

ตัวชี้วัดความเสี่ยงทางเลือกสำหรับการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
สำหรับการบำรุงรักษา

**RISK INDEX ALTERNATIVE FOR POWER TRANSFORMER CONDITION
EVALUATION FOR MAINTENANCE**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ (หลักสูตรสหวิทยาการ)
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2567
KMITL-2024-EN-M-027-214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**RISK INDEX ALTERNATIVE FOR POWER TRANSFORMER CONDITION
EVALUATION FOR MAINTENANCE**



KASIDIS MARINJHON

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING
(MULTI-DISCIPLINARY PROGRAM)
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024
KMITL-2024-EN-M-027-214**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวชี้วัดความเสี่ยงทางเลือกสำหรับการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสำหรับการบำรุงรักษา
นักศึกษ	นายกษิตศ มาอินจร
รหัสประจำตัว	63601073
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ (หลักสูตรสหวิทยาการ)
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ภพ จันท์เจริญสุข

บทคัดย่อ

การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง แต่ด้วยจำนวนที่มากและการทดสอบมีหลายองค์ประกอบเราจึงไม่สามารถที่จะทำการบำรุงรักษาได้ครอบคลุมทุกตัว จึงจำเป็นต้องประเมินสภาพของหม้อแปลงโดยภาพรวมก่อนการบำรุงรักษาเนื่องจากในปัจจุบันมีหลายดัชนีที่ใช้ประเมินสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์บางอย่างจึงอาจไม่จำเป็นหรือมีการประเมินที่ใช้ความรู้สึกไม่ได้มีค่าอ้างอิงที่ชัดเจน วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงเลือกพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการประเมินสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า และมีการให้เกณฑ์การประเมินอย่างชัดเจนรวมถึงนำค่าที่ได้มาสร้างตารางประเมินเพื่อเปรียบเทียบหม้อแปลงที่ได้นำมาทดสอบประกอบด้วย 10 เกณฑ์ได้แก่ 1.การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้น หรือ DGA ของตัวถังหม้อแปลง 2.ค่าตัวประกอบกำลัง 3.คุณภาพของน้ำมันหม้อแปลง 4.การย่อยสลายเซลล์ลูลิสหรืออายุการใช้งาน 5.อัตราส่วนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือ Turn ratio 6. Leakage reactance 7.ความต้านทานของขดลวด หรือ winding resistance 8.ความต้านทานระหว่างแกนเหล็กกับกราวด์ 9.การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้น หรือ DGA ของตัวปรับอัตราส่วนขดลวด 10. ประวัติการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือน ซึ่งจะช่วยประเมินประสิทธิภาพรวมของหม้อแปลงและสามารถบ่งชี้ได้ถึงพารามิเตอร์ว่าค่าอะไรควรได้รับการสำรวจอย่างใกล้ชิด หรือควรเปลี่ยน เพื่อป้องกันผลจากความล้มเหลวที่อาจจะเกิดขึ้นได้ รวมถึงนำผลที่ตามมาจากการเกิดความผิดปกติและบริเวณสภาพพื้นที่ที่ใช้งานมาพิจารณาร่วมด้วยซึ่งประกอบไปด้วย 4 เกณฑ์คือ 1. ความปลอดภัยของทรัพย์สินและบุคคล 2.ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า 3.ความสามารถในการแข่งขัน 4.ระดับมลภาวะ ดังนั้นดัชนีความเสี่ยงที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้จึงสามารถเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่ควรบำรุงรักษาหรือทำให้เห็นได้ว่าหม้อแปลงบางลูกที่ภาพรวมดี แต่ค่าบางพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์เสี่ยงก็จะได้ทำการเฝ้าระวังได้อย่างตรงจุด จากการนำผลการวิเคราะห์ไปทดสอบกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 5 ลูกขนาด 50 MVA พบว่าหม้อแปลงลูกที่ 1 กับลูกที่ 2 ผลการทดสอบออกมาอยู่ในสภาพที่ดีมาก แต่ยังมีพารามิเตอร์บางส่วนที่จะต้องเฝ้าระวังคือในส่วนของ การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้น หรือ DGA ของตัวถังหม้อแปลง และ การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้น หรือ DGA ของตัวปรับอัตราส่วนขดลวด ต่อมาหม้อแปลงลูกที่ 3 และลูกที่ 5 อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์ค่าเฉลี่ยหรือควรระวัง และได้มีการระบุค่าพารามิเตอร์ที่มีความอันตรายเอาไว้ที่ควรได้รับการบำรุงรักษาโดยด่วนอีกด้วย ส่วนลูกที่ 4 นั้น ผลการประเมินอยู่ในสภาพดีแต่ไม่มีพารามิเตอร์ใดที่เป็นอันตรายจนต้องทำการบำรุงรักษาโดยด่วน จากการได้นำผลการวิเคราะห์นี้ไปใช้ทดสอบแสดงให้เห็นว่าสามารถประเมินสภาพโดยรวมของหม้อแปลงได้แล้วสามารถระบุจุดที่น่าเป็นห่วงหรือควรให้ความสำคัญอีกทั้งส่วนเสริมยังมีส่วนช่วยในการเลือกหม้อแปลงที่จะให้ความสำคัญได้ก่อนอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	RISK INDEX ALTERNATIVE FOR POWER TRANSFORMER CONDITION EVALUATE FOR MAINTANANCE
Student	Mr. Kasidis Marinjhon
Student ID.	63601073
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical and Computer Engineering (Multi-Disciplinary Program)
Year	2024
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Phop Chancharoensook

ABSTRACT

Transformer maintenance is indispensable for power transformers. However, due to the large number and many components of the test, we are unable to cover all of them. Therefore, it is necessary to assess the overall condition of the transformer before maintenance. Because there are currently many indices used to evaluate the condition of power transformers [8], as a result, some analyzes may be unnecessary or subjective assessments may not have a clear reference value. This thesis therefore selects important parameters for evaluating the condition of power transformers. And there are clear evaluation criteria, including using the obtained values to create an evaluation table to compare the transformers that have been tested, consisting of 10 criteria, including 1. Dissolve gas analysis main tank 2. Power factor 3. Oil quality 4. Cellulose degradation or service life 5. Turn ratio 6. Leakage reactance 7. winding resistance 8. Core to Ground resistance 9. Dissolve gas analysis on load tap change 10. Load history. This helps assess the overall efficiency of the transformer and can indicate which parameters should be more closely investigated. or should change To prevent the consequences of failure that may occur. Including taking into account the consequences of errors and the conditions of the area being used, which consists of 4 criteria: 1. Safety of property and people. 2. Safety of electrical systems 3. Competitiveness 4. Pollution level. Therefore, the risk index used in this analysis can be used to select which transformers should be maintained first or to show that some transformers are overall good. But some parameters are in the risk range so that we can conduct accurate surveillance. From testing the analysis results with 5 power transformers, size 50 MVA, it was found that Transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No. 1 and Transformer No. 2, test results came out to be in very good condition. But there are still some parameters that need to be watched out for: Formed gas analysis or DGA of the transformer body and Formed gas analysis or DGA of the winding ratio adjuster. Later, the 3rd and 5th transformers are within the average level or should be careful. Dangerous parameters that should be maintained immediately have also been identified. As for the fourth child, the evaluation results were in good condition but did not have any dangerous parameters that required urgent maintenance. The results of this analysis have been used for testing. It has been shown that the overall condition of the transformer can be assessed and points of concern or areas that should be emphasized can be identified. Moreover, additional parts also help in selecting the transformer that will be Give importance first as well.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภพ จันท์เจริญสุข ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กษิติศ มาอินจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.6 บทบาททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า.....	5
2.1.1 ความหมายและประเภทและการการแปลงของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	5
2.1.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	5
2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	6
2.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า.....	10
2.2.1 การทดสอบ DGA.....	10
2.2.2 Oil Physical and Chemical Tests.....	15
2.2.4 การทดสอบทางไฟฟ้า.....	15
2.3 Risk index Method.....	18
2.4 สาเหตุความล้มเหลวและผลกระทบของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	19
2.4.1 Short circuit between turns/stands (SCBT/S) of windings.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Short circuited core lamination (SCL).....	19
2.4.3 Multiple Grounding (MG).....	20
2.4.4 Open Circuit and Contact Resistance (OC & CR).....	20
2.4.5 Winding bulk movement (WBM).....	21
2.4.6 Lead deformation (LD).....	21
2.4.7 Core deformation.....	22
2.4.8 Conductor bending (CB).....	22
2.4.9 Degradation and again of insulation.....	23
2.4.10 Bushing failure.....	25
บทที่ 3 การออกแบบการทดลองและการทดสอบ.....	26
3.1 วิธีการประเมินความเสี่ยง.....	26
3.1.1 GTC (General Technical Condition).....	28
3.1.2 GSI (Global Strategic Impact).....	34
3.2 เมทริกซ์ความเสี่ยง (Risk matrix).....	35
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล.....	36
4.1 ผลการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า.....	36
4.1.1 หม้อแปลงตัวที่ 1 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA.....	36
4.1.2 หม้อแปลงตัวที่ 2 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA.....	43
4.1.3 หม้อแปลงตัวที่ 3 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA.....	50
4.1.4 หม้อแปลงตัวที่ 4 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA.....	58
4.1.5 หม้อแปลงตัวที่ 5 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA.....	65
4.2 ผลการวิเคราะห์หม้อแปลงแต่ละลูก.....	73
4.3 การประเมิน Risk matrix.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ.....	80
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	175



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. 1 ขั้นตอนการศึกษา	2
ตารางที่ 1. 2 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)	2
ตารางที่ 1. 3 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)	2
ตารางที่ 1. 4 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)	3
ตารางที่ 2. 1 ขีดจำกัดของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง (ppm) ตามมาตรฐาน IEEE	11
ตารางที่ 2. 2 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากปริมาณก๊าซสำคัญในน้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEEE	12
ตารางที่ 2. 3 อัตราส่วนสำคัญของก๊าซแต่ละชนิด	12
ตารางที่ 2. 4 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี ROGER'S RATIO	13
ตารางที่ 2. 5 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี IEC	13
ตารางที่ 2. 6 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี DOERNENBURG'S RATIO	14
ตารางที่ 2. 7 ขีดจำกัดปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดตามวิธีของ DOERNENBURG RATIO	14
ตารางที่ 2. 8 ค่า PI ในการพิจารณาสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า	16
ตารางที่ 3. 1 GTC เงื่อนไขทั่วไปในทางเทคนิค	[4] 26
ตารางที่ 3. 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ GTC	27
ตารางที่ 3. 3 ผลกระทบทั่วไปทางสภาพแวดล้อม (GSI).....	27
ตารางที่ 3. 4 การให้คะแนนหม้อแปลงตามค่า DGAF [3].....	29
ตารางที่ 3. 5 เกณฑ์การให้คะแนนและน้ำหนักสำหรับก๊าซ [3]	29
ตารางที่ 3. 6 การประเมินค่าพารามิเตอร์น้ำมันฉนวนตาม IEEE C57.106-2006 [4].....	30
ตารางที่ 3. 7 คะแนนการทดสอบคุณภาพน้ำมัน [4].	31
ตารางที่ 3. 8 คะแนนการวิเคราะห์สารประกอบฟลูออริก [3].....	31
ตารางที่ 3. 9 การจัดอันดับของ LTC ตาม DGA [3].....	32
ตารางที่ 3. 10 การจัดอันดับการทดสอบ TURN RATIO, LEAKAGE REACTANCE, CORE TO GROUND RESISTANCE และ WINDING RESISTANCE [4]	33
ตารางที่ 3. 11 การให้คะแนนตัวประกอบกำลัง [5]	33
ตารางที่ 3. 12 การให้คะแนนค่า LOAD HISTORY [24]	34
ตารางที่ 3. 13 การให้คะแนน GSI.....	35
ตารางที่ 4. 1 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	36
ตารางที่ 4. 2 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	37
ตารางที่ 4. 3 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	38
ตารางที่ 4. 4 ค่า POWERFACTOR ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 5 ค่า TURN RATIO ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	39
ตารางที่ 4. 6 ค่า LEAKAGE REACTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	39
ตารางที่ 4. 7 ค่า CORE TO GROUND RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	40
ตารางที่ 4. 8 ค่า WINDING RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	40
ตารางที่ 4. 9 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1	41
ตารางที่ 4. 10 ค่า LOAD HISTORY ของหม้อแปลงตัวที่ 1	42
ตารางที่ 4. 11 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	43
ตารางที่ 4. 12 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	44
ตารางที่ 4. 13 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	45
ตารางที่ 4. 14 ค่า POWER FACTOR ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	46
ตารางที่ 4. 15 ค่า TURN RATIO ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	46
ตารางที่ 4. 16 ค่า LEAKAGE REACTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	47
ตารางที่ 4. 17 ค่า CORE TO GROUND RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	47
ตารางที่ 4. 18 ค่า WINDING RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	48
ตารางที่ 4. 19 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2	48
ตารางที่ 4. 20 ค่า LOAD HISTORY ของหม้อแปลงตัวที่ 2	49
ตารางที่ 4. 21 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	50
ตารางที่ 4. 22 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	51
ตารางที่ 4. 23 ค่า FURANIC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	52
ตารางที่ 4. 24 ค่า POWER FACTOR ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	53
ตารางที่ 4. 25 ค่า TURN RATIO ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	53
ตารางที่ 4. 26 ค่า LEAKAGE REACTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	54
ตารางที่ 4. 27 ค่า CORE TO GROUND RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	54
ตารางที่ 4. 28 ค่า WINDING RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	55
ตารางที่ 4. 29 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3	55
ตารางที่ 4. 30 ค่า LOAD HISTORY ของหม้อแปลงตัวที่ 3	56
ตารางที่ 4. 31 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	58
ตารางที่ 4. 32 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	59
ตารางที่ 4. 33 ค่า FURANIC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	60
ตารางที่ 4. 34 ค่า POWER FACTOR ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	60
ตารางที่ 4. 35 ค่า TURN RATIO ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	61
ตารางที่ 4. 36 ค่า LEAKAGE REACTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	61
ตารางที่ 4. 37 ค่า CORE TO GROUND RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	62
ตารางที่ 4. 38 ค่า WINDING RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 39 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4.....	63
ตารางที่ 4. 40 ค่า LOAD HISTORY ของหม้อแปลงตัวที่ 4.....	64
ตารางที่ 4. 41 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	65
ตารางที่ 4. 42 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	66
ตารางที่ 4. 43 ค่า FURRANIC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	67
ตารางที่ 4. 44 ค่า POWER FACTOR ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	67
ตารางที่ 4. 45 ค่า TURN RATIO ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	68
ตารางที่ 4. 46 ค่า LEAKAGE REACTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	69
ตารางที่ 4. 47 ค่า CORE TO GROUND RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	69
ตารางที่ 4. 48 ค่า WINDING RESISTANCE ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	70
ตารางที่ 4. 49 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5.....	70
ตารางที่ 4. 50 ค่า LOAD HISTORY ของหม้อแปลงตัวที่ 5.....	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2. 1 ถึงและตัวครีป [7].....	7
รูปที่ 2. 2 ตัวอย่างลูกถ้วยแรงสูงและลูกถ้วยแรงต่ำ	7
รูปที่ 2. 3 ตัวอย่างแทปปรับแรงดัน [8].....	7
รูปที่ 2. 4 ตัวอย่างอุปกรณ์ระบายความดันหรือท่อกันระเบิด [9].....	8
รูปที่ 2. 5 ตัวอย่างล่อฟ้าหรืออาร์คซึ่งฮอร์น [10].....	8
รูปที่ 2. 6 ชุดกรองความชื้นหม้อแปลงไฟฟ้า [11]	8
รูปที่ 2. 7 ตัวอย่างถังพักน้ำมัน [12].....	9
รูปที่ 2. 8 ตัวอย่างบุคคลโฮลซีรี่ส์ [13]	9
รูปที่ 2. 9 ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลง [10]	9
รูปที่ 2. 10 การระบุลักษณะความผิดปกติด้วยสามเหลี่ยมของ DUVAL	14
รูปที่ 2. 11 วงจรวัดค่าความต้านทานฉนวน	16
รูปที่ 2. 12 ส่วนประกอบเวกเตอร์ของแรงดันและกระแสทดสอบตัวประกอบกำลัง	17
รูปที่ 2. 13 แผนผังหลักของแบบจำลองดัชนีสุขภาพ	18
รูปที่ 2. 14 สาเหตุและผลกระทบของการลัดวงจรระหว่าง TURNS/STANDS [17].....	19
รูปที่ 2. 15 สาเหตุและผลกระทบของการลัดวงจรระหว่างการเคลือบแกนเหล็ก [17].....	20
รูปที่ 2. 16 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด MULTIPLE GROUNDING (MG) [17].....	20
รูปที่ 2. 17 สาเหตุและผลกระทบของความล้มเหลวที่เกี่ยวข้องกับความร้อน [17]	21
รูปที่ 2. 18 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด WINDING BULK MOVEMENT [17].....	21
รูปที่ 2. 19 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด LEAD DEFORMATION [17].....	22
รูปที่ 2. 20 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด CORE DEFORMATION [17].....	22
รูปที่ 2. 21 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด CONDUCTOR BENDING (CB) [17].....	23
รูปที่ 2. 22 สาเหตุและผลกระทบของการเสื่อมสภาพฉนวนน้ำมันจากน้ำ [17]	23
รูปที่ 2. 23 สาเหตุและผลกระทบของการการเสื่อมสภาพฉนวนกระดาษจากน้ำ [17]	24
รูปที่ 2. 24 สาเหตุและผลกระทบของการเสื่อมสภาพฉนวนน้ำมันและกระดาษจากอุณหภูมิ [17]	24
รูปที่ 2. 25 สาเหตุและผลกระทบของการเสื่อมสภาพฉนวนน้ำมันและกระดาษจากอายุ [17] ...	25
รูปที่ 2. 26 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด BUSHING FAILURE [17]	25
รูปที่ 3. 1 risk matrix.....	35
รูปที่ 4. 2 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 1.....	36
รูปที่ 4. 3 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 1...	36
รูปที่ 4. 4 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าค่า OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 1.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4. 5 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 1.....	37
รูปที่ 4. 6 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ FURAN หม้อแปลงตัวที่ 1.	38
รูปที่ 4. 7 รูปจากโปรแกรมคำนวณ RATING ของการทดสอบ POWER FACTOR หม้อแปลงตัวที่ 1	38
รูปที่ 4. 8 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ TURN RATIO หม้อแปลงตัวที่ 1.....	39
รูปที่ 4. 9 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LEAKAGE REACTANCE	39
รูปที่ 4. 10 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ CORE TO GROUND RESISTANCE.....	40
รูปที่ 4. 11 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ WINDING RESISTANCE ..	40
รูปที่ 4. 12 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC	41
รูปที่ 4. 13 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA LTC	41
รูปที่ 4. 14 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของค่า LOAD HISTORY	42
รูปที่ 4. 15 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LF	42
รูปที่ 4. 16 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา RATING ของ GSI	42
รูปที่ 4. 17 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC.....	43
รูปที่ 4. 18 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI.....	43
รูปที่ 4. 19 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 2.....	43
รูปที่ 4. 20 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 2.....	44
รูปที่ 4. 21 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 2	44
รูปที่ 4. 22 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 2	45
รูปที่ 4. 23 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ FURAN หม้อแปลงตัวที่ 2....	45
รูปที่ 4. 24 รูปจากตารางคำนวณ RATING ของการทดสอบ POWER FACTOR หม้อแปลงตัวที่ 2	46
รูปที่ 4. 25 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ TURN RATIO หม้อแปลงตัวที่ 2	46
รูปที่ 4. 26 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LEAKAGE REACTANCE หม้อแปลงตัวที่ 2	47
รูปที่ 4. 27 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ CORE TO GROUND RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 2	47
รูปที่ 4. 28 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ WINDING RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 2	48
รูปที่ 4. 29 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 2.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4. 30 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 2	49
รูปที่ 4. 31 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของค่า LOAD HISTORY หม้อแปลงตัวที่ 2	49
รูปที่ 4. 32 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 2	49
รูปที่ 4. 33 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 2	50
รูปที่ 4. 34 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 2	50
รูปที่ 4. 35 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 2	50
รูปที่ 4. 36 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 3	51
รูปที่ 4. 37 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 3	51
รูปที่ 4. 38 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 3	52
รูปที่ 4. 39 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 3	52
รูปที่ 4. 40 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ FURAN หม้อแปลงตัวที่ 3	53
รูปที่ 4. 41 รูปจากตารางคำนวณ RATING ของการทดสอบ POWER FACTOR หม้อแปลงตัวที่ 3	53
รูปที่ 4. 42 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ TURN RATIO หม้อแปลงตัวที่ 3	54
รูปที่ 4. 43 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LEAKAGE REACTANCE หม้อแปลงตัวที่ 3	54
รูปที่ 4. 44 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ CORE TO GROUND RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 3	55
รูปที่ 4. 45 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ WINDING RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 3	55
รูปที่ 4. 46 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 3	56
รูปที่ 4. 47 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 3	56
รูปที่ 4. 48 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของค่า LOAD HISTORY หม้อแปลงตัวที่ 3	57
รูปที่ 4. 49 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 3	57
รูปที่ 4. 50 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 3	57
รูปที่ 4. 51 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 3	57
รูปที่ 4. 52 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 3	58
รูปที่ 4. 53 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 4	58
รูปที่ 4. 54 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 4	58
รูปที่ 4. 55 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 4	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4. 56 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 4	59
รูปที่ 4. 57 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ FURAN หม้อแปลงตัวที่ 4....	60
รูปที่ 4. 58 รูปจากตารางคำนวณ RATING ของการทดสอบ POWER FACTOR หม้อแปลงตัวที่ 4 60	
รูปที่ 4. 59 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ TURN RATIO หม้อแปลงตัวที่ 4	61
รูปที่ 4. 60 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LEAKAGE REACTANCE หม้อแปลงตัวที่ 4	61
รูปที่ 4. 61 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ CORE TO GROUND RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 4	62
รูปที่ 4. 62 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ WINDING RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 4	62
รูปที่ 4. 63 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 4.....	63
รูปที่ 4. 64 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 4	63
รูปที่ 4. 65 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของค่า LOAD HISTORY หม้อแปลงตัวที่ 4.....	64
รูปที่ 4. 66 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 4	64
รูปที่ 4. 67 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 4	64
รูปที่ 4. 68 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 4.....	64
รูปที่ 4. 69 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 4	65
รูปที่ 4. 70 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 5.....	65
รูปที่ 4. 71 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 5.....	65
รูปที่ 4. 72 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 5	66
รูปที่ 4. 73 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ OIL QUALITY หม้อแปลงตัวที่ 5	66
รูปที่ 4. 74 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ FURAN หม้อแปลงตัวที่ 5....	67
รูปที่ 4. 75 รูปจากตารางคำนวณ RATING ของการทดสอบ POWER FACTOR หม้อแปลงตัวที่ 5 68	
รูปที่ 4. 76 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ TURN RATIO หม้อแปลงตัวที่ 5	68
รูปที่ 4. 77 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LEAKAGE REACTANCE หม้อแปลงตัวที่ 5	69
รูปที่ 4. 78 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ CORE TO GROUND RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 5	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4. 79 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ WINDING RESISTANCE หม้อแปลงตัวที่ 5.....	70
รูปที่ 4. 80 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 5.....	71
รูปที่ 4. 81 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 5	71
รูปที่ 4. 82 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของค่า LOAD HISTORY หม้อแปลงตัวที่ 5.....	72
รูปที่ 4. 83 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 5	72
รูปที่ 4. 84 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา RATING ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 5	72
รูปที่ 4. 85 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 5.....	72
รูปที่ 4. 86 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 5.....	72
รูปที่ 4. 87 ผลการวิเคราะห์ DGA MAIN TANK ของหม้อแปลงลูกที่ 1	73
รูปที่ 4. 88 ผลการวิเคราะห์ DGA MAIN TANK ของหม้อแปลงลูกที่ 2	73
รูปที่ 4. 89 ผลการวิเคราะห์ DGA MAIN TANK ของหม้อแปลงลูกที่ 3	73
รูปที่ 4. 90 ผลการวิเคราะห์ DGA MAIN TANK ของหม้อแปลงลูกที่ 4	73
รูปที่ 4. 91 ผลการวิเคราะห์ DGA MAIN TANK ของหม้อแปลงลูกที่ 5	73
รูปที่ 4. 92 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 1	74
รูปที่ 4. 93 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 2	74
รูปที่ 4. 94 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 3	74
รูปที่ 4. 95 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 4	74
รูปที่ 4. 96 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 5	74
รูปที่ 4. 97 ผลการวิเคราะห์ ELECTRICAL PARAMETER ของหม้อแปลงลูกที่ 1.....	74
รูปที่ 4. 98 ผลการวิเคราะห์ ELECTRICAL PARAMETER ของหม้อแปลงลูกที่ 2.....	75
รูปที่ 4. 99 ผลการวิเคราะห์ ELECTRICAL PARAMETER ของหม้อแปลงลูกที่ 3.....	75
รูปที่ 4. 100 ผลการวิเคราะห์ ELECTRICAL PARAMETER ของหม้อแปลงลูกที่ 4.....	75
รูปที่ 4. 101 ผลการวิเคราะห์ ELECTRICAL PARAMETER ของหม้อแปลงลูกที่ 5.....	75
รูปที่ 4. 102 ผลการวิเคราะห์ OIL QUALITY ของหม้อแปลงลูกที่ 1	75
รูปที่ 4. 103 ผลการวิเคราะห์ OIL QUALITY ของหม้อแปลงลูกที่ 2	75
รูปที่ 4. 104 ผลการวิเคราะห์ OIL QUALITY ของหม้อแปลงลูกที่ 3	76
รูปที่ 4. 105 ผลการวิเคราะห์ OIL QUALITY ของหม้อแปลงลูกที่ 4	76
รูปที่ 4. 106 ผลการวิเคราะห์ OIL QUALITY ของหม้อแปลงลูกที่ 5	76
รูปที่ 4. 107 ผลการวิเคราะห์ FURANIC OR AGE ของหม้อแปลงลูกที่ 1.....	76
รูปที่ 4. 108 ผลการวิเคราะห์ FURANIC OR AGE ของหม้อแปลงลูกที่ 2.....	76
รูปที่ 4. 109 ผลการวิเคราะห์ FURANIC OR AGE ของหม้อแปลงลูกที่ 3.....	77
รูปที่ 4. 110 ผลการวิเคราะห์ FURANIC OR AGE ของหม้อแปลงลูกที่ 4.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4. 111 ผลการวิเคราะห์ FURANIC OR AGE ของหม้อแปลงลูกที่ 5.....	77
รูปที่ 4. 112 ผลการวิเคราะห์ LOAD HISTORY ของหม้อแปลงลูกที่ 1.....	77
รูปที่ 4. 113 ผลการวิเคราะห์ LOAD HISTORY ของหม้อแปลงลูกที่ 2.....	78
รูปที่ 4. 114 ผลการวิเคราะห์ LOAD HISTORY ของหม้อแปลงลูกที่ 3.....	78
รูปที่ 4. 115 ผลการวิเคราะห์ LOAD HISTORY ของหม้อแปลงลูกที่ 4.....	78
รูปที่ 4. 116 ผลการวิเคราะห์ LOAD HISTORY ของหม้อแปลงลูกที่ 5.....	78
รูปที่ 4. 117 รูป RISK MATRIX ที่ได้จากการพล็อตหม้อแปลงทั้ง 5 ตัวลงในกราฟ	79



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้ามาก ซึ่งอาจบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าด้วย มีอายุการใช้งานแตกต่างกันไปตามการใช้งาน ขณะใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพจากอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นฉนวน กระดาษ ฉนวนน้ำมัน หรือความชื้นที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายหรือการระเบิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้หม้อแปลงในบริเวณที่อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ หรือเมื่อได้รับความเสียหายจะทำให้เกิดความเสียหายมาก ดังนั้นการประเมินสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าตลอดจนความเสี่ยงจึงเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ดัชนีความเสี่ยงเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการทดสอบสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า รวมทั้งสามารถความเสี่ยงของหม้อแปลงที่กำลังทดสอบอยู่แล้วควรให้ความสำคัญกับการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าตัวไหนก่อน ดัชนีความเสี่ยงแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนประกอบหลักคือ 1. GTC (เงื่อนไขทางเทคนิคทั่วไป) คือตัวเลขที่บ่งชี้ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างการทดสอบ 2. GSI (เงื่อนไขทางสภาพแวดล้อม) เป็นตัวเลขที่บ่งชี้ผลกระทบจากความล้มเหลวของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้ทดสอบ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อสร้างหรือออกแบบระบบที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขใหม่ที่มีการพิจารณาขึ้นมาให้สะดวกรวดเร็วมีความแม่นยำรวมถึงประหยัดค่าใช้จ่าย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบระบบประเมินสภาพหม้อแปลงโดยมีขอบเขตดังนี้

- 1) ประเมินสภาพหม้อแปลงด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่มีการคิดขึ้นมาใหม่โดยใช้การพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 10 ตัวแปรที่ได้มีการพิจารณาขึ้นมาซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบทางเคมี เช่น การทดสอบ DGA ของน้ำมันหม้อแปลง รวมถึงของตัว LTC และการทดสอบทางไฟฟ้าเช่นการทดสอบ Turn ratio Leakage reactance Winding resistance Core-to-ground Power Factor และ Load history
- 2) ประเมินความเสียหายรวมถึงความสำคัญทางสภาพแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น ความปลอดภัยของทรัพย์สินและบุคคล ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า สภาพมลภาวะ และความสามารถในการแข่งขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) วิเคราะห์สภาพหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยใช้ผลวิเคราะห์หม้อแปลงเอกชนจำนวน 5 ตัว มาวิเคราะห์และแสดงผลผ่านตารางคำนวณ แสดงสภาพ ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงประมาณอายุใช้งานคลงเหลือของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ประกอบกับ นำเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมเช่น มูลค่าทรัพย์สิน ความน่าเชื่อถือของระบบ สภาพภูมิอากาศ เข้ามาประเมินร่วมด้วย

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

วิธีการดังกล่าวที่มีการพิจารณาใช้ในการทดสอบนั้นเป็นปัจจัยที่มีความน่าเชื่อถือและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายแต่จะมีบางปัจจัยที่ทางบทความนี้ได้นำออกจากการพิจารณาซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้การวิเคราะห์นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ซึ่งตัวแปรใหม่ที่ได้นำมาพิจารณานั้นคาดว่าสามารถลดในส่วนของความคลาดเคลื่อนส่วนนี้ได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในเรื่องความรวดเร็วรวมถึงความน่าเชื่อถือได้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ตารางที่ 1. 1 ขั้นตอนการศึกษา

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563					ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	●	●	●	●	●	●	●			
2. ศึกษาข้อมูลการทดสอบปัจจัยสำคัญที่เลือกมา								●	●	●

ตารางที่ 1. 2 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564					ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
2. ศึกษาเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแต่ละตัวแปร	●	●	●	●						
3. ศึกษาข้อมูลการทดสอบตัวแปรสำคัญที่เลือกมา					●	●	●			
4. ออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ								●	●	●

ตารางที่ 1. 3 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565					ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
5. นำไปทดสอบจริง	●	●								
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง			●	●						
7. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์				●	●					

ตารางที่ 1. 4 ขั้นตอนการศึกษา (ต่อ)

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566					ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
5. นำไปทดสอบจริง	●	●	●	●	●					
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง						●				
7. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์							●	●	●	●

1.6 บทบาททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ. 2526 CIGRE Working Group 12.05 ได้นำเสนอ An international survey on failures in large power transformers in service เป็นการประเมินสาเหตุของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังกว่า 1,000 ลูก ในปี พ.ศ. 2511-2562 [1] โดยผลการสำรวจพบว่าสาเหตุของการผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนั้นส่วนใหญ่เกิดจากตัว LTC ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบโดยรวมอื่นๆ อีก 60 เปอร์เซ็นต์ [1]

ในปี พ.ศ. 2547 CIGRE Working Group A2.20 ได้นำเสนอ Guide on economics of transformer management ได้กล่าวถึงการจัดการความเสี่ยงการบำรุงรักษาของหม้อแปลงไฟฟ้า ได้กล่าวถึงวิธีการประเมินความเสี่ยงของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้หลักเกณฑ์ GTC (General Technical Condition) และ GSI (Global Strategic Impact) มาจัดลำดับคุณภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า [2]

ในปี พ.ศ. 2551 A. Naderian ได้นำเสนองานวิจัยเรื่อง An Approach to Determine the Health Index of Power โดยได้ทำการประเมินหม้อแปลงโดยใช้ตัวแปรในการประเมิน 20 ตัวมาใช้ในการประเมิน โดยใช้ข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ของสหรัฐอเมริกา ผลที่ได้พบว่า 86% ของหม้อแปลงมี HI มากกว่า 70% (อยู่ในเกณฑ์ดีและดีมาก) โดยผลของการ

จำแนกนี้ได้ถูกใช้ในการแบ่งคุณภาพของหม้อแปลงเพื่อที่จะได้นำมาทำการพิจารณาบำรุงรักษาต่อไป [3]

ในปี พ.ศ. 2552 Ali Naderian Jahromi (M'06) ได้นำเสนอบทความ An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index ได้อธิบายหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังถูกกำหนดอายุการใช้งานไว้ที่ 25 ปีถึง 40 ปี บางตัวอายุใช้งานตอนนี้ 60 ปี พบว่าอัตราการล้มเหลวยังต่ำอยู่จึงเห็นความสำคัญของการประเมินคุณภาพโดยใช้ Health Index มาวิเคราะห์ในบทความนี้ได้มีการวิเคราะห์เพิ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการประเมินถึง 24 พารามิเตอร์ อ้างอิงมาตรฐานการประเมินตาม IEC, IEEE และ CIGRE รวมถึงได้มีการวิเคราะห์แนวทางประเมินแผนการทดแทนหม้อแปลง ที่นำอายุการใช้งานคงเหลือและทรัพย์สินที่ต้องใช้มาประเมิน [4]

ในปี พ.ศ. 2553 Bogdan GORGAN ได้นำเสนอบทความ Calculation of power transformers health indexes ได้นำเสนอบทความการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทำการทดสอบแล้วว่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ประกอบไปด้วย ค่า loss factor ที่ความถี่ต่ำ, conductivity factor และ polarization index ทั้ง 3 พารามิเตอร์นี้ส่งผลต่อสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจึงได้ทำการเพิ่มพารามิเตอร์ในการคำนวณลงไปอีก 3 พารามิเตอร์ ทำให้ในบทความนี้ได้นำเสนอพารามิเตอร์ 27 พารามิเตอร์ในการคำนวณสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า [5]

ในปี พ.ศ. 2559 W. Wattakapaiboon ได้นำเสนอบทความ The New Developed Health Index for Transformer Condition Assessment ในบทความนี้ผู้เขียนได้สังเกตเห็นว่าค่าบางพารามิเตอร์ในการคำนวณสภาพหม้อแปลงที่ผ่านมา มีมากจนเกินไปซึ่งอาจไม่สามารถใช้ได้จริงหรือให้ค่าที่ชัดเจนได้ในหลายกรณี อีกทั้งค่าบางพารามิเตอร์ก็ไม่ได้มีการกำหนดค่าอย่างชัดเจนในขณะนี้จึงได้ตัดค่าพารามิเตอร์บางตัวออกไป เหลือเพียง 15 พารามิเตอร์ และได้นำมาทดสอบความคลาดเคลื่อนกับวิธีที่ใช้ 24 พารามิเตอร์ จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทั้ง 13 ตัว นั้นมีค่าเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ จึงเห็นว่าวิธีการในบทความนี้สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานและปรับให้เข้ากับการปฏิบัติงานได้ดี [6]

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้อธิบายถึงความรู้เบื้องต้น ความสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้า สาเหตุของความล้มเหลว รวมถึงวิธีการประเมินและวิธีการการทดสอบพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เช่น ระบบฉนวนภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ ฉนวนเหลว และ ฉนวนแข็ง รวมถึงการทดสอบทางไฟฟ้า

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า

2.1.1 ความหมายและประเภทและการการแปลงของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในการเปลี่ยนพิกัดแรงดันไฟฟ้าจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง หม้อแปลงมีส่วนประกอบที่สำคัญคือขดลวดที่พันอยู่รอบแกนเหล็กทั้งหมด 2 ชุด ถ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ขดลวดชุดหนึ่ง (Primary winding) ด้วยความถี่ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าค่าหนึ่ง จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าออกไปจากขดลวดอีกชุดหนึ่ง (Secondary winding) ที่มีความถี่เท่าเดิม ซึ่งแรงดันที่ออกมาที่นั่นแบ่งการแปลงออกเป็น 3 ประเภท 1 แรงดันไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าขาออก เรียกว่า หม้อแปลงไฟฟ้า อัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง (One-to-one Transformer) จะใช้ในกรณีที่ต้องการแยกสายดินของทั้งสองระบบออกจากกัน หรืออาจเรียกว่า Isolating Transformer ประเภทที่ 2 แรงดันไฟฟ้าขาเข้าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขาออก เรียกว่า หม้อแปลงขึ้น (Step-up Transformer) ใช้กับระบบที่ต้องการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเช่นการเพิ่มแรงดันจากลานโกไฟฟ้าขึ้นไปยังระบบส่งจ่าย ประเภทที่ 3 แรงดันไฟฟ้าขาเข้ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าขาออก เรียกว่า หม้อแปลงลง (Step-down Transformer) ใช้กับระบบที่ต้องการลดแรงดันไฟฟ้าลงเช่น แปลงจากระบบส่งจ่ายลงมายังระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.1.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.1.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer)

เป็นหม้อแปลงที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีขนาดตั้งแต่ 1 MVA ขึ้นไปจนถึงหลายร้อย MVA

2.1.2.2 หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer)

เป็นหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง

2.1.2.3 หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)

มีหน้าที่สำหรับวัดกระแส (CT) และวัดแรงดัน (VT) ในระบบไฟฟ้า รวมถึงใช้ในการป้องกันและควบคุมระบบไฟฟ้าโดยทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าปริมาณสูง หรือ แรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง ให้ลดลงเพื่อความสะดวกและปลอดภัยในการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงสำหรับ

เครื่องวัดไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ หม้อแปลงกระแส (CTs) และหม้อแปลงแรงดัน (VTs) หรือเรียกอีกชื่อว่า Potential Transformer (PTs)

2.1.2.4 หม้อแปลงสำหรับความถี่สูง (High frequency Transformer)

คือหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความถี่ในการทำงานเกินกว่าความถี่กลาง (10 kHz) ส่วนใหญ่จะใช้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าสลับความถี่สูงในแหล่งจ่ายไฟสลับความถี่สูง

2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.1.3.1 แกนเหล็ก (Core)

แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กบางๆ เรียกว่า ลามิเนต (Laminated Sheet Steel) จะมีความหนา 2 ขนาด คือ ประมาณ 0.35 มม. สำหรับความถี่สูง และ 0.50 มม. สำหรับความถี่ต่ำตามลำดับ และเคลือบหรือฉาบด้วยฉนวนทั้งสองด้านนำมาเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบเข้าด้วยกัน การที่แกนเหล็กจัดทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ก็เพื่อลดปริมาณของกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะแกนเหล็กจะเป็นตัวนำอย่างหนึ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าขึ้นในโมเลกุลของแกนเหล็กแต่ละแผ่น และเนื่องจากแผ่นเหล็กแต่ละแผ่นเหล็กมีความหนามากก็ทำให้มีกระแสไหลวนมีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กมากขึ้น

2.1.3.2 แกนเหล็ก (Coil or Winding)

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าแบบธรรมดา หรือหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกชุด (Ordinary Transformer) นั้นจะประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ขดลวดด้านที่รับพลังงานเข้ามามีตัวนำ เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดลวดที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าออกไปยังโหลดเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) ซึ่งขดลวดตัวนำที่นำมาพันในหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะเป็นลวดตัวนำหุ้มฉนวน เช่น ฉนวนอีนาเมล (Enamel) หรือชนิดที่เป็นเชือกหรือด้ายพันรอบๆ เส้นลวดซึ่งลวดชนิดนี้จะใช้สำหรับตัวที่ใหญ่สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ฉนวนที่หุ้มหรือเคลือบตัวนำนั้นอาจจะมีหลายชั้นขึ้นขึ้นเพื่อให้เกิดความเป็นฉนวนที่ดี ทนต่อความร้อนสูง ทนต่อการกัดกร่อน ซึ่งจะส่งผลทำให้มีอายุการใช้งานนาน

2.1.3.3 ฉนวน (Insulator)

ฉนวนที่ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กนั้นจะประกอบด้วยฉนวนที่ใช้สำหรับคั่นระหว่างแกนเหล็กกับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นกระดาษแข็งธรรมดากระดาษไฟเบอร์หรือฉนวนอย่างอื่น เช่น ฉนวน เบกาไรต์ (Bekarite) ซึ่งจะมีความแข็งแรงทนทาน ทนความร้อนได้สูง และเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี นอกจากนั้นก็จะเป็นแผ่นฉนวนที่คั่นระหว่างชั้นของขดลวด ซึ่งอาจใช้กระดาษลวดลายมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ คั่นระหว่างชั้นของขดลวด เพื่อกันไม่ให้ขดลวดแต่ละชั้นสัมผัสกัน

2.1.3.4 ถังและตัวครีป (Tank and Fin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวถังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปกคลุมอุปกรณ์อื่นๆที่สำคัญของหม้อแปลงเช่น ขดลวด ฉนวน น้ำมันหม้อแปลง ส่วนครีบบจะประกบติดอยู่ข้างถึงทำหน้าที่ระบายความร้อนหรือรองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลง ขณะที่หม้อแปลงกำลังใช้งาน



รูปที่ 2. 1 ถังและตัวครีป [7]

2.1.2.2 ลูกถ้วยแรงสูงและแรงต่ำ (HV and LV Bushing)

วัสดุเซรามิกฉนวนทำหน้าที่กั้นระหว่างขั้วตัวนำด้านแรงสูง และด้านแรงต่ำกับตัวถัง



รูปที่ 2. 2 ตัวอย่างลูกถ้วยแรงสูงและลูกถ้วยแรงต่ำ [7]

2.1.2.4 แทปปรับแรงดัน (Tap Changer)

เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบขดลวดหม้อแปลงเพื่อให้จ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่หรือให้อยู่ในระดับมาตรฐาน



รูปที่ 2. 3 ตัวอย่างแทปปรับแรงดัน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 อุปกรณ์ระบายความดันหรือท่อกันระเบิด (Pressure-relief Device)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ระบายแรงดันที่เพิ่มขึ้นสูงมากเกินไปกว่าค่าแรงดันที่ตั้งไว้



รูปที่ 2. 4 ตัวอย่างอุปกรณ์ระบายความดันหรือท่อกันระเบิด [9]

2.1.2.6 ล่อฟ้าหรืออาร์คชิงฮอร์น (Arcing Horn)

อุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงเสียหายจากแรงดันเกิน โดยเฉพาะแรงดันที่เกิดจากฟ้าผ่า



รูปที่ 2. 5 ตัวอย่างล่อฟ้าหรืออาร์คชิงฮอร์น [10]

2.1.2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดเข็ม (Dial Type Thermometer)

อุปกรณ์แสดงอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง

2.1.2.7 เครื่องวัดระดับน้ำมัน (Oil Level Indicator)

อุปกรณ์แสดงระดับน้ำมัน อาจมีหลากหลายลักษณะ เช่น แบบลูกลอย เข็มหน้าปัด

2.1.2.8 ชุดกรองความชื้น (Dehydrating Breather with Silica Gel)

ทำหน้าที่ป้องกันความชื้นเข้าสู่ภายในถัง ติดตั้งกับหม้อแปลงชนิดที่มีถังน้ำมันสำรอง



รูปที่ 2. 6 ชุดกรองความชื้นหม้อแปลงไฟฟ้า [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.9 ถังพักน้ำมัน (Conservator Tank)

คือที่เก็บน้ำมันหม้อแปลงสำรองสำหรับการขยายตัวและหดตัวของน้ำมันหม้อแปลง และจ่ายน้ำมันชดเชยเมื่อหม้อแปลงเกิดรั่วซึม เพื่อให้ น้ำมันหม้อแปลงอยู่เต็มภายในหม้อแปลงตลอดเวลา โดยทั่วไปจะมีปริมาตร 10 % ของน้ำมันในหม้อแปลง



รูปที่ 2. 7 ตัวอย่างถังพักน้ำมัน [12]

2.1.2.10 บุคโฮลซรีเลย์ (Buchholz Relay)

ต่ออยู่ระหว่างหม้อแปลงกับ Conservator ของหม้อแปลง มีหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง



รูปที่ 2. 8 ตัวอย่างบุคโฮลซรีเลย์ [13]

2.1.2.11 น้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil)

น้ำมันที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ ใช้สำหรับเป็นฉนวน และระบายความร้อนให้กับขดลวดภายในหม้อแปลง มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างน้ำมันดีเซล และน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 2. 9 ตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

2.2.1 การทดสอบ DGA [1]

คือการทดสอบสภาพก๊าซที่เกิดขึ้นในน้ำมันหม้อแปลงซึ่งทำให้สามารถระบุได้ถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้รวมถึงทำให้ประเมินสภาพของน้ำมันหม้อแปลงได้ว่าสามารถที่จะใช้งานได้อีกหรือไม่

2.2.1.1 สาเหตุการเกิดก๊าซในน้ำมัน

เป็นเพราะการแตกตัวของพันธะทางเคมีระหว่างอะตอมที่ใช้สร้างเป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันการเกิดความผิดปกติ(Fault) ลักษณะต่างๆ ในหม้อแปลงจะก่อให้เกิดพลังงานสำหรับการแตกตัวของพันธะเคมีดังกล่าว ซึ่งก๊าซสำคัญ (Key gas) ที่เกิดขึ้นจะมีอยู่ด้วยกัน 7 ชนิดได้แก่

- ไฮโดรเจน (H_2)
- มีเทน (CH_4)
- อีเทน (C_2H_6)
- เอทิลีน (C_2H_4)
- อะเซทิลีน (C_2H_2)
- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

โดยลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงอาจแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1) โคอโรนา (Corona) หรือดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) เป็นลักษณะปัญหาทางไฟฟ้าที่ส่งพลังงานต่างๆ ออกมาในน้ำมันโดยจะพบก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนในปริมาณพอสมควร และยังสามารถพบก๊าซอีเทนและเอทิลีนปริมาณน้อยปนอยู่ด้วย ซึ่งหากมีการดีสชาร์จในกระดาดชนวนก็จะพบการเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์

2) การเกิดความร้อนสูงเกิน (Overheating) เป็นลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณก๊าซจะสะสมไปตามเวลา โดยหากเกิดขึ้นในน้ำมันส่วนเดียวจะพบก๊าซไฮโดรเจน, มีเทน, อีเทน, และเอทิลีน ปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดจะขึ้นกับค่าความร้อนจากปัญหานั้น ๆ ซึ่งถ้ามีความร้อนสูงมากๆ จะพบปริมาณก๊าซอะเซทิลีนด้วย ในกรณีที่เกิดความร้อนสูงเกินบริเวณกระดาดชนวนจะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณมาก เนื่องมาจากการเสื่อมของกระดาดที่มีโครงสร้างเป็นเซลลูโลส (Cellulose)

3) การเกิดอาร์ก (Arcing) จัดเป็นปัญหาที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากมีความร้อนสูงจากการไหลอย่างต่อเนื่องของค่ากระแสสูงในน้ำมันซึ่งจะพบก๊าซไฮโดรเจนและอะเซทิลีนปริมาณมาก

2.2.1.2 วิธีแปลผลการทดสอบก๊าซ (Interpretation of Result)

การแปลความหมายของก๊าซสำคัญทั้ง 7 ชนิดที่ได้จากการทำ DGA จะสามารถบอกถึงสภาพการทำงานของหม้อแปลงได้ว่า เป็นปกติหรือผิดปกติในลักษณะใด ซึ่งวิธีการแปลผลที่ได้รับค่านิยมมีอยู่ด้วยกัน 6 วิธีคือ

1) วิธี IEEE Method

การแปลผลตามมาตรฐาน IEEE C57-104 (1991) จะพิจารณาจากค่าผลรวมของก๊าซทั้งหมดที่สามารถติดไฟได้ (Total Dissolved Combustible Gases: TDCG) โดยจะดูอัตราการเพิ่มขึ้นของ TDCG ร่วมกับแนวโน้มการเกิดขึ้นของก๊าซทั้ง 7 ชนิด เพื่อวิเคราะห์สภาพของก๊าซในหม้อแปลง ซึ่งสามารถแบ่งสถานะ (Status) ออกเป็น 4 แบบตามตารางที่ 2.1 โดยผลรวมของก๊าซที่ติดไฟได้แสดงไว้ในสมการที่ (2.1)

$$TDCG = H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2 + CO \quad (2.1)$$

ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง (ppm) ตามมาตรฐาน IEEE

Status	(H ₂)	(CH ₄)	(C ₂ H ₂)	(C ₂ H ₄)	(C ₂ H ₆)	(CO)	(CO ₂)	TDCG
Condition 1	<100	<120	<1	<50	<65	<350	<2500	<=720
Condition 2	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-4000
Condition 3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Condition 4	>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

โดยที่ TDCG คือผลรวมทั้งหมดของก๊าซที่สามารถจุดติดไฟได้(ppm)

Condition1: ค่า TDCG ที่ต่ำกว่าระดับนี้แสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่สภาพปกติแต่หากก๊าซตัวใดมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ควรใช้วิธีอื่นช่วยในการวิเคราะห์ผล

Condition2: ค่า TDCG ในช่วงนี้แสดงถึงการเผาไหม้สูงกว่าปกติควรมีการตรวจสอบเพิ่มเติมและควรนำค่า DGA ไปคำนวณและประเมินก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นต่อวัน

Condition3: ค่า TDCG ในช่วงนี้แสดงถึงระดับที่สูงของการสลายตัวของเซลลูโลสฉนวนหรือน้ำมันควรนำค่า DGA ไปคำนวณและประเมินก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นต่อวันและเริ่มวางแผนปลดการทำงานของหม้อแปลงเพื่อตรวจสอบละเอียด

Condition4: ค่า TDCG ที่สูงกว่าระดับนี้แสดงถึงระดับของการสลายตัวของเซลลูโลสฉนวนหรือน้ำมันมากเกินไป ควรทำการปลดหม้อแปลงออกจากการทำงานเพื่อเข้าบำรุงรักษาทันที

2) วิธี Key Gas Method

ตามข้อแนะนำของมาตรฐาน IEEE C57-104(1991) วิธีการนี้จะถูกใช้เมื่อหม้อแปลงไม่เคยได้รับการวิเคราะห์ก๊าซแต่ละชนิดมาเป็นเวลานาน โดยยังคงพิจารณาจากค่า TDCG เป็นหลักร่วมกับการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดของก๊าซบางตัวเพื่อระบุถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับหม้อแปลงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากปริมาณก๊าซสำคัญในน้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEEE

Case	Fault	Principle gas	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
1	Overheated oil	C ₂ H ₄	-	2%	16%	19%	63%	-
2	Overheated cellulose	CO	92%	-	-	-	-	-
3	Corona in oil	H ₂	-	85%	13%	1%	1%	-
4	Arcing in oil	C ₂ H ₂	-	60%	5%	2%	3%	30%

3) วิธี Roger's Ratio Method

วิธีการนี้จะพิจารณาเกณฑ์จากค่าอัตราส่วนของก๊าซแต่ละชนิด โดยค่าอัตราส่วนที่สำคัญ ซึ่งจะนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลมีอยู่ด้วยกัน 5 ค่าตามตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงในหน่วยส่วนต่อล้าน (ppm) อย่างไรก็ตามวิธีการของ Roger's Ratio (R.R. Rogers, 1978) จะพิจารณาเฉพาะค่าอัตราส่วนของ R1, R2 และ R5 เท่านั้น โดยมีขีดจำกัดของค่าอัตราส่วนสัมพันธ์ตามลักษณะของความผิดปกติดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 3 อัตราส่วนสำคัญของก๊าซแต่ละชนิด

Ratio	Gas (ppm)
R1	CH ₄ /H ₂
R2	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄
R3	C ₂ H ₂ /CH ₄
R4	C ₂ H ₆ /C ₂ H ₂
R5	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. 4 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี Roger's Ratio

Case	Fault	R2	R1	R5
0	Unit normal	<0.1	0.1-1.0	<1.0
1	Low energy density arcing	<0.1	<0.1	<0.1
2	High energy discharge arcing	0.1-3.0	0.1-1.0	>3.0
3	Low temperature thermal	<0.1	0.1-1.0	1.0-3.0
4	Thermal fault < 700 °C	<0.1	>1.0	1.0-3.0
5	Thermal fault > 700 °C	<0.1	>1.0	>3.0

4) วิธี IEC Method

วิธีการแปลผลตามมาตรฐาน IEC 60599(1999)จะคล้ายกับวิธีของ Roger's Ratio โดยการพิจารณาจากค่าอัตราส่วนก๊าซ 3 จำนวน (R1,R2,R5) ในหน่วย ppm เพื่อระบุถึงลักษณะความผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงซึ่งแบ่งออกเป็นความผิดปกติทางไฟฟ้าและอุณหภูมิ 6 ลักษณะ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2. 5 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี IEC

Case	Fault	R2	R1	R5
PD	Partial discharge	-	<0.1	<0.2
D1	Low energy discharge	>1	0.1-0.5	>1
D2	High energy discharge	0.6-2.5	0.1-1.0	>2.0
T1	Thermal fault < 300 °C	-	>1.0	<1.0
T2	Thermal fault 300 °C to 700 °C	<0.1	>1.0	1.0-4.0
T3	Thermal fault > 700 °C	<0.1	>1.0	>4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) วิธี Doernenburg Ratio Method

วิธีการของ Doernenburg (RohitKumar Arora,2013) จะใช้ค่าอัตราส่วนก๊าซจำนวน 4 ค่า (R1,R2,R3,R4) เพื่อระบุลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลงซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 2.6 โดยจะพิจารณาร่วมกับขีดจำกัดปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดตามตารางที่ 2.7 ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์เหตุผิดปกติจากค่าอัตราส่วนก๊าซด้วยวิธี Doernenburg's Ratio

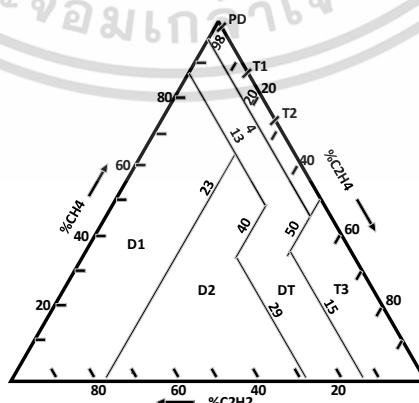
Case	Fault	R1	R2	R3	R4
1	Thermal decomposition	>1.0	<0.75	<0.3	>0.4
2	Corona (Low intensity partial discharge)	<0.1	-	<0.3	>0.4
3	Arcing (High intensity partial discharge)	0.1-1.0	>0.75	>0.3	<0.4

ตารางที่ 2.7 ขีดจำกัดปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดตามวิธีของ Doernenburg Ratio

Gas	Limit (ppm)
H ₂	100
CH ₄	120
C ₂ H ₄	50
C ₂ H ₂	35
C ₂ H ₆	1
Co	350

6) วิธี Duval's Triangle Method

วิธีการนี้ถูกคิดและนำเสนอโดย Mr. Duval โดยใช้รูปสามเหลี่ยมตามภาพที่ 1 ในการอธิบายลักษณะ ความผิดปกติของหม้อแปลงซึ่งแบ่งเป็น 7 ลักษณะวิธี Duval's Triangle (M.Duval, 2008) จะ พิจารณาจากค่าร้อยละของก๊าซ 3 ชนิด ได้แก่ CH₄ , C₂H₂ และ C₂H₄ ตามสมการที่ (2) ถึง (4) เพื่อหาจุดตัดของเส้นตรงภายในสามเหลี่ยมว่าอยู่ในบริเวณใดซึ่งจะเป็นการบอกถึงลักษณะความผิดปกติของหม้อแปลง



รูปที่ 2.10 การระบุลักษณะความผิดปกติด้วยสามเหลี่ยมของ Duval

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%CH_4 = \left(\frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

$$\%C_2H_2 = \left(\frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

$$\%C_2H_4 = \left(\frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

2.2.2 Oil Physical and Chemical Tests

นอกจากการทดสอบ DGA แล้ว คุณยังสามารถเก็บตัวอย่างน้ำมันเพิ่มเติมเพื่อตรวจจับความชื้น แรงดึงผิว ความเป็นกรด โดยปกติ ตัวอย่างจะถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลง

2.2.3 การทดสอบสารประกอบฟูราน (Furan test)

การวิเคราะห์ Furan แสดงสภาพของฉนวนกระดาษด้วยตัวอย่างน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไปวัสดุฉนวนเซลลูโลสจะเสื่อมสภาพ สารประกอบอะโรมาติกถูกผลิตขึ้นในระหว่างการย่อยสลายที่เรียกว่า furan ผลลัพธ์ของ Furan ใช้เพื่อกำหนดระดับพอลิเมอร์เรซินโดยเฉลี่ยที่คาดหวังสำหรับกระดาษในอุปกรณ์ ระดับของพอลิเมอร์เรซินที่คำนวณได้นั้นใช้เพื่อประมาณเปอร์เซ็นต์ของอายุการใช้งานฉนวนที่เป็นของแข็งที่เหลืออยู่ในหม้อแปลงไฟฟ้า ปริมาณ 2-furaldehyde ในน้ำมันมักเป็นตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนที่สุดของการสลายตัวของกระดาษ ซึ่งคิดในลักษณะต่อไปนี้

- 1) ฉนวนที่เป็นของแข็งในหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยกระดาษคราฟท์
- 2) กระดาษคราฟท์ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส
- 3) เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลกลูโคส

กระดาษคราฟท์ใหม่มีสายโซ่พอลิเมอร์เซลลูโลสเฉลี่ยที่ 1,000 โมเลกุลกลูโคสถึง 1,200 โมเลกุลกลูโคสยาว กระบวนการผลิตและการทำให้แห้งของหม้อแปลงไฟฟ้าทำให้เซลลูโลสแตกตัว กระดาษใหม่ในหม้อแปลงใหม่จึงมีสายพอลิเมอร์ที่สั้นกว่า—จากโมเลกุลกลูโคส 800 โมเลกุลถึง 1,000 โมเลกุลกลูโคสยาว

2.2.4 การทดสอบทางไฟฟ้า

2.2.4.1 การวัดค่าความต้านทานฉนวน (Winding Insulation Resistance Measurement)

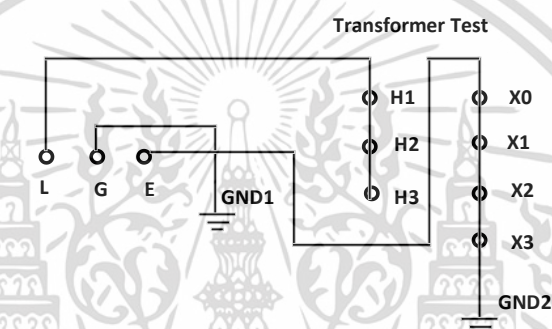
สำหรับการทดสอบค่าความต้านทาน ของฉนวน เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของการเสื่อมสภาพของฉนวนที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบเป็นวิธีการลัดวงจรของขดลวดในแต่ละชุดของหม้อแปลงเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะให้แรงดันทดสอบมีค่าเท่ากันในแต่ละเฟสถ้าขดลวดทดสอบมีพิกัดแรงดันตั้งแต่ 3,300 V ขึ้นไปให้ทดสอบด้วยแรงดัน 2,500 Vdc และถ้าพิกัดแรงดันน้อยกว่า 3,300 V ลงมาให้ทดสอบด้วยแรงดัน 1,000 Vdc จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบตั้งแต่ 1 นาที ถึง 10 นาที แล้วคำนวณค่า Polarization Index (PI) หรือค่าอัตราส่วนความต้านทานฉนวนที่นาทีที่ 10 ต่อนาทีที่ 1 ตามมาตรฐาน IEEE C57.125-1999

ตารางที่ 2. 8 ค่า PI ในการพิจารณาสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

Condition	PI
Good	>2.0
Normal	1.25-2.0
Bad	1.1-1.25
Dangerous	<1.1



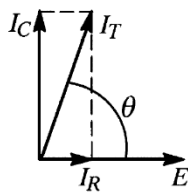
รูปที่ 2. 11 วงจรวัดค่าความต้านทานฉนวน

2.2.4.2 การวัดค่าความสูญเสียทางฉนวน (Insulation Power – Factor Measurement)

การทดสอบตัวประกอบกำลังใช้เพื่อวัดการสูญเสียอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเป็ย ความแห้ง หรือการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้า

การวัดค่าตัวประกอบกำลังของฉนวนทำได้โดยการคำนวณอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าแบบ capacitive หรือ "การชาร์จ" (วัดเป็นโวลต์แอมแปร์) ต่อกระแสไฟแบบ resistive หรือ leakage

การทดสอบตัวประกอบกำลังเป็นวิธีการวัดความสมบูรณ์ของฉนวน เนื่องจากยิ่งตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีขนาดเล็ก ฉนวนก็จะยิ่งดีขึ้น เป็นหนึ่งในเทคนิคการทดสอบที่ดีที่สุด สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์และเชิงป้องกัน



Vector Components of Test Voltage and Currents
In a Parallel R/C Circuit

$$\text{Watts} = E \times I_T \times \text{Cosine } \theta$$

$$\text{Power Factor} = \text{Cosine } \theta = \frac{\text{Watts}}{E \times I_T}$$

รูปที่ 2. 12 ส่วนประกอบเวกเตอร์ของแรงดันและกระแสทดสอบตัวประกอบกำลัง

2.2.4.3 การทดสอบอัตราส่วนหม้อแปลง (Turn ratio test)

โดยทั่วไปจะใช้การทดสอบ Turn ratio หม้อแปลงเพื่อให้แน่ใจว่าอัตราส่วนขดลวดระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิสอดคล้องกับข้อกำหนดที่แนะนำ การทดสอบหม้อแปลงชนิดนี้ยังช่วยให้มั่นใจได้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะให้แรงดันไฟฟ้าแบบสแต็ปหรือสแต็ปดาว ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงแบบสแต็ปดาวประกอบด้วย 100 รอบปฐมภูมิและ 10 รอบทุติยภูมิจะทำงานเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลง 10 เท่าซึ่งสอดคล้องกับขดลวดทุติยภูมิในขณะที่คุณกระแสด้วย 10

ผลการทดสอบ Turn ratio นั้นไม่ควรเบี่ยงเบนมากกว่าร้อยละครึ่งจากขดลวดที่อยู่ติดกันหรืออัตราส่วนที่คำนวณได้ ค่าทดสอบที่อยู่นอกค่าความคลาดเคลื่อนนี้อาจบ่งชี้ว่าขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าลัดวงจรหรือเปิดอยู่

2.2.4.4 การทดสอบรีแอคแตนซ์รั่วไหล (Leakage reactance test)

โดยปกติแล้วจะเป็นการทดสอบการยอมรับเพื่อดูว่าอิมพีแดนซ์เปอร์เซ็นต์แผ่นป้ายตรงกับค่าอิมพีแดนซ์เปอร์เซ็นต์ที่วัดได้เมื่อหม้อแปลงมาถึงจากโรงงาน เปอร์เซ็นต์การทดสอบความต้านทาน/การรั่วไหลของค่ารีแอคแตนซ์ทำได้โดยการลัดวงจรของขดลวดไฟฟ้าแรงต่ำและใช้แรงดันทดสอบกับขดลวดไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้ชุดทดสอบตัวประกอบกำลัง

2.2.4.5 การทดสอบความต้านทานแกนเหล็ก (Core to ground Test)

การทดสอบนี้ใช้ในกรณีที่สงสัยว่ามีการลงกราวด์แกนกลางโดยไม่ได้ตั้งใจ ตามที่อาจระบุโดยการทดสอบ DGA เมกะโอห์มมิเตอร์ติดตั้งอยู่ระหว่างแกนนำกราวด์ (หรือส่วนบนของแกนเองกับถึง) กับกราวด์ Megger ใช้เพื่อวางแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระหว่างจุดเหล่านี้ และวัดความต้านทาน ต้องถอดกราวด์แกนกลางออกเพื่อทำการทดสอบนี้ บางคนอาจพบว่าสิ่งนี้ทำได้ยาก และน้ำมันบางส่วนอาจต้องระบายออกจึงจะทำได้ สำหรับหม้อแปลงบางตัวตัวนำกราวด์หลักจะถูกนำออกมาภายนอกผ่านบุชหุ้มฉนวนซึ่งจะเข้าถึงได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงใหม่ควรมีค่ามากกว่า 1,000 เมกะโอห์ม หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้แล้วควรมีค่ามากกว่า 100 เมกะโอห์ม 10-100 เมกะโอห์มแสดงถึงฉนวนที่เสื่อมสภาพระหว่างแกนกลางกับกราวด์ น้อยกว่า 10 เมกะโอห์มเพียงพอที่จะทำให้เกิดกระแสหมุนเวียนที่จะทำให้เกิดความเสียหาย

2.4.4.6 Load History

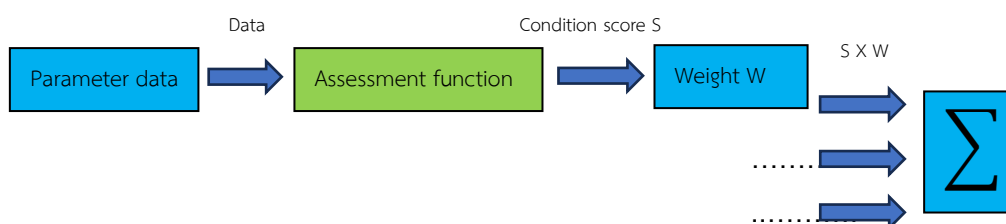
ประวัติการใช้งานตามขนาดพิกัดของหม้อแปลงนั้นเป็นอีกตัวแปรที่ควรนำมาพิจารณา เนื่องจากขนาดการใช้ตามแต่ละพิกัดจะส่งผลต่อความเสื่อมสภาพของตัวอุปกรณ์ยังมีการใช้งานที่เต็มพิกัดหรือเกินพิกัดเรทของหม้อแปลงนั้นยังมีความน่าเป็นห่วง ค่าที่ใช้ในการประเมินได้จากการนำข้อมูลการใช้งานประจำเดือนที่เป็นค่าพิกัดสูงสุดของแต่ละเดือนมาใช้งาน

2.3 Risk index Method

เป็นวิธีประเมินหม้อแปลงไฟฟ้าวิธีหนึ่งที่ยอมรับนำมาใช้เพื่อประเมินสภาพรวม รวมถึงอายุการใช้งานที่คิดว่าสามารถจะใช้งานต่อไปได้ โดยทั่วไปจะเป็นการประเมินโดยใช้พารามิเตอร์ทางเทคนิคจากหัวข้อที่ 2.2 มาใช้ในการประเมินโดยได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการประเมินรวมถึงการให้ค่าน้ำหนักในแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการให้น้ำหนักนั้นเกิดจากการสำรวจหม้อแปลงที่มีความล้มเหลวในอดีต แล้วนำมาประเมินโดยอัลกิริทึมที่มีความซับซ้อน

การประเมินดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังจะเน้นเป็นพิเศษในการประเมินความน่าเชื่อถือในระยะยาวของหม้อแปลง มากกว่าการทำงานในระยะสั้น โดยปกติแล้วแบบจำลองดัชนีสุขภาพจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานซึ่งมีความรุนแรง วัตถุประสงค์ของดัชนีสุขภาพมีดังต่อไปนี้ 1. ดัชนีควรบ่งชี้ถึงความเหมาะสมของหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับการใช้งานอย่างต่อเนื่องและเป็นตัวแทนของสภาพหม้อแปลงโดยรวม 2. ดัชนีควรมีการวัดสภาพในแต่ละพารามิเตอร์ที่เป็นกลางและตรวจสอบได้ ซึ่งไม่ใช้การประเมินโดยการสังเกตการณ์ 3. ดัชนีที่นำมาใช้ควรเป็นค่าที่มีการใช้ทดสอบโดยทั่วไปและคนส่วนใหญ่เห็นพ้องตรงกันถึงเรื่องความสำคัญ [14]

ภาพประกอบโดยหลักการของวิธีการสร้างดัชนีสุขภาพแสดงในรูปที่ 2.13 ในรูปนี้จะเห็นได้ว่าข้อมูลอินพุตได้รับการประมวลผลเป็นคะแนน โดยฟังก์ชันการประเมินคะแนนเหล่านี้จะมีการถ่วงน้ำหนักเพิ่มเติมโดยสัมพัทธ์กัน และสุดท้ายจะสรุปเพื่อคำนวณคะแนนดัชนีสุขภาพ



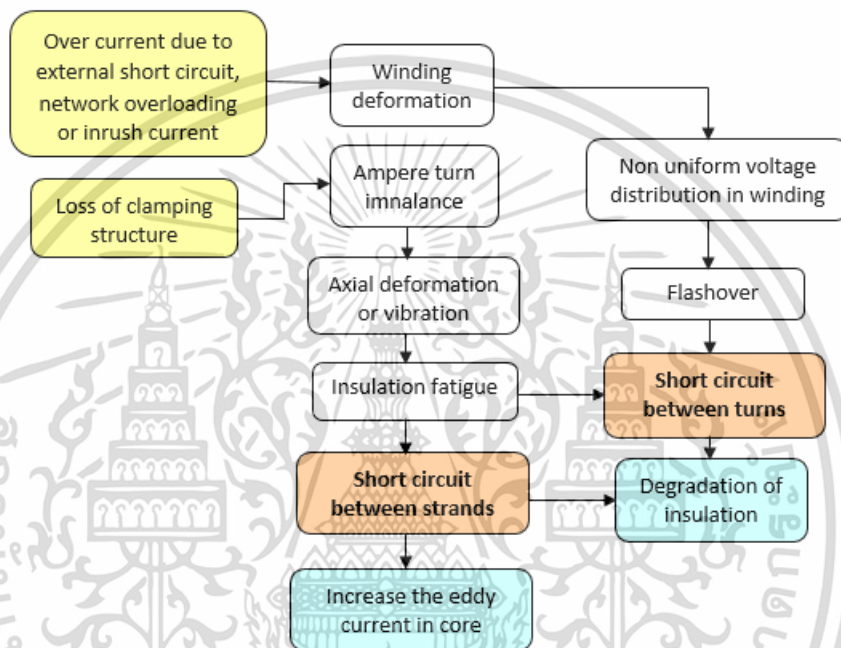
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
รูปที่ 2.13 แผนผังหลักของแบบจำลองดัชนีสุขภาพ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สาเหตุความล้มเหลวและผลกระทบของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.4.1 Short circuit between turns/stands (SCBT/S) of windings

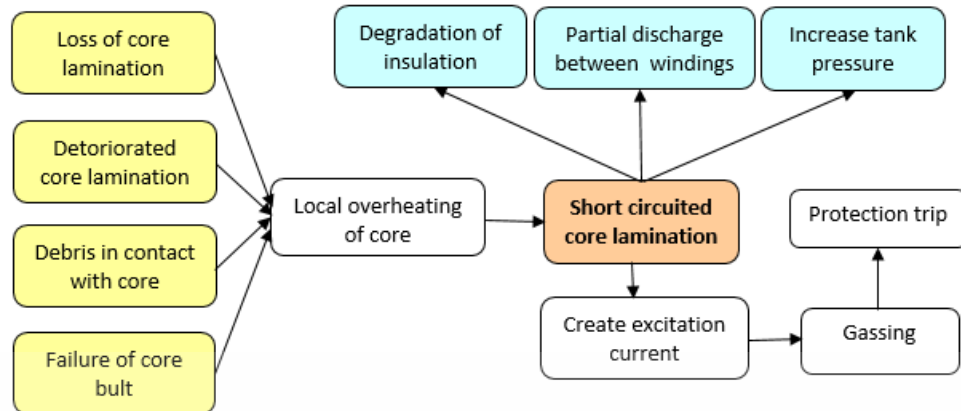
ความล้มเหลวจากการลัดวงจรกระแสไฟ ทำให้อุณหภูมิของขดลวดเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน ส่งผลให้เกิดความเสียหายรุนแรงหรือแม้กระทั่งฉนวนแตก การลัดวงจรนี้สามารถทำให้เกิดการลัดวงจรแบบเฟสต่อเฟส หรือแบบเฟสต่อกราวด์ ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างกว้างขวางต่อฉนวนของขดลวด เมื่อความล้มเหลวนี้เกิดขึ้นหม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ [15]



รูปที่ 2. 14 สาเหตุและผลกระทบของการลัดวงจรระหว่าง turns/stands [17]

2.4.2 Short circuited core lamination (SCL)

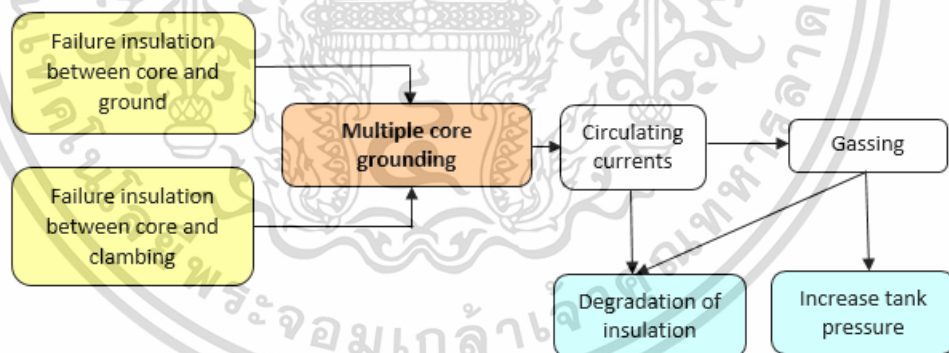
การลัดวงจรระหว่างสารเคลือบแกนเหล็ก (SCL) เป็นความล้มเหลวทั่วไปที่เกิดขึ้นในแกนกลางของหม้อแปลง โดยปกติสิ่งนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียหายของการเคลือบแกนบางส่วนหรือฉนวนของการเคลือบแกนที่เสื่อมสภาพ ความร้อนสูงเฉพาะที่ในแกนกลางอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy current) หม้อแปลงไฟฟ้าที่เกิดล้มเหลวนี้ไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ ผลกระทบของความร้อนสูงไปทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายของฉนวนระหว่างการเคลือบ เมื่อเวลาผ่านไป ความล้าของฉนวนอาจทำให้เกิด SCL ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ผลกระทบของ SCL ทำให้เกิดกระแส eddy current และเพิ่มการสูญเสียแกนกลางซึ่งเพิ่มอุณหภูมิที่นำไปสู่การเกิดก๊าซ ต่อมาอาจทำให้เกิดทริปของรีเลย์บุชโฮลส์



รูปที่ 2. 15 สาเหตุและผลกระทบของการลัดวงจรระหว่างสารเคลือบแกนเหล็ก [17]

2.4.3 Multiple Grounding (MG)

Multiple Grounding เป็นอีกหนึ่งความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในแกนกลาง ซึ่งตรวจพบได้ยากมาก ความล้มเหลวของ MG เกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ ความล้มเหลวของฉนวนระหว่างแกนกลางกับกราวด์ หรือความล้มเหลวของฉนวนระหว่างแกนกลางกับระบบจับยึด ดังแสดงในรูปที่ 2.16 MG สร้างกระแสหมุนเวียนทำให้เกิดความร้อนสูงเกินไปภายในแกนกลางซึ่งก่อให้เกิดก๊าซ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเอทิลีน (C_2H_4) มีเทน (CH_4) และยังมีไฮโดรเจน (H_2) ในปริมาณที่มีนัยสำคัญ [16] เมื่อเกิดความล้มเหลวนี้ หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถยังคงใช้งานต่อไปได้ แต่กระแสหมุนเวียนที่เกิดขึ้นนั้นจะนำไปสู่การสลายตัวของฉนวนระหว่างสารเคลือบแกนเหล็กซึ่งจะนำไปสู่ความล้มเหลวแบบ SCL ได้

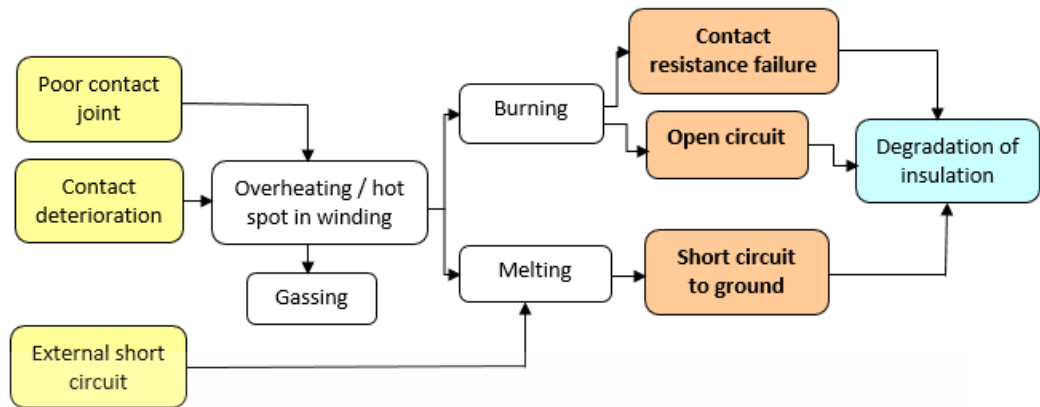


รูปที่ 2. 16 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด Multiple Grounding (MG) [17]

2.4.4 Open Circuit and Contact Resistance (OC & CR)

สาเหตุของโหมตความล้มเหลวคือการโอเวอร์โหลตของเครือข่าย หน้าสัมผัสที่ไม่ดี การเสื่อมสภาพของหน้าสัมผัส และการลัดวงจรภายนอก ซึ่งเพิ่มความเครียดภายในหม้อแปลง ความเครียดนี้อาจทำให้ร้อนมากเกินไป ทำให้เกิดฮอตสปอตซึ่งในขั้นต้นจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เอทิลีน และมีเทน ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของ hotspot ความล้มเหลวอาจเกิดจากการเผาไหม้หรือตัวนำหลอมละลาย รูปที่ 2.17 แสดงสาเหตุและผลกระทบของความล้มเหลวที่เกี่ยวข้องกับความร้อน [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

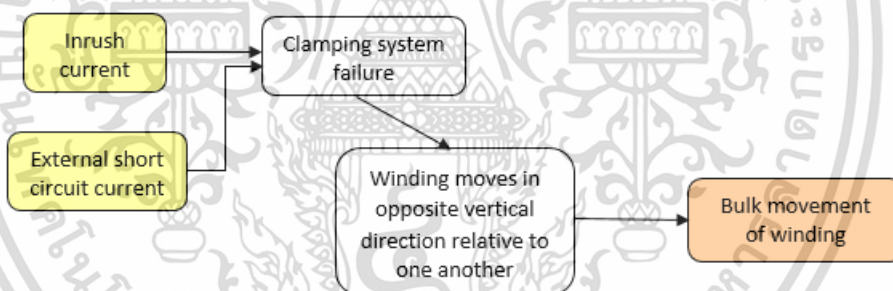


รูปที่ 2. 17 สาเหตุและผลกระทบของความล้มเหลวที่เกี่ยวข้องกับความร้อน [17]

2.4.5 Winding bulk movement (WBM)

Winding bulk movement คือการเคลื่อนที่ของขดลวดแต่ละเส้นโดยค้ำึงถึงขดลวดอื่นๆ ไม่ว่าจะขึ้นหรือลง ความล้มเหลวนี้เรียกอีกอย่างว่าความล้มเหลวเหลื่อมตามแนวแกน [16]

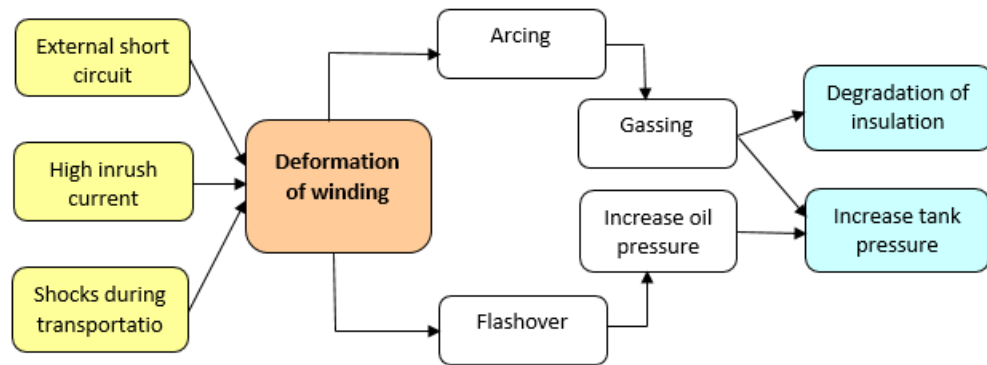
สาเหตุการล้มเหลว แสดงในรูปที่ 2.18 สาเหตุทั่วไปของความล้มเหลวคือการลัดวงจรภายนอกและกระแสไฟกระชาก ไฟฟ้าลัดวงจรภายนอกทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้า การกระทำของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (แรงตามแนวแกนและแนวรัศมี) จะเคลื่อนขดลวดไปชนกับระบบจับยึด ส่งผลให้ขดลวดเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม [18]



รูปที่ 2. 18 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด Winding bulk movement [17]

2.4.6 Lead deformation (LD)

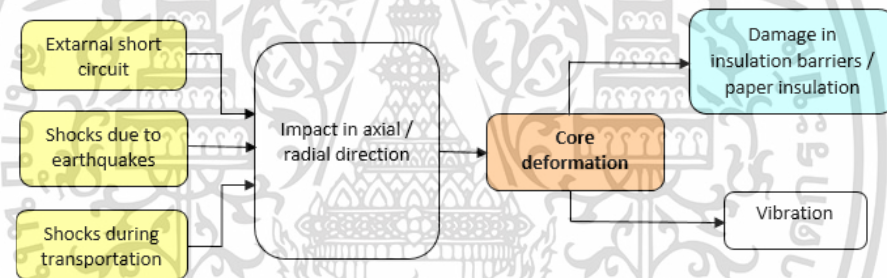
สาเหตุของการเกิด Lead deformation แสดงไว้ในรูปที่ 2.19 ในระหว่างการทำงานของหม้อแปลง ขดลวดจะต้องได้รับแรงจับยึดคงที่ตลอดเวลา Lead ภายในจะเสียรูปเนื่องจากการกระทำของแรงทางกลไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสลัดวงจร, inrush current, ไฟฟ้า หรือเนื่องจากการกระแทกกับหม้อแปลงระหว่างการขนส่ง ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของ LD อาจเกิด arcing หรือ flashover การเสียรูปจะช่วยลดระยะห่างทางไฟฟ้าระหว่าง Lead และส่วนประกอบอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการวาวไฟตามผิว การพังทลายของฉนวน [15]



รูปที่ 2. 19 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด Lead deformation [17]

2.4.7 Core deformation

สาเหตุการเกิด Core deformation แสดงไว้ในรูปที่ 2.20 การเสียรูปแกนเหล็กไม่ใช่เรื่องปกติในหม้อแปลงไฟฟ้า แรงกระแทกต่อชิ้นส่วนที่ทำงานอยู่ เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งหรือจากแผ่นดินไหว และการลัดวงจรภายนอกในทิศทางตามแนวแกนหรือรัศมีอาจทำให้เกิดการเสียรูปของแกนเหล็กได้ การทำงานของหม้อแปลงที่มีการเสียรูปแกนเหล็กอาจเกิดเสียงดังเนื่องจากการสั่นสะเทือนมากเกินไป และอาจนำไปสู่การคายประจุบางส่วนด้วย [18]

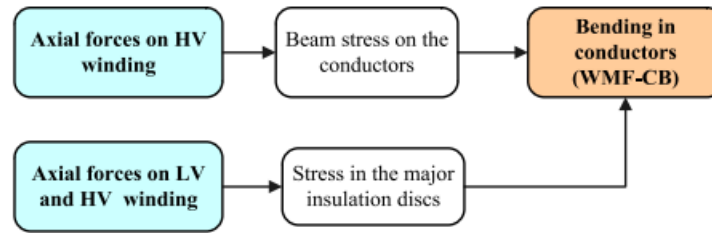


รูปที่ 2. 20 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด Core deformation [17]

2.4.8 Conductor bending (CB)

สาเหตุการเกิด Conductor bending (CB) แสดงในรูปที่ 2.21 การโก่งตัวของแรงตามแนวแกนบนขดลวดไฟฟ้าแรงสูง (HV) ทำให้เกิด CB การติดตั้งของตัวนำอาจส่งผลให้ฉนวนเสียหายได้

ภายในขดลวดไฟฟ้าแรงสูง แรงตามแนวแกนมีความน่าดึงดูด ดังนั้นตัวนำ ฉนวน และบล็อกตัวเว้นระยะอยู่ภายใต้การบีบอัด แรงเหล่านี้ทำให้เกิดความเค้นบนตัวนำ ซึ่งจะทำให้ตัวนำโค้งงอระหว่าง Spacer blocks

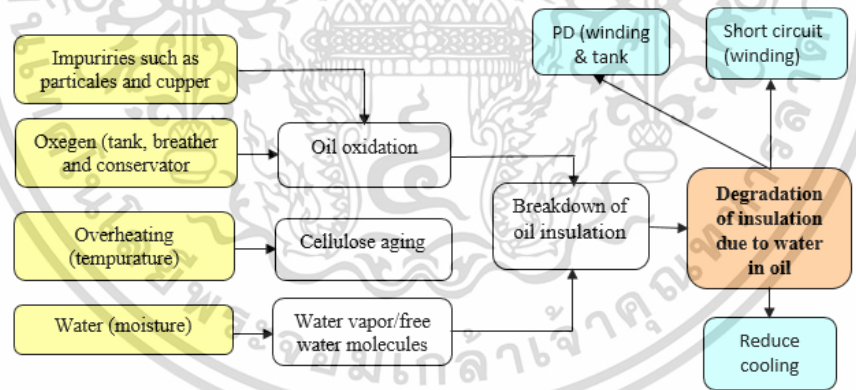


รูปที่ 2. 21 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด Conductor bending (CB) [17]

2.4.9 Degradation and aging of insulation

1. Degradation of oil insulation due to water

สาเหตุของการเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลงเกิดจากความชื้นที่มีอยู่ในน้ำมัน ความชื้นจะสะสมอย่างช้าๆ ในหม้อแปลงโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชันภายในหรือภายนอก ผ่านการรั่วไหล กระบวนการออกซิเดชันของน้ำมันเกิดขึ้นเมื่ออากาศชื้นและน้ำมันสัมผัสกันใน Conservator tank ผ่านตัวดูดความชื้นที่เสื่อมสภาพและเกิดความชื้นเข้าไปเมื่อเปิดหม้อแปลง เพื่อการบำรุงรักษา การย่อยสลายเซลลูโลสในฉนวนกระดาษ (เกิดความร้อนสูงในขณะที่ใช้โหลดเกิน) ยังเป็นแหล่งออกซิเจนอีกด้วย ปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ความชื้น อนุภาค (โลหะ คาร์บอน เส้นใยเปียก) และทองแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการออกซิเดชันของน้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้า [18] ซึ่งจะเพิ่มความน่าจะเป็นของการเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2. 22 สาเหตุและผลกระทบของการเสื่อมสภาพฉนวนน้ำมันจากน้ำ [17]

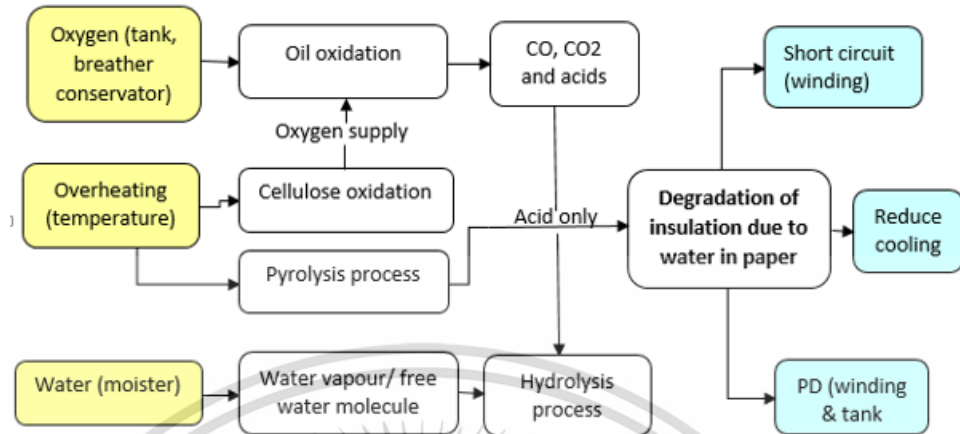
2. Degradation of paper insulation due to water

สาเหตุของการเสื่อมสภาพของกระดาษแสดงไว้ในรูปที่ 2.23 อุณหภูมิ (ไฟโรไลซิส) น้ำ (ไฮโดรไลซิส) และออกซิเจน (ออกซิเดชัน) ในน้ำมันหม้อแปลงเป็นสาเหตุหลักของการย่อยสลายเซลลูโลส ปัจจัยหลักทั้งสามนี้ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของกระดาษ

การมีน้ำหรือความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการย่อยสลายกระดาษในหม้อแปลงไฟฟ้า ความชื้นสามารถเข้าไปในกระดาษทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลลูโลสและน้ำมัน ฉนวนกระดาษไม่อยู่ในสภาพที่ยอมรับได้หากจำนวนโมเลกุลกลูโคสในสายโซ่หนึ่งน้อยกว่า 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

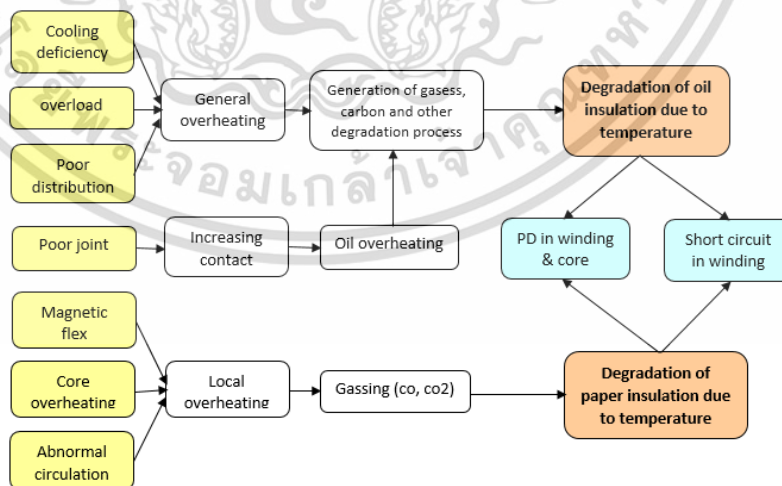
หรือต่ำกว่าขีดจำกัด DP [19] ดังนั้นการไฮโดรไลซิสจึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษ



รูปที่ 2. 23 สาเหตุและผลกระทบของการการเสื่อมสภาพฉนวนกระดาษจากน้ำ [17]

3. Degradation of oil and paper insulation due to temperature

สาเหตุของการเสื่อมสภาพเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำมันและกระดาษแสดงไว้ในรูปที่ 2.24 สาเหตุของความร้อนสูงเกินปกติสังเกตได้จาก การเกิดโอเวอร์โหลด การไหลเวียนของน้ำมันไม่ดีและอื่นๆ ผลที่ตามมาของความร้อนสูงเกินไป ทำให้เกิดก๊าซที่ทำให้ฉนวนน้ำมันเสื่อมคุณภาพ ยิ่งไปกว่านั้น การสร้างคาร์บอนและผลพลอยได้จากความเสื่อมอื่นๆ ที่เป็นไปได้ยังส่งผลให้ฉนวนน้ำมันเสื่อมสภาพ จุดเชื่อมต่อที่ไม่ดีจะเพิ่มความต้านทานของชั้นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้น้ำมันและความร้อนสูงเกินไป ความร้อนสูงเกินไปจะทำให้เกิดก๊าซ เช่น CO, CO₂ และ H₂O ต่อมา ผลกระทบจากการโอเวอร์โหลดอย่างต่อเนื่องนำไปสู่การเสื่อมสภาพของกระดาษฉนวน [18]

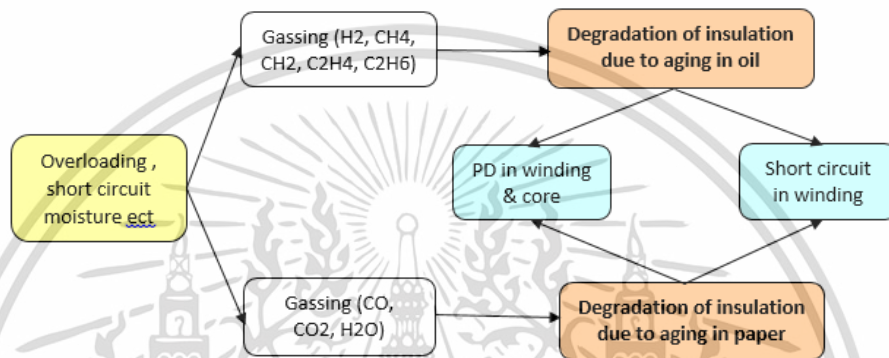


รูปที่ 2. 24 สาเหตุและผลกระทบของการเสื่อมสภาพฉนวนน้ำมันและกระดาษจากอุณหภูมิ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Degradation due to aging of oil and paper insulation

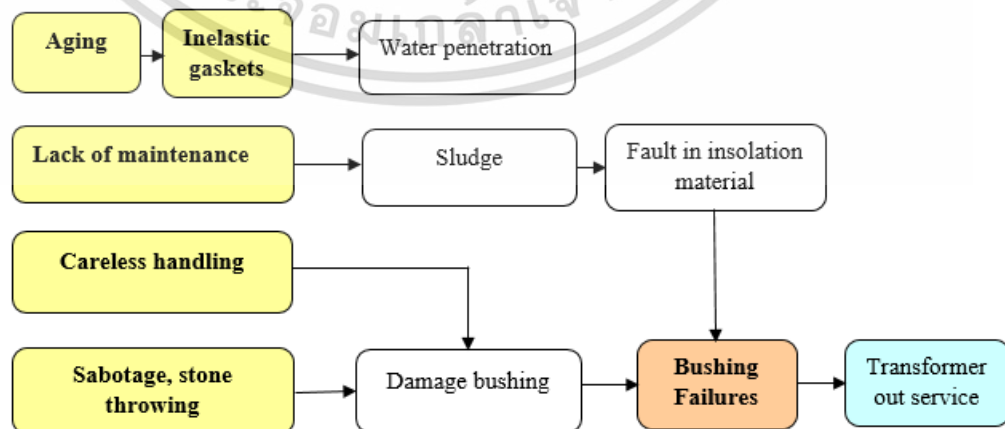
สาเหตุของการเสื่อมสภาพของฉนวนน้ำมันและกระดาษแสดงไว้ในรูปที่ 2.25 การเกิดความล้มเหลวภายในและภายนอก เช่น การลัดวงจรภายนอกอย่างหนัก, การโอเวอร์โหลด การทำงานต่อเนื่องในอุณหภูมิที่สูงขึ้น และ การทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตราย จะทำให้ประสิทธิภาพของน้ำมันหรือกระดาษหม้อแปลงเปลี่ยนไป ภายใต้สภาวะเหล่านี้ การเกิดความร้อนทำให้เกิดก๊าซต่างๆ เช่น H_2 , CH_4 , CH_2 , C_2H_4 และ C_2H_6 และ CO , CO_2 และ H_2O ก๊าซเหล่านี้เกิดขึ้นภายใต้ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ทำให้เกิดการย่อยสลายในน้ำมันหรือในกระดาษ [18]



รูปที่ 2. 25 สาเหตุและผลกระทบของการเสื่อมสภาพฉนวนน้ำมันและกระดาษจากอายุ [17]

2.4.10 Bushing failure

สาเหตุของความล้มเหลวของบุชซึ่งแสดงในรูปที่ 2.26 หน้าทีของบุชซึ่งคือแยกไฟฟ้าระหว่างถังและขดลวด และเชื่อมต่อกับขดลวดกับระบบไฟฟ้าภายนอกหม้อแปลงไฟฟ้า โหมดความล้มเหลวหลักของบุชซึ่งคือการลัดวงจร การลัดวงจรในบุชซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความผิดปกติของวัสดุในการแยกหรือเนื่องจากความเสียหาย ความเสียหายลูกถ้วยอาจเกิดขึ้นได้จากแผ่นดินไหว [34]. สิ่งสำคัญคือปะเก็นระหว่างถังหม้อแปลงและบุชซึ่งต้องแน่นสนิทเพื่อไม่ให้อากาศหรือน้ำเข้าไปในหม้อแปลง อีกทั้งระดับน้ำมันจะยังคงอยู่ในระดับปกติ หากหม้อแปลงตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีมลพิษสูง จะต้องล้างบุชเป็นประจำ (20)



รูปที่ 2. 26 สาเหตุและผลกระทบของการเกิด Bushing failure [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบการทดลองและการทดสอบ

ในบทนี้อธิบายถึงการออกแบบวิธีการประเมินสภาพหม้อแปลงถึงที่มาของปัจจัยที่เลือกมาใช้ในการวิเคราะห์

3.1 วิธีการประเมินความเสี่ยง

ดัชนีความเสี่ยงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาว่าควรบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ 1. GTC (General Technical Condition) ใช้สำหรับประเมินสภาพของหม้อแปลง 2. GSI (Global Strategic Impact) ใช้เพื่อดูความสำคัญของหม้อแปลงแต่ละตัว ในตารางที่ 3.1 การให้คะแนนจากการประเมินสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.2 จะถูกเลือกตามความเหมาะสม รวมถึงเรื่องเวลาและต้นทุนซึ่งจะทำให้สามารถบำรุงรักษาได้ทันที่

ตารางที่ 3. 1 GTC เงื่อนไขทั่วไปในทางเทคนิค [4]

GTC (เงื่อนไขทั่วไปในทางเทคนิค)			
ค่าชี้วัด GTC	สภาพ	คำอธิบาย	อายุการใช้งานที่คาดหวังโดยประมาณ
85-100	ดีมาก	เสื่อมสภาพหรือเสื่อมสภาพเล็กน้อย	มากกว่า 15 ปี
70-85	ดี	มีการเสื่อมสภาพของส่วนประกอบที่สำคัญบางอย่าง	มากกว่า 10 ปี
50-70	ปานกลาง	การเสื่อมสภาพที่สำคัญอย่างแพร่หลายหรือการเสื่อมสภาพอย่างร้ายแรงของส่วนประกอบบางอย่าง	ถึง 10 ปี
30-50	ค่อนข้างแย่	การเสื่อมสภาพอย่างรุนแรงในวงกว้าง	น้อยกว่า 3 ปี
0-30	แย่มาก	การเสื่อมสภาพที่รุนแรง	หมดสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ GTC

No.	ส่วนประกอบดัชนีความเสี่ยง	K	การให้เกณฑ์คะแนน	GTCF
1.	DGA	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
2.	Power Factor	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
3	Oil Quality	6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
4	Furan or Age	5	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
5	Turn ratio	5	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
6	Leakage reactance	8	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
7	Winding resistance	6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
8	Core-to-ground	2	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
9	Load history	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
10	DGA of LTC	6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0

การสำรวจของ CIGRE Working Group 12.05[1] ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีข้อบกพร่องมากกว่า 1,000 เครื่องในปี 1967-1978 แสดงผลใน [1] จากผลการสำรวจ สมการที่ 3.1 ถูกใช้เพื่อให้น้ำหนักความสำคัญของการประเมินสภาพของหม้อแปลงตามเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากส่วนประกอบที่มีข้อบกพร่องของหม้อแปลง 40 เปอร์เซนต์ของสาเหตุของความผิดปกตินั้นมาจาก LTC ดังนั้น ตัวประกอบ LTC จึงถูกกำหนดในการคำนวณค่า GTC 40 เปอร์เซนต์จากนั้นอีก 60 เปอร์เซนต์เป็นส่วนประกอบโดยรวมของสภาพหม้อแปลง

$$GTC = \left[0.6 \times \frac{\sum_{j=1}^9 K_j GTCF_j}{\sum_{j=1}^9 4K_j} + 0.4 \times \frac{\sum_{j=10}^{10} K_j GTCF_j}{\sum_{j=10}^{10} 4K_j} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

ต่อมา จะวิเคราะห์ผลกระทบหากหม้อแปลงไฟฟ้าขัดข้องรวมถึงสภาพพื้นที่ที่หม้อแปลงใช้งานอยู่ ตารางที่ 3.3 จัดอันดับความเสียหายที่จะเกิดขึ้นหากหม้อแปลงไฟฟ้าขัดข้อง และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินแสดงไว้ในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3. 3 ผลกระทบทั่วไปทางสภาพแวดล้อม (GSI)

ค่าชี้วัด GSI	สภาพ	Description
85-100	สูงมาก	มีความเสี่ยงสูงมาก
70-85	สูง	มีความเสี่ยงสูง
50-70	ปานกลาง	ความเสี่ยงปานกลาง
30-50	ต่ำ	ความเสี่ยงต่ำ
0-30	ต่ำมาก	ความเสี่ยงต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 GTC (General Technical Condition)

เป็นวิธีการคำนวณที่พิจารณาเกณฑ์ที่กำหนดลักษณะความเสี่ยงของความล้มเหลวของหม้อแปลงไฟฟ้า ในส่วนนี้เน้นการประเมินสภาพโดยอ้างอิงจากการวิจัยในอดีตด้วยพารามิเตอร์สูงสุดถึง 24 พารามิเตอร์ [4] อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์จำนวนมากมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน บทความนี้จึงเลือกพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการประเมินสภาพการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะมีการประเมินค่าพารามิเตอร์เพียง 10 ค่า ได้แก่ DGA, Power Factor, Oil Quality, Furan หรือ Age, turn ratio, Leakage reactance, Winding resistance, Core-to-ground, DGA of LTC และ Load history โดยพารามิเตอร์ทั้ง 10 ตัวนี้เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีความสำคัญและมีการกำหนดค่าไว้ตามมาตรฐานอย่างชัดเจน ตัวแปรอื่นๆที่ตัดออกไป เพราะเป็นค่าที่ไม่สามารถทดสอบได้อย่างเป็นรูปธรรมหรือมีค่าบ่งชี้ที่ชัดเจน เริ่มต้นด้วยการประเมินทางเคมี

3.1.1.1 Dissolved Gas Analysis (DGA)

การทดสอบเชิงวิเคราะห์น้ำมันเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือและมีประโยชน์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของฉนวนโดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซที่เกิดจากความผิดพลาดทางความร้อน[3] การก่อตัวของก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิซึ่งอาจก่อตัวที่อุณหภูมิต่ำโดยก๊าซ H_2 , CH_4 เริ่มก่อตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส, C_2H_6 เริ่มก่อตัวที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส, C_2H_4 เริ่มก่อตัวที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูง C_2H_2 จะเริ่มก่อตัวที่ 500 องศาเซลเซียส (ฮีตสโปกต์) หรือ 700 องศาเซลเซียส (อาร์กภายใน) [21] และจากการเสื่อมสภาพของกระดาษฉนวน CO และ CO_2 จะก่อตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส [6] เนื่องจากปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้น จึงเป็นข้อบ่งชี้ที่ดีมากถึงความเสื่อมหรือความผิดปกติภายในหม้อแปลงไฟฟ้า DGA เป็นวิธีการที่มีประโยชน์และสามารถใช้ได้จริงวิธีหนึ่ง ซึ่งการทดสอบใช้ IEEE C57.104 [22] การประเมินประสิทธิภาพใช้สมการที่ 3.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของน้ำมัน ผลการประเมินประสิทธิภาพแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 จากสมการค่า W_i หรือตัวคุณน้ำหนัก และ S_i ค่าต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.5

$$DGAF = \frac{\sum_{i=1}^7 S_i W_i}{\sum_{i=1}^7 W_i} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. 4 การให้คะแนนหม้อแปลงตามค่า DGAF [3]

Rating Code	สภาพ	ค่าอธิบาย
A	ดี	DGAF < 1.2
B	ยอมรับได้	$1.2 \leq DGAF \leq 1.5$
C	ต้องระวัง	$1.5 \leq DGAF \leq 2$
D	แย่มาก	$2 \leq DGAF \leq 3$
E	แย่มาก	$DGAF \geq 3$

ตารางที่ 3. 5 เกณฑ์การให้คะแนนและน้ำหนักสำหรับก๊าซ [3]

ก๊าซ	คะแนน (S_i)						W_i
	1	2	3	4	5	6	
H ₂	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	> 700	2
CH ₄	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	> 600	3
C ₂ H ₆	≤ 65	65-80	80-100	100-120	120-150	> 150	3
C ₂ H ₄	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	> 200	3
C ₂ H ₂	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	> 80	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	> 1400	1
CO ₂	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1

3.1.1.2 คุณภาพน้ำมัน (Oil quality)

นอกจากการทดสอบ DGA แล้ว โครงสร้างอื่นๆ ยังสามารถประเมินประสิทธิภาพของน้ำมันหม้อแปลงได้ ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทางเคมีหรือการทดสอบทางกายภาพ เช่น ปริมาณน้ำและออกซิเจน, แรงตึงผิว, ดัชนีความเป็นกรด, ความเป็นฉนวน, สี ค่าเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามขนาดของหม้อแปลงและอื่นๆ [5] มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ASTM D1553, ASTM D971, ASTM D974, ASTM D924, ASTM D1816, ASTM D1500 ในการทดสอบตามลำดับ [4] สามารถหาปัจจัยคุณภาพน้ำมัน (OQF) ได้จากสมการที่ 3.3 โดยใช้ค่าจากตารางที่ 3.6 เพื่อคำนวณ

$$OQF = \frac{\sum_{i=1}^5 S_i \times W_i}{\sum_{i=1}^5 W_i} \quad (3.3)$$

S_i และ W_i เป็นคะแนนจากการประเมินและปัจจัยการถ่วงน้ำหนักตามลำดับแสดงในตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. 6 การประเมินค่าพารามิเตอร์น้ำมันฉนวนตาม IEEE C57.106-2006 [4].

Size / U_n	≤ 69 kV	69 kV $< U_n \leq$ 230 kV	230 kV $\leq U_n$	Score (S_i)
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1
	35-45	47-52	50-60	2
	30-35	35-47	40-50	3
	≤ 30	35-47	40-50	4
Interfacial tension (dyne/cm)	≥ 25	≥ 30	≤ 40	1
	20-25	23-30	25-32	2
	15-20	18-23	20-25	3
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1
	0.05-0.1	0.04-0.4	0.07-0.1	2
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1
	30-35	20-25	15-20	2
	35-40	25-30	20-25	3
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4
Oil color	≤ 15			1
	1.5-2.0			2
	2.0-2.5			3
	≥ 2.5			4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. 7 คะแนนการทดสอบคุณภาพน้ำมัน [4].

Rating Code	สภาพ	ค่าอธิบาย
A	ดี	$OQF < 1.2$
B	ยอมรับได้	$1.2 \leq OQF < 1.5$
C	ต้องระวัง	$1.5 \leq OQF < 2$
D	แย่มาก	$2 \leq OQF < 3$
E	แย่มาก	$OQF \geq 3$

3.1.1.3 สารประกอบฟูรานิก (Furanic compound)

เป็นสารที่เกิดขึ้นโดยการย่อยสลายเซลล์ของฉนวนกระดาษ ซึ่งแสดงอายุการใช้งานที่เหลือของหม้อแปลงไฟฟ้าตาม IEC 61198 [23] การวิเคราะห์ Furan เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่สะดวกกว่าการวัดโดยตรงบนฉนวนกระดาษ [3] Furan มีห้าประเภท แต่ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ 2-furaldehyde (2FAL) เพราะเป็นประเภทที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเซลล์มากที่สุด การทดสอบนี้ใช้ไม่ได้เมื่อมีการเปลี่ยนน้ำมันหม้อแปลงแล้ว เนื่องจากจะไม่ให้ค่าที่แท้จริง ทั้งนี้สามารถใช้อายุของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเกณฑ์ได้ เกณฑ์การให้คะแนนแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3. 8 คะแนนการวิเคราะห์สารประกอบฟูรานิก [3].

Rating Code	Furaldehyde [ppm]	จำนวนปี
A	0-0.1	น้อยกว่า 20
B	0.1-0.5	20-40
C	0.5-1	40-60
D	1.5	มากกว่า 60
E	>5	-

ในการทดสอบ furan มักใช้เมื่อพบว่าหม้อแปลงมีค่า CO หรือ CO₂ สูง และใช้สำหรับหม้อแปลงที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี จากการทดสอบข้อมูลมากกว่า 30,000 ค่าที่ได้มีการทดสอบในอดีต แสดงให้เห็นว่าข้อมูล furan ไม่สัมพันธ์กับอายุของหม้อแปลงในตารางที่ 3.8 ดังนั้นการประเมินสารประกอบฟูรานิกจึงมีความสำคัญลดลงและสามารถเอาออกจากการประเมินได้เมื่อมีกรณีที่ยากสำหรับการทดสอบในนอกสถานที่

3.1.1.4 Tap Changer

การทดสอบ DGA ของ Load Tap Changer เป็นอีกประเด็นสำคัญที่ควรวิเคราะห์ จาก [1] จะเห็นว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นเกิดจาก LTC เอง LTC แบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับการใช้ แต่ละประเภทจะมีผลการให้คะแนนที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 3.9 ตารางที่ 3.4 สามารถใช้สำหรับการให้คะแนน DGAF

ตารางที่ 3.9 การจัดอันดับของ LTC ตาม DGA [3]

	Score (S _i)					W _i
	Gas	1	2	3	4	
Vacuum LTC	CH ₄	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3
	C ₂ H ₆	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3
	C ₂ H ₄	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4
	C ₂ H ₂	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5
Resistive LTC	CH ₄	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3
	C ₂ H ₆	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3
	C ₂ H ₄	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5
	C ₂ H ₂	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH ₄	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3
	C ₂ H ₆	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3
	C ₂ H ₄	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	5
	C ₂ H ₂	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3
Reactive LTC (selector comp.)	CH ₄	< 50	50-150	150-250	≥ 700	3
	C ₂ H ₆	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3
	C ₂ H ₄	< 10	100-200	200-500	≥ 500	5
	C ₂ H ₂	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3

3.1.1.5 Power factor

เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบสภาพของหม้อแปลงและบุชชิ่งจากการสำรวจหม้อแปลงไฟฟ้าเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ JMCC ในปี 2544-2557 พบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดจากบุชชิ่งสูงถึง 23.41 เปอร์เซ็นต์ ทำให้บุชชิ่งเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ควรให้ความสนใจ การทดสอบตัวประกอบกำลังคือการทดสอบเพื่อตรวจสอบสภาพของฉนวนเก็บประจุระหว่างขดลวดต่างๆ และวัสดุที่ใช้ร่วมกัน ทำได้โดยการวัดความจุฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังที่แรงดันไฟฟ้าสูงถึง 10 kV (ที่ 50 หรือ 60 Hz) จุดตรวจวัดคือขดลวดแรงสูง-กราวด์, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดแรงสูง-ขดลวดแรงต่ำ, ขดลวดแรงดันต่ำ-กราวด์ ขดลวดแรงสูง tertiary-กราวด์, ขดลวดแรงสูง tertiary-ขดลวดแรงต่ำ tertiary และขดลวดแรงต่ำ tertiary-กราวด์ [5] ค่า PF_{max} ถูกกำหนดไว้ในตารางที่ 3.11

การประเมินทางไฟฟ้าเป็นหนึ่งในวิธีการทดสอบที่สามารถประเมินสถานะของแกนเหล็กและขดลวดภายในโดยไม่ต้องเปิดถัง ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้งานได้จริง และลดเวลาและค่าใช้จ่ายโดย [1] แสดงว่าผลของความผิดพลาดทางไฟฟ้าสูงถึง 29% จึงมีการทดสอบ Turn ratio, Leakage reactance, core to ground resistance และ winding resistance ซึ่งสามารถใช้ตารางที่ 3.10 ในการให้คะแนน

ตารางที่ 3. 10 การจัดอันดับการทดสอบ Turn ratio, Leakage reactance, core to ground resistance และ winding resistance [4]

Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	Leakage reactance deviation [%]	Core-to-ground resistance	Winding resistance deviation [%]
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	$\Delta X < 0.5\%$	$R > 1000$	$\Delta R < 1\%$
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$	$100 \leq R < 1000$	$1\% \leq \Delta R < 2\%$
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$	$1\% \leq \Delta X < 2\%$	$10 \leq R < 100$	$2\% \leq \Delta R < 3\%$
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$	$2\% \leq \Delta X < 3\%$	$1 \leq R < 10$	$3\% \leq \Delta R < 5\%$
E	$\Delta TR \geq 2\%$	$\Delta X \geq 5\%$	$R < 1$	$\Delta R \geq 5\%$

ตารางที่ 3. 11 การให้คะแนนตัวประกอบกำลัง [5]

Rating Code	ตัวประกอบกำลังสูงสุด [%]
A	$PF_{max} < 0.5$
B	$0.5 PF_{max} < 1$
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$
E	$PF_{max} \geq 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.6 Load History

ในทางปฏิบัติแล้ว สามารถใช้ Peak Load เดือนที่บันทึกไว้เพื่อสนับสนุนประวัติโหลดในการคำนวณ ประวัติการใช้งานโหลดโหลดแบ่งตามห้ากลุ่มตามรายการดังต่อไปนี้

N0: ค่า S_i/S_B มีค่าน้อยกว่า 0.6 $I = 0$

N1: ค่า S_i/S_B มีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 และ 1 $I = 1$

N2: ค่า S_i/S_B มีค่าอยู่ระหว่าง 1 และ 1.3 $I = 2$

N3: ค่า S_i/S_B มีค่าอยู่ระหว่าง 1.3 และ 1.5 $I = 3$

N4: ค่า S_i/S_B มีค่ามากกว่า 1.5 $I = 4$

โดยที่ S_i คือโหลดสูงสุดรายเดือนและ S_B คือโหลดพิกัดของหม้อแปลง LF คือ Load factor condition ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.4

$$LF = \frac{\sum_{i=0}^4 (4-i)N_i}{\sum_{i=0}^4 N_i} \quad (3.4)$$

ตารางที่ 3. 12 การให้คะแนนค่า Load history [24]

Rating	Load factor	Condition
4	$LF \geq 3.5$	ดี
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก

3.1.2 GSI (Global Strategic Impact)

ค่าของตัวเลข GSI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลที่ตามมาของความล้มเหลวของหม้อแปลงไฟฟ้า ยิ่งค่านี้สูงเท่าใด ผลกระทบก็จะยิ่งมากขึ้น ตามคู่มือเศรษฐศาสตร์การจัดการหม้อแปลง CIGRE WG A2.20[2] ผลกระทบแบ่งเป็น 5 กรณี แต่ในบทความนี้เราจะนำเฉพาะกรณีที่เกิดความเสียหายมากเท่านั้น โดยเน้นที่ความปลอดภัยในชีวิตเป็นหลัก ตลอดจนผลกระทบด้านเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้อง , รวมทั้ง. ความปลอดภัยของทรัพย์สินและบุคคล และระดับมลภาวะ [25]

ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ความสามารถในการแข่งขัน ค่า GSI หาได้จากสมการที่ 3.5

$$GSI = \frac{\sum_{n=1}^4 Score_n}{3N} \times 100\% \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

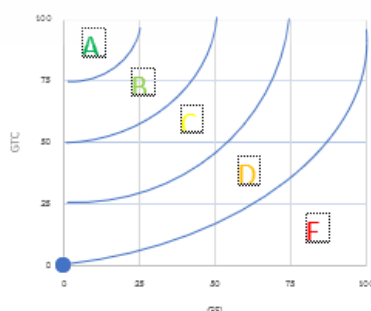
โดยที่ n คือค่าพารามิเตอร์ใน GSI factor และ N คือจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมดใน GSI factor

ตารางที่ 3. 13 การให้คะแนน GSI

Score	GSI factor (n)			
	ความปลอดภัยของทรัพย์สินและบุคคล	ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า	ความสามารถในการแข่งขัน	ระดับมลภาวะ
0	ไม่ใช่ชุมชน	ที่อยู่อาศัยทั่วไป	ที่อยู่อาศัยทั่วไป	เขตปลอดโรงงาน
1	-	-	-	เขตโรงงานที่ไม่มี การปล่อยควัน
2	ในชุมชน/เสี่ยงต่อการระเบิด	สนับสนุนโรงพยาบาล/ฐานข้อมูล	ต้นทุนการ สร้างใหม่/ การสูญเสียการผลิต/ ต้นทุนที่ไม่สามารถควบคุม	เขตโรงงานแออัด
3	-	-	-	เขตโรงงานแออัด และอยู่ติดทะเล

3.2 เมทริกซ์ความเสี่ยง (Risk matrix)

เมทริกซ์ความเสี่ยงเป็นเมทริกซ์รวมที่ใช้ค่า GTC และ GSI โดยประมาณเพื่อวางแผนจุด ซึ่งในกราฟนี้แสดงการเปรียบเทียบที่แสดงว่าหม้อแปลงมีค่า GTC เหมือนกัน เราจะเห็นที่หม้อแปลงบำรุงรักษาที่มีค่า GSI สูงกว่าจากกราฟ อาจอนุมานได้ว่าหม้อแปลงที่ควรซ่อมเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีระยะหรืออยู่ในโซน F มากที่และลดความสำคัญลงตาม D, C, B, A จากลำดับ โดยค่านั้นเกิดจากกระบวนการผลของตารางคำนวณหรือตาราง Risk Matrix โดยในตารางนี้นอกจากจะเป็นการสรุปผลการประเมินแล้วยังยังมีการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่มีความน่าเป็นห่วง หรือ แจ้งเลยว่าหม้อแปลงตัวนี้หมดอายุการใช้งานแล้ว



รูปที่ 3. 1 risk matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1.1 หม้อแปลงตัวที่ 1 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA

4.1.1.1 ผลการประเมินค่า DGA ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า DGA ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1 ตามรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 1 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO _{2i}
	4	13	10	22	0	102	1274

Scoring and Weight Factors for gas Levels

Gas	Score (Si)						Wf	คะแนน	Wsi
	1	2	3	4	5	6			
H ₂	≤100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	1	2
CH ₄	≤75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	1	3
C ₂ H ₆	≤65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	1	3
C ₂ H ₄	≤50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	1	3
C ₂ H ₂	≤3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	1	1
CO ₂	≤2500	≤3000	≤4000	≤5000	≤7000	>7000	1	1	1
DGAF	1								

รูปที่ 4. 1 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 1

Transformer Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	DGAF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 2 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 1

4.1.1.2 ผลการประเมินค่า Oil quality ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Oil quality ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.2 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า OQF คือ 1 ตามรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ Oil quality

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 2 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter				
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color
	76.3	33	0.03	2.9	1.3

Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006

Size / Un	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(Si)	wi	คะแนน	WISI
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3	1	3
	35-45	47-52	50-60	2			
	30-35	35-47	40-50	3			
	≤ 30	35-47	40-50	4			
Interfacial tension (dyne/cm)	≥ 25	≥ 30	≤ 32	1	2	1	2
	20-25	23-30	25-32	2			
	15-20	18-23	20-25	3			
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4			
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	1	1
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2			
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3			
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4			
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4
	30-35	20-25	15-20	2			
	35-40	25-30	20-25	3			
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4			
Oil color	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5	1	2	1	2
	1.5-2.0	1.5-2.0	1.5-2.0	2			
	2.0-2.5	2.0-2.5	2.0-2.5	3			
	≥ 2.5	≥ 2.5	≥ 2.5	4			
OQF =							1

รูปที่ 4. 3 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่า Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 1

Rating of oil quality tests

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	OQF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ OQF < 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ OQF < 2	0
D	Poor	2 ≤ OQF < 3	0
E	Very poor	OQF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 4 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 1

4.1.1.3 ผลการประเมินค่า Furan content ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Furan ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.3 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Furan คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 3 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Furaldehyde
	-
อายุหม้อแปลง	25

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
Score			4
normal			

รูปที่ 4. 5 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ furan หม้อแปลงตัวที่ 1

4.1.1.4 ผลการประเมินค่า Power factor ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Power factor ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.4 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4. 4 ค่า Powerfactor ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	PF _{max}
	0.48

Power factor rating

Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน
A	PFmax < 0.5	4
B	0.5 PFmax < 1	
C	1 ≤ PFmax < 1.5	
D	1.5 ≤ PFmax < 2	
E	PFmax ≥ 2	

รูปที่ 4. 6 รูปจากโปรแกรมคำนวณ Rating ของการทดสอบ Power factor หม้อแปลงตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.5 ผลการประเมินค่า Turn ratio ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Turn ratio ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.5 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Turn ratio คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4. 5 ค่า Turn ratio ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta TR\%$
ทดสอบ	0.19

Turn ratio rating

Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$	
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$	
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$	
E	$\Delta TR \geq 2\%$	

รูปที่ 4. 7 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Turn ratio หม้อแปลงตัวที่ 1

4.1.1.6 ผลการประเมินค่า Leakage reactance ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Leakage reactance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.6 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Leakage reactance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4. 6 ค่า Leakage reactance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta X\%$
ทดสอบ	0.78

Leakage reactance rating

Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta X < 0.5\%$	3
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$	
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$	
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$	
E	$\Delta X \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 8 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Leakage reactance

4.1.1.7 ผลการประเมินค่า Core to ground resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Core to ground resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.7 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Core to ground resistance คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4. 7 ค่า Core to ground resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	R(Mohm)
ทดสอบ	1,200

รูปที่ 4. 9 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Core to ground resistance

Core-to-ground resistance rating		
Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน
A	$R > 1000$	4
B	$100 \leq R < 1000$	
C	$10 \leq R < 100$	
D	$1 \leq R < 10$	
E	$R < 1$	

4.1.1.8 ผลการประเมินค่า Winding resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Winding resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.8 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Winding resistance คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4. 8 ค่า Winding resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta R\%$
ทดสอบ	0.56

Winding resistance rating		
Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta R < 1\%$	4
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$	
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$	
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$	
E	$\Delta R \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 10 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Winding resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.9 ผลการประเมินค่า DGA LTC ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า DGA ของ LTC ที่ทดสอบได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.9 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1 ตามรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 9 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ			
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
	11	8	20	0

Rating of the LTC Based on DGA								
	Gas	Score (Si)				Wi	คะแนน	Wisi
		1	2	3	4			
Vacuum LTC	CH ₄	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	1	3
	C ₂ H ₆	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C ₂ H ₄	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	1	4
	C ₂ H ₂	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Resistive LTC	CH ₄	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C ₂ H ₆	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C ₂ H ₄	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C ₂ H ₂	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH ₄	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0
	C ₂ H ₆	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0
	C ₂ H ₄	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C ₂ H ₂	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH ₄	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C ₂ H ₆	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C ₂ H ₄	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C ₂ H ₂	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF =								1

รูปที่ 4. 11 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC

Transformer LTC Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	คะแนน
A	Good	DGAF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 12 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA LTC

4.1.1.10 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 1

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 1 ค่า Load history ที่บันทึกได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.10 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า LF คือ 3 ตามรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 แสดงค่า Rating score ของผล Load history

ตารางที่ 4. 10 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 1

Test transformer	S_i : Monthly Peak load (MVA)	S_b : Rate Load of transformer (MVA)	S_i/S_b (N)
1	40	50	0.8

LF Score

Rating Code	S_i/S_b	Ni
A	< 0.6	0
B	0.6 < 1	1
C	1 < 1.3	0
D	1.3 < 1.5	0
E	> 1.5	0
Score LF		3

รูปที่ 4. 13 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของค่า Load history

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF \geq 3.5	ดี	0
3	2.5 \leq LF < 3.5	ยอมรับได้	3
2	1.5 \leq LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 \leq LF < 1.5	แย	0
0	LF \leq 0.5	แย่มาก	0
Rating			3
normal			

รูปที่ 4. 14 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ LF

score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	hight density Industry	
3				hight density Industry+sea	
คะแนน	0	0	0	2	0.166666667 16.66666667

รูปที่ 4. 15 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหา Rating ของ GSI

หลังจากที่ทำการประเมินพารามิเตอร์ทั้งหมดทั้งด้าน GTC และ GSI ผ่านโปรแกรมแล้ว ผลที่ได้จากการประเมินจะถูกสรุปอยู่ในรูปที่ 4.16 และ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GTC Parameter				GTCF 0.915441176 91.54411765
Component	K	Condition Rating	KISI	
DGA	10	4	40	
Power Factor	10	4	40	
Oil Quality	6	4	24	
Furan or Age	5	4	20	
Turn ratio	5	3	15	
Leakage reactance	8	3	24	
Winding	6	4	24	
Core-to-ground	2	4	8	
DGA of LTC	6	4	24	
Load history	10	3	30	

รูปที่ 4. 16 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC

Global Strategic Impact		
GSI Index	Description	Result
86-100	Very high risk	16.66666667
71-85	High risk	
51-70	Medium risk	
31-50	Low risk	
0-30	Very low risk	

รูปที่ 4. 17 รูปจากโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI

4.1.2 หม้อแปลงตัวที่ 2 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA

4.1.2.1 ผลการประเมินค่า DGA ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า DGA ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.11 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1 ตามรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 11 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO _{2i}
	22	15	30	29	0	220	1734

Scoring and Weight Factors for gas Levels

Gas	Score (Si)						Wi	คะแนน	Wisi
	1	2	3	4	5	6			
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	1	2
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	1	3
C2H6	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	1	3
C2H4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	1	3
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	1	1
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	1	1
DGAF	1								

รูปที่ 4. 18 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transformer Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	DGAF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 19 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.2 ผลการประเมินค่า Oil quality ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Oil quality ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.12 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า OQF คือ 1 ตามรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ Oil quality

ตารางที่ 4. 12 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter				
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color
	91	35	0.03	3.06	1.5

Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006

Size / Un	≤ 69 kV	69 kV < Un ≤ 230 kV	230 kV ≤ Un	Score(S)	wi	คะแนน	WIS
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3	1	3
	35-45	47-52	50-60	2			
	30-35	35-47	40-50	3			
	≤ 30	35-47	40-50	4			
Interfacial tension (dyne/cm)	≥ 25	≥ 30	≤ 32	1	2	1	2
	20-25	23-30	25-32	2			
	15-20	18-23	20-25	3			
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	1	1
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2			
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3			
Water content (ppm)	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4	4	1	4
	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1			
	30-35	20-25	15-20	2			
	35-40	25-30	20-25	3			
Oil color		≤ 1.5		1	2	1	2
		1.5-2.0		2			
		2.0-2.5		3			
		≥ 2.5		4			
OQF =							1

รูปที่ 4. 20 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rating of oil quality tests

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	QQF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ QQF < 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ QQF < 2	0
D	Poor	2 ≤ QQF < 3	0
E	Very poor	QQF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 21 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.3 ผลการประเมินค่า Furan content ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Furan ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.13 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Furan คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4. 13 ค่า QQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Furaldehyde
	-
อายุหม้อแปลง	5

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
		Score	4
		normal	

รูปที่ 4. 22 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ furan หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.4 ผลการประเมินค่า Power factor ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Power factor ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.14 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 14 ค่า Power factor ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	PF_{max}
ทดสอบ	0.47

Power factor rating

Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน
A	$PF_{max} < 0.5$	4
B	$0.5 PF_{max} < 1$	
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$	
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$	
E	$PF_{max} \geq 2$	

รูปที่ 4. 23 รูปจากตารางคำนวณ Rating ของการทดสอบ Power factor หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.5 ผลการประเมินค่า Turn ratio ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Turn ratio ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.15 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Turn ratio คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4. 15 ค่า Turn ratio ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta TR\%$
ทดสอบ	0.19

Turn ratio rating

Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$	
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$	
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$	
E	$\Delta TR \geq 2\%$	

รูปที่ 4. 24 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Turn ratio หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.6 ผลการประเมินค่า Leakage reactance ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Leakage reactance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.16 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Leakage reactance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4. 16 ค่า Leakage reactance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta X\%$
ทดสอบ	0.74

Leakage reactance rating

Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta X < 0.5\%$	3
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$	
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$	
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$	
E	$\Delta X \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 25 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Leakage reactance หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.7 ผลการประเมินค่า Core to ground resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Core to ground resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.17 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Core to ground resistance คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.26

ตารางที่ 4. 17 ค่า Core to ground resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	R(Mohm)
ทดสอบ	2,298

Core-to-ground resistance rating

Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน
A	$R > 1000$	4
B	$100 \leq R < 1000$	
C	$10 \leq R < 100$	
D	$1 \leq R < 10$	
E	$R < 1$	

รูปที่ 4. 26 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Core to ground resistance หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.8 ผลการประเมินค่า Winding resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Winding resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.18 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Winding resistance คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 18 ค่า Winding resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta R\%$
ทดสอบ	0.43

Winding resistance rating

Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta R < 1\%$	4
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$	
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$	
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$	
E	$\Delta R \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 27 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Winding resistance หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.9 ผลการประเมินค่า DGA LTC ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า DGA ของ LTC ที่ทดสอบได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.19 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1 ตามรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 19 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ			
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
	27	8	33	0

Rating of the LTC Based on DGA

	Gas	Score (Si)				Wi	คะแนน	Wisi
		1	2	3	4			
Vacuum LTC	CH ₄	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	1	3
	C ₂ H ₆	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C ₂ H ₄	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	1	4
	C ₂ H ₂	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Resistive LTC	CH ₄	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C ₂ H ₆	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C ₂ H ₄	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C ₂ H ₂	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH ₄	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0
	C ₂ H ₆	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0
	C ₂ H ₄	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C ₂ H ₂	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH ₄	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C ₂ H ₆	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C ₂ H ₄	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C ₂ H ₂	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF =		1						

รูปที่ 4. 28 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transformer LTC Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	คะแนน
A	Good	DGAF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 29 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.2.10 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 2

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 2 ค่า Load history ที่บันทึกได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.20 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า LF คือ 3 ตามรูปที่ 4.30 และ 4.31 แสดงค่า Rating score ของผล Load history

ตารางที่ 4. 20 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 2

Test transformer	S_i : Monthly Peak load (MVA)	S_b : Rate Load of transformer (MVA)	S_i/S_b (N)
1	35	50	0.7

LF Score

Rating Code	S_i/S_b	N_i
A	< 0.6	0
B	0.6 < 1	1
C	1 < 1.3	0
D	1.3 < 1.5	0
E	> 1.5	0
	Score LF	3

รูปที่ 4. 30 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของค่า Load history หม้อแปลงตัวที่ 2

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF ≥ 3.5	ดี	0
3	2.5 ≤ LF < 3.5	ยอมรับได้	3
2	1.5 ≤ LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 ≤ LF < 1.5	แย่มาก	0
0	LF ≤ 0.5	แย่มาก	0
	Rating		3
normal			

รูปที่ 4. 31 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.11 ค่า GSI ของหม้อแปลงตัวที่ 2

Rating of Global Strategic Impact				
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level
0	Not community	General residence	General residence	Without industry
1				Industry not smoke
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density Industry
3				high density Industry+sea
คะแนน	0	0	2	1
				0.25
				25

รูปที่ 4. 32 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 2

หลังจากที่ทำการประเมินพารามิเตอร์ทั้งหมดทั้งด้าน GTC และ GSI ผ่านโปรแกรมแล้ว ผลที่ได้จากการประเมินจะถูกสรุปอยู่ในรูปที่ 4.33 และ 4.34

GTC Parameter					
Component	K	Condition Rating	KISI	GTCF	
DGA	10	4	40	0.915441176	
Power Factor	10	4	40		
Oil Quality	6	4	24		
Furan or Age	5	4	20		
Turn ratio	5	3	15		
Leakage reactance	8	3	24		
Winding	6	4	24		
Core-to-ground	2	4	8		
DGA of LTC	6	4	24		
Load history	10	3	30		
					91.54411765

รูปที่ 4. 33 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 2

Global Strategic Impact		
GSI Index	Description	Result
86-100	Very high risk	25
71-85	High risk	
51-70	Medium risk	
31-50	Low risk	
0-30	Very low risk	

รูปที่ 4. 34 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 2

4.1.3 หม้อแปลงตัวที่ 3 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA

4.1.3.1 ผลการประเมินค่า DGA ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า DGA ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.21 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1.72 ตามรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 21 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO _{2i}
	40	112	32	90	0.9	749	3300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scoring and Weight Factors for gas Levels

Gas	Score (Si)						Wi	คะแนน	Wisi
	1	2	3	4	5	6			
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	1	2
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	2	6
C2H6	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	1	3
C2H4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	3	9
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	3	3
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	3	3
DGAF	1.722222222								

รูปที่ 4. 35 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 3

Transformer Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	DGAF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	2
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 36 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.2 ผลการประเมินค่า Oil quality ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Oil quality ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.22 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า OQF คือ 1.66 ตามรูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ Oil quality

ตารางที่ 4. 22 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter				
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color
	52	30	0.12	14.9	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006

Size / Un	≤ 69 kV	69 kV < Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(Si)	wi	คะแนน	WISI
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3	1	3
	35-45	47-52	50-60	2			
	30-35	35-47	40-50	3			
	≤ 30	35-47	40-50	4			
Interfacial tension (dyne/cm)	≥ 25	≥ 30	≤ 32	1	2	1	2
	20-25	23-30	25-32	2			
	15-20	18-23	20-25	3			
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4			
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	3	3
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2			
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3			
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4			
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4
	30-35	20-25	15-20	2			
	35-40	25-30	20-25	3			
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4			
Oil color		≤ 1.5		1	2	4	8
		1.5-2.0		2			
		2.0-2.5		3			
		≥ 2.5		4			
OQF =	1.66666667						

รูปที่ 4. 37 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่า Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 3

Rating of oil quality tests

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	OQF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ OQF < 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ OQF < 2	2
D	Poor	2 ≤ OQF < 3	0
E	Very poor	OQF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 38 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.3 ผลการประเมินค่า Furan content ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Furan ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.23 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Furan คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.39

ตารางที่ 4. 23 ค่า Furanic ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Furaldehyde
	-
อายุหม้อแปลง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
Score			4
normal			

รูปที่ 4. 39 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ furan หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.4 ผลการประเมินค่า Power factor ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Power factor ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.24 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.40

ตารางที่ 4. 24 ค่า Power factor ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	PFmax
ทดสอบ	0.51

Power factor rating

Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน
A	PFmax < 0.5	3
B	0.5 PFmax < 1	
C	1 ≤ PFmax < 1.5	
D	1.5 ≤ PFmax < 2	
E	PFmax ≥ 2	

รูปที่ 4. 40 รูปจากตารางคำนวณ Rating ของการทดสอบ Power factor หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.5 ผลการประเมินค่า Turn ratio ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Turn ratio ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.25 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Turn ratio คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.41

ตารางที่ 4. 25 ค่า Turn ratio ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta TR\%$
ทดสอบ	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Turn ratio rating

Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$	
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$	
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$	
E	$\Delta TR \geq 2\%$	

รูปที่ 4. 41 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Turn ratio หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.6 ผลการประเมินค่า Leakage reactance ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Leakage reactance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.26 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Leakage reactance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.42

ตารางที่ 4. 26 ค่า Leakage reactance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta X\%$
ทดสอบ	0.87

Leakage reactance rating

Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta X < 0.5\%$	3
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$	
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$	
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$	
E	$\Delta X \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 42 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Leakage reactance หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.7 ผลการประเมินค่า Core to ground resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Core to ground resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.27 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Core to ground resistance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.43

ตารางที่ 4. 27 ค่า Core to ground resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	R
ทดสอบ	920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Core-to-ground resistance rating

Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน
A	$R > 1000$	3
B	$100 \leq R < 1000$	
C	$10 \leq R < 100$	
D	$1 \leq R < 10$	
E	$R < 1$	

รูปที่ 4. 43 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Core to ground resistance หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.8 ผลการประเมินค่า Winding resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Winding resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.28 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Winding resistance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.44

ตารางที่ 4. 28 ค่า Winding resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	$\Delta R\%$
	1.74

Winding resistance rating

Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta R < 1\%$	3
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$	
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$	
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$	
E	$\Delta R \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 44 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Winding resistance หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.9 ผลการประเมินค่า DGA LTC ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า DGA ของ LTC ที่ทดสอบได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.29 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1.86 ตามรูปที่ 4.45 และรูปที่ 4.46 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 29 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ			
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
	111	18	65	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rating of the LTC Based on DGA

		Score (Si)						คะแนน	Wisi
	Gas	1	2	3	4	Wi			
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	4	12	
	C2H6	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3	
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	2	8	
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5	
Resistive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0	
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0	
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0	
	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0	
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH4	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0	
	C2H6	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0	
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0	
	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0	
Reactive LTC (selector comp.)	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0	
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0	
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0	
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0	
DGAF =		1.866666667							

รูปที่ 4. 45 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 3

Transformer LTC Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	คะแนน
A	Good	DGAF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	2
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 46 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.10 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 3

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 3 ค่า Load history ที่บันทึกได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.30 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า LF คือ 3 ตามรูปที่ 4.47 และ 4.48 แสดงค่า Rating score ของผล Load history

ตารางที่ 4. 30 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 3

Test transformer	S_i : Monthly Peak load (MVA)	S_b : Rate Load of transformer (MVA)	S_i/S_b (N)
1	40	50	0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF Score

Rating Code	Si/Sb	Ni
A	< 0.6	0
B	0.6 < 1	1
C	1 < 1.3	0
D	1.3 < 1.5	0
E	>1.5	0
Score LF		3

รูปที่ 4. 47 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของค่า Load history หม้อแปลงตัวที่ 3

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF ≥ 3.5	ดี	0
3	2.5 ≤ LF < 3.5	ยอมรับได้	3
2	1.5 ≤ LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 ≤ LF < 1.5	แย	0
0	LF ≤ 0.5	แย่มาก	0
Rating			3
			normal

รูปที่ 4. 48 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.3.11 ค่า GSI ของหม้อแปลงตัวที่ 3

Rating of Global Strategic Impact					GSI
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density Industry	
3				high density Industry+sea	
คะแนน	0	0	2	2	0.333333333 33.33333333

รูปที่ 4. 49 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 3

หลังจากที่ทำการประเมินพารามิเตอร์ทั้งหมดทั้งด้าน GTC และ GSI ผ่านโปรแกรมแล้ว ผลที่ได้จากการประเมินจะถูกสรุปอยู่ในรูปที่ 4.50 และ 4.51

GTC Parameter				GTCF
Component	K	Condition Rating	KISI	
DGA	10	2	20	
Power Factor	10	3	30	
Oil Quality	6	0	0	
Furan or Age	5	4	20	
Turn ratio	5	3	15	
Leakage reactance	8	3	24	
Winding	6	3	18	
Core-to-ground	2	3	6	
DGA of LTC	6	2	12	
Load history	10	3	30	
				0.643382353 64.33823529

รูปที่ 4. 50 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Strategic Impact

GSI Index	Description	Result
86-100	Very high risk	33.33333333
71-85	High risk	
51-70	Medium risk	
31-50	Low risk	
0-30	Very low risk	

รูปที่ 4. 51 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 3

4.1.4 หม้อแปลงตัวที่ 4 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA

4.1.4.1 ผลการประเมินค่า DGA ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า DGA ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.31 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1.33 ตามรูปที่ 4.52 และรูปที่ 4.53 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 31 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO _{2i}
	161	4	67	18	0	559	643

Scoring and Weight Factors for gas Levels

Gas	Score (Si)						Wf	คะแนน	WISI
	1	2	3	4	5	6			
H ₂	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	2	4
CH ₄	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	1	3
C ₂ H ₆	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	2	6
C ₂ H ₄	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	1	3
C ₂ H ₂	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	2	2
CO ₂	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	1	1
DGAF	1.333333333								

รูปที่ 4. 52 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 4

Transformer Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	DGAF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	3
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 53 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.2 ผลการประเมินค่า Oil quality ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Oil quality ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.32 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า OQF คือ 1 ตามรูปที่ 4.54 และรูปที่ 4.55 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ Oil quality

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 32 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter				
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color
	68	31	0.016	15	1.3

Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006

Size / Un	≤ 69 kV	69 kV < Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(Si)	wi	คะแนน	Wisi
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3	1	3
	35-45	47-52	50-60	2			
	30-35	35-47	40-50	3			
	≤ 30	35-47	40-50	4			
Interfacial tension (dyne/cm)	≥ 25	≥ 30	≤ 32	1	2	1	2
	20-25	23-30	25-32	2			
	15-20	18-23	20-25	3			
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4			
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	1	1
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2			
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3			
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4			
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4
	30-35	20-25	15-20	2			
	35-40	25-30	20-25	3			
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4			
Oil color		≤ 1.5		1	2	1	2
		1.5-2.0		2			
		2.0-2.5		3			
		≥ 2.5		4			
OQF =							1

รูปที่ 4. 54 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่า Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 4

Rating of oil quality tests

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	OQF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ OQF < 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ OQF < 2	0
D	Poor	2 ≤ OQF < 3	0
E	Very poor	OQF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 55 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.3 ผลการประเมินค่า Furan content ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Furan ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.33 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Furan คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 33 ค่า Furanic ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Furaldehyde
	-
อายุหม้อแปลง	10

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
Score			4
normal			

รูปที่ 4. 56 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ furan หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.4 ผลการประเมินค่า Power factor ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Power factor ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.34 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.57

ตารางที่ 4. 34 ค่า Power factor ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	PF _{max}
	0.47

Power factor rating

Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน
A	PFmax < 0.5	4
B	0.5 PFmax < 1	
C	1 ≤ PFmax < 1.5	
D	1.5 ≤ PFmax < 2	
E	PFmax ≥ 2	

รูปที่ 4. 57 รูปจากตารางคำนวณ Rating ของการทดสอบ Power factor หม้อแปลงตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.5 ผลการประเมินค่า Turn ratio ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Turn ratio ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.35 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Turn ratio คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.58

ตารางที่ 4. 35 ค่า Turn ratio ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta TR\%$
ทดสอบ	0.19

Turn ratio rating

Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$	
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$	
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$	
E	$\Delta TR \geq 2\%$	

รูปที่ 4. 58 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Turn ratio หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.6 ผลการประเมินค่า Leakage reactance ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Leakage reactance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.36 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Leakage reactance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.59

ตารางที่ 4. 36 ค่า Leakage reactance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta X\%$
ทดสอบ	0.81

Leakage reactance rating

Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta X < 0.5\%$	3
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$	
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$	
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$	
E	$\Delta X \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 59 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Leakage reactance หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.7 ผลการประเมินค่า Core to ground resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Core to ground resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.37 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Core to ground resistance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.60

ตารางที่ 4. 37 ค่า Core to ground resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	R
ทดสอบ	780

Core-to-ground resistance rating

Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน
A	$R > 1000$	3
B	$100 \leq R < 1000$	
C	$10 \leq R < 100$	
D	$1 \leq R < 10$	
E	$R < 1$	

รูปที่ 4. 60 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Core to ground resistance หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.8 ผลการประเมินค่า Winding resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Winding resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.38 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Winding resistance คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.61

ตารางที่ 4. 38 ค่า Winding resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta R\%$
ทดสอบ	0.5

Winding resistance rating

Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta R < 1\%$	4
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$	
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$	
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$	
E	$\Delta R \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 61 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Winding resistance หม้อแปลงตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.9 ผลการประเมินค่า DGA LTC ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า DGA ของ LTC ที่ทดสอบได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.39 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 1 ตามรูปที่ 4.62 และรูปที่ 4.63 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 39 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ			
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
	2	1	3	0

Rating of the LTC Based on DGA

	Gas	Score (Si)				Wi	คะแนน	Wisi
		1	2	3	4			
Vacuum LTC	CH ₄	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	1	3
	C ₂ H ₆	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C ₂ H ₄	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	1	4
	C ₂ H ₂	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Resistive LTC	CH ₄	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C ₂ H ₆	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C ₂ H ₄	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C ₂ H ₂	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH ₄	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0
	C ₂ H ₆	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0
	C ₂ H ₄	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C ₂ H ₂	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH ₄	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C ₂ H ₆	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C ₂ H ₄	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C ₂ H ₂	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF =							1	

รูปที่ 4. 62 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 4

Transformer LTC Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	คะแนน
A	Good	DGAF < 1.2	4
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 63 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.10 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 4

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 4 ค่า Load history ที่บันทึกได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.40 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า LF คือ 4 ตามรูปที่ 4.64 และ 4.65 แสดงค่า Rating score ของผล Load history

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. 40 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 4

Test transformer	S_i : Monthly Peak load (MVA)	S_b : Rate Load of transformer (MVA)	S_i/S_b (N)
1	20	50	0.4

LF Score

Rating Code	S_i/S_b	N_i
A	< 0.6	0
B	$0.6 < 1$	0
C	$1 < 1.3$	0
D	$1.3 < 1.5$	0
E	> 1.5	0
Score LF		4

รูปที่ 4. 64 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของค่า Load history หม้อแปลงตัวที่ 4

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	$LF \geq 3.5$	ดี	4
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้	0
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง	0
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย่มาก	0
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก	0
Rating			4
			normal

รูปที่ 4. 65 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.4.11 ค่า GSI ของหม้อแปลงตัวที่ 4

Rating of Global Strategic Impact

score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density Industry	
3				high density Industry+sea	
คะแนน	2	0	0	0	0.166666667
					16.66666667

รูปที่ 4. 66 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 4

หลังจากที่ทำการประเมินพารามิเตอร์ทั้งหมดทั้งด้าน GTC และ GSI ผ่านโปรแกรมแล้ว ผลที่ได้จากการประเมินจะถูกสรุปอยู่ในรูปที่ 4.67 และ 4.68

GTC Parameter

Component	K	Condition Rating	Kisi	GTCF	
DGA	10	3	30	0.849264706	
Power Factor	10	3	30		
Oil Quality	6	4	24		
Furan or Age	5	4	20		
Turn ratio	5	3	15		
Leakage reactance	8	3	24		
Winding	6	3	18		
Core-to-ground	2	3	6		
DGA of LTC	6	4	24		
Load history	10	4	40		
					84.92647059

รูปที่ 4. 67 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Strategic Impact

GSI Index	Description	Result
86-100	Very high risk	16.66666667
71-85	High risk	
51-70	Medium risk	
31-50	Low risk	
0-30	Very low risk	

รูปที่ 4. 68 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 4

4.1.5 หม้อแปลงตัวที่ 5 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV 50 MVA

4.1.5.1 ผลการประเมินค่า DGA ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า DGA ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.41 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 2.66 ตามรูปที่ 4.69 และรูปที่ 4.70 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 41 ค่า DGA ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO _{2i}
	130	89	71	212	2	890	7,700

Scoring and Weight Factors for gas Levels

Gas	Score (Si)						Wi	คะแนน	Wisi
	1	2	3	4	5	6			
H ₂	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	2	4
CH ₄	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	2	6
C ₂ H ₆	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	2	6
C ₂ H ₄	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	6	18
C ₂ H ₂	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	3	3
CO ₂	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	6	6
DGAF	2.666666667								

รูปที่ 4. 69 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF หม้อแปลงตัวที่ 5

Transformer Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	DGAF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	1
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 70 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA หม้อแปลงตัวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.2 ผลการประเมินค่า Oil quality ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Oil quality ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.42 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า OQF คือ 2.33 ตามรูปที่ 4.71 และรูปที่ 4.72 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ Oil quality

ตารางที่ 4. 42 ค่า OQF ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter				
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color
	49.5	22	0.5	18.3	3.6

Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006

Size / Un	≤ 69 kV	69 kV < Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(Si)	wi	คะแนน	WiSi
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3	2	6
	35-45	47-52	50-60	2			
	30-35	35-47	40-50	3			
	≤ 30	35-47	40-50	4			
Interfacial tension (dyne/cm)	≥ 25	≥ 30	≤ 32	1	2	3	6
	20-25	23-30	25-32	2			
	15-20	18-23	20-25	3			
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4			
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	4	4
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2			
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3			
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4			
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4
	30-35	20-25	15-20	2			
	35-40	25-30	20-25	3			
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4			
Oil color		≤ 1.5		1	2	4	8
		1.5-2.0		2			
		2.0-2.5		3			
		≥ 2.5		4			
OQF =	2.333333333						

รูปที่ 4. 71 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 5

Rating of oil quality tests

Rating Code	Condition	Description	Score
A	Good	OQF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ OQF < 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ OQF < 2	0
D	Poor	2 ≤ OQF < 3	1
E	Very poor	OQF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 72 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Oil quality หม้อแปลงตัวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.3 ผลการประเมินค่า Furan content ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Furan ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.43 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Furan คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.73

ตารางที่ 4. 43 ค่า Furanic ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Furaldehyde
	-
อายุหม้อแปลง	21

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	3
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
		Score	3
		normal	

รูปที่ 4. 73 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ furan หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.5.4 ผลการประเมินค่า Power factor ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Power factor ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.44 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ คือ 4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.74

ตารางที่ 4. 44 ค่า Power factor ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	Parameter
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	PF _{max}
	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power factor rating

Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน
A	PFmax < 0.5	4
B	0.5 PFmax < 1	
C	1 ≤ PFmax < 1.5	
D	1.5 ≤ PFmax < 2	
E	PFmax ≥ 2	

รูปที่ 4. 74 รูปจากตารางคำนวณ Rating ของการทดสอบ Power factor หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.4.5 ผลการประเมินค่า Turn ratio ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Turn ratio ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.45 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Turn ratio คือ 2 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.75

ตารางที่ 4. 45 ค่า Turn ratio ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta TR\%$
ทดสอบ	0.62

Turn ratio rating

Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	2
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$	
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$	
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$	
E	$\Delta TR \geq 2\%$	

รูปที่ 4. 75 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Turn ratio หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.5.6 ผลการประเมินค่า Leakage reactance ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Leakage reactance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.46 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Leakage reactance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.76

ตารางที่ 4. 46 ค่า Leakage reactance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta X\%$
ทดสอบ	0.83

Leakage reactance rating

Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta X < 0.5\%$	3
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$	
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$	
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$	
E	$\Delta X \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 76 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Leakage reactance หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.5.7 ผลการประเมินค่า Core to ground resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Core to ground resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.47 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า Rating score ของการทดสอบ Core to ground resistance คือ 3 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.77

ตารางที่ 4. 47 ค่า Core to ground resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	R
ทดสอบ	410

Core-to-ground resistance rating

Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน
A	$R > 1000$	3
B	$100 \leq R < 1000$	
C	$10 \leq R < 100$	
D	$1 \leq R < 10$	
E	$R < 1$	

รูปที่ 4. 77 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Core to ground resistance หม้อแปลงตัวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.8 ผลการประเมินค่า Winding resistance ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Winding resistance ที่ทดสอบได้จากหม้อแปลงแสดงอยู่ตามตารางที่ 4.48 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า ค่า Rating score ของการทดสอบ Winding resistance คือ 2 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.78

ตารางที่ 4. 48 ค่า Winding resistance ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	Parameter
ค่าที่ได้จากการ	$\Delta R\%$
ทดสอบ	2.37

Winding resistance rating

Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน
A	$\Delta R < 1\%$	2
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$	
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$	
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$	
E	$\Delta R \geq 5\%$	

รูปที่ 4. 78 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ Winding resistance หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.5.9 ผลการประเมินค่า DGA LTC ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า DGA ของ LTC ที่ทดสอบได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.49 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า DGAF คือ 2.53 ตามรูปที่ 4.79 และรูปที่ 4.80 แสดงค่า Rating score ของการทดสอบ DGA

ตารางที่ 4. 49 ค่า DGA ของ LTC ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5

	ก๊าซ			
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
	65	66	176	1.5

Rating of the LTC Based on DGA

		Score (Si)						คะแนน	Wisi
	Gas	1	2	3	4	Wi			
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	3	9	
	C2H6	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	4	12	
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	3	12	
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5	
Resistive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0	
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0	
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0	
Reactive LTC (Diverter comp.)	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0	
	CH4	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0	
	C2H6	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0	
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0	
Reactive LTC (selector copmp.)	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0	
	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0	
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0	
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0	
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0	
DGAF =	2.533333333								

รูปที่ 4. 79 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าค่า DGAF ของ LTC หม้อแปลงตัวที่ 5

Transformer LTC Rating Based on DGA Factor

Rating Code	Condition	Description	คะแนน
A	Good	DGAF < 1.2	0
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	1
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0

รูปที่ 4. 80 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ DGA LTC หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.5.10 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 5

จากการทดสอบหม้อแปลงตัวที่ 5 ค่า Load history ที่บันทึกได้แสดงอยู่ตามตารางที่ 4.50 เมื่อนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางการคำนวณผลที่ได้คือหม้อแปลงตัวนี้มีค่า LF คือ 3 ตามรูปที่ 4.81 และ 4.82 แสดงค่า Rating score ของผล Load history

ตารางที่ 4. 50 ค่า Load history ของหม้อแปลงตัวที่ 5

Test transformer	S _i : Monthly Peak load (MVA)	S _b : Rate Load of transformer (MVA)	S _i /S _b (N)
5	50	50	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF Score

Rating Code	Si/Sb	Ni
A	< 0.6	0
B	0.6 < 1	1
C	1 < 1.3	0
D	1.3 < 1.5	0
E	>1.5	0
Score LF		2

รูปที่ 4. 81 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของค่า Load history หม้อแปลงตัวที่ 5

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF ≥ 3.5	ดี	0
3	2.5 ≤ LF < 3.5	ยอมรับได้	0
2	1.5 ≤ LF < 2.5	ต้องระวัง	2
1	0.5 ≤ LF < 1.5	แย	0
0	LF ≤ 0.5	แยมาก	0
Rating			2

Continue operation with observation

รูปที่ 4. 82 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของการทดสอบ LF หม้อแปลงตัวที่ 5

4.1.4.11 ค่า GSI ของหม้อแปลงตัวที่ 5

Rating of Global Strategic Impact					
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density industry	
3				high density industry+sea	
คะแนน	0	0	2	3	0.416666667 41.66666667

รูปที่ 4. 83 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหา Rating ของ GSI หม้อแปลงตัวที่ 5

หลังจากที่ทำการประเมินพารามิเตอร์ทั้งหมดทั้งด้าน GTC และ GSI ผ่านโปรแกรมแล้ว ผลที่ได้จากการประเมินจะถูกสรุปอยู่ในรูปที่ 4.84 และ 4.85

GTC Parameter				
Component	K	Condition Rating	KISI	GTCF
DGA	10	0	0	0.511029412 51.10294118
Power Factor	10	4	40	
Oil Quality	6	1	6	
Furan or Age	5	3	15	
Turn ratio	5	2	10	
Leakage reactance	8	3	24	
Winding	6	2	12	
Core-to-ground	2	3	6	
DGA of LTC	6	1	6	
Load history	10	2	20	

รูปที่ 4. 84 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าทดสอบ GTC หม้อแปลงตัวที่ 5

Global Strategic Impact		
GSI Index	Description	Result
86-100	Very high risk	41.66666667
71-85	High risk	
51-70	Medium risk	
31-50	Low risk	
0-30	Very low risk	

รูปที่ 4. 85 รูปจากตารางคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยง GSI หม้อแปลงตัวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์หม้อแปลงแต่ละลูก

รูปที่ 4.86-4.90 เป็นผลวิเคราะห์ที่ได้จากตารางคำนวณค่า DGA main tank ของหม้อแปลงลูกที่ 1-5 ตามลำดับ

Criteria						
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note	
H2	1000	150	4	normal	Good condition	
CH4	80	25	13	normal	Good condition	
C2H6	35	10	10	Medium	Medium temperature thermal fault	
C2H4	150	20	22	Medium	High temperature thermal fault	
C2H2	70	15	0	normal	Good condition	
CO	1000	500	102	normal	Good condition	
CO2	15000	10000	1274	normal	Good condition	
Observation						

รูปที่ 4. 86 ผลการวิเคราะห์ DGA main tank ของหม้อแปลงลูกที่ 1

Criteria						
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note	
H2	1000	150	22	normal	Good condition	
CH4	80	25	15	normal	Good condition	
C2H6	35	10	9	normal	Good condition	
C2H4	150	20	29	Medium	High temperature thermal fault	
C2H2	70	15	0	normal	Good condition	
CO	1000	500	220	normal	Good condition	
CO2	15000	10000	1734	normal	Good condition	
Observation						

รูปที่ 4. 87 ผลการวิเคราะห์ DGA main tank ของหม้อแปลงลูกที่ 2

Criteria						
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note	
H2	1000	150	40	normal	Good condition	
CH4	80	25	112	Dangerous	Sparking	
C2H6	35	10	9	normal	Good condition	
C2H4	150	20	90	Medium	High temperature thermal fault	
C2H2	70	15	0.9	normal	Good condition	
CO	1000	500	749	Medium	Thermal fault Cellulose	
CO2	15000	10000	3300	normal	Good condition	
Out of service						

รูปที่ 4. 88 ผลการวิเคราะห์ DGA main tank ของหม้อแปลงลูกที่ 3

Criteria						
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note	
H2	1000	150	161	Medium	Corona and Arcing	
CH4	80	25	26	Medium	Sparking	
C2H6	35	10	9	normal	Good condition	
C2H4	150	20	18	normal	Good condition	
C2H2	70	15	0	normal	Good condition	
CO	1000	500	559	Medium	Thermal fault Cellulose	
CO2	15000	10000	643	normal	Good condition	
Observation						

รูปที่ 4. 89 ผลการวิเคราะห์ DGA main tank ของหม้อแปลงลูกที่ 4

Criteria						
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note	
H2	1000	150	130	normal	Good condition	
CH4	80	25	26	Medium	Sparking	
C2H6	35	10	9	normal	Good condition	
C2H4	150	20	212	Dangerous	High temperature thermal fault	
C2H2	70	15	2	normal	Good condition	
CO	1000	500	890	Medium	Thermal fault Cellulose	
CO2	15000	10000	7700	normal	Good condition	
Out of service						

รูปที่ 4. 90 ผลการวิเคราะห์ DGA main tank ของหม้อแปลงลูกที่ 5

รูปที่ 4.91-4.95 เป็นผลวิเคราะห์ที่ได้จากตารางคำนวณค่า DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 1-5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Criteria					
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note
H2	1000	150	5	normal	Good condition
CH4	80	25	11	normal	Good condition
C2H6	35	10	8	normal	Good condition
C2H4	150	20	20	Medium	High temperature thermal fault
C2H2	70	15	0	normal	Good condition
CO	1000	500	86	normal	Good condition
CO2	15000	10000	1266	normal	Good condition
Observation					

รูปที่ 4. 91 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 1

Criteria					
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note
H2	1000	150	42	normal	Good condition
CH4	80	25	27	Medium	Sparking
C2H6	35	10	8	normal	Good condition
C2H4	150	20	33	Medium	High temperature thermal fault
C2H2	70	15	0	normal	Good condition
CO	1000	500	170	normal	Good condition
CO2	15000	10000	1165	normal	Good condition
Observation					

รูปที่ 4. 92 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 2

Criteria					
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note
H2	1000	150	29	normal	Good condition
CH4	80	25	111	Dangerous	Sparking
C2H6	35	10	18	Medium	Medium temperature thermal fault
C2H4	150	20	65	Medium	High temperature thermal fault
C2H2	70	15	0.6	normal	Good condition
CO	1000	500	543	Medium	Thermal fault Cellulose
CO2	15000	10000	3541	normal	Good condition
Out of service					
					sparking

รูปที่ 4. 93 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 3

Criteria					
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note
H2	1000	150	12	normal	Good condition
CH4	80	25	2	normal	Good condition
C2H6	35	10	1	normal	Good condition
C2H4	150	20	3	normal	Good condition
C2H2	70	15	0	normal	Good condition
CO	1000	500	461	normal	Good condition
CO2	15000	10000	543	normal	Good condition
normal					

รูปที่ 4. 94 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 4

Criteria					
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note
H2	1000	150	110	normal	Good condition
CH4	80	25	65	Medium	Sparking
C2H6	35	10	66	Dangerous	Medium temperature thermal fault
C2H4	150	20	176	Dangerous	High temperature thermal fault
C2H2	70	15	1.5	normal	Good condition
CO	1000	500	770	Medium	Thermal fault Cellulose
CO2	15000	10000	4100	normal	Good condition
Out of service					

รูปที่ 4. 95 ผลการวิเคราะห์ DGA LTC ของหม้อแปลงลูกที่ 5

รูปที่ 4.96 - 4.100 เป็นผลวิเคราะห์ที่ได้จากตารางคำนวณค่า Turn ratio, Leakage reactance, core to ground, winding resistance และ power factor ของหม้อแปลงลูกที่ 1-5 ตามลำดับ

Criteria				
Parameter	Limited	Value	Condition	Note
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition
Leakage reactance rating	3	0.78	normal	Good condition
Core-to-ground resistance rating	1000	1200	normal	Good condition
Winding resistance rating	5	0.56	normal	Good condition
Power factor rating	0.5	0.48	normal	Good condition
normal				

รูปที่ 4. 96 ผลการวิเคราะห์ Electrical parameter ของหม้อแปลงลูกที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Criteria				
Parameter	Limited	Value	Condition	Note
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition
Leakage reactance rating	3	0.74	normal	Good condition
Core-to-ground resistance rating	1000	2298	normal	Good condition
Winding resistance rating	5	0.43	normal	Good condition
Power factor rating	0.5	0.47	normal	Good condition

รูปที่ 4. 97 ผลการวิเคราะห์ Electrical parameter ของหม้อแปลงลูกที่ 2

Criteria				
Parameter	Limited	Value	Condition	Note
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition
Leakage reactance rating	3	0.87	normal	Good condition
Core-to-ground resistance rating	1000	920	Observation	Medium temperature thermal fault
Winding resistance rating	5	1.74	normal	Good condition
Power factor rating	0.5	0.51	Observation	Arcing

รูปที่ 4. 98 ผลการวิเคราะห์ Electrical parameter ของหม้อแปลงลูกที่ 3

Criteria				
Parameter	Limited	Value	Condition	Note
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition
Leakage reactance rating	3	0.81	normal	Good condition
Core-to-ground resistance rating	1000	780	Observation	Medium temperature thermal fault
Winding resistance rating	5	0.5	normal	Good condition
Power factor rating	0.5	0.47	normal	Good condition

รูปที่ 4. 99 ผลการวิเคราะห์ Electrical parameter ของหม้อแปลงลูกที่ 4

Criteria				
Parameter	Limited	Value	Condition	Note
Turn ratio rating	0.5	0.62	Observation	Corona and Arcing
Leakage reactance rating	3	0.83	normal	Good condition
Core-to-ground resistance rating	1000	410	Observation	Medium temperature thermal fault
Winding resistance rating	5	2.37	normal	Good condition
Power factor rating	2	0.27	normal	Good condition

รูปที่ 4. 100 ผลการวิเคราะห์ Electrical parameter ของหม้อแปลงลูกที่ 5

รูปที่ 4.101 - 4.105 เป็นผลวิเคราะห์ที่ได้จากตารางคำนวณค่า Oil quality ของหม้อแปลงลูกที่ 1-5 ตามลำดับ

Criteria						
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note
Dielectric strength	40	47	50	76.3	normal	
Interfacial tension	25	37	32	33	normal	
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.03	normal	
Water content	35	25	20	2.9	normal	
Oil color	2	2	2	1.3	normal	

รูปที่ 4. 101 ผลการวิเคราะห์ Oil quality ของหม้อแปลงลูกที่ 1

Criteria						
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note
Dielectric strength	40	47	50	91	normal	
Interfacial tension	25	37	32	35	normal	
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.03	normal	
Water content	35	25	20	3.06	normal	
Oil color	2	2	2	1.5	normal	

รูปที่ 4. 102 ผลการวิเคราะห์ Oil quality ของหม้อแปลงลูกที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Criteria						
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note
Dielectric strength	40	47	50	52	normal	
Interfacial tension	25	37	32	30	normal	
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.12	normal	
Water content	35	25	20	14.9	normal	
Oil color	2	2	2	3	Observation	
					Observation	

รูปที่ 4. 103 ผลการวิเคราะห์ Oil quality ของหม้อแปลงลูกที่ 3

Criteria						
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note
Dielectric strength	40	47	50	68	normal	
Interfacial tension	25	37	32	31	normal	
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.016	normal	
Water content	35	25	20	15	normal	
Oil color	2	2	2	1.3	normal	
					normal	

รูปที่ 4. 104 ผลการวิเคราะห์ Oil quality ของหม้อแปลงลูกที่ 4

Criteria						
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note
Dielectric strength	40	47	50	49.5	normal	
Interfacial tension	25	37	32	22	normal	
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.5	Observation	
Water content	35	25	20	18.3	normal	
Oil color	2	2	2	3.6	Observation	
					Observation	

รูปที่ 4. 105 ผลการวิเคราะห์ Oil quality ของหม้อแปลงลูกที่ 5

รูปที่ 4.106 - 4.110 เป็นผลวิเคราะห์ที่ได้จากตารางคำนวณค่า furanic or age ของหม้อแปลงลูกที่ 1-5 ตามลำดับ

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	4
C	0.5-1	40-60	4
D	1.5	More than 60	4
E	>5	-	4
		Score	4
		normal	

รูปที่ 4. 106 ผลการวิเคราะห์ furanic or age ของหม้อแปลงลูกที่ 1

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	4
C	0.5-1	40-60	4
D	1.5	More than 60	4
E	>5	-	4
		Score	4
		normal	

รูปที่ 4. 107 ผลการวิเคราะห์ furanic or age ของหม้อแปลงลูกที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
Score			4
normal			

รูปที่ 4. 108 ผลการวิเคราะห์ furanic or age ของหม้อแปลงลูกที่ 3

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
Score			4
normal			

รูปที่ 4. 109 ผลการวิเคราะห์ furanic or age ของหม้อแปลงลูกที่ 4

Rating Furanic or age

Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	3
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
Score			3
normal			

รูปที่ 4. 110 ผลการวิเคราะห์ furanic or age ของหม้อแปลงลูกที่ 5

รูปที่ 4.111 - 4.115 เป็นผลวิเคราะห์ที่ได้จากตารางคำนวณค่า Load history ของหม้อแปลงลูกที่ 1-5 ตามลำดับ

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	$LF \geq 3.5$	ดี	0
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้	3
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง	0
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย่มาก	0
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก	0
Rating			3
normal			

รูปที่ 4. 111 ผลการวิเคราะห์ Load history ของหม้อแปลงลูกที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	$LF \geq 3.5$	ดี	0
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้	3
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง	0
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย่มาก	0
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก	0
Rating			3
normal			

รูปที่ 4. 112 ผลการวิเคราะห์ Load history ของหม้อแปลงลูกที่ 2

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	$LF \geq 3.5$	ดี	0
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้	3
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง	0
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย่มาก	0
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก	0
Rating			3
normal			

รูปที่ 4. 113 ผลการวิเคราะห์ Load history ของหม้อแปลงลูกที่ 3

LF rating

Rating	Load factor	Condition	LF
4	$LF \geq 3.5$	ดี	4
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้	0
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง	0
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย่มาก	0
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก	0
Rating			4
normal			

รูปที่ 4. 114 ผลการวิเคราะห์ Load history ของหม้อแปลงลูกที่ 4

LF rating

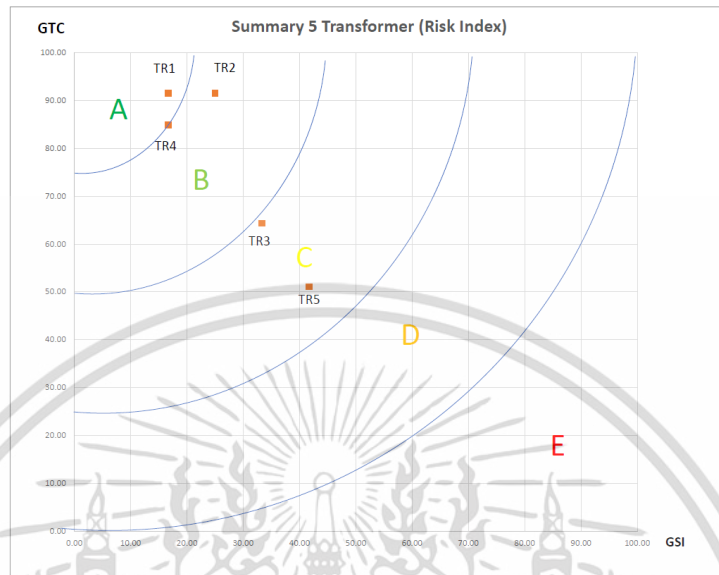
Rating	Load factor	Condition	LF
4	$LF \geq 3.5$	ดี	0
3	$2.5 \leq LF < 3.5$	ยอมรับได้	0
2	$1.5 \leq LF < 2.5$	ต้องระวัง	2
1	$0.5 \leq LF < 1.5$	แย่มาก	0
0	$LF \leq 0.5$	แย่มาก	0
Rating			2
Continue operation with observation			

รูปที่ 4. 115 ผลการวิเคราะห์ Load history ของหม้อแปลงลูกที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การประเมิน Risk matrix

เมื่อเราได้ทำการทดสอบหม้อแปลงทั้งหมดเป็นจำนวน 5 ตัวแล้วจะสามารถนำค่า GSI และ GTC ที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละตัวมาพล็อตลงใน Risk Matrix



รูปที่ 4. 116 รูป Risk Matrix ที่ได้จากการพล็อตหม้อแปลงทั้ง 5 ตัวลงในกราฟ

จาก Risk Matrix แสดงให้เห็นว่าหม้อแปลงตัวที่ 3 และตัวที่ 4 อยู่ในเกณฑ์ C ควรได้รับการบำรุงรักษาหรือตรวจสอบสภาพเป็นลำดับแรก หลังจากนั้นจะเป็นหม้อแปลงลูกที่ 4 2 และ 1 ตามลำดับในกรณีที่ไม่มีพารามิเตอร์ใดมีค่าเกินเกณฑ์เป็นพิเศษ

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

จากการนำผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าจากบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งจำนวน 5 ลูก มาเข้าตารางคำนวณเพื่อทำการวิเคราะห์ค่า GTC และค่า GSI สภาพของหม้อแปลงนั้น สามารถสรุปผลออกมาได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 หม้อแปลงตัวที่ 1 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA

จากผลการวิเคราะห์ของตารางคำนวณหม้อแปลงตัวที่ 1 พบว่าค่า GTC ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ Very good หรือมีการเสื่อมสภาพเล็กน้อยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งการวิเคราะห์ทางเทคนิคนั้นพบว่าหม้อแปลงสามารถที่จะใช้งานต่อไปได้มากกว่า 15 ปี ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่เกินกำหนดหรือส่งผลให้มีความเสี่ยงที่จะล้มเหลวสูงถ้าใช้งานต่อ แต่มีบางพารามิเตอร์ที่ควรเฝ้าระวังเช่นค่า DGA main tank ที่ชี้ว่ามีการเกิดก๊าซ C_2H_6 และ C_2H_4 สูงกว่าปกติ ซึ่งสาเหตุเกิดจาก Medium temperature thermal faults ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 400 องศา และ High temperature thermal faults ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 องศา ตามลำดับ อีกพารามิเตอร์คือ DGA LTC บ่งชี้ว่ามีก๊าซ C_2H_4 สูงกว่าปกติซึ่งสาเหตุเกิดจาก High temperature thermal faults ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 องศา ส่วนค่าผลการประเมิน GSI นั้นอยู่ในเกณฑ์ Very low risk ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นหม้อแปลงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อหรือเสี่ยงที่สูง

5.1.2 หม้อแปลงตัวที่ 2 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA

จากผลการวิเคราะห์ของตารางคำนวณหม้อแปลงตัวที่ 2 พบว่าค่า GTC ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ Very good หรือมีการเสื่อมสภาพเล็กน้อยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งการวิเคราะห์ทางเทคนิคนั้นพบว่าหม้อแปลงสามารถที่จะใช้งานต่อไปได้มากกว่า 15 ปี ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่เกินกำหนดหรือส่งผลให้มีความเสี่ยงที่จะล้มเหลวสูงถ้าใช้งานต่อ แต่มีบางพารามิเตอร์ที่ควรเฝ้าระวังเช่นค่า DGA main tank ที่ชี้ว่ามีการเกิดก๊าซ C_2H_4 สูงกว่าปกติ ซึ่งสาเหตุเกิดจาก High temperature thermal faults ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 องศา อีกพารามิเตอร์คือ DGA LTC บ่งชี้ว่ามีก๊าซ CH_4 และ C_2H_4 สูงกว่าปกติซึ่งสาเหตุเกิดจาก Corona partial discharge ,sparking ที่ 150 ถึง 300 องศา และ High temperature thermal faults ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 องศา ตามลำดับ ส่วนค่าผลการประเมิน GSI นั้นอยู่ในเกณฑ์ Very low risk ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นหม้อแปลงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อหรือเสี่ยงที่สูง

5.1.3 หม้อแปลงตัวที่ 3 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA

จากผลการวิเคราะห์ของตารางคำนวณหม้อแปลงตัวที่ 3 พบว่าค่า GTC ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ Fair หรือมีการเสื่อมสภาพอย่างมีนัยสำคัญ, เสื่อมสภาพอย่างรุนแรง ซึ่งการวิเคราะห์ทางเทคนิคนั้นพบว่าหม้อแปลงใช้งานได้ไม่เกิน 10 ปี ค่าพารามิเตอร์ที่เกินเกณฑ์ที่กำหนดและควรรับทำการบำรุงรักษาอย่างทันทีได้แก่ DGA main tank และ DGA LTC โดย ทั้งสองค่านี้มีก๊าซ CH₄ สูงกว่าค่าที่กำหนดทั้งสองพารามิเตอร์ ซึ่งสาเหตุเกิดจาก Corona partial discharge ,sparking ที่อุณหภูมิ 150 ถึง 300 องศา ค่าก๊าซอื่นที่ควรเฝ้าระวังได้แก่ C₂H₄ และ CO และ C₂H₆ พารามิเตอร์ต่อมาคือ Power factor ,core to ground resistance และ Oil quality ที่มีค่าผลทดสอบเกินค่าที่กำหนด ส่วนค่าผลการประเมิน GSI นั้นอยู่ในเกณฑ์ Low risk ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นหม้อแปลงยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงน้อย

5.1.4 หม้อแปลงตัวที่ 4 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA

จากผลการวิเคราะห์ของตารางคำนวณหม้อแปลงตัวที่ 4 พบว่าค่า GTC ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ Good หรือมีการเสื่อมสภาพอย่างมีนัยสำคัญของส่วนประกอบบางอย่าง ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่เกินกำหนดหรือส่งผลให้มีความเสี่ยงที่จะล้มเหลวสูงถ้าใช้งานต่อ แต่มีบางพารามิเตอร์ที่ควรเฝ้าระวังเช่นค่า DGA main tank ที่ชี้ว่ามีการเกิดก๊าซ H₂, CH₄ และ CO สูงกว่าปกติ ซึ่งสาเหตุเกิดจาก Corona ในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 องศา, Corona partial discharge ,sparking ที่ 150 ถึง 300 องศา และ Thermal fault cellulose ตามลำดับ พารามิเตอร์อื่นๆที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์คือ Power factor และ ค่า Core to ground resistance ส่วนค่าผลการประเมิน GSI นั้นอยู่ในเกณฑ์ Low risk ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นหม้อแปลงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อหรือเสี่ยงที่สูง

5.1.5 หม้อแปลงตัวที่ 5 หม้อแปลงขนาดพิกัด 115 kV, 50 MVA

จากผลการวิเคราะห์ของตารางคำนวณหม้อแปลงตัวที่ 5 พบว่าค่า GTC ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ Fair หรือมีการเสื่อมสภาพอย่างมีนัยสำคัญ, เสื่อมสภาพอย่างรุนแรง ซึ่งการวิเคราะห์ทางเทคนิคนั้นพบว่าหม้อแปลงใช้งานได้ไม่เกิน 10 ปี ค่าพารามิเตอร์ที่เกินเกณฑ์ที่กำหนดและควรรับทำการบำรุงรักษาอย่างทันทีได้แก่ DGA main tank และ DGA LTC โดย ทั้งสองค่านี้มีก๊าซ C₂H₄ สูงกว่าค่าที่กำหนดทั้งสองพารามิเตอร์และในส่วนของ DGA LTC มีค่า C₂H₆ ที่เกินเกณฑ์ด้วย ซึ่งสาเหตุเกิดจาก High temperature thermal faults ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 700 องศา และ low & medium temperature thermal Faults ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 400 องศา ตามลำดับ ค่าก๊าซอื่นที่ควรเฝ้าระวังได้แก่ CH₄ และ CO พารามิเตอร์ต่อมาคือ Turn ratio, core to ground resistance , Oil quality และ Load history ที่มีค่าผลทดสอบเกินค่าที่กำหนด ส่วนค่าผลการประเมิน GSI นั้นอยู่ในเกณฑ์ Low risk ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นหม้อแปลงยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากผลสรุปของตารางคำนวณนี้พบว่าค่าที่ได้จากการประเมินนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับการวินิจฉัยของทางบริษัทหม้อแปลง อีกทั้งยังสามารถดูได้ว่าหม้อแปลงตัวไหนต้องให้ความสำคัญในการบำรุงรักษาก่อนโดยดูได้จาก Risk matrix รวมถึงได้ดูว่าตัวอุปกรณ์หรือค่าพารามิเตอร์ในส่วนไหนมีความน่าเป็นห่วงทำให้สามารถติดตามประสิทธิภาพหรือคุณภาพต่อไปได้อย่างถูกต้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความสำคัญเพิ่มเติม เพื่อให้ค่าที่ประเมินออกมามีความใกล้เคียงกับคุณภาพของหม้อแปลงมากที่สุด
2. ควรทำการทดสอบกับตัวอย่างหม้อแปลงที่มากกว่านี้และเทียบกับผลที่วิเคราะห์จริงเพื่อที่จะสามารถดูได้ว่าตัวโปรแกรมยังมีความผิดพลาดในส่วนไหนเพื่อที่จะปรับปรุงเพื่อที่จะให้ได้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] CIGRE Working Group 12.05. 1983. "An international survey on failures in large power transformers in service," **Electra, no. 88**, pp.21–47
- [2] CIGRE WG A2.20. 2004. "Guide on Economics of Transformer Management" June 2004.
- [3] A. Naderian, S. Cress, R. Piercy, F. Wang, J. Service. 2008. "An Approach to Determine the Health Index of Power Transformers", **2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation**, Vancouver, BC, Canada, pp. 192-196.
- [4] A. N. Jahromi, R. Piercy, S. Cress and W. Fan. 2009. "An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index, II", **IEEE Insul. Mag., vol. 25**.
- [5] Bogdan Gorgan, Petru Notingher, Laurentiu-Viorel Badicu, Tanasescu Gabriel. 2010. "Calculation of power transformers health indexes", **Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series**, No.34,; ISSN 1842-4805, pp. 13-18.
- [6] W. Wattakapaiboon, N. Pattanadech. 2016. "The New Developed Health Index for Transformer Condition Assessment", **International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis – Xi'an – China**, pp. 32-35.
- [7] Ekarat. "Conservator Type," [Online]. Available: <https://ekarat.co.th/en/conservator-type-2/>
- [8] Liaoning Jinli Electric Power Electrical Appliance. "On Load Capacity & voltage Regulate Tap Changer," [Online]. Available: <https://m.jinlielectricpower.com/tap-changer/on-load-capacity-voltage-regulate-tap-changer.html>
- [9] SaWRee 3D interactive media. "Pressure Relief Device (PRD)," [Online]. Available: <https://savree.com/en/encyclopedia/pressure-relief-device-prd>
- [10] วีระศักดิ์ พิรักษา. "Maintenance," [Online]. Available: <http://www.thailandindustry.com/onlinemag>
- [11] 9Engineer. "Electrical power," [Online]. Available: <http://www.9engineer.com/index.php?m>
- [12] SP Electric industry. "Preventive maintenance," [Online]. Available: <https://www.transformerthailand.com/2018>
- [13] Thailand Industry. "หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า," [Online]. Available: <http://www.thailandindustry.com/>
- [14] T. Hjartanson and S. Ota. 2006. "Predicting future asset condition based on current health index and maintenance level", **ESMO 2006 - 2006 IEEE 11th International**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance**, Albuquerque, NM, USA, pp. 1-8.
- [15] Ding, H, Heywood, R, Lapworth, J & Ryder. 2009. "Why Transformers fail", **Euro Tech conference**, pp. 1-18.
- [16] IEEE C57 125 1991, "Guide for Failure Investigation, Documentation, Analysis, and Reporting for Power Transformers and Shunt Reactors", **Institute of Electrical and Electronics Engineers standard series**.
- [17] DJELLOULI Fawzi, DJELLOULI Abdelkadir. 2020. "Health Index Assessment of Power Transformer", Project Report Presented in Partial Fulfilment of The Requirements of the Degree of 'MASTER' Institute of Electrical and Electronic Engineering Department of Power and Control, University M'Hamed BOUGARA – Boumerdes
- [18] R, Murugan. 2016. "Investigation of power transformer failures for effective maintenance planning in electric utilities", Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Anna University
- [19] Oommen, TV & Prevost. 2006. "Cellulose insulation in oil-filled power transformers: Part II - maintaining insulation integrity and life", IEEE Electrical Insulation Magazine, TA 2006.
- [20] James H. Harlow. 2012. "Electric power transformer engineering", Published June 19, 2012 by CRC Press
- [21] A. Singh and A.G Swanson. 2018. "Development of a plant health and risk index for distribution power transformer in south africa", **SAIEE Africa Research Journal** (Volume: 109, Issue: 3, PP.159-170.
- [22] IEEE Guide for the interpretation of gases generated in oil immersed transformer, IEEE Std C57.104, 1991.
- [23] IEC 61198, Mineral insulating oils - Methods for the determination of 2-furfural and related compounds, 1993.
- [24] A. Naderian, S. Cress, R. Piercy, F. Wang, J. Service.2008 "An Approach to Determine the Health Index of Power Transformers", Kinectrics Inc., Transmission and Distribution Technologies 800 Kipling Avenue Toronto, ON, M8Z 6C4, PP.192-196.
- [25] IEC/TR 60815, "Guide for the Selection of Insulators in Respect of Polluted Conditions," Revision 1.0, May 1986




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาคผนวก ก
บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



K. Marinjhon, N. Pattanadech, P. Chanchaoensook, " Risk Index Alternative for Power Transformer Condition Evaluation for Maintenance," 2021 The 44th Electrical Engineering Conference (EECON44), Nan, Thailand, 2021, pp. 41-44.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44
 The 44th Electrical Engineering Conference (EECON-44)
 17-19 พฤศจิกายน 2564
 ณ โรงแรม ที อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ไฟโตนิคส์ (PH)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- พลังงานหมุนเวียน (RE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

EECON-44
 Electrical Engineering Conference



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Risk Index Alternative for Power Transformer Condition Evaluation for Maintenance

Kasidis Marinjhon¹, Norasage Pattanadech² and Phop Chancharoensook²

¹Department of Electrical Engineering, School of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand 63601073@kmitl.ac.th,

²Department of Electrical Engineering, School of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand

Abstract

Maintenance is indispensable for power transformers. However, due to the large number of multi-component testing involved in each transformer, covering all maintenance is not practical. It is required to assess the crucial transformer condition before performing maintenance. Currently, there are many indexes used to determine such condition, yet some analysis may not be necessary. This article proposes that only the important parameters should be selected for the evaluation of the power transformer condition. It also considers the consequences of any associated error. The proposed risk index for power transformer maintenance can result in both time and cost-saving.

Keywords: Risk Index, General Technical Condition, Global Strategic Impact, Risk Matrix, Power Transformer.

1. Introduction

The power transformer is an electrical device that is very important to a power system. It also affects the reliability of the power system. Its lifespan varies depending on usage. While the transformer is in use, it will be deterioration in the device. Whether it is a paper-insulated or oil insulated transformer, moisture is generated when used at high temperatures. This deterioration can lead to serious damage or explosion which can harm human and properties in close proximity. Therefore, it is crucial to assess the condition of the transformer and its risks in order to prevent potential hazards. The risk index is one of the methods used to test transformers' conditions. This method can evaluate which transformer should be prioritized first. The proposed risk consists of two main components. The first part is GTC (General Technical Condition), which is a number indicating the probability of failure of the transformer under test. The second part is GSI (Global Strategic Impact). This number indicates the impact of the failure potential of the transformers under test [1].

2. Risk index method

The risk index is one of the methods used to determine which transformer will be maintained first. It divides into 2 components used in the analysis 1. GTC (General Technical Condition) 2. GSI (Global Strategic Impact).

The first part is GTC Method. GTC is a calculation method that considers the criteria to characterize the risk of transformer failure. This section focuses on condition assessment based on past research with up to 24 parameters [8]. The survey of CIGRE Working Group 12.05 [4] of more than 1,000 faulted power transformers in 1968-1978, the results are shown in Fig. 1 [4]. As a result of the survey, equation 1 provides weighing the importance of the transformer condition assessment.

According to the percentage fault from a defective component of transformers, 40 percent of error is caused by LTC. Therefore, the LTC factor involves 40 percent in calculating the GTC value. The remaining 60 percent comes from condition of the overall components of the transformer.

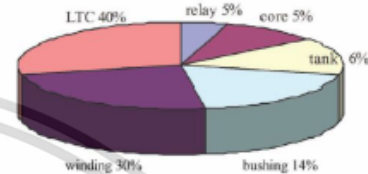


Fig. 1 Defective components of a transformer (LTC: load tap changer) [11]

$$GTC = 60\% \times \frac{\sum_{j=1}^m K_j GTCF_j}{\sum_{j=1}^m 4K_j} + 40\% \times \frac{\sum_{j=22}^m K_j GTCF_j}{\sum_{j=22}^m 4K_j} \quad (1)$$

Where j is the number of parameters, K is the coefficient of multiplication, and $GTCF$ is the number from evaluation of each testing parameter.

Table 1 GTC (General Technical Condition) [8].

GTC (General Technical Condition)			
GTC Index	Condition	Description	Approximate Expected Lifetime
85-100	Very Good	Some aging or minor deterioration of a limited number	More than 15 years
70-85	Good	Significant deterioration of some components	More than 10 years
50-70	Fair	Widespread significant deterioration or serious deterioration of specific components	Up to 10 years
30-50	Poor	Widespread serious deterioration	Less than 3 Years
0-30	Very Poor	Extensive serious deterioration	At-End-of-Life

Table 1 summarized the condition of the GTC technic that was analyzed from 24 parameters using equation 1. Parameters 1 to 21 are parameters analyzed from overall test parameters except from LTC. On the other hand, parameters 22 to 24 are analyzed from parameters in LTC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The second part is GSI Method. The GSI is a value indicating the consequences of a transformer failure. The higher this value is, the higher effect can be found, according to the Guide on Economics of Transformer Management CIGRE WG A2.20 [1]. The impact can be classified into 5 cases, consisting of the safety of property and persons, the safety of the electrical system, environment, competitiveness, and company image. The GSI value uses equation 2 to calculate.

$$GSI = \frac{\sum_{n=1}^5 Score_n}{2N} \times 100\% \quad (2)$$

Where n is a parameter in the GSI factor and N is the total parameters of the GSI factor.

Table 2 Global Strategic Impact

GSI Index	Description
85-100	Very high risk
70-85	High risk
50-70	Medium risk
30-50	Low risk
0-30	Very low risk

Table 2 provides a rating for the damage that will occur if the transformer is faulty.

3. Parameter and Calculations Method

3.1 GTC (General Technical Condition)

It has been found that analyzing various parameters is a costly and time-consuming process. Therefore, in this work, only important parameters are selected for evaluating the operating conditions of the power transformers. Only 9 out of the 24 parameters are used, namely DGA, Power Factor, Oil Quality, Furan or Age, turn ratio, Leakage reactance, Winding resistance, Core-to-ground, and DGA of LTC.

Table 3 The GTC parameter

No.	Component Index	Risk	K	Condition Rating	GTCF
1.	DGA		10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
2.	Power Factor		10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
3	Oil Quality		6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
4	Furan or Age		5	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
5	Turn ratio		5	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
6	Leakage reactance		8	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
7	Winding resistance		6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
8	Core-to-ground		2	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
9	DGA of LTC		6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0

In Table 3 parameters that apply in the GTC assessment are summarized. The score to assess the condition can be calculated using equation 3.

$$GTC = 60\% \times \frac{\sum_{j=1}^5 K_j GTCF_j}{\sum_{j=1}^5 4K_j} + 40\% \times \frac{\sum_{j=6}^9 K_j GTCF_j}{\sum_{j=6}^9 4K_j} \quad (3)$$

Firstly, the chemical parameter evaluation will be discussed.

3.1.1 Dissolved Gas Analysis (DGA)

Oil analytical testing is a reliable and useful method for evaluating insulation performance based on the amount of gas generated by a thermal fault [3]. Gas formation is temperature-dependent which may form at low temperatures with H_2 and CH_4 beginning to form at $150^\circ C$, C_2H_6 beginning to form at $250^\circ C$, C_2H_4 starting to form at $350^\circ C$ and high temperatures, C_2H_2 begins to form at $500^\circ C$ (hot spot) or $700^\circ C$ (Internal arcing) [6]. And from the deterioration of the insulation paper, CO and CO_2 will form at temperatures above 100 degrees Celsius [2]. Due to the amount of gas generated, it is a very good indication of any malfunction or fault within the transformer. DGA is one of the most useful and practical methods. In which the test uses IEEE C57.104 [3]. Efficacy evaluation uses equation 4 to evaluate the oil efficiency. The results of the efficiency evaluation are given in Table 4. From the equation, W_i (weigh factor), and S_i the values are given in Table 5.

$$DGAF = \frac{\sum_{i=1}^7 S_i W_i}{\sum_{i=1}^7 W_i} \quad (4)$$

Table 4 Transformer Rating Based on DGA Factor[5].

Rating Code	Condition	Description
A	Good	$DGAF < 1.2$
B	Acceptable	$1.2 \leq DGAF \leq 1.5$
C	Need Caution	$1.5 \leq DGAF \leq 2$
D	Poor	$2 \leq DGAF \leq 3$
E	Very poor	$DGAF \geq 3$

Table 5 Scoring and Weight Factors for gas Levels[5]

Gas	Score (S_i)						W_i
	1	2	3	4	5	6	
H_2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	> 700	2
CH_4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	> 600	3
C_2H_6	≤ 65	65-80	80-100	100-120	120-150	> 150	3
C_2H_4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	> 200	3
C_2H_2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	> 80	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	> 1400	1
CO_2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1

3.1.2 Oil quality

In addition to the DGA test, transformer oil performance can also be assessed by other structures, whether a chemical test or a physical test such as water

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and oxygen content, Interfacial tension, acidity index, dielectric strength, color. These values will vary depending on the transformer size, etc [7]. The standards used for testing are ASTM D1553, ASTM D971, ASTM D974, ASTM D924, ASTM D1816. , ASTM D1500 in sequential testing [8]. The oil quality factor (OQF) condition is shown in Table 7 using equation 5 to calculate.

$$OQF = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (5)$$

Table 6: Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006 [8].

Size / U _n	≤ 69 kV	69 kV < U _n ≤ 230 kV	230 kV ≤ U _n	Score (S _i)	w _i
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3
	35-45	47-52	50-60	2	
	30-35	35-47	40-50	3	
Interfacial tension (dyne/cm)	≤ 30	35-47	40-50	4	2
	≥ 25	≥ 30	≤ 40	1	
	20-25	23-30	25-32	2	
Acid number	15-20	18-23	20-25	3	1
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4	
	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	
Water content (ppm)	0.05-0.1	0.04-0.4	0.07-0.1	2	4
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3	
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4	
Oil color	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	2
	30-35	20-25	15-20	2	
	35-40	25-30	20-25	3	
Oil color	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4	2
	≤ 15	1.5-2.0		1	
		2.0-2.5		2	
		≥ 2.5		3	
				4	

S_i and W_i in equation 5 are the scores from evaluating and weighing factors. Both are shown in Table 6.

Table 7 Rating of oil quality tests [8].

Rating Code	Condition	Description
A	Good	OQF < 1.2
B	Acceptable	1.2 ≤ OQF < 1.5
C	Need Caution	1.5 ≤ OQF < 2
D	Poor	2 ≤ OQF < 3
E	Very poor	OQF ≥ 3

3.1.3 Furanic compound

It is a substance produced by cellulose degradation of the paper insulation, which shows the residual life of the transformer according to IEC 61198 [10]. Furan analysis is a more convenient method of analysis than direct measurement on paper insulators [9]. There are five types of furan, but the most commonly used in the analysis is 2-furaldehyde (2FAL) because it is the one that is most associated with cellulose degradation. This test cannot use oil that has been replaced for evaluation because it will

not give an accurate value. However, the lifetime of the transformer can be evaluated instead as a criterion. The scoring criteria are summarized in Table 8.

Table 8 furanic compound analysis rating [5].

Rating Code	Furaldehyde [ppm]	Age Year
A	0-0.1	Less than 20
B	0.1-0.5	20-40
C	0.5-1	40-60
D	1.5	More than 60
E	>5	-

In the furan test, this parameter is used when transformers are found to have high CO or CO₂ values and a service life of more than 25 years.

Based on more than 30,000 data tested in previous work, furan data shows no correlation with transformer life in Table 8. Therefore, furanic compound assessments are of reduced importance and can be removed from the estimation when there is difficulty for on-site testing.

3.1.4 Tap Changer

The DGA load tap change is another parameter that should be analyzed. Fig. 1 shows 40 percent of the power transformer faults is related to the LTC. The LTC can be classified into different types depending on their use. Each category has different scoring results according to the Table of Rating of the LTC based on DGA in "An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index" [8]. DGAF scoring is shown in Table 4.

3.1.5 power factor

It is a test to examine the condition of the transformer and bushing from the survey of South-East Asia transformer by JMCC in 2001-2014 shows that the fault transformer caused by the bushing is up to 23.41 percent. It makes bushing is another aspect that should be paid attention to as well. The power factor test is a test to verify the condition of the capacitive insulation between different windings and the shared material. The test can be done by measuring the transformer insulation capacity and power factor at voltages up to 10 kV (at 50 or 60 Hz). Measurement points are high-voltage winding to ground, high - to low voltage winding, low-voltage winding to ground, high - to tertiary-voltage winding, low- to tertiary-voltage winding, and the tertiary-voltage winding to ground insulation[7]. The PF_{max} values, or the maximum PF values, are defined in the table at "An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index" [8].

Electrical evaluation is one of the test methods that can assess the state of the steel core and internal coil without open the tank, which is a practical parameter and reduces time and costs by "Asset-Management of Transformers Based on Condition Monitoring and Standard Diagnosis"[11] shows that the result of electrical faults is up to 29%. Turn ratio, Leakage reactance, core to ground resistance, and winding resistance will be tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The scoring criteria are defined in the table at “An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index” [8].

3.2 GSI (Global Strategic Impact)

In this paper, only the case which has caused a lot of damage is taken into account. This is done by focusing on the Safety of property and persons, Safety of the electrical system, and Competitiveness. All parameters involved are given in Table 9.

Table 9 Rating of Global Strategic Impact

score	GSI factor (n)		
	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness
0	Not community	General residence	General residence
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production/ Energy Non Served cost

$$GSI = \frac{\sum_{n=1}^3 Score_n}{2N} \times 100\% \quad (6)$$

Using the score from Table 9 and equation 6, GSI index can be calculated as shown in Table 2.

4. Risk matrix

The Risk Matrix is a combined matrix that takes the estimated GTC and GSI values to plot a point into the graphs. Fig. 2 shows a comparison. When the transformers have the same or close GTC values, maintenance will be focused on the transformers with higher GSI values. In other words, it can be assumed that the transformer should be repaired first if the plotted point is located in the F zone. The maintenance priority will even decreased if the point is located further in zone D, zone C, zone B, and zone A, respectively.

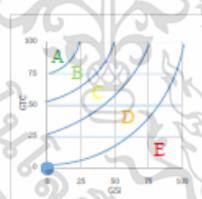


Fig. 2 risk matrix

5. Conclusion

This paper proposes a method for assessing the power transformers' conditions to perform maintenance. The technique uses the critical weighing analysis method of each parameter obtained from the fault test. The According to CIGRE survey, the most essential and easy-to-test parameters are chosen, such as DGA, Power Factor, Oil Quality, Furan or Age, turn ratio, Leakage reactance, Winding resistance, Core-to-ground, and DGA of LTC. Selection of transformers for maintenance

requires evaluation of not only the transformer condition analysis but also the importance of each transformer. Such significance consists of three parameters: safety of property and persons, safety of the electrical system and competitiveness. Once the GTC and GSI are plotted in the risk matrix, it is possible to assess which transformers should be paid attention to in terms of maintenance priority. Comparing to previous research, the proposed method has significant improvement as it can save both time and cost involving power transformer maintenance.

Acknowledgment

The authors have received many useful ideas and support from Mr. Nutthaphan Boonsaner from Electrical engineering department, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand. His insight and expertise provided greatly assisted this work.

REFERENCES

- [1] CIGRE WG A2.20, "Guide on Economics of Transformer Management" June 2004.
- [2] W. Wattakapaiboon, N. Pattanadech, "The New Developed Health Index for Transformer Condition Assessment", International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis - Xi'an - China, 2016
- [3] IEEE Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformer, IEEE Std C57.104, 1991.]
- [4] CIGRE Working Group 12.05, "An international survey on failures in large power transformers in service," *Electra*, no. 88, pp. 21-47, 1983.
- [5] A. Naderian, S. Cress, R. Piercy, F. Wang, J. Service, "An Approach to Determine the Health Index of Power Transformers", 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 18 July 2008
- [6] A. Singh and A.G Swanson, "Development of a plant health and risk index for distribution power transformer in south africa", *SAIEE Africa Research Journal* (Volume: 109, Issue: 3, Sept. 2018)
- [7] Bogdan Gorgan, Petru Notingher, Laurentiu-Viorel Badicu, Tanasescu Gabriel, "Calculation of power transformers health indexes", *Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series*, No.34, 2010; ISSN 1842-4805
- [8] A. N. Jahromi, R. Piercy, S. Cress and W. Fan, "An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index," *IEEE Insul. Mag.*, vol. 25, 2009.
- [9] D. J. T. Hill, T. T. Le, M. Darveniza, and T. K. Saha, "A Study of Degradation in a Power Transformer Part 3: Degradation Products of Cellulose Paper Insulation", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 51, pp. 211-218, 1996.
- [10] IEC 61198, "Mineral insulating oils - Methods for the determination of 2-furfural and related compounds," 1993.
- [11] Xiang Zhang, Ernst Gockenbach, "Asset-Management of Transformers Based on Condition Monitoring and Standard Diagnosis", *IEEE Electrical Insulation Magazine* (Volume: 24, Issue: 4, July-Aug. 2008).

Kasidis Marinjhon: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand.

Norasage Pattanadech: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand.

Phop Chancharoensook: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA main Tank

DGA Evaluation , Recommendation

- The TDGG is in condition 1 (As IEEE C.57.104-2008)
- The consider that the transformer with normal operation (No fault) , (as IEEE C.57.104 : 2008 , IEC 60599-2015 , Doernenberg ratio method and Rogers ratio method)

Sampling interval : Annual

Dissolved Gas measurement analysis (ASTM D 3812-02 (Reapprove 2017 , Method C)

Component gas	ppm	Limit as IEEE C57.104	Sampling Date			
			15-Dec-22			
Hydrogen	H2	<=100	4			
Carbon Dioxide	CO2	<=2500	1274			
Acetylene	C2H2	<=1	0			
Ethylene	C2H4	<=50	23			
Ethane	C2H6	<=65	10			
Methane	CH4	<=120	53			
Carbon monoxide	CO	<=350	102			
TDGG	uL/L	<=720	49			

TDGG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Parkin Elmer	4067

Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	101-700	701-1000	>1000
Methane	100	211-400	401-800	>800
Acetylene	1	2-9	10-20	>20
Ethylene	50	51-100	101-200	>200
Ethane	65	66-100	101-150	>150
Carbon monoxide	350	351-670	671-1400	>1400
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	>10000
TDGG	720	721-1920	1921-4630	>4630

Reported By : Approved By :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA OLTC

DGA Evaluation, Recommendation					
- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C57.104-2008)					
- As Duval Triangle Technique was shown Normal Operation (N) of insulating oil.					
Sampling Interval : Annual					
Component gas		Limit as IEEE C57.104		Sampling Date	
Hydrogen	H2	<=100	5	15-Dec-22	
Carbon Dioxide	CO2	<=2500	1266		
Acetylene	C2H2	<=1	0		
Ethylene	C2H4	<=50	20		
Ethane	C2H6	<=60	8		
Methane	CH4	<=120	11		
Carbon monoxide	CO	<=950	88		
TDCG	uL/L	<=720	44		
TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂)					
Test Parameter		Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil		Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087	
Test Parameter		Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil		Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087	
Acceptance Criteria					
Dissolved key gas concentration limit (ppm), IEEE C57.104-2008					
Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	
Hydrogen	100	250-750	750-2000	>=1000	
Methane	120	30-400	400-2000	>=1000	
Acetylene	1	2-9	10-95	>=5	
Ethylene	50	51-100	101-100	>=200	
Ethane	60	66-100	101-150	>=150	
Carbon monoxide	100	101-370	371-1400	>=1400	
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	>=10000	
TDCG	720	721-1920	1921-4650	>=4650	
Reported By			Approved By		

ผลทดสอบ Ratio

TEST REPORT									
Serial No : [REDACTED]									
2. Measurement of Voltage ratio and check of phase displacement									
Standard :		IEEE C57.12.90			Ambient Temp :		27.3 °C		
Criteria :		Deviation not more than ± 0.5%			Humidity :		57.7 %RH		
Tap	Tap Voltage			H1-H3 / x1-x0			H2-H1 / x2-x0		
	HV (kV)	LV (kV)	Ratio	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.
1	126.5	23.1	9.485	9.4674	-0.19	9.4671	-0.19	9.4676	-0.18
2	125.1	23.1	9.377	9.3616	-0.17	9.3611	-0.17	9.3616	-0.17
3	123.6	23.1	9.269	9.2559	-0.15	9.2558	-0.15	9.2558	-0.15
4	122.2	23.1	9.162	9.1499	-0.13	9.1496	-0.13	9.1499	-0.13
5	120.8	23.1	9.054	9.0441	-0.11	9.0440	-0.11	9.0442	-0.11
6	119.3	23.1	8.946	8.9385	-0.08	8.9381	-0.09	8.9382	-0.09
7	117.9	23.1	8.838	8.8327	-0.06	8.8322	-0.07	8.8326	-0.07
8	116.4	23.1	8.731	8.7268	-0.04	8.7266	-0.05	8.7263	-0.05
9	115.0	23.1	8.623	8.6210	-0.02	8.6207	-0.02	8.6210	-0.02
10	113.6	23.1	8.515	8.5151	0.00	8.5149	0.00	8.5150	0.00
11	112.1	23.1	8.407	8.4094	0.03	8.4090	0.02	8.4092	0.02
12	110.7	23.1	8.299	8.3036	0.05	8.3033	0.05	8.3036	0.05
13	109.3	23.1	8.192	8.1979	0.08	8.1975	0.07	8.1978	0.08
14	107.8	23.1	8.084	8.0920	0.10	8.0919	0.10	8.0921	0.10
15	106.4	23.1	7.976	7.9863	0.13	7.9861	0.13	7.9861	0.13
16	104.9	23.1	7.868	7.8807	0.16	7.8805	0.16	7.8806	0.16
17	103.5	23.1	7.760	7.7749	0.19	7.7745	0.18	7.7748	0.18
Vector Group : Dvn 1 HV - LV									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Core to Ground

TEST REPORT														
Serial No : ██████████														
4. Measurement of Insulation Resistance														
Standard : IEEE C.57.12.90														
Criteria : $\geq 1000 M\Omega$ at 1min , PI ≥ 1.5														
If the 1 min insulation resistance is above $5 G\Omega$, the calculated PI may not be meaningful														
Ambient Temp : 27.2 °C														
Humidity : 54.9 %RH														
Test Voltage (VDC)	Terminals	Avg. Oil Temperature : 27.4 °C										Corr. at 20 °C		PI
		1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	1 min	10 min	
		(GΩ)										(GΩ)		
5000	HV - LV	22.7	31.7	39.5	45.8	49.2	53.5	57.5	60.3	63.4	67.8	38.1	113.8	2.99
5000	HV - LV+CT+Tank(G)	37.1	40.7	42.6	44.8	46.5	47.3	48.9	51.5	51.7	52.6	62.3	88.3	1.42
5000	LV - HV+CT+Tank(G)	21.1	28.4	32.5	35.3	38.9	39.5	42.1	44.9	48.0	48.3	35.4	81.1	2.29
4.1. Measurement of Core-Grounding Insulation Resistance														
Criteria : $\geq 500 M\Omega$ at 1min														
Avg. Oil Temperature : 27.4 °C														
Corr. at 20 °C														
Test Voltage (VDC)	Terminals	1 min (GΩ)	1min (GΩ)											
2500	Core - Clamp + Tank(G)	0.9	1.2											
2500	Clamp - Core + Tank(G)	0.4	0.8											

ผลทดสอบ Power factor

TEST REPORT											
Serial No : ██████████											
*7. Measurement of Dissipation Factor(tan δ) and Capacitance											
Standard : IEE C57.12.90											
Criteria : DF% at 20°C $\leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 27.8 °C											
Humidity : 50.0 %RH											
Insulation Temp : 27.0 °C											
Temp. Correction : 1.1650											
Function Mode	Parameter	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	Jeff Test (mA)	Real Power @10kV (W)	DF % (tan δ) at 27 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (nF)	Note.
Gstg B	CH-CHL	HV	LV+Tank	-	10.0	32.440	0.66614	0.21	0.18	10.32	
Gstg A&B	CH	HV	Tank	LV	10.0	9.924	0.23002	0.23	0.20	3.159	
UST A	CHL	HV	LV	Tank	10.0	22.520	0.41647	0.18	0.16	7.164	
Gstg B	CL-CHL	LV	LV+Tank	-	10.0	63.680	1.3800	0.22	0.19	20.26	
Gstg A&B	CL	LV	Tank	HV	10.0	41.170	0.9822	0.24	0.20	13.10	
* 7.1 Measurement of Dissipation Factor and Capacitor For Bushing											
Standard : IEE C57.12.90											
Criteria : $\leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 27.8 °C											
Humidity : 50.0 %RH											
Insulation Temp : 27.0 °C											
Temp. Correction : 0.9250											
Function Mode	Parameter/P hase	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	Jeff Test (mA)	Real Power @10kV (mW)	DF % (tan δ) at 27 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (pF)	Bushing Serial No.
UST A	C1/H1	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6405	27.48	0.43	0.46	203.8	1ZSCT240
Gstg A&B	C2/H1	Test tap	Tank	HV	0.7	0.17330	43.71	0.18	0.19	787.5	0828404
UST A	C1/H2	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6429	28.50	0.44	0.48	204.5	1ZSCT240
Gstg A&B	C2/H2	Test tap	Tank	HV	0.7	0.15070	31.39	0.15	0.16	685.0	0828405
UST A	C1/H3	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6420	28.46	0.44	0.48	204.3	1ZSCT240
Gstg A&B	C2/H3	Test tap	Tank	HV	0.7	0.15890	37.94	0.17	0.18	722.4	0828406

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Leakage reactance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20. Measurement of Single Phase Leakage Impedance						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.6000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.6000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
1	H1-H3	X1-X0	254.70	2.009	126.78	0.78
	H2-H1	X2-X0	254.27	2.000	127.14	
	H3-H2	X3-X0	253.18	2.007	126.15	
2	H1-H3	X1-X0	246.85	2.017	122.38	0.78
	H2-H1	X2-X0	245.98	2.002	122.87	
	H3-H2	X3-X0	244.20	2.003	121.92	
3	H1-H3	X1-X0	238.01	2.011	118.35	0.70
	H2-H1	X2-X0	239.35	2.015	118.78	
	H3-H2	X3-X0	236.16	2.002	117.96	
4	H1-H3	X1-X0	230.03	2.012	114.33	0.72
	H2-H1	X2-X0	231.35	2.016	114.76	
	H3-H2	X3-X0	229.56	2.013	113.94	
5	H1-H3	X1-X0	222.22	2.013	110.39	0.79
	H2-H1	X2-X0	223.32	2.015	110.83	
	H3-H2	X3-X0	221.68	2.016	109.96	
6	H1-H3	X1-X0	214.33	2.012	106.63	0.72
	H2-H1	X2-X0	213.39	2.014	106.95	
	H3-H2	X3-X0	213.96	2.015	106.18	
7	H1-H3	X1-X0	207.30	2.015	102.88	0.71
	H2-H1	X2-X0	208.27	2.018	103.21	
	H3-H2	X3-X0	206.28	2.013	102.47	
8	H1-H3	X1-X0	201.27	2.030	99.15	0.78
	H2-H1	X2-X0	201.99	2.027	99.65	
	H3-H2	X3-X0	198.26	2.005	98.88	
9	H1-H3	X1-X0	193.47	2.023	95.64	0.76
	H2-H1	X2-X0	193.44	2.013	96.10	
	H3-H2	X3-X0	191.98	2.013	95.37	
10	H1-H3	X1-X0	186.67	2.020	92.41	0.63
	H2-H1	X2-X0	189.54	2.047	92.59	
	H3-H2	X3-X0	185.51	2.016	92.02	
11	H1-H3	X1-X0	179.81	2.017	89.15	0.69
	H2-H1	X2-X0	181.43	2.029	89.42	
	H3-H2	X3-X0	186.14	2.096	88.81	
12	H1-H3	X1-X0	179.27	2.091	85.73	0.62
	H2-H1	X2-X0	174.96	2.027	86.31	
	H3-H2	X3-X0	173.13	2.032	85.20	
13	H1-H3	X1-X0	167.34	2.016	83.01	0.59
	H2-H1	X2-X0	167.58	2.013	83.25	
	H3-H2	X3-X0	169.58	2.049	82.76	

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20.1. Measurement of Single Phase Leakage Impedance (Continue)						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.6000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.6000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
14	H1-H3	X1-X0	163.04	2.037	80.04	0.51
	H2-H1	X2-X0	163.56	2.037	80.29	
	H3-H2	X3-X0	165.61	2.073	79.89	
15	H1-H3	X1-X0	154.89	2.007	77.17	0.54
	H2-H1	X2-X0	156.64	2.022	77.47	
	H3-H2	X3-X0	158.57	2.058	77.05	
16	H1-H3	X1-X0	149.37	2.006	74.46	0.54
	H2-H1	X2-X0	150.86	2.019	74.72	
	H3-H2	X3-X0	152.06	2.046	74.32	
17	H1-H3	X1-X0	144.13	2.007	71.81	0.61
	H2-H1	X2-X0	147.26	2.063	71.38	
	H3-H2	X3-X0	144.44	2.015	71.68	

เอกสารนี้ไม่ออกสารที่สงวนไว้... (Watermark text)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Oil quality

TEST REPORT										
Insulation oil dielectric strength test										24.4 °C
Standard : IEC 60156 (1995)										58.8 %RH
Criteria : Average oil breakdown > 60 kV										
Location	Test No	1	2	3	4	5	6	Average	Stdv.	s/x
Main Tank	Breakdown (kV)	70.2	77.9	79.7	80.5	70.6	78.8	76.3	4.66	0.06
OLTC		71.3	83.2	82.9	76.7	74.4	82.6	78.5	5.10	0.06
Oil moisture content										24.4 °C
Standard : ASTM D1533										58.8 %RH
Criteria : Oil moisture content less than 10 ppm										
Location	Water in [ppm]	Water in [%]								
Main Tank	2.924	0.0003								
OLTC	6.469	0.0006								
Interfacial tension										24.4 °C
Standard : ASTM D971										58.8 %RH
Location	Interfacial tension dyne/cm									
Main Tank	33.000									
OLTC	31.000									
6. Acid number										24.4 °C
Standard : ASTM D974										58.8 %RH
Location	Acid number									
Main Tank	0.030									
OLTC	0.020									
6. Oil color										24.4 °C
Standard : ASTM D1500										58.8 %RH
Criteria : Not over 2										
Location	Oil Colour									
Main Tank	1.300									
OLTC	1.200									

ผลทดสอบ Furanic

TEST REPORT		
Serial No : [REDACTED]		
Furanic compound		
Test transformer	Total Year use (year)	Furanic
1	5	-
Remark :		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Load history

TEST REPORT			
Serial No : ██████████			
Load history			
	Si : Monthly Peak load (MVA)	Sb : Rate Load of transformer (MVA)	Si/Sb
Test tranformer	25	50	0.5
Remark :			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA main Tank

Component gas		ppm	Limit as IEEE C57.104	7-Jan-22	Sampling Date
Hydrogen	H2		<=100	22	
Carbon Dioxide	CO2		<=2500	2734	
Acetylene	C2H2		<=1	0	
Ethylene	C2H4		<=50	29	
Ethane	C2H6		<=65	30	
Methane	CH4		<=120	15	
Carbon monoxide	CO		<=350	220	
TDCG	u/L		<=720	96	

TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087

Dissolved key gas concentration limit (ppm), IEEE C57.104-2008

Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	101-700	701-1800	> 1800
Methane	120	121-400	401-1000	>1000
Acetylene	1	2-9	10-35	>35
Ethylene	50	51-100	101-200	>200
Ethane	65	66-100	101-150	>150
Carbon monoxide	350	351-570	571-1400	>1400
Carbon Dioxide	2500	2511-4000	4001-10000	>10000
Trace	320	321-1500	1501-15000	>15000

Reported By	Approved By
-------------	-------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA OLTC

DGA Evaluation, Recommendation					
- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C57.104-2008) - As Duval Triangle Technique was shown Normal Operation (N) of insulating oil. Sampling interval : Annual					
Dissolved Gas measurement analysis (ASTM D 3612-02 Reapprove 2017, Method C)					
Component gas	ppm	Limit as IEEE C57.104	7-Jan-22		
Hydrogen	H2	<=100	42		
Carbon Dioxide	CO2	<=2500	1165		
Acetylene	C2H2	<=1	0		
Ethylene	C2H4	<=50	33		
Ethane	C2H6	<=85	8		
Methane	CH4	<=120	27		
Carbon monoxide	CO	<=380	170		
TDCG	uL/L	<=720	110		
TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂)					
Instrument Detail					
Test Parameter		Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil		Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087	
TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂)					
Test Parameter		Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil		Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087	
Acceptance Criteria					
Dissolved key gas concentration limit (ppm), IEEE C57.104-2008					
Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	
Hydrogen	100	100-200	200-1000	> 1000	
Methane	120	121-400	401-1000	> 1000	
Acetylene	1	2-9	10-35	> 35	
Ethylene	50	51-100	101-200	> 200	
Ethane	65	66-100	101-150	> 150	
Carbon monoxide	350	351-670	671-1400	> 1400	
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	> 10000	
TDCG	720	721-1920	1921-6000	> 6000	
Reported By				Approved By	

ผลทดสอบ Turn Ratio

TEST REPORT									
Serial No : [REDACTED]									
2. Measurement of Voltage ratio and check of phase displacement									
Standard :		IEEE C57.12.90			Ambient Temp :		26.6 °C		
Criteria :		Deviation not more than ± 0.5%			Humidity :		59.1 %RH		
Tap	Tap Voltage			H1-H3 / x1-x0		H2-H1 / x2-x0		H3-H2 / x3-x0	
	HV (kV)	LV (kV)	Ratio	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.
1	126.5	23.1	9.485	9.4668	-0.19	9.4667	-0.19	9.4668	-0.19
2	125.1	23.1	9.377	9.3608	-0.18	9.3606	-0.18	9.3605	-0.18
3	123.6	23.1	9.269	9.2551	-0.16	9.2546	-0.16	9.2547	-0.16
4	122.2	23.1	9.162	9.1493	-0.14	9.1487	-0.14	9.1490	-0.14
5	120.8	23.1	9.054	9.0435	-0.11	9.0428	-0.12	9.0432	-0.12
6	119.3	23.1	8.946	8.9372	-0.10	8.9375	-0.10	8.9375	-0.10
7	117.9	23.1	8.838	8.8318	-0.07	8.8317	-0.08	8.8318	-0.07
8	116.4	23.1	8.731	8.7261	-0.05	8.7258	-0.05	8.7259	-0.05
9	115.0	23.1	8.623	8.6204	-0.03	8.6199	-0.03	8.6202	-0.03
10	113.6	23.1	8.515	8.5147	0.00	8.5143	-0.01	8.5145	-0.01
11	112.1	23.1	8.407	8.4086	0.02	8.4087	0.02	8.4088	0.02
12	110.7	23.1	8.299	8.3029	0.04	8.3029	0.04	8.3031	0.04
13	109.3	23.1	8.192	8.1973	0.07	8.1972	0.07	8.1974	0.07
14	107.8	23.1	8.084	8.0916	0.10	8.0915	0.09	8.0916	0.10
15	106.4	23.1	7.976	7.9859	0.12	7.9858	0.12	7.9859	0.12
16	104.9	23.1	7.868	7.8802	0.15	7.8800	0.15	7.8801	0.15
17	103.5	23.1	7.760	7.7744	0.18	7.7743	0.18	7.7744	0.18
Vector Group : Dyn 1 HV - LV									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Winding Resistance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
3. Measurement of Winding Resistance						
Standard : IEEE C57.12.90						
Material : <u>Copper</u>						
LV Winding Material : <u>Copper</u>						
Tap	HV Winding Resistance (Ohm)			%Deviation (Max.)	Avg. Winding Temp. (°C)	Note.
	H1 - H2	H2 - H3	H3 - H1			
1	0.65191	0.64973	0.65110	0.33	26.10	
2	0.63754	0.63533	0.63675	0.35		
3	0.62312	0.62085	0.62230	0.36		
4	0.60873	0.60644	0.60793	0.38		
5	0.59434	0.59203	0.59352	0.39		
6	0.57989	0.57756	0.57907	0.40		
7	0.56546	0.56313	0.56468	0.41		
8	0.55105	0.54869	0.55015	0.43		
9	0.53569	0.53367	0.53463	0.38		
10	0.55116	0.54910	0.55039	0.37		
11	0.56571	0.56358	0.56488	0.38		
12	0.58015	0.57798	0.57930	0.37		
13	0.59459	0.59245	0.59378	0.36		
14	0.60889	0.60674	0.60809	0.35		
15	0.62337	0.62119	0.62260	0.35		
16	0.63776	0.63558	0.63693	0.34		
17	0.65231	0.65013	0.65148	0.33		
LV Winding Material : <u>Copper</u> Reference Temperature : 75 °C						
Avg. Oil Temperature : 27.30 °C						
Tap	LV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Avg. Winding Temp. (°C)	Note.
	x1 - x2	x2 - x3	x3 - x1			
23.1kV	16.9500	16.915	16.985	0.41	26.10	
TV Winding Resistance (mOhm)						
Tap	TV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Avg. Winding Temp. (°C)	Note.
	x1-x0	x2-x0	x3-x0			
23.1kV	8.4937	8.4527	8.4818	0.48	26.10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Core to Ground

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
4. Measurement of Insulation Resistance						
Standard : IEEE C.57.12.90						
Criteria : $\geq 1000 \text{ M}\Omega$ at 1min , $\text{PI} \geq 1.5$						
If the 1 min insulation resistance is above 5 G Ω , the calculated PI may not be meaningful						
Ambient Temp : 26.7 °C						
Humidity : 59.2 %RH						
Top. Oil Temp. : 26.5 °C						
Corrected at 20 °C						
Test Voltage (VDC)	Terminals	1 min (M Ω)	10 min (M Ω)	1 min (M Ω)	10 min (M Ω)	PI
5000	HV - LV	20500	50400	32267	79330	2.46
5000	HV - LV+CT+Tank(G)	30800	42700	48479	67210	1.39
5000	LV - HV+CT+Tank(G)	18500	34800	29119	54775	1.88
4.1. Measurement of Core-Grounding Insulation Resistance						
Criteria : $\geq 500 \text{ M}\Omega$ at 1min						
Top. Oil Temp. : 26.5 °C						
Corrected at 20 °C						
Test Voltage (VDC)	Terminals	1 min (M Ω)	1 min (M Ω)			
2500	Core - Clamp + Tank(G)	1460	2298			
2500	Clamp - Core + Tank(G)	826	1300			

ผลทดสอบ Power factor

TEST REPORT												
Serial No ██████████												
*6. Measurement of Dissipation Factor(tan δ) and Capacitance												
Standard : IEE C57.12.90												
Criteria : DF% at 20°C <0.5%												
Ambient Temp : 25.9 °C												
Humidity : 62.0 %RH												
Insulation Temp : 26.1 °C												
Temp. Correction : 1.1425												
Function	Mode	Parameter	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	I _{eff} Test (mA)	Real Power @10kV (W)	DF % (tan δ) at 26.1 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (nF)	Note.
Gstg B	CH+CHL	HV	LV+Tank	-	-	10.0	31.010	0.57298	0.18	0.16	9.87	
Gstg A&B	CH	HV	Tank	LV	-	10.0	10.060	0.24226	0.24	0.21	3.202	
UST A	CHL	HV	LV	Tank	-	10.0	20.950	0.31294	0.15	0.13	6.669	
Gstg B	CL+CHL	LV	LV+Tank	-	-	10.0	62.790	1.2900	0.20	0.18	19.98	
Gstg A&B	CL	LV	Tank	HV	-	10.0	41.830	0.9813	0.23	0.21	13.32	
* 6.1 Measurement of Dissipation Factor and Capacitor For Bushing												
Standard : IEE C57.12.90												
Criteria : DF% at 20°C <0.5%												
Ambient Temp : 25.90 °C												
Humidity : 62.0 %RH												
Insulation Temp : 26.1 °C												
Temp. Correction : 0.9295												
Function	Mode	Parameter /Phase	Energize d	Ground	Guard	U rms (kV)	I _{eff} Test (mA)	Real Power @10kV (mW)	DF % (tan δ) at 26.1 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (pF)	Bushing Serial No.
UST A	A	C1/H1	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6311	27.35	0.43	0.47	200.8	1ZSCT270
Gstg A&B	A	C2/H1	Test tap	Tank	HV	0.5	0.10820	40.36	0.19	0.20	687.8	0612/06
UST A	A	C1/H2	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6312	27.03	0.43	0.46	200.8	1ZSCT270
Gstg A&B	A	C2/H2	Test tap	Tank	HV	0.5	0.10730	36.14	0.17	0.18	682.5	0612/05
UST A	A	C1/H3	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6302	27.34	0.43	0.47	200.5	1ZSCT270
Gstg A&B	A	C2/H3	Test tap	Tank	HV	0.5	0.10830	47.53	0.22	0.24	687.6	0612/04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Leakage reactance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20. Measurement of Single Phase Leakage Impedance						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.2000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.5000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
1	H1-H3	X1-X0	254.60	2.007	126.86	0.67
	H2-H1	X2-X0	254.21	1.998	127.23	
	H3-H2	X3-X0	253.15	2.003	126.39	
2	H1-H3	X1-X0	246.83	2.015	122.50	0.73
	H2-H1	X2-X0	245.92	2.002	122.84	
	H3-H2	X3-X0	243.90	2.000	121.95	
3	H1-H3	X1-X0	238.00	2.009	118.47	0.70
	H2-H1	X2-X0	239.33	2.013	118.89	
	H3-H2	X3-X0	236.14	2.000	118.07	
4	H1-H3	X1-X0	230.00	2.010	114.43	0.72
	H2-H1	X2-X0	231.52	2.014	114.86	
	H3-H2	X3-X0	229.53	2.011	114.04	
5	H1-H3	X1-X0	222.20	2.011	110.49	0.74
	H2-H1	X2-X0	223.30	2.013	110.93	
	H3-H2	X3-X0	221.76	2.014	110.11	
6	H1-H3	X1-X0	214.30	2.010	106.72	0.72
	H2-H1	X2-X0	215.36	2.012	107.04	
	H3-H2	X3-X0	213.92	2.013	106.27	
7	H1-H3	X1-X0	207.27	2.013	102.97	0.71
	H2-H1	X2-X0	208.24	2.016	103.29	
	H3-H2	X3-X0	206.26	2.011	102.57	
8	H1-H3	X1-X0	201.25	2.028	99.24	0.62
	H2-H1	X2-X0	201.97	2.025	99.74	
	H3-H2	X3-X0	198.24	2.000	99.12	
9	H1-H3	X1-X0	193.45	2.021	95.72	0.71
	H2-H1	X2-X0	193.42	2.011	96.18	
	H3-H2	X3-X0	191.96	2.010	95.50	
10	H1-H3	X1-X0	186.65	2.018	92.49	0.62
	H2-H1	X2-X0	189.52	2.045	92.67	
	H3-H2	X3-X0	185.49	2.014	92.10	
11	H1-H3	X1-X0	179.79	2.015	89.23	0.69
	H2-H1	X2-X0	181.41	2.027	89.50	
	H3-H2	X3-X0	186.12	2.094	88.88	
12	H1-H3	X1-X0	179.23	2.069	83.80	0.62
	H2-H1	X2-X0	174.92	2.025	86.38	
	H3-H2	X3-X0	173.10	2.030	85.27	
13	H1-H3	X1-X0	167.32	2.014	83.08	0.58
	H2-H1	X2-X0	167.55	2.011	83.32	
	H3-H2	X3-X0	169.57	2.047	82.84	

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20.1. Measurement of Single Phase Leakage Impedance (Continue)						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.2000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.5 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
14	H1-H3	X1-X0	163.02	2.035	80.11	0.51
	H2-H1	X2-X0	163.54	2.035	80.36	
	H3-H2	X3-X0	165.59	2.071	79.96	
15	H1-H3	X1-X0	154.87	2.005	77.24	0.54
	H2-H1	X2-X0	156.62	2.020	77.53	
	H3-H2	X3-X0	158.55	2.056	77.12	
16	H1-H3	X1-X0	149.35	2.004	74.53	0.54
	H2-H1	X2-X0	150.84	2.017	74.78	
	H3-H2	X3-X0	152.04	2.044	74.38	
17	H1-H3	X1-X0	144.11	2.005	71.88	0.61
	H2-H1	X2-X0	147.24	2.061	71.44	
	H3-H2	X3-X0	144.42	2.013	71.74	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะครั้งเดียวเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากทางบริษัทฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Oil quality

TEST REPORT										
Insulation oil dielectric strength test										24.4 °C
Standard : IEC 60156 (1995)										58.8 %RH
Criteria : Average oil breakdown > 60 kV										
Location	Test No	1	2	3	4	5	6	Average	Stdv	s/x
Main Tank	Breakdown (kV)	89.3	91.1	75.7	96.4	93.6	100.1	91.0	0.09	0.06
OLTC		96.4	83.9	82.4	82.7	91.9	84.1	86.9	0.07	0.06
Oil moisture content										24.4 °C
Standard : ASTM D1533										58.8 %RH
Criteria : Oil moisture content less than 10 ppm										
Location	Water in [ppm]	Water in [%]								
Main Tank	3.060	0.0003								
OLTC	6.280	0.0006								
Interfacial tension										24.4 °C
Standard : ASTM D971										58.8 %RH
Location	Interfacial tension dyne/cm									
Main Tank	35.000									
OLTC	33.000									
Acid number										24.4 °C
Standard : ASTM D974										58.8 %RH
Location	Acid number									
Main Tank	0.030									
OLTC	0.020									
6.Oil color										24.4 °C
Standard : ASTM D1500										58.8 %RH
Criteria : Not over 2										
Location	Oil Colour									
Main Tank	1.500									
OLTC	1.300									

ผลทดสอบ Furanic

TEST REPORT		
Serial No : XXXXXXXXXX		
Furanic compound		
Test tranformer	Total Year use (year)	Furanic
2	7	-
Remark :		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Load history

TEST REPORT			
Serial No : [REDACTED]			
Load history			
Test tranformer	Si : Monthly Peak	Sb : Rate Load of	Si/Sb
2	35	50	0.7
Remark :			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หม้อแปลงลูกที่ 3

ขนาด 115/23 kV 50 MVA

อายุใช้งาน 17 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA main Tank

Date: 2023/09/23
Page: 1/1

Test Data

Sample No: [Redacted]

Transformer: [Redacted]

Oil Type: [Redacted]

Oil Volume: [Redacted]

Oil Temp: [Redacted]

Sample Date: [Redacted]

Sample Location: [Redacted]

Sample Method: [Redacted]

Sample Volume: [Redacted]

Sample Pressure: [Redacted]

Sample Temperature: [Redacted]

Sample Humidity: [Redacted]

Sample pH: [Redacted]

Sample Conductivity: [Redacted]

Sample Resistivity: [Redacted]

Sample Dielectric Loss: [Redacted]

Sample Dielectric Constant: [Redacted]

Sample Dielectric Absorption: [Redacted]

Sample Dielectric Strength: [Redacted]

Sample Dielectric Loss Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Constant Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Absorption Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Strength Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Loss Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Constant Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Absorption Factor: [Redacted]

Sample Dielectric Strength Factor: [Redacted]

Test Results

Hydrogen (H₂): 40 ppm

Carbon Dioxide (CO₂): 3300 ppm

Acetylene (C₂H₂): 0.9 ppm

Ethylene (C₂H₄): 60 ppm

Ethane (C₂H₆): 32 ppm

Methane (CH₄): 112 ppm

Carbon monoxide (CO): 749 ppm

TDCG (µL/L): 276

DGA Evaluation , Recommendation

- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C.57.104-2008)

- The consider that the transformer with normal operation (No fault) , (as IEEE C.57.104 : 2008 , IEC 60599-2015 , Doernberg ratio method and Rogers ratio method)

Sampling interval : Annual

Dissolved Gas measurement analysis (ASTM D 3612-02 (Reapprove 2017 , Method C)				
Component gas	ppm	Limit as IEEE C57.104	Sampling Date	
			10-Sep-23	
Hydrogen	H ₂	<=100	40	
Carbon Dioxide	CO ₂	<=2900	3300	
Acetylene	C ₂ H ₂	<=1	0.9	
Ethylene	C ₂ H ₄	<=50	60	
Ethane	C ₂ H ₆	<=65	32	
Methane	CH ₄	<=120	112	
Carbon monoxide	CO	<=350	749	
TDCG	µL/L	<=720	276	

TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₂H₂)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4057

Dissolved key gas concentration limit (ppm) , IEEE C57.104-2008				
Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	101-700	701-1800	>1800
Methane	120	121-400	401-1000	>1000
Acetylene	1	2-9	10-35	>35
Ethylene	50	51-100	101-200	>200
Ethane	65	66-100	101-100	>100
Carbon monoxide	350	351-870	871-1400	>1400
Carbon Dioxide	2900	2901-6000	6001-10000	>10000
Limit	720	721-1820	1821-3600	>3600

Reported By : [Redacted]

Approved By : [Redacted]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA OLTC

DGA Evaluation, Recommendation				
- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C.57.104-2008) - As Duval Triangle Technique was shown Normal Operation (N) of insulating oil. Sampling interval : Annual				
Dissolved Gas measurement analysis (ASTM D 3612-02 (Reapprove 2017, Method C)				
Component gas	ppm	Limit as IEEE C57.104	10-Sep-23	Sampling Date
Hydrogen	H2	<=100	29	
Carbon Dioxide	CO2	<=2500	3541	
Acetylene	C2H2	<=1	0.6	
Ethylene	C2H4	<=50	65	
Ethane	C2H6	<=65	18	
Methane	CH4	<=120	111	
Carbon monoxide	CO	<=950	543	
TDCG	uL/L	<=720	224	
TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₆)				
Test Parameter	Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087	
TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₆)				
Test Parameter	Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087	
Acceptance Criteria				
Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	101-700	701-1800	> 1800
Methane	150	121-400	401-1000	>1000
Acetylene	1	2-9	10-35	>35
Ethylene	99	91-800	81-8200	>200
Ethane	100	66-100	101-150	>150
Carbon monoxide	250	351-570	571-1400	>1400
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	>10000
TDCG	720	721-1920	1921-4630	>4630
Dissolved key gas concentration limit (ppm) , IEEE C57.104-2008				
Reported By				
Approved By				

ผลทดสอบ Turn Ratio

TEST REPORT									
Serial No : [REDACTED]									
2. Measurement of Voltage ratio and check of phase displacement									
Standard : IEEE C57.12.90					Ambient Temp : 27.8 °C				
Criteria : Deviation not more than ± 0.5%					Humidity : 52.6 %RH				
Tap	Tap Voltage			H1-H3 / x1-x0		H2-H1 / x2-x0		H3-H2 / x3-x0	
	HV (kV)	LV (kV)	Ratio	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.
1	126.5	23.1	9.485	9.4669	-0.19	9.4669	-0.19	9.4671	-0.19
2	125.1	23.1	9.377	9.3612	-0.17	9.3611	-0.17	9.3610	-0.17
3	123.6	23.1	9.269	9.2555	-0.15	9.2553	-0.15	9.2555	-0.15
4	122.2	23.1	9.162	9.1498	-0.13	9.1494	-0.13	9.1497	-0.13
5	120.8	23.1	9.054	9.0440	-0.11	9.0438	-0.11	9.0439	-0.11
6	119.3	23.1	8.946	8.9381	-0.09	8.9381	-0.09	8.9382	-0.09
7	117.9	23.1	8.838	8.8323	-0.07	8.8320	-0.07	8.8323	-0.07
8	116.4	23.1	8.731	8.7266	-0.05	8.7263	-0.05	8.7266	-0.05
9	115.0	23.1	8.623	8.6208	-0.02	8.6206	-0.03	8.6207	-0.02
10	113.6	23.1	8.515	8.5151	0.00	8.5149	0.00	8.5150	0.00
11	112.1	23.1	8.407	8.4092	0.02	8.4093	0.02	8.4095	0.03
12	110.7	23.1	8.299	8.3037	0.05	8.3034	0.05	8.3036	0.05
13	109.3	23.1	8.192	8.1979	0.08	8.1973	0.07	8.1979	0.08
14	107.8	23.1	8.084	8.0921	0.10	8.0921	0.10	8.0921	0.10
15	106.4	23.1	7.976	7.9865	0.13	7.9861	0.13	7.9863	0.13
16	104.9	23.1	7.868	7.8807	0.16	7.8806	0.16	7.8807	0.16
17	103.5	23.1	7.760	7.7749	0.19	7.7749	0.19	7.7751	0.19
Vector Group : Dyn 1 HV - LV									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Winding Resistance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
3. Measurement of Winding Resistance						
Standard : IEEE C57.12.90						
Material : <u>Copper</u>						
Avg. Oil Temperature : 28.55 °C						
Reference Temperature : 75 °C						
Tap Pos.	HV Winding Resistance (Ohm)			%Deviation (Max.)	Average Winding Resistance (Ohm)	
	H1 - H2 (28.55 °C)	H2 - H3 (28.55 °C)	H3 - H1 (28.55 °C)		(28.55 °C)	(75 °C)
1	0.66396	0.66389	0.66442	0.08	0.66409	0.78113
2	0.64945	0.64929	0.64985	0.09	0.64953	0.76401
3	0.63484	0.63468	0.63531	0.10	0.63494	0.74685
4	0.62032	0.62002	0.62076	0.12	0.62037	0.72970
5	0.60569	0.60544	0.60615	0.12	0.60576	0.71252
6	0.59100	0.59070	0.59151	0.14	0.59107	0.69524
7	0.57639	0.57606	0.57687	0.14	0.57644	0.67804
8	0.56173	0.55210	0.56224	1.74	0.56180	0.66082
9	0.54620	0.54619	0.54651	-0.06	0.54630	0.64258
10	0.56185	0.56178	0.56238	-0.11	0.56200	0.66105
11	0.57649	0.57641	0.57698	0.10	0.57663	0.67826
12	0.59112	0.59097	0.59159	0.10	0.59123	0.69543
13	0.60576	0.60562	0.60623	0.10	0.60587	0.71265
14	0.62025	0.62007	0.62067	0.10	0.62033	0.72966
15	0.63490	0.63475	0.63530	0.09	0.63498	0.74690
16	0.64943	0.64932	0.64985	0.08	0.64953	0.76401
17	0.66410	0.66399	0.66453	0.08	0.66421	0.78127
LV Winding Material : <u>Copper</u>						
Avg. Oil Temperature : 28.55 °C						
Reference Temperature : 75 °C						
Tap Pos.	LV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Average Winding Resistance (mOhm)	
	x1 - x2 (28.55 °C)	x2 - x3 (28.55 °C)	x3 - x1 (28.55 °C)		(28.55 °C)	(75 °C)
	17.103	17.073	17.161	0.51	17.112	20.128
Tap Pos.	LV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Average Winding Resistance (mOhm)	
	x1-x0 (28.55 °C)	x2-x0 (28.55 °C)	x3-x0 (28.55 °C)		(28.55 °C)	(75 °C)
	8.5734	8.5312	8.5732	0.49	8.5593	10.0678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Core to Ground

TEST REPORT														
Serial No : ██████████														
4. Measurement of Insulation Resistance														
Standard : IEEE C.57.12.90														
Criteria : $\geq 1000 \text{ M}\Omega$ at 1min , PI ≥ 1.5														
Ambient Temp : 28.1 °C														
Humidity : 56 %RH														
If the 1 min insulation resistance is above 5 G Ω , the calculated PI may not be meaningful														
Test Voltage (VDC)	Terminals	Avg. Oil Temperature : 27.8 °C										Corr. at 20 °C		PI
		1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	1 min	10 min	
		(G Ω)										(G Ω)		
5000	HV - LV	19.5	26.8	31.7	36.2	39.0	42.2	45.1	47.5	50.4	52.2	33.5	89.7	2.68
5000	HV - LV+CT+Tank(G)	33.2	36.9	39.2	41.0	42.3	44.2	45.4	46.5	47.9	48.5	57.1	83.4	1.46
5000	LV - HV+CT+Tank(G)	15.5	20.6	24.1	26.7	28.9	30.9	32.2	34.6	35.9	37.8	26.6	65.0	2.44
4.1. Measurement of Core-Grounding Insulation Resistance														
Criteria : $\geq 500 \text{ M}\Omega$ at 1min														
Avg. Oil Temperature : 27.8 °C														
Test Voltage (VDC)	Terminals	Corr. at 20 °C												
		1 min (G Ω)	1min (G Ω)											
2500	Core - Clamp + Tank(G)	0.75	0.92											
2500	Clamp - Core + Tank(G)	0.72	0.84											

ผลทดสอบ Power factor

TEST REPORT											
Serial No : ██████████											
*7. Measurement of Dissipation Factor(tan δ) and Capacitance											
Standard : IEE C57.12.90											
Criteria : DF% at 20°C $\leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 27.9 °C											
Humidity : 54.0 %RH											
Temp. Correction : 1.208											
Insulation Temp : 28.55 °C											
Function Mode	Parameter	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	Ieff Test (mA)	Real Power @10kV (W)	DF % (tan δ) at 28.55 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (nF)	Note.
Gstg B	CH+CHL	HV	LV+Tank	-	10.0	31.300	0.57949	0.19	0.15	9.956	
Gstg A&B	CH	HV	Tank	LV	10.0	10.010	0.23782	0.24	0.20	3.182	
UST A	CHL	HV	LV	Tank	10.0	21.300	0.33531	0.16	0.13	6.777	
Gstg B	CL+CHL	LV	LV+Tank	-	10.0	65.270	1.3500	0.21	0.17	20.76	
Gstg A&B	CL	LV	Tank	HV	10.0	43.960	1.0400	0.24	0.20	13.98	
* 7.1 Measurement of Dissipation Factor and Capacitor For Bushing											
Standard : IEE C57.12.90											
Criteria : DF% at 20°C $\leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 27.90 °C											
Humidity : 54.0 %RH											
Temp. Correction : 0.9111											
Insulation Temp : 28.55 °C											
Function Mode	Parameter/P hase	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	Ieff Test (mA)	Real Power @10kV (mW)	DF % (tan δ) at 28.55 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (pF)	Bushing Serial No.
UST A	C1/H1	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6419	27.39	0.43	0.51	203.9	1ZSCT240 08437/02
UST A	C1/H2	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6452	28.38	0.44	0.48	204.5	1ZSCT240 08437/03
UST A	C1/H3	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6414	27.45	0.43	0.47	203.9	1ZSCT240 08437/04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Leakage reactance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20. Measurement of Single Phase Leakage Impedance						
Standard : IEEE C57.12.90			Ambient Temp : 26.7000 °C			
Criteria : %Deviation ≤ 3			Humidity : 50.1000 %RH			
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
1	H1-H3	X1-X0	254.80	2.010	126.77	0.77
	H2-H1	X2-X0	254.41	2.001	127.14	
	H3-H2	X3-X0	253.35	2.008	126.17	
2	H1-H3	X1-X0	247.03	2.018	122.41	0.88
	H2-H1	X2-X0	246.12	2.003	122.88	
	H3-H2	X3-X0	244.10	2.004	121.81	
3	H1-H3	X1-X0	238.20	2.012	118.39	0.70
	H2-H1	X2-X0	239.53	2.016	118.81	
	H3-H2	X3-X0	236.34	2.003	117.99	
4	H1-H3	X1-X0	230.20	2.013	114.36	0.72
	H2-H1	X2-X0	231.52	2.017	114.78	
	H3-H2	X3-X0	229.53	2.014	113.97	
5	H1-H3	X1-X0	222.40	2.014	110.43	0.74
	H2-H1	X2-X0	223.50	2.016	110.86	
	H3-H2	X3-X0	221.96	2.017	110.04	
6	H1-H3	X1-X0	214.70	2.013	106.66	0.72
	H2-H1	X2-X0	215.56	2.015	106.98	
	H3-H2	X3-X0	214.12	2.016	106.21	
7	H1-H3	X1-X0	207.47	2.016	102.91	0.71
	H2-H1	X2-X0	208.44	2.019	103.24	
	H3-H2	X3-X0	206.46	2.014	102.51	
8	H1-H3	X1-X0	201.45	2.031	99.19	0.87
	H2-H1	X2-X0	202.17	2.026	99.79	
	H3-H2	X3-X0	198.44	2.006	98.92	
9	H1-H3	X1-X0	193.65	2.024	95.68	0.76
	H2-H1	X2-X0	193.62	2.014	96.14	
	H3-H2	X3-X0	192.16	2.014	95.41	
10	H1-H3	X1-X0	186.85	2.021	92.45	0.62
	H2-H1	X2-X0	189.72	2.048	92.64	
	H3-H2	X3-X0	185.69	2.017	92.06	
11	H1-H3	X1-X0	179.99	2.018	89.19	0.69
	H2-H1	X2-X0	181.61	2.030	89.46	
	H3-H2	X3-X0	186.32	2.097	88.85	
12	H1-H3	X1-X0	179.43	2.092	85.77	0.62
	H2-H1	X2-X0	175.12	2.028	86.35	
	H3-H2	X3-X0	173.30	2.033	85.24	
13	H1-H3	X1-X0	167.52	2.017	83.05	0.58
	H2-H1	X2-X0	167.75	2.014	83.29	
	H3-H2	X3-X0	169.77	2.050	82.81	

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20.1. Measurement of Single Phase Leakage Impedance (Continue)						
Standard : IEEE C57.12.90			Ambient Temp : 26.7000 °C			
Criteria : %Deviation ≤ 3			Humidity : 50.1000 %RH			
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
14	H1-H3	X1-X0	162.92	2.038	79.94	0.51
	H2-H1	X2-X0	163.44	2.038	80.20	
	H3-H2	X3-X0	165.49	2.074	79.79	
15	H1-H3	X1-X0	154.77	2.008	77.08	0.54
	H2-H1	X2-X0	156.52	2.023	77.37	
	H3-H2	X3-X0	158.45	2.059	76.95	
16	H1-H3	X1-X0	149.25	2.007	74.36	0.54
	H2-H1	X2-X0	150.74	2.020	74.62	
	H3-H2	X3-X0	151.94	2.047	74.23	
17	H1-H3	X1-X0	144.01	2.008	71.72	0.60
	H2-H1	X2-X0	147.14	2.064	71.29	
	H3-H2	X3-X0	144.32	2.016	71.59	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Oil quality

TEST REPORT										
*5. Insulation oil dielectric strength test										Ambient Temp. : 24.6 °C
Standard : IEC 60156 (1995)										Humidity : 69.5 %RH
Criteria : Average oil breakdown > 60 kV										
Location	Test No	1	2	3	4	5	6	Average	Stdv.	s/x
Main Tank	Breakdown (kV)	49.0	52.0	53.0	51.0	54.0	53.0	52.0	6.88	0.09
OLTC		61.0	68.0	64.0	70.0	63.0	66.0	65.3	3.6	0.04
Oil moisture content										24.6 °C
Standard : ASTM D1533										69.5 %RH
Criteria : Oil moisture content less than 10 ppm										
Location	Water in [ppm]	Water in [%]								
Main Tank	14.900	0.0005								
OLTC	13.200	0.0008								
Interfacial tension										24.6 °C
Standard : ASTM D971										69.5 %RH
Location	Interfacial tension dyne/cm									
Main Tank	30.000									
OLTC	29.000									
Acid number										24.6 °C
Standard : ASTM D974										69.5 %RH
Location	Acid number									
Main Tank	0.120									
OLTC	0.090									
Oil color										24.6 °C
Standard : ASTM D1500										69.5 %RH
Criteria : Not over 2										
Location	Oil Colour									
Main Tank	3.000									
OLTC	2.900									

ผลทดสอบ Furanic

TEST REPORT		
Serial No : [REDACTED]		
Furanic compound		
Test transformer	Total Year use (year)	Furanic
3	17	-
Remark :		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Load history

TEST REPORT			
Serial No : XXXXXXXXXX			
Load history			
Test tranformer	Si : Monthly Peak	Sb : Rate Load of	Si/Sb
3	40	50	0.8
Remark :			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หม้อแปลงลูกที่ 4

ขนาด 115/23 kV 50MVA

อายุใช้งาน 10 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA main Tank

Component gas		ppm	Limit as IEEE C57.104	10-Dec-23	Sampling Date
Hydrogen	H2		<=100	181	
Carbon Dioxide	CO2		<=2500	643	
Acetylene	C2H2		<=1	0	
Ethylene	C2H4		<=50	18	
Ethane	C2H6		<=25	67	
Methane	CH4		<=120	4	
Carbon monoxide	CO		<=350	599	
TDCG	uL/L		<=720	250	

TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Parkin Elmer	4087

Dissolved key gas concentration limit (ppm) , IEEE C57.104-2008

Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	100-700	701-1800	>1800
Methane	120	121-400	401-1000	>1000
Acetylene	1	2-9	10-35	>35
Ethylene	50	51-100	101-250	>250
Ethane	25	26-100	101-150	>150
Carbon monoxide	250	351-570	571-1000	>1000
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	>10000

Reported By: [Signature]

Approved By: [Signature]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA OLTC

DGA Evaluation, Recommendation					
- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C.57.104-2008) - As Duval Triangle Technique was shown Normal Operation (N) of insulating oil. Sampling interval : Annual					
Dissolved Gas measurement analysis (ASTM D 3612-02 Reapprove 2017, Method C)					
Component gas	ppm	Limit as IEEE C57.104	10-Dec-22	Sampling Date	
Hydrogen	H2	<=100	12		
Carbon Dioxide	CO2	<=2500	543		
Acetylene	C2H2	<=1	0		
Ethylene	C2H4	<=50	3		
Ethane	C2H6	<=85	1		
Methane	CH4	<=120	2		
Carbon monoxide	CO	<=380	18		
TDCG	uL/L	<=720	590		
TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂)					
Instrument Detail					
Test Parameter		Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil		Gas Chromatography	Parkin Emmer	4087	
Test Parameter		Instrument	Brand	Model	
Dissolved gas in Oil		Gas Chromatography	Parkin Emmer	4087	
Acceptance Criteria					
Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	
Hydrogen	20	100-200	200-1800	> 1800	
Methane	120	121-400	401-1000	>1000	
Acetylene	1	2-3	10-35	>35	
Ethylene	60	51-100	100-200	>200	
Ethane	65	66-100	101-150	>150	
Carbon monoxide	350	351-570	571-1400	>1400	
Carbon Dioxide	2500	2501-14000	14001-100000	>100000	
TDCG	720	721-1920	1921-6530	>6530	
Dissolved key gas concentration limit (ppm), IEEE C57.104-2008					
Reported By			Approved By		

ผลทดสอบ DGA Ratio

TEST REPORT									
Serial No : [REDACTED]									
2. Measurement of Voltage ratio and check of phase displacement									
Standard : IEEE C57.12.90					Ambient Temp : 28.8 °C				
Criteria : Deviation not more than ± 0.5%					Humidity : 70.7 %RH				
Tap	Tap Voltage			H1-H3 / x1-x0		H2-H1 / x2-x0		H3-H2 / x3-x0	
	HV (kV)	LV (kV)	Ratio	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.
1	126.5	23.1	9.485	9.4675	-0.19	9.4667	-0.19	9.4671	-0.19
2	125.1	23.1	9.377	9.3617	-0.17	9.3612	-0.17	9.3615	-0.17
3	123.6	23.1	9.269	9.2558	-0.15	9.2554	-0.15	9.2558	-0.15
4	122.2	23.1	9.162	9.1502	-0.13	9.1495	-0.13	9.1500	-0.13
5	120.8	23.1	9.054	9.0440	-0.11	9.0435	-0.11	9.0442	-0.11
6	119.3	23.1	8.946	8.9383	-0.09	8.9380	-0.09	8.9384	-0.09
7	117.9	23.1	8.838	8.8326	-0.06	8.8322	-0.07	8.8325	-0.07
8	116.4	23.1	8.731	8.7270	-0.04	8.7264	-0.05	8.7267	-0.04
9	115.0	23.1	8.623	8.6212	-0.02	8.6208	-0.02	8.6208	-0.02
10	113.6	23.1	8.515	8.5154	0.00	8.5148	0.00	8.5153	0.00
11	112.1	23.1	8.407	8.4094	0.03	8.4092	0.02	8.4096	0.03
12	110.7	23.1	8.299	8.3037	0.05	8.3035	0.05	8.3038	0.05
13	109.3	23.1	8.192	8.1982	0.08	8.1977	0.07	8.1980	0.08
14	107.8	23.1	8.084	8.0925	0.11	8.0919	0.10	8.0924	0.11
15	106.4	23.1	7.976	7.9866	0.13	7.9852	0.11	7.9865	0.13
16	104.9	23.1	7.868	7.8808	0.16	7.8804	0.15	7.8808	0.16
17	103.5	23.1	7.760	7.7752	0.19	7.7748	0.18	7.7750	0.19
Vector Group : Dyn 1 HV - LV									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Winding Resistance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
3. Measurement of Winding Resistance						
Standard : IEEE C57.12.90						
Material : <u>Copper</u>						
LV Winding Material : <u>Copper</u>						
Tap	HV Winding Resistance (Ohm)			%Deviation (Max.)	Avg. Winding Temp. (°C)	Note.
	H1 - H2	H2 - H3	H3 - H1			
1	0.66010	0.66051	0.66022	0.06	28.60	
2	0.64573	0.64604	0.64577	0.05		
3	0.63120	0.63149	0.63122	0.05		
4	0.61677	0.61695	0.61678	0.03		
5	0.60216	0.60233	0.60216	0.03		
6	0.58754	0.58775	0.58759	0.04		
7	0.57302	0.57317	0.57298	0.03		
8	0.55844	0.55865	0.55846	0.04		
9	0.54284	0.54347	0.54078	0.50		
10	0.55855	0.55913	0.55867	0.10		
11	0.57119	0.57371	0.57330	0.44		
12	0.58789	0.58827	0.58794	0.06		
13	0.60245	0.60285	0.60254	0.07		
14	0.61679	0.61729	0.61697	0.08		
15	0.63148	0.63196	0.63159	0.08		
16	0.64603	0.64644	0.64614	0.06		
17	0.66068	0.66109	0.66080	0.06		
Tap	LV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Avg. Winding Temp. (°C)	Note.
	x1 - x2	x2 - x3	x3 - x1			
23.1kV	16.9560	16.979	16.983	0.16	28.60	
Tap	TV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Avg. Winding Temp. (°C)	Note.
	x1-x0	x2-x0	x3-x0			
23.1kV	8.4651	8.4917	8.5053	0.47	28.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Core to Ground

TEST REPORT														
Serial No : ██████████														
4. Measurement of Insulation Resistance														
Standard : IEEE C.57.12.90														
Criteria : $\geq 1000 \text{ M}\Omega$ at 1min , $PI \geq 1.5$														
Ambient Temp : 25.2 °C														
Humidity : 79.5 %RH														
If the 1 min insulation resistance is above 5 G Ω , the calculated PI may not be meaningful														
Test Voltage (VDC)	Terminals	Top. Oil Temp. : 28.9 °C										Corr. at 20 °C		PI
		1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	1 min	10 min	
		(G Ω)										(G Ω)		
5000	HV - LV	16.8	21.1	24.2	26.8	29.1	31.1	32.4	33.8	34.8	35.9	31.1	66.5	2.14
5000	HV - LV+CT+Tank(G)	16.7	19.3	23.3	24.2	25.3	26.5	27.8	28.8	29.1	30.3	30.9	56.1	1.81
5000	LV - HV+CT+Tank(G)	18.6	22.9	23.5	25.4	26.9	27.8	28.1	28.6	29.3	30.4	34.5	56.3	1.63
4.1. Measurement of Core-Grounding Insulation Resistance														
Criteria : $\geq 500 \text{ M}\Omega$ at 1min														
Top. Oil Temp. : 28.9 °C														
Corr. at 20 °C														
Test Voltage (VDC)	Terminals	1 min (G Ω)	1min (G Ω)											
2500	Core - Clamp + Tank(G)	0.78	0.99											
2500	Clamp - Core + Tank(G)	0.69	0.75											

ผลทดสอบ Power factor

TEST REPORT											
Serial No : ██████████											
*7. Measurement of Dissipation Factor(tan δ) and Capacitance											
Standard : IEEE C.57.12.90											
Criteria : $DF\% \text{ at } 20^\circ\text{C} \leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 29.1 °C											
Humidity : 57.0 %RH											
Insulation Temp : 28.2 °C											
Temp. Correction : 1.1960											
Function Mode	Parameter	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	I _{eff} Test (mA)	Real Power @10kV (W)	DF % (tan δ) at 28.2 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (nF)	Note.
Gstg B	CH+CHL	HV	LV+Tank	-	10.0	30.900	0.54992	0.18	0.15	9.83	
Gstg A&B	CH	HV	Tank	LV	10.0	9.996	0.25056	0.25	0.21	3.180	
UST A	CHL	HV	LV	Tank	10.0	20.900	0.28830	0.14	0.12	6.648	
Gstg B	CL+CHL	LV	LV+Tank	-	10.0	62.770	1.1200	0.18	0.15	19.98	
Gstg A&B	CL	LV	Tank	HV	10.0	41.890	0.8481	0.2	0.17	13.33	
* 7.1 Measurement of Dissipation Factor and Capacitor For Bushing											
Standard : IEEE C.57.12.90											
Criteria : $DF\% \text{ at } 20^\circ\text{C} \leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 29.10 °C											
Humidity : 57.0 %RH											
Insulation Temp : 28.2 °C											
Temp. Correction : 0.9270											
Function Mode	Parameter/ Phase	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	I _{eff} Test (mA)	Real Power @10kV (mW)	DF % (tan δ) at 28.2 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (pF)	Bushing Serial No.
UST A	C1/H1	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6434	29.34	0.46	0.50	204.7	1ZSCT2400
Gstg A&B	C2/H1	Test tap	Tank	HV	0.5	0.10770	66.90	0.31	0.34	685.7	8360/01
UST A	C1/H2	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6431	30.23	0.47	0.51	204.6	1ZSCT2400
Gstg A&B	C2/H2	Test tap	Tank	HV	0.5	0.10450	47.03	0.22	0.25	665.0	8360/02
UST A	C1/H3	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6433	30.04	0.47	0.51	204.6	1ZSCT2400
Gstg A&B	C2/H3	Test tap	Tank	HV	0.5	0.11120	76.03	0.34	0.37	707.4	8360/03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Leakage reactance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20. Measurement of Single Phase Leakage Impedance						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.6000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.9000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
1	H1-H3	X1-X0	254.90	2.012	126.69	0.77
	H2-H1	X2-X0	254.51	2.003	127.06	
	H3-H2	X3-X0	253.45	2.010	126.09	
2	H1-H3	X1-X0	247.13	2.020	122.34	0.81
	H2-H1	X2-X0	246.22	2.005	122.80	
	H3-H2	X3-X0	244.36	2.006	121.81	
3	H1-H3	X1-X0	238.30	2.014	118.32	0.70
	H2-H1	X2-X0	239.63	2.018	118.75	
	H3-H2	X3-X0	236.44	2.005	117.93	
4	H1-H3	X1-X0	230.30	2.015	114.29	0.72
	H2-H1	X2-X0	231.62	2.019	114.72	
	H3-H2	X3-X0	229.63	2.016	113.90	
5	H1-H3	X1-X0	222.50	2.016	110.37	0.74
	H2-H1	X2-X0	223.60	2.018	110.80	
	H3-H2	X3-X0	222.06	2.019	109.99	
6	H1-H3	X1-X0	214.80	2.015	106.60	0.72
	H2-H1	X2-X0	215.66	2.017	106.92	
	H3-H2	X3-X0	214.22	2.018	106.15	
7	H1-H3	X1-X0	207.57	2.018	102.86	0.71
	H2-H1	X2-X0	208.54	2.021	103.19	
	H3-H2	X3-X0	206.56	2.016	102.46	
8	H1-H3	X1-X0	201.55	2.033	99.14	0.77
	H2-H1	X2-X0	202.27	2.030	99.64	
	H3-H2	X3-X0	198.54	2.008	98.87	
9	H1-H3	X1-X0	193.75	2.026	95.63	0.76
	H2-H1	X2-X0	193.72	2.016	96.09	
	H3-H2	X3-X0	192.26	2.016	95.37	
10	H1-H3	X1-X0	186.95	2.023	92.41	0.62
	H2-H1	X2-X0	189.82	2.050	92.60	
	H3-H2	X3-X0	185.79	2.019	92.02	
11	H1-H3	X1-X0	180.09	2.020	89.15	0.69
	H2-H1	X2-X0	181.71	2.032	89.42	
	H3-H2	X3-X0	186.42	2.099	88.81	
12	H1-H3	X1-X0	179.33	2.094	85.74	0.62
	H2-H1	X2-X0	175.22	2.030	86.32	
	H3-H2	X3-X0	173.40	2.035	85.21	
13	H1-H3	X1-X0	167.62	2.019	83.02	0.58
	H2-H1	X2-X0	167.85	2.016	83.26	
	H3-H2	X3-X0	169.87	2.052	82.78	

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20.1. Measurement of Single Phase Leakage Impedance (Continue)						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.6000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.9000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
14	H1-H3	X1-X0	163.32	2.040	80.06	0.51
	H2-H1	X2-X0	163.84	2.040	80.31	
	H3-H2	X3-X0	165.89	2.076	79.91	
15	H1-H3	X1-X0	155.17	2.010	77.20	0.54
	H2-H1	X2-X0	156.92	2.025	77.49	
	H3-H2	X3-X0	158.85	2.061	77.07	
16	H1-H3	X1-X0	149.65	2.009	74.49	0.54
	H2-H1	X2-X0	151.14	2.022	74.75	
	H3-H2	X3-X0	152.34	2.049	74.35	
17	H1-H3	X1-X0	144.41	2.010	71.85	0.61
	H2-H1	X2-X0	147.54	2.066	71.41	
	H3-H2	X3-X0	144.72	2.018	71.71	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะการดำเนินงานเท่านั้น ไม่ควรเปิดเผยให้บุคคลอื่นใดทราบโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Oil quality

TEST REPORT										
*5. Insulation oil dielectric strength test						Ambient Temp : 25.2 °C				
Standard : IEC 60156 (1995)						Humidity : 79.5 %RH				
Criteria : Average oil breakdown > 70 kV										
Location	Test No	1	2	3	4	5	6	Average	Stdv.	s/x
Main Tank	Breakdown (kV)	71.0	70.0	68.0	65.0	62.0	72.0	68.0	3.34	0.04
OLTC		71.3	80.0	75.7	80.3	77.7	82.1	77.9	7.3	0.09
Oil moisture content						25.2 °C				
Standard : ASTM D1533						79.5 %RH				
Criteria : Oil moisture content less than 10 ppm										
Location	Water in [ppm]	Water in [%]								
Main Tank	15.000	0.0015								
OLTC	8.000	0.0008								
Interfacial tension						25.2 °C				
Standard : ASTM D971						79.5 %RH				
Location	Interfacial tension dyne/cm									
Main Tank	31.000									
OLTC	34.000									
Acid number						25.2 °C				
Standard : ASTM D974						79.5 %RH				
Location	Acid number									
Main Tank	0.016									
OLTC	0.012									
Oil color						25.2 °C				
Standard : ASTM D1500						79.5 %RH				
Criteria : Not over 2										
Location	Oil Colour									
Main Tank	1.300									
OLTC	1.200									

ผลทดสอบ Furanic

TEST REPORT		
Serial No : ██████████		
Furanic compound		
Test transformer	Total Year use (year)	Furanic
4	10	-
Remark :		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Load history

TEST REPORT			
Serial No : ██████████			
Load history			
Test transformer	Si : Monthly Peak	Sb : Rate Load of	Si/Sb
4	20	50	0.4
Remark :			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หม้อแปลงลูกที่ 5

ขนาด 115/23 kV 50MVA

อายุใช้งาน 21 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA main Tank

DGA Evaluation , Recommendation

- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C.57.104-2008)
 - The consider that the transformer with normal operation (No fault) , (as IEEE C.57.104 : 2008 , IEC 60599-2015 , Doernenberg ratio method and Rogers ratio method)
 Sampling interval : Annual

Component gas		ppm	Limit as IEEE C57.104	Dissolved Gas measurement analysis (ASTM D 3612-02 (Reapprove 2017 , Method C)			
				Sampling Date			
Hydrogen	H2		<=100	14-Dec-23	130		
Carbon Dioxide	CO2		<=2500		7700		
Acetylene	C2H2		<=1		2		
Ethylene	C2H4		<=50		212		
Ethane	C2H6		<=65		71		
Methane	CH4		<=120		89		
Carbon monoxide	CO		<=350		890		
TDCG	u.L.L		<=720		504		

TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Dissolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087

Dissolved key gas concentration limit (ppm) , IEEE C57.104-2008

Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	101-700	701-1800	> 1800
Methane	120	121-400	401-1000	>1000
Acetylene	1	2-8	10-50	>50
Ethylene	60	61-100	101-150	>150
Ethane	75	66-100	101-150	>150
Carbon monoxide	80	351-570	571-1400	>1400
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	>10000
TDCG	720	721-1920	1921-4630	>4630

Reported By
Approved By

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ DGA OLTC

DGA Evaluation, Recommendation

- The TDCG is in condition 1 (As IEEE C.57.104-2008)
 - As Duval Triangle Technique was shown Normal Operation (N) of insulating oil.
 Sampling interval : Annual

Component gas	ppm	Disolved Gas measurement analysis (ASTM D 3612-02 (Reapprove 2017, Method C))			
		Limit as IEEE C57.104	Sampling Date		
Hydrogen	H2	<=100	15-Dec-22	110	
Carbon Dioxide	CO2	<=2500		4100	
Acetylene	C2H2	<=1		1.5	
Ethylene	C2H4	<=50		176	
Ethane	C2H6	<=85		66	
Methane	CH4	<=120		65	
Carbon monoxide	CO	<=380		770	
TDCG	uL/L	<=720		419	

TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Disolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087

TDCG = Total Dissolved Combustible Gas (H₂, CO, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂)

Test Parameter	Instrument	Brand	Model
Disolved gas in Oil	Gas Chromatography	Perkin Elmer	4087

Acceptance Criteria

Disolved key gas concentration limit (ppm) : IEEE C57.104-2008

Component gas	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Hydrogen	100	101-700	701-1800	>1800
Methane	100	51-400	401-1000	>1000
Acetylene	1	2-9	10-35	>35
Ethylene	50	51-100	101-200	>200
Ethane	65	66-100	101-150	>150
Carbon monoxide	380	381-670	671-1400	>1400
Carbon Dioxide	2500	2501-4000	4001-10000	>10000
TDCG	720	721-1820	1821-4630	>4630

Reported By: _____ Approved By: _____

ผลทดสอบ DGA Ratio

TEST REPORT

Serial No : _____

2. Measurement of Voltage ratio and check of phase displacement

Standard : IEEE C57.12.90 Ambient Temp : 25.0 °C
 Criteria : Deviation not more than ± 0.5% Humidity : 44.2 %RH

Tap	Tap Voltage			H1-H3 / x1-x0		H2-H1 / x2-x0		H3-H2 / x3-x0	
	HV (kV)	LV (kV)	Ratio	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.	Ratio _{max}	%Dve.
1	126.5	23.1	9.485	9.4569	-0.30	9.4668	-0.19	9.4673	-0.19
2	125.1	23.1	9.377	9.3613	-0.17	9.3610	-0.17	9.3615	-0.17
3	123.6	23.1	9.269	9.2557	-0.14	9.2551	-0.15	9.2557	-0.15
4	122.2	23.1	9.162	9.1498	-0.13	9.1496	-0.13	9.1500	-0.13
5	120.8	23.1	9.054	9.0440	-0.11	9.0435	-0.12	9.0443	-0.11
6	119.3	23.1	8.946	8.9182	-0.31	8.9376	-0.10	8.9383	-0.09
7	117.9	23.1	8.838	8.8325	-0.06	8.8322	-0.07	8.8324	-0.07
8	116.4	23.1	8.731	8.7167	-0.16	8.7264	-0.05	8.7266	-0.05
9	115.0	23.1	8.623	8.6210	-0.02	8.6206	-0.03	8.6208	-0.02
10	113.6	23.1	8.515	8.5152	0.00	8.5148	0.00	8.5151	0.00
11	112.1	23.1	8.407	8.4591	0.62	8.4092	0.02	8.4095	0.03
12	110.7	23.1	8.299	8.3036	0.06	8.3033	0.05	8.3036	0.05
13	109.3	23.1	8.192	8.1978	0.07	8.1973	0.07	8.1979	0.08
14	107.8	23.1	8.084	8.0921	0.10	8.0916	0.10	8.0921	0.10
15	106.4	23.1	7.976	7.9964	0.26	7.9862	0.13	7.9863	0.13
16	104.9	23.1	7.868	7.8807	0.16	7.8804	0.15	7.8806	0.16
17	103.5	23.1	7.760	7.7898	0.38	7.7744	0.18	7.7749	0.19

Vector Group : **Dyn 1** HV - LV

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านนอก
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Winding Resistance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
3. Measurement of Winding Resistance						
Standard : IEEE C57.12.90						
Material : <u>Copper</u>						
Avg. Oil Temperature : 24.6 °C						
Reference Temperature : 75 °C						
Tap Pos.	HV Winding Resistance (Ohm)			%Deviation (Max.)	Average Winding Resistance (Ohm)	
	H1 - H2 (24.6 °C)	H2 - H3 (24.6 °C)	H3 - H1 (24.6 °C)		(24.6 °C)	(75 °C)
1	0.64195	0.64488	0.64633	0.68	0.64539	0.77069
2	0.63075	0.63062	0.63212	0.24	0.63116	0.75370
3	0.61648	0.61633	0.61787	0.25	0.61689	0.73666
4	0.60228	0.60207	0.60369	0.27	0.60268	0.71969
5	0.58798	0.58778	0.58943	0.28	0.58840	0.70263
6	0.57363	0.57345	0.57508	0.28	0.57405	0.68550
7	0.55925	0.55908	0.56071	0.29	0.55968	0.66834
8	0.54498	0.54476	0.54644	0.31	0.54539	0.65128
9	0.52985	0.52995	0.53110	0.24	0.53030	0.63326
10	0.54517	0.54523	0.54664	0.27	0.54568	0.65162
11	0.54801	0.55954	0.56099	2.37	0.56002	0.66874
12	0.57384	0.57380	0.57528	0.26	0.57431	0.68581
13	0.58122	0.58816	0.58967	1.45	0.58868	0.70297
14	0.60239	0.60234	0.60380	0.24	0.60284	0.71988
15	0.61673	0.61670	0.61816	0.24	0.61720	0.73702
16	0.63096	0.63091	0.63238	0.23	0.63142	0.75400
17	0.63738	0.64531	0.64677	1.47	0.64582	0.77120
LV Winding Material : <u>Copper</u>						
Avg. Oil Temperature : 26.40 °C Reference Temperature : 75 °C						
Tap Pos.	LV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Average Winding Resistance (mOhm)	
	x1 - x2 (26.4 °C)	x2 - x3 (26.4 °C)	x3 - x1 (26.4 °C)		(26.4 °C)	(75 °C)
	16.934	16.931	16.985	0.32	16.950	20.101
Tap Pos.	LV Winding Resistance (mOhm)			%Deviation (Max.)	Average Winding Resistance (mOhm)	
	x1-x0 (26.4 °C)	x2-x0 (26.4 °C)	x3-x0 (26.4 °C)		(26.4 °C)	(75 °C)
	8.4743	8.4511	8.5016	0.60	8.4757	10.0515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Core to Ground

TEST REPORT														
Serial No : ██████████														
4. Measurement of Insulation Resistance														
Standard : IEEE C.57.12.90														
Criteria : $\geq 1000 \text{ M}\Omega$ at 1min , PI ≥ 1.5														
Ambient Temp : 26.5 °C														
Humidity : 43.7 %RH														
If the 1 min insulation resistance is above 5 G Ω , the calculated PI may not be meaningful														
Test Voltage (VDC)	Terminals	Avg. Oil Temperature : 23.5 °C										Corr. at 20 °C		PI
		1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	1 min	10 min	
		(G Ω)										(G Ω)		
5000	HV - LV	21.7	28.7	34.7	39.0	43.6	46.8	49.7	53.8	56.1	59.3	27.8	75.9	2.73
5000	HV - LV+CT+Tank(G)	41.6	44.0	45.9	47.8	49.0	50.3	51.7	52.5	54.6	54.8	53.2	70.1	1.32
5000	LV - HV+CT+Tank(G)	16.0	21.0	24.5	27.1	29.2	31.4	34.3	36.6	38.0	39.5	20.5	50.6	2.47
4.1. Measurement of Core-Grounding Insulation Resistance														
Criteria : $\geq 500 \text{ M}\Omega$ at 1min														
Avg. Oil Temperature : 23.5 °C														
Corr. at 20 °C														
Test Voltage (VDC)	Terminals	1 min (G Ω)	1min (G Ω)											
2500	Core - Clamp + Tank(G)	0.41	0.72											
2500	Clamp - Core + Tank(G)	0.26	0.68											

ผลทดสอบ Power factor

TEST REPORT											
Serial No : ██████████											
*7. Measurement of Dissipation Factor(tan δ) and Capacitance											
Standard : IEE C57.12.90											
Criteria : DF% at 20°C $\leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 26.6 °C											
Humidity : 44.0 %RH											
Insulation Temp : 25.6 °C											
Temp. Correction : 1.1300											
Function Mode	Parameter	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	Ieff Test (mA)	Real Power @10kV (W)	DF % (tan δ) at 25.6 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (nF)	Note.
Gstg B	CH+CHL	HV	LV+Tank	-	10.0	32.020	0.72539	0.23	0.20	10.19	
Gstg A&B	CH	HV	Tank	LV	10.0	10.040	0.25830	0.26	0.23	3.193	
UST A	CHL	HV	LV	Tank	10.0	21.990	0.43597	0.20	0.18	6.995	
Gstg B	CL+CHL	LV	LV+Tank	-	10.0	68.280	1.7300	0.25	0.22	21.73	
Gstg A&B	CL	LV	Tank	HV	10.0	46.320	1.2600	0.27	0.24	14.74	
* 7.1 Measurement of Dissipation Factor and Capacitor For Bushing											
Standard : IEEE C57.12.90											
Criteria : DF% at 20°C $\leq 0.5\%$											
Ambient Temp : 26.6 °C											
Humidity : 44.0 %RH											
Insulation Temp : 25.6 °C											
Temp. Correction : 0.9340											
Function Mode	Parameter/P hase	Energized	Ground	Guard	U rms (kV)	Ieff Test (mA)	Real Power @10kV (mW)	DF % (tan δ) at 25.6 °C	DF % (tan δ) @20°C	Cap. (pF)	Bushing Serial No.
UST A	C1/H1	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6423	30.42	0.47	0.51	204.4	1ZSCT240
Gstg A&B	C2/H1	Test tap	Tank	HV	0.7	0.16110	33.24	0.14	0.15	732.4	08619/01
UST A	C1/H2	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6439	31.26	0.49	0.52	204.9	1ZSCT240
Gstg A&B	C2/H2	Test tap	Tank	HV	0.7	0.15890	30.25	0.13	0.14	722.3	08619/02
UST A	C1/H3	HV	Test tap	Tank	10.0	0.6418	30.87	0.48	0.51	204.2	1ZSCT240
Gstg A&B	C2/H3	Test tap	Tank	HV	0.7	0.14920	27.44	0.13	0.14	677.3	08619/03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Leakage reactance

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20. Measurement of Single Phase Leakage Impedance						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.4000 °C		
Criteria : For Reference				Humidity : 49.8000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
1	H1-H3	X1-X0	254.50	2.004	127.00	0.77
	H2-H1	X2-X0	254.11	1.995	127.57	
	H3-H2	X3-X0	253.05	2.002	126.40	
2	H1-H3	X1-X0	246.73	2.012	122.63	0.83
	H2-H1	X2-X0	245.82	1.997	123.09	
	H3-H2	X3-X0	243.80	1.997	122.08	
3	H1-H3	X1-X0	237.90	2.006	118.59	0.70
	H2-H1	X2-X0	239.23	2.010	119.02	
	H3-H2	X3-X0	236.04	1.997	118.20	
4	H1-H3	X1-X0	229.90	2.007	114.55	0.72
	H2-H1	X2-X0	231.22	2.011	114.98	
	H3-H2	X3-X0	229.23	2.008	114.16	
5	H1-H3	X1-X0	222.10	2.008	110.61	0.74
	H2-H1	X2-X0	223.20	2.010	111.04	
	H3-H2	X3-X0	221.66	2.011	110.22	
6	H1-H3	X1-X0	214.40	2.007	106.83	0.72
	H2-H1	X2-X0	215.26	2.009	107.15	
	H3-H2	X3-X0	213.82	2.010	106.58	
7	H1-H3	X1-X0	207.17	2.010	103.07	0.71
	H2-H1	X2-X0	208.14	2.013	103.40	
	H3-H2	X3-X0	206.16	2.008	102.67	
8	H1-H3	X1-X0	201.15	2.025	99.33	0.77
	H2-H1	X2-X0	201.87	2.022	99.84	
	H3-H2	X3-X0	198.14	2.000	99.07	
9	H1-H3	X1-X0	193.35	2.018	95.81	0.76
	H2-H1	X2-X0	193.32	2.008	96.27	
	H3-H2	X3-X0	191.86	2.008	95.55	
10	H1-H3	X1-X0	186.55	2.015	92.58	0.62
	H2-H1	X2-X0	189.42	2.042	92.76	
	H3-H2	X3-X0	185.39	2.011	92.19	
11	H1-H3	X1-X0	179.69	2.012	89.31	0.83
	H2-H1	X2-X0	181.31	2.021	89.70	
	H3-H2	X3-X0	186.02	2.091	83.96	
12	H1-H3	X1-X0	179.13	2.086	85.87	0.61
	H2-H1	X2-X0	174.82	2.022	86.46	
	H3-H2	X3-X0	173.00	2.027	85.35	
13	H1-H3	X1-X0	167.22	2.011	83.15	0.58
	H2-H1	X2-X0	167.45	2.008	83.39	
	H3-H2	X3-X0	169.47	2.044	82.91	

TEST REPORT						
Serial No : ██████████						
20.1. Measurement of Single Phase Leakage Impedance (Continue)						
Standard : IEEE C57.12.90				Ambient Temp : 26.4000 °C		
Criteria : %Deviation ≤ 3				Humidity : 49.8000 %RH		
Taping	Terminal/Phase		Measurement		Z(Ω/Phase)	%Deviation
	Supply	Short	Voltage(V)	Current(A)		
14	H1-H3	X1-X0	162.92	2.032	80.18	0.51
	H2-H1	X2-X0	163.44	2.032	80.43	
	H3-H2	X3-X0	165.49	2.068	80.02	
15	H1-H3	X1-X0	154.77	2.002	77.31	0.55
	H2-H1	X2-X0	156.52	2.017	77.60	
	H3-H2	X3-X0	158.45	2.053	77.18	
16	H1-H3	X1-X0	149.25	2.001	74.59	0.54
	H2-H1	X2-X0	150.74	2.014	74.85	
	H3-H2	X3-X0	151.94	2.041	74.44	
17	H1-H3	X1-X0	144.01	2.002	71.93	0.61
	H2-H1	X2-X0	147.14	2.058	71.50	
	H3-H2	X3-X0	144.32	2.010	71.80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการดำเนินงานเท่านั้น ไม่ควรเปิดเผยหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Oil quality

TEST REPORT										
*5. Insulation oil dielectric strength test							Ambient Temp. : 25.3 °C			
Standard : IEC 60156 (1995)							Humidity : 45.4 %RH			
Criteria : Average oil breakdown > 60 kV										
Location	Test No	1	2	3	4	5	6	Average	Stdv.	s/x
Main Tank	Breakdown (kV)	53.0	52.0	42.0	47.0	55.0	48.0	49.5	5.89	0.07
OLTC		63.0	61.0	56.0	59.0	58.0	62.0	59.8	3.92	0.05
Oil moisture content							25.3 °C			
Standard : ASTM D1533							45.4 %RH			
Criteria : Oil moisture content less than 10 ppm										
Location	Water in [ppm]	Water in [%]								
Main Tank	18.300	0.0018								
OLTC	14.000	0.0014								
Interfacial tension							25.3 °C			
Standard : ASTM D971							45.4 %RH			
Location	Interfacial tension dyne/cm									
Main Tank	22.000									
OLTC	27.000									
Acid number							25.3 °C			
Standard : ASTM D974							45.4 %RH			
Location	Acid number									
Main Tank	0.500									
OLTC	0.200									
Oil color							25.3 °C			
Standard : ASTM D1500							45.4 %RH			
Location	Oil Colour									
Main Tank	3.600									
OLTC	2.100									

ผลทดสอบ Furanic

TEST REPORT		
Serial No : XXXXXXXXXX		
Furanic compound		
Test tranformer	Total Year use (year)	Furanic
5	21	-
Remark :		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบ Load history

TEST REPORT			
Serial No : XXXXXXXXXX			
Load history			
Test tranformer	Si : Monthly Peak	Sb : Rate Load of	Si/Sb
5	50	50	1
Remark :			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ตารางคำนวณ Health Index หม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA main Tank

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 1							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 5 year							
DGA Tank Score									
standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil-Immersed Transformers)							
Test result data									
ก๊าซ									
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2		
	4	13	10	22	0	102	1274		
Calculation									
Scoring and Weight Factors for gas Levels									
Gas	1	2	3	4	5	6	Wi	คะแนน	WISI
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	1	2
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	1	3
C2H6	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	1	3
C2H4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	1	3
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	1	1
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	1	1
DGAF	1								
Transformer Rating Based on DGA Factor									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	DGAF ≤ 1.2	4						
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0						
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0						
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0						
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0						
Criteria									
Gas	Action Limited	Normal Limit	value	Condition	Note				
H2	1000	150	4	normal	Good condition				
CH4	80	25	13	normal	Good condition				
C2H6	35	10	10	Medium	Medium temperature thermal fault				
C2H4	150	20	22	Medium	High temperature thermal fault				
C2H2	70	45	0	normal	Good condition				
CO	1000	500	102	normal	Good condition				
CO2	15000	10000	1274	normal	Good condition				
			Observation		#VALUE!				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA OLTC

Transformer Health Index								
Over All Information								
Test object	Power Transformer 1							
Rated Power	30/40/50 MVA							
Rated HV	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	50 Hz							
Vector group	Dyn 1							
Condition	Continue operation 5 year							
DGA LTC Score								
Standard	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)							
Test result data								
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ							
	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	
	5	11	8	20	0	86	1266	
Calculation								
Rating of the LTC Based on DGA								
	Gas	1	2	3	4	Wt	คะแนน	Wisi
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	1	3
	C2H6	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	1	4
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Resistive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH4	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0
	C2H6	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF #	1							
Transformer LTC Rating Based on DGA Factor								
Rating Code	Condition	Description	คะแนน					
A	Good	DGAF < 1.2	4					
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF < 1.5	0					
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF < 2	0					
D	Poor	2 ≤ DGAF < 3	0					
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0					
Criteria								
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note			
H2	1000	150	5	normal	Good condition			
CH4	80	25	11	normal	Good condition			
C2H6	35	10	8	normal	Good condition			
C2H4	150	20	20	Medium	High temperature thermal fault			
C2H2	70	15	0	normal	Good condition			
CO	1000	500	86	normal	Good condition			
CO2	15000	10000	1266	normal	Good condition			
Observation								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Electrical Parameter

Transformer Health Index						
Over All Information						
Test object	:	Power Transformer 1				
Rated Power	:	30/40/50 MVA				
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz				
Vector group	:	Dyn 1				
Condition	:	Continue operation 5 year				
Test Result						
Electrical Test						
Test result data						
		Parameter				
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Turn ratio	Leakage reactance	Core-to-ground	Winding resistance	Power factor
		0.19	0.78	1200	0.36	0.48
Calculation						
Turn ratio rating						
Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน	Test Standard : IEEE C57.12.90 Criteria : Deviation not more than $\pm 0.5\%$			
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3				
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$					
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$					
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$					
E	$\Delta TR \geq 2\%$					
Leakage reactance rating						
Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน	Standard : IEEE Std C57.152-2013 Criteria : Deviation not more than 3%			
A	$\Delta X < 0.5\%$	3				
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$					
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$					
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$					
E	$\Delta X \geq 3\%$					
Core-to-ground resistance rating						
Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน	Standard : IEEE C.57.12.90 Criteria : 1000 Mohm in 1 min			
A	$R > 1000$	4				
B	$100 \leq R < 1000$					
C	$10 \leq R < 100$					
D	$1 \leq R < 10$					
E	$R < 1$					
Winding resistance rating						
Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน	Test Standard : IEEE C.57.12.90 Criteria : Deviation not more than 5%			
A	$\Delta R < 1\%$	4				
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$					
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$					
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$					
E	$\Delta R \geq 5\%$					
Power factor rating						
Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน	Standard : IEE C57.12.90 Criteria : 0.50%			
A	$PF_{max} < 0.5$	4				
B	$0.5 \leq PF_{max} < 1$					
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$					
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$					
E	$PF_{max} \geq 2$					
Criteria						
Parameter	Limits	Value	Condition	Note		
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition		
Leakage reactance rating	3	0.78	normal	Good condition		
Core-to-ground resistance rating	1000	1200	normal	Good condition		
Winding resistance rating	5	0.36	normal	Good condition		
Power factor rating	0.5	0.48	normal	Good condition		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Oil quality

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 1							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 5 year							
Test Result									
Oil quality									
Test result data									
Un =	115 kV								
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter								
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color				
	76.3	33	0.03	2.9	1.3				
Calculation									
Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006									
Size / Un	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(S)	W	W1/W2/W3	WIS	Standard	Criteria
Dielectric strength (kV/min)(2mm)	≥ 45	≥ 32	≥ 60	1	3	1	3	ASTM D1816	40,47,50
	35-45	47-52	50-60	2					
	30-35	35-47	40-50	3					
Interfacial tension (dyne/cm)	≤ 30	35-47	40-50	4	2	1	2	ASTM D971	25,30,32
	≥ 25	≥ 30	≤ 32	1					
	20-25	23-30	25-32	2					
	15-20	15-23	20-25	3					
Acid number	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4	1	1	1	ASTM D974	0.2,0.15,0.1
	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1					
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2					
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3					
Water content (ppm)	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4	2	4	4	ASTM D1553	35,25,20
	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1					
	30-35	20-25	15-20	2					
	35-40	25-30	20-25	3					
Oil color	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4	2	1	2	ASTM D1500	2
	≤ 1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	1					
	2	3	4	2					
	≥ 2.5	3	4	3					
DOF =	2								
Rating of oil quality tests									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	DOF ≤ 1.2	4						
B	Acceptable	1.3 ≤ DOF < 1.5	3						
C	Need Caution	1.5 ≤ DOF < 2	2						
D	Poor	2 ≤ DOF < 3	1						
E	Very poor	DOF ≥ 3	0						
Criteria									
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note			
Dielectric strength	40	47	20	76.3	normal				
Interfacial tension	25	37	32	33	normal				
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.03	normal				
Water content	35	25	20	2.9	normal				
Oil color	2	2	2	1.3	normal				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Furanic or age

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 1	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 5 year	
Test Result			
Furanic or age			
Test result data			
		Parameter	
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Furanic	Age (Y)
		-	5
Calculation			
Rating Furanic or age			
Rating Code	Furaldehyde(ppm)	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	4
B	0.1-0.5	20-40	
C	0.5-1	40-60	
D	1.5	More than 60	
E	>5	-	
		Score	4
		normal	

ตารางคำนวณ Load history

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 1	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 5 year	
Test Result			
Load Profile			
Test result data			
Load Profile			
Test transformer	Si : Monthly Peak load (MVA)	Sb : Rate Load of transformer (MVA)	Si/Sb (N)
1	40	50	0.8
Calculation			
LF Score			
Rating Code	Si/Sb	Ni	
A	< 0.6	0	
B	0.6 <= 1	1	
C	1 <= 1.3	0	
D	1.3 <= 1.5	0	
E	>1.5	0	
	Score LF	3	
LF rating			
Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF >= 3.5	ดี	0
3	2.5 <= LF < 3.5	ยอมรับได้	3
2	1.5 <= LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 <= LF < 1.5	แย่	0
0	LF <= 0.5	แย่มาก	0
	Rating		3
	normal		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานที่ออกจากรั้วเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ GSI

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 1			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 5 year			
Test Result					
Rating of Global Strategic Impact					
Rating of Global Strategic Impact					
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density industry	
3				high density industry+sea	
รวมรวม	0	0	0	2	0.16666667 16.66666667
Global Strategic Impact					
GSI Index	Description	Result			
86-100	Very high risk	16.66666667			
71-85	High risk				
51-70	Medium risk				
31-50	Low risk				
0-30	Very low risk				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสรุปผล GTC

Transformer Health Index				
Over All Information				
Test object	: Power Transformer 1			
Rated Power	: 30/40/50 MVA			
Rated HV	: 115 kV	I HV	150.6/200.8/251.0 A	
Rated LV	: 23.1 kV	I LV	749.8/999.7/1249.7 A	
Frequency	: 50 Hz			
Vector group	: Dyn 1			
Condition	: Continue operation 5 year			
Test Result				
GTC Parameter				
Component	K	Condition Rating	KISI	GTCF
DGA	10	4	40	0.915441176
Power Factor	10	4	40	
Oil Quality	6	4	24	
Furan or Age	5	4	20	
Turn ratio	5	3	15	
Leakage reactance	8	3	24	
Winding	6	4	24	
Core-to-ground	2	4	8	
DGA of LTC	6	4	24	
Load history	10	3	30	
				91.54411765
GTC (General Technical Condition)				
GTC Index	Condition	Description	Approximate Expected Lifetime	Result
85-100	Very Good	Some aging or minor deterioration of a limited number	More than 15 years	Very Good
70-85	Good	Significant deterioration of some components	More than 10 years	
50-70	Fair	Widespread significant deterioration or serious deterioration	Up to 10 years	
30-50	Poor	Widespread serious deterioration	Less than 3 Years	
0-30	Very Poor	Extensive serious deterioration	At-End-of-Life	
Note				
Component	Status	Observation	Detail	Action
DGA Tank	Observation	Medium temperature thermal fault, High temperature thermal fault		
Power Factor	normal			
Oil Quality	normal			
Furan or Age	normal			
Turn ratio	normal			
Leakage reactance	normal			
Winding	normal			
Core-to-ground	normal			
DGA of LTC	Observation	High temperature thermal fault		
Load History	normal			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA main Tank

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 2							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 7 year							
DGA Tank Score									
Standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)							
Test result data									
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ								
	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2		
	22	15	30	29	0	220	1734		
Calculation									
Scoring and Weight Factors for gas Levels									
Gas	1	2	3	4	5	6	Wi	คะแนน	Wisi
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	1	2
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	1	3
C2H6	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	1	3
C2H4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	1	3
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	1	1
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	1	1
DGAF	1								
Transformer Rating Based on DGA Factor									
Rating code	Condition	Description	Score						
A	Good	DGAF < 1.2	4						
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0						
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0						
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0						
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0						
Criteria									
Gas	Action Limited	Normal limit	Value	Condition	Note				
H2	1000	150	22	normal	Good condition				
CH4	80	25	15	normal	Good condition				
C2H6	35	10	9	normal	Good condition				
C2H4	150	20	29	Medium	High temperature thermal fault				
C2H2	70	15	0	normal	Good condition				
CO	1000	500	220	normal	Good condition				
CO2	15000	10000	1734	normal	Good condition				
Observation									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA OLTC

Transformer Health Index								
Over All Information								
Test object	:	Power Transformer 2						
Rated Power	:	30/40/50 MVA						
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A			
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A			
Frequency	:	50 Hz						
Vector group	:	Dyn 1						
Condition	:	Continue operation 7 year						
DGA LTC Score								
Standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)						
Test result data								
ก๊าซ								
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	
	42	27	8	33	0	170	1165	
Calculation								
Rating of the LTC Based on DGA								
	Gas	1	2	3	4	W _i	คะแนน	W _{Si}
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	1	3
	C2H6	≤ 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	1	4
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Resistive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH4	< 200	200-500	300-700	≥ 700	3		0
	C2H6	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF =							1	
Transformer LTC Rating Based on DGA Factor								
Rating Code	Condition	Description	คะแนน					
A	Good	DGAF < 1.2	4					
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0					
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0					
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0					
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0					
Criteria								
Gas	Action Limit	Normal Limit	Value	Condition	Note			
H2	1000	150	42	normal	Good condition			
CH4	80	25	27	Medium	Sparkling			
C2H6	35	10	8	normal	Good condition			
C2H4	150	20	33	Medium	High temperature thermal fault			
C2H2	70	15	0	normal	Good condition			
CO	1000	500	170	normal	Good condition			
CO2	15000	10000	1165	normal	Good condition			
Observation								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางกำหนด Electrical Parameter

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	Power Transformer 2				
Rated Power	30/40/50 MVA				
Rated HV	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	50 Hz				
Vector group	Dyn 1				
Condition	Continue operation 7 year				
Test Result					
Electrical Test					
Test result data					
	Parameter				
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Turn ratio	Leakage reactance	Core-to-ground	Winding resistance	Power factor
	0.19	0.74	2298	0.43	0.47
Calculation					
Turn ratio rating					
Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน	Test Standard : IEEE C57.12.90		
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3	Criteria : Deviation not more than $\pm 0.5\%$		
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$				
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$				
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$				
E	$\Delta TR \geq 2\%$				
Leakage reactance rating					
Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน	Standard : IEEE Std C57.152-2013		
A	$\Delta X < 0.5\%$	3	Criteria : Deviation not more than 3%		
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$				
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$				
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$				
E	$\Delta X \geq 5\%$				
Core-to-ground resistance rating					
Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน	Standard : IEEE C.57.12.90		
A	$R > 1000$	4	Criteria : 1000 Mohm in 1 min		
B	$100 \leq R < 1000$				
C	$10 \leq R < 100$				
D	$1 \leq R < 10$				
E	$R < 1$				
Winding resistance rating					
Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน	Test Standard : IEEE C.57.12.90		
A	$\Delta R < 1\%$	4	Criteria : Deviation not more than 5%		
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$				
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$				
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$				
E	$\Delta R \geq 5\%$				
Power factor rating					
Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน	Standard : IEE C57.12.90		
A	$PF_{max} < 0.5$	5	Criteria : 0.50%		
B	$0.5 \leq PF_{max} < 1$				
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$				
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$				
E	$PF_{max} \geq 2$				
Criteria					
Parameter	Limited	Value	Condition	Note	
Turn ratio rating	0.3	0.19	normal	good condition	
Leakage reactance rating	3	0.74	normal	Good condition	
Core-to-ground resistance rating	1000	2298	normal	Good condition	
Winding resistance rating	5	0.43	normal	Good condition	
Power factor rating	0.5	0.47	normal	Good condition	

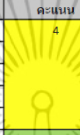
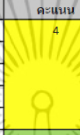
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Oil quality

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 2							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 7 year							
Test Result									
Oil quality									
Test result data									
Un =	115		kV						
ค่าที่ใช้จากการทดสอบ	Parameter								
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color				
	91	35	0.03	3.06	1.5				
Calculation									
Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006									
Size / Un	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV < Un	Score[2]	wt	WFS	WIS	Standard	ASTM D1816
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 32	≥ 60	1	3	1	3	Criteria	40,47,50
	35-45	47-32	50-60	2					
	30-35	35-47	40-50	3					
	≤ 30	35-47	40-50	4					
Interfacial tension (dyne/cm)	≤ 25	≤ 30	≤ 32	1	2	1	2	Standard	ASTM D971
	20-25	25-30	25-32	2				Criteria	25,30,32
	15-20	15-25	20-25	3					
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4					
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	1	1	Standard	ASTM D974
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2				Criteria	0.2,0.15,0.1
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3					
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4					
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4	Standard	ASTM D1553
	30-35	20-25	15-30	2				Criteria	35,25,20
	35-40	25-30	30-25	3					
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4					
Oil color	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 2.5	1	2	1	2	Standard	ASTM D1500
	1.5-2.0	1.5-2.0	2.0-2.5	2				Criteria	2
	2.0-2.5	2.0-2.5	2.0-2.5	3					
	≥ 2.5	≥ 2.5	≥ 2.5	4					
DOF =	1								
Rating of oil quality tests									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	DOF ≤ 1.2	4						
B	Acceptable	1.3 ≤ DOF ≤ 2	3						
C	Need Caution	2.5 ≤ DOF ≤ 2	2						
D	Poor	2 ≤ DOF ≤ 3	1						
E	Very poor	DOF ≥ 3	0						
Criteria									
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV < Un	Value	Condition	Note			
Dielectric strength	40	47	50	91	normal				
Interfacial tension	25	37	32	35	normal				
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.03	normal				
Water content	35	25	20	3.06	normal				
Oil color	2	2	2	1.5	normal				
					normal				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Furanic or Age

Transformer Health Index				
Over All Information				
Test object	:	Power Transformer 2		
Rated Power	:	30/40/50 MVA		
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A
Frequency	:	50 Hz		
Vector group	:	Dyn 1		
Condition	:	Continue operation 7 year		
Test Result				
Furanic or age				
Test result data				
		Parameter		
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Furanic	Age (Y)	
		-	7	
Calculation				
Rating Furanic or age				
Rating Code	Furaldehyde(ppm)	Age Year	คะแนน	
A	0-0.1	Less than 20	4	
B	0.1-0.5	20-40		
C	0.5-1	40-60		
D	1.5	More than 60		
E	>5	-		
			Score	4
			normal	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Load history

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 2	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 7 year	
Test Result			
Load Profile			
Test result data			
Load Profile			
Test transformer	Si : Monthly Peak load (MVA)	Sb : Rate Load of transformer (MVA)	Si/Sb (N)
2	35	50	0.7
Calculation			
LF Score			
Rating Code	Si/Sb	Ni	
A	< 0.6	0	
B	0.6 ≤ 1	1	
C	1 < 1.3	0	
D	1.3 ≤ 1.5	0	
E	> 1.5	0	
	Score LF	3	
LF rating			
Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF ≥ 3.5	ดี	0
3	2.5 ≤ LF < 3.5	ยอมรับได้	3
2	1.5 ≤ LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 ≤ LF < 1.5	แย่	0
0	LF ≤ 0.5	แย่มาก	0
	Rating		3
			normal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ GSI

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 2			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 7 year			
Test Result					
Rating of Global Strategic Impact					
Rating of Global Strategic Impact					
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density Industry	
3				high density Industry+sea	
คะแนน	0	0	2	1	0.25
					25
GSI Index	Description	Result			
86-100	Very high risk	25			
71-85	High risk				
51-70	Medium risk				
31-50	Low risk				
0-30	Very low risk				

ตารางสรุปผล GTC

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 2			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 7 year			
Test Result					
GTC Parameter					
Component	K	Condition Rating	KSI	GTCF	
DGA	10	4	40	0315841178 81.54411765	
Power Factor	10	4	40		
Oil Quality	6	4	24		
Furan or Age	5	4	20		
Turn ratio	5	3	15		
Leakage reactance	8	3	24		
Winding	6	4	24		
Core-to-ground	2	4	8		
DGA of LTC	6	4	24		
Load history	10	3	30		
GTC Index	Condition	Description	Approximate Expected Lifetime	Result	
85-100	Very Good	Some aging or minor deterioration of a limited number	More than 15 years	Very Good	
70-85	Good	Significant deterioration of some components	More than 10 years		
50-70	Fair	Widespread significant deterioration or serious deterioration	Up to 10 years		
30-50	Poor	Widespread serious deterioration	Less than 3 Years		
0-30	Very Poor	Extensive serious deterioration	At End of Life		
Component	Status	Detail			
		Observation	Action		
DGA Tank	Observation	High temperature thermal fault	-		
Power Factor	normal	-	-		
Oil Quality	normal	-	-		
Furan or Age	normal	-	-		
Turn ratio	normal	-	-		
Leakage reactance	normal	-	-		
Winding	normal	-	-		
Core-to-ground	normal	-	-		
DGA of LTC	Observation	Sparkling,High temperature thermal fault	-		
Load history	normal	-	-		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA main Tank

Transformer Health Index										
Over All Information										
Test object	:	Power Transformer 3								
Rated Power	:	30/40/50 MVA								
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A					
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A					
Frequency	:	50 Hz								
Vector group	:	Dyn 1								
Condition	:	Continue operation 17 year								
DGA Tank Score										
standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)								
Test result data										
		ก๊าซ								
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2		
		40	112	32	90	0.9	749	3300		
Calculation										
Scoring and Weight Factors for gas Levels										
Gas	1	2	3	4	5	6	Wi	รวม	Wisi	
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	1	2	
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	2	6	
C2H6	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	1	3	
C2H4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	3	9	
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5	
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	3	3	
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	3	3	
DGAF	1.722222222									
Transformer Rating Based on DGA Factor										
Rating Code	Condition	Description	Score							
A	Good	DGAF < 1.2	0							
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0							
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	2							
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0							
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0							
Criteria										
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note					
H2	1000	150	40	normal	Good condition					
CH4	80	25	112	Dangerous	Sparking					
C2H6	35	10	9	normal	Good condition					
C2H4	150	20	90	Medium	High temperature thermal fault					
C2H2	70	15	0.9	normal	Good condition					
CO	1000	500	749	Medium	Thermal fault/Cellulose					
CO2	15000	10000	3300	normal	Good condition					
Out of service										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA OLTC

Transformer Health Index								
Over All Information								
Test object	:	Power Transformer 3						
Rated Power	:	30/40/50 MVA						
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A			
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A			
Frequency	:	50 Hz						
Vector group	:	Dyn 1						
Condition	:	Continue operation 17 year						
DGA LTC Score								
Standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)						
Test result data								
ก๊าซ								
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	
	29	111	18	65	0.6	543	3541	
Calculation								
Rating of the LTC Based on DGA								
	Gas	Score (Si)				Wi	คะแนน	WSi
		1	2	3	4			
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	4	12
	C2H6	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	2	8
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Resistive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH4	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0
	C2H6	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF =	1.06666667							
Rating Code	Condition	Description	คะแนน					
A	Good	DGAF < 1.2	0					
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF < 1.5	0					
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF < 2	2					
D	Poor	2 ≤ DGAF < 3	0					
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0					
Criteria	Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note		
	H2	1000	150	29	normal	Good condition		
	CH4	80	25	111	Dangerous	Sparking		
	C2H6	35	10	18	Medium	Medium temperature thermal fault		
	C2H4	150	20	65	Medium	High temperature thermal fault		
	C2H2	70	15	0.6	normal	Good condition		
	CO	1000	500	543	Medium	Thermal fault Cellulose		
	CO2	15000	10000	3541	normal	Good condition		
	Out of service					sparking		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Electrical parameter

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 3			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 17 year			
Test Result					
Electrical Test					
Test result data					
		Parameter			
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Turn ratio	Leakage reactance	Core-to-ground	Winding resistance
		0.19	0.87	920	1.74
					0.51
Calculation					
Turn ratio rating					
Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน			
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3			
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$				
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$				
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$				
E	$\Delta TR \geq 2\%$				
	Test Standard : IEEE C57.12.90				
	Criteria : Deviation not more than $\pm 0.5\%$				
Leakage reactance rating					
Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน			
A	$\Delta X < 0.5\%$	3			
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$				
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$				
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$				
E	$\Delta X \geq 5\%$				
	Standard : IEEE Std C57.152-2013				
	Criteria : Deviation not more than 3%				
Core-to-ground resistance rating					
Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน			
A	$R > 1000$	3			
B	$100 \leq R < 1000$				
C	$10 \leq R < 100$				
D	$1 \leq R < 10$				
E	$R < 1$				
	Standard : IEEE C.57.12.90				
	Criteria : 1000 Mohm in 1 min				
Winding resistance rating					
Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน			
A	$\Delta R < 1\%$	3			
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$				
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$				
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$				
E	$\Delta R \geq 5\%$				
	Test Standard : IEEE C.57.12.90				
	Criteria : Deviation not more than 5%				
Power factor rating					
Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน			
A	$PF_{max} < 0.5$	3			
B	$0.5 \leq PF_{max} < 1$				
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$				
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$				
E	$PF_{max} \geq 2$				
	Standard : IEE C57.12.90				
	Criteria : 0.50%				
Criteria					
Parameter	Limited	Value	Condition	Note	
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition	
Leakage reactance rating	3	0.87	normal	Good condition	
Core-to-ground resistance rating	1000	920	Observation	Medium temperature thermal fault	
Winding resistance rating	3	1.74	normal	Good condition	
Power factor rating	0.5	0.51	Observation	Aging	
			normal		

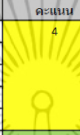
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Oil quality

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 3							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 17 year							
Test Result									
Oil quality									
Test result data									
Un =	115		kV						
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Parameter								
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color				
	52	30	0.12	14.9	3				
Calculation									
Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006									
Size / Un	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(S)	w	WTU	WIS	Standard	Criteria
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 52	≥ 60	1	3	1	3	ASTM D1816	40,47,50
	35-45	47-52	50-60	2					
	30-35	35-47	40-50	3					
	≤ 30	35-47	40-50	4					
Interfacial tension (dyne/cm)	≤ 25	≤ 30	≤ 32	1	2	1	2	ASTM D971	25,30,32
	20-25	23-30	25-32	2					
	15-20	15-23	20-25	3					
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4					
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	2	1	3	ASTM D974	0.2,0.15,0.1
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2					
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3					
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4					
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4	ASTM D1553	35,25,20
	30-35	20-25	15-20	2					
	35-40	25-30	20-25	3					
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4					
Oil color		≤ 1.5		1	2	4	3	ASTM D1500	2
		1.5-2.0		2					
		2.0-2.5		3					
		≥ 2.5		4					
OQF =	1.66666667								
Rating of oil quality tests									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	OQF < 1.2	0						
B	Acceptable	1.2 ≤ OQF < 1.5	0						
C	Needs Caution	1.5 ≤ OQF < 2	2						
D	Poor	2 ≤ OQF < 3	0						
E	Very poor	OQF ≥ 3	0						
Criteria									
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note			
Dielectric strength	40	47	50	52	normal				
Interfacial tension	25	37	32	30	normal				
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.12	normal				
Water content	35	25	20	14.9	normal				
Oil color	2	2	2	3	Observation	Observation			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Furanic or Age

Transformer Health Index				
Over All Information				
Test object	:	Power Transformer 3		
Rated Power	:	30/40/50 MVA		
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A
Frequency	:	50 Hz		
Vector group	:	Dyn 1		
Condition	:	Continue operation 17 year		
Test Result				
Furanic or age				
Test result data				
Parameter				
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Furanic	Age (Y)		
	-	17		
Calculation				
Rating Furanic or age				
Rating Code	Furaldehyde[ppm]	Age Year	คะแนน	
A	0-0.1	Less than 20	4	
B	0.1-0.5	20-40		
C	0.5-1	40-60		
D	1.5	More than 60		
E	>5	-		
			Score	4
			normal	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Load history

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 3	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 17 year	
Test Result			
Load Profile			
Test result data			
Load Profile			
Test transformer	Si : Monthly Peak load (MVA)	Sb : Rate Load of transformer (MVA)	Si/Sb (N)
3	40	50	0.8
Calculation			
LF Score			
Rating Code	Si/Sb	Ni	
A	< 0.6	0	
B	0.6 <= 1	1	
C	1 <= 1.3	0	
D	1.3 <= 1.5	0	
E	>1.5	0	
	Score LF	3	
LF rating			
Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF >= 3.5	ดี	0
3	2.5 <= LF < 3.5	ยอมรับได้	3
2	1.5 <= LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 <= LF < 1.5	แย่	0
0	LF <= 0.5	แย่มาก	0
	Rating		3
			normal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ GSI

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	Power Transformer 3				
Rated Power	30/40/50 MVA				
Rated HV	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	50 Hz				
Vector group	Dyn 1				
Condition	Continue operation 17 year				
Test Result					
Rating of Global Strategic Impact					
Rating of Global Strategic Impact					
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density Industry	
3				high density Industry+sea	
คะแนน	0	0	2	2	0.33333333
					33.33333333
Global Strategic Impact	Description	Result			
GSI Index					
86-100	Very high risk				
71-85	High risk				
51-70	Medium risk	33.33333333			
31-50	Low risk				
0-30	Very low risk				

ตารางสรุปผล GTC

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	Power Transformer 3				
Rated Power	30/40/50 MVA				
Rated HV	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	50 Hz				
Vector group	Dyn 1				
Condition	Continue operation 17 year				
Test Result					
GTC Parameter					
Component	K	Condition Rating	KSI	GTCF	
DGA	10	2	20	0.643382353	
Power Factor	10	3	30		
Oil Quality	6	0	0		
Furan or Age	5	4	20		
Turn ratio	5	3	15		
Leakage reactance	8	3	24		
Winding	6	3	18		
Core-to-ground	2	3	6		
DGA of LTC	6	2	12		
Load history	10	3	30		
				64.33823529	
GTC Index	Condition	Description	Approximate Expected Lifetime	Result	
85-100	Very Good	Some aging or minor deterioration of a limited number	More than 15 years	Fair	
70-85	Good	Significant deterioration of some components	More than 10 years		
50-70	Fair	Widespread significant deterioration or serious deterioration	Up to 10 years		
30-50	Poor	Widespread serious deterioration	Less than 3 Years		
0-30	Very Poor	Extensive serious deterioration	At-End-of-Life		
Component	Status	Detail			
		Observation	Action		
DGA Tank	Out of service	High temperature thermal fault,Thermal fault Cellulose	Sparking		
Power Factor	Observation	Medium temperature thermal fault			
Oil Quality	Observation	Medium temperature thermal fault			
Furan or Age	normal				
Turn ratio	normal				
Leakage reactance	normal				
Winding	normal				
Core-to-ground	Observation	Arcing			
DGA of LTC	Out of service	Medium temperature thermal fault,High temperature thermal fault,Thermal fault Cellulose	Sparking		
Load history	normal				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA main Tank

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 4							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 10 year							
DGA Tank Score									
standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)							
Test result data									
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ								
	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2		
	161	4	67	18	0	559	643		
Calculation									
Scoring and Weight Factors for gas Levels									
Gas	1	2	3	Score (S)			Wt	คะแนน	WISI
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	2	4
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	1	3
C2H6	≤ 65	65-85	90-100	100-120	120-150	>150	3	2	6
C2H4	≤ 50	50-80	90-100	100-150	150-200	>200	3	1	3
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 950	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	2	2
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	1	1
DGAF	1.333333333								
Transformer Rating Based on DGA Factor									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	DGAF < 1.2	0						
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	3						
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0						
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	0						
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0						
Criteria									
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note				
H2	1000	150	161	Medium	Corona and Arcing				
CH4	80	25	26	Medium	Sparking				
C2H6	35	10	9	normal	Good condition				
C2H4	150	20	18	normal	Good condition				
C2H2	70	15	0	normal	Good condition				
CO	1000	500	559	Medium	Thermal fault Cellulose				
CO2	15000	10000	643	normal	Good condition				
Observation									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA OLTC

Transformer Health Index								
Over All Information								
Test object	:	Power Transformer 4						
Rated Power	:	30/40/50 MVA						
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A			
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A			
Frequency	:	50 Hz						
Vector group	:	Dyn 1						
Condition	:	Continue operation 10 year						
DGA LTC Score								
Standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)						
Test result data								
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ							
	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	
	12	2	1	3	0	461	543	
Calculation								
Rating of the LTC Based on DGA								
		Score (Si)						
	Gas	1	2	3	4	Wi	คะแนน	Wisi
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	1	3
	C2H6	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	1	3
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	1	4
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5
Reactive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0
	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH4	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0
	C2H6	< 100	100-150	150-300	≥ 300	3		0
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0
	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0
Reactive LTC (selector comp.)	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0
DGAF =		1						
Transformer LTC Rating Based on DGA Factor								
Rating Code	Condition	Description	คะแนน					
A	Good	DGAF < 1.2	4					
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF < 1.5	0					
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF < 2	0					
D	Poor	2 ≤ DGAF < 3	0					
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0					
Criteria								
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note			
H2	1000	150	12	normal	Good condition			
CH4	80	25	2	normal	Good condition			
C2H6	35	10	1	normal	Good condition			
C2H4	150	20	3	normal	Good condition			
C2H2	70	15	0	normal	Good condition			
CO	1000	500	461	normal	Good condition			
CO2	15000	10000	543	normal	Good condition			
		normal						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Electrical Parameter

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 4			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 10 year			
Test Result					
Electrical Test					
Test result data					
Parameter					
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Turn ratio	Leakage reactance	Core-to-ground	Winding resistance	Power factor
	0.19	0.81	780	0.3	0.47
Calculation					
Turn ratio rating					
Rating Code	Turn ratio (TR) deviation of actual to declared	คะแนน			
A	$\Delta TR \leq 0.1\%$	3			
B	$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$				
C	$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$				
D	$1\% < \Delta TR \leq 2\%$				
E	$\Delta TR \geq 2\%$				
			Test Standard	: IEEE C57.12.90	
			Criteria	: Deviation not more than $\pm 0.5\%$	
Leakage reactance rating					
Rating Code	Leakage reactance deviation [%]	คะแนน			
A	$\Delta X < 0.5\%$	3			
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$				
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$				
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$				
E	$\Delta X \geq 3\%$				
			Standard	: IEEE Std C57.152-2013	
			Criteria	: Deviation not more than 3%	
Core-to-ground resistance rating					
Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน			
A	$R > 1000$	3			
B	$100 \leq R < 1000$				
C	$10 \leq R < 100$				
D	$1 \leq R < 10$				
E	$R < 1$				
			Standard	: IEEE C.57.12.90	
			Criteria	: 1000 Mohm in 1 min	
Winding resistance rating					
Rating Code	Winding resistance deviation [%]	คะแนน			
A	$\Delta R < 1\%$	4			
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$				
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$				
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$				
E	$\Delta R \geq 5\%$				
			Test Standard	: IEEE C.57.12.90	
			Criteria	: Deviation not more than 5%	
Power factor rating					
Rating Code	Maximum Power Factor [%]	คะแนน			
A	$PF_{max} < 0.5$	4			
B	$0.5 \leq PF_{max} < 1$				
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$				
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$				
E	$PF_{max} \geq 2$				
			Standard	: IEE C57.12.90	
			Criteria	: 0.50%	
Criteria					
Parameter	Limited	Value	Condition	Note	
Turn ratio rating	0.5	0.19	normal	Good condition	
Leakage reactance rating	3	0.81	normal	Good condition	
Core-to-ground resistance rating	1000	780	Observation	Medium temperature thermal fault	
Winding resistance rating	5	0.3	normal	Good condition	
Power factor rating	0.5	0.47	normal	Good condition	
			Observation		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Oil quality

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 4							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 10 year							
Test Result									
Oil quality									
Test result data									
Un =	115		kV						
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color				
	68	31	0.016	15	1.3				
Calculation									
Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006									
Size / Un	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV < Un	Score (S)	wt	W1	W2	W3	
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 50	≥ 60	1	3	1	3		Standard : ASTM D1816 Criteria : 40,47,50
	35-45	40-50	30-40	2					
	30-35	35-40	40-50	3					
	≤ 30	35-40	40-50	4					
Interfacial tension (dyne/cm)	≤ 25	≤ 30	≤ 32	1	2	1	2		Standard : ASTM D971 Criteria : 25,30,32
	20-25	23-30	25-32	2					
	15-20	15-23	20-25	3					
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4					
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	1	1		Standard : ASTM D974 Criteria : 0.2,0.15,0.1
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2					
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3					
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4					
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4		Standard : ASTM D1553 Criteria : 35,25,20
	30-35	20-25	15-30	2					
	35-40	25-30	20-25	3					
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4					
Oil color		≤ 1.5		1	2	1	2		Standard : ASTM D1500 Criteria : 2
		1.5-2.0		2					
		2.0-2.5		3					
		≥ 2.5		4					
OOF =	1								
Rating of oil quality tests									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	OOF < 1.2	4						
B	Acceptable	1.2 ≤ OOF < 1.5	3						
C	Need Caution	1.5 ≤ OOF < 2	2						
D	Poor	2 ≤ OOF < 3	1						
E	Very poor	OOF ≥ 3	0						
Criteria									
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV < Un	Value	Condition	Note			
Dielectric strength	40	47	50	68	normal				
Interfacial tension	25	37	32	31	normal				
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.016	normal				
Water content	35	25	20	15	normal				
Oil color	2	2	2	1.3	normal				
					normal				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Furanic or Age

Transformer Health Index				
Over All Information				
Test object	:	Power Transformer 4		
Rated Power	:	30/40/50 MVA		
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A
Frequency	:	50 Hz		
Vector group	:	Dyn 1		
Condition	:	Continue operation 10 year		
Test Result				
Furanic or age				
Test result data				
		Parameter		
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Furanic	Age (Y)	
		-	10	
Calculation				
Rating Furanic or age				
Rating Code	Furaldehyde(ppm)	Age Year	คะแนน	
A	0-0.1	Less than 20	4	
B	0.1-0.5	20-40	3	
C	0.5-1	40-60	2	
D	1.5	More than 60	1	
E	>5	-	0	
		Score	4	
		normal		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Load history

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 4	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 10 year	
Test Result			
Load Profile			
Test result data			
Load Profile			
Test transformer	Si : Monthly Peak load (MVA)	Sb : Rate Load of transformer (MVA)	Si/Sb (N)
4	20	50	0.4
Calculation			
LF Score			
Rating Code	Si/Sb	Ni	
A	< 0.6	0	
B	0.6 <= 1	0	
C	1 <= 1.3	0	
D	1.3 <= 1.5	0	
E	>1.5	0	
	Score LF	4	
LF rating			
Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF ≥ 3.5	ดี	4
3	2.5 ≤ LF < 3.5	ยอมรับได้	0
2	1.5 ≤ LF < 2.5	ต้องระวัง	0
1	0.5 ≤ LF < 1.5	แย่	0
0	LF ≤ 0.5	แย่มาก	0
	Rating		4
			normal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ GSI

Transformer Health Index						
Over All Information						
Test object	Power Transformer 4					
Rated Power	30/40/50 MVA					
Rated HV	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A		
Rated LV	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A		
Frequency	50 Hz					
Vector group	Dyn 1					
Condition	Continue operation 10 year					
Test Result						
Rating of Global Strategic Impact						
Rating of Global Strategic Impact						
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI	
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	15.66666667	
1				Industry not smoke		
2	In community/risk of explode	Support hospital/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density industry		
3				high density industry-sea		
คะแนน	2	0	0	0	0.166666667	15.66666667
Global Strategic Impact						
GSI Index	Description	Result	15.66666667			
86-100	Very high risk					
71-85	High risk					
51-70	Medium risk					
31-50	Low risk					
0-30	Very low risk					

ตารางสรุปผล GTC

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	Power Transformer 4				
Rated Power	30/40/50 MVA				
Rated HV	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	50 Hz				
Vector group	Dyn 1				
Condition	Continue operation 10 year				
Test Result					
GTC Parameter					
Component	K	Condition Rating	KISI	GTCF	
DGA	10	3	30	0.849264705	
Power Factor	10	3	30		
Oil Quality	6	4	24		
Furan or Age	5	4	20		
Turn ratio	5	3	15		
Leakage reactance	8	3	24		
Winding	6	3	18		
Core-to-ground	2	3	6		
DGA of LTC	6	4	24		
Load history	10	4	40		
84.92647059					
GTC (General Technical Condition)					
GTC Index	Condition	Description	Approximate Expected Lifetime	Result	
85-100	Very Good	Some aging or minor deterioration of a limited number	More than 15 years	Good	
70-85	Good	Significant deterioration of some components	More than 10 years		
50-70	Fair	Widespread significant deterioration or serious deterioration	Up to 10 years		
30-50	Poor	Widespread serious deterioration	Less than 3 Years		
0-30	Very Poor	Extensive serious deterioration	At End-of-Life		
Note					
Component	Status	Detail			
		Observation	Action		
DGA Tank	Observation	Corona and Arcing, Sparking, Thermal fault Cellulose			
Power Factor	Observation	Medium temperature thermal fault			
Oil Quality	normal				
Furan or Age	normal				
Turn ratio	normal				
Leakage reactance	normal				
Winding	normal				
Core-to-ground	Observation	Over Limit			
DGA of LTC	normal				
Load history	normal				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA main Tank

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 5							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 21 year							
DGA Tank Score									
standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)							
Test result data									
ค่าที่ได้จากการทดสอบ	ก๊าซ								
	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2		
	130	89	71	212	2	890	7700		
Calculation									
Scoring and Weight Factors for gas Levels									
Gas	1	2	3	4	5	6	Wi	รวมแทน	WISI
H2	≤ 100	100-200	200-300	300-500	500-700	>700	2	2	4
CH4	≤ 75	75-125	125-200	200-400	400-600	>600	3	2	6
C2H6	≤ 65	65-85	80-100	100-120	120-150	>150	3	2	6
C2H4	≤ 50	50-80	80-100	100-150	150-200	>200	3	6	18
C2H2	≤ 3	3-7	7-35	35-50	50-80	>80	5	1	5
CO	≤ 350	350-700	700-900	900-1100	1100-1400	>1400	1	3	3
CO2	≤ 2500	≤ 3000	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7000	> 7000	1	6	6
DGAF	2.66666667								
Transformer Rating Based on DGA Factor									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	DGAF < 1.2	0						
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0						
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0						
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	1						
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0						
Criteria									
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note				
H2	1000	150	130	normal	Good condition				
CH4	80	25	26	Medium	Sparking				
C2H6	35	10	9	normal	Good condition				
C2H4	150	20	212	Dangerous	High temperature thermal fault				
C2H2	70	15	2	normal	Good condition				
CO	1000	500	890	Medium	Thermal fault Cellulose				
CO2	15000	10000	7700	normal	Good condition				
Out of service									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ DGA OLTC

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 5							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 21 year							
DGA LTC Score									
Standard	:	IEEE C57.104 (IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil -Immersed Transformers)							
Test result data									
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		ก๊าซ							
		H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	CO	CO2	
		110	65	66	176	1.5	770	4100	
Calculation									
Rating of the LTC Based on DGA									
		Gas	1	2	3	4	W _i	คะแนน	WSI
Vacuum LTC	CH4	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3	3	3	9
	C2H6	< 20	20-30	40-50	≥ 50	3	4	12	
	C2H4	< 50	50-100	100-200	≥ 200	4	3	12	
	C2H2	< 3	3-4	4-5	≥ 5	5	1	5	
Resistive LTC	CH4	< 100	100-200	200-300	≥ 300	3		0	
	C2H6	< 50	50-100	100-200	≥ 200	3		0	
	C2H4	< 200	200-400	400-600	≥ 600	5		0	
	C2H2	< 500	500-1000	1000-5000	≥ 5000	3		0	
Reactive LTC (Diverter comp.)	CH4	< 200	200-300	300-700	≥ 700	3		0	
	C2H6	< 100	100-150	150-500	≥ 500	3		0	
	C2H4	< 300	300-500	500-1400	≥ 1400	3		0	
	C2H2	< 1000	1000-3000	3000-7500	≥ 7500	3		0	
Reactive LTC (selector comp.)	CH4	< 50	50-150	150-250	≥ 250	3		0	
	C2H6	< 30	30-50	50-100	≥ 100	3		0	
	C2H4	< 100	100-200	200-500	≥ 500	5		0	
	C2H2	< 10	10-20	20-25	≥ 25	3		0	
DGAF =		2.53333333							
Transformer LTC Rating Based on DGA Factor									
Rating Code	Condition	Description	คะแนน						
A	Good	DGAF < 1.2	0						
B	Acceptable	1.2 ≤ DGAF ≤ 1.5	0						
C	Need Caution	1.5 ≤ DGAF ≤ 2	0						
D	Poor	2 ≤ DGAF ≤ 3	1						
E	Very poor	DGAF ≥ 3	0						
Criteria									
Gas	Action Limited	Normal Limit	Value	Condition	Note				
H2	1000	150	110	normal	Good condition				
CH4	80	25	65	Medium	Sparkling				
C2H6	35	10	66	Dangerous	Medium temperature thermal fault				
C2H4	150	20	176	Dangerous	High temperature thermal fault				
C2H2	70	15	1.5	normal	Good condition				
CO	1000	500	770	Medium	Thermal fault Cellulose				
CO2	15000	10000	4100	normal	Good condition				
Out of service									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Electrical Parameter

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 5			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 20 year			
Test Result					
Electrical Test					
Test result data					
		Parameter			
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Turn ratio	Leakage reactance	Core-to-ground	Winding resistance
		0.62	0.83	410	2.37
					Power factor
					0.27
Calculation					
Turn ratio rating					
Rating Code	Turn ratio (TR)	deviation of actual to declared	คะแนน	Test Standard	: IEEE C57.12.90
A		$\Delta TR \leq 0.1\%$	2	Criteria	: Deviation not more than $\pm 0.5\%$
B		$0.1\% < \Delta TR \leq 0.5\%$			
C		$0.5\% < \Delta TR \leq 1\%$			
D		$1\% < \Delta TR \leq 2\%$			
E		$\Delta TR \geq 2\%$			
Leakage reactance rating					
Rating Code	Leakage reactance deviation (%)	คะแนน	Standard	: IEEE Std C57.152-2013	
A	$\Delta X < 0.5\%$	3	Criteria	: Deviation not more than 3%	
B	$0.5\% \leq \Delta X < 1\%$				
C	$1\% \leq \Delta X < 2\%$				
D	$2\% \leq \Delta X < 3\%$				
E	$\Delta X \geq 3\%$				
Core-to-ground resistance rating					
Rating Code	Core-to-ground resistance (Mohm)	คะแนน	Standard	: IEEE C57.12.90	
A	$R > 1000$	3	Criteria	: 1000 Mohm in 1 min	
B	$100 \leq R < 1000$				
C	$10 \leq R < 100$				
D	$1 \leq R < 10$				
E	$R < 1$				
Winding resistance rating					
Rating Code	Winding resistance deviation (%)	คะแนน	Test Standard	: IEEE C57.12.90	
A	$\Delta R < 1\%$	2	Criteria	: Deviation not more than 5%	
B	$1\% \leq \Delta R < 2\%$				
C	$2\% \leq \Delta R < 3\%$				
D	$3\% \leq \Delta R < 5\%$				
E	$\Delta R \geq 5\%$				
Power factor rating					
Rating Code	Maximum Power Factor (%)	คะแนน	Standard	: IEE C57.12.90	
A	$PF_{max} < 0.5$	4	Criteria	: 0.50%	
B	$0.5 \leq PF_{max} < 1$				
C	$1 \leq PF_{max} < 1.5$				
D	$1.5 \leq PF_{max} < 2$				
E	$PF_{max} \geq 2$				
Criteria					
Parameter	Limited	Value	Condition	Note	
Turn ratio rating	0.5	0.62	Observation	Core and winding	
Leakage reactance rating	3	0.83	normal	Good condition	
Core-to-ground resistance rating	1000	410	Observation	Medium temperature thermal fault	
Winding resistance rating	5	2.37	normal	Good condition	
Power factor rating	2	0.27	normal	Good condition	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Oil quality

Transformer Health Index									
Over All Information									
Test object	:	Power Transformer 5							
Rated Power	:	30/40/50 MVA							
Rated HV	:	115 kV	I-HV	150.6/200.8/251.0	A				
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV	749.8/999.7/1249.7	A				
Frequency	:	50 Hz							
Vector group	:	Dyn 1							
Condition	:	Continue operation 20 year							
Test Result									
Oil quality									
Test result data									
Un =	115 kV								
ค่าที่ใช้ในการทดสอบ	Parameter								
	Dielectric strength	Interfacial tension	Acid number	Water content	Oil color				
	49.5	22	0.5	18.3	3.6				
Calculation									
Insulating oil parameters evaluation based on IEEE C57.106-2006									
Size / Un	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Score(0)	wt	WT	WTG		
Dielectric strength (kV/mm)(2mm)	≥ 45	≥ 32	≥ 60	1	3	2	6	Standard : ASTM D1816	
	35-45	47-32	50-60	2				Criteria : 40,47,50	
	30-35	35-47	40-50	3					
	≤ 30	35-47	40-50	4					
Interfacial tension (dyne/cm)	≤ 25	≤ 30	≤ 32	1	2	3	6	Standard : ASTM D971	
	20-25	23-30	25-32	2				Criteria : 25,30,32	
	15-20	13-23	20-25	3					
	≤ 15	≤ 18	≤ 20	4					
Acid number	≤ 0.05	≤ 0.04	≤ 0.03	1	1	4	4	Standard : ASTM D974	
	0.05-0.1	0.04-0.1	0.07-0.1	2				Criteria : 0.2,0.15,0.1	
	0.1-0.2	0.1-0.15	0.07-0.1	3					
	≥ 0.2	≥ 0.15	≥ 0.1	4					
Water content (ppm)	≤ 30	≤ 20	≤ 15	1	4	1	4	Standard : ASTM D1553	
	30-35	20-25	15-30	2				Criteria : 35,25,20	
	35-40	25-30	30-35	3					
	≥ 40	≥ 30	≥ 25	4					
Oil color		≤ 1.5		1	2	4	8	Standard : ASTM D1500	
		1.5-2.0		2				Criteria : 2	
		2.0-2.5		3					
		≥ 2.5		4					
OOF =	2.333333333								
Rating of oil quality tests									
Rating Code	Condition	Description	Score						
A	Good	OOF ≤ 1.2	0						
B	Acceptable	1.3 ≤ OOF ≤ 2.0	0						
C	Need Caution	2.1 ≤ OOF ≤ 3.0	0						
D	Poor	3.1 ≤ OOF ≤ 4.0	1						
E	Very poor	OOF ≥ 4.1	0						
Criteria									
Parameter	≤ 69 kV	69 kV <Un ≤ 230 kV	230kV ≤ Un	Value	Condition	Note			
Dielectric strength	40	47	50	49.5	normal				
Interfacial tension	25	37	32	22	normal				
Acid number	0.2	0.15	0.1	0.5	Observation				
Water content	35	25	20	18.3	normal				
Oil color	2	2	2	3.6	Observation				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ Furanic or Age

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 5	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 21 year	
Test Result			
Furanic or age			
Test result data			
		Parameter	
ค่าที่ได้จากการทดสอบ		Furanic	Age (Y)
		-	21
Calculation			
Rating Furanic or age			
Rating Code	Furaldehyde(ppm)	Age Year	คะแนน
A	0-0.1	Less than 20	3
B	0.1-0.5	20-40	2
C	0.5-1	40-60	1
D	1.5	More than 60	0
E	>5	-	0
		Score	3
		normal	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางกำหนด Load history

Transformer Health Index			
Over All Information			
Test object	:	Power Transformer 5	
Rated Power	:	30/40/50 MVA	
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0 A
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7 A
Frequency	:	50 Hz	
Vector group	:	Dyn 1	
Condition	:	Continue operation 21 year	
Test Result			
Load Profile			
Test result data			
Load Profile			
Test transformer	Si : Monthly Peak load (MVA)	Sb : Rate Load of transformer (MVA)	Si/Sb (N)
5	50	50	1
Calculation			
LF Score			
Rating Code	Si/Sb	Ni	
A	< 0.6	0	
B	0.6 <= 1	1	
C	1 <= 1.3	0	
D	1.3 <= 1.5	0	
E	> 1.5	0	
	Score LF	2	
LF rating			
Rating	Load factor	Condition	LF
4	LF ≥ 3.5	ดี	0
3	2.5 ≤ LF < 3.5	พอรับได้	0
2	1.5 ≤ LF < 2.5	ต้องระวัง	2
1	0.5 ≤ LF < 1.5	แย่	0
0	LF ≤ 0.5	แย่มาก	0
	Rating		2
Continue operation with observation			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคำนวณ GSI

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 5			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 21 year			
Test Result					
Rating of Global Strategic Impact					
Rating of Global Strategic Impact					
score	Safety of property and persons	Safety of the electrical system	Competitiveness	Pollution Level	GSI
0	Not community	General residence	General residence	Without industry	
1				Industry not smoke	
2	In community/risk of explode	Support hospita/database	Rebuilding cost/ Loss of Production	high density industry	
3				high density industry+sea	
คะแนน	0	0	2	3	0.41666667
					41.66666667
GSI Index	Description	Results			
86-100	Very high risk				
71-85	High risk				
51-70	Medium risk	41.66666667			
31-50	Low risk				
0-30	Very low risk				

ตารางสรุปผล GTC

Transformer Health Index					
Over All Information					
Test object	:	Power Transformer 5			
Rated Power	:	30/40/50 MVA			
Rated HV	:	115 kV	I-HV 150.6/200.8/251.0	A	
Rated LV	:	23.1 kV	I-LV 749.8/999.7/1249.7	A	
Frequency	:	50 Hz			
Vector group	:	Dyn 1			
Condition	:	Continue operation 20 year			
Test Result					
GTC Parameter					
Component	K	Condition Rating	KISI	GTCF	
DGA	30	0	0		
Power Factor	10	4	40		
Oil Quality	6	1	6		
Furan or Age	5	3	15		
Turn ratio	5	2	10		
Leakage reactance	8	3	24		
Winding	6	2	12		
Core-to-ground	2	3	6		
DGA of LTC	6	1	6		
Load history	10	2	20		
				0.511027412	
				51.10294118	
GTC Index	Condition	Description	Approximate Expected Lifetime	Result	
85-100	Very Good	Some aging or minor deterioration of a limited number	More than 15 years	Fair	
70-85	Good	Significant deterioration of some components	More than 10 years		
50-70	Fair	Widespread significant deterioration or serious deterioration	Up to 10 years		
30-50	Poor	Widespread serious deterioration	Less than 3 Years		
0-30	Very Poor	Extensive serious deterioration	At End-of-Life		
Component	Status	Detail			
		Observation	Action		
DGA Tank	Out of service	Sparking,Thermal fault Cellulose	High temperature thermal fault		
Power Factor	normal				
Oil Quality	Observation	Acid number,Oil color Over Limited			
Furan or Age	normal				
Turn ratio	Observation	Corona and Arcing			
Leakage reactance	normal				
Winding	normal				
Core-to-ground	Observation	Medium temperature thermal fault			
DGA of LTC	Out of service	Sparking,Thermal fault Cellulose	Medium temperature thermal fault,High temperature thermal fault		
Load history	Continue operation with observation	High Peak Load	High Peak Load		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายกษิต ภาอินจร
 วัน เดือน ปีเกิด 12 กันยายน 2540 ที่สงขลา
 ที่อยู่ 12/201 หมู่ 1 ตำบลคลองแห อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
 ประวัติการศึกษา 2563 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) การทดสอบและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2563 งานประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 44 (EECON-44) น่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้