

การประยุกต์ใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับทดสอบหม้อแปลงระบบจำหน่าย APPLICATION LABVIEW PROGRAM FOR TESTING OF DISTRIBUTION TRANSFORMER

บุญเลิศ สือเฉย และ อาทิตย์ สิมศิริ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

Boonlert Suechoey and Arethit Simsiri
Department of Electrical Engineering, Graduate School, Southeast Asia University
19/1 Phetchakasem Road, Nongkhaem, Bangkok, 10160

บทคัดย่อ

ก่อนการส่งมอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นให้กับลูกค้า จะมีกระบวนการทดสอบต่าง ๆ กับหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อยืนยันสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ผลิตขึ้น ว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย และมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดยบริษัทผู้ผลิต จะแบ่งเป็นการทดสอบประจำและการทดสอบเฉพาะแบบ และทำการบันทึกข้อมูลแล้วนำไปคำนวณหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงได้ทำการประยุกต์โปรแกรมแลปวิวสำหรับทดสอบหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่าย 3 เฟส แบบจุ่มในน้ำมัน ในการทดสอบประจำสามารถแสดงผลการทดสอบออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และการทดสอบเฉพาะแบบ ในหัวข้อการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะสามารถบันทึกค่าอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งสามารถบันทึกค่าที่ได้ไปยังโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดสอบแล้วนำผลการทดสอบที่ได้ไปสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการทำนายอุณหภูมิของขดลวด โดยนำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดสอบกับหม้อแปลงจำหน่าย 3 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ 22000-400/230 โวลต์ พิกัดกำลัง 50 เควีเอ, 100 เควีเอ และ 160 เควีเอ ซึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีประโยชน์มากสำหรับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า พร้อมประหยัดเวลา และยังช่วยในการคำนวณคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหม้อแปลงได้อย่างถูกต้องแม่นยำ จากผลการทดสอบหม้อแปลงตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ

คำสำคัญ: หม้อแปลงจำหน่าย, การทดสอบประจำ และการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ABSTRACT

Before dispatching the transformer to the consumer, there are various test required on transformer to conform performance of transformer according to standard and regulation requirement. Transformer tests done by manufacturer mainly classified in routine tests and type tests by recording the data and calculation to determine the electrical properties. This research describes the developed LabVIEW program for testing three-phase oil-immersed distribution transformers. The routine test can show on the computer screen. The type test, on the temperature rise test, is to record the temperature at various points continuously. The program can save the test results to Microsoft Excel format. With the test results, the mathematical model can be implemented to predict the coil temperature. In this research, the developed LabVIEW program is used to test three-phase distribution transformers 50 Hz 22000-400/230 volt power rating 50 kVA, 100 kVA and 160 kVA and this program is very useful for transformer testing with time saving and very helpful to determine the electrical properties of transformer accurately. The results with the sample transformer test show that the developed software can be used in practice field.

KEYWORDS: Distribution Transformer, Routine Test and Temperature rise test

1. บทนำ

จากงานวิจัย การทดสอบอุณหภูมิ ณ บริเวณลวดตัวนำและบริเวณน้ำมันของหม้อแปลงไฟฟ้า [1] เป็นการทดสอบแบบจุดบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ และพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยมือ และหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบเป็นหม้อแปลงขนาด 10 เควีเอ 3 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ 380-220 โวลต์

งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายชนิด 3 เฟส แบบจุ่มในน้ำมัน โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) มาช่วยในการอ่านและบันทึกค่าจากเครื่องมือวัดแต่ละเครื่อง ขณะที่ทำการทดสอบหม้อแปลง เพื่อนำผลการวัดมาแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วนำค่าที่ได้ไปทำการคำนวณเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าตามข้อกำหนด และยังสามารถนำมาช่วยในการทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test) ในหัวข้อการทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม ซึ่งซอฟต์แวร์จะช่วยบันทึกค่าอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ขณะทำการทดสอบได้ 8 ตำแหน่งพร้อม ๆ กัน และสามารถส่งค่าที่บันทึกได้ไปยังโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล แล้วนำข้อมูลมาทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าความต้านทานของขดลวดที่เวลาตัดกระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปคำนวณหาค่าอุณหภูมิเพิ่มเฉลี่ยของขดลวดและอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมัน

ด้านบน ซึ่งจะช่วยให้การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ามีความสะดวกรวดเร็ว และผลการทดสอบที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

2. ทฤษฎี

2.1 การทดสอบประจำ (Routine Test)

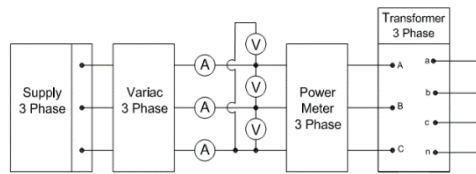
อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) ขณะทำการทดสอบตามมาตรฐาน [2] กำหนดให้ มีค่าระหว่าง 10-40 °C การทดสอบมีดังนี้

2.1.1 การวัดค่าความต้านทานของขดลวด (Measurement of winding resistance)

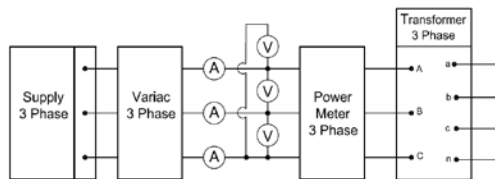
2.1.2 การวัดค่าอัตราส่วนแรงดันและตรวจสอบสัญลักษณ์เฟสหรือเวกเตอร์กรุป (Measurement of voltage ratio and check of phase displacement)

2.1.3 การวัดค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะจ่ายโหลดที่พิกัด (Measurement of short-circuit impedance and load loss) วงจรการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

2.1.4 การวัดค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด (Measurement of no-load loss) วงจรการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 วงจรการทดสอบค่าความสูญเสีย ขณะจ่ายโหลดที่พิกัดโดยวิธีลัดวงจร



รูปที่ 2 วงจรการทดสอบค่าความสูญเสีย ขณะไม่มีโหลด

2.1.5 การทดสอบประจำไดอิเล็กทริก (Dielectric routine test)

สามารถแยกหัวข้อการทดสอบได้ดังนี้

1. การวัดค่าความต้านทานฉนวน (Measurement of Insulation Resistance)
2. การทดสอบความคงทนแรงดันจากแหล่งจ่ายอื่น (Applied Voltage Test)
3. การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเหนี่ยวนำเกิน (Induced over-voltage withstand test)

2.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์

2.2.1 ความสูญเสียเนื่องจากขดลวดและเส้นแรงแม่เหล็กที่อุณหภูมิอ้างอิง 75 องศาเซลเซียส สามารถหาได้จากสมการที่ 1 [3]

$$\text{Load loss at } 75\text{ }^{\circ}\text{C} = (P_{cu} \times k) + \frac{P_{sc} - P_{cu}}{k} \quad (1)$$

- โดยที่ P_{cu} คือ ความสูญเสียเนื่องจากขดลวด (W)
 k คือ ค่าคงที่ของตัวนำ สำหรับทองแดง = 235 อะลูมิเนียม = 225
 T_2 คือ อุณหภูมิที่ต้องการคำนวณอ้างอิง ($^{\circ}\text{C}$)
 T_1 คือ อุณหภูมิแวดล้อมขณะทดสอบหม้อแปลง ($^{\circ}\text{C}$)
 P_{sc} คือ ค่าความสูญเสียที่วัดได้จากการทดสอบขณะจ่ายโหลด (W)

2.2.2 เปอร์เซนต์อิมพีแดนซ์ หาได้จากสมการที่ 2 [3]

$$\%Z = \sqrt{(\%R)^2 + (\%X)^2} \quad (2)$$

- โดยที่ $\%R$ คือ เปอร์เซนต์ความต้านทาน (%)
 $\%X$ คือ เปอร์เซนต์รีแอกแตนซ์ (%)

2.2.3 เปอร์เซนต์เรกูเลชัน หาได้จากสมการที่ 3 [3]

$$\% \text{Regulation} = (R \cos \theta + X \sin \theta) + \frac{(X \cos \theta + R \sin \theta)^2}{200} \quad (3)$$

2.2.4 เปอร์เซนต์กระแสขณะไม่มีโหลด หาได้จากสมการที่ 4 [3]

$$\% \text{No Load current} = \frac{I_{oc}}{I_s} \times 100 \quad (4)$$

- โดยที่ I_{oc} คือ กระแสทดสอบขณะไม่มีโหลด (A)
 I_s คือ กระแสพิกัดด้านทุติยภูมิ (A)

2.2.5 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงหาได้จากสมการที่ 5 [3]

$$\% \text{Efficiency} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \quad (5)$$

2.3 การทดสอบเฉพาะแบบ (Type Test)

การทดสอบเฉพาะแบบจะมีหัวข้อการทดสอบคือ ทดสอบแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า (BIL) และการทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม ในงานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะการทดสอบอุณหภูมิเพิ่มเท่านั้น รายละเอียดการทดสอบมีดังนี้

2.3.1 การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature Rise Test)

จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิเพิ่ม ของน้ำมันส่วนบนสุดในสถานะคงตัวและเพื่อหาอุณหภูมิเพิ่มเฉลี่ยของขดลวด การทดสอบวิธีที่นิยมมากที่สุดคือวิธีลัดวงจร การคำนวณหาค่าอุณหภูมิเพิ่ม ของน้ำมันด้านบนที่พิกัดโหลด (θ_{or}) สามารถหาได้ดังสมการที่ 6 [3]

$$\theta_{or} = \text{Top Oil Temp} - \theta_a \quad (6)$$

โดยที่ θ_{or} คือ อุณหภูมิเพิ่มเฉลี่ยของขดลวดที่มากกว่าอุณหภูมิแวดล้อมที่พิกัดโหลด ($^{\circ}\text{C}$)

Top Oil Temp คือ น้ำมันส่วนบนสุดที่อยู่ในสถานะคงตัว ($^{\circ}\text{C}$)

θ_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)

ความต้านที่เวลาตัดกระแสไฟฟ้า (R_{t2}) สามารถหาได้ดังสมการที่ 7 [3]

$$\theta_{w2} = \frac{R_{t2}}{R_{t1}} \times (k + \theta_{w1}) - k \quad (7)$$

โดยที่ θ_{w1} คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของขดลวดที่เวลาก่อนเริ่มทำการทดสอบ ($^{\circ}\text{C}$)

θ_{w2} คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของขดลวดที่เวลาตัดกระแสไฟฟ้า ($^{\circ}\text{C}$)

R_{t1} คือ ค่าความต้านทานของขดลวดที่ได้จากการวัดที่เวลาก่อนเริ่มทำการทดสอบ (Ω)

R_{t2} คือ ค่าความต้านทานของขดลวดที่เวลาตัดกระแสไฟฟ้า (Ω)

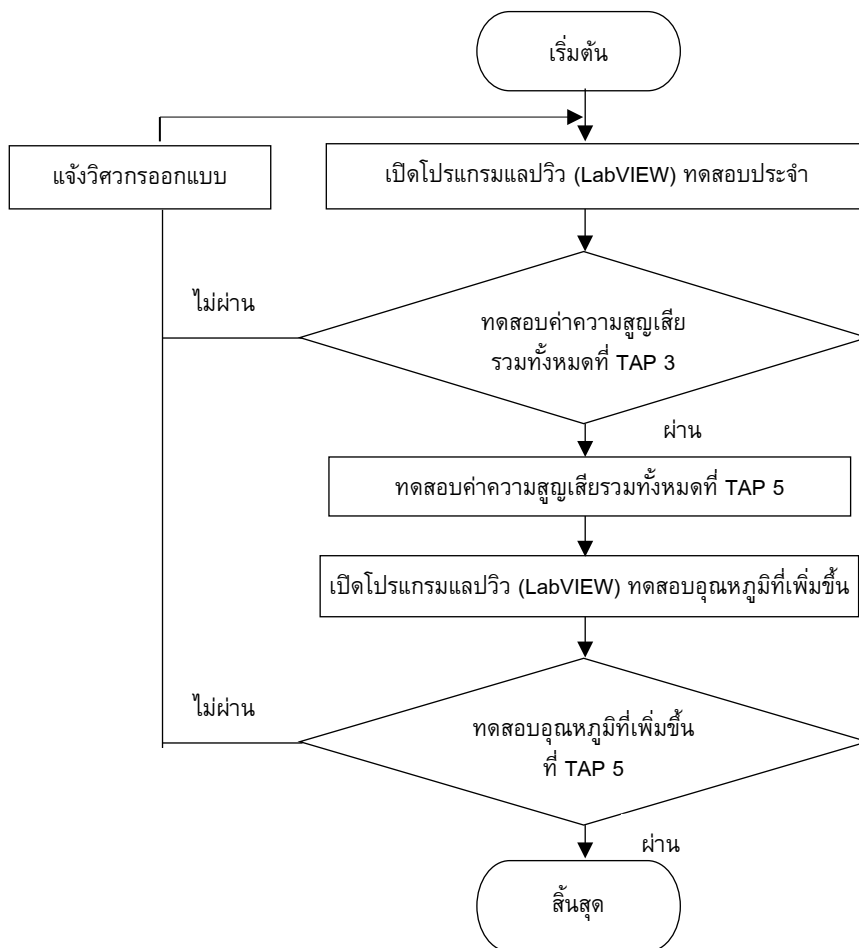
K คือ ค่าคงที่ สำหรับทองแดง = 235 อะลูมิเนียม = 225

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดที่มากกว่าอุณหภูมิแวดล้อมที่พิกัดโหลด ดังสมการที่ 8 [3]

$$\theta_{wr} = \theta_{w2} - \theta_a \quad (8)$$

โดยที่ θ_{wr} คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดที่มากกว่าอุณหภูมิแวดล้อมที่พิกัดโหลด ($^{\circ}\text{C}$)
 θ_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)

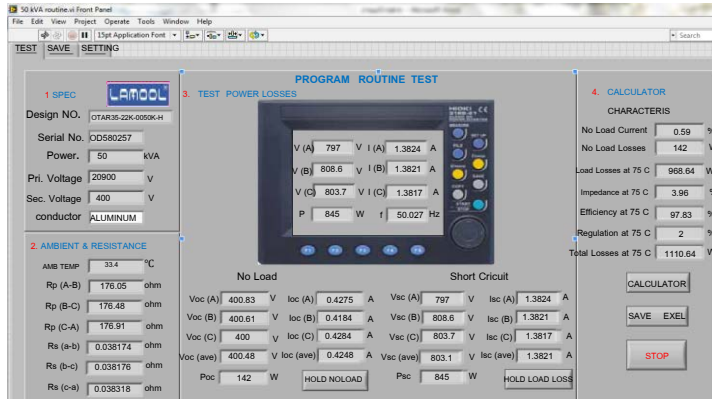
ขั้นตอนการทดสอบหม้อแปลงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบหม้อแปลง

2.3.2 การใช้โปรแกรมแลปวิวที่พัฒนาขึ้น

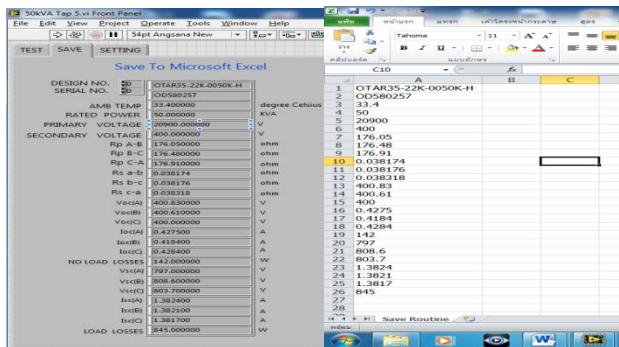
การใช้โปรแกรมการทดสอบประจำ สามารถทำได้โดยเปิดโปรแกรมแลปวิว[4] ทดสอบประจำ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ทดสอบประจำ

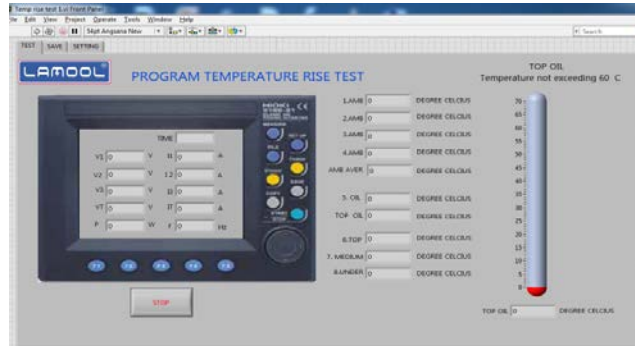
ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม

1. SPEC คือทำการป้อนข้อมูลรายละเอียดหม้อแปลง
2. AMBIENT & RESISTANCE คือทำการป้อนข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมและค่าความต้านทานของขดลวดที่วัดได้
3. TEST POWER LOSSES คือส่วนของการทดสอบความสูญเสียขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด
4. CALCULATOR คือส่วนของการคำนวณค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า
5. ทำการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ของไมโครซอฟต์เอกเซล



รูปที่ 5 การบันทึกข้อมูลลงในไมโครซอฟต์เอกเซล

การใช้โปรแกรมการทดสอบเฉพาะแบบ สามารถทำได้โดยเปิดโปรแกรมแลปวิวกการทดสอบ อุณหภูมิเพิ่ม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



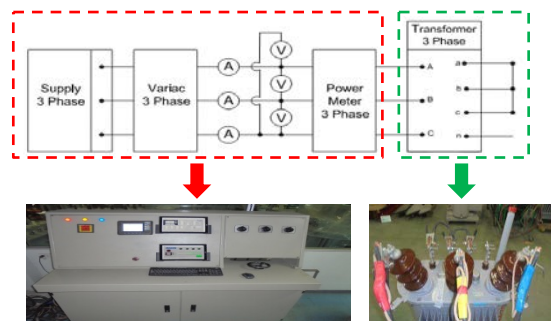
รูปที่ 6 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม การทดสอบอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีลัดวงจรที่ Tap 5 วงจรการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 โดยโปรแกรมจะบันทึกค่า กระแส แรงดัน ค่าความสูญเสียของหม้อแปลง และอุณหภูมิแวดล้อม 4 ตำแหน่ง อุณหภูมิน้ำมันด้านบน 1 ตำแหน่ง ครีบระบายความร้อน ด้านบน ตรงกลาง และด้านล่างอย่างละ 1 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 8 ตำแหน่ง

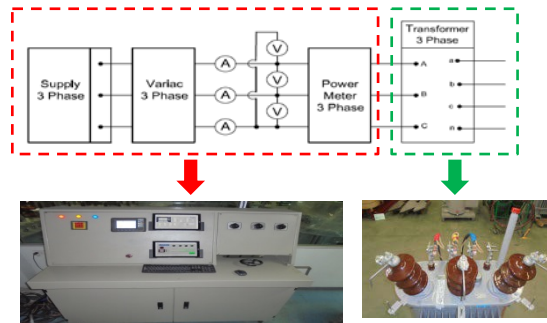
3. การทดสอบและผลการทดสอบ

3.1 การทดสอบแบบประจำ

ในงานวิจัยนี้ได้นำหม้อแปลงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคชนิด 3 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ 22000-400/230 โวลต์ เวกเตอร์กรุป Dyn 11 พิกัดกำลัง 50 เควีเอ 100 เควีเอ และ 160 เควีเอ มาทำการทดสอบ โดยต่อวงจรการทดสอบ ดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 [3] ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 7 วงจรการทดสอบค่าความสูญเสีย ขณะจ่ายโหลดที่พิกัดโดยวิธีลัดวงจร



รูปที่ 8 วงจรการทดสอบค่าความสูญเสีย ขณะไม่มีโหลด

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 50 kVA

Tap 3 (ทดสอบประจำ)	Tap 5 (ทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม)
No-Load Current = 0.59 %	No-Load Current = 0.59 %
No-Load Losses = 142 W	No-Load Losses = 142 W
Load Losses at 75 °C = 942.07 W	Load Losses at 75 °C = 968.64 W
Impedance Voltage at 75 °C = 3.98 %	Impedance Voltage at 75 °C = 3.96 %
Efficiency at 75 °C = 97.88 %	Efficiency at 75 °C = 97.83 %
Voltage Regulation at 75 °C = 1.95 %	Voltage Regulation at 75 °C = 2.00 %
Total Losses at 75 °C = 1084.09 W	Total Losses at 75 °C = 1110.64 W

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 100 kVA

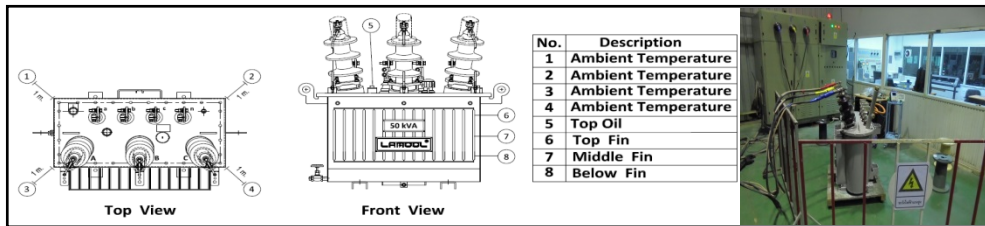
Tap 3 (ทดสอบประจำ)	Tap 5 (ทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม)
No-Load Current = 0.38 %	No-Load Current = 0.38 %
No-Load Losses = 223.4 W	No-Load Losses = 223.4 W
Load Losses at 75 °C = 1536.76 W	Load Losses at 75 °C = 1564.29 W
Impedance Voltage at 75 °C = 3.81 %	Impedance Voltage at 75 °C = 3.68 %
Efficiency at 75 °C = 98.27 %	Efficiency at 75 °C = 98.24 %
Voltage Regulation at 75 °C = 1.60 %	Voltage Regulation at 75 °C = 1.62 %
Total Losses at 75 °C = 1760.16 W	Total Losses at 75 °C = 1787.69 W

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า 160 kVA

Tap 3 (แท็ปใช้งาน)		Tap 5 (ทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม)	
No-Load Current	= 0.38 %	No-Load Current	= 0.38 %
No-Load Losses	= 312.7 W	No-Load Losses	= 312.7 W
Load Losses at 75 °C	= 2094.78 W	Load Losses at 75 °C	= 2214.69 W
Impedance Voltage at 75 °C	= 4.09 %	Impedance Voltage at 75 °C	= 4.39 %
Efficiency at 75 °C	= 98.52 %	Efficiency at 75 °C	= 98.44 %
Voltage Regulation at 75 °C	= 1.38 %	Voltage Regulation at 75 °C	= 1.47 %
Total Losses at 75 °C	= 2407.48 W	Total Losses at 75 °C	= 2527.39 W

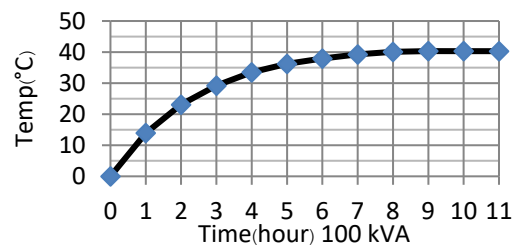
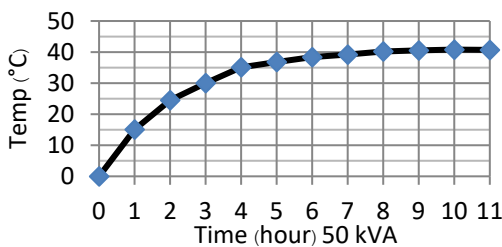
3.2 การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

1. ได้นำหม้อแปลงเครื่องเดียวกันกับที่ใช้ทำการทดสอบประจำมาทำการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยต่อวงจรการทดสอบ ดังรูปที่ 7 โดยจัดวางตัววัดอุณหภูมิกับตัวหม้อแปลง ดังรูปที่ 9 [3]

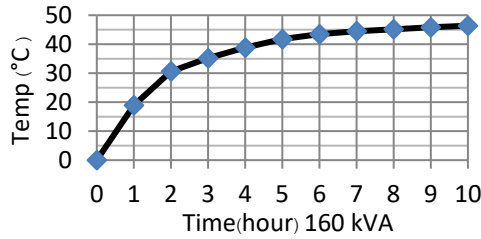


รูปที่ 9 การจัดวางตัววัดอุณหภูมิกับตัวหม้อแปลง

ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 10 และ รูปที่ 11

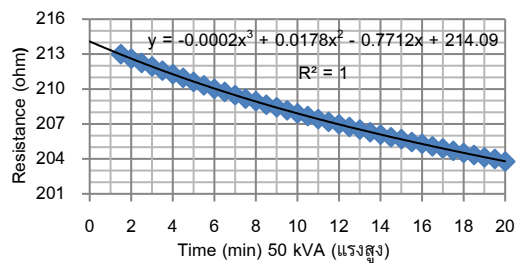
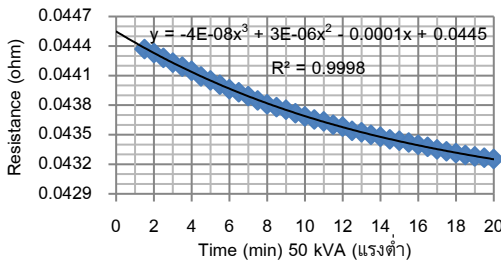


รูปที่ 10 ผลการทดสอบอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันด้านบนของหม้อแปลงขนาด 50 kVA และ 100 kVA

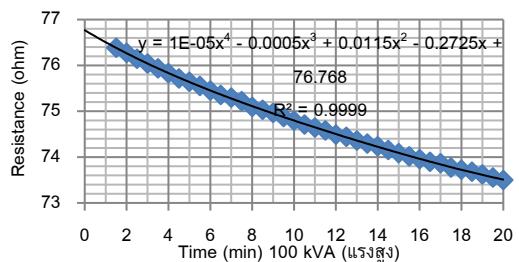
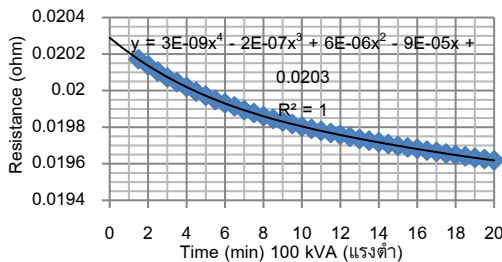


รูปที่ 11 ผลการทดสอบอุณหภูมิเพิ่มขึ้นของน้ำมันด้านบนของหม้อแปลงขนาด 160 kVA

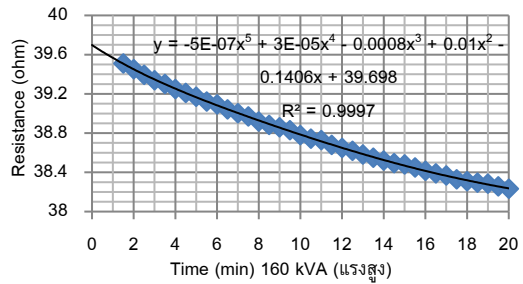
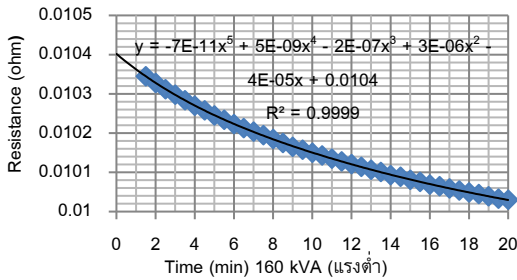
2. นำค่าความต้านทานของขดลวดที่วัดได้ ไปสร้างสมการทางคณิตศาสตร์โดยวิธีถดถอยเชิงตัวเลข (Numerical Regression procedure) เพื่อนำไปหาค่าความต้านทานหลังตัดกระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทานของขดลวดแสดงดังรูปที่ 12-14 [2, 3]



รูปที่ 12 ความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้หลังตัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดแรงต่ำ และ ขดลวดแรงสูง 50 kVA



รูปที่ 13 ความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้หลังตัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดแรงต่ำ และขดลวดแรงสูง 100 kVA



รูปที่ 14 ความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้หลังตัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดแรงต่ำ และขดลวดแรงสูง 160 kVA

ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ของน้ำมันด้านบนที่พิกัดโหลดของหม้อแปลงแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ที่พิกัดโหลด

	ค่ามาตรฐาน [2]	50 kVA	100 kVA	160 kVA
Top oil temp. rise (°C)	60	40.70	40.28	46.37
LV. winding temp. rise (°C)	65	46.76	45.71	54.28
HV. winding temp. rise (°C)	65	58.19	54.60	59.03

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากกราฟค่าความต้านทานขดลวดดังรูปที่ 12-14 นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ สมการการวัดค่าความต้านทานด้านแรงต่ำและด้านแรงสูงของหม้อแปลง 50 kVA แสดงได้ดังสมการที่ 9 และสมการที่ 10

$$y = -4E-08x^3 + 3E-06x^2 - 0.0001x + 0.0445 \tag{9}$$

$$y = -0.0002x^3 + 0.0178x^2 - 0.7712x + 214.09 \tag{10}$$

สมการการวัดค่าความต้านทานด้านแรงต่ำและด้านแรงสูงของหม้อแปลง 100 kVA แสดงได้ดังสมการที่ 11 และสมการที่ 12

$$y = 3E-09x^4 - 2E-07x^3 + 6E-06x^2 - 9E-05x + 0.0203 \tag{11}$$

$$y = 1E-05x^4 - 0.0005x^3 + 0.0115x^2 - 0.2725x + 76.768 \quad (12)$$

สมการการวัดค่าความต้านทานด้านแรงต่ำและด้านแรงสูงของหม้อแปลง 160 kVA แสดงได้ดังสมการที่ 13 และสมการที่ 14

$$y = -7E-11x^5 + 5E-09x^4 - 2E-07x^3 + 3E-06x^2 - 4E-05x + 0.0104 \quad (13)$$

$$y = -5E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0.0008x^3 + 0.01x^2 - 0.1406x + 39.698 \quad (14)$$

ผลทดสอบประจำ หม้อแปลงทั้ง 3 เครื่อง 50 kVA 100 kVA และ 160 kVA ผลทดสอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด [2, 3] โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่าหม้อแปลงขนาด

50kVA No-Load Losses \leq 160 W, Load Losses \leq 950 W, %Impedance = 4% \pm 10%

100kVA No-Load Losses \leq 250 W, Load Losses \leq 1550 W, %Impedance = 4% \pm 10%

160kVA No-Load Losses \leq 360 W, Load Losses \leq 2100 W, %Impedance = 4% \pm 10%

ผลทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น หม้อแปลงทั้ง 3 เครื่อง 50 kVA 100 kVA และ 160 kVA ผลทดสอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด [2, 3] โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ว่า Top oil temp. rise \leq 60 ($^{\circ}$ C) winding temp. rise \leq 65 ($^{\circ}$ C)

จากผลการทดสอบ พบว่า

1. อุณหภูมิเพิ่มเฉลี่ยของขดลวดมีค่ามากกว่าอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันด้านบน ดังนั้นจึงนำข้อมูลจำเพาะที่ได้ไปใช้ทำนายอุณหภูมิและใช้ในการพัฒนาการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

2. อุณหภูมิเพิ่มเฉลี่ย ของขดลวดด้านแรงดันสูงมีค่ามากกว่าอุณหภูมิเพิ่มเฉลี่ยของขดลวดด้านแรงดันต่ำ ดังนั้นจึงนำข้อมูลจำเพาะที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาการออกแบบหม้อแปลงโดยควรจะออกแบบให้มีร่องน้ำมันให้มีขนาดกว้างมากขึ้น เพื่อที่จะให้น้ำมันมีการหมุนเวียนที่บริเวณขดลวดได้มากขึ้น

3. อุณหภูมิของน้ำมันด้านบนมีอุณหภูมิสูงที่สุด และอุณหภูมิของแผ่นระบายด้านบนมีค่ามากกว่าระดับต่ำรองลงมา ดังนั้นการป้องกันหม้อแปลงอันมีสาเหตุมาจากความร้อน จึงติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ที่น้ำมันด้านบนสุดของหม้อแปลงเพราะเป็นจุดที่อุณหภูมิสูงที่สุด

5. สรุปผล

จากผลการวิจัย และพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้สำหรับช่วยในการทดสอบหม้อแปลงจำหน่าย จะเห็นว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้โดยง่าย มีความแม่นยำ ผลที่ได้เป็นที่น่าเชื่อถือ โดยผลการทดสอบที่ได้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน [2, 5-6] เป็นที่ยืนยันได้ว่าสามารถนำไปใช้ในการทดสอบหม้อแปลงจำหน่าย 3 เฟส ขนาดตั้งแต่ 50 kVA-2,500 kVA ได้จริง เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทดสอบหม้อแปลงได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการบันทึกผลและคำนวณผลการทดสอบ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท ละมุลหม้อแปลงไฟฟ้า จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำจัดทำงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- [1] Siriwich Tadsuan, Boonlert Suechoey, Vijit Kinnares, Sulee Bunjongjit and Nitad Kritsanajinda. (2000). "Testing of Temperature at Conductor and Oil of Mineral Oil-Immersed Transformer in order to be Criterion for Transformer Design". **KMUTT Research and Development Journal**. Vol.23 (2): 59-77. (In Thai)
- [2] Thailand Industrial Standards Institute. (2000). **Thai Industrial Standards TIS.384-2543 Power Tranformer**. 2nd Edition. Bangkok: Thailand Industrial Standards Institute. (In Thai)
- [3] Boonlert Suechoey. (2007). **The Design and Implementation of Distribution Transformer**. 1st Edition. Bangkok: Saroj Digital print & copy. (In Thai)
- [4] Kijpaiboon shevapuntusee. (2007). **Design Application Function Graphics with LabVIEW**. 1st Edition. Bangkok: SE-ED Ucation Public Company Limited. (In Thai)
- [5] IEC 60076-1. (2000). **Power Transformer Part 1: General**.
- [6] IEC 76-2. (1993). **Power Transformer Part 2: Temperature Rise**.

ประวัติผู้เขียนบทความ



บุญเลิศ สือเจย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์และผู้อำนวยการ
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนอง-
แขม กรุงเทพมหานคร 10160 เบอร์โทรศัพท์: 02-8074500 ต่อ 312 E-mail:
tdlert@hotmail.com



อาทิตย์ สิมศิริ ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ จบการศึกษามัธยมศึกษา
ตอนปลาย โรงเรียนสออดพิทยาคม วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัย
เอเชียอาคเนย์ ที่อยู่ (ตามทะเบียนบ้าน) 61 ม.18 ต.บ้านแปะ อ.จอมทอง
จ.เชียงใหม่ 50240 โทร 0838014257 E-mail: arethit@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ เครื่องจักรกลไฟฟ้า การประยุกต์โปรแกรมการใช้งานทาง
วิศวกรรม