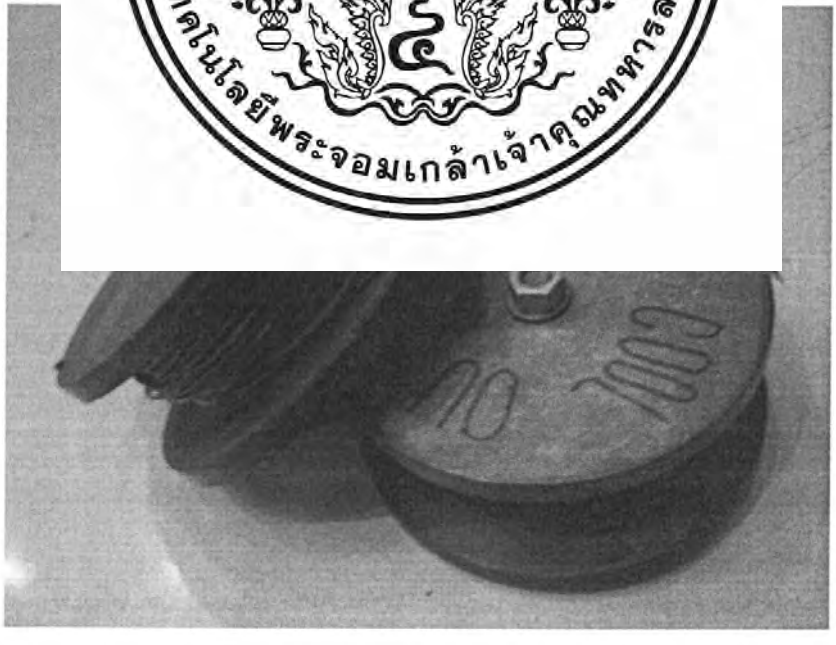
ขนาดและระดับเ

ทอร์โมคูเปิลเข้า

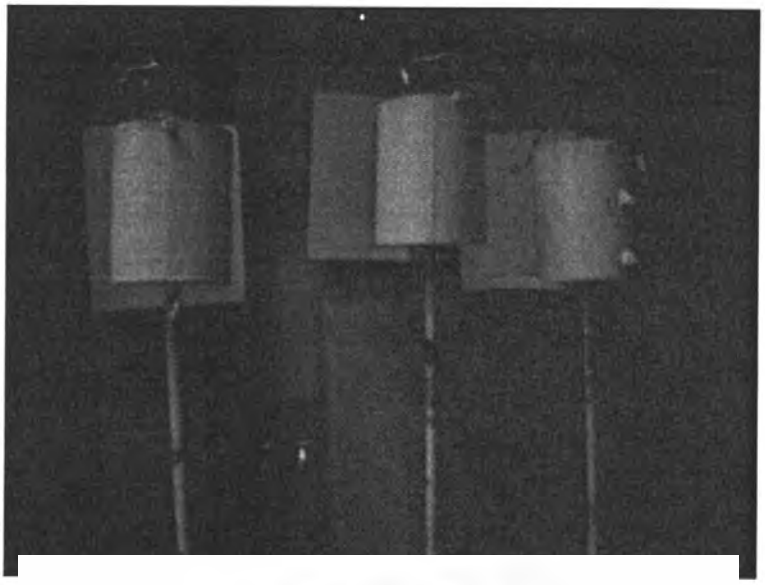
มายังเครื่องคอม

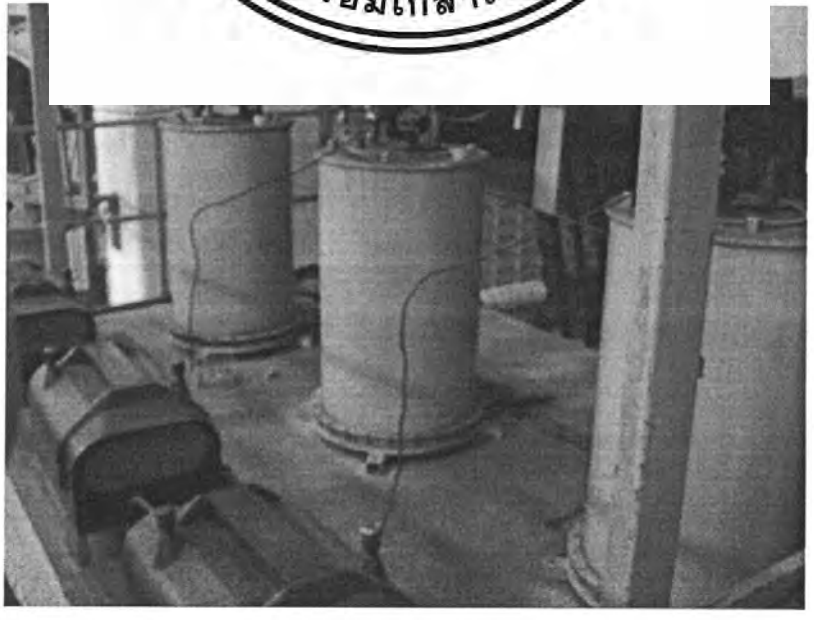
รูปที่ 3.16 เครื่องวัดค่าประกอบกำลังของฉนวน (tanδ)



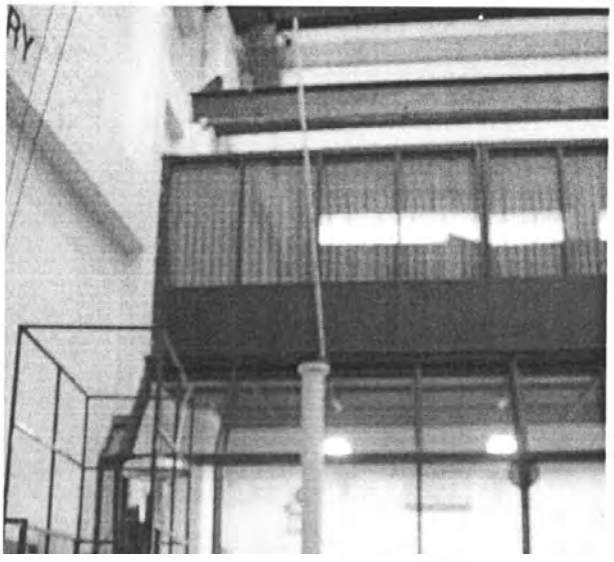


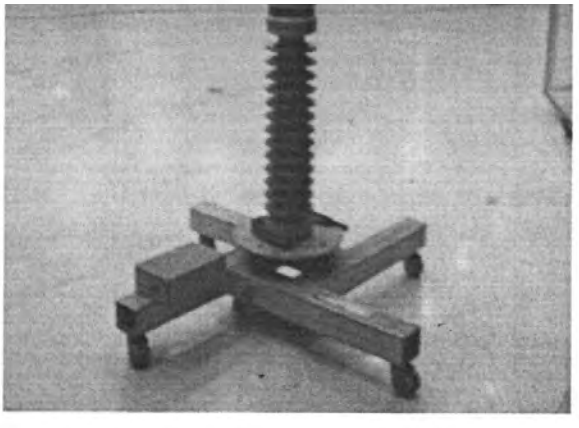
รูปที่ 3.18 สายเทอร์โมคูเปิลที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ





รูปที่ 3.20 หม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส

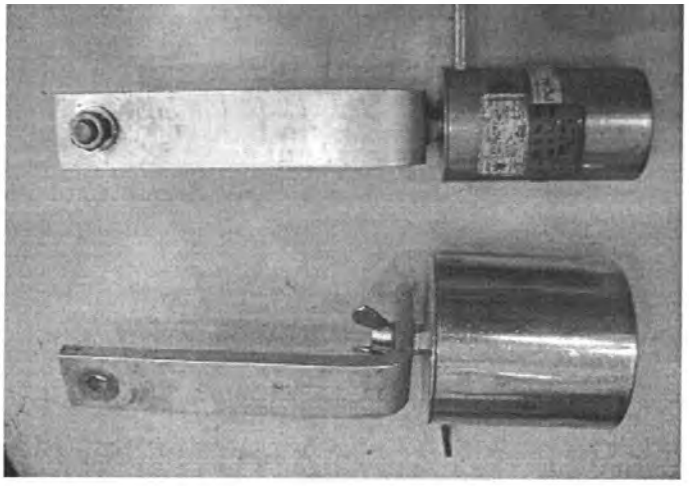




รูปที่ 3.22 โวลต์เตจดิไวเดอร์สำหรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

4) โวลต์เตจดิไวเดอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้ในการลดทอนแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแหล่งจ่ายภายนอก เข้าสู่เครื่องมือวัดค่าและแสดงผล

5) ตัวเก็บประจุ ใช้ในการเป็นตัวเก็บประจุคับปลิ้ง (C Coupling) ในการวัดการเกิดดีสชาร์จ์บางส่วน หรือใช้ในการแต่งลักษณะรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์



รูปที่ 3.24 ตัวต้านทานชันต์ ใช้ในการอ่านค่ากระแสอิมพัลส์

3.2 หม้อแปลงและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2.1 หม้อแปลงทดสอบ

หม้อแปลงที่จะใช้ในการทดสอบนั้นเป็นหม้อแปลง 3 เฟส พิกัด 12000/416 V 50 Hz มีกลุ่มของเวคเตอร์แบบ Dyn1 โดยมีลักษณะภายนอกดังรูปที่ 3.25

3.2.2 เครื่องมือ

ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องมือที่ทำ งทดสอบซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐา วนเครื่องมืออีกประเภทหนึ่งคือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ เพื่อบันทึกเป็นผลการทดสอบ โดยในการบอกถึงลายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจะใช้การแบ่งประเภทตามหลักการนี้

3.2.2.1 เครื่องมือที่ทำหน้าที่ทางวงจรไฟฟ้า

1) หม้อแปลงขึ้นแรงดัน ใช้สำหรับการขึ้นแรงดันของการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ โดยที่ใช้เป็นหม้อแปลง 1 เฟส รุ่น SD-16 พิกัด 4 kVA ทนกระแสได้มากที่สุด 16 A แรงดันและความถี่ป้อนเข้า 220 V/50-60 Hz จ่ายแรงดันได้ในช่วง 0-250 V แสดงดังรูปที่ 3.26

3.2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด และบันทึกค่าต่างๆ จากการทดสอบ

1) เครื่องตรวจสอบกลุ่มของเวคเตอร์ และวัดอัตราส่วนของหม้อแปลง โดยเครื่องที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องวัดของบริษัท Tettex Instrument สามารถจ่ายแรงดันได้ที่ 230/115 VAC จ่ายกระแสได้ที่ 0.1/0.2 A ที่ความถี่ 50Hz และ 60Hzลักษณะตามรูปที่ 3.27

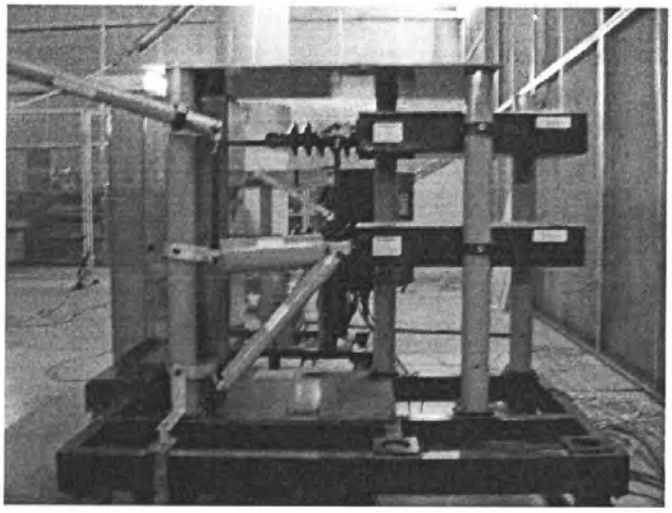
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3. ...อแปลง

2) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยเครื่องที่ใช้เป็นของบริษัท Passoni Villa รุ่น GTU 02-2.5 สามารถจ่ายแรงดันได้ 200 kV มีจำนวน 2 ชั้น สามารถสะสมประจุชั้นละ 100 kV โดยมีเครื่องกำเนิดแรงดันกระแสตรง จ่ายแรงดันที่ 100 kV แสดงดังรูปที่ 3.28

3) เครื่องที่ใช้ในการปรับระยะแก็ปและอ่านค่าแรงดัน โดยที่เครื่องที่ใช้เป็นของบริษัท Passoni Villa ซึ่งเครื่องจะสามารถปรับระยะแก็ปได้จากปุ่มที่มีสีเขียวและเหลือง และสามารถอ่านค่าของแรงดันอิมพัลส์ได้ แสดงดังรูปที่ 3.29

4) ออสซิโลสโคป ใช้ในการแสดงรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ โดยเครื่องนี้เป็นของบริษัท YOKOGAWA รุ่น DL 1520 แสดงผลแบบ 8 Bits แสดงดังรูปที่ 3.30



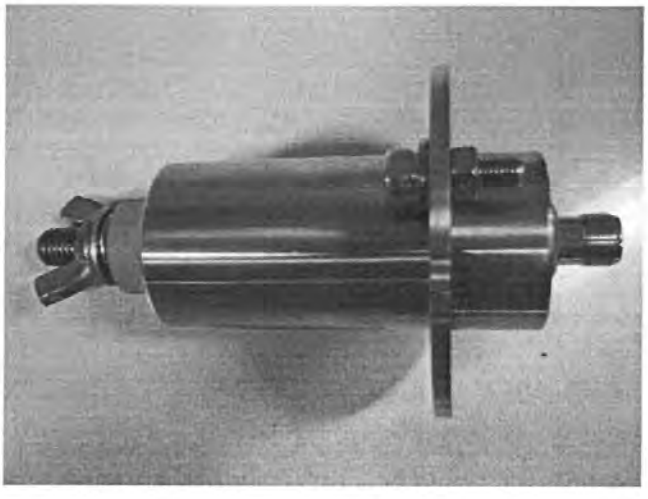
รูปที่ 3.30 ออสซิโลสโคป

3.2.2.3 เครื่องมือช่วยในการวัดต่างๆ

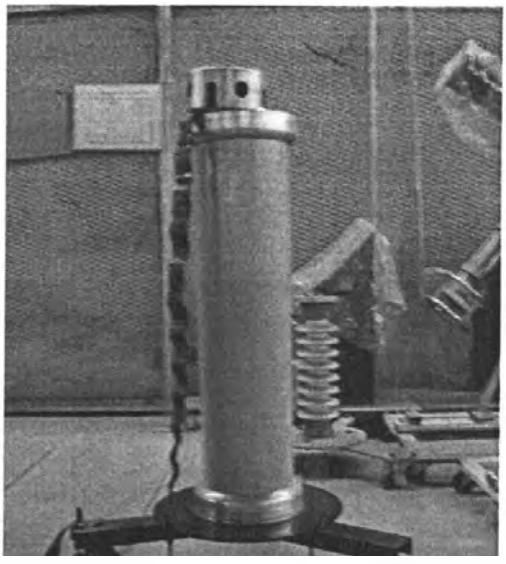
1) อิมพัลส์โวลต์เตจดิไวเดอร์ ใช้ในทอนระดับแรงดันอิมพัลส์ เป็นของบริษัท Passoni Villa รุ่น ILCD-200 เป็นชนิดตัวเก็บประจุ พิกัด 4200 pF อัตราส่วนแรงดัน 26.53 k เพื่อให้เครื่องมือวัดสามารถทำการวัดได้โดยไม่เกินพิกัด และไม่เกิดอันตราย ซึ่งใช้ในการอ่านค่าแรงดันอิมพัลส์แสดงได้ดังรูปที่ 3.29

2) ตัวต้านทานชันท์ ใช้ในการอ่านค่ากระแสอิมพัลส์ ที่ได้จากการจ่ายอิมพัลส์ผ่านหม้อแปลงที่ถูกทดสอบ ก่อนจะผ่านตัวต้านทานนี้ โดยมีค่าความต้านทาน 4.32 Ω

3) อิมพัลส์โวลต์เตจดิไวเดอร์เช่นกัน มีอัตราส่วนแรงดัน 28.88 k แสดงได้ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ตัวต้านทานชันท์ ใช้ในการอ่านค่ากระแสอิมพัลส์



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 4
ตัวอย่างการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1 ตัวอย่างการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่บริษัทเอบีบี (ประเทศไทย) จำกัด

หม้อหม้อแปลงที่จะใช้ในการทดสอบนั้นเป็นหม้อแปลง 3 เฟส พิกัด 400 kVA 24000/12000 V 50 Hz

4.1.1 การหาอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องวัดของบริษัท Tettex Instrument TR2795 สามารถทำการจ่ายแรงดันได้ในช่วง 95 – 240 VAC จ่ายกระแสได้ไม่เกิน 3.15A ที่ความถี่ 50Hz และ 60Hz

วงจรทดสอบ

รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบหาอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ต่อวงจรทดสอบตามรูปที่ 4.1

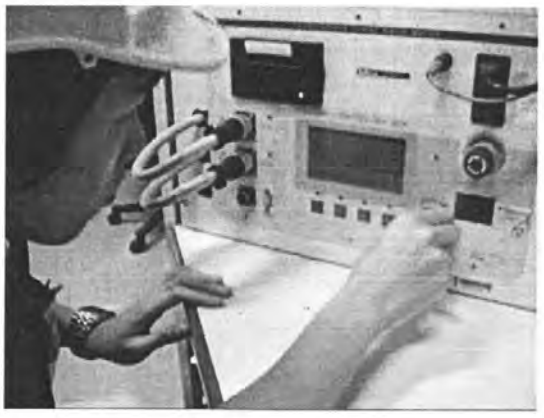
2) ปรับตั้งเครื่องวัด

3) อ่านค่ากลุ่มของเวกเตอร์ แล้วบันทึกผล

4) ทำการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันที่ทุกขั้วและทุกแทป ทางด้านแรงดันสูงระบบ 24 kV แล้วบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดสอบ

5) เปลี่ยนระบบหม้อแปลงเป็นระบบ 12 kV ทำการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันที่ทุกขั้วและทุกแทป แล้วบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดสอบ

(ก)



(ข)

รูปที่ 4 คเตอร์

(ัด

(ง

ตารางที่ 4.1 ผล ร์

ระบบที่ทำการทดสอบ : 24 kV
ขั้วทางด้านแรงดันสูง : A-B-C(24)
ขั้วทางด้านแรงดันต่ำ : a-b-c-n

ตำแหน่งแทป	แรงดันพิกัด (kV)		อัตราส่วนแรงดัน			อัตราส่วนแรงดันเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน (%)
	ด้านแรงดันสูง	ด้านแรงดันต่ำ	A-C n-c	B-A n-a	C-B n-b		
1	24.000	0.41600	99.94	99.95	99.94	99.943	0.017
2	23.400	0.41600	97.48	97.48	97.48	97.480	0.060
3	22.800	0.41600	95.02	95.02	95.02	95.020	0.100
4	22.200	0.41600	92.56	92.56	92.56	92.560	0.140
5	21.600	0.41600	90.10	90.10	90.09	90.097	0.180

กลุ่มของเวกเตอร์ : Dyn11

ระบบที่ทำการทดสอบ : 12 kV

ขั้วทางด้านแรงดันสูง : A-B-C(12)

ขั้วทางด้านแรงดันต่ำ : a-b-c-n

ตำแหน่งแทป	แรงดันพิกัด (kV)		อัตราส่วนแรงดัน			อัตราส่วนแรงดันเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน (%)
	ด้านแรงดันสูง	ด้านแรงดันต่ำ	A-C n-c	B-A n-a	C-B n-b		
1	12.000	0.41600	49.97	49.97	49.96	49.967	0.010
2	11.700	0.41600	48.73	48.73	48.73	48.730	0.040
3	11.400	0.41600	47.51	47.51	47.51	47.510	0.090
4							0.140
5							0.170

การคำนวณผล

24 kV แทป 1

อัตราส่วนแรงดัน $B,n-b)$

24 kV แทป 1

ค่าความคลาดเค

$$= \left|\frac{99.926 - 99.945}{99.926}\right| \times 100$$

$$= 0.017\%$$

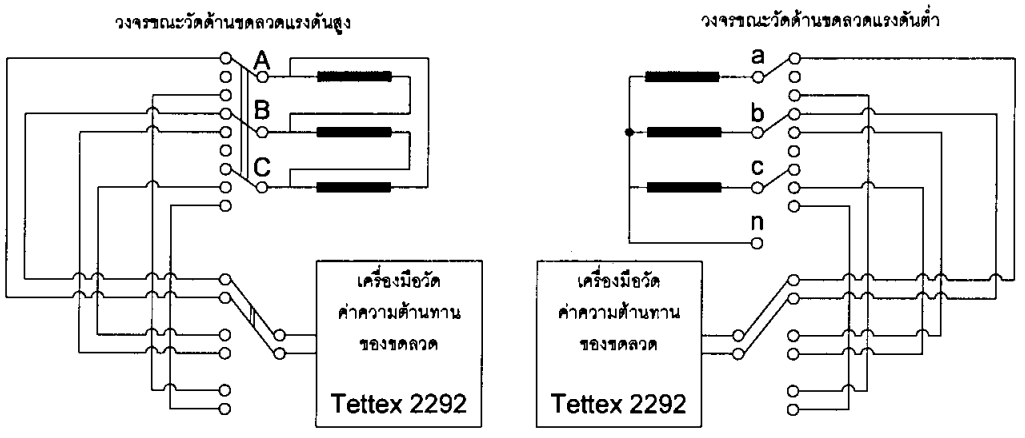
4.1.2 การวัดค่าความต้านทานของขดลวด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องวัดของ Tettex Instrument แบบมีระบบจัดเก็บข้อมูล มีช่วงการวัดระหว่าง 1 μΩ ถึง 20 kΩ และสามารถทำการจ่ายกระแสเพื่อใช้ในการวัดได้ 50A

2) เครื่องวัดอุณหภูมิ

วงจรทดสอบ



(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 วงจรทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวด

ขั้นตอนการทด

งแล้วบันทึกผล

วามด้านทานของ

ขดลวดที่ละคู่เฟ

การวัดความ

ต้านทานของขด

การทดสอบ

ดทีละคู่เฟส แล้ว

บันทึกผลลงในต

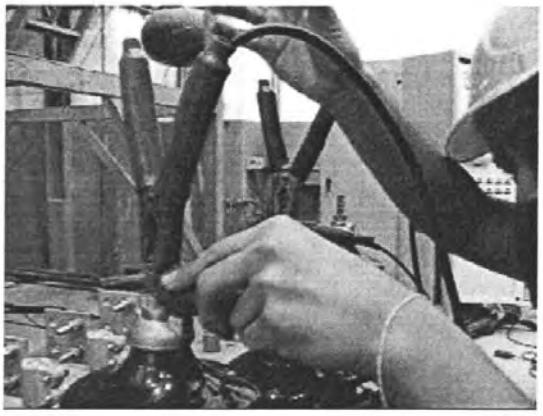
ตารางที่ 4.2 ผล

อุณหภูมิน้ำมันเฉลี่ย : 30.3 °C

ขั้วที่ทำการทดสอบ : A-B-C (ระบบ 24 kV)

ตำแหน่งแทป	ความต้านทานระหว่างเฟส (โอห์ม)			ความต้านทานเฉลี่ย (โอห์ม/เฟส)	ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง (โอห์ม/เฟส)
	A-B	B-C	C-A		
1	13.942	13.932	13.953	20.913	24.437
2	13.560	13.547	13.572	20.340	23.767
3	13.176	13.162	13.182	19.760	23.089
4	12.792	12.781	12.801	19.187	22.420
5	12.405	12.386	12.413	18.602	21.736

(ก)



(ข)

(จ)

(ฉ)

รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการทดสอบในการหาค่าความต้านทานของขดลวด

(ก) วัดอุณหภูมิของหม้อแปลง

(ข) ต่อวงจรทดสอบ

(ค) ปรับตั้งเครื่องวัด แล้ววัดค่าความต้านทานของขดลวด

(ง) เปลี่ยนเฟสทดสอบ

(จ) เปลี่ยนแทป และเปลี่ยนระบบของหม้อแปลง

(ฉ) วัดค่าความต้านทานของขดลวดทางด้านแรงต่ำ

อุณหภูมิอ้างอิง : 75 °C

อุณหภูมิน้ำมันเฉลี่ย : 30.3 °C

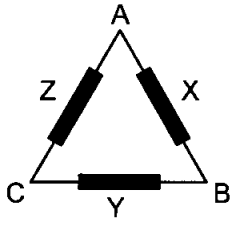
ขั้วที่ทำการทดสอบ : A-B-C (ระบบ 12 kV)

ตำแหน่งแทป	ความต้านทานระหว่างขั้ว (โอห์ม)			ความต้านทานเฉลี่ย (โอห์ม/เฟส)	ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง (โอห์ม/เฟส)
	A-B	B-C	C-A		
1	3.4957	3.4909	3.4988	5.2427	6.1260
2	3.4016	3.3941	3.4041	5.0999	5.9592
3	3.3042	3.2640	3.3066	4.9374	5.7693
4	3.2079	3.2009	3.2102	4.8095	5.6198
5					5.4488

ค	ามต้านทาน
A-B	นหภูมิอ้างอิง
	อห์ม/เฟส)
0.0038360	.0022540

การคำนวณผล

ระบบ 24 kV ที่



ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว A-B = $\frac{R_x(R_Y + R_Z)}{R_X + R_Y + R_Z}$

ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว B-C = $\frac{R_Y(R_X + R_Z)}{R_X + R_Y + R_Z}$

ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว C-A = $\frac{R_Z(R_X + R_Y)}{R_X + R_Y + R_Z}$

เนื่องจากค่าความต้านทานในแต่ละขดลวด มีค่าใกล้เคียงกัน จึงกำหนดให้

$R_X , R_Y , R_Z = R_{avg}$

ดังนั้น

$R_{A-B} , R_{B-C} , R_{C-A} = \frac{2R_{avg}}{3}$

ค่าความต้านทานของขดลวด X = $\frac{3R_{A-B}}{2}$

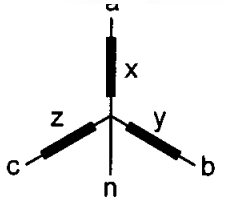
= $\frac{3 \times 13.942}{2}$

= 20.913 โอห์ม

ดังนั้นค่าความต้ 20.929

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ห้องสมุดโรงเรียนพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- ตัวอ แรงดันต่ำ



ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว a-b = $R_x + R_y$

ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว b-c = $R_y + R_z$

ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว c-a = $R_x + R_z$

เนื่องจากค่าความต้านทานในแต่ละขดลวด มีค่าใกล้เคียงกัน จึงกำหนดให้

$R_x , R_y , R_z = R_{avg}$

ดังนั้น

$$R_{a-b}\ ,\ R_{b-c}\ ,\ R_{c-a} = 2R_{avg}$$

ค่าความต้านทานของขดลวด x,y $= \frac{R_{a-b}}{2}$

$= \frac{0.0038360}{2}$

$= 0.001918$ โอห์ม

ค่าความต้านทานของขดลวด y,z $= \frac{R_{b-c}}{2}$

$= \frac{0.0038650}{2}$

$= 0.0019325$ โอห์ม

ดังนั้นค่าความต้ $\frac{5 + 0.0019365}{}$

งหม้อแปลง

ระบบ 24 kV ที่แ

$= 24.441$ เอห์ม

4.1.3 การวัดค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

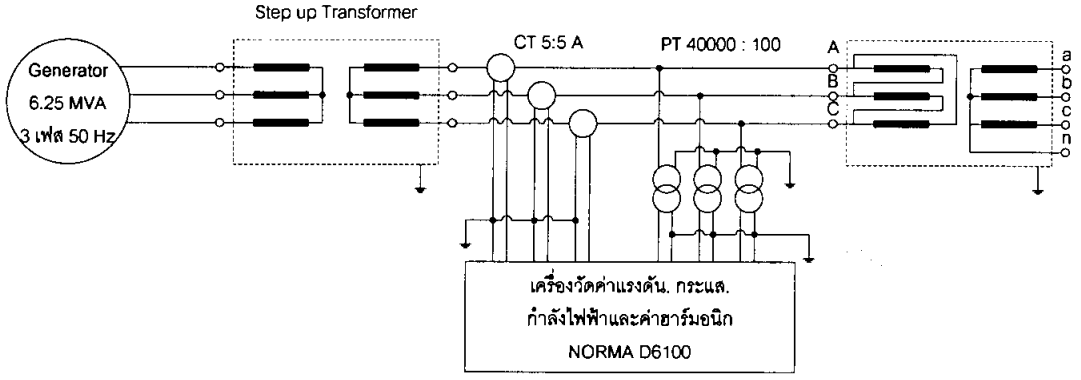
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องวัดแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า LEM รุ่น NORMA D6100 ใช้งานร่วมกับหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน

2) หม้อแปลงขึ้นแรงดัน พิกัด 60 MVA 55±15×1.89% 10kV/3.2-84.4kV 50 Hz

3) เครื่องผลิตกำลังไฟฟ้า พิกัด 6.25 MVA 0.8 p.f. 3 เฟส 50 Hz

วงจรทดสอบ



รูปที่ 4.5 วงจรทดสอบหาค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า
และค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ขั้นตอนการทด

1) ต่อว
2) ปรับ
3) ปรับ
4) ป้อน ปลงไฟฟ้า
5) อ่านค

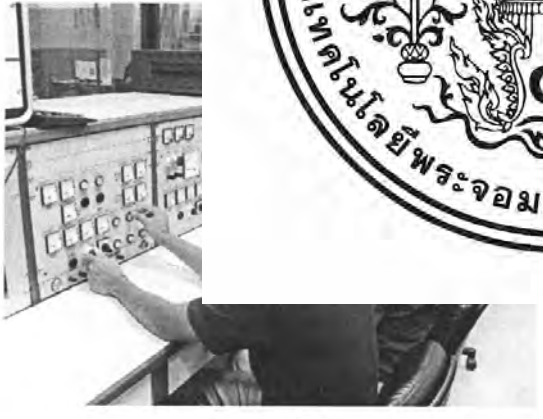
ตารางที่ 4.3 **เระทางไฟฟ้า**

ขั้วที่ทำ
ขั้วที่ทำ
อุณหภูม
แทปที่ทำการทดสอบ : 1
พิกัดกำลังไฟฟ้า : 0.4 MVA

แรงดันที่ป้อน	U' (kV)	U (kV)	I_A (A)	I_B (A)	I_C (A)	ค่าความสูญเสียทั้งหมด (kW)	ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า (kW)	กระแสขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า (A)
110%	26.38	26.59	0.8165	0.7076	0.6924	1.593	1.5810	7.6780%
100%	23.99	24.08	0.0998	0.0781	0.0761	0.9306	0.9271	0.8801%
90%	21.68	21.68	0.0301	0.0212	0.0218	0.6437	0.6416	0.2532%

(ก)

(ข)



(จ)

(ฉ)

รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้าและค่ากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

(ก) ต่อวงจรทดสอบ

(ข) ปรับตั้งหม้อแปลงแรงดัน

(ค) ปรับตั้งหม้อแปลงกระแส

(ง) ปรับตั้งเครื่องมือวัด

(จ) ป้อนแรงดันให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

(ฉ) ทำการอ่านค่าแล้วบันทึกผล

การคำนวณผลการทดสอบ

- ตัวอย่างการหาค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า เมื่อป้อนแรงดัน 100% ของแรงดันพิกัด

ค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงไม่มีภาระทางไฟฟ้า , P_0 หาได้จากสมการ

$$P_0 = P_{0m} \times \left(1 + \left(\frac{U' - U}{U}\right)\right)$$

$$= 0.9306 \times \left(1 + \left(\frac{23.99 - 24.08}{23.99}\right)\right)$$

$$= 0.9271 \text{ kW}$$

- ตัวอย่างการหากระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า เมื่อป้อนแรงดัน 100% ของแรงดันพิกัด

4.1.4 การวัดค่า

อุปกรณ์ที่ใช้ใน

ร่วมกับหม้อแปล

50 Hz

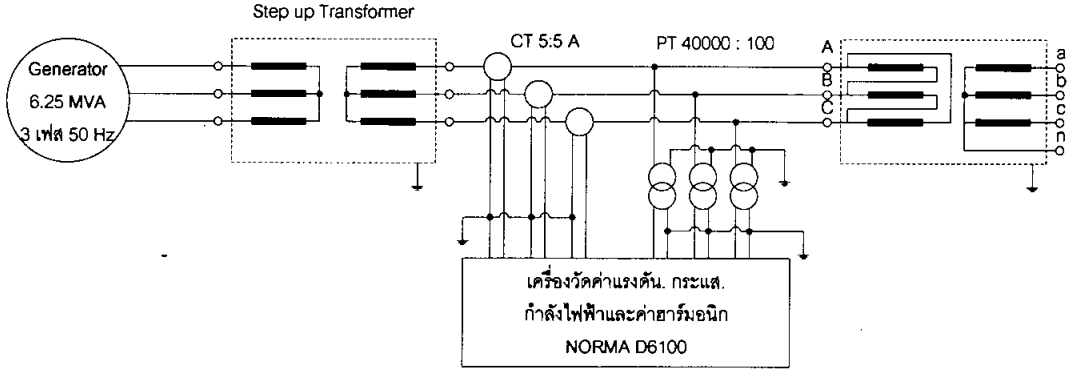
ตราประทับโดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

A D6100 ใช้งาน

kV/3.2-84.4kV

Hz

วงจรทดสอบ



รูปที่ 4.7 วงจรทดสอบหาค่าฮาร์โมนิกของกระแสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ต่อวงจรทดสอบตามรูป
2) ปรับตั้งค่าหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน
3) ปรับตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการอ่านค่า
4) ป้อนแรงดันให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า
5) อ่านค่าและบันทึกผล

รูปที่ 4.8 ขั้นตอ
ขณะหม้อแปลงไ
เพียงสองขั้นตอน

าความสูญเสีย
าะฉะนั้น จึงมี
และบันทึกผล

ตารางที่ 4.4 ผล
แรงดันที่
ขั้วที่ทำ
ความถี่

ไฟฟ้า

ลำดับฮาร์โมนิก	A		B		C	
	แอมพลิจูด (%)	มุมเฟส (°)	แอมพลิจูด (%)	มุมเฟส (°)	แอมพลิจูด (%)	มุมเฟส (°)
1	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
3	1.78	178.21	30.70	89.53	34.06	-7.47
5	50.29	-88.06	51.39	-172.37	54.73	-18.36
7	29.09	-44.00	29.68	-137.88	31.82	27.23
9	0.20	0.00	5.57	-40.22	6.03	20.72
11	7.33	-132.08	7.30	56.04	8.05	9.26

4.1.5 การวัดค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า

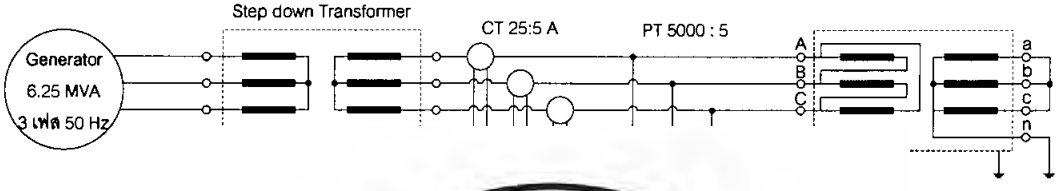
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องวัดแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า LEM รุ่น NORMA D6100 ใช้งานร่วมกับหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน

2) หม้อแปลงขึ้นแรงดัน พิกัด 60 MVA 55±15×1.89% 10kV/3.2-84.4kV 50 Hz

3) เครื่องผลิตกำลังไฟฟ้า พิกัด 6.25 MVA 0.8 p.f. 3 เฟส 50 Hz

วงจรทดสอบ



รูปที่ ดวงจร

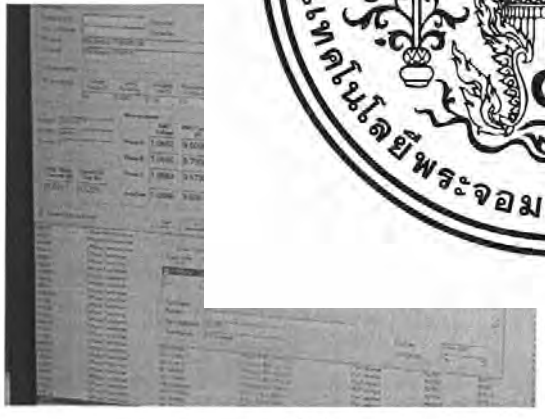
ขั้นตอนการทด

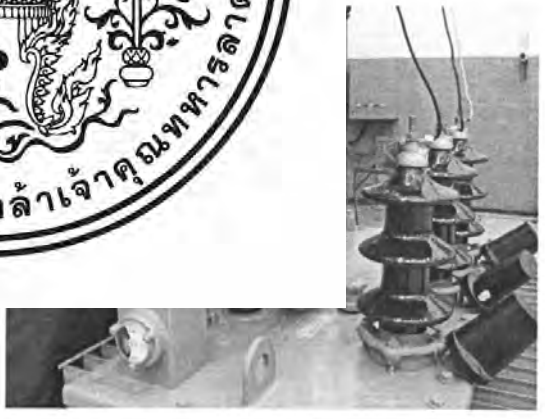
5) ย้ายที่และบันทึกผล

6) เปลี่ยนแรงดันทางด้านแรงสูงเป็นระบบ 12 kV แล้ววัดค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจร และค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า

(ก)

(ข)





(จ)

(ฉ)

รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า

(ก) ต่อวงจรทดสอบ

(ข) ปรับตั้งหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส

(ค) ปรับตั้งเครื่องมือวัด

(ง) ป้อนกระแสให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

(จ) ทำการอ่านค่าแล้วบันทึกผล

(ฉ) เปลี่ยนแรงดันทางด้านแรงสูงเป็นระบบ 12 kV

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาค่าแรงดันและค่าอิมพีแดนซ์ขณะทำการลัดวงจร และค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า

ระบบที่ทำการทดสอบ : 24 kV
ขั้วที่ทำการป้อนแรงดัน : A-B-C
ขั้วที่ทำการลัดวงจร : a-b-c-n
พิกัดกำลังไฟฟ้า : 0.4 MVA
อุณหภูมอ้างอิง : 75°C
อุณหภูมิเฉลี่ยของข้ำมันหม้อแปลงขณะทดสอบ : 30°C

ตำแหน่งแทป	พิกัด	ค่าที่วัดได้	ค่าที่ปรับแก้ที่อุณหภูมิอ้างอิง 75°C	
				ค่าแรงดันขณะลัดวงจร, U_{sc} (kV)
1				1.087
3				1.012
5				0.93

ตำแหน่งแทป	พิกัดแรงดัน (kV)	คาทวดเด			คาทบรบแกทอุณหภูมิอ้างอิง 75°C		
		แรงดันเฉลี่ย, $U_{sc,m}$ (kV)	กระแสเฉลี่ย, I_m (A)	ค่าความสูญเสียที่วัดได้, P_{LM} (kW)	ค่าความสูญเสียจริง, P_L (kW)	ค่าอิมพีแดนซ์ขณะลัดวงจร, Z_{sc}(%)	ค่าแรงดันขณะลัดวงจร, U_{sc} (kV)
1	12	0.5346	19.274	4.2469	4.7909	4.49	0.539
3	11.4	0.4978	20.225	4.3534	4.92	4.41	0.502
5	10.8	0.4653	21.459	4.4635	5.0482	4.35	0.469

การคำนวณผลการทดสอบ

- ตัวอย่างการคำนวณค่าความสูญเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า ของหม้อแปลงระบบ 24 kV แทป 1

จากสมการ

$$P_L = P_{Lm} \cdot \left(\frac{I_{rated}}{I_m} \right)^2$$

$$= 4.2773 \cdot \left(\frac{9.6225}{9.723} \right)^2$$

$$= 4.188 \text{ kW ที่ } 30^\circ C$$

ดังนั้นต้องปรับแก้ให้เป็นค่าที่อณหภมิอ้างอิง โดยเมื่อ

โดยที่

$$P_j = 3.719 \times \left(\frac{235+30.3}{235+30.3} \right)$$

$$= 3.715 \text{ kW ที่ } 30^\circ C$$

$$P_a = 4.1887 - 3.715 = 0.4731 \text{ kW ที่ } 30^\circ C$$

ทำการปรับแก้ค่า P_j และ P_a ไปที่อุณหภูมิอ้างอิง 75°C

$$P_j = 3.715 \times \left(\frac{235+75}{235+30} \right) = 4.3466 \text{ kW}$$

$$P_a = 0.4731 \times \left(\frac{235+30}{235+75} \right) = 0.4045 \text{ kW}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าความสูณเสียขณะหม้อแปลงมีภาระทางไฟฟ้า , P_L ที่ 75°C เป็น

$$P_L = 4.3466 + 0.4045 = 4.751 \text{ kW}$$

- ตัวอย่างการคำนวณหาค่าอิมพิแดนซ์ขณะลัดวงจร , ε_{cc} ของหม้อแปลงระบบ 24 kV แทป 1 จากสมการ

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{\left(\frac{U_{ccm}}{U_r}\times 100\right)^2 - \left(\frac{P_{Lm}}{S_{rated}}\times 100\right)^2 + \left(\frac{P_L}{S_{rated}}\times 100\right)^2}$$

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{\left(\frac{1.0796}{24}\times 100\right)^2 - \left(\frac{4.2773}{400}\times 100\right)^2 + \left(\frac{4.751}{400}\times 100\right)^2}$$

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{20.235 - 1.1435 + 1.408}$$

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{20.235 - 1.1435 + 1.408}$$

$$\varepsilon_{cc} = 4.53\ \%$$

- ตัวอย่างการคำนวณหาค่าแรงดันขณะลัดวงจร , U_{cc} ของหม้อแปลงระบบ 24 kV แท

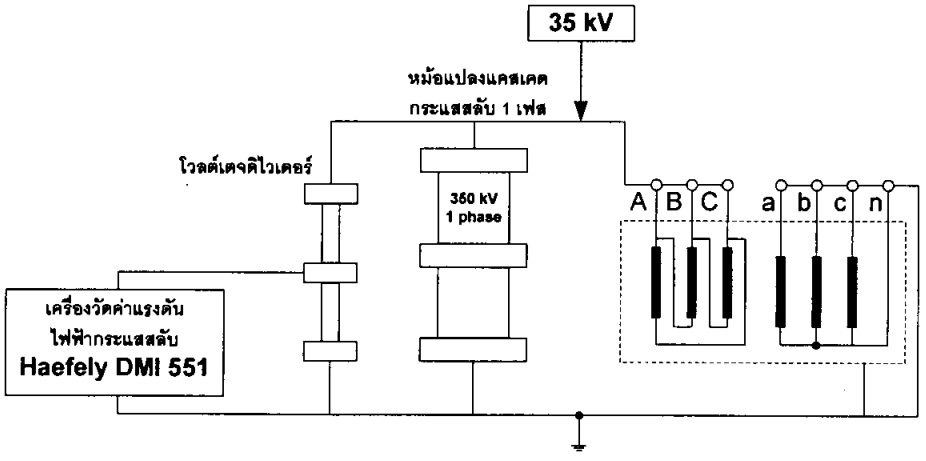
4.1.6 การวัดหา **เยภายนอก**

อุปกรณ์ที่ใช้ใน

เรงดันไฟฟ้า

กระแสสลับ 1 เ

วงจรทดสอบ



รูปที่ 4.11 วงจรทดสอบหาค่าความคงทนฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ต่อวงจรทดสอบตามรูป
2) ป้อนแรงดันให้กับหม้อแปลง ทางด้านแรงดันสูง 35 kV แล้วเริ่มจับเวลา
3) จับเวลา 60 วินาที เมื่อครบแล้ว ปรับแรงดันลง
4) ป้อนแรงดันให้กับหม้อแปลง ทางด้านแรงดันต่ำ 2.1 kV แล้วเริ่มจับเวลา
5) จับเวลา 60 วินาที เมื่อครบแล้ว ปรับแรงดันลง

(ค)

รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการทดสอบความคงทนฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก (ก) ต่อวงจรทดสอบ (ข) ป้อนแรงดันทางด้านแรงสูง (ค) วงจรทดสอบทางด้านแรงต่ำ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าความคงทนฉนวนต่อแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายภายนอก

ความถี่ : 50 Hz

ชั้วที่ทำการทดสอบ	แรงดัน (kV)	ระยะเวลา (s)
A-B-C	35	60
a-b-c-n	2.1	60

4.1.7 การทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันเหนี่ยวนำ

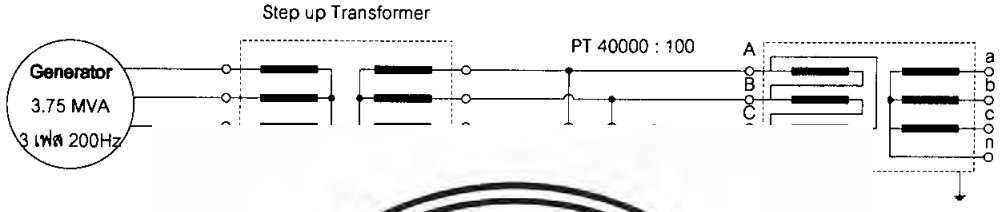
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) หม้อแปลงแคสเคด (Cascade Transformer) ใช้ในการขึ้นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส สามารถจ่ายแรงดันได้ 350kV

2) โวลต์เดจดิไวเดอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ

3) เครื่องวัดแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า LEM รุ่น NORMA D6100 ใช้งานร่วมกับ หม้อแปลงแรงดัน

วงจรทดสอบ



นำ

ขั้นตอนการทด

ะบบ 24 kV ที่

แทปพิกัด โดยปั

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความทนของฉนวนด้วยแรงดันเหนี่ยวนำ

แทปที่ทำการทดสอบ : 1

ความถี่ : 200 Hz

ขั้วที่ทำการทดสอบ	ขั้วที่ต่อลงดิน	แรงดัน (kV)	ระยะเวลา (s)
A-B-C(24)	n	33.6	30

(ก)

(ข)

รูปที่ ...วนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.8 การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ มีจำนวน 16 ชั้น สามารถสะสมประจุได้ชั้นละ 100kV รวมความสามารถในการสร้างแรงดันอิมพัลส์ได้ 1600kV

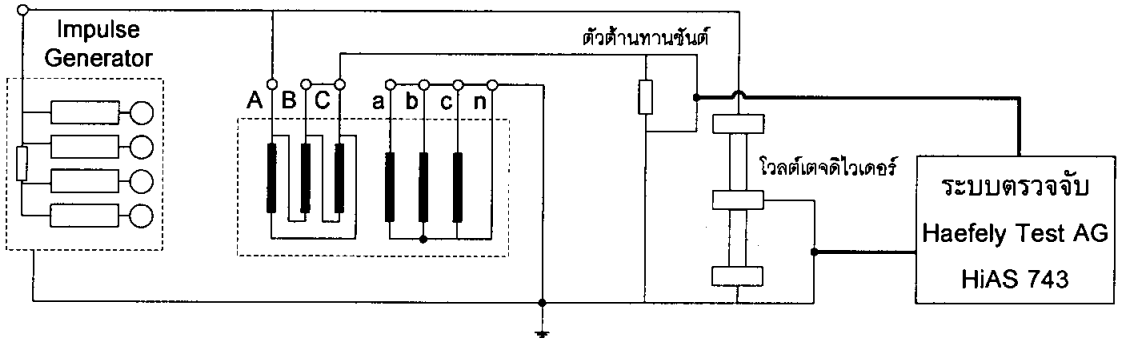
2) ชุดควบคุมการขึ้นแรงดัน ใช้ชุดควบคุมของ Haefely Control GC 223 สามารถทำการปรับระยะห่างของแกปได้เองโดยอัตโนมัติ สามารถเลือกระดับแรงดันที่จะทำการสะสมในแต่ละชั้นได้

3) ชุดตรวจจับรูปคลื่นอิมพัลส์ ใช้อุปกรณ์ของ Haefely รุ่น Test AG HiAS 743

4) อิมพัลส์โวลต์เตจดิไวเดอร์

5) ตัวต้านทานชันต์

วงจรทดสอบ



รูปที่ 4.15 วงจรทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการป้อน

แรงดันลดทอนข ั้ง

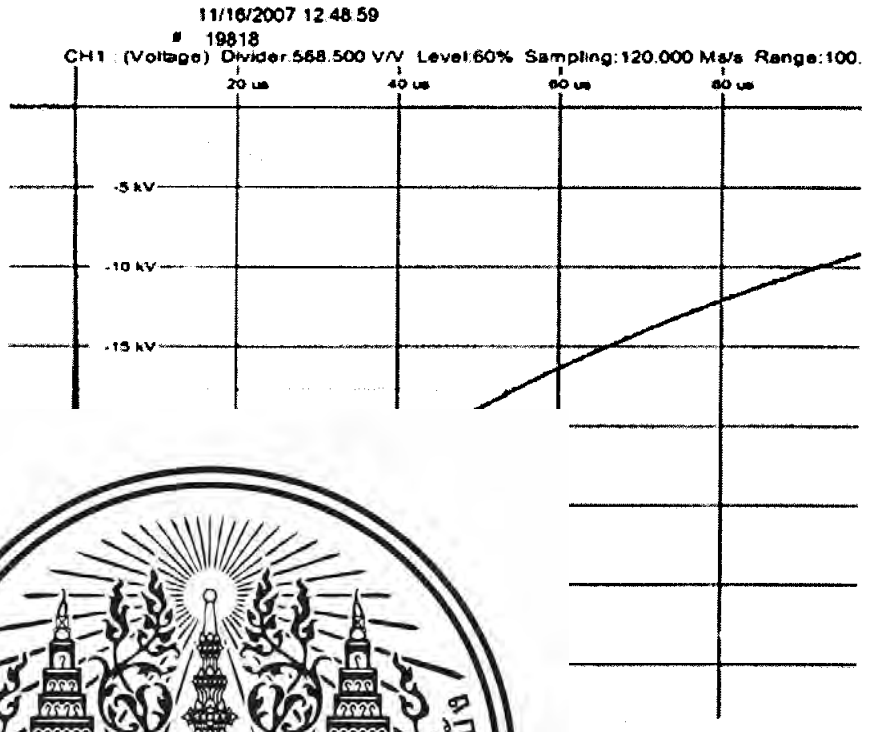
ทียบ

ตารางที่ 4.8 ผ ฟ้าผ่า

ชนิดแรงดัน	ท					เวลาหางคลื่น
ลดทอน						54.66
เต็ม						54.75
เต็ม						54.67
เต็ม						54.72
ลดทอน	B	36.000	36.124	3	1.42	53.78
เต็ม	B	60.000	60.067	3	1.44	53.78
เต็ม	B	60.000	60.072	3	1.44	53.8
เต็ม	B	60.000	60.101	3	1.46	53.72
ลดทอน	C	36.000	35.912	5	1.36	52.96
เต็ม	C	60.000	60.167	5	1.38	53.03
เต็ม	C	60.000	60.197	5	1.34	52.99
เต็ม	C	60.000	60.169	5	1.37	53.06

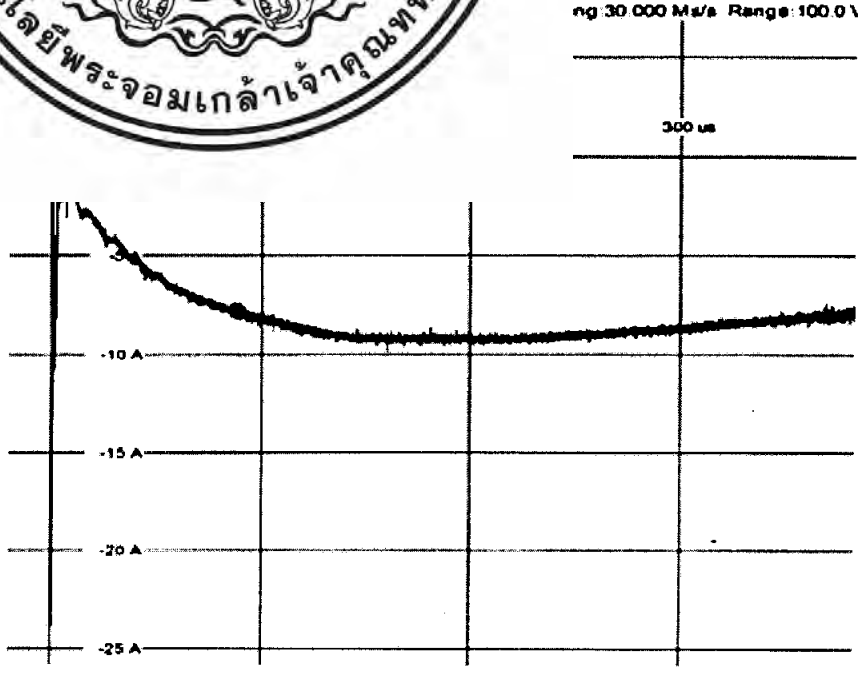
ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดสอบรูปคลื่นแรงดันและกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า

ขดลวดแรงดันสูง		รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล
รูปคลื่น:	แรงดัน	
เฟส :	A	
แทป :	1	
T/Div	20 µs	
แรงดัน:	ลดทอน	
ต้องการ:	36 kV	
ทดสอบ:	35.747	
หน้าคลื่น:	1.29 µs	
หางคลื่น:	54.66 µs	



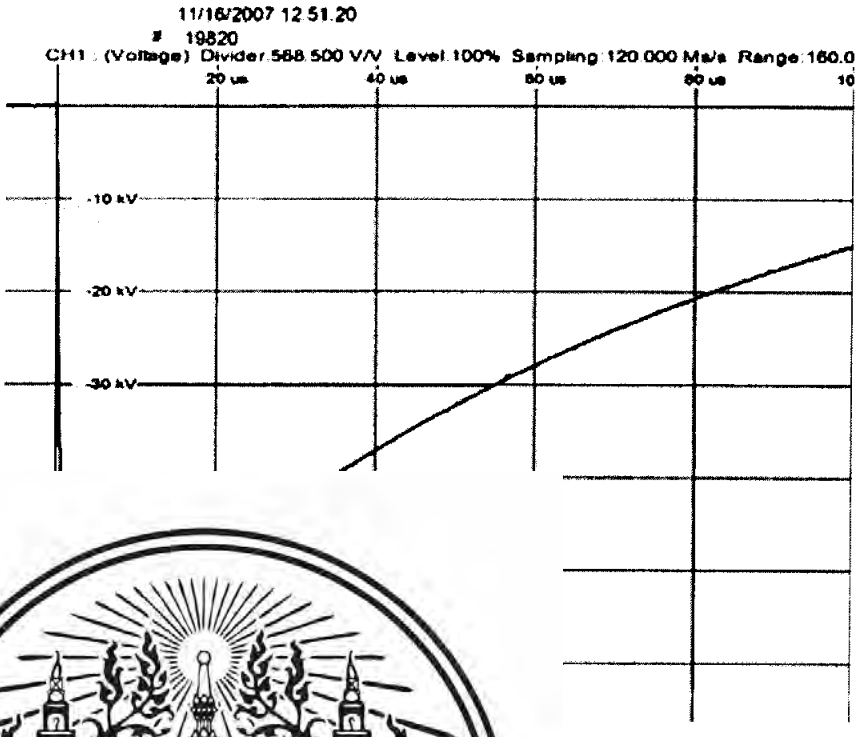
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขดลวดแรงดันสูง		ผล
รูปคลื่น:	กร	
เฟส :	A	
แทป :	1	
T/Div	20	
แรงดัน:	ลด	
ต้องการ:	36	
ทดสอบ:	35.747	



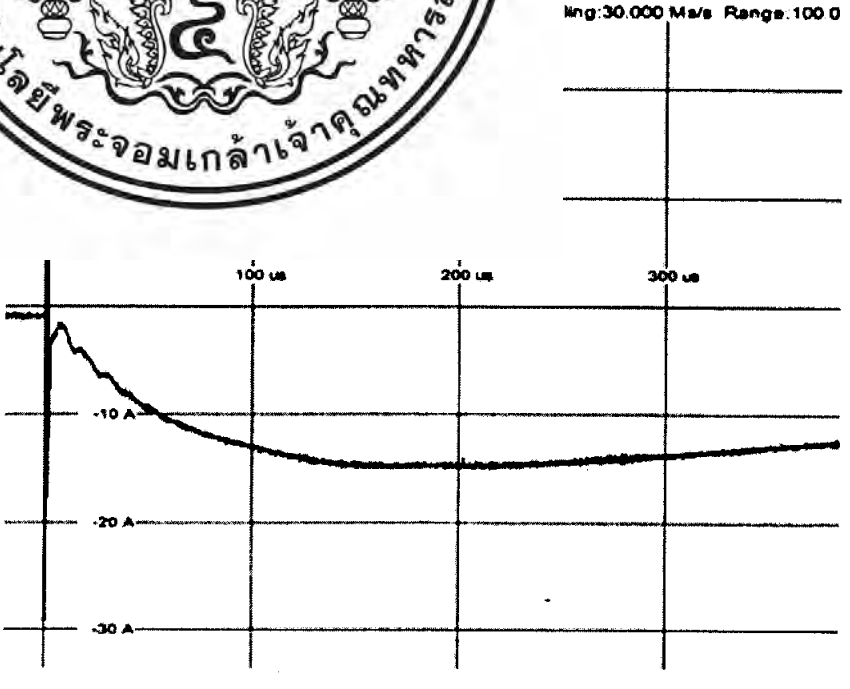
ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	A
แทป :	1
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.090 kV
หน้าคลื่น:	1.26 µs
หางคลื่น:	54.75 µs

รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



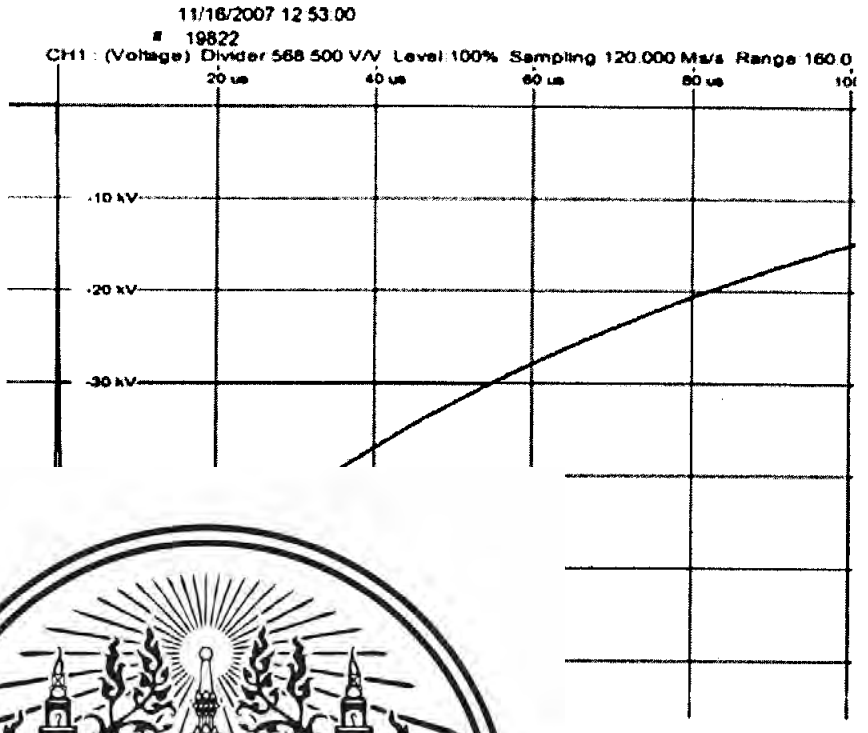
ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	A
แทป :	1
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60

ผล



ชดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	A
แทป :	1
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.138 kV
หน้าคลื่น:	1.27 µs
หางคลื่น:	54.67 µs

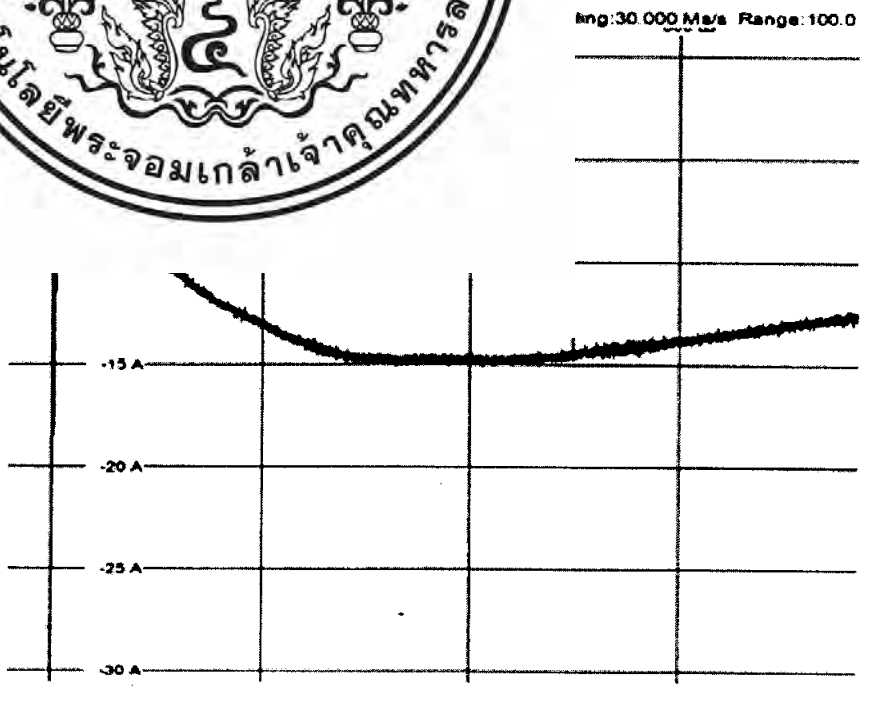
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

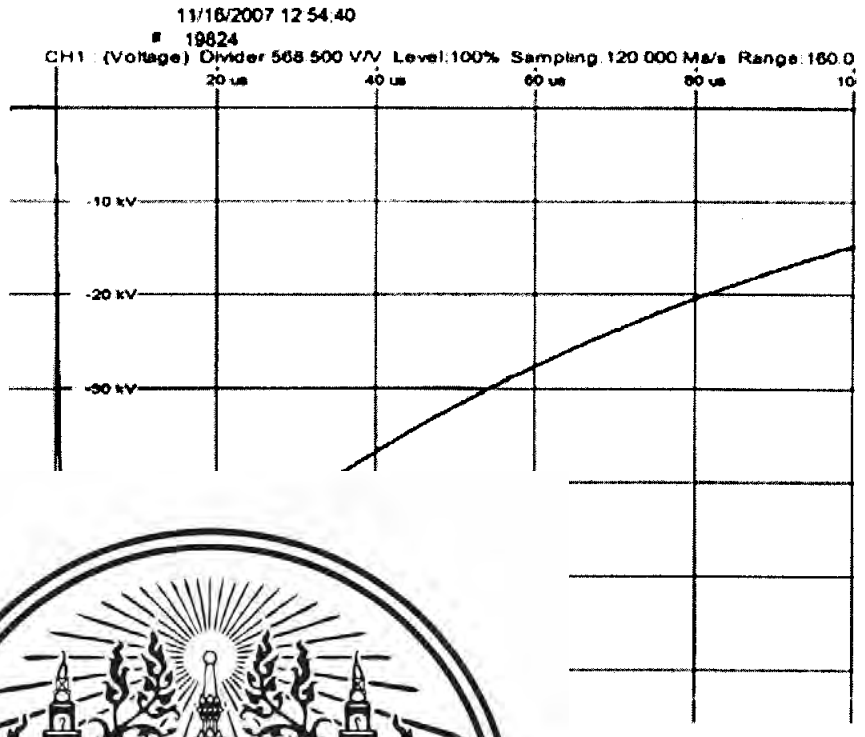
ชดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	A
แทป :	1
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60

ผล



ชดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	A
แทป :	1
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.034 kV
หน้าคลื่น:	1.28 µs
หางคลื่น:	54.72 µs

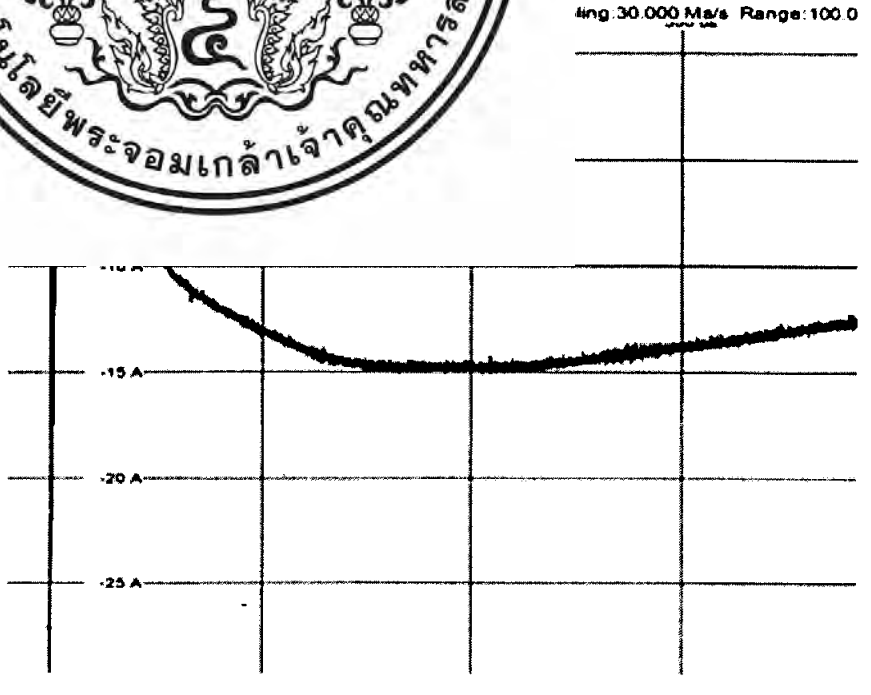
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระบรมราชโองการ ในหลวงพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

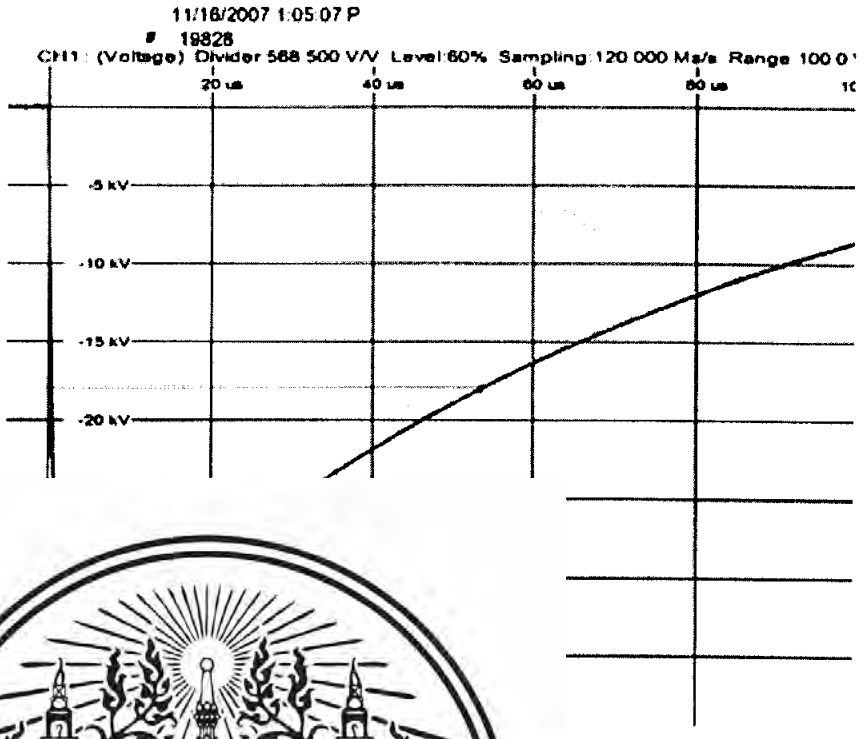
ชดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	A
แทป :	1
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60.

ผล



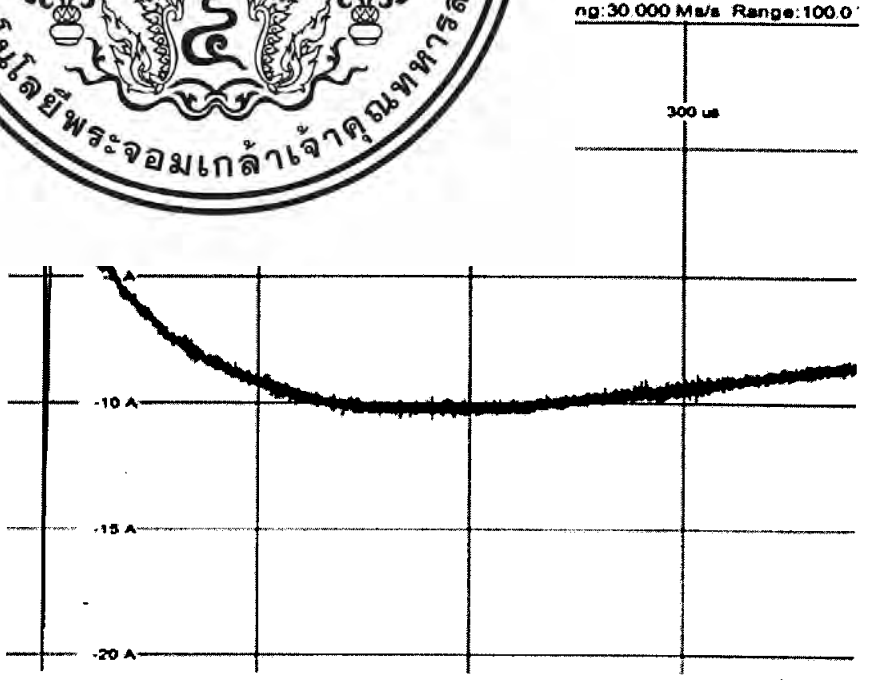
ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20 µs
แรงดัน:	ลดทอน
ต้องการ:	36 kV
ทดสอบ:	36.124 kV
หน้าคลื่น:	1.42 µs
หางคลื่น:	53.78 µs

รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



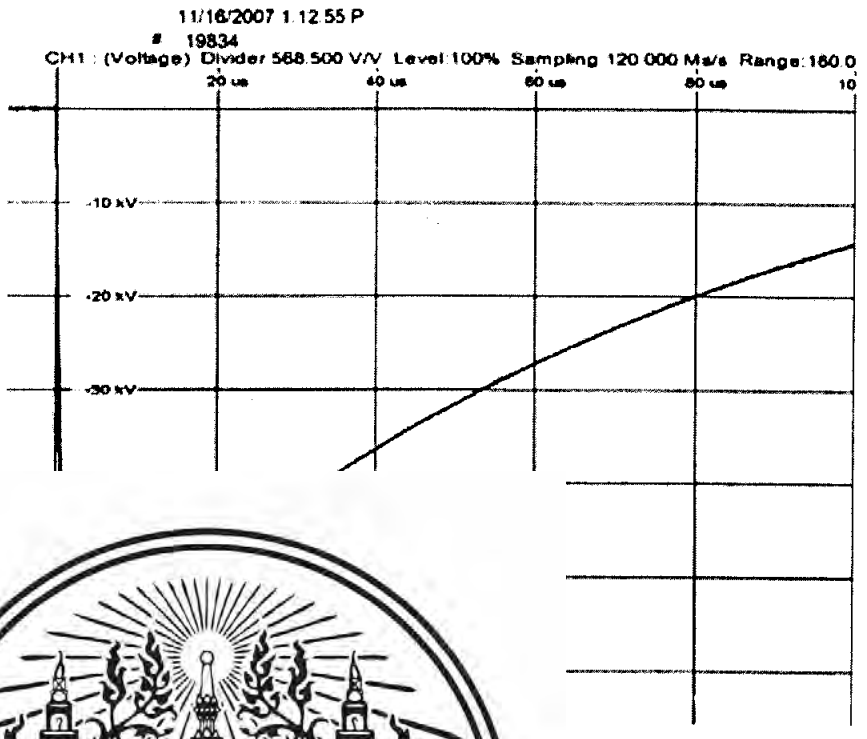
ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20
แรงดัน:	ลด
ต้องการ:	36
ทดสอบ:	36.

ผล



ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.067 kV
หน้าคลื่น:	1.44 µs
หางคลื่น:	53.78 µs

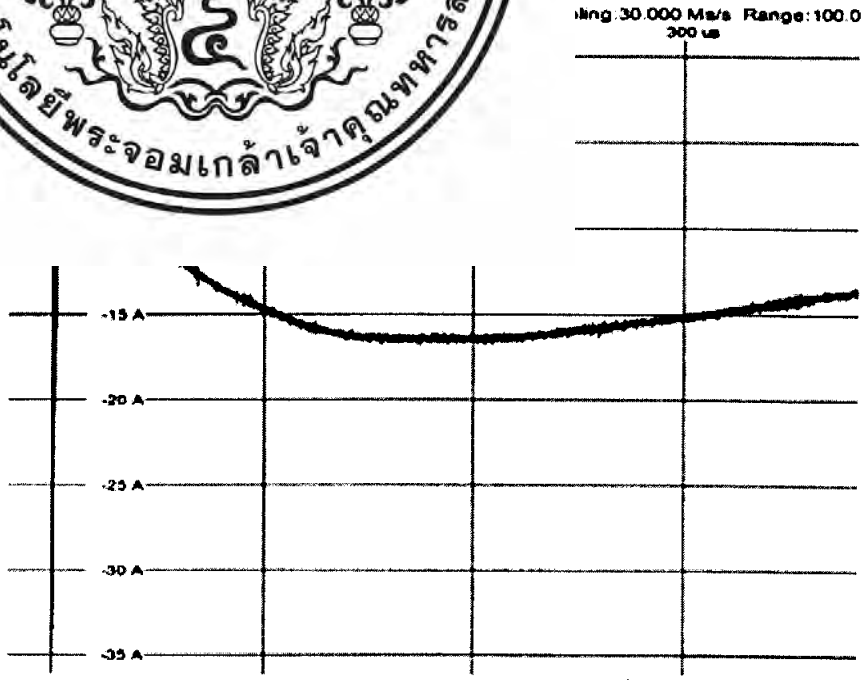
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระบรมราชโองการ ในพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ผู้ทรงพระราชทานกำเนิดกรมทหารราบที่ ๑

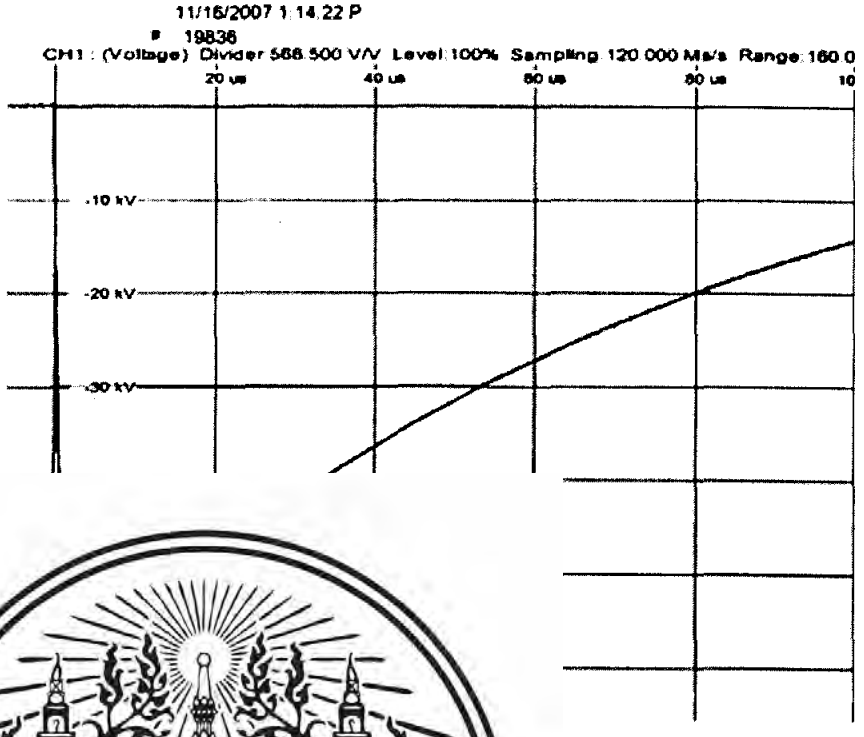
ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60

ผล



ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.072 kV
หน้าคลื่น:	1.44 µs
หางคลื่น:	53.80 µs

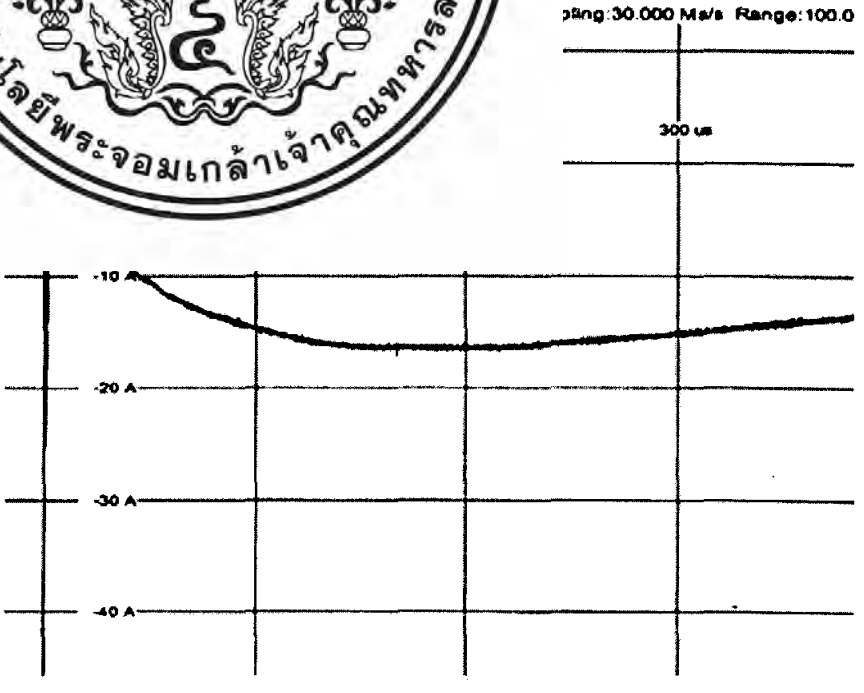
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

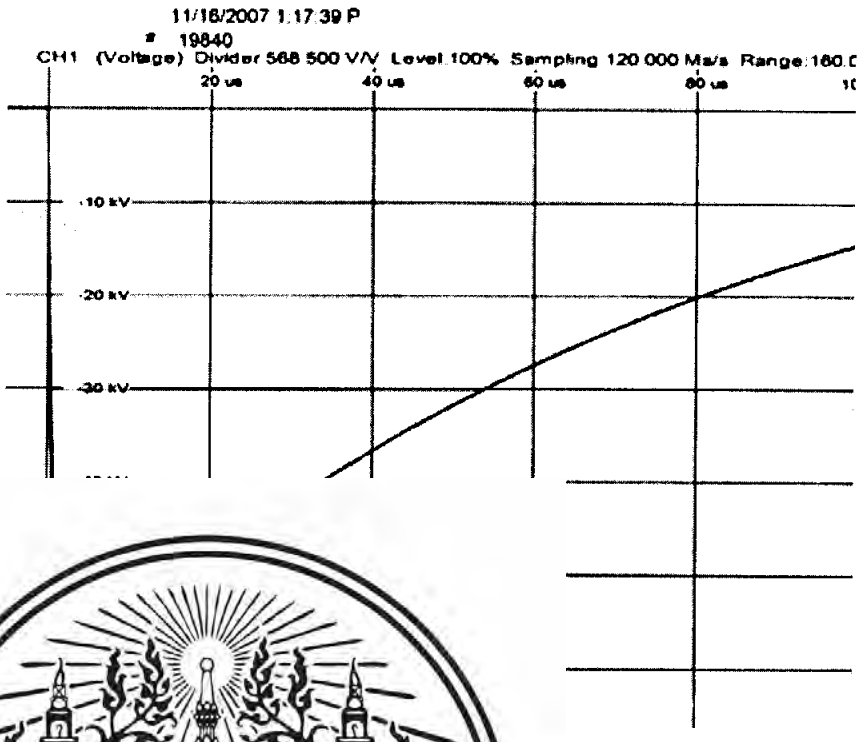
ขดลวดแรงดันสู	
รูปคลื่น:	ก
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	2(
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	6(
ทดสอบ:	6(

ผล



ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.101 kV
หน้าคลื่น:	1.46 µs
หางคลื่น:	53.72 µs

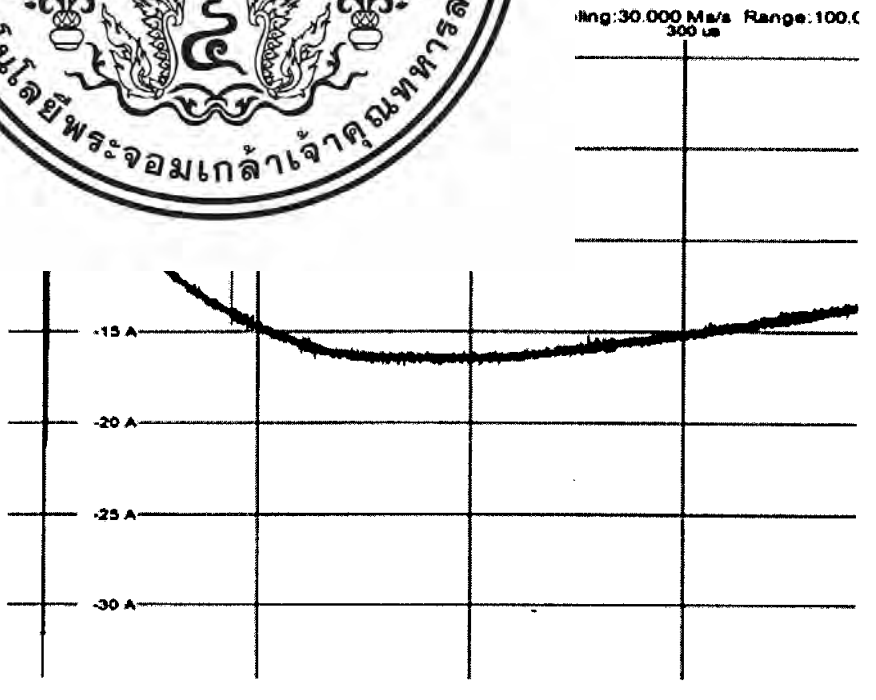
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

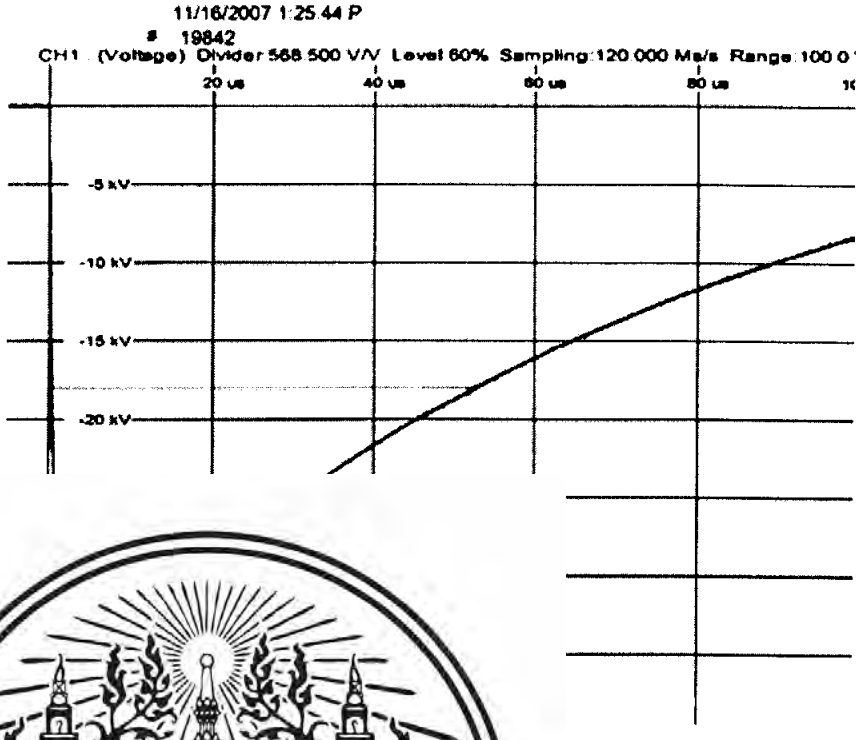
ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	B
แทป :	3
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60

ผล



ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20 µs
แรงดัน:	ลดทอน
ต้องการ:	36 kV
ทดสอบ:	35.912 kV
หน้าคลื่น:	1.36 µs
หางคลื่น:	52.96 µs

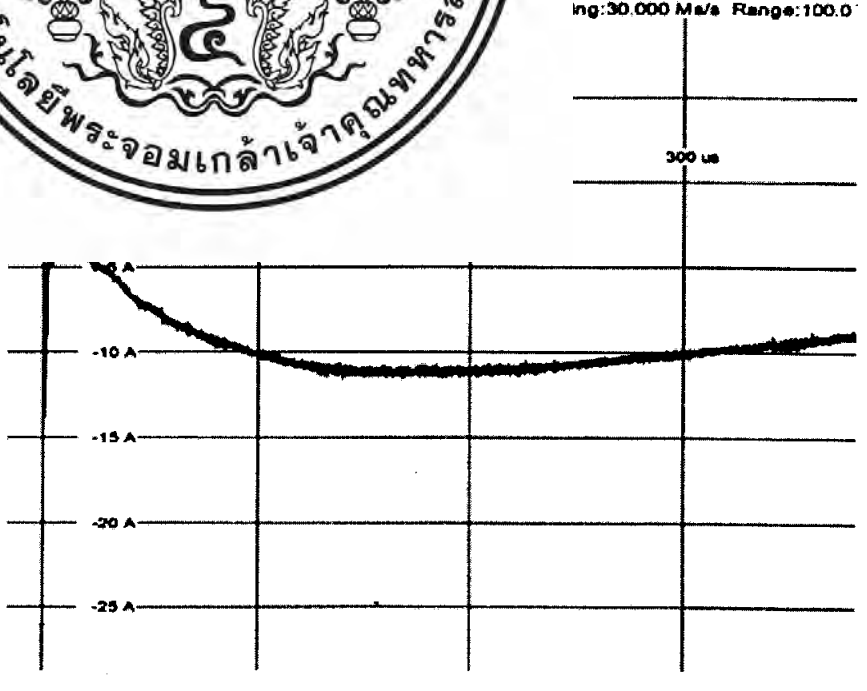
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

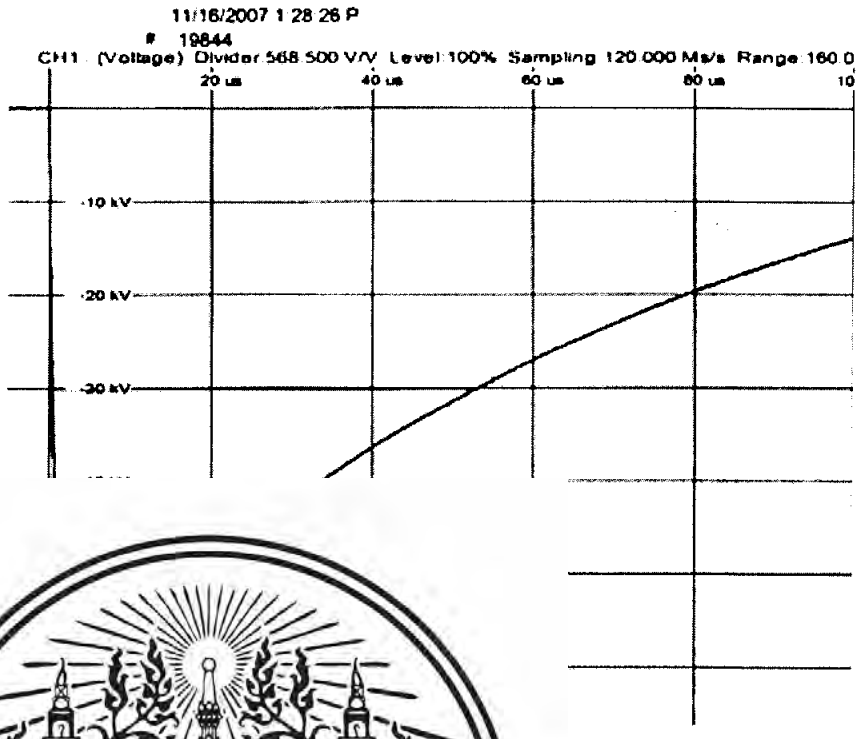
ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20
แรงดัน:	ลด
ต้องการ:	36
ทดสอบ:	35

ผล



ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.167 kV
หน้าคลื่น:	1.38 µs
หางคลื่น:	53.03 µs

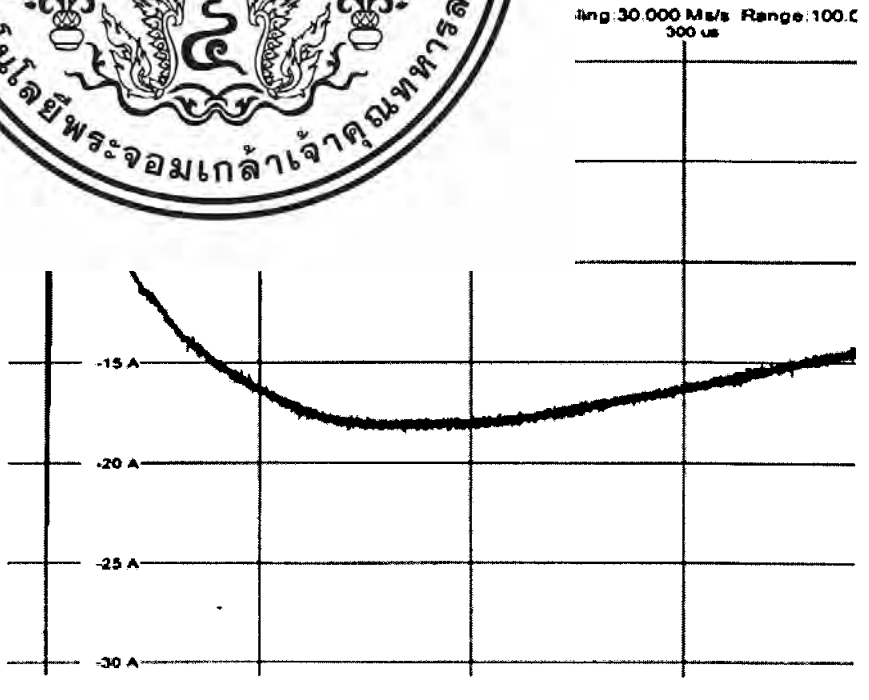
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

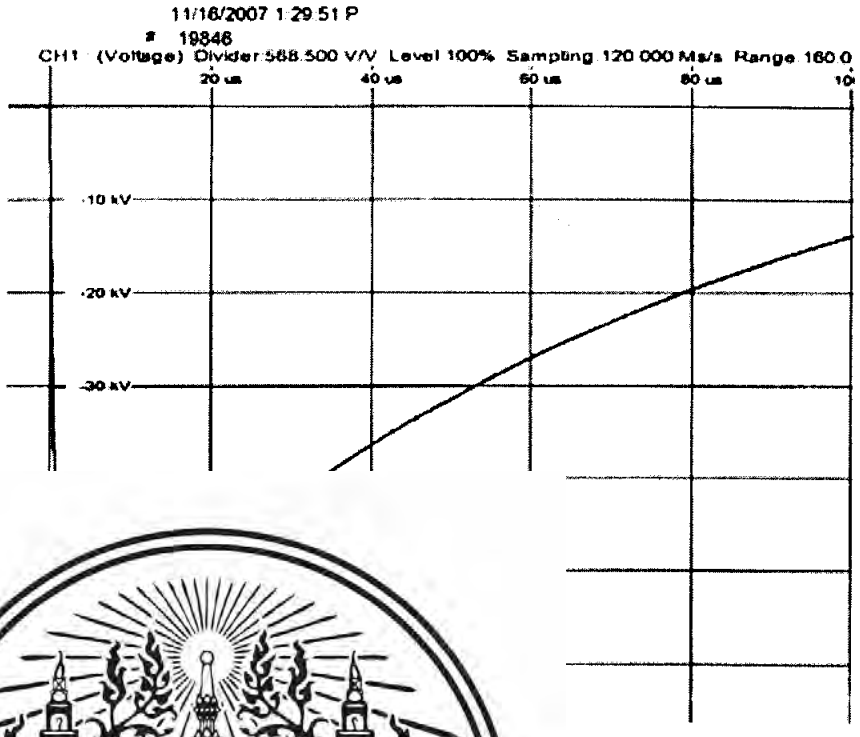
ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60.

ผล



ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.197 kV
หน้าคลื่น:	1.34 µs
หางคลื่น:	52.99 µs

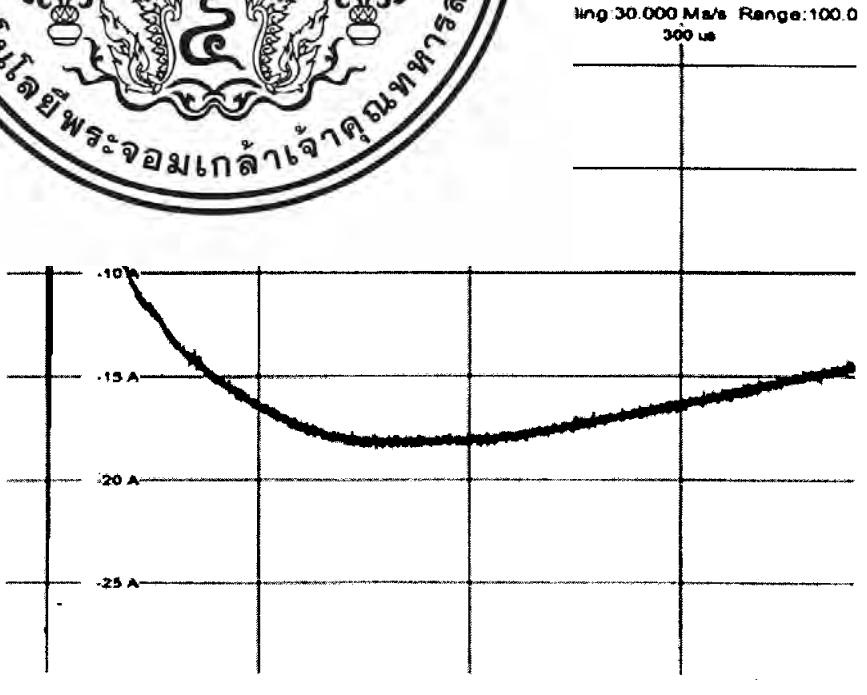
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล



ตามพระบรมราชโองการ ในพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว บัญชาการกรมตำรวจ

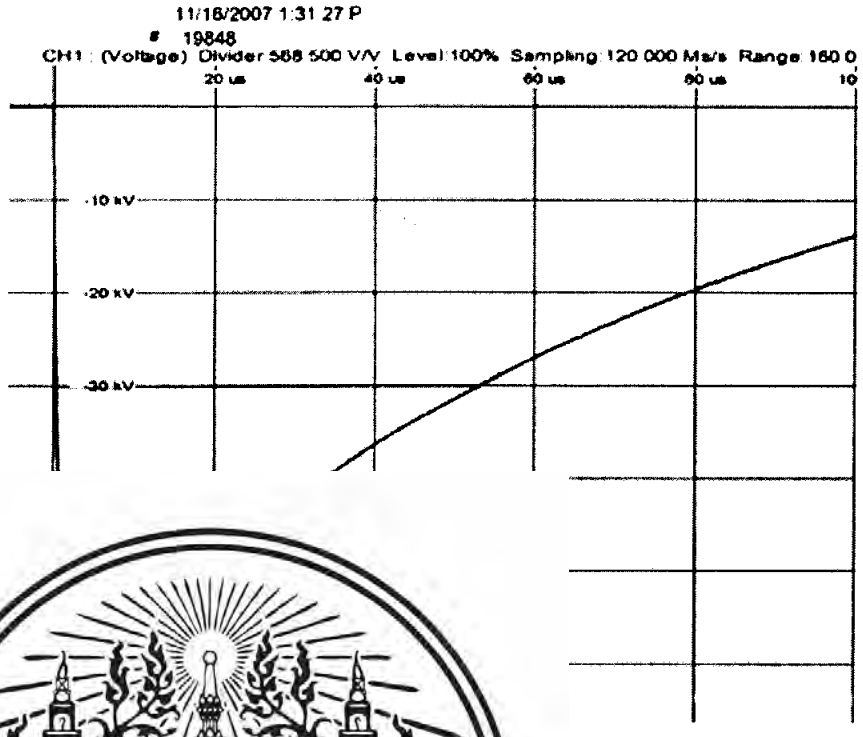
ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60.

ผล



ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	60.169 kV
หน้าคลื่น:	1.37 µs
หางคลื่น:	53.06 µs

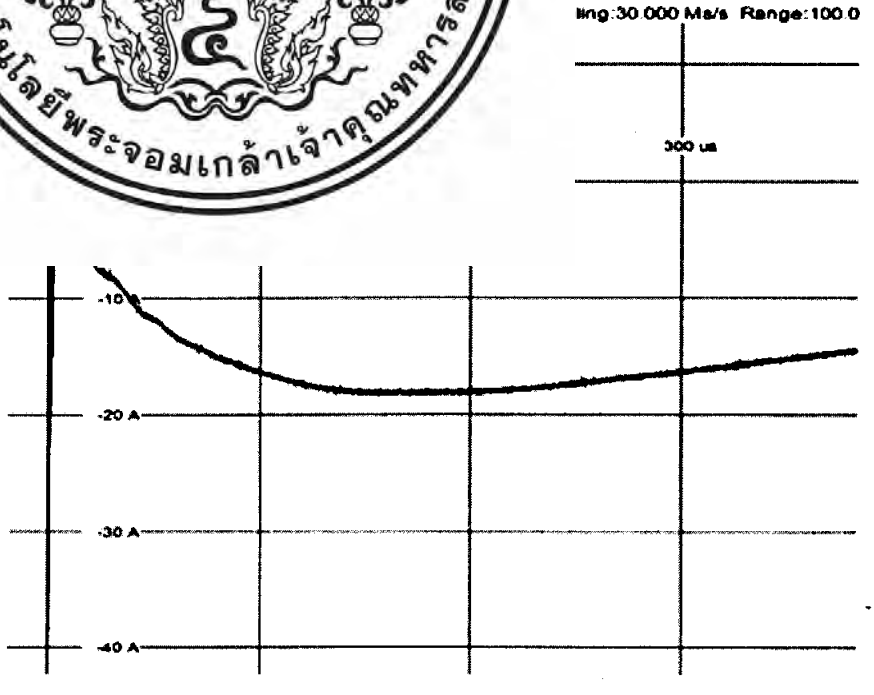
รูปคลื่นที่แสดงทางจอแสดงผล

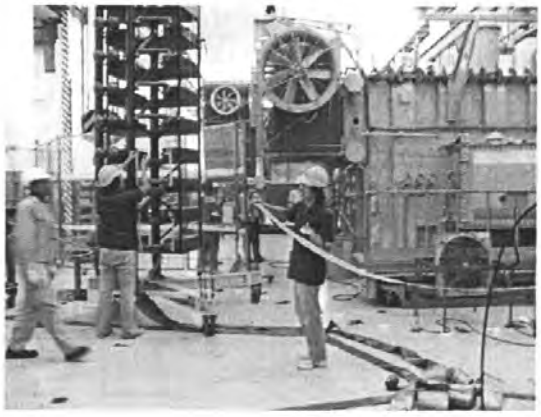


ตามพระราชดำริในโครงการพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	C
แทป :	5
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60
ทดสอบ:	60.

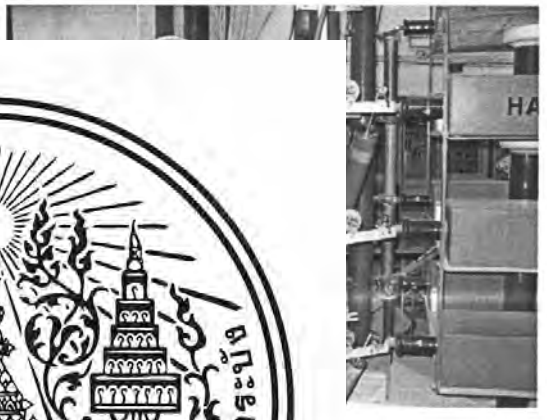
ผล

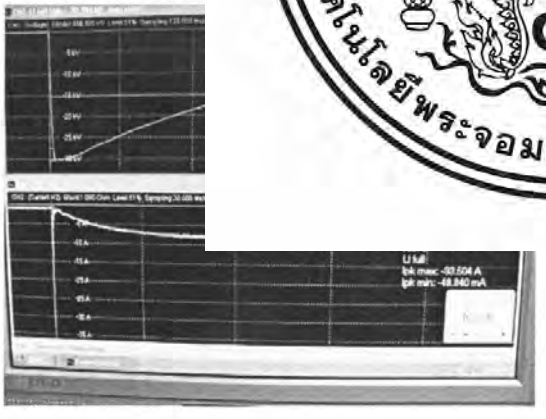




(ก)

(ข)





(จ)

(ฉ)

รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการทดสอบหาความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

(ก) ต่อวงจรทดสอบ

(ข) วงจรทดสอบที่ต่อเสร็จแล้ว

(ค) ทำการป้อนแรงดันเพื่อปรับเทียบรูปคลื่น

(ง) ปรับแต่งวงจรเพื่อให้ได้รูปคลื่นที่ถูกต้อง

(จ) รูปคลื่นที่ถูกต้อง

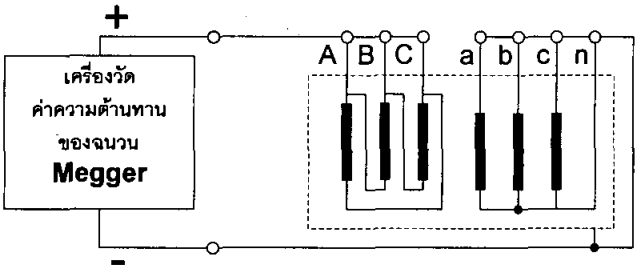
(ฉ) ทำการทดสอบในทุกเฟส ทางด้านแรงดันสูง

4.1.9 การวัดค่าความต้านทานของฉนวน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องวัดค่าความต้านทานของฉนวน หรือที่เรียกว่า เมกเกอร์ สามารถทำการจ่ายแรงดันสำหรับทำการวัดได้ 5000VDC

วงจรทดสอบ



(ค)

รูปที่ 4.17 วงจรทดสอบหาค่าความต้านทานของฉนวน ในกรณีต่างๆ

(ก) ป้อนแรงดันทดสอบที่ A-B-C ต่อ a-b-c-n ลงดิน

(ข) ป้อนแรงดันทดสอบที่ a-b-c-n ต่อ A-B-C และ ตัวถังลงดิน

(ค) ป้อนแรงดันทดสอบที่ A-B-C และ a-b-c-n ต่อตัวถึงลงดิน

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ต่อวงจรทดสอบตามรูป

2) ทำการป้อนแรงดันทดสอบ 2.5 kV จับเวลา 1 นาที แล้วบันทึกผลลงในตาราง

3) ทำการเปลี่ยนวงจรทดสอบ เพื่อทดสอบให้ครบทุกกรณี

(ก)

(ข)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานของฉนวน

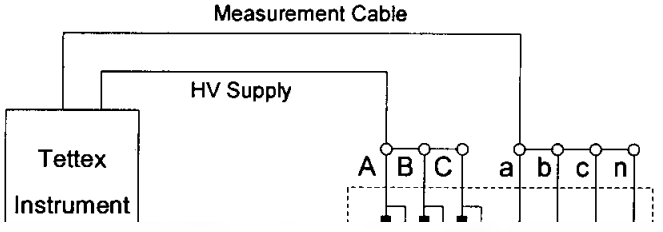
ขั้วที่ทำการทดสอบ	ขั้วที่ต่อลงดิน	อุณหภูมิ(°C)	ค่าความต้านทานที่เวลา 1 นาที
A-B-C	a-b-c-n Tank	30	4500
a-b-c-n	A-B-C Tank	30	6200
A-B-C A-b-c-n	Tank	30	5000

4.1.10 การวัดค่าประกอบการกระจายตัว (tanδ) ของค่าความเก็บประจุในระบบฉนวน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องวัดค่าประกอบกำลังของฉนวน (tanδ) เป็นเครื่องของ Tettex Instrument รุ่น midas 2880 สามารถวัดค่า tanδ ได้ในช่วง 0-100% สามารถจ่ายแรงดันได้ไม่เกิน 15kV จ่ายกระแสได้ในช่วง 30μA ถึง 15A

วงจรทดสอบ



(ข)

รูปที่ 4.19 วงจรทดสอบหาค่าประกอบการกระจายตัว (tanδ) ของค่าความเก็บประจุในระบบฉนวน

(ก) ป้อนแรงดันทดสอบที่ A-B-C วัดค่าที่ a-b-c-n

(ข) ป้อนแรงดันทดสอบที่ a-b-c-n วัดค่าที่ A-B-C

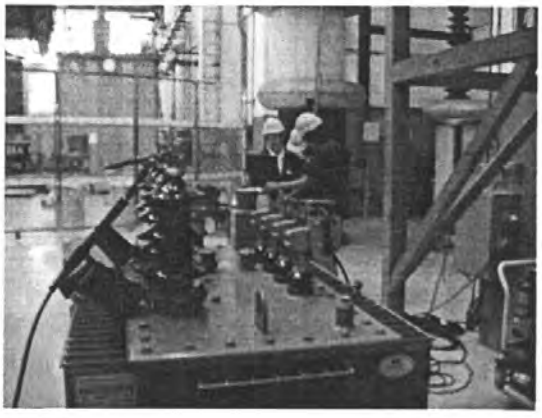
ขั้นตอนการทดสอบ

1) ต่อวงจรทดสอบตามรูป

2) ทำการป้อนแรงดันทดสอบ 10 kV สำหรับด้านแรงดันสูง แต่ทางด้านแรงดันต่ำใช้แรงดันทดสอบ 1 kV แล้วบันทึกผลลงในตาราง

3) ทำการเปลี่ยนวงจรทดสอบ เพื่อทดสอบให้ครบทุกกรณี

(ก)



(ข)

(

(

(

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าประกอบการกระจายตัว (tan δ)

แรงดันที่ป้อน : 10 kV สำหรับทดสอบด้านแรงดันสูง
1 kV สำหรับทดสอบด้านแรงดันต่ำ

ค่าตัวประกอบแก้ไข (K) : 1.25

ขั้วที่ทำการวัด	ค่าความเก็บประจุที่วัดได้ (pF)	Dissipation Factor (%) , tanδ	
		ที่ 30.0 °C	ที่ 20.0 °C
C_{HL}	1398	0.21	0.168
C_{HG}	858.8	0.24	0.192
C_{LG}	2870	0.31	0.248
$C_{HG}+C_{LG}$	3746	0.34	0.272

การคำนวณผลการทดสอบ

- ตัวอย่างการคำนวณค่า tanδ ของค่า C_{HL} ไปที่อุณหภูมิอ้างอิง 20°C

จากสูตร $$F_{p20} = \frac{F_{pT}}{K}$$

เมื่อ

F_{p20} คือ ค่าประกอบกำลังที่อุณหภูมิ 20°C

F_{pT} คือ ค่าประกอบกำลังที่ได้จากการวัดที่อุณหภูมิทดสอบ

K คือ ค่าตัวประกอบแก้ไข

แทนค่า $$F_{p20} = \frac{0.21}{1.25}$$

$$= 0.168\ \%$$

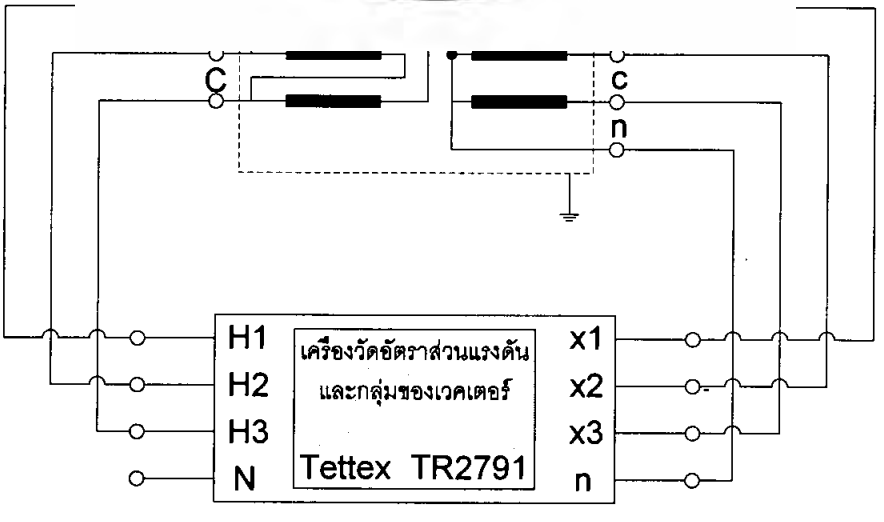
4.2 ตัวอย่างกา **วันเทคโนโลยี**
พระจอมเก

4.2.1 การหาอัต
อุปกรณ์ที่ใช้ใน

การจ่ายแรงดันได้

115 และ 230 V.

วงจรทดสอบ



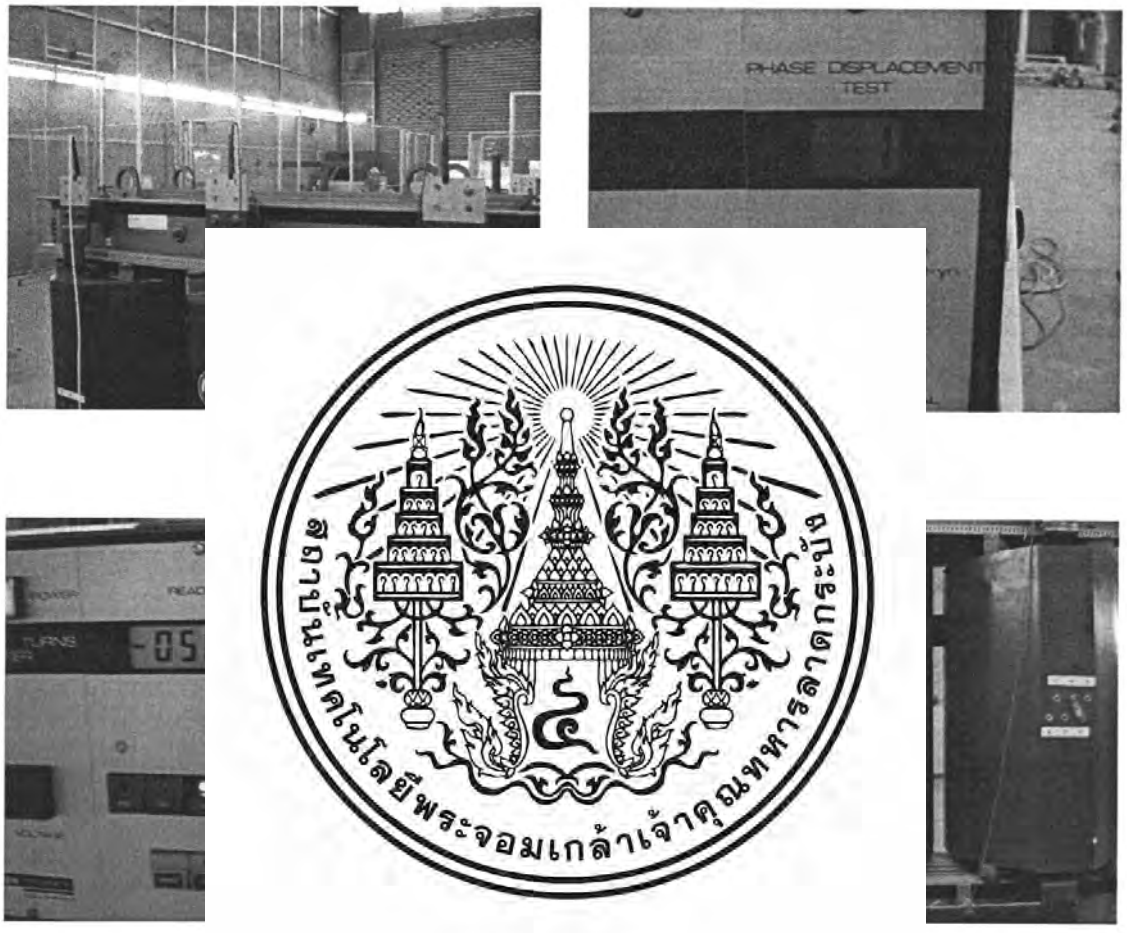
รูปที่ 4.21 วงจรทดสอบหาอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ต่อวงจรทดสอบตามรูป

2) อ่านค่ากลุ่มของเวกเตอร์ แล้วบันทึกผล

3) ทำการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันที่ทุกขั้วและทุกแทป แล้วบันทึกผลลงในตาราง บันทึกผลการทดสอบ



(ค) (ง)

รูปที่ 4.22 ขั้นตอนการทดสอบอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์

(ก) ต่อวงจรทดสอบ

(ข) ป้อนแรงดัน แล้วอ่านค่ากลุ่มของเวดเตอร์

(ค) ป้อนแรงดัน แล้วอ่านหาค่าอัตราส่วนแรงดัน

(ง) เปลี่ยนแทปของหม้อแปลง โดยทำให้ครบทุกกรณี

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์

กลุ่มของเวกเดอร์ : Dyn1
ระบบที่ทำการทดสอบ : 12 kV
ขั้วทางด้านแรงดันสูง : 1U-1V-1W(12)
ขั้วทางด้านแรงดันต่ำ : 2u-2v-2w-n

ตำแหน่งแทป	แรงดันพิกัด (kV)		อัตราส่วนแรงดัน			อัตราส่วนแรงดันเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน (%)
	ด้านแรงดันสูง	ด้านแรงดันต่ำ	A-B n-b	B-C n-c	C-A n-a		
5-6	12.000	0.41600	50.11	50.11	50.10	50.107	0.294
4-6	11.700	0.41600	48.88	48.88	48.88	48.880	0.349
4-7							0.295
3-7							0.340
3-8							0.483

การคำนวณผล

ทป 5-6

อัตราส่วนแรงดัน $A,n-a)$

5-6

ค่าความคลาดเคลื่อน $= \left|\frac{Ratio_{real} - Ratio_{avg}}{Ratio_{real}}\right| \times 100$

$= \left|\frac{50.107 - 49.96}{50.107}\right| \times 100$

$= 0.294\%$

4.2.2 การทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ของ Passoni Villa มีจำนวน 2 ชั้น สามารถสะสมประจุได้ชั้นละ 100kV รวมความสามารถในการสร้างแรงดันอิมพัลส์ได้ 200kV

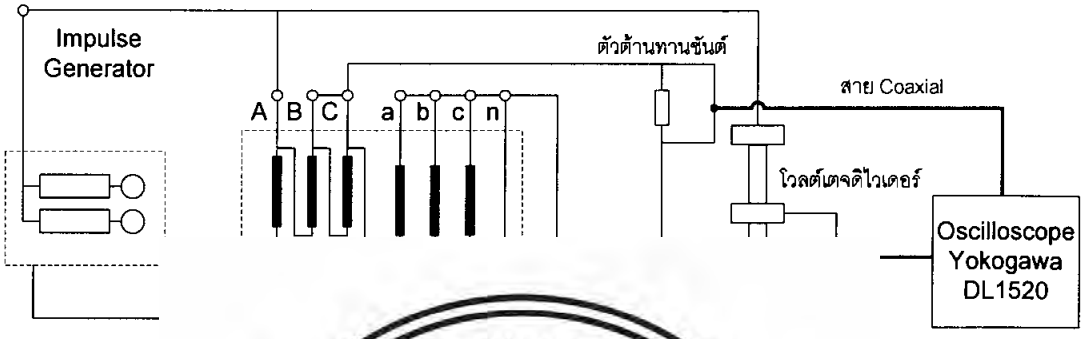
2) ชุดควบคุมการขึ้นแรงดัน และปรับระยะแกปใช้ชุดควบคุมของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3) ชุดตรวจจับรูปคลื่นอิมพัลส์ ใช้ออสซิลโลสโคปของ Yokogawa DL1520

4) อิมพัลส์โวลต์เดจดิไวเดอร์ มีอัตราส่วน 20880 : 1

5) ตัวต้านทานชันต์ค่า 4.32 Ω

วงจรทดสอบ



รูป ...าผ่า

ขั้นตอนการทด ...

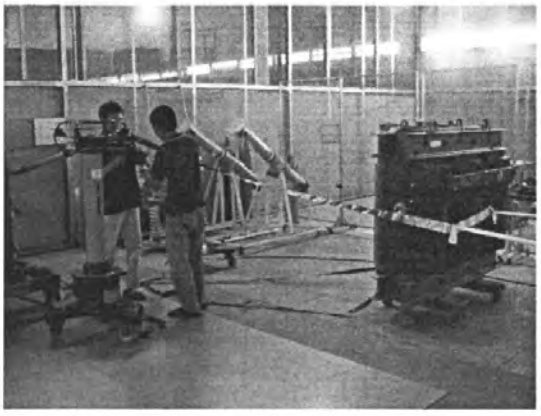
...ทำการป้อน

แรงดันลดทอนข ...ง

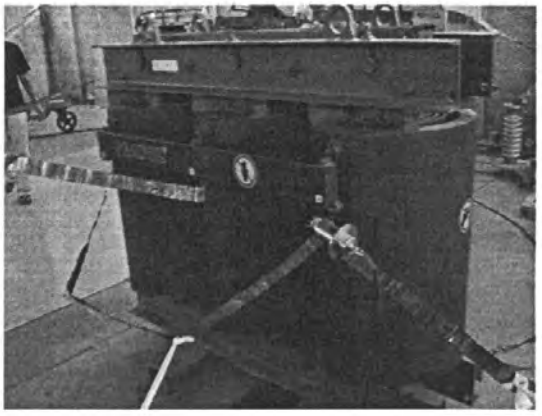
...ทียบ

ตารางที่ 4.13 ผ ...**เผ่า**

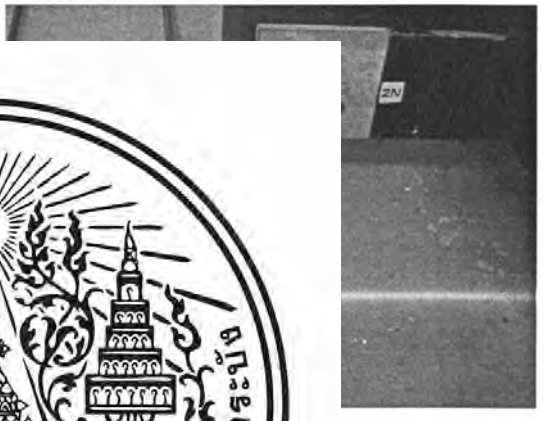
ชนิดแรงดัน	เฟส ทดส				...เลื่น	เวลาหางคลื่น
ลดทอน	1U	40.000	40.100	5-6	1.14	48.75
เต็ม	1U	60.000	59.300	5-6	1.09	45.00
ลดทอน	1V	40.000	39.250	4-7	1.09	44.25
เต็ม	1V	60.000	58.500	4-7	1.12	44.00
ลดทอน	1W	40.000	39.700	3-8	1.25	53.00
เต็ม	1W	60.000	59.700	3-8	1.25	52.00

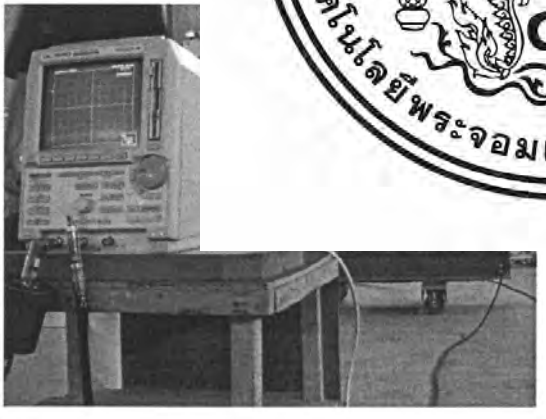


(ก)



(ข)





(จ)

(ฉ)

รูปที่ 4.24 ขั้นตอนการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

(ก) ต่อวงจรทดสอบ

(ข) จัดระยะห่างของสาย เพื่อความปลอดภัย

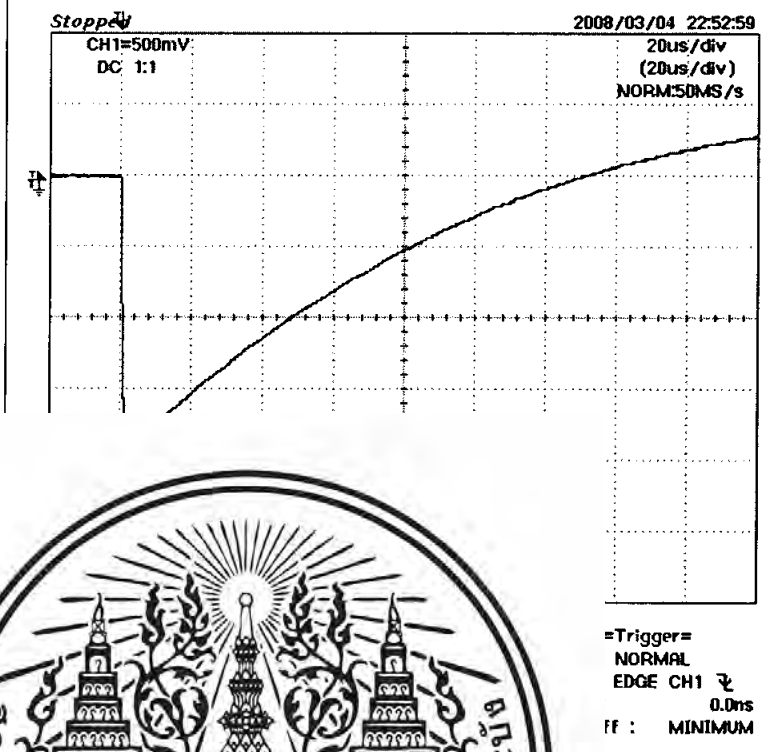
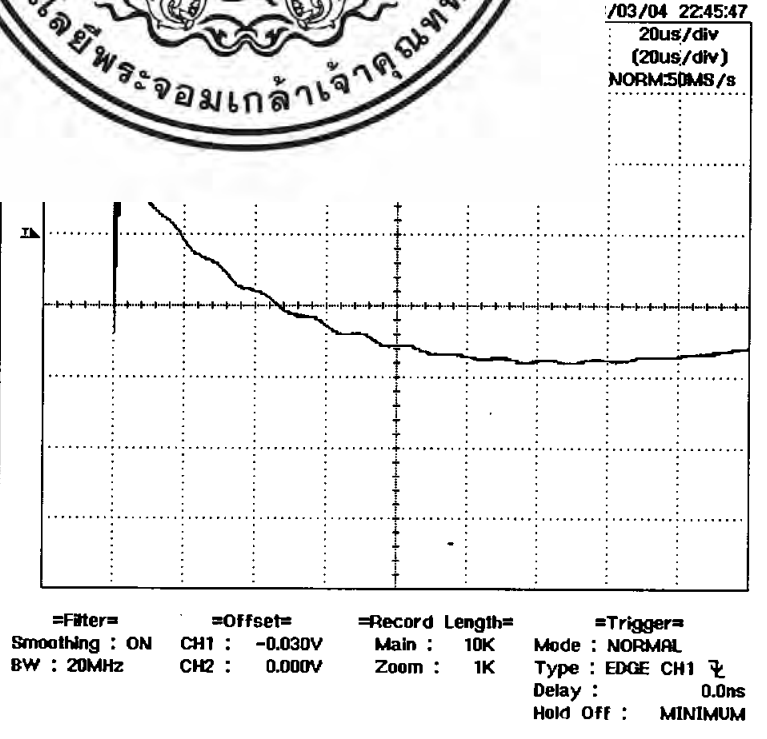
(ค) การต่อตัวต้านทานชันต์ ทางด้านแรงดันสูง

(ง) การต่อตัวต้านทานชันต์ ทางด้านแรงดันต่ำ

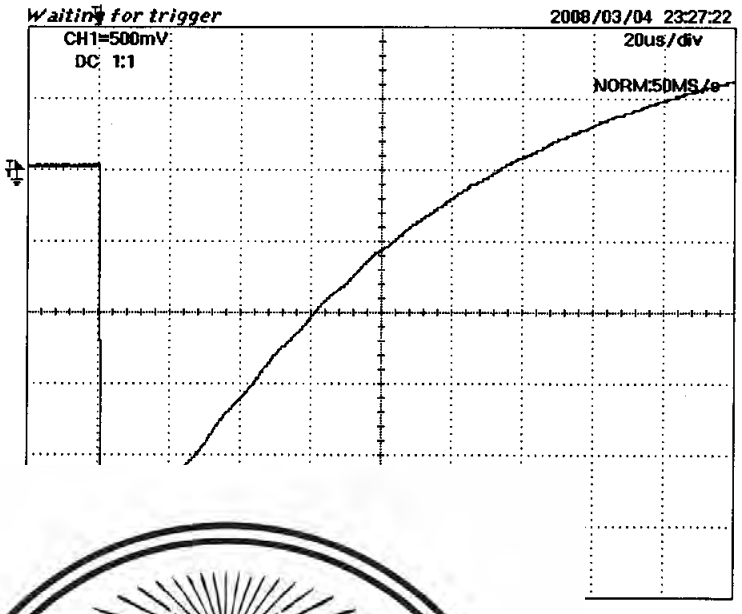
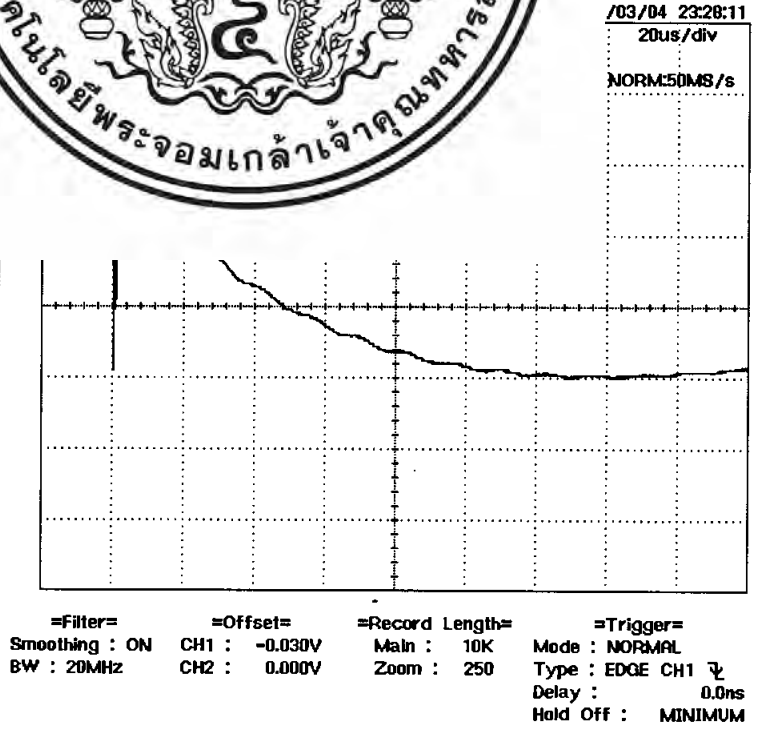
(จ) ต่อออสซิลโลสโคป เพื่อบันทึกรูปคลื่น

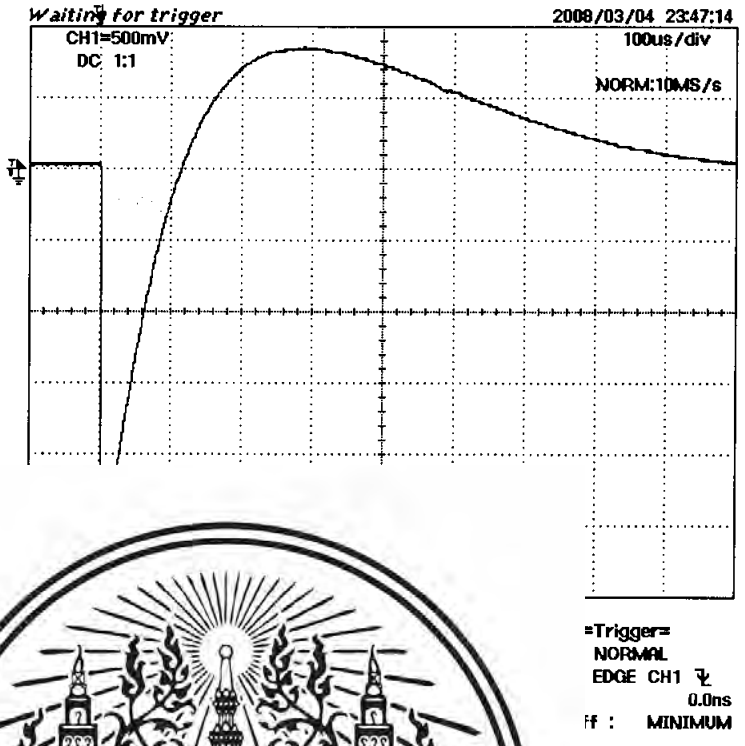
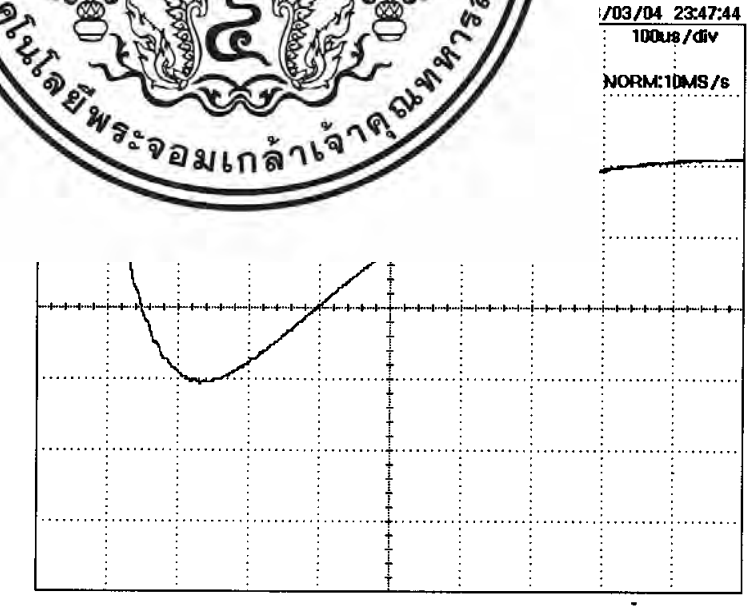
(ฉ) ป้อนแรงดันอิมพัลส์เพื่อทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 4.14 รูปคลื่นอิมพัลส์ที่บันทึกได้

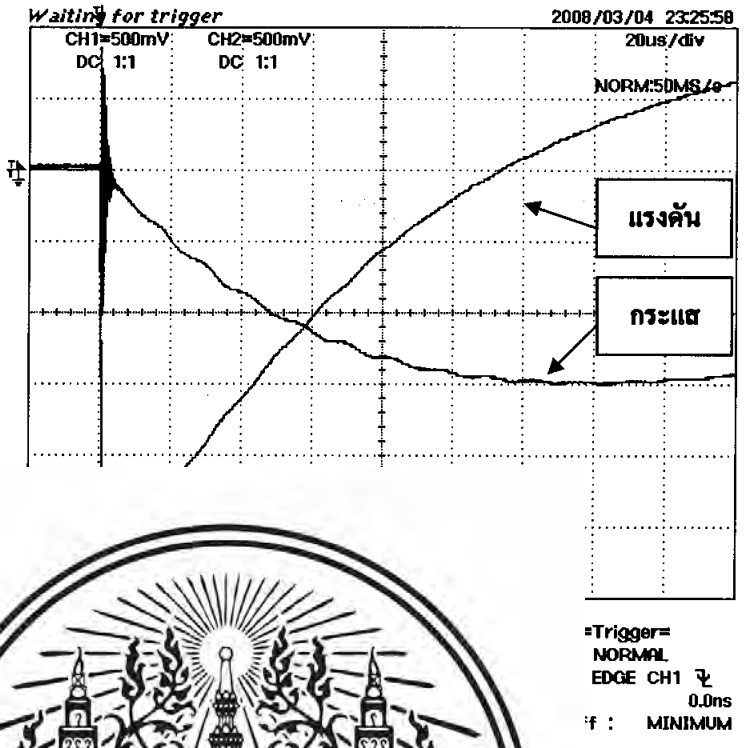
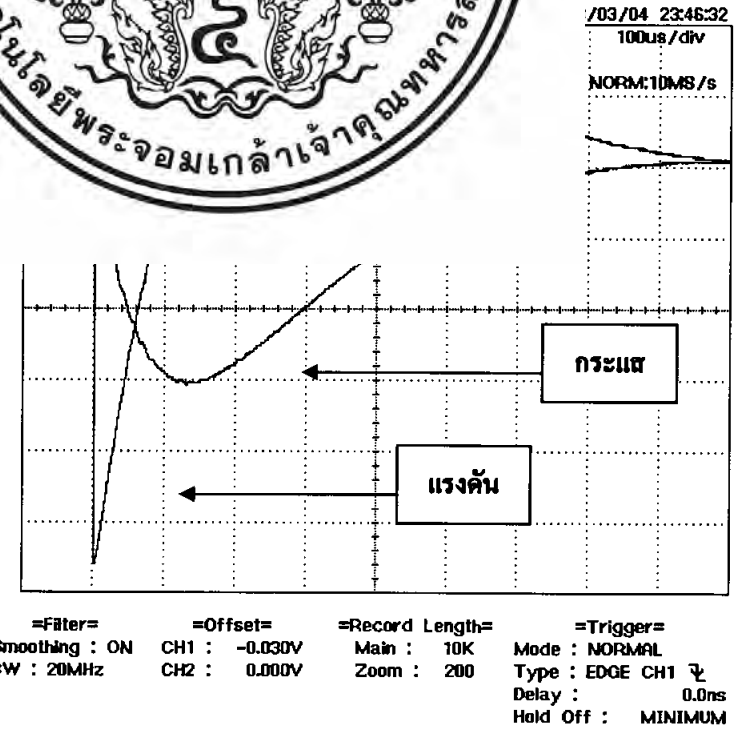
ขดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 1U **แทป :** 5-6 **T/Div** 20 µs **แรงดัน:** ลดทอน **ต้องการ:** 40 kV **ทดสอบ:** 40.1 kV **หน้าคลื่น:** 1.1356 µs **หางคลื่น:** 4ε	
ขดลวดแรงดัน **รูปคลื่น:** กร **เฟส :** 1U **แทป :** 5-(**T/Div** 20 **แรงดัน:** ลด... **ต้องการ:** 40 kV **ทดสอบ:** 40.1 kV	

ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

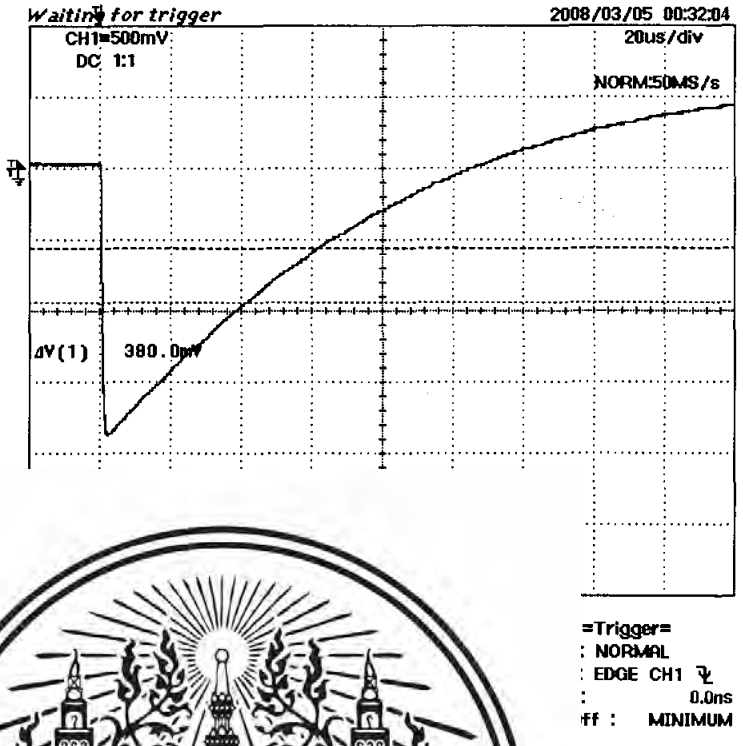
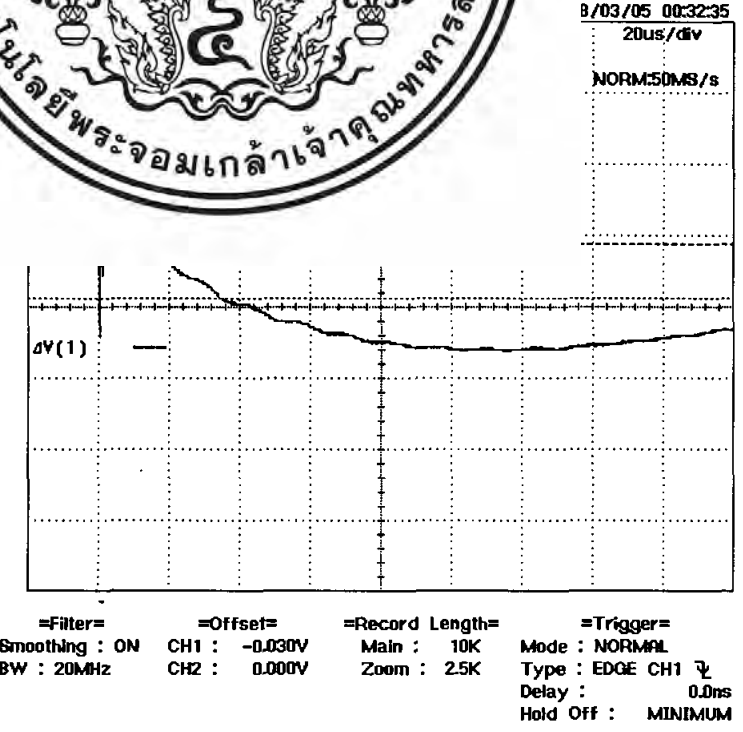
ขดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 1U **แทป :** 5-6 **T/Div** 20 µs **แรงดัน:** เต็ม **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 59.3 kV **หน้าคลื่น:** 1.09 µs **หางคลื่น:** 45.00 µs	
ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: กร **เฟส :** 1U **แทป :** 5-(**T/Div** 20 **แรงดัน:** เต็ **ต้องการ:** 60 **ทดสอบ:** 59.3 kV	

ชดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 1U **แทป :** 5-6 **T/Div** 100 µs **แรงดัน:** เต็ม **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 59.3 kV **หน้าคลื่น:** 1.09 µs **หางคลื่น:** 45.00 µs	
ชดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: กร **เฟส :** 1L **แทป :** 5-(**T/Div** 20 **แรงดัน:** เต็ **ต้องการ:** 60 ... **ทดสอบ:** 59.3 kV	

ธนาคารโรงเรียนในโลกยินดีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: เปรียบเทียบ **เฟส :** 1U **แทป :** 5-6 **T/Div** 20 µs **แรงดัน:** เต็ม **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 59.3 kV **หน้าคลื่น:** 1.09 µs **หางคลื่น:** 45.00 µs	
ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: เป **เฟส :** 1L **แทป :** 5- **T/Div** 10 **แรงดัน:** เต็ **ต้องการ:** 60 ... **ทดสอบ:** 59.3 kV **หน้าคลื่น:** 1.09 µs **หางคลื่น:** 45.00 µs	

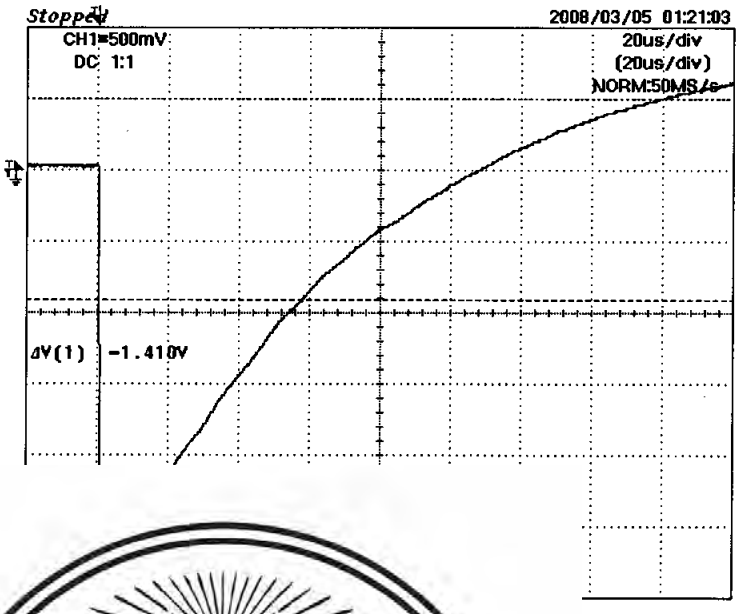
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 1V **แทป :** 4-7 **T/Div** 20 µs **แรงดัน:** ลดทอน **ต้องการ:** 40 kV **ทดสอบ:** 39.25 kV **หน้าคลื่น:** 1.09 µs **หางคลื่น:** 44.25 µs	
ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: ก **เฟส :** 1 **แทป :** 4- **T/Div** 2(**แรงดัน:** ล(**ต้องการ:** 4(... **ทดสอบ:** 39.25 kV	

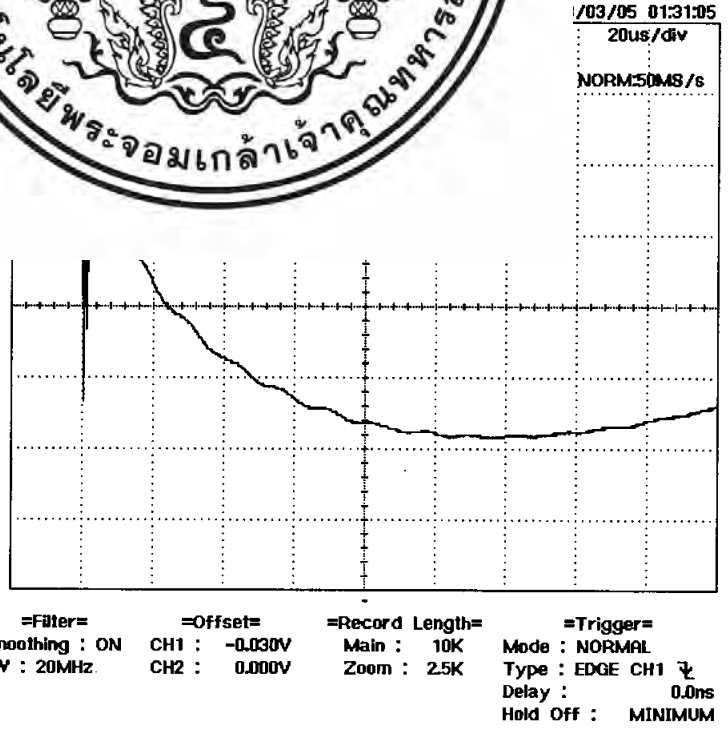
ตามพระราชดำริในโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

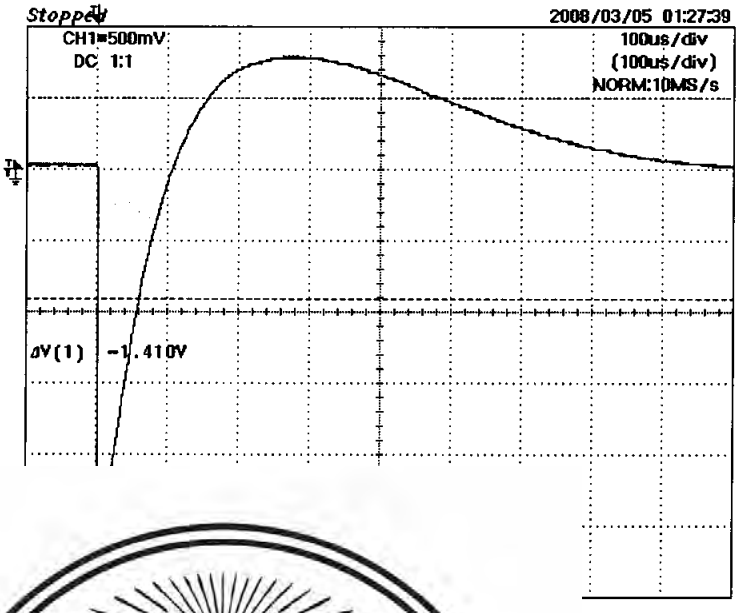
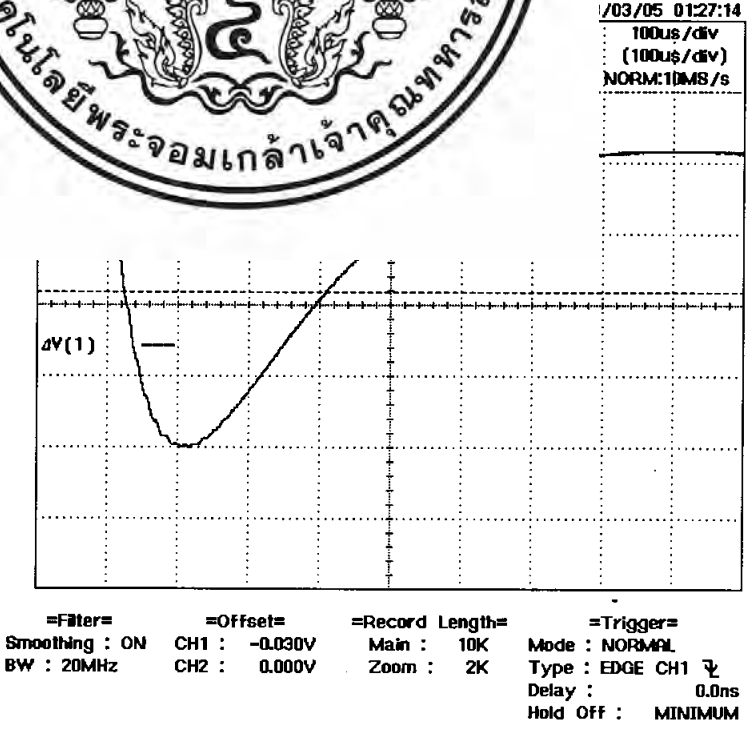
ขดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	1V
แทป :	4-7
T/Div	20 µs
แรงดัน:	เต็ม
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	58.5 kV
หน้าคลื่น:	1.12 µs
หางคลื่น:	44.00 µs

รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป

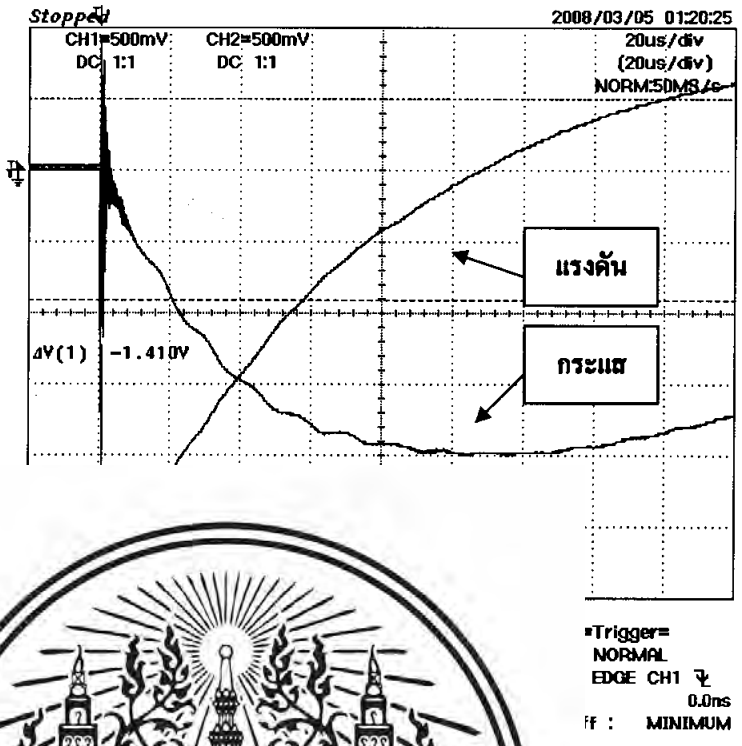
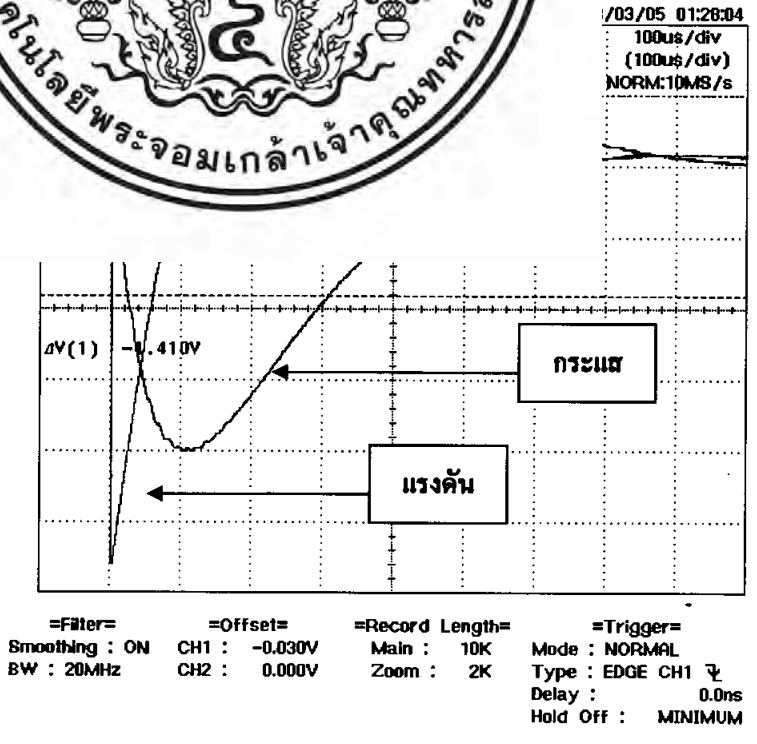


ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	1V
แทป :	4-
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	58.5 kV



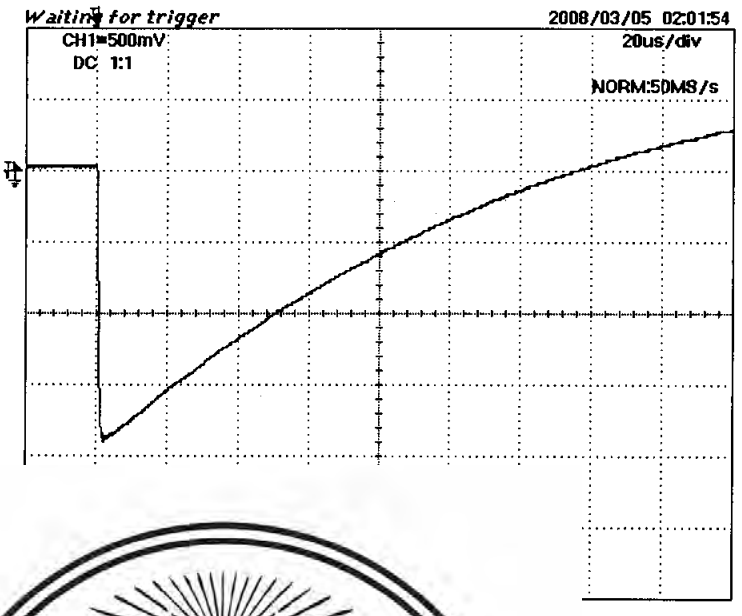
ทดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 1V **แทป :** 4-7 **T/Div** 100 µs **แรงดัน:** เต็ม **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 58.5 kV **หน้าคลื่น:** 1.12 µs **หางคลื่น:** 44.00 µs	
ทดลวดแรงดัน **รูปคลื่น:** กร **เฟส :** 1V **แทป :** 4- **T/Div** 10 **แรงดัน:** เต็ **ต้องการ:** 60 ... **ทดสอบ:** 58.5 kV	

ตามพระบรมราชโองการ พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

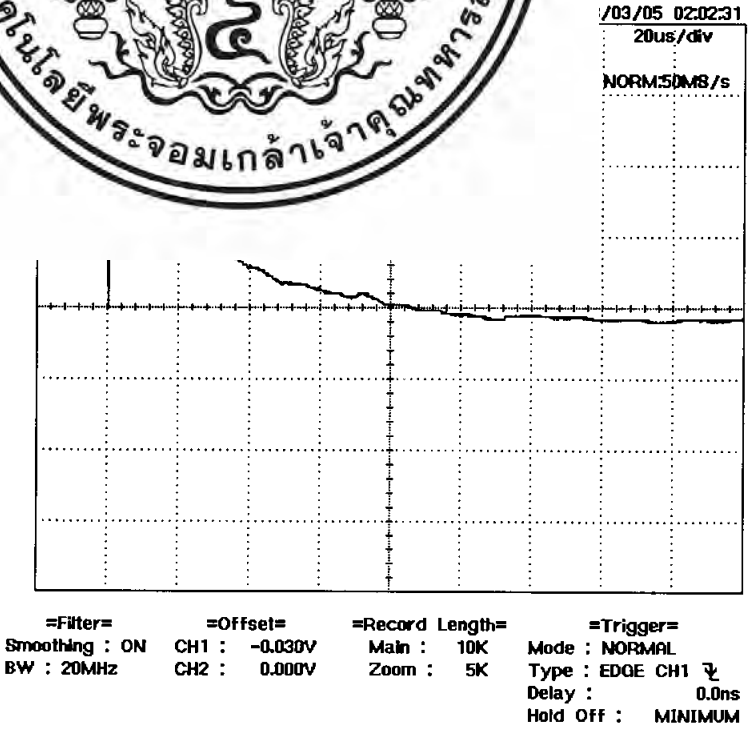
ขดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: เปรียบเทียบ **เฟส :** 1V **แทป :** 4-7 **T/Div** 20 µs **แรงดัน:** เต็ม **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 58.5 kV **หน้าคลื่น:** 1.12 µs **หางคลื่น:** 44.00 µs	
ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: เป **เฟส :** 1V **แทป :** 4- **T/Div** 10 **แรงดัน:** เต็ **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 58.5 kV **หน้าคลื่น:** 1.12 µs **หางคลื่น:** 44.00 µs	

ทดลวดแรงดันสูง	
รูปคลื่น:	แรงดัน
เฟส :	1W
แทป :	3-8
T/Div	20 µs
แรงดัน:	ลดทอน
ต้องการ:	40 kV
ทดสอบ:	39.70 kV
หน้าคลื่น:	1.25 µs
หางคลื่น:	53.00 µs

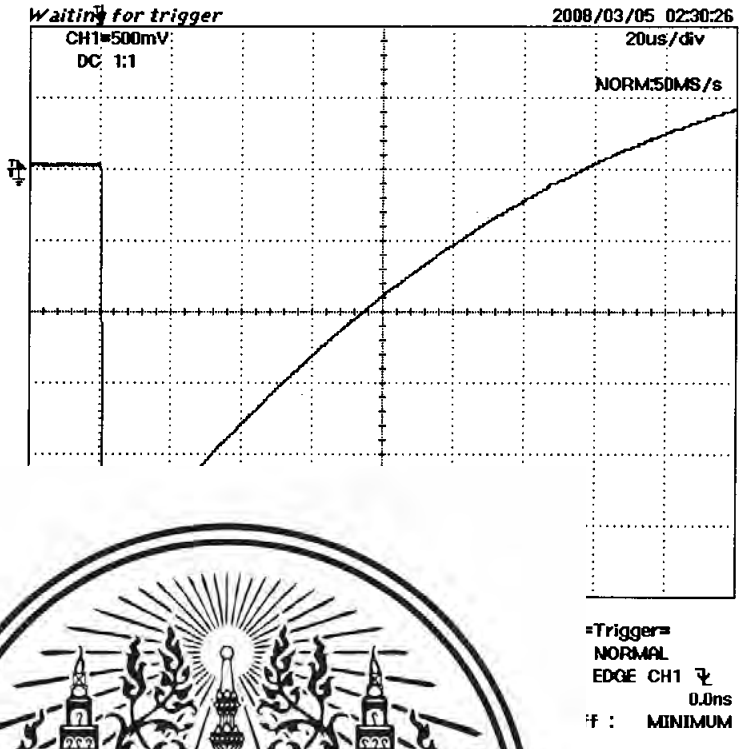
รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป



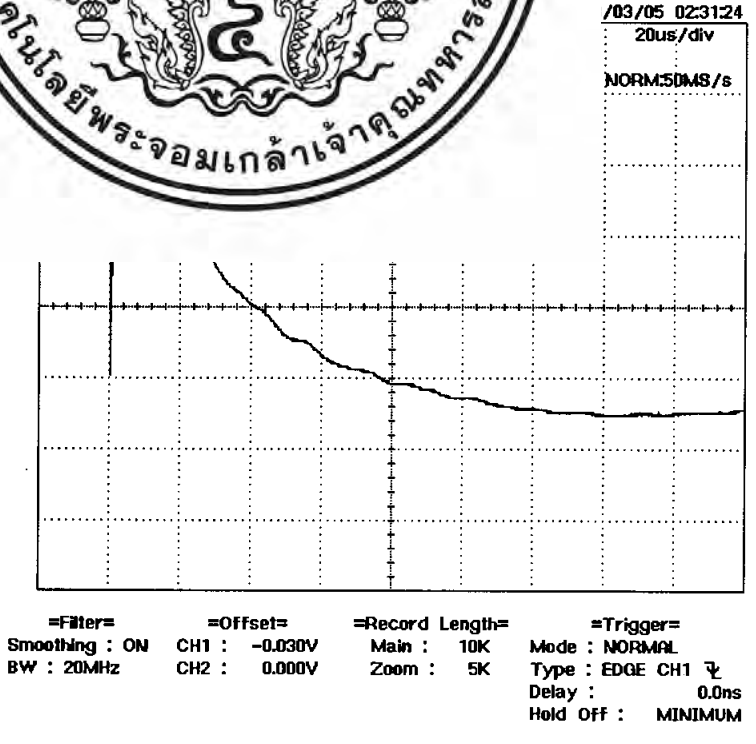
ทดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	1V
แทป :	3-(
T/Div	20
แรงดัน:	ลด
ต้องการ:	40 kV
ทดสอบ:	39.70 kV



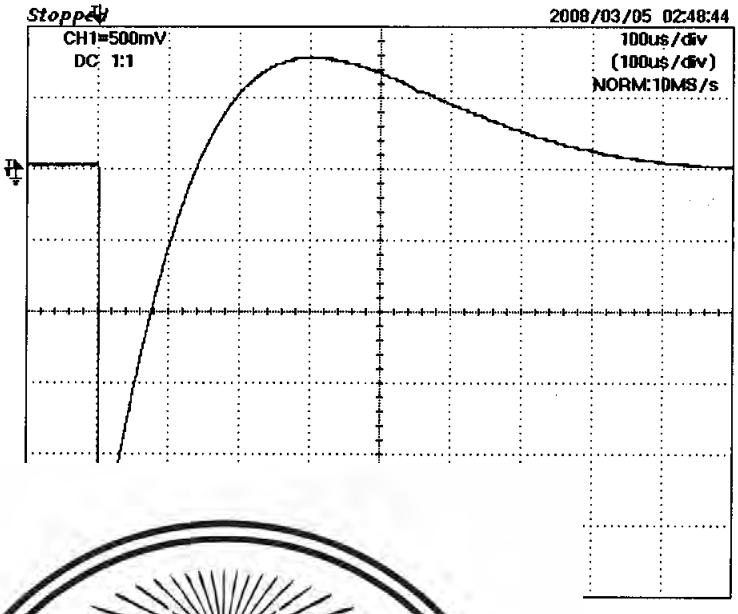
ชุดลวดแรงดันสูง		รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น:	แรงดัน	
เฟส :	1W	
แทป :	3-8	
T/Div	20 µs	
แรงดัน:	เต็ม	
ต้องการ:	60 kV	
ทดสอบ:	59.3 kV	
หน้าคลื่น:	1.25 µs	
หางคลื่น:	52.00 µs	



ชุดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	1V
แทป :	3-(
T/Div	20
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60 ...
ทดสอบ:	59.3 kV

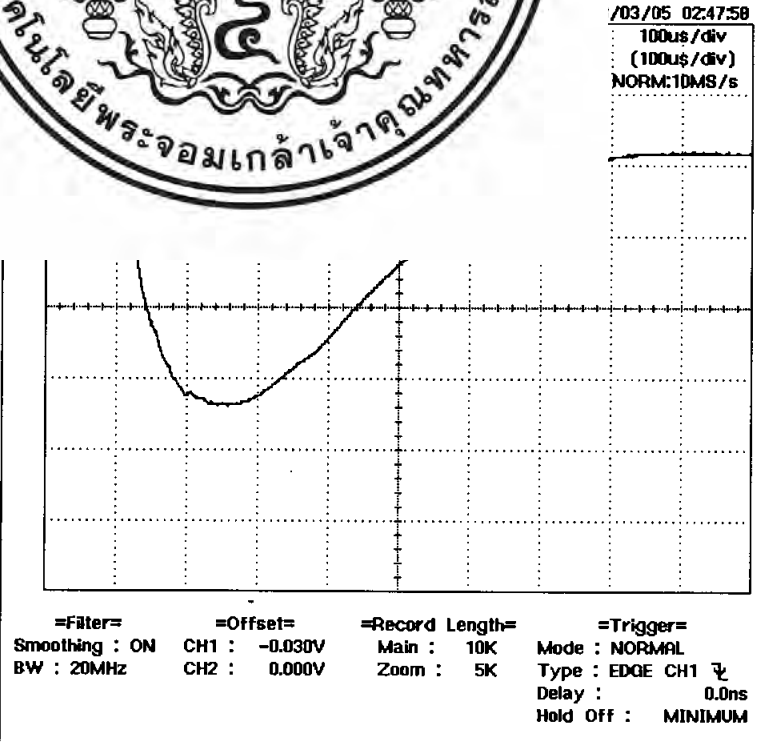


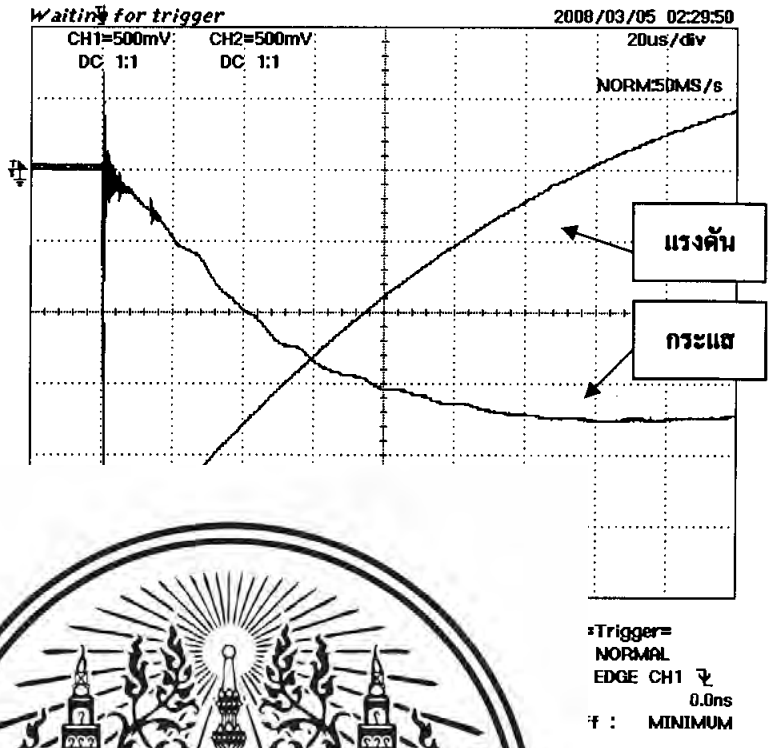
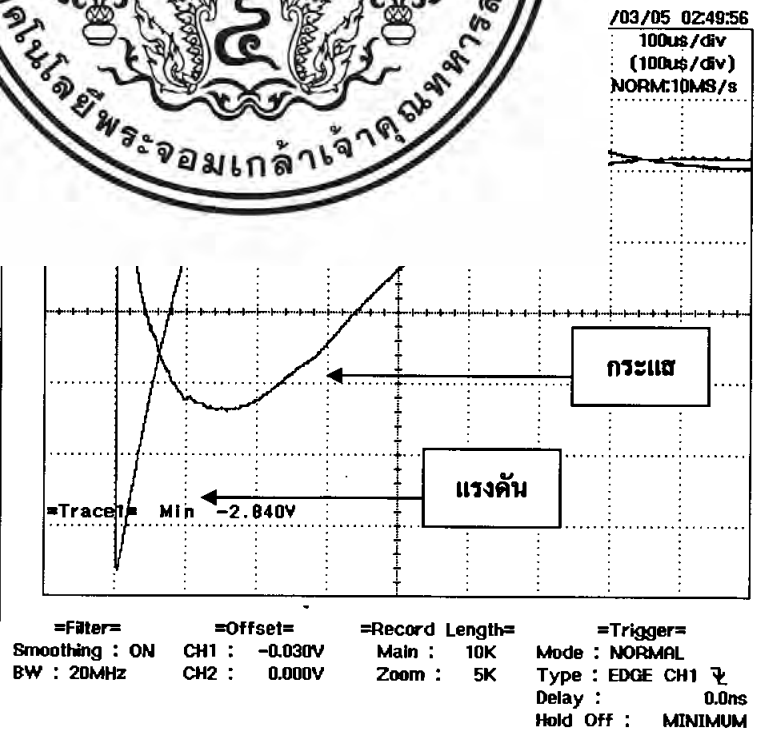
ทดลวดแรงดันสูง		รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น:	แรงดัน	
เฟส :	1W	
แทป :	3-8	
T/Div	100 µs	
แรงดัน:	เต็ม	
ต้องการ:	60 kV	
ทดสอบ:	59.3 kV	
หน้าคลื่น:	1.25 µs	
หางคลื่น:	52.00 µs	



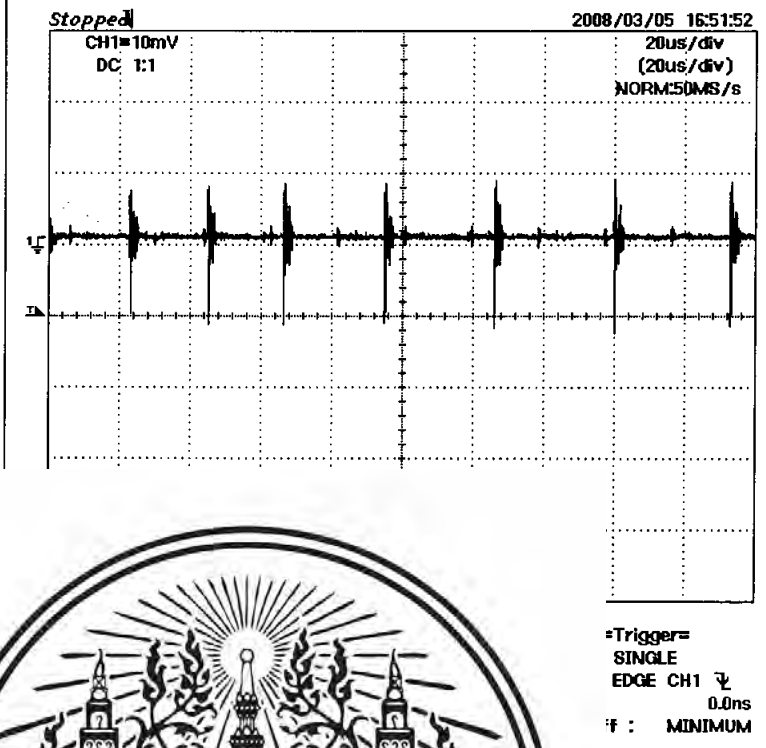
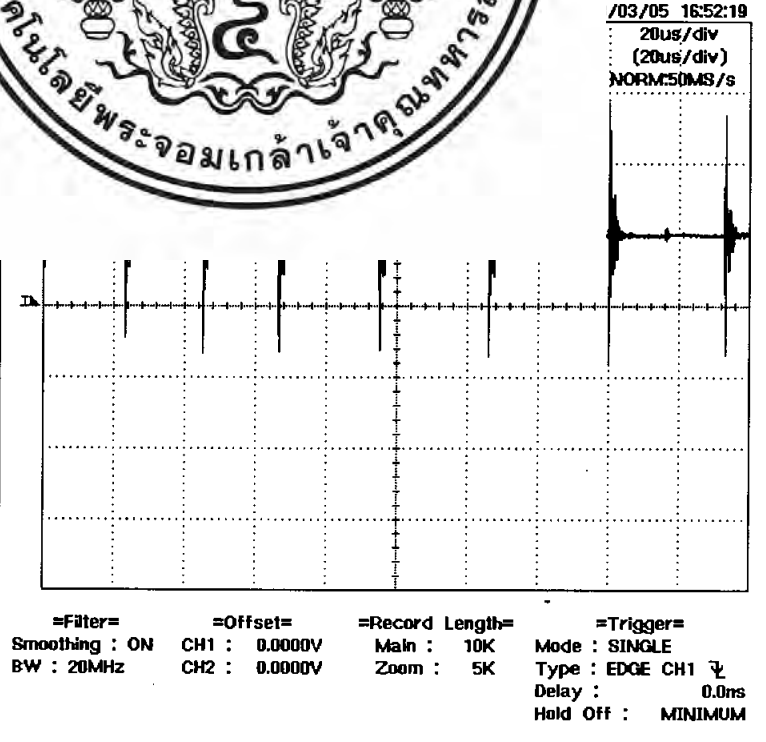
ธนาคารโรงเรียนในโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น:	กร
เฟส :	1V
แทป :	3-(
T/Div	10
แรงดัน:	เต็
ต้องการ:	60 kV
ทดสอบ:	59.3 kV

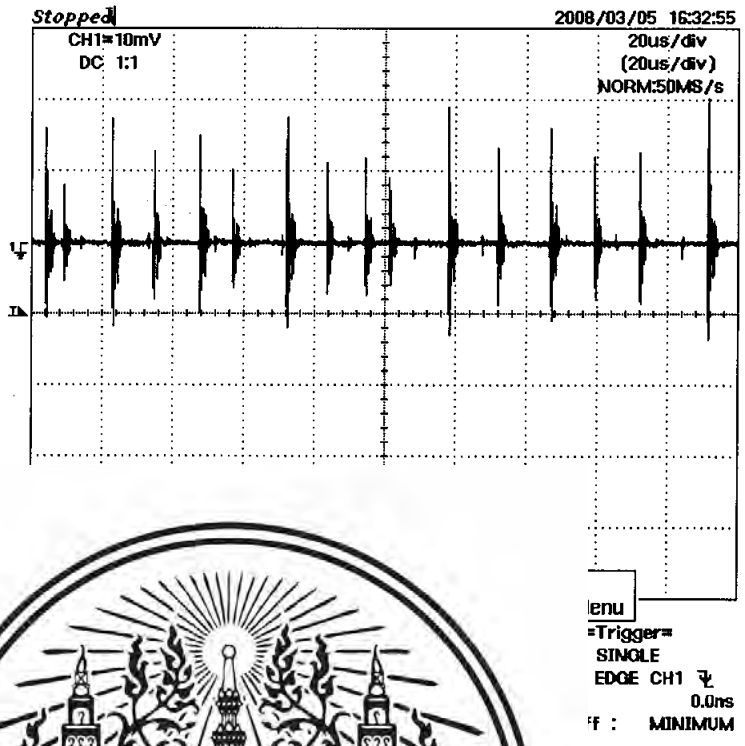
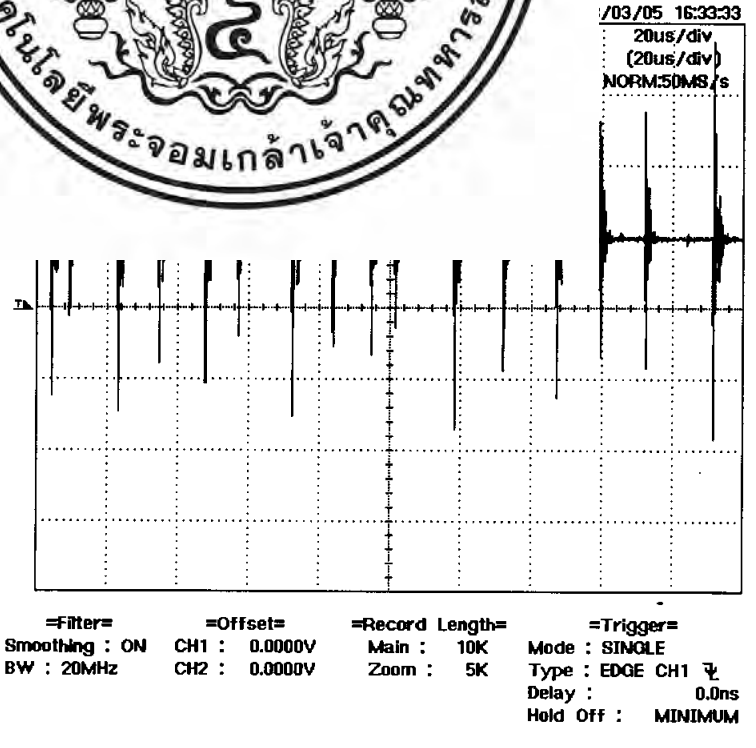


ชดลวดแรงดันสูง	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: เปรียบเทียบ **เฟส :** 1W **แทป :** 3-8 **T/Div** 20 µs **แรงดัน:** เต็ม **ต้องการ:** 60 kV **ทดสอบ:** 59.3 kV **หน้าคลื่น:** 1.25 µs **หางคลื่น:** 52.00 µs	
ชดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: เป **เฟส :** 1V **แทป :** 3- **T/Div** 10 **แรงดัน:** เต็ **ต้องการ:** 60 ... **ทดสอบ:** 59.3 kV **หน้าคลื่น:** 1.25 µs **หางคลื่น:** 52.00 µs	

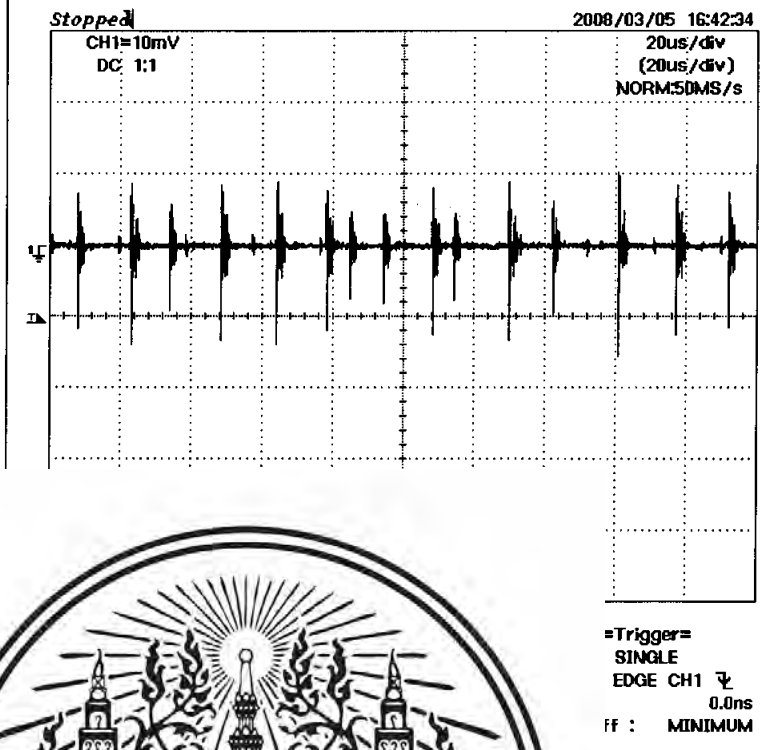
ธนาคารโรงเรียนในโครงการพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ

ขดลวดแรงดันต่ำ	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 2U **T/Div** 20 µs **ต้องการ:** 1 kV	
ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: กร **เฟส :** 2L **T/Div** 20 **ต้องการ:** 1 I	

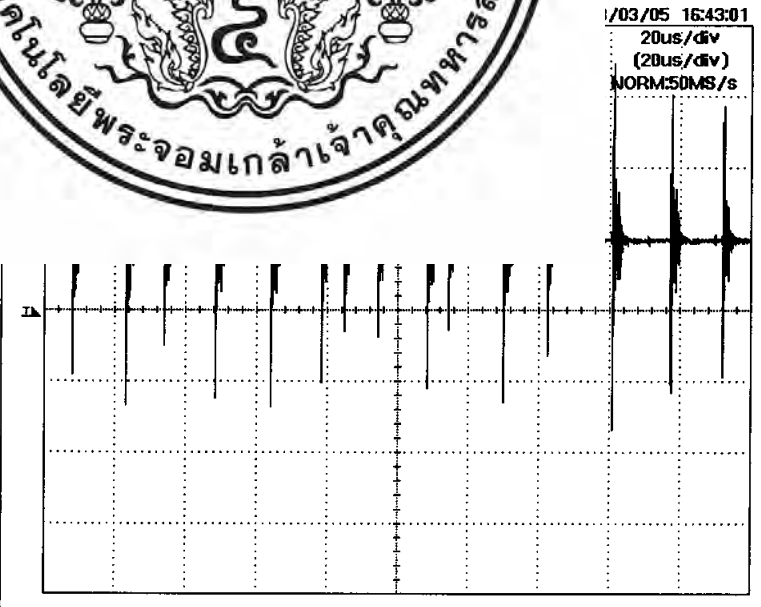
ตามพระราชดำริในสมเด็จพระเจ้าลูกเธอ เจ้าฟ้าจุฬาภรณวลัยลักษณ์ อัครราชกุมารี กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

ขดลวดแรงดันต่ำ	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 2V **T/Div** 20 µs **ต้องการ:** 1 kV	
ขดลวดแรงดัน	
รูปคลื่น: กร **เฟส :** 2V **T/Div** 20 **ต้องการ:** 1 I	

ตามพระบรมราชโองการ ในหลวงพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว

ขดลวดแรงดันต่ำ	รูปคลื่นที่ได้จากออสซิลโลสโคป
รูปคลื่น: แรงดัน **เฟส :** 2W **T/Div** 20 µs **ต้องการ:** 1 kV	

ขดลวดแรงดัน
รูปคลื่น: กร **เฟส :** 2V **T/Div** 20 **ต้องการ:** 1 I



บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานโครงงาน

จากการที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ามาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งศึกษาจากการปฏิบัติงานจริง จึงได้ทำการทดลองออกแบบการทดสอบขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้ทำการทดสอบนั้นเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส มีพิกัดกำลังไฟฟ้า 400 kVA มีพิกัดแรงดัน 24000/12000 : 416 V ความถี่ 50 Hz และมีกลุ่มของเวคเตอร์เป็นชนิด Dyn11 โดยการทดสอบในหัวข้อต่างๆ นั้น ได้รับความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่และอุปกรณ์การทดสอบจากบริษัทเอบีบี (ประเทศไทย) จำกัด

จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าข้างต้น มีผลการทดสอบโดยรวมคือ ผลการวัดค่าอัตราส่วนแร ามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ผลก อต่างๆ ของหม้อแปลงไม่มีจุดเสี ไฟฟ้าและมีภาระทางไฟฟ้าพบว่า ฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า 0.92 ของกระแสพิกัดค่าความสูญเสีย kW และที่ระบบ 12 kV วัดได้ 24 kV เท่ากับ 1.087 kV และร านของฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้า ากนี้ยังได้ทำการวัดค่าต่างๆ เช่น านทานของฉนวนและวัดค่าประก เก็บไว้ใช้ในการอ้างอิงสภาพของ

งการทดสอบของบริษัท เอบีบี [illegible] ซึ่งแสดงได้ว่ากระบวนการทดสอบที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมานั้นมีความถูกต้องตามมาตรฐาน

นอกจากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่บริษัทเอบีบี (ประเทศไทย) จำกัดแล้ว ยังได้ทำการออกแบบการทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบหม้อแปลงประเภทฉนวนแห้งในห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้ทำการทดสอบ 2 ประเภทการทดสอบ คือ การวัดค่าอัตราส่วนแรงดันและกลุ่มของเวคเตอร์ และการทดสอบความคงทนของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า โดยในการทดสอบทั้งสองหัวข้อสามารถผ่านการทดสอบไปได้ด้วยดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากทฤษฎีและตัวอย่างการทดสอบ ผู้ที่สนใจสามารถใช้เป็นตัวอย่างในทดสอบและการออกแบบการทดสอบได้

2. ในการทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้านั้น นอกจากจะต้องมีความรู้ทางทฤษฎีแล้ว จำเป็นจะต้องมีประสบการณ์ในการทดสอบหม้อแปลง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

3. จากทฤษฎีต่างๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า ผู้ที่สนใจสามารถนำทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบได้

เอกสารอ้างอิง

[1] IEC 60076-1 Edition 2.1 2000-04, Power transformer – Part 1: General

[2] IEC 60076-2 Second edition 1993-94, Power transformer – Part 2: Temperature Rise

[3] IEC 60076-3 Second edition 2003-04, Power transformer – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearance in air

[4] IEC 60076-4 First edition 2002-06, Power transfotmer – Part 4: Guide to lightning impulse and switching impulse testing - Power transformer and Reactor

[5] IEC 60076-5 Second edition 2000-07, Power transformer – Part 5: Ability to withstand short circuit

[6] IEC 6007 plication guide

[7] IEC 6007): Determination of sound

[8] IEC 60(– Part 10-1: Determin

[9] IEC 600 rt 11: Dry-type transform

[10] ABB – Te

[11] ดร.สำรวย 2549

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

TEST REPORT

Asea Brown Boveri

Report No. 060833

Customer:
KMITL

Customer Ref.:

Customer Specification:

Test Object: 3-Phase Transformer

Serial No.: 060833

Highest Rated Power:	0.4(0.4) / 0.4 MVA
Voltage:	24 +0-4 x 2.5%(12 +0-4 x 2.5%) / 0.416 kV
Highest Rated Current:	9.6225(19.245) / 555.14 A
BIL:	125 / - kV
Connection:	D / yo
Phase Displacement:	Dyn11
Frequency:	50 Hz
Cooling Condition(s):	ONAN
Oil Temp. Rise:	60 °C
Winding Temp. Rise:	65 °C

ABB Reference:

Product Reference:
Order No.: 060833
Name Plate No.:
Inspection and Test Plan:

Performed and Appr **ls:**

Voltage Ratio
Winding Resistance
No Load Losses
Harmonics
Load Losses
Applied Voltage
Induced Voltage
Insulation Resistance
Insulation Capacitance
Lightning Impulse

Factory: Asea Brown Boveri
322 Moo 4 Bangpoo Industrial Estate.
Samutprakarn, Thailand

Test Department: TD/TPT

Date of Issue: 15-Nov-2007

Issued by: Pisit Sakjirarat

Signature: _____

Approved by: _____

Serial No.: 060833

Summary 3
Voltage Ratio 4
Winding Resistance 5
No Load Losses 6
Harmonics 7
Load Losses 8
Applied Voltage 9
Induced Voltage 10
Insulation Resistance. 11
Insulation Capacitanc 12
Lightning Impulse 13
Rating Plate 17

Serial No.: 060833

No Load Losses

Voltage (%)	Tap Position	Power Base (MVA)	No Load Losses (kW)		Current	
			Measured	Guaranteed	Measured	Guaranteed
100	1 / -	0.4	0.9271	-	0.8799 %	-

Load Losses

Terminals	Connection (kV)	Tap Position	Power Base (MVA)	Losses at Ref. Temp.		Impedance at Ref. Temp.	
				Measured (kW)	Guaranteed (kW)	Measured (%)	Guaranteed (%)
A-B-C(24) a-b-c-n	24 / 0.416	1 / -	0.4	4.7479	-	4.49	-
A-B-C(12) a-b-c-n						4.48	-

Serial No.: 060833

Test Condition: 24 kV
First Terminals: A-B-C(24)
Second Terminals: a-b-c-n
Phase Displacement: Dyn11

Tap Position		Rated Voltage (kV)		Measured Ratio			Calculated Ratio (with Multiplier)	Maximum Difference (%)
First Terminals	Second Terminals	First Terminals	Second Terminals	A-C n-c	B-A n-a	C-B n-b		
1	-	24.000	0.41600	99.94	99.95	99.94	99.93	0.02
2	-	23.400	0.41600	97.48	97.48	97.48	97.43	0.06
3	-	22.800	0.41600	95.02	95.02	95.02	94.93	0.10
4	-						92.43	0.14
5	-						89.93	0.18

Test Condition:
First Terminals:
Second Terminals:
Phase Displacement:

Tap Position							Calculated Ratio (with Multiplier)	Maximum Difference (%)
First Terminals	Second Terminals	T						
1	-						49.96	0.01
2	-						48.71	0.04
3	-						47.46	0.09
4	-						46.22	0.13
5	-						44.97	0.17

Serial No.: 060833

Reference Temperature: 75.0 °C
Tested Terminal Names: A-B-C(24)
Average Oil Temperature: 30.3 °C

Tap Positions	Resistance Between Terminals (Ω)				Average Resistance (Ω/Phase)	Resistance at Reference Temp. (Ω/Phase)
	A-B	B-C	C-A			
1	13.942	13.932	13.953		20.913	24.442
2	13.560	13.547	13.572		20.340	23.771
3	13.176	13.162	13.182		19.760	23.094
4	12.792					22.424
5	12.405					21.740

Reference Temperature:
Tested Terminal Names:
Average Oil Temperature

Tap Positions	A-B		Resistance at Reference Temp. (Ω/Phase)
1	3.4957		6.1272
2	3.4016		5.9603
3	3.3042		5.7704
4	3.2079		5.6209
5	3.1105		5.4497

Reference Temperature:
Tested Terminal Names: a-b-c-n
Average Oil Temperature: 30.0 °C

Tap Positions	Resistance Between Terminals (Ω)				Average Resistance (Ω/Phase)	Resistance at Reference Temp. (Ω/Phase)
	a-b	b-c	c-a	a-n		
-	0.0038360	0.0038650	0.0038730	0.0019730	0.0019290	0.0022570

Serial No.: 060833

Supplied Terminals:	A-B-C(24)	**Tap:**	1
1st Open Terminals:	a-b-c-n	**Tap:**	-
2nd Open Terminals:		**Tap:**	
Power Base:	0.4 MVA	**Rated Power:**	0.4 MVA
Average Oil Temperature:	30.0 °C		

Measured Values								Losses[1] (kW)	Current	Guaranteed	
$V_{appl.}$	$\frac{V_{rms}}{1.11 \times V_{mean}}$	1.11xVmean (kV)	V_{rms} (kV)	I_A (A)	I_B (A)	I_C (A)	Losses (kW)			Losses (kW)	Current
110 %		26.38	26.59	0.8165	0.7076	0.6924	1.593	1.581	7.678 %	-	-
100 %		23.99							799 %	-	-
90 %		21.61							532 %	-	-

[1] Corrected to Sinusoidal Wave

Serial No.: 060833

Test Condition: 24 kV
Supplied Terminals: A-B-C(24) Tap: 1
Power Supply Frequency: 50 Hz Applied Voltage: 100 %

Harmonics In Current

Harmonics Number	% of Fundamental / Φ (°) at Terminal					
	A		B		C	
1	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
3	1.78	178.21	30.70	89.53	34.06	-7.47
5	50.59	-88.06	51.39	-172.37	54.73	-18.36
7	29.09	-44.00	29.68	-137.88	31.82	27.23
9	0.20	0.00	5.57	40.22	6.03	20.72
11					5	9.26

Serial No.: 060833

Test Condition: 24 kV
Supplied Terminals: A-B-C(24)
1st Shorted Terminals: a-b-c-n
2nd Shorted Terminals:

Reference Temperature: 75.0 °C
Power Base: 0.4 MVA

Connection				Measured			Corrected[1]			Guaranteed	
Tap Positions			Supplied Winding V_{rated} (kV)	Temp. (°C)	Voltage (kV)	Current (A)	Losses (kW)	Losses[2] (kW)	Imp. (%)	Losses (kW)	Imp. (%)
Supplied	1st Shorted	2nd Shorted									
1	-		24.000	30.0	1.0666	9.6057	4.7476	4.7479	4.49	-	-
3	-		22.800	30.0	0.99570	10.127	4.8632	4.8635	4.41	-	-
5	-								4.32	-	-

Test Condition:
Supplied Terminals:
1st Shorted Terminals:
2nd Shorted Terminals:

75.0 °C
0.4 MVA

Connection					Guaranteed	
Tap Positions				Imp. (%)	Losses (kW)	Imp. (%)
Supplied	1st Shorted	2nd Shorted				
1	-			4.48	-	-
3	-			4.41	-	-
5	-			4.33	-	-

[1] Corrected to Reference Temperature
[2] Corrected to Instrument Error

Test Date:	Test Engineer:	Test Department:
16-Nov-2007	Pisit Sakjirarat	TD/TPT

Serial No.: 060833

Frequency (Hz): 50 Hz

Supplied Terminals	Voltage (kV)	Duration (s)
A-B-C	35.0	60
a-b-c-n	2.1	60

Serial No.: 060833

Tap Position For HV Terminals: 1
Supplied Terminals: A-B-C(24)
Frequency (Hz): 200 Hz

Tested Terminals	Grounded Terminals	Voltage (kV)	Duration (s)	P.D. Measured
A-B-C(24)	n	33.600	30	-

Serial No.: 060833

Test Condition: winding insulation (in MΩ)
Applied Voltage: 2.5 kV

Terminals			Temp.	Measured	Time		
Tested	Grounded	Guard	(°C)	Ratio	1m 0s		
A-B-C(24)	A-B-C(12) Tank		30.0		4500.0		
A-B-C(12)	A-B-C(24) Tank		30.0		6200.0		
A-B-C(24) A-B-C(12)	Tank		30.0		5000.0		

Serial No.: 060833

Applied Voltage: 10 kV for HV winding and 1 kV for LV winding

Correction Factor (K): 1.25

Measured	Capacitance (pF)	Dissipation Factor (%)	
		at 30.0 °C	at 20.0 °C
C_{HL}	1398	0.21	0.17
C_{HG}	858.8	0.24	0.19
C_L			.25
C_{HG}+			.27

Serial No.: 060833

HV Winding

Test Type [1]	Tested Terminal	Required Voltage (kV)	Test Voltage (kV)	Tap Position	Impulse Shape (µs)	Oscillogram Number
RFI	A	36.000	35.747	1	1.29/54.66	10
FI	A	60.000	60.090	1	1.26/54.75	11
FI	A	60.000	60.138	1	1.27/54.67	12
FI	A	60.000	60.034	1	1.28/54.72	13
RFI	B	36.000	36.124	3	1.42/53.83	14
FI	B	60.000	60.067	3	1.44/53.78	17
FI	B	60.000	60.072	3	1.44/53.80	18
FI	B				6/53.72	20
RFI	C				6/52.96	21
FI	C				8/53.03	22
FI	C				4/52.99	23
FI	C				7/53.06	24

[1] **Legend:**

ANSI:	Reduced Full-Wave	RFW	**IEC:**	Reduced Full-Impulse	RFI
	Full-Wave	FW		Full-Impulse	FI
	Reduced Chopped Wave	RCW		Reduced Chopped Impulse	RCI
	Chopped Wave	CW		Chopped Impulse	CI
	Reduced Front-of-Wave	RFoW			
	Front-of-Wave	FoW			

Test Date:	Test Engineer:	Test Department:
16-Nov-2007	Pisit Sakjirarat	TD/TPT

ABB

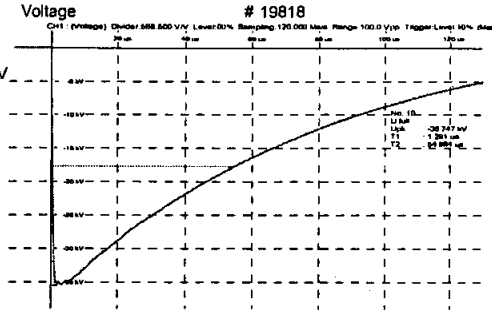
TEST REPORT
Lightning Impulse

060833

PHASE A

CH: 1 Voltage # 19818 11/16/2007 12:48:59

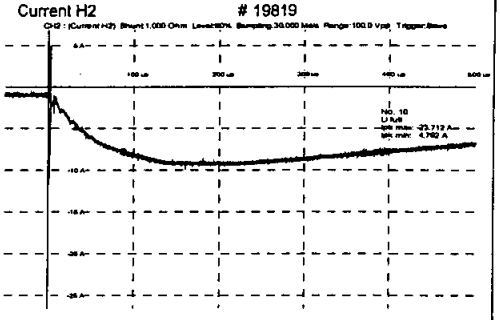
No. 10
LI full
Upk : -35.747 kV
T1 : 1.291 us
T2 : 54.664 us



PHASE A

CH: 2 Current H2 # 19819 11/16/2007 12:48:59

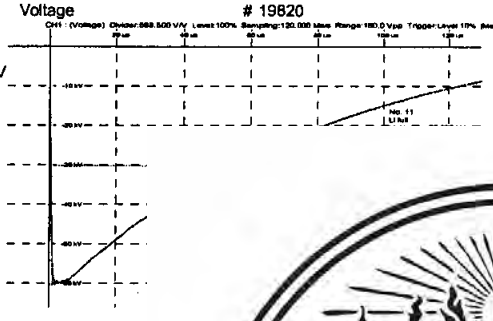
No. 10
LI full
Ipk max: -23.712 A
Ipk min: 4.762 A



PHASE A

CH: 1 Voltage # 19820 11/16/2007 12:51:20

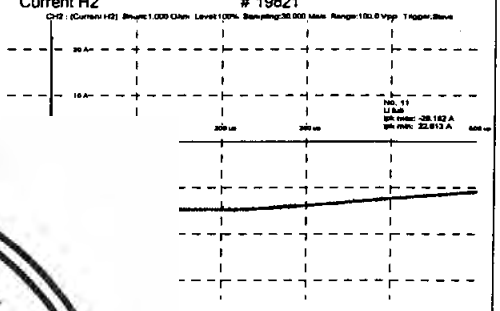
No. 11
LI full
Upk : -60.090 kV
T1 : 1.264 us
T2 : 54.750 us



PHASE A

CH: 2 Current H2 # 19821 11/16/2007 12:51:20

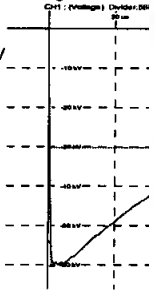
No. 11
LI full
Ipk max: -29.182 A
Ipk min: 22.613 A

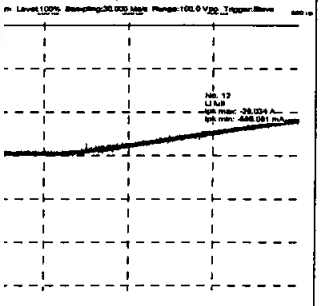


PHASE A

CH: 1 Voltage # 19823 11/16/2007 12:53:00

No. 12
LI full
Upk : -60.138 kV
T1 : 1.266 us
T2 : 54.673 us

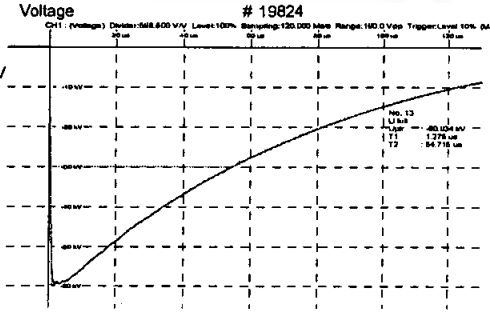




PHASE A

CH: 1 Voltage # 19824 11/16/2007 12:54:40

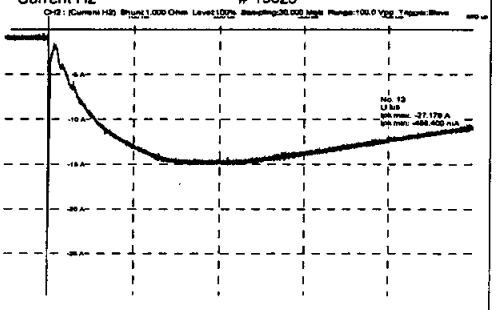
No. 13
LI full
Upk : -60.034 kV
T1 : 1.275 us
T2 : 54.715 us



PHASE A

Current H2 # 19825

No. 13
LI full
Ipk max: -27.179 A
Ipk min: -488.400 mA



Test manager: Test engineer: Inspector:

ABB

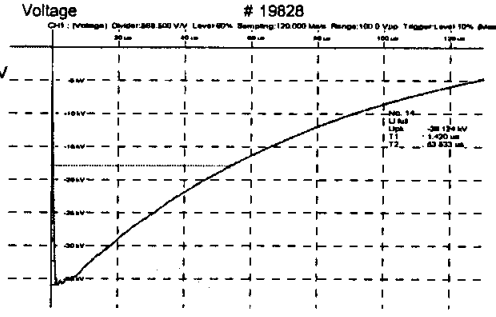
TEST REPORT
Lightning Impulse

060833

PHASE B

CH: 1 Voltage 11/16/2007 1:05:07 P # 19828

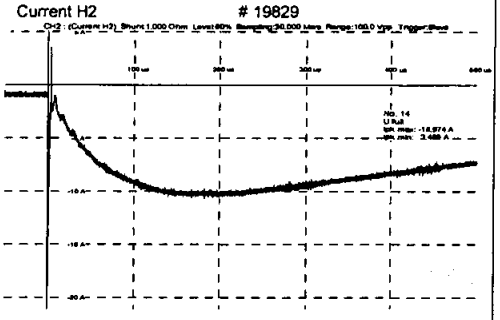
No. 14
LI full
Upk : -36.124 kV
T1 : 1.420 us
T2 : 53.833 us



PHASE B

CH: 2 Current H2 11/16/2007 1:05:07 P # 19829

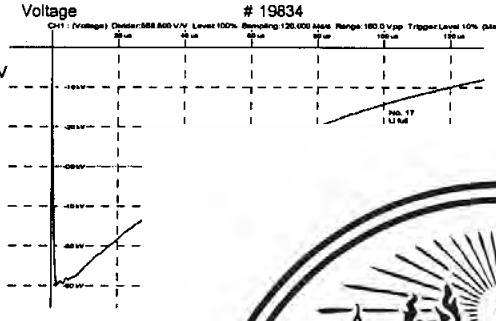
No. 14
LI full
Ipk max: -18.974 A
Ipk min: 3.468 A



PHASE B

CH: 1 Voltage 11/16/2007 1:12:55 P # 19834

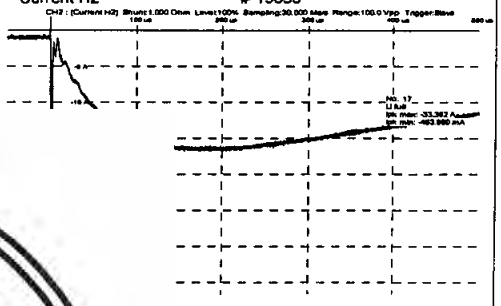
No. 17
LI full
Upk : -60.067 kV
T1 : 1.444 us
T2 : 53.780 us



PHASE B

CH: 2 Current H2 11/16/2007 1:12:55 P # 19835

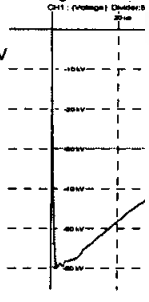
No. 17
LI full
Ipk max: -33.382 A
Ipk min: -463.980 mA



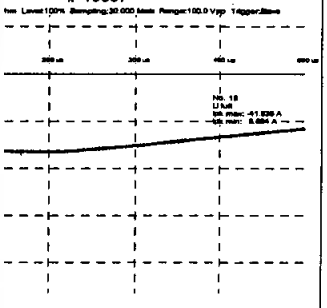
PHASE B

CH: 1 Voltage

No. 18
LI full
Upk : -60.072 kV
T1 : 1.440 us
T2 : 53.800 us



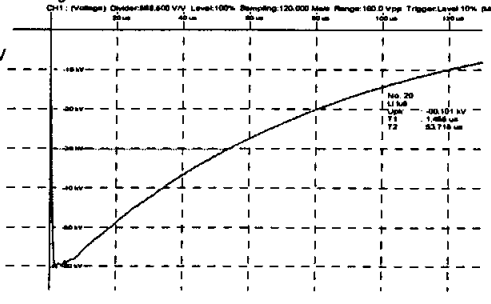
11/16/2007 1:14:22 P # 19837



PHASE B

CH: 1 Voltage # 19840

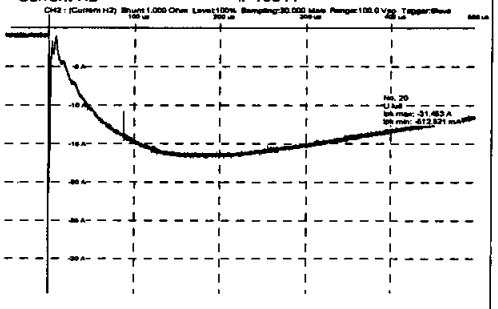
No. 20
LI full
Upk : -60.101 kV
T1 : 1.455 us
T2 : 53.718 us



PHASE B

11/16/2007 1:17:39 P Current H2 # 19841

No. 20
LI full
Ipk max: -31.453 A
Ipk min: -512.821 mA



ธนาคารกรุงเทพ ในโอกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา ๖ รอบ ๕ ธันวาคม ๒๕๔๙

Test manager: Test engineer: Inspector:

ABB

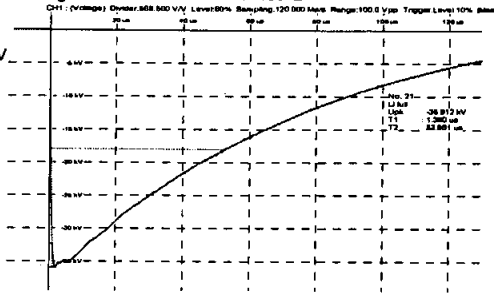
TEST REPORT
Lightning Impulse

060833

PHASE C

CH: 1 Voltage 11/16/2007 1:25:44 P # 19842

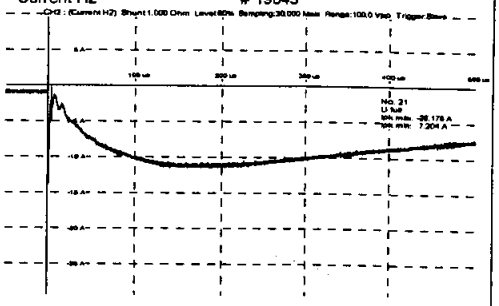
No. 21
LI full
Upk : -35.912 kV
T1 : 1.360 us
T2 : 52.961 us



PHASE C

No. 21
LI full
Ipk max: -26.178 A
Ipk min: 7.204 A

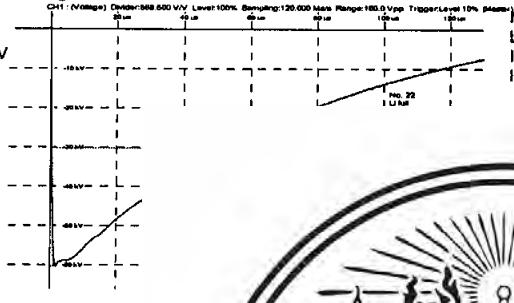
CH: 2 Current H2 11/16/2007 1:25:44 P # 19843



PHASE C

CH: 1 Voltage 11/16/2007 1:28:26 P # 19844

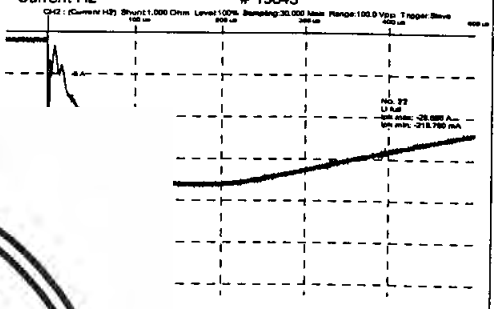
No. 22
LI full
Upk : -60.167 kV
T1 : 1.378 us
T2 : 53.027 us



PHASE C

No. 22
LI full
Ipk max: -28.596 A
Ipk min: -219.780 mA

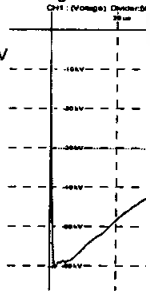
CH: 2 Current H2 11/16/2007 1:28:26 P # 19845

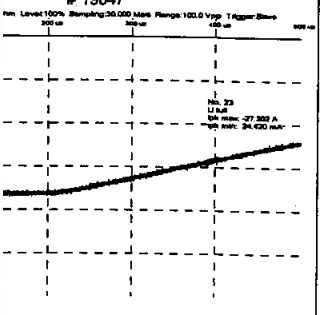


PHASE C

CH: 1 Voltage 11/16/2007 1:29:51 P # 19847

No. 23
LI full
Upk : -60.197 kV
T1 : 1.344 us
T2 : 52.986 us

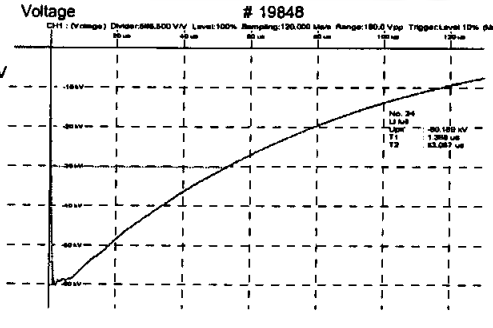




PHASE C

CH: 1 Voltage # 19848

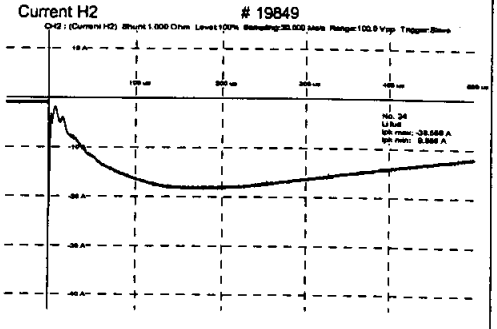
No. 24
LI full
Upk : -60.169 kV
T1 : 1.368 us
T2 : 53.057 us



PHASE C

No. 24
LI full
Ipk max: -38.559 A
Ipk min: 9.988 A

Current H2 11/16/2007 1:31:27 P # 19849



Test manager: Test engineer: Inspector:

Serial No.: 060833

Test Date:	Test Engineer:	Test Department:
15-Nov-2007	Pisit Sakjirarat	TD/TPT

การวัดค่าอัตราส่วนแรงดันและกลุ่มของเวคเตอร์

จุดประสงค์

1) เพื่อหาค่าอัตราส่วนแรงดัน ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ออกแบบมาไว้และนำไปใช้ในการระบุคุณสมบัติของหม้อแปลง

2) เพื่อหากลุ่มของเวคเตอร์ หรือการระบุมุมเฟส ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ออกแบบมาไว้ และนำไปใช้ในการระบุคุณสมบัติของหม้อแปลง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

IEC 60076-1 Power Transformer Part1 – General

ทฤษฎีในการท[illegible]

ความถี่พิกัดของ[illegible] 100–250 โวลต์ ที่
ค่าแรงดันทางด้[illegible] เดลวดปฐมภูมิกับ
โดยสมการ [illegible] เอัดราส่วนแรงดัน

โดยที่

ค่าผิดพลาดของอัตราส่วนแรงดัน หาได้โดย

$$r_{decl} = \frac{U_{pN}}{U_{sN}}$$

$$r_{act} = \frac{U_p}{U_s}$$

$$f = \frac{r_{act} - r_{decl}}{r_{decl}} \cdot 100$$

โดยที่

r_{decl} คือ ค่าอัตราส่วนที่ออกแบบ

r_{act} คือ ค่าอัตราส่วนที่วัดได้จริง

U_{pN} คือ แรงดันพิกัดทางด้านปฐมภูมิ

U_{sN} คือ แรงดันพิกัดทางด้านทุติยภูมิ

f คือ ค่าผิดพลาด ในหน่วย %

2) ลักษณะของกลุ่มของเวคเตอร์ และการระบุมุมเฟสทั่วไป

ขดลวดของหม้อแปลงสามเฟสสามารถทำการต่อได้ 3 แบบ คือ สตาร์, เดลต้า และ ซิกแซก และการระบุมุมเฟสจะอยู่ในช่วง 0° ถึง 360° ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการต่อ

ในการเรียกลักษณะการต่อขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสจะมีรหัสที่เป็นมาตรฐานในการเรียกดามมุมเฟสของหม้อแปลง โดยใช้การอ้างอิงดามทิศของตัวเลขบนหน้าปัดนาฬิกา เช่น Dyn11, Ynd5, Yy6, Dd0 เป็นต้น

สัญลักษณ์ต่างๆ ของการต่อขดลวดแรงดัน

D, d คือ การต่อขดลวดแบบเดลต้า

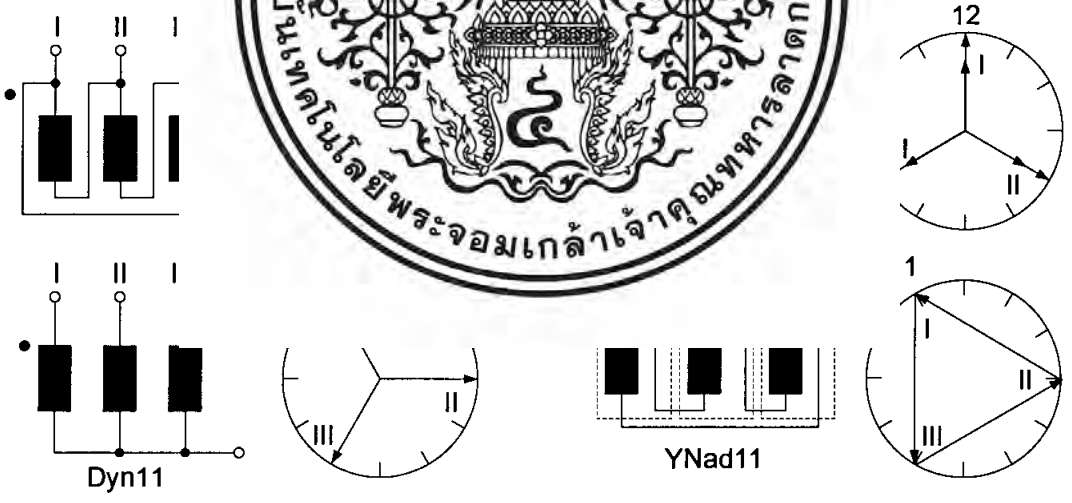
Y, y คือ การต่อขดลวดแบบสตาร์

วเล็กแทนขดลวด

ด้าน แรงดันต่ำ เสูงเสมอ ในส่วน

ของตัวเลข คือ างด้านแรงดันต่ำ

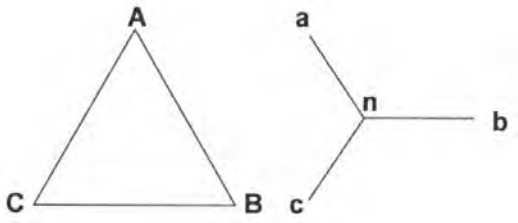
ชี้ไป ส่วนทิศทาง



ตัวอย่างลักษณะการตั้งสัญลักษณ์ตามลักษณะการต่อของขดลวด

3) การวัดอัตราส่วนแรงดันสำหรับหม้อแปลงสามเฟส

โดยปกติอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงสามเฟสสามารถวัดได้โดยใช้แหล่งจ่ายหนึ่งเฟส การวัดวงจรจะได้จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกลุ่มเวคเตอร์ของหม้อแปลงที่ถูกทดสอบ เช่น กรณีหม้อแปลงมีกลุ่มของเวคเตอร์เป็น Dyn11 จะมีการเขียนเฟสเซอร์ไดอะแกรมดังนี้



ดังนั้นในการวัดอัตราส่วนแรงดันจะต้องวัดเป็นคู่ดังนี้ A-B คู่กับ a-n, B-C คู่กับ b-n และ C-A คู่กับ c-n

4) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าอัตราส่วนแรงดันและกลุ่มของเวคเตอร์

ในปัจจุบันนั้นได้มีการผลิตเครื่องมือที่ใช้การวัดค่าอัตราส่วนแรงดัน และกลุ่มของเวคเตอร์ที่สามารถใช้งานได้ง่าย จึงทำให้สามารถวัดค่าต่างๆ ได้อย่างสะดวกมากขึ้น

ı ɔบนั้นเป็นเครื่อง

ของบริษัท Tette:) V 50Hz

1.สวิตช์เปิ วัดกลุ่มของเวคเตอร์

10. ปุ่มเลือกค่าแรงดัน

8. ปุ่มปรับเลือกเฟสต้านแรงดันต่ำ

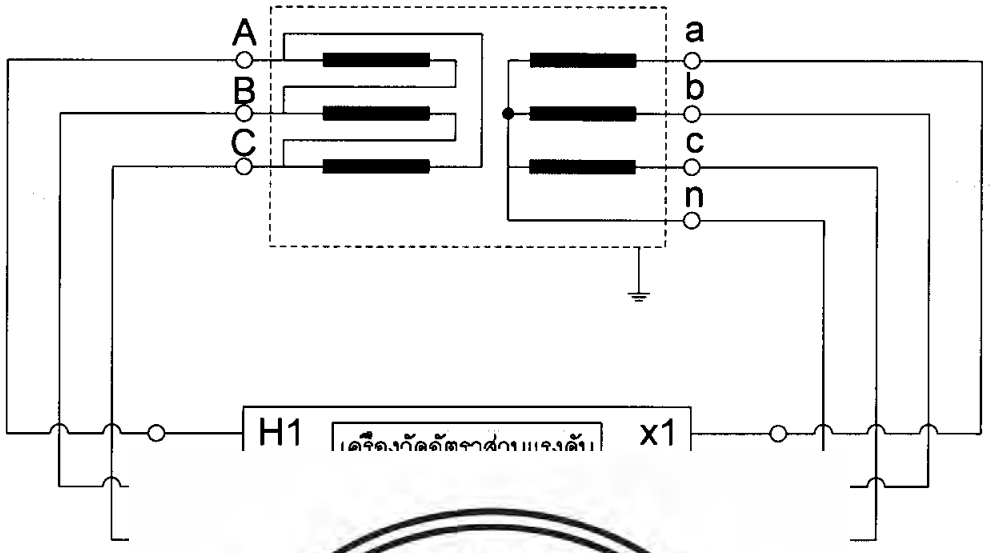
6. ปุ่มทดสอบกลุ่มของเวคเตอร์

9. ปุ่มวัดค่าอัตราส่วนแรงดัน

7. ปุ่มปรับเลือกการต่อของขดลวด

วงจรทดสอบ

หม้อแปลงที่ทำการทดสอบ



ดัวอ

Dyn

ขั้นตอนการทำ

ของขดลวด

ดัวหมุนทางด้าน

องหม้อแปลง กด

รบันทึกค่า

ดัวหมุนดรงกลาง

ดลวดแรงดันต่ำ

(หมายเลข 8) ที่จะทำการวัดอัตราส่วนแรงดัน โดยการหมุนปรับจะต้องสอดคล้องกับกลุ่มของเวคเตอร์ที่ได้ทำการวัดข้างต้น กดปุ่ม Test (หมายเลข 9) ทำการบันทึกค่าเมื่อเครื่องแสดงผล

4. ทำการหมุนปรับและวัดค่าให้ครบทุกคู่ขดลวด บันทึกผล
5. ทำการเปลี่ยนแทปหม้อแปลงที่ทำการทดสอบ และทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 3 จนครบทุกแทปของหม้อแปลง

หมายเหตุ ในกรณีที่ปุ่มหมุนปรับคู่ขดลวดทดสอบไม่ตรงกับกลุ่มของเวคเตอร์จริง เช่น ต้องการวัดอัตราส่วนระหว่าง A-B คู่กับ n-a แต่ปุ่มปรับคู่ขดลวดจะเลือกได้เพียง A-B คู่กับ a-n นั้น ค่าที่ได้จากการวัดจะมีค่าติดลบ แต่สัญญาณไฟแสดงขั้ว (หมายเลข 9) จะบ่งบอกว่ามีการสลับขั้วของคู่ขดลวดอยู่โดยแสดงเป็นไฟสัญญาณสีแดง

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดสอบ

ตำแหน่งแทป	แรงดันพิกัด (kV)		อัตราส่วนแรงดัน			อัตราส่วนแรงดันเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน (%)
	ด้านแรงดันสูง	ด้านแรงดันต่ำ	A-B n-b	B-C n-c	C-A n-a		
5-6	12.000	0.41600	50.11	50.11	50.10	50.107	0.294

- ตัวอย่างการหาค่าอัตราส่วนแรงดันเฉลี่ยของหม้อแปลงระบบ 12 kV แทป ถขุ

อัตราส่วนแรงดันเฉลี่ย = $\frac{(A-B,n-b)+(B-C,n-c)+(C-A,n-a)}{3}$

$= \frac{50.11+50.11+50.10}{3}$

- ตัวอ

ค่าความ

การประเมินผล

ภาย

2. ค่าอัตราส่วนของแรงดันที่วัดได้แตกต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณไม่เกิน 0.5%

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ขดลวดด้านปฐมภูมิ.....

ขดลวดด้านทุติยภูมิ.....

กลุ่มของเวคเตอร์.....

ตำแหน่งแทป		แรงดันพิกัด (kV)		ค่าอัตราส่วนแรงดันที่วัดได้			ค่าอัตราส่วนแรงดันที่ได้จากการคำนวณ	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
ด้านปฐมภูมิ	ด้านทุติยภูมิ	ด้านปฐมภูมิ	ด้านทุติยภูมิ	คู่ขดลวดที่ทำการวัด				

สรุปผลการทด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การวัดความคงทนฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์

จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบความคงทนของฉนวนว่าสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า
2. เข้าใจหลักการและกระบวนการทดสอบ

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

IEC 60076-4 (2002), "Guide to lightning impulse and switching impulse testing of power transformers and reactors"

ทฤษฎีในการทดสอบ

ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเต็ม

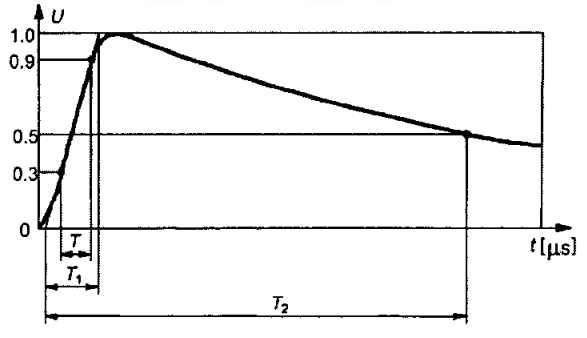
ดาม ัลส์ฟ้าผ่าเต็มไว้ดังรูป ที่ 1

ระยะเวลาห ้นได้ประมาณ ±30%

ระยะเวลาขะ ้ประมาณ ±20% (40

แต่เ สร้างแรงดันอิมพัลส์ที่ สมบูรณ์แบบได้ ดังนั้ รงที่ลากผ่านจุดที่มีค่า 30% และ 90% ของ T แล้วเราสามารถหา ระยะเวลาหน้าคลื่นไ

$T_1 = 1.67T$



รูปที่ 1 ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าเต็ม

การทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

มาตรฐาน IEC มีลำดับดังนี้

1. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่มีขนาดแรงดันต่ำกว่าแรงดันทดสอบบีไอแอลหนึ่งครั้ง (มีค่าประมาณ 50%-75% ของแรงดันบีไอแอล) เพื่อใช้เป็นรูปคลื่นอ้างอิง
2. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่ระดับแรงดันทดสอบบีไอแอลหนึ่งครั้ง (100% ของ BIL)
3. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสับที่มีขนาดต่ำกว่าแรงดันทดสอบบีไอแอลหนึ่งครั้ง หรือมากกว่า
4. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสับที่ระดับแรงดันทดสอบบีไอแอลสองครั้ง
5. ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่ระดับแรงดันทดสอบบีไอแอลสองครั้ง

การวิเคราะห์ผลการ

ทำก กับรูปคลื่นแรงดันและ
กระแสของระดับแรง รูปคลื่นไม่แตกต่างกัน
แสดงว่าผ่านการทดส

กระบวนการทดสอ

ก่อ

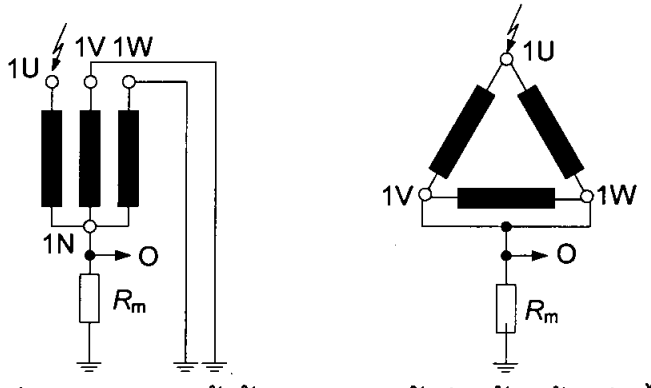
1. ย 3 วัน ในกรณีที่เป็น
หม้อแปลงชนิดฉนวน

2. เทานของขดลวดของ
หม้อแปลง

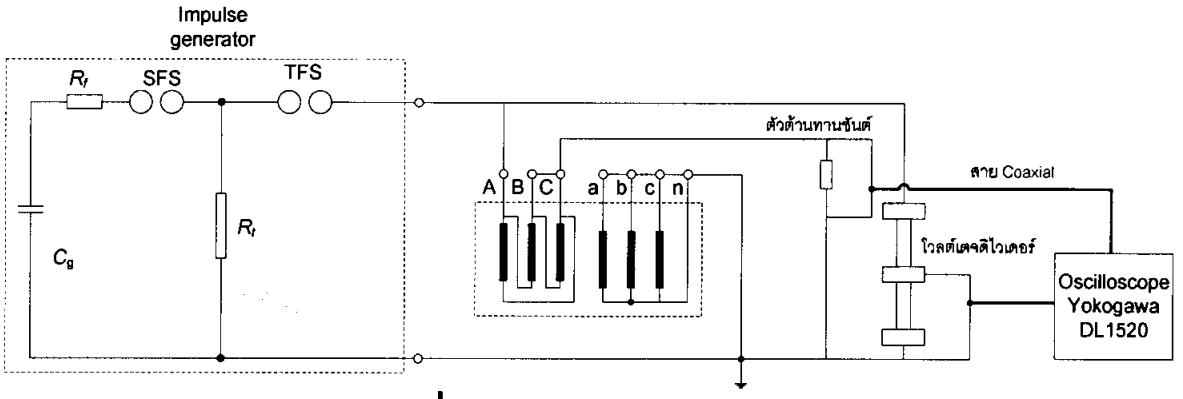
3.

4. ม้อแปลง

5. ทำการต่อตัวเก็บประจุในบุชชิ่งลงกราวด์
6. ตรวจสอบระดับน้ำมันในเครื่องเปลี่ยนแทป และในหม้อแปลง
7. ตรวจสอบตำแหน่งของแทป



รูปที่ 2 ลักษณะต่อวงจรทดสอบเข้ากับขดลวดแรงดันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส



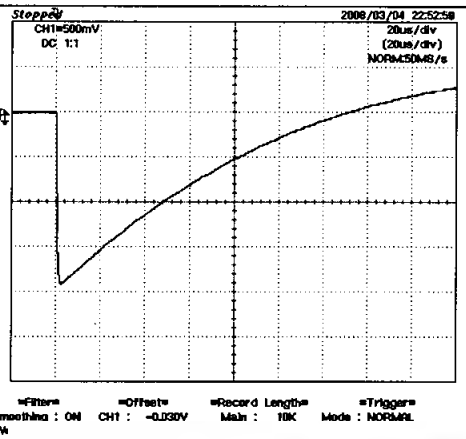
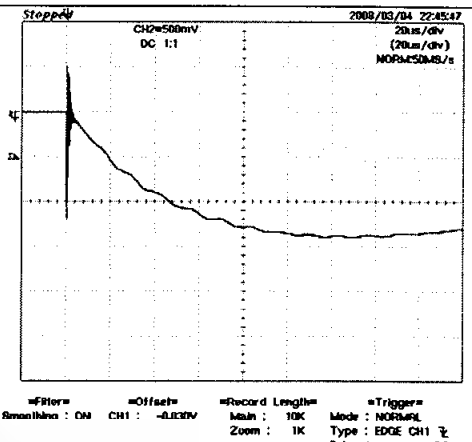
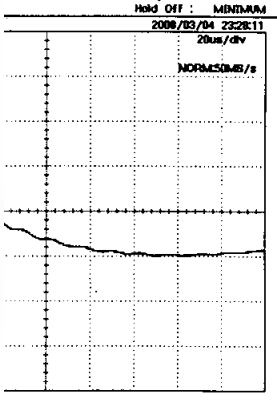
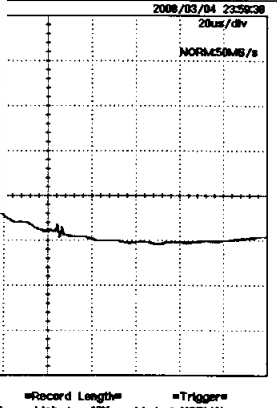
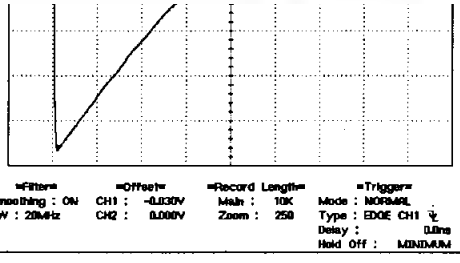
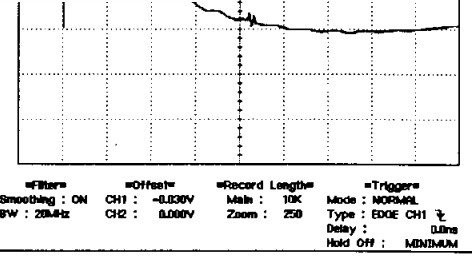
รูปที่ 3 ลักษณะต่อวงจรทดสอบ

C_g คือ ตัวเก็บประจุ

ขั้นตอนการทดสอ

1.
2.
3. แรงดันอิมพัลส์
4. ันที่คำนวณได้ โดยดู
5. มีทำการยกไม้กราวด์
6. จุดชนวนให้เกิดการ ลง ในกรณีที่เครื่อง ทำให้เกิดอิมพัลส์มีการเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ต้องการ ให้ทำการปรับระยะแกปให้เพิ่มขึ้น แล้วทำการทดลองซ้ำ
7. เมื่อทำการป้อนแรงดันอิมพัลส์ให้กับหม้อแปลง สังเกตรูปคลื่นที่ oscilloscope หากไม่ได้รูปคลื่นแรงดันที่มีขนาดตามมาตรฐาน จะต้องทำการปรับค่าความต้านทานที่เครื่องกำเนิดอิมพัลส์ ทำการทดสอบซ้ำ
8. เมื่อได้รูปคลื่นตามมาตรฐานจึงทำการทดสอบตามลำดับในทฤษฎี ทำการบันทึกรูปคลื่น
9. ทำการทดสอบตามลำดับของมาตรฐาน
10. ทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบ

ตัวอย่างการประเมินผลการทดสอบ

รูปคลื่น	รูปคลื่นแรงดัน	รูปคลื่นกระแส
ลักษณะรูปคลื่นแรงดันลดทอน		
ลักษณะรูปคลื่นแรงดันเด็มที่ผ่านการทดสอบ		
ลักษณะรูปคลื่นแรงดันเด็มที่ไม่ผ่านการทดสอบ		

ตราสัญลักษณ์พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

เฟส/แทป	ลักษณะการทดสอบ	ระดับแรงดันทดสอบที่ต้องการ (V)	ระดับแรงดันที่ป้อนจริง (V)	ลักษณะของรูปคลื่น (µs)		ขนาดของค่าความต้านทาน (Ω)		ชื่อรูปคลื่นที่ทำการบันทึก
				หน้าคลื่น	หางคลื่น	หน้าคลื่น	หางคลื่น	
(ex.) A/5-6	ลดทอน	45	44.9	1.34	46.8	15	30	No.01

สรุปผลการทดสอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ประวัติผู้เขียน

นายวิศรุต เล็กอุทัย เกิดวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2528
ที่อยู่ 59 ถ.เจริญราษฎร์ ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์
หมายเลขโทรศัพท์ 08-4076-2345

นายาติชัย นันตา เกิดวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2528

ึกษาตอนปลาย

สุโขทัย
ึกษาตอนปลาย