

ผลกระทบบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพ
ของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

EFFECT OF POWER SYSTEM HARMONIC ON DEGRADATION PROCESS OF
TRANSFORMER INSULATION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF POWER SYSTEM HARMONIC ON DEGRADATION PROCESS OF
TRANSFORMER INSULATION SYSTEM



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

ผลกระทบของฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพ
ของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

EFFECT OF POWER SYSTEM HARMONIC ON DEGRADATION PROCESS OF
TRANSFORMER INSULATION SYSTEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จรงค์ บุญเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย นนกุล เขมาภิรักษ์
2. นาย นิธิรัฐ ประสงค์ดี




..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพ
ของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

นาย นนทฤช เชมมาภิรักษ์
นาย นิธิรัฐ ประสงค์ดี
รศ.จรงค์ษ์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จะนำเสนอการศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยหลักๆมีสาเหตุมาจากการใช้งานโหลดประเภท Nonlinear ได้แก่พวก AC/DC Drive จนทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์ไหลเข้าสู่ระบบและอาจจะไหลเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าของเราได้ ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอันเนื่องมาจากผลของฮาร์โมนิกส์เข้าไปสู่น้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้าของเรา โดยความร้อนนี้ที่เข้าไปจะไปสลายพันธะโมเลกุลในโครงสร้างของน้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดเป็นแก๊สที่อุณหภูมิต่างๆกันไป ดังนั้นเราจึงจะตรวจสอบและวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวโดยอาศัยวิธี DGA (Dissolved Gas Analysis) เพื่อดูปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงที่อุณหภูมิต่างๆว่าเกิดแก๊สอะไรบ้างและมีปริมาณเท่าใด จะได้นำข้อมูลดังกล่าวมาแปลผลค่าที่ได้จากวิธี DGA เพื่อแก้ไขปัญหาและบำรุงรักษาการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าในอนาคตของเราได้อย่างถูกต้อง

Effect of Power System Harmonic on Degradation Process of Transformer Insulation System

Mr.Nonagrit Kemampiruk

Mr.Nitinut Prasongdee

Assoc.Prof.Chongrag Boobseng Advisor

Abstract

This project will present to you the effects of electrical harmonics on the degradation process of transformer insulation and how is it related to each other. Which is mainly focused on the system that is heavily consisted of non-linear electrical load like AC / DC motor drive that cause problems to the transformer. The rising of temperature in the transformer from the harmonics, causing the transformer's oil to heat up and de-bonding the molecular structure which is turned in to many different type of gasses depended on the corresponding temperature. By Analyzing the mentioned problem using DGA (Dissolved Gas Analysis) Method to determine the amount and type of each gas and produce a result to choose the suitable solution to maintain a good condition of the transformer

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์จรงค์ บัญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณนายพัชรธร อ้อยหวาน จากบริษัท DATA ENTRY GROUP ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องการตรวจสอบฉนวนน้ำมันในหม้อแปลงด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี DGA และคอยเป็นที่ปรึกษา ช่วยคิด วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนน้ำมันในหม้อแปลง ด้วยการวิเคราะห์โดยวิธี DGA มาโดยตลอดพร้อมทั้งช่วยสนับสนุนในการดำเนินการของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบริษัท SIAM YAMATO STEEL และบริษัท SIAM KRAFT INDUSTRY ที่ให้ลงทำการตรวจสอบและให้ข้อมูลมาใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัว ที่ได้คอยให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจมาโดยตลอดอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดีไว้ จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 วิธีการที่ใช้ในการศึกษา	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า	4
2.1.1 ลักษณะของคุณภาพกำลังไฟที่ดี	4
2.1.2 เหตุผลหลักที่ทำให้มีการพิจารณาถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้า	4
2.1.3 สาเหตุในการเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้า	5
2.1.4 ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า	5
2.2 ฮาร์โมนิกส์	6
2.2.1 นิยามของฮาร์โมนิกส์	6
2.2.2 อนุกรมฟูเรียร์	9
2.2.3 ศัพท์และปริมาณต่างๆ	10
2.2.4 ประเภทของฮาร์โมนิกส์	10
2.2.5 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์	11
2.2.6 ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์	12
2.3 ฉนวน	15
2.3.1 ฉนวนของตัวนำ	15
2.3.2 น้ำมัน	15
2.3.3 กระจก	17
2.4 คุณลักษณะทางความร้อนของหม้อแปลง	18
2.4.1 มาตรฐานของอุณหภูมิ (Temperature Standards)	18
2.5 การวิเคราะห์ตรวจจับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง (DGA TEST)	18
2.5.1 โดยวิธี Doernenburg	19
2.5.2 โดยวิธี Rogers Gas Ratio	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ IV ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 โดยวิธี Key Gas	20
2.5.4 โดยวิธี Duval Triangle	21
2.5.5 โดยวิธี IEC 60599 Gas Ratio	22
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง	27
3.1 บทนำ	27
3.2 การวิเคราะห์ค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า	27
3.3 การวิเคราะห์แก๊สเจือปนในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยวิธี DGA	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	34
4.1 บทนำ	34
4.2 ผลการทดสอบบริษัท Siam Yamato steel Co, Ltd	34
4.3 ผลการทดสอบบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	93
5.1 สรุปการทดสอบ	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	96
ภาคผนวก ข มาตรฐานและการตรวจวัดฮาร์โมนิกส์	101
ภาคผนวก ค ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์และความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง	106
ประวัติผู้เขียน	108

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสแบบไซน์	6
2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแรงดัน	7
2.3 รูปคลื่นแบบยอดแบน	7
2.4 รูปคลื่นแบบยอดแหลม	8
2.5 ฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ	9
2.6 โปรแกรมที่ใช้คำนวณโดยวิธี Duval Triangle	22
3.1 การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	27
3.2 รูปคลื่นแรงดัน	28
3.3 รูปคลื่นกระแส	28
3.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A	28
3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัด	29
3.6 สเปคตรัมของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	29
3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลง	30
3.8 เครื่องทดสอบ DGA ASTM D3612	30
3.9 โปรแกรมที่ใช้คำนวณโดยวิธี Duval Triangle	32
4.1 Single-line diagram ของบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd	34
4.2 สเปคตรัมฮาร์มอนิกส์ของแรงดันของ SYS TR6	37
4.3 สเปคตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสของ SYS TR6	37
4.4 รูปคลื่นแรงดันของ SYS TR6	38
4.5 รูปคลื่นกระแสของ SYS TR6	38
4.6 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง SYS-TR6	39
4.7 Single-line diagram ของบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd	40
4.8 รูปคลื่นแรงดันของ PM4 TR3	41
4.9 รูปคลื่นกระแสของ PM4 TR3	41
4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM4 TR3	41
4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM4 TR3	42
4.12 สเปคตรัมฮาร์มอนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM4 TR3	42
4.13 สเปคตรัมฮาร์มอนิกส์กระแสของ PM4 TR3	42
4.14 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM4-TR3	43
4.15 รูปคลื่นแรงดันของ PM4 TR4	44
4.16 รูปคลื่นกระแสของ PM4 TR4	44
4.17 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM4 TR4	44
4.18 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM4 TR4	45
4.19 สเปคตรัมฮาร์มอนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM4 TR4	45
4.20 สเปคตรัมฮาร์มอนิกส์กระแสของ PM4 TR4	45
4.21 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM4 TR4	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.22 รูปคลื่นแรงดันของ PM4 TR5	47
4.23 รูปคลื่นกระแสของ PM4 TR5	47
4.24 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM4 TR5	47
4.25 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM4 TR5	48
4.26 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM4 TR5	48
4.27 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM4 TR5	48
4.28 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM4 TR5	49
4.29 รูปคลื่นแรงดันของ PM5 TR3	50
4.30 รูปคลื่นกระแสของ PM5 TR3	50
4.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM5 TR3	50
4.32 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM5 TR3	51
4.33 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM5 TR3	51
4.34 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM5 TR3	51
4.35 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM5-TR3	52
4.36 รูปคลื่นแรงดันของ PM5 TR4	53
4.37 รูปคลื่นกระแสของ PM5 TR4	53
4.38 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM5 TR4	53
4.39 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM5 TR4	54
4.40 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM5 TR4	54
4.41 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM5 TR4	54
4.42 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM5 TR4	55
4.43 รูปคลื่นแรงดันของ PM5 TR5	56
4.44 รูปคลื่นกระแสของ PM5 TR5	56
4.45 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM5 TR5	56
4.46 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM5 TR5	57
4.47 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM5 TR5	57
4.48 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM5 TR5	57
4.49 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM5 TR5	58
4.50 รูปคลื่นแรงดันของ PM6 TR3	59
4.51 รูปคลื่นกระแสของ PM6 TR3	59
4.52 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM6 TR3	59
4.53 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM6 TR3	60
4.54 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM6 TR3	60
4.55 สเปคตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM6 TR3	60
4.56 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM6 TR3	61
4.57 รูปคลื่นแรงดันของ PM6 TR4	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VII ศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.58 รูปคลื่นกระแสของ PM6 TR4	62
4.59 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM6 TR4	62
4.60 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM6 TR4	63
4.61 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM6 TR4	63
4.62 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM6 TR4	63
4.63 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM6-TR4	64
4.64 รูปคลื่นแรงดันของ PM6 TR5	65
4.65 รูปคลื่นกระแสของ PM6 TR5	65
4.66 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM6 TR5	65
4.67 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM6 TR5	66
4.68 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM6 TR5	66
4.69 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM6 TR5	66
4.70 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM6 TR5	67
4.71 รูปคลื่นแรงดันของ PM7 TR3	68
4.72 รูปคลื่นกระแสของ PM7 TR3	68
4.73 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM7 TR3	68
4.74 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM7 TR3	69
4.75 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM7 TR3	69
4.76 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM7 TR3	69
4.77 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM7 TR3	70
4.78 รูปคลื่นแรงดันของ PM7 TR4	71
4.79 รูปคลื่นกระแสของ PM7 TR4	71
4.80 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM7 TR4	71
4.81 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM7 TR4	72
4.82 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM7 TR4	72
4.83 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM7 TR4	72
4.84 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM7 TR4	73
4.85 รูปคลื่นแรงดันของ PM7 TR5	74
4.86 รูปคลื่นกระแสของ PM7 TR5	74
4.87 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM7 TR5	74
4.88 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM7 TR5	75
4.89 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM7 TR5	75
4.90 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM7 TR5	75
4.91 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM7 TR5	76
4.92 รูปคลื่นแรงดันของ PM8 TR2	77
4.93 รูปคลื่นกระแสของ PM8 TR2	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VIII ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.94 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM8 TR2	77
4.95 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM8 TR2	78
4.96 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM8 TR2	78
4.97 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM8 TR2	78
4.98 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM8 TR2	79
4.99 รูปคลื่นแรงดันของ PM8 TR3	80
4.100 รูปคลื่นกระแสของ PM8 TR3	80
4.101 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM8 TR3	80
4.102 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM8 TR3	81
4.103 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM8 TR3	81
4.104 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM8 TR3	81
4.105 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM8 TR3	82
4.106 รูปคลื่นแรงดันของ PM9 TR4	83
4.107 รูปคลื่นกระแสของ PM9 TR4	83
4.108 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM9 TR4	83
4.109 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM9 TR4	84
4.110 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM9 TR4	84
4.111 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM9 TR4	84
4.112 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM9 TR4	85
4.113 รูปคลื่นแรงดันของ PM9 TR5	86
4.114 รูปคลื่นกระแสของ PM9 TR5	86
4.115 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM9 TR5	86
4.116 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM9 TR5	87
4.117 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM9 TR5	87
4.118 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM9 TR5	87
4.119 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM9 TR5	88
4.120 รูปคลื่นแรงดันของ PM9 TR7	89
4.121 รูปคลื่นกระแสของ PM9 TR7	89
4.122 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM9 TR7	89
4.123 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM9 TR7	90
4.124 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM9 TR7	90
4.125 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM9 TR7	90
4.126 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM9 TR7	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	2
2.1 ค่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ต่างๆ	9
2.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันหม้อแปลง	17
2.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของกระดาศชุนน้ำมันที่ 20°C	18
2.4 แสดงขีดจำกัดอุณหภูมิเพิ่มสำหรับหม้อแปลงแบบแช่น้ำมัน	18
2.5 วิธีของ Doernenburg	19
2.6 รหัสอัตราส่วนแก๊ส	19
2.7 รหัสอัตราส่วนโรเจอร์	19
2.8 ผลลัพธ์รหัสอัตราส่วนโรเจอร์สำหรับดิสชาร์จบางส่วน	20
2.9 การแปลผลของวิธี Key Gas	20
2.10 การแปลความหมาย IEC 60599	23
2.11 ชนิดของ fault ใน power transformers	24
3.1 การแปลผลของวิธี Key Gas	31
3.2 การแปลความหมาย IEC 60599	33
4.1 กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังของ SYS TR6	35
4.2 ค่าแรงดันและกระแสของ SYS TR6	35
4.3 ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ของ SYS TR6	35
4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าของ SYS TR6	36
4.5 แสดงผลสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆของฮาร์โมนิกส์ทั้ง 18 ลูก	36
4.6 สรุปผลการตรวจสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์กับ ความเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า โดยวิธี DGA ในการวิเคราะห์	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้ให้ความสำคัญด้านคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากในระบบไฟฟ้าอาจมีฮาร์โมนิกส์ซึ่งสามารถไปสร้างปัญหาให้กับระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมาก โดยจะสร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในงานด้านอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์ที่มีการใช้เทคโนโลยีสูงโดยจะทำให้เกิดผลเสียหายในหลายๆด้านตามมาโดยจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสและแรงดัน ซึ่งก็คือถ้ามีขนาดและรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟที่ปกติ อาจมีผลทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายได้ โดยฮาร์โมนิกส์เกิดจากโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) ซึ่งโหลดดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ โดยกระแสฮาร์โมนิกส์จะไหลเข้าสู่ระบบของผู้ใช้ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าข้างเคียง ซึ่งฮาร์โมนิกส์นี้จะส่งผลให้รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าในระบบเกิดความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ โดยที่ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของระบบและขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเมื่อกระแสฮาร์โมนิกส์ไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดความเสียหายให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ ทำให้การทำงานของระบบเกิดการผิดพลาด และยังส่งผลให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานที่น้อยลงหรืออาจเกิดการชำรุดเสียหายได้ ดังนั้นฮาร์โมนิกส์ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าถือว่าเป็นปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้าที่สำคัญเรื่องหนึ่ง ซึ่งการวัดค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ามีจุดประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบระดับความรุนแรงของฮาร์โมนิกส์ ณ จุดที่วัดว่าอยู่ในระดับใด และจะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด ซึ่งจะพิจารณาระดับความรุนแรงโดยเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้กับค่าที่ระบุไว้ในข้อกำหนดตามมาตรฐานของ IEEE 519-1992 เพื่อนำค่าที่ได้มาประเมินระดับความรุนแรงของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบว่าผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบ ซึ่งทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันให้สูงหรือต่ำตามความต้องการของระบบไฟฟ้า และยังเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูง หม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไปมีอายุการใช้งานประมาณ 25-30 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการบำรุงรักษา ภายใน เช่น การเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษ, น้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้า, ขดลวด, แกนเหล็กและบุชซึ่งภายนอกเช่น ความร้อนหรืออาร์กจากอุปกรณ์ที่อยู่รอบหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งถ้ามีอุณหภูมิสูงก็จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในหม้อแปลงไฟฟ้า และในบางครั้งผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าอาจจะต้องตรวจสอบอุณหภูมิของหม้อแปลงที่ออกแบบมา โดยปกตินั้นจะทำการทดสอบค่าอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature rise) ของหม้อแปลงแช่น้ำมัน (ONAN) และเมื่อใช้หม้อแปลงไปนานๆจะต้องมีการตรวจสภาพหม้อแปลงเพื่อประเมินอายุการใช้งานของหม้อแปลงโดยแบ่งเป็น 2 สิ่งที่ต้องตรวจสอบคือการตรวจสอบน้ำมันโดยจะต้องตรวจทุกๆ 6 เดือนใน 1 ปี และการตรวจด้านไฟฟ้าทุกๆ 6 ปี ดังนั้นจากที่กล่าวถึงเรื่องของฮาร์โมนิกส์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมาข้างต้นแล้ว ทำให้ทางกลุ่มต้องการที่จะศึกษาผลของฮาร์โมนิกส์ว่ามีผลอย่างไรกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยอาศัยหลักการทดสอบคุณภาพผิดปกติของน้ำมัน DGA (Dissolved Gas Analysis) โดยมีทั้งหมด 5 วิธีดังนี้ Dannenberg Ratio, Roger's Ratio, Duval' Triangle, IEC Ratio และ Keys gas ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน ว่ามีผลต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างไร
2. เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าโดยอาศัย DGA ในการวิเคราะห์ผล
3. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฮาร์โมนิกส์กับการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและหาวิธีการป้องกันจากผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะทำการศึกษาน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด Mineral Oil เท่านั้น เพื่อได้ข้อมูลออกมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากตรวจสอบน้ำมันหม้อแปลงด้วยวิธี DGA ที่ได้มาเพื่อหาความสัมพันธ์ต่อไป อันจะนำไปสู่วิธีป้องกันการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าในอนาคต โดยค่ามาตรฐานที่ตรวจสอบได้ต้องมีค่าไม่เกินจากมาตรฐาน ASTM D3612

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากบทความ, เอกสาร และตำราที่สามารถให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพทางไฟฟ้าที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ พร้อมทั้งให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการป้องกันผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าทำการทดสอบฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีผลกระทบของฮาร์โมนิกส์โดยวิธี DGA (Dissolved Gas Analysis)

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

แผนการดำเนินโครงการ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาการเกิดและผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่อระบบไฟฟ้า										
2. หาข้อมูลการออกแบบและหลักการทำงานของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาการทำงานการออกแบบการแปลผล DGA										
4. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ DGA อย่างละเอียด										
5. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกกับความเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า										
6. จัดทำรูปเล่มรายงานและเตรียมการนำเสนอ										

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยในครั้งนี้ คือ ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการเกิดฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นผลทำให้เกิดความเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้าและทำให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดหรืออาจจะเกิดอุบัติเหตุที่ร้ายแรงได้ โดยการนำผลทดสอบที่ได้จากฉนวนหม้อแปลงที่ได้รับผลกระทบของฮาร์โมนิกมาทำการทดสอบ โดยนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D3612 เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาวิธีป้องกันและการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อยืดอายุการใช้งานและสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงล่วงหน้าได้ โดยให้อยู่ในขอบเขตที่ระบุตามมาตรฐาน

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า

ปัจจุบันคำว่า คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) เป็นคำที่พูดถึงบ่อยในเรื่องของความมั่นคงการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้าและกรณีเมื่อเกิดปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด หรือหยุดการทำงานจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าคำนิยามของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟจะพูดถึงในกรณีที่แตกต่างกันไป แต่ในความเป็นจริงแล้วมีความหมายเดียวกันซึ่งนิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้าคือคุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย

2.1.1 ลักษณะของคุณภาพกำลังไฟที่ดี

ระบบไฟฟ้าที่มีคุณภาพจะต้องมีลักษณะที่สำคัญ คือ

1. ไฟฟ้าต้องมาสม่ำเสมอ
2. ขนาดแรงดันต้องคงที่
3. ความถี่ต้องคงที่
4. แรงดันไฟฟ้าต้องมีรูปคลื่นไม่เพี้ยนจากรูปคลื่นเดิม
5. ต้องไม่มีมลภาวะทางไฟฟ้าที่เป็นอันตรายหรือรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าปะปนเข้ามา

2.1.2 เหตุผลหลักที่ทำให้มีการพิจารณาถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้า

- 1) เนื่องจากในปัจจุบัน กระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีเทคโนโลยีสูงขึ้นซึ่งจะมีความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกำลังไฟฟ้ามากกว่าในอดีต โดยเฉพาะอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลังดังเช่น อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ Programmable Logic Controller (PLC), Adjustable Speed Drive (ASD) และรีเลย์บางชนิด
- 2) การเพิ่มขึ้นของการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูงขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้าดังเช่น ตัวอย่างของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหนึ่งมีการใช้อุปกรณ์ ASD เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตซึ่ง ASD เป็นแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ก็จะทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้านั้นได้และถ้ามีคาปาซิเตอร์ติดตั้งอยู่ในระบบเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้า ก็ยังทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์รุนแรงมากยิ่งขึ้น
- 3) ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบถึงปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมของตนเองมากขึ้น ดังเช่น ปัญหาจากแรงดันตกชั่วระยะสั้น (Voltage Sag) ทำให้การไฟฟ้าหาแนวทางและวิธีการเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าให้ดีขึ้น
- 4) ระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อถึงกัน ถ้าส่วนใดของระบบเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าขึ้นก็จะทำส่วนอื่นๆ ของระบบได้รับผลกระทบจากปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามไปด้วย ดังเช่นโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งมีการใช้โหลดที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ และฮาร์โมนิกส์นั้นอาจไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้า อาจทำให้โรงงานบริเวณข้างเคียงได้รับผลกระทบจากปัญหาฮาร์โมนิกส์ด้วยเช่นกัน

2.1.3 สาเหตุในการเกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปเกิดจาก 5 สาเหตุใหญ่ ได้แก่

- 1) จากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น พายุ
- 2) จากการเกิดสภาวะความผิดปกติ (fault) ทางไฟฟ้า ในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า
- 3) จากการกระทำการสวิตซ์อุปกรณ์ในระบบ
- 4) จากการใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบอุตสาหกรรม
- 5) จากการต่อลงดินที่ไม่ถูกต้อง

2.1.4 ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

1) ภาวะชั่วคราว (Transient) คือ ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพไฟฟ้า (แรงดัน, กระแส) ในเวลาทันทีทันใดจากสภาพปกติแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Impulsive Transients และ Oscillatory Transients

2) การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะสั้น (Short Duration Voltage Variation) คือ การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน rms ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่าไม่เกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากสภาวะความผิดปกติ (fault) ทางไฟฟ้าทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตก (Voltage Sag หรือ Voltage Dip) แรงดันเกิน (Voltage Swell) และไฟดับ (Interruptions)

3) การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะยาว (Long Duration Voltage Variation) คือ การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน rms ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่าเกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานโหลดขนาดใหญ่ ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตก (Under voltage) แรงดันเกิน (Over voltage) และไฟดับ (Sustained Interruptions)

4) แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) คือ แรงดันของระบบ 3 เฟสมีขนาดแตกต่างกัน (0.5-2%) หรือมีมุมเปลี่ยนไปจาก 120 องศา เกิดจากความไม่สมดุลขนาดของโหลดแต่ละเฟส สามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนขององค์ประกอบลำดับลบ V_2 (Negative Sequence) หรือ องค์ประกอบลำดับศูนย์ V_0 (Zero Sequence) ต่อองค์ประกอบลำดับบวก V_1 (Positive Sequence)

5) ความผิดเพี้ยนรูปคลื่น (Waveform Distortion) การผิดเพี้ยนของรูปคลื่น คือ การเบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวของรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ทางกำลังไฟฟ้า และสามารถอธิบายคุณลักษณะได้โดยแยกองค์ประกอบทางความถี่ออกมา การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแบ่งออกได้ 5 ชนิด ได้แก่

- องค์ประกอบไฟตรง (DC offset)
- ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic)
- อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ (Inter harmonic)
- คลื่นรอยบาก (Notching)
- สัญญาณรบกวน (Noise)

6) แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) คือ การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของค่าแรงดัน rms มีขนาดไม่เกินช่วงแรงดัน 0.95-1.05 p.u. เป็นผลเกิดจากการใช้อุปกรณ์ประเภทเตาหลอมแบบอาร์ค ทำให้เกิดไฟกระพริบ (Flicker) ที่โหลดไฟและอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาก

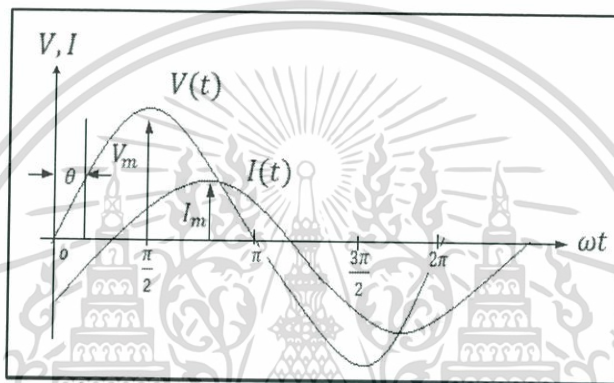
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Power Frequency Variation) คือ ปรากฏการณ์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนไปจากค่าความถี่ปกติ 50 Hz เป็นผลเกิดจากการทำงานผิดพลาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่หรือมีการหลุดออกจากระบบ ทำให้มีกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานสัมพันธ์กับความถี่ระบบไฟฟ้า เช่น เครื่องกลไฟฟ้า

2.2 ฮาร์โมนิกส์

2.2.1 นิยามของฮาร์โมนิกส์

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ โดยทั่วไปจะมีรูปคลื่นของแรงดันและกระแสเป็นรูปไซน์ (Sinusoidal Wave) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 รูปของแรงดันและคลื่นกระแสในรูปที่ 2.1 นี้สามารถเขียนเป็นสมการแสดงขนาดที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสแบบไซน์ [2]

$$v(t) = V_m \sin(\omega t)$$

หรือ $v(t) = V_m \sin(2\pi f t)$ (2.1)

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \theta)$$

หรือ $i(t) = I_m \sin(2\pi f t - \theta)$ (2.2)

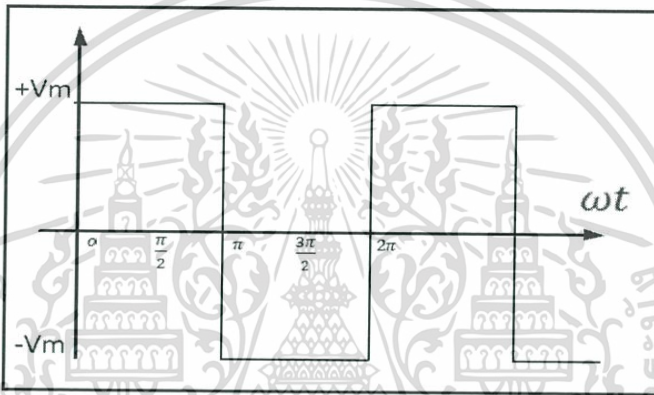
เมื่อ	$v(t)$	คือ ขนาดของแรงดัน ณ เวลา t ใดๆ
	V_m	คือ ขนาดสูงสุดหรือของค่ายอดของแรงดัน
	$i(t)$	คือ ขนาดของกระแส ณ เวลา t ใดๆ
	I_m	คือ ขนาดสูงสุดหรือของค่ายอดของกระแส
	f	คือ ความถี่ของแรงดันและกระแส
	θ	คือ ขนาดของมุมที่กระแสตามหลัง
	t	คือ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รูปคลื่นของแรงดันและกระแสจะไม่จำเป็นต้องเป็นไซน์ เช่น อาจจะเป็นรูปสามเหลี่ยม (Square Wave) ดังรูปที่ 2.2 รูปคลื่นของแรงดันในรูปที่ 2.2 สามารถเขียนเป็นสมการแสดงขนาดที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้ดังนี้

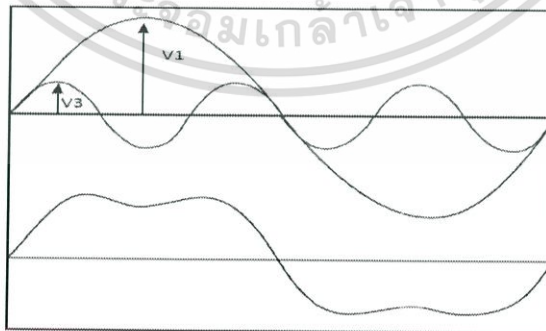
$$v(t) = \frac{4}{\pi} V_m \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \dots \right]$$

$$\text{หรือ } v(t) = \frac{4}{\pi} V_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(n\omega t) \quad (2.3)$$

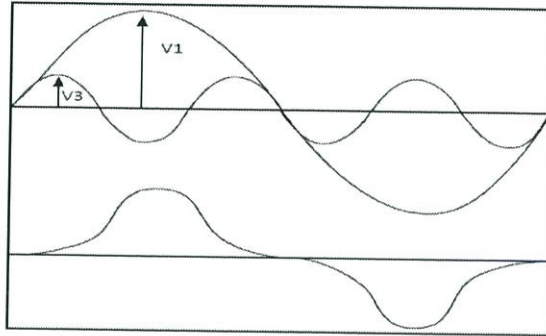


รูปที่ 2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมของแรงดัน [2]

จากรูปที่ 2.2 สมการที่ 2.3 จะพบว่าแรงดันที่มีรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม จะประกอบไปด้วยรูปคลื่นไซน์ที่มีขนาด และความถี่ต่างๆ จำนวนมากเพื่อแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาด และความถี่ต่างกัน เมื่อนำมารวมกันจะเกิดเป็นรูปคลื่นแบบต่างๆ ได้ สามารถแสดงเป็นตัวอย่างได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแบบยอดแบน [2]



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแบบยอดแหลม [2]

ในรูปที่ 2.3 นี้เป็นรูปคลื่นแบบยอดแบนเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์จำนวน 2 ชุดที่มีความถี่ 3 เท่ารวมตัวกันคือ

$$v(t) = V_1 \sin(\omega t) + V_3 \sin(3\omega t) \quad (2.4)$$

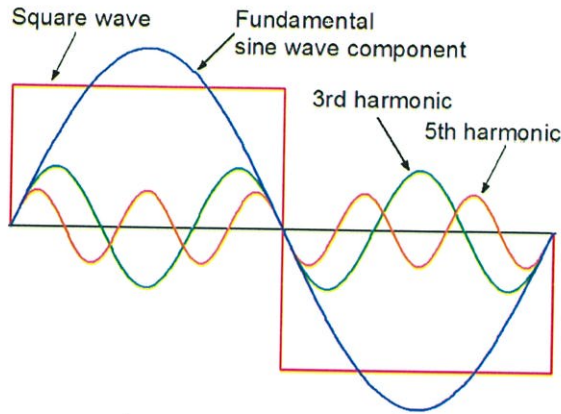
ส่วนในรูปที่ 2.4 เป็นรูปคลื่นแบบยอดแหลมเกิดจากรูปคลื่นแบบไซน์จำนวน 2 ชุดที่มีความถี่ 3 เท่าเหมือนรูปที่ 2.3 มารวมกัน แต่มีเฟสต่างจากรูปที่ 2.3 คือ

$$v(t) = V_1 \sin(\omega t) - V_3 \sin(3\omega t) \quad (2.5)$$

จากรูปคลื่นต่างๆ ที่กล่าวมาเราสามารถสรุปได้ว่าไม่ว่ารูปคลื่นเหล่านั้นจะมีรูปร่างเป็นอย่างไร เช่น รูปคลื่นแบบไซน์ที่มีขนาดและความถี่ต่างๆ จำนวนมากมารวมกัน

รูปคลื่น $V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 2.1 หรือ $\frac{4}{\pi} V_m \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 2.3 หรือ $V_1 \sin(\omega t)$ ในสมการที่ 2.4 และ 2.5 เราเรียกว่าเป็นความถี่หลักมูล (Fundamental Wave) ส่วนรูปอื่นๆ ที่มีความถี่ต่างไปจากรูปคลื่นความถี่หลักมูลเป็นจำนวน n เท่า โดยที่ $n = 2, 3, 4, \dots$ เช่น $\frac{4}{3\pi} V_m \sin(3\omega t)$ ในสมการที่ 2.3 หรือ $V_3 \sin(3\omega t)$ ในสมการที่ 2.4 และ 2.5 ที่มีความถี่เป็นสามเท่าของของความถี่หลักมูล เราเรียกว่าเป็นรูปคลื่นฮาร์โมนิกส์ โดยมีลำดับฮาร์โมนิกส์เป็น 3

ดังนั้นฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ในระบบไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่น ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150Hz และฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250Hz



รูปที่ 2.5 ฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับต่างๆ [3]

สำหรับงานคุณภาพกำลังงานไฟฟ้า เราสามารถอธิบายความหมายของฮาร์โมนิกส์อย่างง่ายได้ว่า ฮาร์โมนิกส์ คือ ค่าความถี่ที่ไม่ต้องการให้มีหรือเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า ดังนั้นความถี่ของแรงดันและกระแสไฟฟ้านอกจากความถี่ 50Hz นี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น โดยทั่วไปความถี่ที่ไม่ต้องการนี้จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนเท่าของความถี่ 50Hz

ตารางที่ 2.1 ค่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ต่างๆ [4]

ความถี่มูลฐาน	จำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน	ความถี่ฮาร์โมนิกส์ (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่
50	1	50	1 (First)
50	2	100	2 (Second)
50	3	150	3 (Third)
50	4	200	4 (Forth)
50	5	250	5 (Fifth)

2.2.2 อนุกรมฟูรีเยร์

การที่จะอธิบายว่ารูปคลื่นใดๆ มีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เท่าไรขึ้นอยู่กับ และฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับนั้นมีปริมาณหรือขนาดมากน้อยแค่ไหน สามารถอธิบายได้โดยใช้อนุกรมฟูรีเยร์

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right] \quad (2.6)$$

- เมื่อ $v(t)$ คือ ฟังก์ชันของรูปคลื่นรายคาบใดๆ
 a_0 คือ ค่าเฉลี่ยของ $v(t)$
 n คือ เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ (ลำดับฮาร์โมนิกส์)
 a_n และ b_n คือ สัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์
 T คือ คาบเวลาของลูกคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [c_n \cos(n(2\pi ft - \phi_n))] \quad (2.7)$$

เมื่อ f คือ ความถี่

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

2.2.3 ศัพท์และปริมาณต่างๆ

เพื่อสามารถเรียนรู้และเข้าใจเรื่องฮาร์โมนิกส์ได้อย่างถ่องแท้ในตอนแรก ตอนเริ่มต้น ด้วยการทำความเข้าใจกับศัพท์และปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์ก่อน

- Distortion Factor: DF
- Harmonic Factor: HF
- Total Harmonic Content: THC
- Total Harmonic Distortion: THD

ทั้ง DF, HF, THC หรือ THD ต่างก็ใช้ระบุปริมาณของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า RMS ของค่าความถี่หลักมูล หรือเปรียบเทียบกับค่า RMS ของปริมาณทั้งหมดทั้งนี้แล้วแต่มาตรฐานต่างๆ จะกำหนดนิยามไว้จากมาตรฐาน IEEE 519-1992 ได้

$$DF_v = HF_v = THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.8)$$

$$DF_i = HF_i = THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.9)$$

ในการบอกถึงขนาดความรุนแรงของปัญหาฮาร์โมนิกส์โดยทั่วไปนั้นจะนิยามจากค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกส์รวม (%Total Harmonics Distortion: %THD) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณผลรวมฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2 ขึ้นไปเทียบกับลำดับที่ 1 หากค่า THD ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0% นั้นหมายความว่า รูปคลื่นของแรงดัน หรือกระแสเป็นรูปคลื่นไซน์ตามที่ต้องการในแบบอุดมคติ

2.2.4 ประเภทของฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่เกิดขึ้นอยู่ในกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าอาจแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ เพื่อความสะดวกในการกล่าวถึงดังต่อไปนี้

Harmonic หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล เช่น รูปคลื่นสี่เหลี่ยมในรูป 2.2 จะมีฮาร์โมนิกส์ปนอยู่จำนวนมาก ตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2, 3, 4, ... หรือรูปคลื่นในรูปที่ 2.3 และในรูปที่ 2.4 จะมีเฉพาะฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ปนอยู่เท่านั้น

Inter harmonic หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล Interharmonic นี้ส่วนมากจะพบในกระแสของเตาหลอมแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์ค (arc furnace) เนื่องจากในระหว่างหลอมเหล็ก โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นการหลอม กระแสแบบอาร์คจะยังไม่เสถียร ทำให้คาบของกระแสไม่แน่นอน กล่าวคือ ความถี่ 50 Hz 1 คาบ ใช้เวลา 20 มิลลิวินาทีทุกคาบ ทำให้ Interharmonic ขึ้น นอกจากนี้จะพบ Interharmonic ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle Control หรือ Burst firing Characteristic Harmonic คือ ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้า (แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือสลับกัน โดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น Transistor, SCR เป็นตัวสวิตซ์ตัดต่อกระแส) ในสภาวะการทำงานตามปกติลำดับของ Characteristic Harmonic สามารถหาได้จาก

$$n = \pm kp \quad (2.10)$$

เมื่อ	n	คือ ลำดับของฮาร์โมนิกส์
	k	คือ เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ
	p	คือ จำนวนพัลส์ (Pulse Number) ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

Non-characteristic Harmonic คือ ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้าที่ไม่เป็นไปตามสมการ $n = \pm kp$ เช่นเครื่องแปลงผันไฟฟ้าชนิด 12 พัลส์ ควรจะมีเฉพาะ Non-characteristic Harmonic ที่มีลำดับ 11, 13, 23, 25, 35, 37 ดังนั้น ถ้ามีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีลำดับเป็น 5, 7, 17, 19 ปนมาด้วย ฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ถือว่าเป็น Non-characteristic Harmonic

Triple Harmonic คือ ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่มีลำดับถูกหารด้วย 3 ลงตัว ได้แก่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3, 6, 9, ... ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับ (sequence) เป็นศูนย์ในกรณีที่เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกส์กลุ่มนี้จะรวมตัวกันไหลอยู่ในสายนิวทรัล ทำให้เกิดปัญหาที่ระบบไฟฟ้าได้ เช่น สายนิวทรัลร้อน ฉนวนเสียหายเกิดลัดวงจร เป็นต้น

2.2.5 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ามีด้วยกันหลายอย่าง ทั้งจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท Static power converter ที่เริ่มนำมาใช้กันแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ที่มีใช้กันมานานแล้ว กล่าวคือได้รวบรวมสรุปแหล่งที่มาทั้งหมดที่เป็นตัวกำเนิดฮาร์โมนิกส์ว่ามีอย่างน้อยเพียงใด ที่จะมีส่วนให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์หรือไม่ แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์สามารถแยกออกได้หลายประเภทดังนี้

- 1) โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น
 - เรคตีไฟเออร์ (Rectifier)
 - คอนเวอร์เตอร์แบบมีความถี่ (Static frequency converter)
 - รีแอกเตอร์แบบอิ่มตัว (Saturable reactor)
 - เต้าหลวมแบบอาร์ค (Arc furnace)
 - เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค
- 2) แหล่งกำเนิดเฟสแบบไม่สมดุล (phase unbalance sources)
 - โหลดแบบเชิงเส้นเฟสเดียว (Single phase linear load)
 - โหลดแบบไม่เชิงเส้นเฟสเดียว (Single phase non-linear load)
 - หม้อแปลงเดลต้าเปิด (Open delta transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบจำหน่ายแบบวางนอนและไม่มีกระแสสลับสาย (Untransposed flat configuration of conductors)
- 3) กระแสกระตุ้น (exciting currents)
 - กรณีปกติ (Normal condition)
 - กรณีกระตุ้นมากเกินไป (Overexciting condition)
 - รีโซแนนซ์กับแกนเหล็ก (Ferro-resonance)
- 4) แหล่งกำเนิดอื่นๆ
 - สวิตชิงเสิร์จ
 - กระแสตรงในวงจรกระแสสลับ
 - ฟอลต์
 - ไฟฟ้า

2.2.6 ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์

ปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ต่อระบบไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้

ผลของกระแสฮาร์โมนิกส์ทำให้กำลังงานสูญเสียของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นทั้งจากลวดตัวนำและแกนแม่เหล็ก

ผลของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ไหลอยู่ในระบบทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในสายตัวนำมากขึ้น เนื่องจากกระแสฮาร์โมนิกส์ทำให้ค่ากระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้นผลของกระแสฮาร์โมนิกส์ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในคาปาซิเตอร์แก้ค่าตัวประกอบกำลัง (Cap. Bank) และทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น

ผลของกระแสฮาร์โมนิกส์ Triple n (ลำดับที่ 3, 6, 9, ...) จะรวมกันไหลอยู่ในสายนิวทรัลทำให้เกิดความร้อนสูง

ผลของฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์ ทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแสและแรงดันเกินปกติ

ผลของฮาร์โมนิกส์ต่อเครื่องจักรไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งมอเตอร์และอุปกรณ์ที่มีการทำงานโดยใช้ผลของสนามแม่เหล็กทำให้กำลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนและมีอายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ

ผลของฮาร์โมนิกส์ทำให้รีเลย์และอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าทำงานผิดพลาด

ผลของฮาร์โมนิกส์ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสาร และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดพลาด

ในการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมถ้าเป็นอาคารและโรงงานที่ถูกสร้างมาในระยะ 10 ถึง 20 ปีที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับรองรับปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์จากอุปกรณ์เครื่องจักรสมัยใหม่ที่ติดตั้งเพิ่มเติม (ในปัจจุบันถ้าในขั้นตอนการออกแบบไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับก็มีปัญหาเช่นเดียวกัน) โดยในระยะแรกขณะที่จำนวนหรือปริมาณอุปกรณ์และเครื่องจักรที่สร้างปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์มีไม่มากในระบบ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือความร้อนสะสมที่อุปกรณ์ที่กระแสฮาร์โมนิกส์ไหลผ่านจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่น หม้อแปลงสายไฟและอุปกรณ์ภายในตู้ MDB โดยที่ผู้รับผิดชอบด้านไฟฟ้าอาจจะยังไม่สังเกตได้ แต่เมื่อปริมาณกระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบมีมากขึ้นจะสร้างสิ่งผิดปกติที่สังเกตได้ดังนี้ สายนิวทรัลจะมีความร้อนสูง หม้อแปลงและตู้ MDB จะมีความร้อนสูงและมีเสียงสั้นครางคาปาซิเตอร์แก้ค่าตัวประกอบกำลังจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนและเสียหายบ่อย อุปกรณ์ป้องกันในระบบ เช่น เบรกเกอร์และรีเลย์จะทำงานเองโดยไม่ทราบสาเหตุ นอกจากนั้นกระแสฮาร์โมนิกยังเป็นสาเหตุหลักของแรงดันฮาร์โมนิกที่จุดต่อร่วมและสร้างปัญหาให้กับอุปกรณ์และเครื่องจักรในระบบไฟฟ้า

ปัญหาแรงดันฮาร์โมนิกต่อระบบไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้

- ทำให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจากจุดต่อร่วมมีส่วนประกอบฮาร์โมนิกออกไปแม้ว่าโหลดที่นำมาต่อมีคุณสมบัติเชิงเส้น
- ถ้ามีแรงดันฮาร์โมนิกในลำดับที่ 5 และ 11 ซึ่งเป็นเนกาทีฟซีแควนซ์ จะทำให้มอเตอร์ที่ได้รับแรงดันนี้เข้าไปจะเกิดแรงหมุนในทิศทางกลับหรือต้านกับทิศทางการหมุนปกติทำให้มอเตอร์ร้อนเนื่องจากต้องใช้กำลังงานเพื่อต้านแรงนี้
- อุปกรณ์ที่ทำงานโดยผลของสนามแม่เหล็ก เช่น บัลลาสต์แกนเหล็ก แม่เหล็กไฟฟ้า หม้อแปลงจะร้อนผิดปกติเนื่องจากผลของแรงดันฮาร์โมนิกในลำดับที่ 5 และ 11 จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กต้านภายในแกนเหล็กทำให้ต้องการกระแสไฟฟ้าขาเข้าและใช้กำลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ
- เป็นสาเหตุของการเรโซแนนซ์ทางกลของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์ทำงานสั้นอย่างผิดปกติ
- เป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ที่ต้องทำงานเข้าจังหวะ (Synchronization) กับความถี่สายกำลัง เช่น เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) สวิตช์ถ่ายโอนอัตโนมัติ (ATS) วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง-ไทรสเตอร์ชนิดควบคุมเฟส ระบบการสื่อสารข้อมูล ทำงานผิดพลาดได้
- เป็นสาเหตุให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์-คอมพิวเตอร์ทำงานผิดพลาดหรือเสียหายได้

ส่วนใหญ่ปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิกนั้น สิ่งที่ได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกมากที่สุดก็คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความเสียหายของข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ฮาร์โมนิกยังสามารถให้ความร้อนเพิ่มขึ้นในหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ ส่งผลให้อายุการใช้งานที่สั้นลงหรืออาจเกิดความเสียหายเกิดขึ้น เงื่อนไขต่างๆ และรายละเอียดของการใช้งานอุปกรณ์ในขณะมีฮาร์โมนิกนั้น สามารถดูได้จากมาตรฐาน ANSI/IEEE Std 18-1980 และ IEEE Std C57.110 ตามลำดับ ความร้อนและการสั่นสะเทือนของโรเตอร์ของมอเตอร์นั้น ก็มีสาเหตุมาจากฮาร์โมนิก และยังส่งผลให้มอเตอร์นั้นเกิดความร้อนเกิดขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง

โดยทั่วไปแล้วปริมาณฮาร์โมนิกทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ (Total Harmonic Distortion: THD) ในโรงงานอุตสาหกรรมต้องไม่เกิน 5% ตามมาตรฐาน IEEE เรื่อง Harmonic Control in Electrical Power System Std. 519-1992 และฮาร์โมนิกนั้นไม่ได้ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีประสิทธิภาพลดลง ทำให้ต้องเพิ่มการบำรุงรักษามากขึ้น เป็นการทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่ม และเพิ่มความสูญเสียในหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ซึ่งจะกล่าวถึงผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่พบกันมากในอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

1) สกินเอฟเฟค (Skin Effect)

การเกิดฮาร์โมนิกทำให้เกิดสกินเอฟเฟคในสายตัวนำทำให้ค่าความต้านทานของสายเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นที่ความถี่ปกติ 50-60 Hz สกินเอฟเฟคไม่มีปัญหาเท่าใดนัก สกินเอฟเฟคเกิดขึ้นเนื่องจากความเหนี่ยวนำของสาย (Self-Inductance) ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของ

สาย กระแสไหลทางด้านนอกของสายมาก มีกระแสไหลผ่านตัวนำได้น้อยเพราะค่าความต้านทานของสายเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความถี่ที่เพิ่มขึ้น

2) มอเตอร์ (Motor)

สายตัวนำที่มีวัสดุสนามแม่เหล็ก (Magnetic Material) เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ในมอเตอร์ หรือแม้กระทั่งท่อโลหะร้อยสายทำให้ผลของเนื้อสกินเอฟเฟกต์มีมากขึ้น เช่น โรเตอร์ของมอเตอร์ เหนี่ยวนำจะแสดงผลอย่างรุนแรงเนื่องจากปัญหาดังกล่าว ความต้านทานภายในโรเตอร์มีค่าต่างกัน ขณะหมุนอยู่ขณะเริ่มสตาร์ท ทั้งนี้เนื่องจากสกินเอฟเฟกต์ที่มีค่าต่างกันอันเกิดจากความถี่ในโรเตอร์ที่ไม่เหมือนกัน

กรณีที่แหล่งจ่ายไฟป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไม่สมมาตรสามเฟส (Unsymmetrical Three Phase Voltage) ให้กับมอเตอร์จะเกิดกระแสซีควันลบนเหนี่ยวนำขึ้นในโรเตอร์และเกิดความถี่ขึ้นในโรเตอร์ 60 -118 Hz ความต้านทานของโรเตอร์ที่ความถี่สูงนี้เนื่องจากสกินเอฟเฟกต์มีค่าสูงกว่าที่ลือกของโรเตอร์ บางที่อาจถึง 5-6 เท่าของความถี่ปกติ ความไม่สมดุลของเฟสเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดความสูญเสียในโรเตอร์เพิ่มขึ้น

3) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

สกินเอฟเฟกต์ทำให้เกิดความร้อนมากเกินไป นอกจากนี้การเบี่ยงเบนของคลื่นสัญญาณทำให้ความสูญเสียในแกนเหล็กมากขึ้นด้วยเนื่องจากความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าความถี่ปกติ ผลของความเบี่ยงเบนของคลื่นสัญญาณในหม้อแปลงไฟฟ้ามีมากกว่าในสายตัวนำขนาดใหญ่แต่มีผลน้อยกว่าในมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ไฟฟ้ากระแสตรงในระบบถือว่าเป็นความเบี่ยงเบนของคลื่นชนิดหนึ่งที่ได้รับการพิจารณาน้อย ถ้าหากมีส่วนหนึ่งของกระแสตรงไหลในหม้อแปลงไฟฟ้า ก็อาจทำให้เกิดความร้อนมากเกินไปในหม้อแปลงไฟฟ้าได้ เพราะไฟฟ้ากระแสตรงทำให้เกิดการอิ่มตัวในแกนเหล็ก

4) สวิตช์เกียร์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Switch Gear and Circuit Breaker)

ความสูญเสียในสวิตช์เกียร์เนื่องจากความเบี่ยงเบนของคลื่นสัญญาณเหมือนกันในสายตัวนำ นอกจากนี้อุปกรณ์ใดๆ ที่มีค่าความเหนี่ยวนำเป็นสำคัญจะมีความสูญเสียเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจาก Proximity Effect หม้อแปลงกระแสจะมีความสูญเสียเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากความเหนี่ยวนำใดๆ ที่มีอยู่ภายในหม้อแปลงกระแสจะมีผลต่อ Burden ของหม้อแปลงกระแสที่ความถี่ฮาร์โมนิกส์และทำให้ความสูญเสียในแกนเหล็กเพิ่มขึ้น

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีขดลวดทรีปอยู่ภายในตัวมันเองก็มีปัญหาขึ้นนอกเหนือจากปัญหาสกินเอฟเฟกต์และ Proximity Effect ซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่มากเกินไปในอุปกรณ์ที่นำกระแสหลัก ความร้อนมากเกินไปที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิรอบด้านภายใน เซอร์กิตเบรกเกอร์สูงขึ้นและทำให้การตั้งค่างารทรีปผิดไป อุปกรณ์การทรีปภายใน เซอร์กิตเบรกเกอร์จะไวต่อคลื่นประเภทฮาร์โมนิกส์ เพราะประสิทธิภาพของการส่งไปยังอุปกรณ์การทรีปเพิ่มขึ้นตามความถี่ แม้มาตรฐานใดๆ จะไม่มีการใช้หรือตั้งขึ้นมาสำหรับกรณีนี้ แต่พบว่าการทรีปของเซอร์กิตเบรกเกอร์อันเนื่องจากการเกิดฮาร์โมนิกส์นั้น ร้อนมาก

5) ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ความสูญเสียภายในคาปาซิเตอร์ ความสูญเสียไดอิเล็กตริกขนาดหนึ่งวัตต์ต่อ KVA ที่ความถี่ปกตินั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนกับความถี่ที่เพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วคงที่ ส่วนความสูญเสียอันเนื่องมาจากความต้านทานภายในของคาปาซิเตอร์ที่มีค่าไม่สูงมากนัก รวมแล้วความสูญเสียทั้งหมดภายในคาปาซิเตอร์เนื่องจากฮาร์โมนิกส์มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ KVA ของของตัวมันเอง แต่ถ้ามองในอีกด้านหนึ่งของคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดเล็กเล็กๆ ต่อ KVA ของมัน ความสูญเสียอาจทำให้อุณหภูมิภายในคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นและอายุการใช้งานที่สั้นลง

2.3 ฉนวน

ฉนวนที่จะกล่าวต่อไปนี้ สามารถแบ่งแยกได้ดังต่อไปนี้

1. เป็นฉนวนของสายตัวนำ
2. น้ำมันหม้อแปลง
3. กระดาษฉนวน

2.3.1 ฉนวนของตัวนำ

ฉนวนของสายตัวนำเองนั้นจะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางหรือพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมของสาย ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ถึง 1.3 มม. มีสารเคลือบเหมาะที่จะใช้กับแกนขนาดเล็กถ้าต้องการให้ฉนวนดีขึ้นและทนความร้อนได้มากกว่าให้เคลือบด้วยไวนิลฟลิกซ์(Vinilflex) หรือพันทับด้วยไหมแคปรอน(caprone), เทเรไลน์(tereline) หรือคอตตอน(cotton) ลวดตัวนำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 ถึง 1.4 มม. จะพันด้วยกระดาษเคเบิล (cable paper) หลายๆ ชั้น ส่วนลวดตัวนำหน้าตัดสี่เหลี่ยมก็เช่นเดียวกันถ้าต้องการทนความร้อนมากขึ้นให้พันทับด้วยไฟเบอร์กลาส

2.3.2 น้ำมัน

ในหม้อแปลงไฟฟ้า(Power Transformer, Distribution Transformer) น้ำมันและกระดาษเป็นฉนวนหลักที่ยังคงความนิยมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ด้วยเหตุผลที่ประนีประนอมระหว่างราคากับคุณสมบัติในการใช้งาน ในปัจจุบันคุณภาพของฉนวนทั้งน้ำมันและกระดาษที่ใช้มีการปรับปรุงมากขึ้น ทำให้หม้อแปลงสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้น และด้วยอายุการใช้งานที่ยืนยาวขึ้น การบำรุงรักษาตามวาระ(Routine Maintenance) เช่น การคอยตรวจสอบสภาพของน้ำมัน และการปรับปรุงสภาพเมื่อถึงเวลาอันสมควร นับว่ามีส่วนสำคัญในการยืดอายุการใช้งานให้นาน トラบเท่าที่การออกแบบได้กำหนดไว้ เช่นเดียวกับการบำรุงรักษาป้องกัน(Preventive Maintenance) ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น ในการลดอัตราความล้มเหลว(Failure rate) ของหม้อแปลง

ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ฉนวนชนิดน้ำมัน-กระดาษนั้น อายุของกระดาษจะขึ้นกับเสถียรภาพของน้ำมัน (ปัจจัยการเสื่อมสภาพของกระดาษคือความร้อนและความชื้น น้ำมันทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กระดาษ และหน่วงการแพร่ของความชื้นจากภายนอกที่เข้าสู่กระดาษให้ช้าลง) เมื่อน้ำมันเสื่อมลง โยเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของกระดาษจะถูกเร่งให้เกิดความแตกแยกเร็วขึ้น ความแข็งแรงทางกลของกระดาษจะลดลงจนกระดาษยุ่ยเปื่อยในที่สุด และนั่นหมายถึงวาระสุดท้ายของหม้อแปลง

น้ำมันหม้อแปลงเมื่อเสื่อมสภาพลงจะสามารถเปลี่ยนหรือปรับสภาพให้ดีขึ้นได้ แต่กระดาษเซลลูโลสที่เสื่อมสภาพแล้วจะปรับสภาพให้กลับคืนใหม่ไม่ได้ ดังนั้นความรู้ความเข้าใจในเพื่อ

พิจารณาเลือกใช้น้ำมัน ตลอดจนการบำรุงรักษาและการวิเคราะห์จึงเป็นหนทางที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงให้ยืนยาวขึ้น

น้ำมันหม้อแปลงผลิตจากน้ำมันธรรมชาติ(Crude Oil) ซึ่งมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ naphthenic crudes, paraffinic crudes และ mixed base crudes แต่ละชนิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็น Paraffins, naphthenes และ aromatics ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

2.3.2.1 คุณสมบัติต่างๆของน้ำมันหม้อแปลง

1) คุณสมบัติทางกายภาพ เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงลักษณะต่างๆของน้ำมัน เช่น ความหนืด, ความหนาแน่น, ชนิดของน้ำมัน และ จุดวาบไฟ

2) คุณสมบัติทางเคมี เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงสภาพความเป็น pH ของน้ำมัน, การตกตะกอนของสิ่งเจือปน, การกัดกร่อนจากสารประเภทซัลเฟอร์

3) คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นตัวบ่งบอกถึงค่าความต้านทานจำเพาะ, การเบรกดาวน, เปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์

2.3.2.2 สาเหตุการเสื่อมสภาพของน้ำมัน

1) การเสื่อมสภาพทางออกซิเดชัน

การเสื่อมสภาพของน้ำมันเริ่มตั้งแต่ที่น้ำมันถูกใส่เข้าไปในอุปกรณ์ โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อยู่ตัว(Unstable)ในน้ำมันนั้น จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายในอุปกรณ์ (ซึ่งอาจเป็นออกซิเจนที่ละลายมากับน้ำมัน หรือตกค้างหลังการผลิตจากโรงงาน หรืออาจมาจากอากาศโดยตรง ในกรณีหม้อแปลงระบบเปิดที่หายใจผ่านซิลิกาเจล) ภายใต้ความชื้น, ทองแดง, เหล็กและตัวเร่งปฏิกิริยา (ความร้อนจากสนามไฟฟ้า) เกิดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเป็นออกไซด์ในรูปของ เพอร์ไซด์, แอลกอฮอล์ และกรดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง กรดที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับทองแดง, เหล็ก, วานิช หรือสีในหม้อแปลงเกิดสารที่ค่อนข้างนำไฟฟ้าและละลายในน้ำมันได้ปานกลาง เรียกว่า ตะกอน เมื่อตะกอนมีการสะสมตัวมากขึ้นๆ ความสามารถในการละลายจะลดลง เกิดการตกตะกอนและก่อสารที่ชั้นหนืดเกาะผิวกระดาษ ฉนวนตัวถัง, ร่องน้ำมัน หรือ ตรีประบายความร้อน ทำให้การระบายความร้อนของอุปกรณ์แยลง สารเสื่อมสภาพที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือที่เรียกว่าสารเสื่อมสภาพนี้จะทำให้สีของน้ำมันเหลืองมากขึ้นจนกลายเป็นน้ำตาลอ่อนและน้ำตาลเข้มเมื่อปริมาณตะกอนมากขึ้น น้ำมันที่เดิมใสจะขุ่นขึ้น ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของน้ำมันจะลดลง นอกจากนี้โพลาไรคอมเปาต์ที่เกิดจะลดความเป็นฉนวนไฟฟ้าของน้ำมัน ส่วนสารเจือปนหรือพวกละอองปนเปื้อน ได้แก่ น้ำ, ฝุ่น, เศษผงต่างๆ จะทำให้น้ำมันขุ่นมัว และการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

2) การเสื่อมสภาพทางไฮโดรไลติก

เนื่องจากน้ำเป็นสารที่มีขี้ มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนซ์สูง(ประมาณ 80) ในขณะที่ของน้ำมันมีค่า 2.2 น้ำในรูปของน้ำอิสระ ที่อยู่ในบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง จะสร้างปัญหาของการเกิดดีสชาร์จในน้ำมัน ทำให้ความแข็งแรงทางฉนวนลดลง นอกจากนี้น้ำจะละลายทำให้เกิดการสูญเสียทางฉนวน (dielectric loss) เพิ่มแพคเตอร์การสูญเสียและการนำไฟฟ้า

3) การเสื่อมสภาพทางไฟฟ้า

ความเครียดของสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันสูงขึ้น น้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้นสารประเภทที่เป็นตัวยับยั้ง ที่เติมในน้ำมันเพื่อปรับปรุงสภาพด้านการต่อต้านออกซิเดชันส่วนใหญ่จะลดคุณสมบัติด้านค่าความแข็งแรงอิมพัลส์ของน้ำมัน

4) การเสื่อมสภาพทางความร้อน

ความร้อนจะเร่งให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเกิดเร็วขึ้น น้ำมันจึงเสื่อมสภาพเร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนก็เป็นศัตรูที่สำคัญในการทำกระดาษเสื่อมสภาพ หากสภาพการระบายความร้อนของน้ำมันแย่ง อายุการใช้งานของกระดาษจะสั้นลง

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันหม้อแปลง

คุณสมบัติ	น้ำมันหม้อแปลง
ความถ่วงจำเพาะ g/cm^3	0.9
จุดไฟติด $^{\circ}C$	130 - 180
สภาพนำความร้อน $mw/cm^{\circ}C$	1.6
ความต้านทานจำเพาะ $Ohm-cm$ ที่ $85^{\circ}C$	100×10^{12}
แฟคเตอร์พลังงานสูญเสียที่ $80^{\circ}C$, 50Hz	100×10^{-4}
ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตาม IEC Std ที่ $20^{\circ}C$ kV/mm	10 - 25
เปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ ϵ (50Hz)	2 - 2.5
ความชื้นที่ยอมให้มีได้สูงสุด (ppm)	50
ความหนืด การขยายตัว ($20-100^{\circ}C$)	$7 \times 10^{-4}/^{\circ}C$
ผลแตกตัวขององค์ประกอบ เมื่อเกิดอาร์คไฟฟ้า	ไฮโดรเจน อะเซททีลีน

2.3.3 กระดาษ

ปกติกระดาษที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์การฉนวน รู้จักกันในลักษณะกระดาษบางๆ หรือกระดาษเหนียว ความหนาแน่นและความหนาขึ้นอยู่กับนำไปใช้งาน ความหนาแน่นต่ำ ($0.8 g/cm^2$) เหมาะกับการใช้เป็นไดอิเล็กตริกของคาปาซิเตอร์ความถี่สูงและเป็นฉนวนของสายเคเบิล ความหนาแน่นปานกลาง ($1 g/cm^2$) ใช้เป็นไดอิเล็กตริกของคาปาซิเตอร์กำลัง กระดาษที่มีความหนาแน่นสูงใช้ในคาปาซิเตอร์กระแสตรงเพื่อเก็บพลังงาน หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากกระดาษที่มีคุณสมบัติดูดซึมความชื้นได้ ฉะนั้นการใช้กระดาษเป็นฉนวนจำเป็นต้องทำให้แห้งแล้วชুবฉนวนเหลว เช่นน้ำมันฉนวน ค่าเปอร์มิตติวิตีของกระดาษชুবฉนวนเหลวขึ้นอยู่กับค่าเปอร์มิตติวิตีของเซลลูโลสของกระดาษและของฉนวนของเหลวที่ชুব และค่าความหนาแน่นของกระดาษ ส่วนกระดาษฉนวนที่ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้า [21] มีค่าเปอร์มิตติวิตีดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเปอร์มิตติวิตี้ของกระดาษชุบน้ำมันที่ 20°C

ฉนวนเหลวที่ใช้ชุบ	เปอร์มิตติวิตี้กระดาษฉนวนเหลว ϵ_r ตามความหนาแน่นของกระดาษ		
	0.8 g/cm ²	1.0 g/cm ²	1.2 g/cm ²
Transformer Oil	3.26	3.72	4.3

ส่วนฉนวนเพื่อระบายความร้อน เช่น จำพวกกระดาษอัด (pressboard) หรือฉนวนที่ใช้กั้นระหว่างขดลวดแรงดันสูงและแรงดันต่ำที่ใช้จำพวกโพลีเอสเตอร์ฟิล์มพร้อมทั้งมีที่ระบายความร้อน (cooling duct)

คุณสมบัติของกระดาษฉนวน

1. คุณสมบัติทางกายภาพเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงลักษณะต่างๆของกระดาษ เช่น ความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับของเหลว เป็นต้น
2. คุณสมบัติทางเคมีเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงสภาพการนำไฟฟ้าในของเหลวที่ pH ต่างๆ เป็นต้น
3. คุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความคงทนต่อแรงดันในเงื่อนไขต่างๆ, ค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์

2.4 คุณลักษณะทางความร้อนของหม้อแปลง

2.4.1 มาตรฐานของอุณหภูมิ (Temperature Standards)

ตามมาตรฐานของอุณหภูมิ [19] ได้กำหนดขีดจำกัดอุณหภูมิเพิ่มสำหรับหม้อแปลงน้ำมันระบายความร้อนได้โดยวิธีธรรมชาติ (Oil-Immersed Self-Cooled Transformer) และมีอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) สูงสุดเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงขีดจำกัดอุณหภูมิเพิ่มสำหรับหม้อแปลงแบบแช่น้ำมัน

รายการชิ้นส่วนของหม้อแปลง	อุณหภูมิเพิ่ม (องศาเซลเซียส)
ขดลวดที่มีฉนวนคลาส A (วัดจากความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง)	65
น้ำมันส่วนบน (Top oil) (วัดโดยเทอร์โมมิเตอร์)	60 (หม้อแปลงปิดผนึกหรือมีคอนเซอร์เวเตอร์) 55 (หม้อแปลงไม่ปิดผนึกหรือไม่มีคอนเซอร์เวเตอร์)
แกนเหล็กและชิ้นส่วนอื่นๆ	อุณหภูมิต้องไม่สูงถึงค่าที่ทำให้แกนเหล็กหรือส่วนที่ติดกันเสียหาย

2.5 การวิเคราะห์ตรวจจับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง (DGA TEST)

การเกิด fault ในหม้อแปลงไฟฟ้ามีหลายลักษณะทั้ง thermal heating, partial discharge and arcing เมื่อมี fault เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำให้เกิดแก๊สขึ้นในน้ำมันหม้อแปลง ซึ่งแก๊สส่วนใหญ่จะลอยขึ้นออกไปบนผิวของน้ำมันแต่ก็ยังมีแก๊สปริมาณน้อยที่สามารถละลายลงไปอยู่ในน้ำมันได้ โดยที่ชนิด ปริมาณ และสัดส่วนของแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและความรุนแรงของ fault

DGA (Dissolve gas analysis) เป็นวิเคราะห์ชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะของแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำมันซึ่งจะบ่งบอกชนิดของ fault ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าได้โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับข้อมูลทางสถิติ การทดสอบด้วย DGA ถือเป็นการทดสอบที่มีประโยชน์มากและมักจะทำเป็นอย่างแรกๆ เพื่อหาข้อสรุปแบบกว้างๆว่ามี fault เกิดขึ้นหรือไม่ fault ที่เกิดขึ้นเป็นประเภทไหนและควร จะทำการทดสอบใดต่อไปเพื่อสรุปสิ่งที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า

2.5.1 โดยวิธี Doernenburg

วิธีอัตราส่วน Doernenburg ใช้บอกอาการคร่าวๆ เช่น Corona, arcing, local overheat เป็นต้น โดยใช้ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดมาแปลโดยตรง ผลจากก๊าซแต่ละชนิดไม่มีความเกี่ยวข้องกับ ก๊าซอื่นเลย

ตารางที่ 2.5 วิธีของ Doernenburg

CH_4/H_2	C_2H_2/C_2H_4	C_2H_6/C_2H_2	C_2H_2/CH_4	Indication
> 1.0	< 0.75	> 0.4	< 0.3	Thermal decomposition
> 0.1 < 1.0	> 0.75	< 4.0	> 0.3	Electrical discharge
< 0.1	No Significant	> 4.0	< 0.3	Corona

2.5.2 โดยวิธี Rogers Gas Ratio

วิธีอัตราส่วนโรเจอร์ การระบุความบกพร่องถูกทำให้รู้ผลโดยแผนผังรหัสอย่างง่ายบนพื้นฐาน ช่วงของอัตราส่วน ดังตารางที่ 2.5 และตารางที่ 2.6 และสำหรับการประเมินของวิธีอัตราส่วนโรเจอร์ นั้นหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกพิจารณาว่ามี การเกิดดีสชาร์จบางส่วนสามารถพิจารณาตามตาราง

ตารางที่ 2.6 รหัสอัตราส่วนแก๊ส

อัตราส่วนแก๊ส	รหัสอัตราส่วน
CH_4 / H_2	i
C_2H_6 / CH_4	j
C_2H_4 / C_2H_6	k
C_2H_2 / C_2H_4	l

ตารางที่ 2.7 รหัสอัตราส่วนโรเจอร์

รหัสอัตราส่วน	ช่วงค่าของรหัสอัตราส่วน	รหัส
i	$i \leq 0.1$	5
	$0.1 < i < 0.1$	0
	$1.0 \leq i < 3.0$	1
	$i \geq 3.0$	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

j	$j < 1.0$	0
	$j \geq 1.0$	1
k	$k < 1.0$	0
	$1.0 \leq k < 3.0$	1
	$k \geq 3.0$	2
l	$l < 0.5$	0
	$0.5 \leq l < 3.0$	1
	$k \geq 3.0$	2

ตารางที่ 2.8 ผลลัพธ์รหัสอัตราส่วนโรเจอร์สำหรับดีสชาร์จบางส่วน

i	j	k	l	ประเภทความผิดปกติ
5	0	0	0	ดีสชาร์จบางส่วน
5	0	0	1-2	ดีสชาร์จบางส่วนด้วย tracking Co

2.5.3 โดยวิธี Key Gas

ใช้บอกอาการคร่าวๆ เช่น Corona, arcing, local overheat เป็นต้น โดยใช้ปริมาณก๊าซแต่ละชนิดมาแปลโดยตรง ผลจากก๊าซแต่ละชนิดไม่มีความเกี่ยวข้องกับก๊าซอื่นเลย ซึ่งใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนและเชื่อมโยง CEGB Fault Gas Ratios และ Gas Limits and warning level ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.9 การแปลผลของวิธี Key Gas

C.S.U.S. Guidelines			
ก๊าซ	ปกติ (<)	ผิดปกติ (>)	แปลผล
Hydrogen	150 ppm	1000 ppm	โคโรน่า, อาร์ก
Methane	25	80	สปาร์ก
Ethane	10	35	บริเวณความร้อนเกิน
Ethylene	20	150	ความร้อนเกินรุนแรง
Acetylene	15	70	อาร์ก
Carbon monoxide	500	1000	ความร้อนเกินรุนแรง
Carbon dioxide	10,000	15,000	ความร้อนเกินรุนแรง
Total Combustibles	0.03%	0.5 %	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas Limits and warning level (Experimental Based by Data Entry Group) เป็นข้อมูลสำคัญเพื่อเตือนว่าหม้อแปลงมีความปลอดภัยอยู่ในระดับใด และเป็นเกณฑ์การพิจารณาการทำ CEGB Fault Gas Ratios อย่างไรก็ตามเกณฑ์ดังกล่าวไม่มีแจ้งอาการที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงเลย แต่จะเน้นไปในระดับความปลอดภัย, อัตราเร็วของปัญหา, การคาดคะเนเวลาที่เหลือ, เวลาที่ควรเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป

	L1	L2	L3	R1	R2	Q1	M1
H ₂	100	700	1800	1.39	4.17	60	0
CH ₄	120	400	1000	1.67	5	25	0
C ₂ H ₆	65	100	150	0.9	2.71	25	0
C ₂ H ₄	50	100	200	0.69	2.08	20	0
C ₂ H ₂	35	50	80	0.49	1.46	5	0
CO	350	570	1400	4.86	14.58	50	0
TDCG	720	1920	4630	10	30		0
CO ₂	2500	4000	10000	35	100		0
WATER	35	50					

CO/CO ₂	Min	3
	Max	10

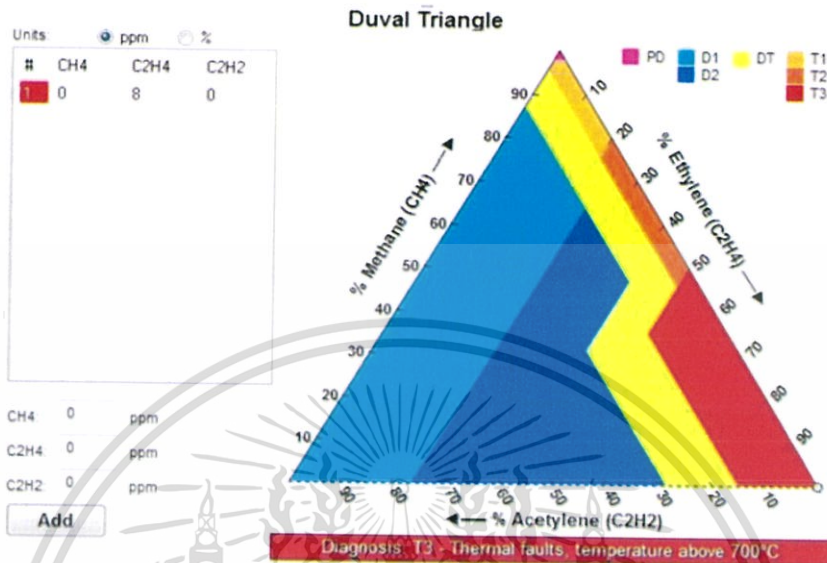
- L1 คือระดับความผิดปกติขั้นเริ่มต้นที่ต้องตรวจวิเคราะห์
- L2 คือระดับความผิดปกติอย่างมาก ที่ต้องระวังและจับตามองอย่างใกล้ชิด
- L3 คือระดับความผิดปกติขั้นฉุกเฉิน ต้องแก้ไขด้วยความระมัดระวังอย่างที่สุด
- M1 คือค่าปรับแต่งระดับก๊าซให้เพิ่มขึ้นได้เล็กน้อย เพื่อสอดคล้องกับอายุของหม้อแปลง
- R1 คืออัตราการเกิดก๊าซที่ถือว่าอยู่ในระดับสูง
- R2 คืออัตราการเกิดก๊าซที่ถือว่าอยู่ในระดับสูงมาก
- Q1 คืออัตราส่วนกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณรวมของก๊าซติดไฟได้ (กรณีของก๊าซอื่น Q1 คืออัตราส่วนของก๊าซนั้นต่อปริมาณรวมของก๊าซไฮโดรคาร์บอน)
- M1 เลขปรับค่าตามอายุ(สำหรับหม้อแปลงบางชนิดที่ใช้กับงานบางประเภท อาจจะใช้เลขปรับค่าตามอายุเพื่อยอมผ่อนเกณฑ์ให้สูงขึ้น บ้างไปตามอายุหม้อแปลง เพราะหม้อแปลงนั้นๆอาจมีความเสื่อมตามสภาพพิเศษของงาน M1 มีค่าเป็น ppm ต่อปี แล้วหม้อแปลงมีอายุ 10 ปีแล้ว ตัวเลขปรับ ppm คือ 20 ppm × 10ปี จะเท่ากับ 200 ppm เมื่อนำไปใช้จึงทำให้ L1 = 300, L2 = 900, L3 = 2000)

2.5.4 โดยวิธี Duval Triangle

โดยวิธี Duval Triangle โดยปกติจะมีโปรแกรมในการคำนวณอยู่แล้วทำให้สะดวกในการวิเคราะห์มากขึ้นซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถสื่อถึงสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังตรวจจับความผิดปกติเริ่มแรกของหม้อแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องและแม่นยำสูง โดยวิธี Duval Triangle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้ก๊าซเพียง 3 ตัวในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ คือ อะเซทิลีน (C_2H_2) ซึ่งจะบอกถึงการอาร์ค, เอทิลีน (C_2H_4)ซึ่งบอกถึงความร้อนที่เกิดขึ้นและสุดท้ายคือมีเทน (CH_4) จะบอกถึงการเกิดประกายไฟ ซึ่งก๊าซทั้ง 3 ตัวนี้จะบ่งบอกถึงสภาพปกติหรือผิดปกติของน้ำมันในหม้อแปลงได้



รูปที่ 2.6 โปรแกรมที่ใช้คำนวณโดยวิธี Duval Triangle

Faults Code

PD = Partial Discharge

D1 = Discharge of low energy

D2 = Discharge of high energy

DT = thermal fault or electrical discharge

T1 = Thermal Faults of temperature $< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$

T2 = Thermal Faults of temperature $300\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$

T3 = Thermal Faults of temperature $> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.5.5 โดยวิธี IEC 60599 Gas Ratio

CEI/IEC 60599:1999 Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysisเป็นมาตรฐานที่ให้รายละเอียดการแปลผลDGA ในหลายลักษณะและครอบคลุมอุปกรณ์ต่างๆเช่น Power Transformer, Industrial and special transformer, Instrument transformers, Bushing, Oil filled cable และ Switching equipment อันรวมไปถึง OLTC, Selector switch, Switchgear การวัดปริมาณก๊าซแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในน้ำมันยังคงเป็นแกนหลักของการวิเคราะห์เช่นเดิมปริมาณก๊าซจะถูกนำมาหาอัตราส่วนและจัดกลุ่มเป็นสรุปเป็น code 6 แบบคือ PD, D1, D2, T1, T2 และ T3 ซึ่งให้ความแม่นยำและครอบคลุมปัญหามากขึ้น โดยมีเนื้อหา ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 การแปลความหมาย IEC 60599

กรณี	ลักษณะความผิดปกติ	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
PD	Partial Discharges (ดู notes 3 และ 4)	NS ¹⁾	<0.1	<0.2
D1	Discharges พลังงานต่ำ	>1	0.1 -0.5	>1
D2	Discharges พลังงานสูง	0.6 - 2.5	0.1 - 1	>2
T1	Thermal fault อุณหภูมิ ต่ำกว่า 300 °C	NS ¹⁾	>1 แต่ NS ¹⁾	<1
T2	Thermal fault อุณหภูมิ อยู่ระหว่าง 300 - 700 °C	<0.1	>1	1 - 4
T3	Thermal fault อุณหภูมิ สูงกว่า 700 °C	<0.2 ²⁾	>1	>4
Note 1 - ในบางประเทศ จะใช้ C_2H_2/C_2H_6 อัตราส่วนมากกว่า CH_4/H_2 เช่นเดียวกับในบางประเทศอาจใช้อัตราส่วนที่มีความแตกต่างจากนี้เล็กน้อย				
Note 2 - ส่วนที่อยู่ด้านบนอัตราส่วนนั้นมีความสำคัญมาก และ อาจถูกคำนวณโดยเฉพาะ ถ้าหนึ่งในส่วนน้อยสุดของก๊าซที่เข้มข้น และ เรทของก๊าซจะสูงขึ้นเหนือ typical values (ดูส่วนย่อ 9)				
Note 3 - $CH_4/H_2 < 0.2$ สำหรับการ Partial Discharges ในเครื่องตรวจวัดหม้อแปลง $CH_4/H_2 < 0.07$ สำหรับ Partial Discharge ใน Bushings				
Note 4 - รูปแบบการสลายตัวของก๊าซคล้ายกับการเกิด Partial Discharges ที่ได้รายงานไป โดยผลของการสลายตัวของก๊าซของ thin oil film ระหว่าง Overheated Core Laminates ที่อุณหภูมิ 140 °C หรือ สูงกว่า (ดู 4.3 และ [1]ของภาคผนวก C)				
¹⁾ NS = ค่าที่ไม่สำคัญ ตามค่าที่ได้				
²⁾ ค่าที่เพิ่มขึ้นจากผลรวมของ C_2H_2 อาจบ่งบอกจุดอุณหภูมิ hot spot ที่สูงกว่า 1000 °C				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 ชนิดของ fault ใน power transformers

ชนิด	fault	แบบอย่าง
PD	Partial Discharges	<ul style="list-style-type: none"> - การดีสชาร์จของก๊าซภายในโพรงของฉนวนที่ผลิตมาไม่สมบูรณ์ - กระจายมีความชื้นสูง - มีฟองอากาศในน้ำมันหรือสภาพความอิ่มตัวยิ่งยวดในน้ำมัน (supersaturation) - สภาพที่นำไปสู่การสร้างสารประกอบ X-Wax
D1	Discharges พลังงานต่ำ	<ul style="list-style-type: none"> การสปาร์คหรือการอาร์คของบริเวณ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - จุดต่อที่บกพร่องซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหรือมีศักย์ไฟฟ้าค้างอยู่ - จากวงแหวนซีลด์/ทอรอยด์/ชุดของชุดลวดที่อยู่ติดกัน/ชุดลวดตัวนำเอง - การแตกหักของรอยเชื่อม - การไหลวนในแกนเหล็ก การดีสชาร์จของบริเวณ เช่น <ul style="list-style-type: none"> - ระหว่างส่วนประกบ (clamping parts) - บุชชิ่งและตัวถัง - บริเวณไฟฟ้าแรงสูงกับกราวด์ภายในชุดชุดลวด - บนผนังตัวถัง - รอยทางใหม่เป็นเส้นของบริเวณ เช่น ในชั้นไม้/กาวที่ใช้ต่อยึดแท่งฉนวน/ชิ้นฉนวนแยกชุดชุดลวด - ช่องว่างของการพันชุดลวด - การเบรกดาวนของน้ำมัน - กระแสจากการปิดเลือก selector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D2	Discharges พลังงานสูง	<p>การวาบไฟ (flashover) รอยทางไหม้ (Tracking) การอาร์คเฉพาะพื้นที่ด้วย พลังงานสูงหรือด้วยกำลังไฟฟ้า ไหลอย่างต่อเนื่อง การลัดวงจร ของบริเวณ เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - ด้านไฟฟ้าแรงดันต่ำกับกราวด์ ,จุดต่อ/ขดลวด/บุชชิ่งและตัวถัง - บัสบาร์ทองแดงและตัวถัง - ขดลวดและแกนเหล็ก - ปัญหาในท่อน้ำมันและช่อง อื่นๆ <p>การครบวงจรของบริเวณ เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - ตัวนำที่อยู่ติดกันในบริเวณ รอบๆย่านที่มีเส้นแรงแม่เหล็ก หลักอยู่ - น็อตฉนวนยึดแกนเหล็ก - วงแหวนโลหะรัดขาแกนเหล็ก
T1	Thermal fault อุณหภูมิต่ำกว่า 300 °C	<p>การใช้งานหม้อแปลงเกินกำลัง ในสถานะฉุกเฉิน มีสิ่งอุดตันที่ จำกัดการไหลเวียนของน้ำมันใน ระบบ</p> <p>ขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง ในคานยึดลดการสั่นของแกน เหล็ก</p>
T2	Thermal fault อุณหภูมิระหว่าง 300 -700 °C	<p>ความบกพร่องของบริเวณ เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - หน้าสัมผัสของน็อตยึด (โดยเฉพาะระหว่างบัสบาร์ลูมิ เนียม) - หน้าสัมผัสแบบเคลื่อนทาบ (gliding contact) - หน้าสัมผัสภายใน selector switch (โดยคาร์บอนที่ถูกสร้าง จากการเผาไหม้) - จุดต่อเคเบิลกับแท่งตัวนำของ บุชชิ่ง <p>กระแสไหลวนของบริเวณ เช่น</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		<ul style="list-style-type: none"> - ระหว่างประกันแกนเหล็กและน็อตร้อย - ประกับและชั้นของแกนเหล็ก - ในสายกราวด์ - ความบกพร่องของรอยเชื่อมหรือ ของประทับ ในระบบป้องกันสนามแม่เหล็ก - การขัดสีของฉนวนขดลวดตัวนำที่วางอยู่ชิดกันในแนวขนาน
T3	Thermal fault อุณหภูมิมากกว่า 700 °C	<ul style="list-style-type: none"> - กระแสไหลวนปริมาณมากบนตัวถังและแกนเหล็ก - กระแสปริมาณไม่มากนักที่ปรากฏบนตัวถังอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กปริมาณสูงที่ไม่ได้รับการหักล้างออกไป - การลัดวงจรระหว่างแผ่นเหล็กบางที่ซ้อนเรียงเป็นแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและประกอบสร้าง

3.1 บทนำ

ปัญหาของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น เกิดจากการใช้งานกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Load) จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้มีปริมาณมากขึ้นซึ่งทำให้ระบบเกิดความเสียหายและส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเกิดการเสื่อมสภาพอีกด้วย ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ส่งผลอย่างไรกับหม้อแปลง โดยการไปเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Load) โดยโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้แก่

- 1.) Phase Power Convertors เช่น AC/DC Drive
- 2.) Arcing Devices เช่น เครื่องเชื่อมต่างๆ
- 3.) Saturable Devices เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถอิ่มตัวได้

จากข้อมูลข้างต้น จึงได้ทำการศึกษาตัวอย่างน้ำมันในหม้อแปลงถึงการเสื่อมสภาพว่ามีสาเหตุอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์หรือไม่อย่างไร จากแหล่งตัวอย่างที่มีโอกาสเกิดฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นได้แก่ AC/DC Drive , Arcing Device , UPS Computer ในโรงงาน

3.2 การวิเคราะห์ค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนการเก็บค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

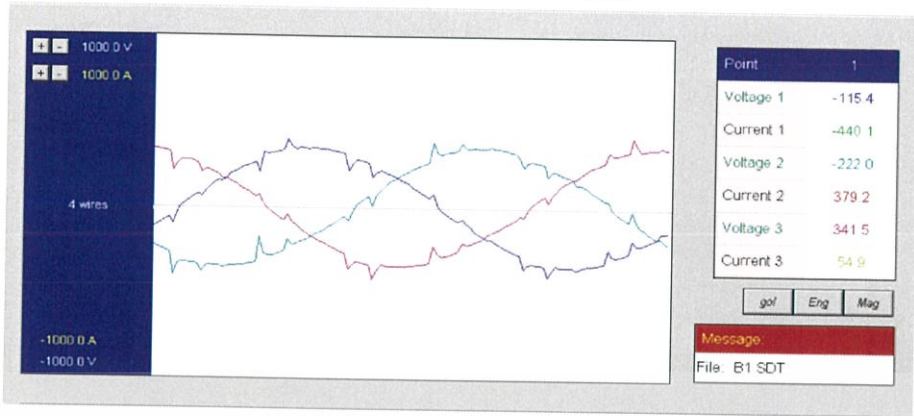
1. วัดโดยใช้เครื่องมือวัดไปวัดที่หน้าตู้ MDB เพื่อเก็บข้อมูลดังรูป



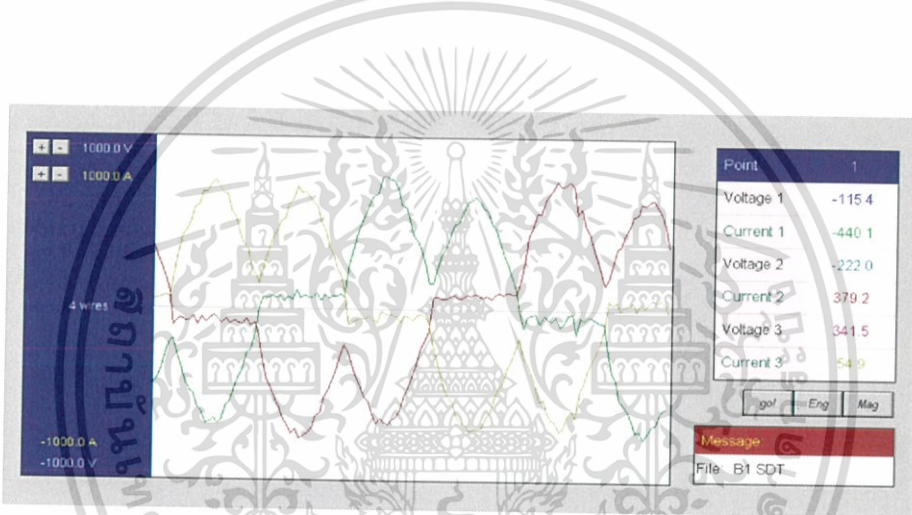
รูปที่ 3.1 การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

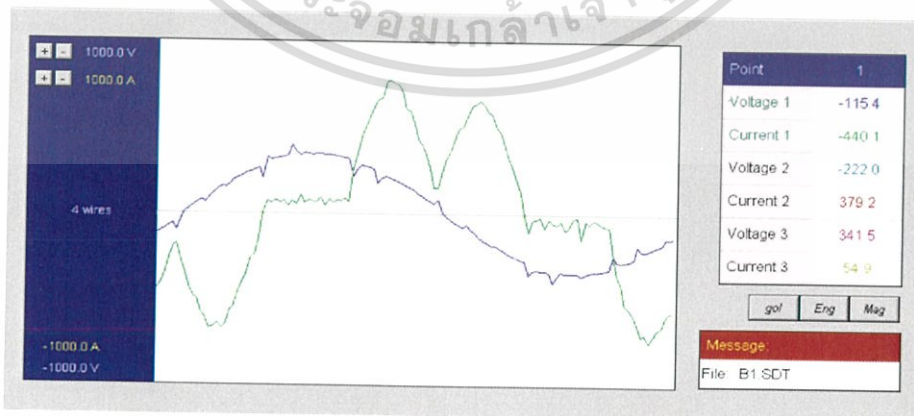
2. นำข้อมูลที่เก็บได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม PowerLink



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นแรงดัน



รูปที่ 3.3 รูปคลื่นกระแส



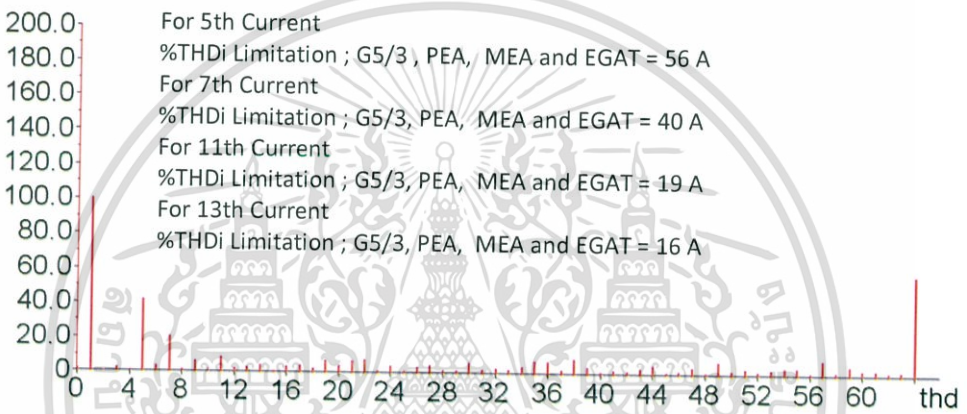
รูปที่ 3.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	242.90	419.050	9.35	44.50	420.74	101.786	21.276	99.538	0.209	i
Ph2	245.00	425.700	10.50	42.55	423.32	104.297	24.709	101.328	0.237	i
Ph3	244.86	418.096	9.20	44.11	420.42	102.376	18.703	100.653	0.183	i
Tot	I null.	34.952				308.380	64.688	301.519	0.21	i
										49.98

รูปที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัด

3.เปรียบเทียบค่าฮาร์โมนิกที่วัดได้กับมาตรฐานการไฟฟ้า



Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
0	0.09	0.19	2.29	18.32	0.09	0.22	2.17	17.05	0.04	0.09	1.80	14.12
1	100.00	228.33	100.00	799.10	100.00	230.18	100.00	784.93	100.00	230.42	100.00	784.66
2	0.33	0.75	0.19	1.54	0.47	1.09	0.81	6.33	0.20	0.45	0.74	5.78
3	0.18	0.41	2.86	22.87	0.82	1.89	3.03	23.80	0.32	0.74	6.35	49.84
4	0.65	1.49	0.74	5.89	0.74	1.70	0.83	6.54	0.64	1.46	0.62	4.86
5	4.67	10.66	41.73	333.50	4.23	9.74	33.12	259.94	5.10	11.76	33.92	266.12
6	0.32	0.72	4.09	32.58	0.38	0.88	3.67	28.77	0.24	0.55	4.45	34.92
7	1.71	3.90	20.97	167.59	2.40	5.53	9.38	73.63	2.45	5.64	12.60	98.89
8	0.34	0.77	1.65	13.17	0.28	0.65	1.97	15.44	0.29	0.66	1.66	12.99
9	0.71	1.63	6.91	55.19	0.32	0.74	5.56	43.66	0.49	1.13	5.88	46.15
10	0.53	1.22	2.14	17.11	0.61	1.40	1.83	14.33	0.45	1.03	2.18	17.12
11	1.47	3.35	9.11	72.82	2.57	5.91	3.67	28.81	2.34	5.39	9.82	77.07
12	0.41	0.94	2.88	23.05	0.38	0.88	1.91	15.00	0.39	0.91	2.80	21.95
13	1.08	2.48	3.08	24.61	0.53	1.22	4.72	37.06	1.26	2.90	2.37	18.62
14	0.41	0.95	4.21	33.60	0.54	1.25	3.50	27.45	0.27	0.63	3.69	28.94
15	0.74	1.68	0.75	5.99	0.33	0.76	0.91	7.14	0.51	1.18	0.48	3.78
16	1.26	2.88	4.00	31.94	1.08	2.48	3.66	28.69	1.07	2.46	4.40	34.54
17	1.43	3.26	4.44	35.49	1.19	2.73	2.94	23.08	1.48	3.40	2.46	19.28

รูปที่ 3.6 สเปคตรัมของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์แก๊สเจือปนในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยวิธี DGA

ขั้นตอนการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง

1. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลง(Sampling) โดยการดูดน้ำมันจากหม้อแปลงไฟฟ้าใส่หลอดทดลอง(syringe)



รูปที่ 3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลง

2. นำน้ำมันที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาเข้าเครื่องตรวจ DGA เพื่อหาปริมาณแก๊ส



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบDGA ASTM D3612

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.วิเคราะห์และสรุปผลการตรวจสอบปริมาณแก๊สที่ได้ด้วยวิธีต่างๆดังนี้

1.Key Gas ratio

ตารางที่ 3.1 การแปลผลของวิธี Key Gas

C.S.U.S. Guidelines			
ก๊าซ	ปกติ (<)	ผิดปกติ (>)	แปลผล
Hydrogen	150 ppm	1000 ppm	โคโรน่า, อาร์ก
Methane	25	80	สปาร์ก
Ethane	10	35	บริเวณความร้อนเกิน
Ethylene	20	150	ความร้อนเกินรุนแรง
Acetylene	15	70	อาร์ก
Carbon monoxide	500	1000	ความร้อนเกินรุนแรง
Carbon dioxide	10,000	15,000	ความร้อนเกินรุนแรง
Total Combustibles	0.03%	0.5 %	-

Gas Limits and warning level (Experimental Based by Data Entry Group) เป็นข้อมูลสำคัญ เพื่อเตือนว่าหม้อแปลงมีความปลอดภัยอยู่ในระดับใด และเป็นเกณฑ์การพิจารณาการทำ CEGB Fault Gas Ratios อย่างไรก็ตามเกณฑ์ดังกล่าวไม่มีแจ้งอาการที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงเลย แต่จะเน้นไปในระดับความปลอดภัย, อัตราเร็วของปัญหา, การคาดคะเนเวลาที่เหลือ, เวลาที่ควรเก็บตัวอย่าง ครั้งต่อไป

	L1	L2	L3	R1	R2	Q1	M1
H2	100	700	1800	1.39	4.17	60	0
CH4	120	400	1000	1.67	5	25	0
C2H6	65	100	150	0.9	2.71	25	0
C2H4	50	100	200	0.69	2.08	20	0
C2H2	35	50	80	0.49	1.46	5	0
CO	350	570	1400	4.86	14.58	50	0
TDCG	720	1920	4630	10	30		0
CO2	2500	4000	10000	35	100		0
WATER	35	50					

CO/CO2	Min	3
	Max	10

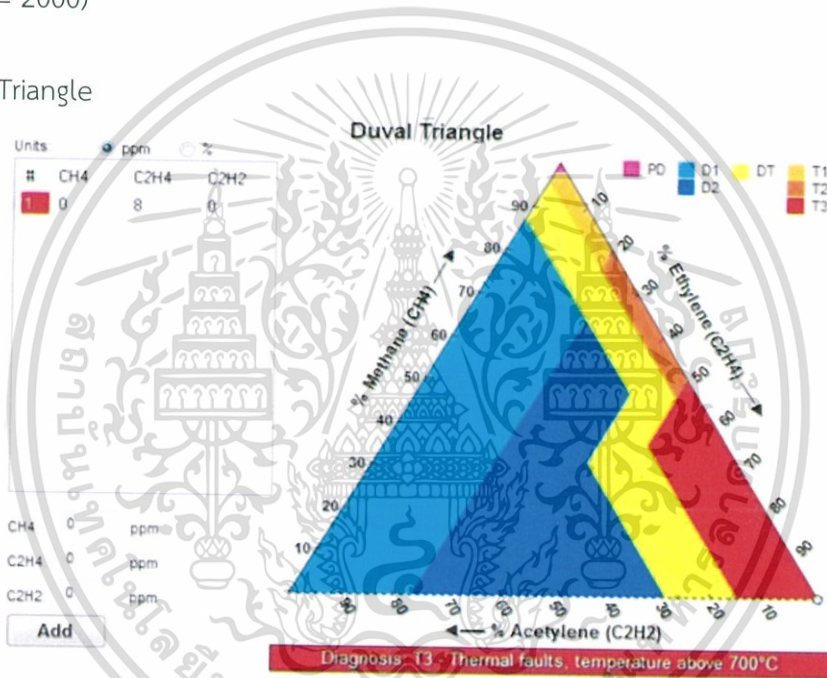
L1 คือระดับความผิดปกติขั้นเริ่มต้นที่ต้องตรวจวิเคราะห์

L2 คือระดับความผิดปกติอย่างมาก ที่ต้องระวังและจับตามองอย่างใกล้ชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- L3 คือระดับความผิดปกติขั้นฉุกเฉิน ต้องแก้ไขด้วยความระมัดระวังอย่างที่สุด
- M1 คือค่าปรับแต่งระดับก๊าซให้เพิ่มขึ้นได้เล็กน้อย เพื่อสอดคล้องกับอายุของหม้อแปลง
- R1 คืออัตราการเกิดก๊าซที่ถือว่าอยู่ในระดับสูง
- R2 คืออัตราการเกิดก๊าซที่ถือว่าอยู่ในระดับสูงมาก
- Q1 คืออัตราส่วนกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณรวมของก๊าซติดไฟได้ (กรณีของก๊าซอื่น Q1 คืออัตราส่วนของก๊าซนั้นต่อปริมาณรวมของก๊าซไฮโดรคาร์บอน)
- M1 เลขปรับค่าตามอายุ(สำหรับหม้อแปลงบางชนิดที่ใช้กับงานบางประเภท อาจจะใช้เลขปรับค่าตามอายุเพื่อยอมผ่อนเกณฑ์ให้สูงขึ้น บ้างไปตามอายุหม้อแปลง เพราะหม้อแปลงนั้นๆอาจมีความเสื่อมตามสภาพพิเศษของงาน M1 มีค่าเป็น ppm ต่อปี แล้วหม้อแปลงมีอายุ 10 ปีแล้ว ตัวเลขปรับ ppm คือ 20 ppm × 10ปี จะเท่ากับ 200 ppm เมื่อนำไปใช้จึงทำให้ L1 = 300, L2 = 900, L3 = 2000)

2. Duval Triangle



รูปที่ 3.9 โปรแกรมที่ใช้คำนวณโดยวิธี Duval Triangle

Faults Code

- PD = Partial Discharge
- D1 = Discharge of low energy
- D2 = Discharge of high energy
- DT = thermal fault or electrical discharge
- T1 = Thermal Faults of temperature < 300 °C
- T2 = Thermal Faults of temperature 300 °C < T < 700 °C
- T3 = Thermal Faults of temperature > 700 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.วิธี IEC 60599 Gas Ratio

ตารางที่ 3.2 การแปลความหมาย IEC 60599

กรณี	ลักษณะความผิดปกติ	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
PD	Partial Discharges (ดู notes 3 และ 4)	NS ¹⁾	<0.1	<0.2
D1	Discharges พลังงานต่ำ	>1	0.1 - 0.5	>1
D2	Discharges พลังงานสูง	0.6 - 2.5	0.1 - 1	>2
T1	Thermal fault อุณหภูมิ ต่ำกว่า 300 °C	NS ¹⁾	>1 แต่ NS ¹⁾	<1
T2	Thermal fault อุณหภูมิ อยู่ระหว่าง 300 - 700 °C	<0.1	>1	1 - 4
T3	Thermal fault อุณหภูมิ สูงกว่า 700 °C	<0.2 ²⁾	>1	>4
Note 1 - ในบางประเทศ จะใช้ C_2H_2/C_2H_6 อัตราส่วนมากกว่า CH_4/H_2 เช่นเดียวกับในบางประเทศอาจจะใช้อัตราส่วนที่มีความแตกต่างจากนี้เล็กน้อย				
Note 2 - ส่วนที่อยู่ด้านบนอัตราส่วนนั้นมีความสำคัญมาก และ อาจถูกคำนวณโดยเฉพาะ ถ้าหนึ่งในส่วนน้อยสุดของก๊าซที่เข้มข้น และ เรทของก๊าซจะสูงขึ้นเหนือ typical values (ดูส่วนย่อ 9)				
Note 3 - $CH_4/H_2 < 0.2$ สำหรับการ Partial Discharges ในเครื่องตรวจวัดหม้อแปลง $CH_4/H_2 < 0.07$ สำหรับ Partial Discharge ใน Bushings				
Note 4 - รูปแบบการสลายตัวของก๊าซคล้ายกับการเกิด Partial Discharges ที่ได้รายงานไป โดยผลของการสลายตัวของก๊าซของ thin oil film ระหว่าง Overheated Core Laminates ที่อุณหภูมิ 140 °C หรือ สูงกว่า (ดู 4.3 และ [1]ของภาคผนวก C)				
¹⁾ NS = ค่าที่ไม่สำคัญ ตามค่าที่ได้				
²⁾ ค่าที่เพิ่มขึ้นจากผลรวมของ C_2H_2 อาจจะเป็นบ่งบอกจุดอุณหภูมิ hot spot ที่สูงกว่า 1000 °C				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลง SYS TR6 ขนาด 2000 kVA

1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์

ตาราง 4.1 กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังของ SYS TR6

Power Phase	kW	kVAR	kVA	PF	DPF
total	200.97	209.06	290.03	0.693	0.693
Phase 1	66.74	71.86	98.08	0.681	0.681
Phase 2	65.57	68.61	94.90	0.691	0.692
Phase 3	68.66	68.59	97.05	0.707	0.708

ตาราง 4.2 ค่าแรงดันและกระแสของ SYS TR6

		Minimum	Average	Maximum
Vrms (V)	V1 RMS	378.00	390.09	406.00
	V2 RMS	379.90	391.12	405.90
	V3 RMS	378.50	390.37	405.60
I rms (A)	A1 RMS	406.90	450.20	502.10
	A2 RMS	399.50	445.48	501.60
	A3 RMS	403.10	460.77	513.90
Vthd (%)	V1 THD	0.40	1.27	1.80
	V2 THD	0.40	1.26	1.70
	V3 THD	0.50	1.31	1.80
I thd (%)	A1 THD	0.60	2.41	2.90
	A2 THD	0.60	2.22	2.70
	A3 THD	0.60	2.27	2.80

ตาราง 4.3 ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ของ SYS TR6

		Minimum	Average	Maximum
I harmonic (A)	A1	1.87	9.59	11.84
	A2	1.78	8.57	10.44
	A3	1.68	9.17	11.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าของ SYS TR6

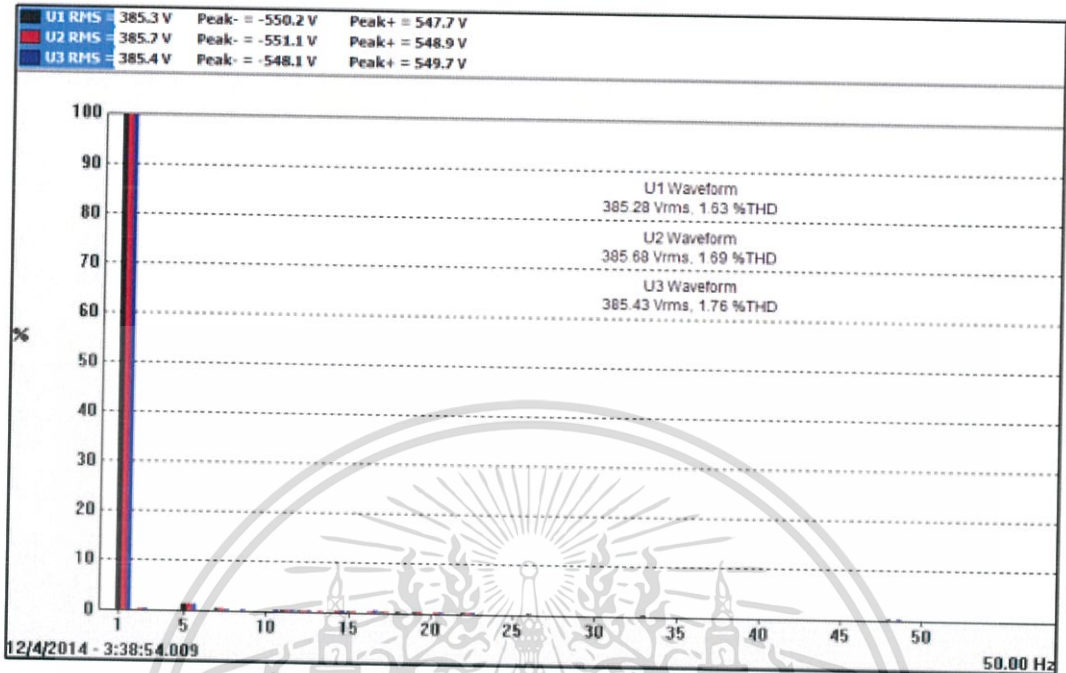
		Minimum	Average	Maximum
Active Power (kW)	W 1	58.09	68.61	78.85
	W 2	56.85	68.66	78.05
	W 3	59.70	72.73	82.96
	W total	175.63	210.00	239.76
Apparent Power (kVA)	VA 1	91.53	101.48	113.85
	VA 2	90.72	100.68	114.05
	VA 3	91.15	103.81	116.22
	VA total	274.58	305.97	344.13
Reactive Power (kVAR)	VAR 1	66.88	74.69	86.06
	VAR 2	66.08	73.53	84.34
	VAR 3	65.80	73.99	83.25
	VAR total	198.89	222.20	253.49
Power Factor	PF 1	0.596	0.675	0.721
	PF 2	0.587	0.681	0.729
	PF 3	0.610	0.699	0.750
	PF Mean	0.598	0.685	0.733
Displacement Power Factor	DPF 1	0.596	0.676	0.722
	DPF 2	0.587	0.682	0.730
	DPF 3	0.610	0.700	0.751
	DPF Mean	0.598	0.686	0.734

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าพารามิเตอร์จากการวัดหม้อแปลง

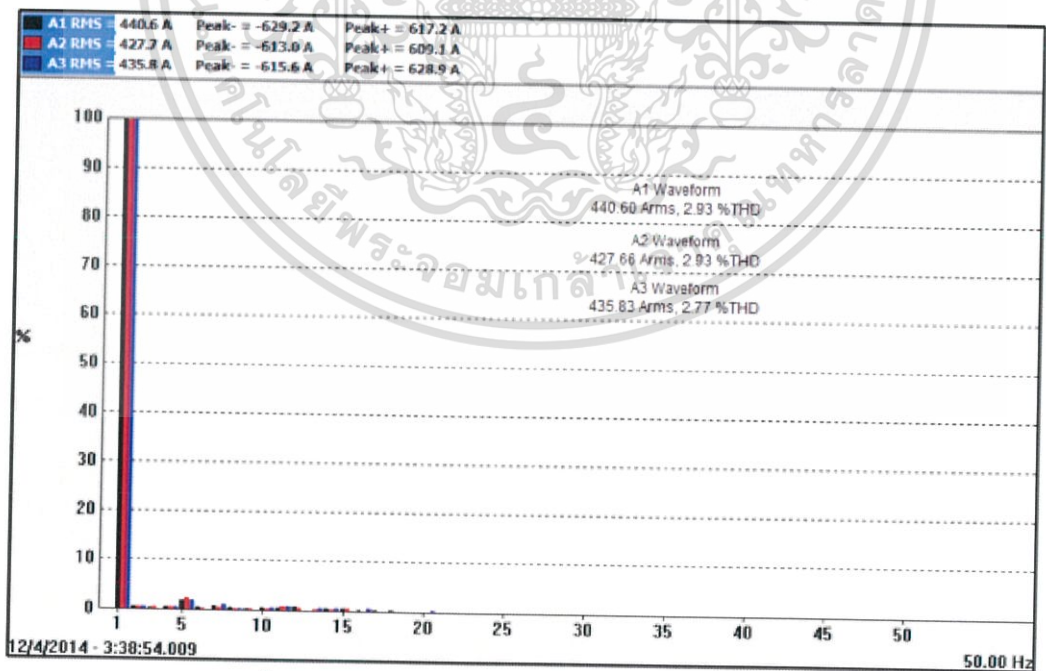
location	ID	%THDv	%THDi	5 th (A)	7 th (A)	11 th (A)	13 th (A)	ผลจาก IEEE519-1992	
								%THDv	%THDi
SYS	TR6	1.28	2.30	13.20	8.80	6.60	3.70	Pass	Pass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการตรวจวัดกราฟสเปกตรัมของแรงดันและกระแส



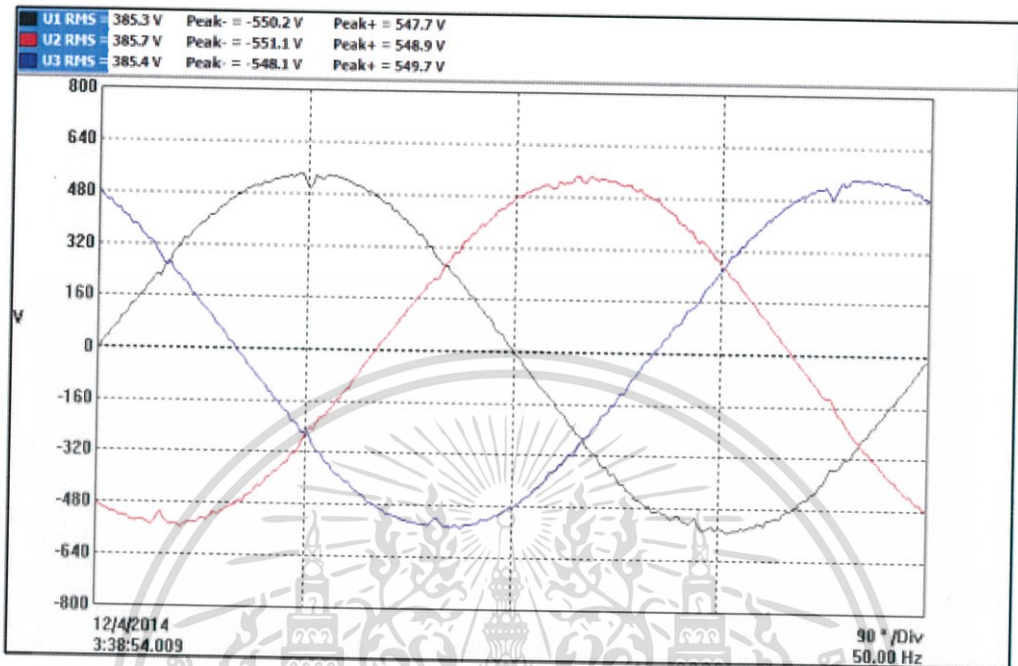
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันของ SYS TR6



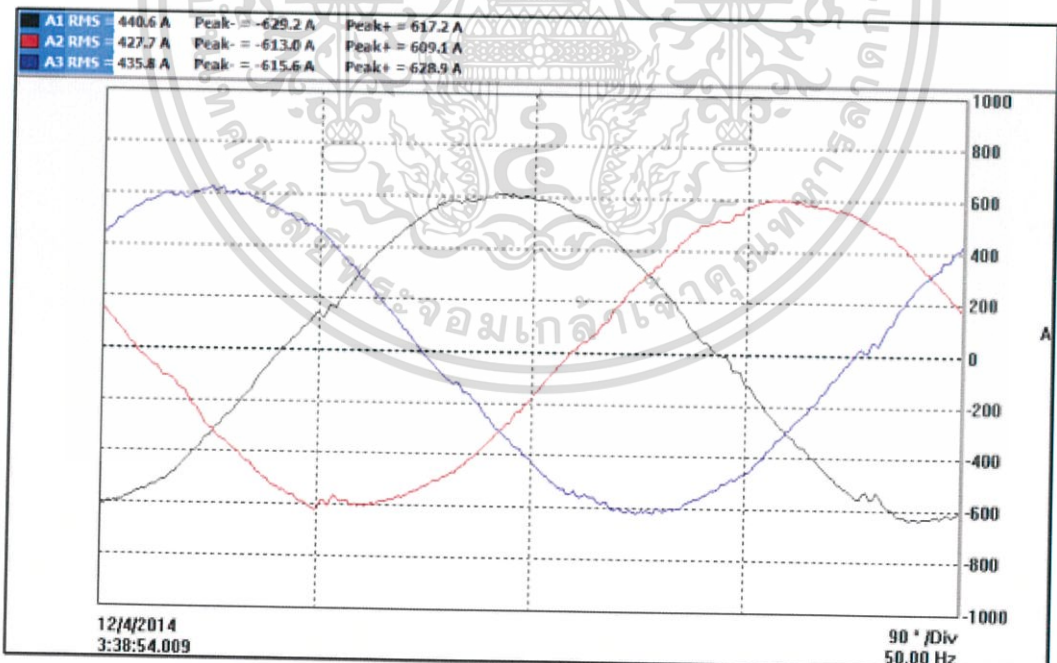
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของกระแสของ SYS TR6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการตรวจวัดรูปคลื่นของแรงดันและกระแส




รูปที่ 4.4 รูปคลื่นแรงดันของ SYS TR6



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นกระแสของ SYS TR6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยจิมพลี14, ถนนจิมพลี, ดินจิม, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingschan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No.	: DNT15FEB0134	Date Sampling	: January 29, 2015
Customer	: Siam Yamato Steel	Date test	: January 30, 2015
Equipment ID	: SM-TR6	Sampling point	: Main Tank
Manufactur.	: Tira Thai	Oil Temperature	: Bottom = - °C Top = - °C
Serial No.	: 3610270	Instrument	: Gas Chromatography
Rated power	: 2000 KVA	Test method	: ASTM 3612
Rated voltage	: 6600/400/230 V	Test by	: DNT Laboratory & Research
Date MFG.	: 1993	Other	: -

DGA. Measurement Results					
	27-May-14	29-Jan-15	04-Jun-14	30-Jan-15	
	ppm/day				Limits(L3)
H2(Hydrogen)	0	0	0.0	0.0	< 1800
CH4(Methane)	1	2	0.0	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	256	391	0.5	0.5	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	2812	3193	0.0	0.0	< 10000
C2H4(Ethylene)	49	61	0.0	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0	0.0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0	0.0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	22349	10540			
N2(Nitrogen)	55797	20839			
TDCG	306	454	0.0	0.0	< 4630
CO2/CO	10.98	8.17			3 < R < 10

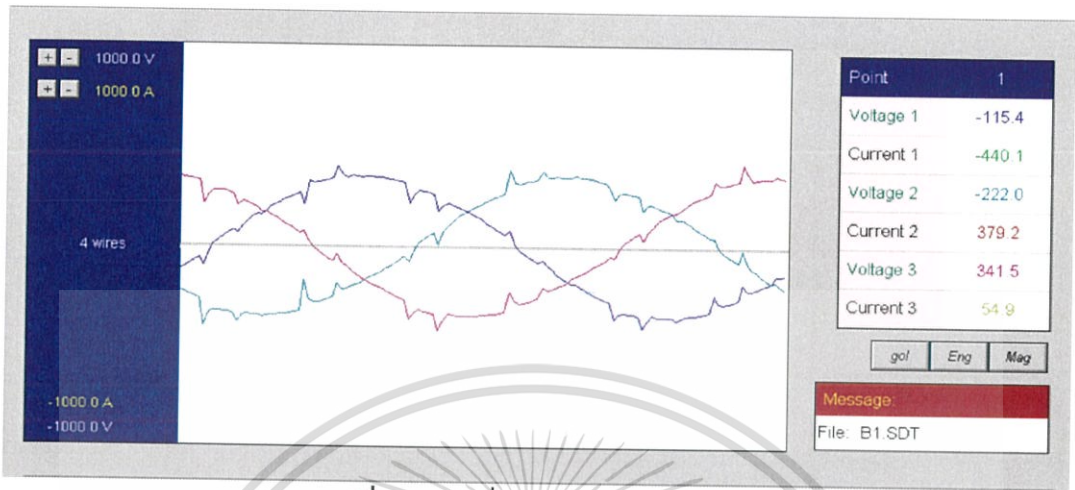
รูปที่ 4.6 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง SM-TR6

3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง SM-TR6 จากบริษัท SIAM YAMATO STEEL CO.,LTD. ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าเกิดความผิดปกติทางความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 700 องศา ในระยะเริ่มต้น และผลการทดสอบไม่มีการเพิ่มขึ้นของ Combustible Gas อย่างมีนัยสำคัญ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกสจากตารางข้างต้นพบว่าไม่มีความผิดปกติใดๆ ส่วนค่า %THDv มีค่า 1.28% และ %THDi มีค่า 2.3% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความคุณภาพไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM4-TR3 ขนาด 2000 kVA

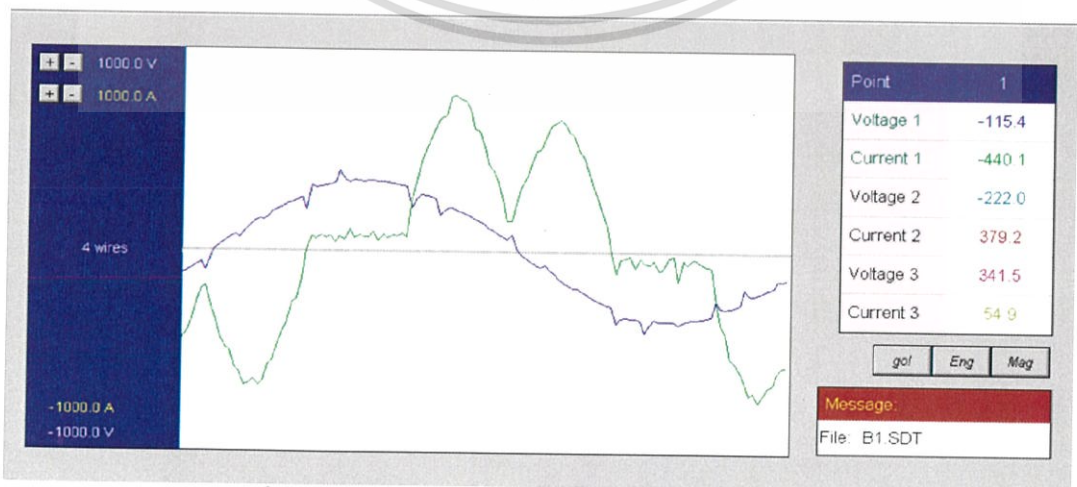
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.8 รูปคลื่นแรงดันของ PM4 TR3



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นกระแสของ PM4 TR3

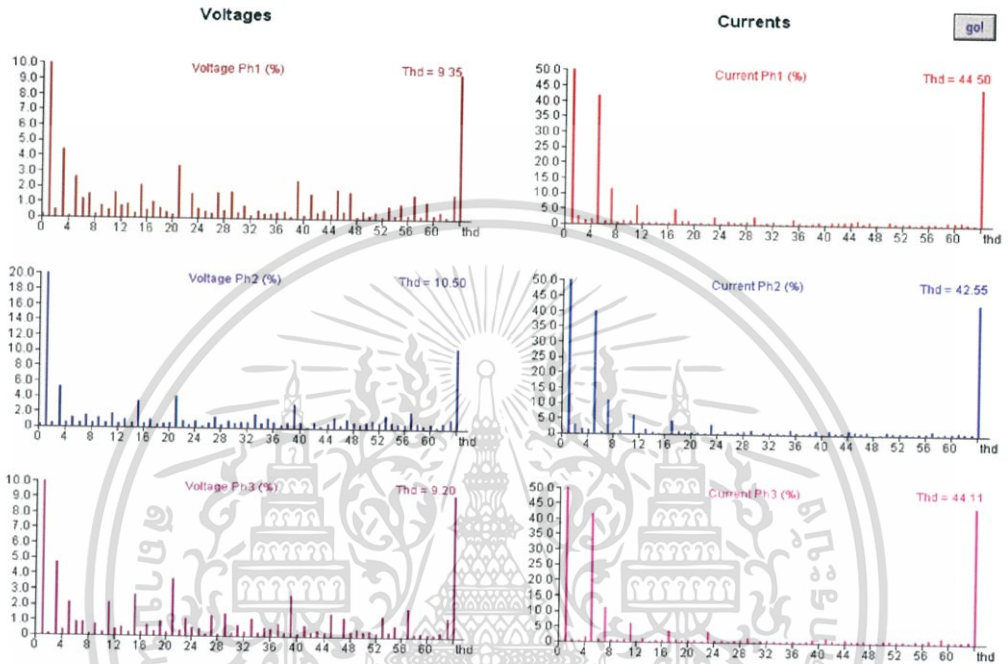


รูปที่ 4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM4 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	242.90	419.050	9.35	44.50	420.74	101.786	21.276	99.538	0.209 i	
Ph2	245.00	425.700	10.50	42.55	423.32	104.297	24.709	101.328	0.237 i	
Ph3	244.86	418.096	9.20	44.11	420.42	102.376	18.703	100.653	0.183 i	
Tot	I null:	34.952				308.380	64.688	301.519	0.21 i	49.98

รูปที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM4 TR3



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM4 TR3




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	2.59	6.26	41.72	159.73	1.23	2.99	39.93	156.41	2.19	5.33	41.51	158.80
7	1.53	3.70	11.36	43.50	1.47	3.58	10.73	42.04	0.87	2.12	11.26	43.08
11	1.62	3.91	6.11	23.40	1.73	4.22	5.88	23.05	2.14	5.21	6.03	23.06
13	0.86	2.08	0.56	2.15	1.02	2.48	1.50	5.87	0.57	1.39	1.11	4.24

รูปที่ 4.13 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM4 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, ตลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1122	Date Sampling :	August 28, 2014
Customer :	Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test :	August 29, 2014
Equipment ID :	TR-M-03	Sampling point :	Main Tank
Manufacturer :	EKARAT	Oil Temperature :	Bottom = 43 °C Top = 70 °C
Serial No. :	329143	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	2000 kVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	6600/400/230 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	1991	Other :	-
DGA. Measurement Results			
<u>Sampling date</u>	28-Aug-14		
<u>Test date</u>	29-Aug-14		
		ppm/day	<u>Limits (L3)</u>
H2(Hydrogen)	3	0.0	< 1800
CH4(Methane)	3	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	402	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	9112	0.2	< 10000
C2H4(Ethylene)	49	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	14737	-0.4	
N2(Nitrogen)	42447	1.0	
TDCG:	457	0.0	< 4630
CO2/CO:	22.67		3 < R < 10

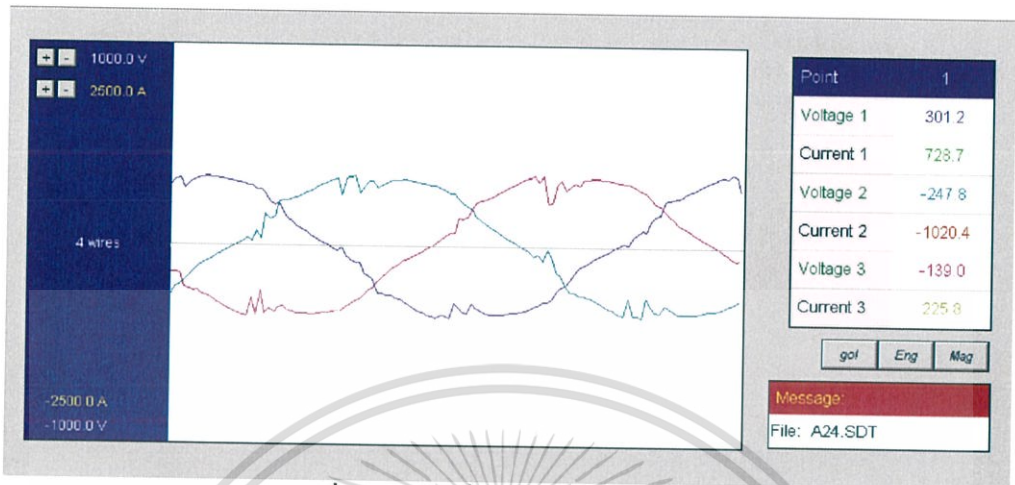
รูปที่ 4.14 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM4-TR3

3. ผลการทดสอบ

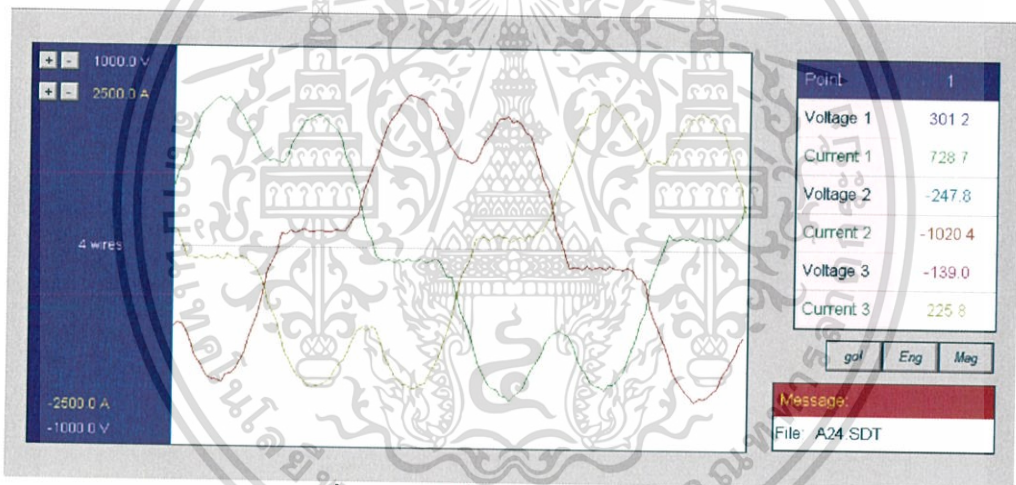
จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM4-TR3 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 9.35% และ %THDi มีค่า 44.35% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM4-TR4 ขนาด 2000 kVA

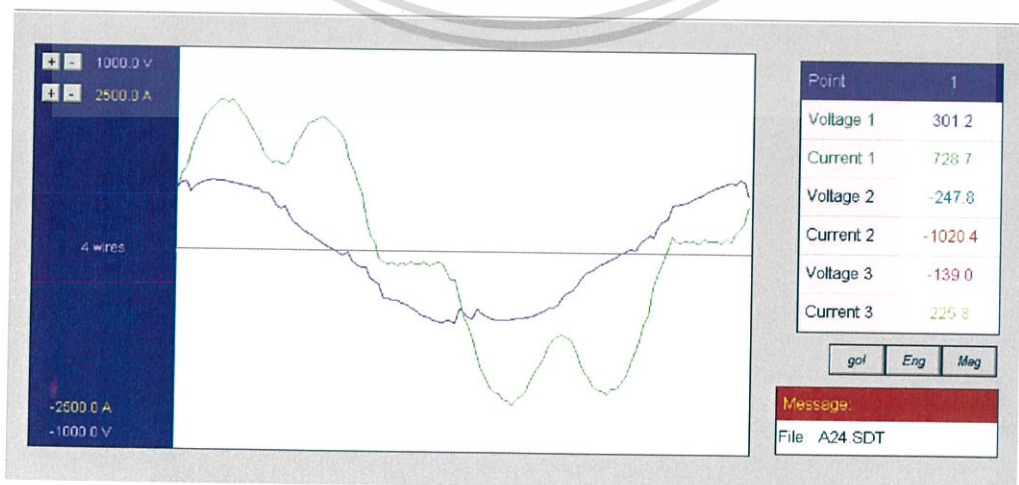
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.15 รูปคลื่นแรงดันของ PM4 TR4



รูปที่ 4.16 รูปคลื่นกระแสของ PM4 TR4

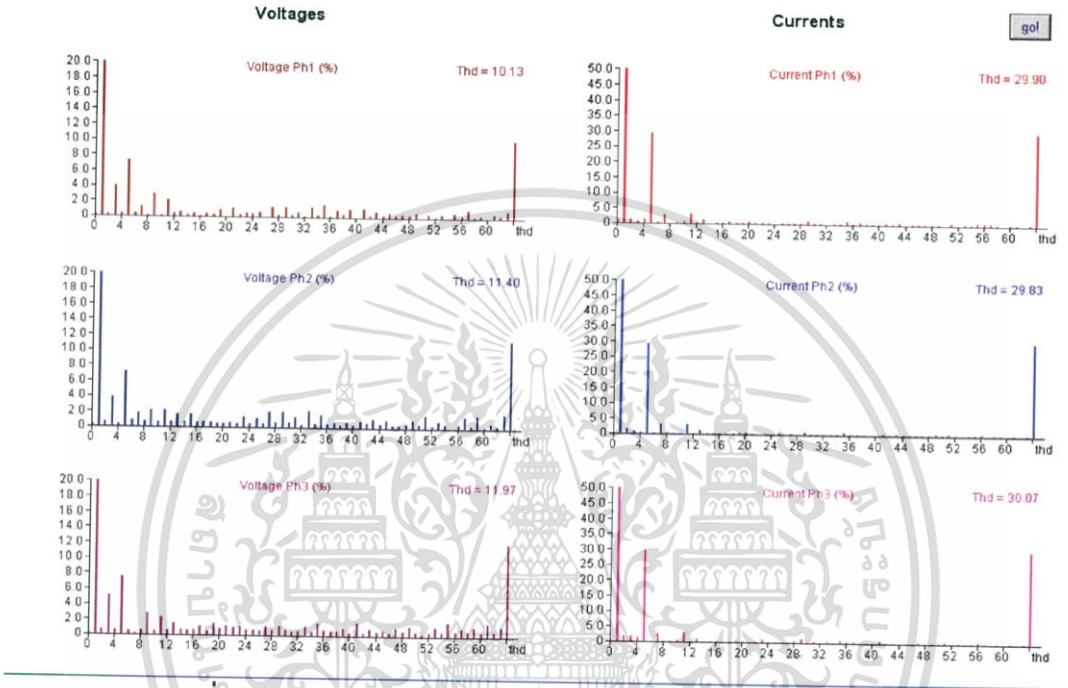


รูปที่ 4.17 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM4 TR4

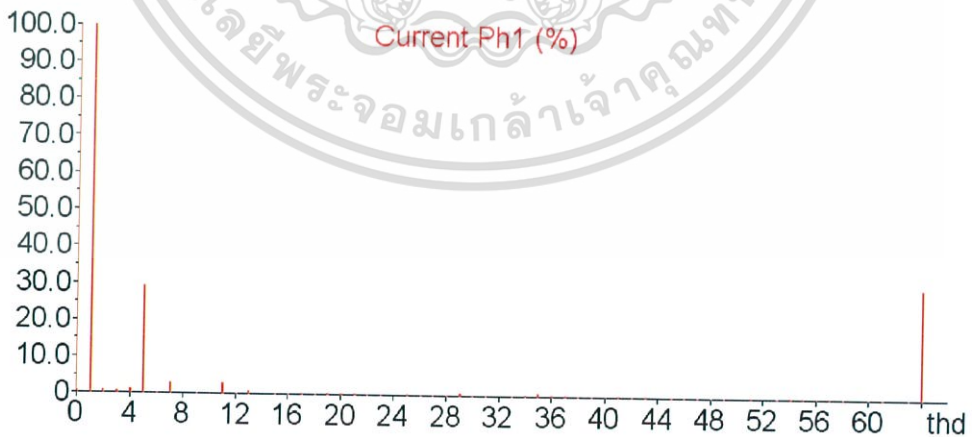
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	254.71	1175.261	10.13	29.90	434.71	299.351	200.873	221.949	0.671 i	
Ph2	245.15	1176.927	11.40	29.83	432.55	288.528	203.960	204.081	0.707 i	
Ph3	251.72	1164.016	11.97	30.07	432.15	293.006	199.476	214.621	0.681 i	
Tot	I null	0.000				880.694	604.309	640.650	0.69 i	49.94

รูปที่ 4.18 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM4 TR4



รูปที่ 4.19 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM4-TR4




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	7.32	18.56	29.42	331.21	7.11	17.33	29.32	330.62	7.56	18.89	29.51	328.90
7	1.28	3.24	2.90	32.69	1.79	4.36	3.04	34.34	0.20	0.50	2.52	28.14
11	2.18	5.53	3.01	33.94	2.18	5.30	3.15	35.55	2.23	5.57	3.04	33.92
13	0.62	1.58	1.09	12.23	1.64	4.00	1.33	14.99	1.50	3.76	0.87	9.72

รูปที่ 4.20 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM4 TR4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยติมหาลี 14, ถนนติมหาลี, ดลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee 14, Chimplee, Talingshan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. : DNT14SEP1123	Date Sampling : August 28, 2014	Customer : Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test : August 29, 2014
Equipment ID : TR-M-04	Sampling point : Main Tank	Manufacturer : EKARAT	Oil Temperature : Bottom = 39 °C Top = 57 °C
Serial No. : 326588	Instrument : Gas Chromatography	Rated power : 2000 kVA	Test method : ASTM 3612
Rated voltage : 6600/460 V	Test by : DNT Laboratory & Research	Date MFG. : 1990	Other : -
DGA. Measurement Results			
<u>Sampling date</u>	28-Aug-14		
<u>Test date</u>	29-Aug-14	ppm/day	<u>Limits (L3)</u>
H2(Hydrogen)	0	0.0	< 1800
CH4(Methane)	2	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	237	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	5211	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	63	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	3	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	18441	-0.4	
N2(Nitrogen)	44600	1.1	
TDCG:	305	-0.0	< 4630
CO2/CO:	21.99		3 < R < 10

รูปที่ 4.21 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM4 TR4

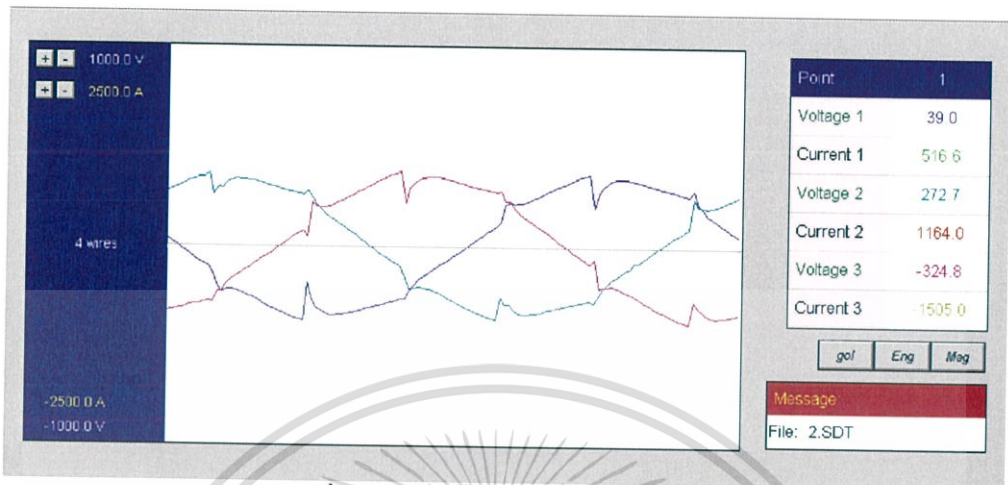
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM4-TR4 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd. ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าเกิดความผิดปกติทางความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 700 องศาในระยะเริ่มต้น และจากผลการทดสอบควรติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Combustible Gas ในการทดสอบครั้งต่อไป สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่ามีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 10.13% และ %THDi มีค่า 29.9% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

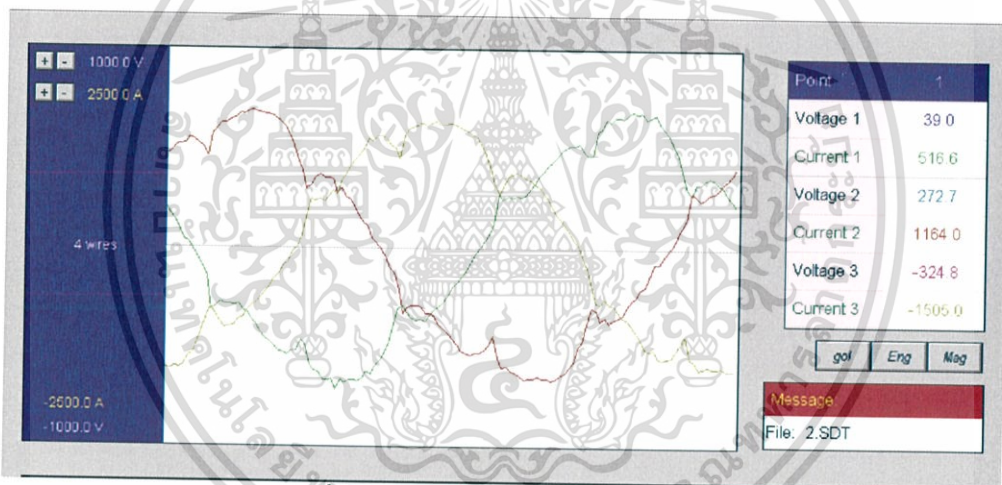
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM4-TR5 ขนาด 2000 kVA

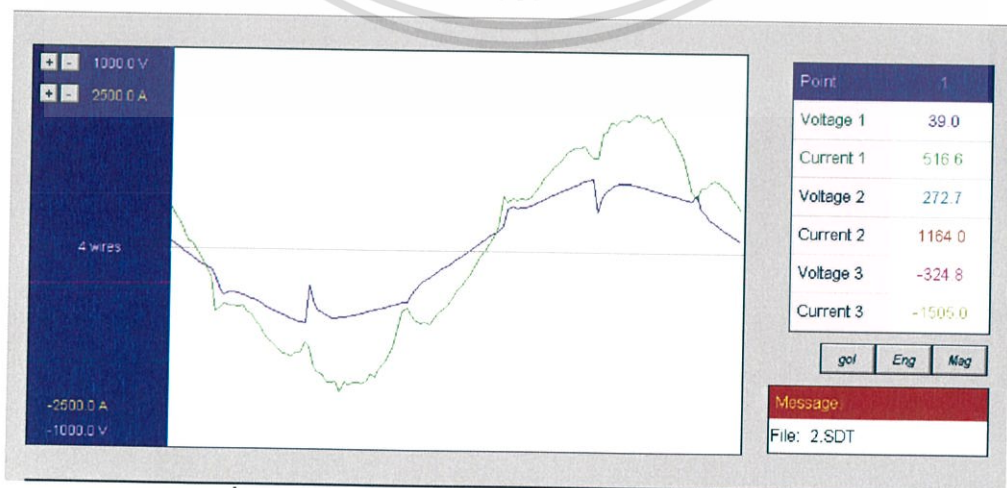
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.22 รูปคลื่นแรงดันของ PM4 TR5



รูปที่ 4.23 รูปคลื่นกระแสของ PM4 TR5

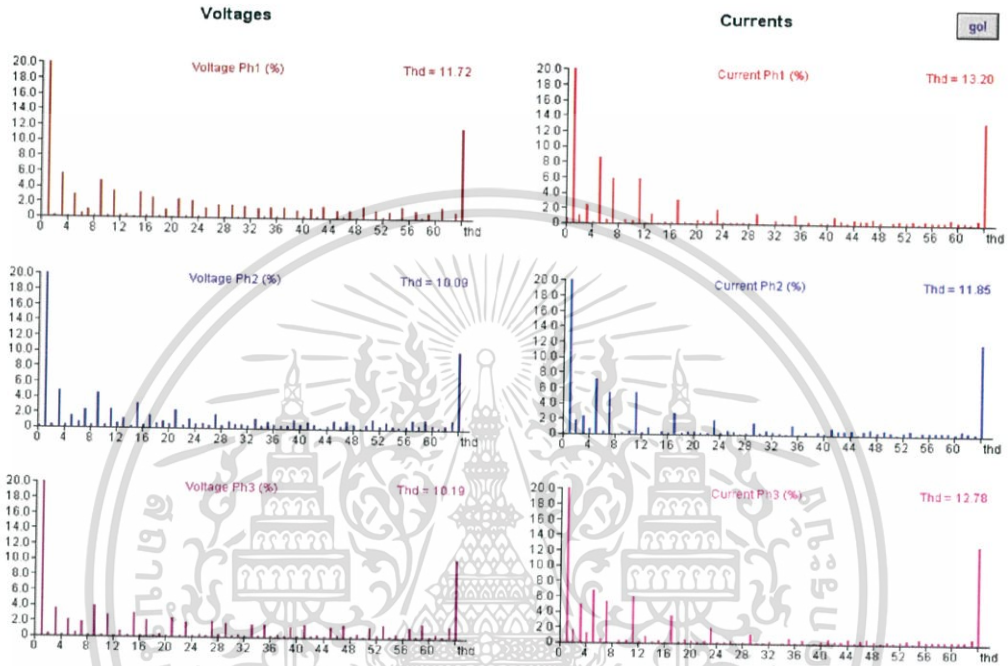


รูปที่ 4.24 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM4 TR5

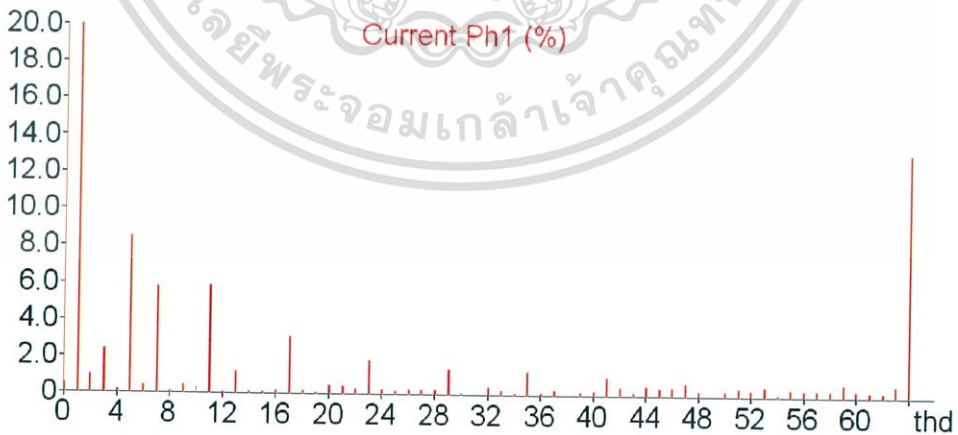
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	PF	Freq
Ph1	250.08	1112.602	11.72	13.20	428.17	278.239	270.761	64.074	0.973 i	
Ph2	244.65	1123.705	10.09	11.85	433.18	274.911	269.426	54.641	0.980 i	
Ph3	252.51	1094.824	10.19	12.78	428.34	276.454	270.336	57.835	0.978 i	
Tot	I null:	84.330				829.529	810.524	176.550	0.98 i	49.95

รูปที่ 4.25 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM4 TR5



รูปที่ 4.26 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM4 TR5




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	2.90	7.21	8.57	94.55	1.53	3.72	7.07	78.90	2.14	5.37	6.81	73.99
7	0.99	2.47	5.82	64.24	2.28	5.54	5.44	60.74	1.86	4.69	5.28	57.34
11	3.42	8.50	5.86	64.64	2.39	5.83	5.45	60.76	2.78	6.99	5.95	64.66
13	0.42	1.05	1.26	13.88	1.21	2.94	0.87	9.76	0.74	1.86	0.90	9.78

รูปที่ 4.27 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM4 TR5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี คลังจันทน์, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. : DNT14SEP1124	Customer : Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date Sampling : August 28, 2014	
Equipment ID : TR-M-05	Manufacture. : EKARAT	Date test : August 29, 2014	
Serial No. : 326589	Rated power : 2000 kVA	Sampling point : Main Tank	
Rated voltage : 6600/460 V	Date MFG. : 1990	Oil Temperature : Bottom = 37 °C Top = 57 °C	
		Instrument : Gas Chromatography	
		Test method : ASTM 3612	
		Test by : DNT Laboratory & Research	
		Other : -	
DGA. Measurement Results			
Sampling date	28-Aug-14		
Test date	29-Aug-14	ppm/day	
		Limits (L3)	
H2(Hydrogen)	8	0.0	< 1800
CH4(Methane)	1	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	191	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	3904	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	43	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	19289	-0.5	
N2(Nitrogen)	46628	1.1	
TDCG:	243	0.0	< 4630
CO2/CO:	20.44		3 < R < 10

รูปที่ 4.28 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM4 TR5

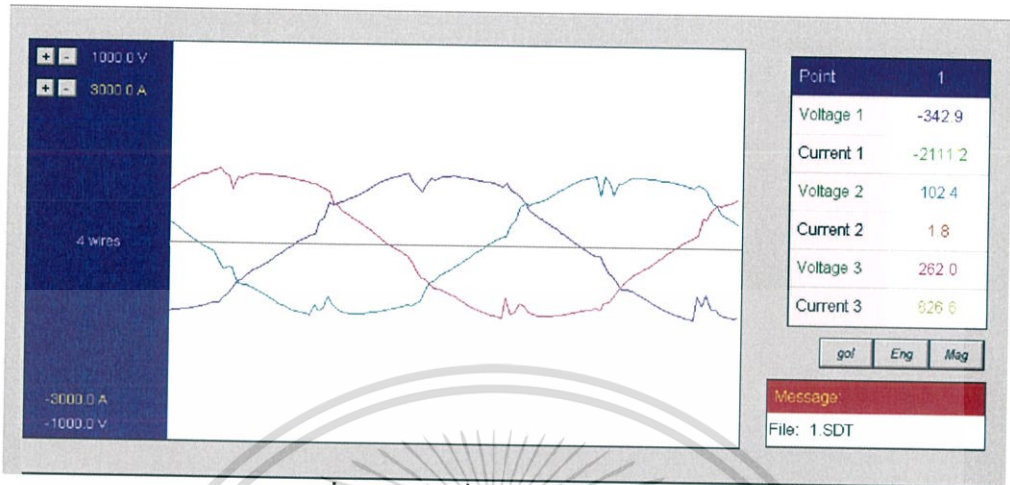
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM4-TR5 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 11.72% และ %THDi มีค่า 13.20% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

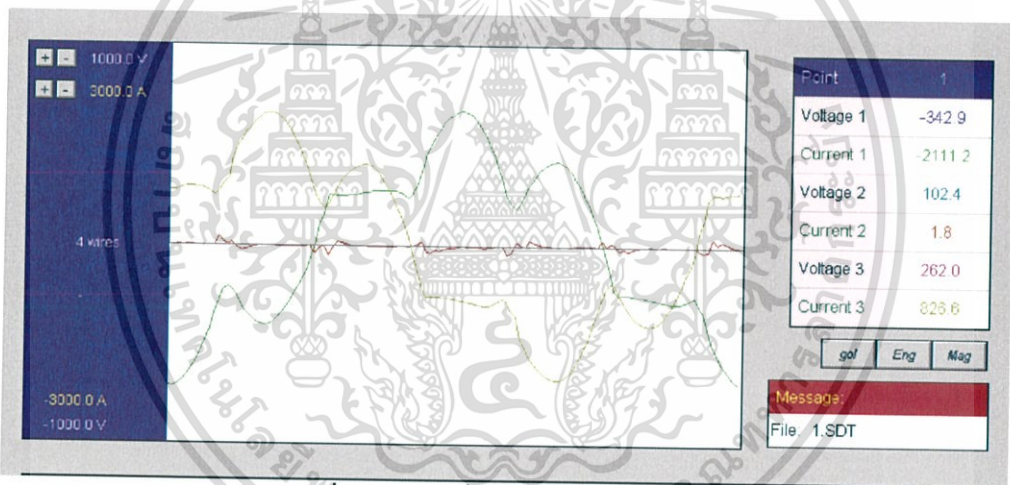
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM5-TR3 ขนาด 2000 kVA

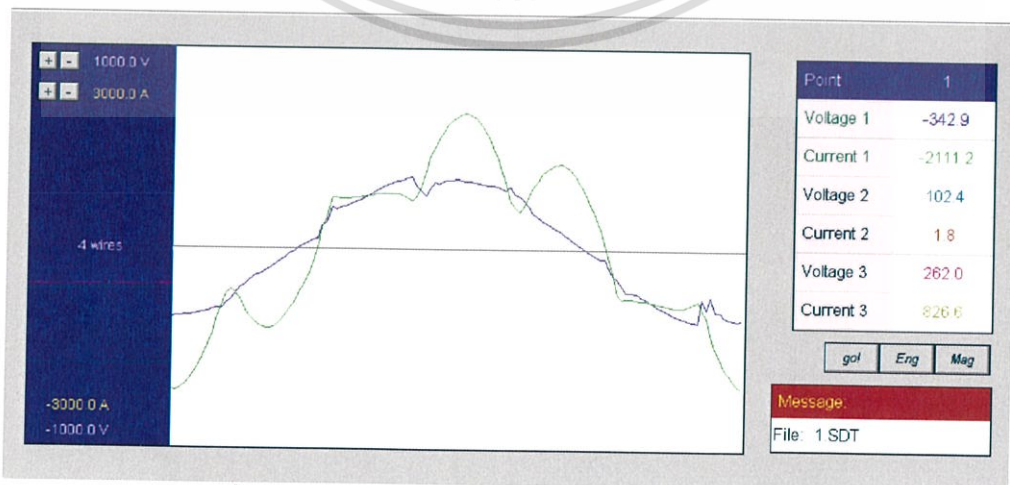
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.29 รูปคลื่นแรงดันของ PM5 TR3



รูปที่ 4.30 รูปคลื่นกระแสของ PM5 TR3

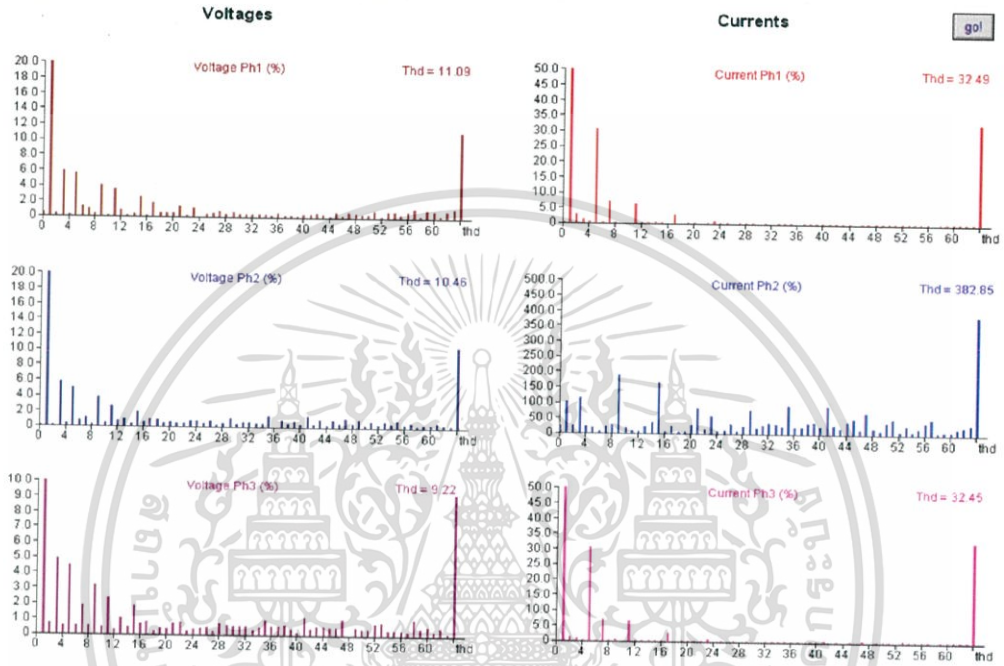


รูปที่ 4.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM5 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	255.01	1178.327	11.09	32.49	444.40	300.486	271.672	128.399	0.904	i
Ph2	258.76	41.565	10.46	382.85	445.82	10.755	2.061	10.556	0.192	i
Ph3	259.49	1159.567	9.22	32.45	445.33	300.900	272.818	126.929	0.907	i
Tot	I null:	80.937				607.792	546.550	265.884	0.90	i

รูปที่ 4.32 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM5 TR3



รูปที่ 4.33 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM5 TR3




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	5.55	14.06	30.70	344.03	4.96	12.75	18.55	1.94	4.48	11.58	30.75	339.18
7	0.94	2.38	7.08	79.30	1.14	2.94	20.23	2.12	1.87	4.83	7.10	78.29
11	3.51	8.88	6.48	72.58	2.71	6.98	9.43	0.99	2.34	6.06	6.55	72.23
13	0.10	0.26	0.33	3.74	0.95	2.44	21.34	2.23	1.07	2.76	0.31	3.46

รูปที่ 4.34 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM5 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1128	Date Sampling :	August 28, 2014
Customer :	Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test :	August 29, 2014
Equipment ID :	TR-M-03	Sampling point :	Main Tank
Manufacturer :	TIRATHAI	Oil Temperature :	Bottom = 37 °C Top = 54 °C
Serial No. :	329144	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	2000 kVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	6600/460 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	1991	Other :	-
DGA. Measurement Results			
Sampling date	28-Aug-14		
Test date	29-Aug-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	5	0.0	< 1800
CH4(Methane)	3	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	313	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	8070	0.2	< 10000
C2H4(Ethylene)	17	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	15646	-0.4	
N2(Nitrogen)	40897	1.0	
TDCG:	338	0.0	< 4630
CO2/CO:	25.75	Abnormal	3 < R < 10

รูปที่ 4.35 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM5-TR3

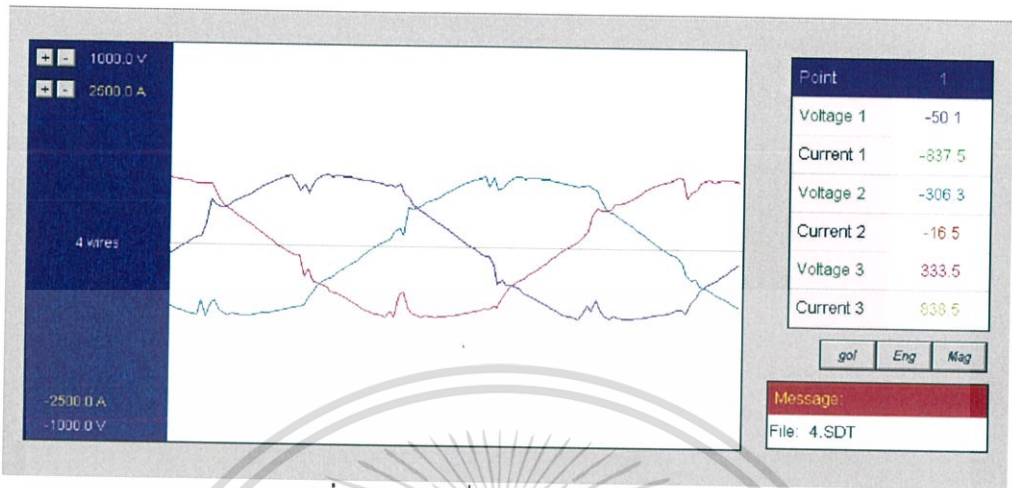
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM5-TR3 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 11.09% และ %THDi มีค่า 32.49% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

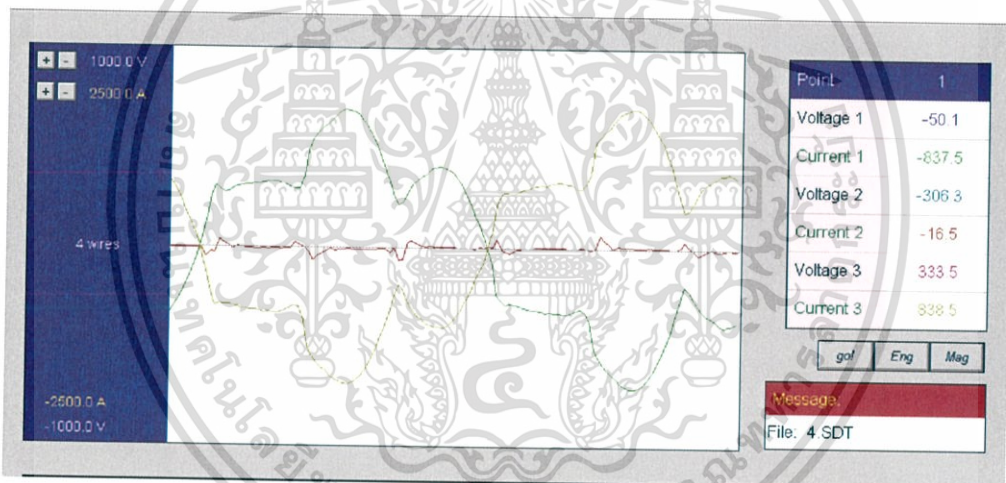
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM5-TR4 ขนาด 2000 kVA

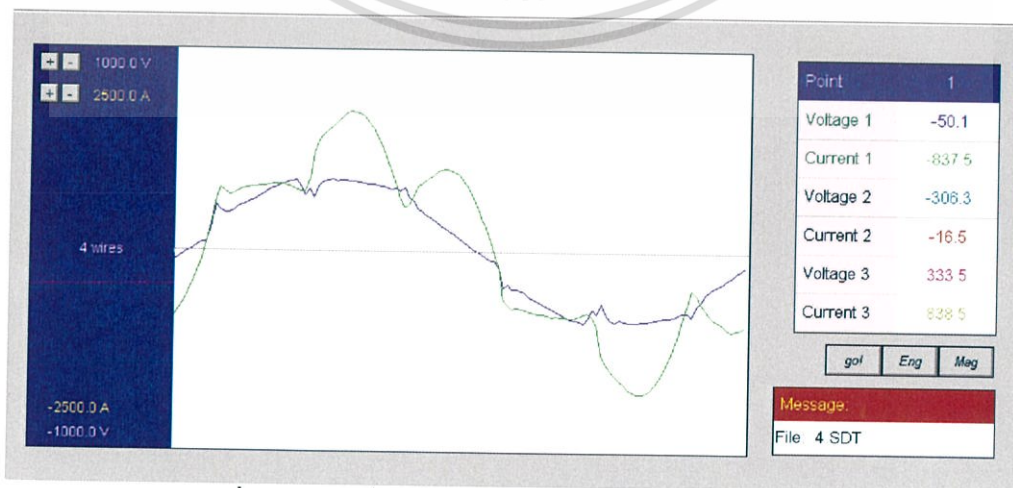
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.36 รูปคลื่นแรงดันของ PM5 TR4



รูปที่ 4.37 รูปคลื่นกระแสของ PM5 TR4

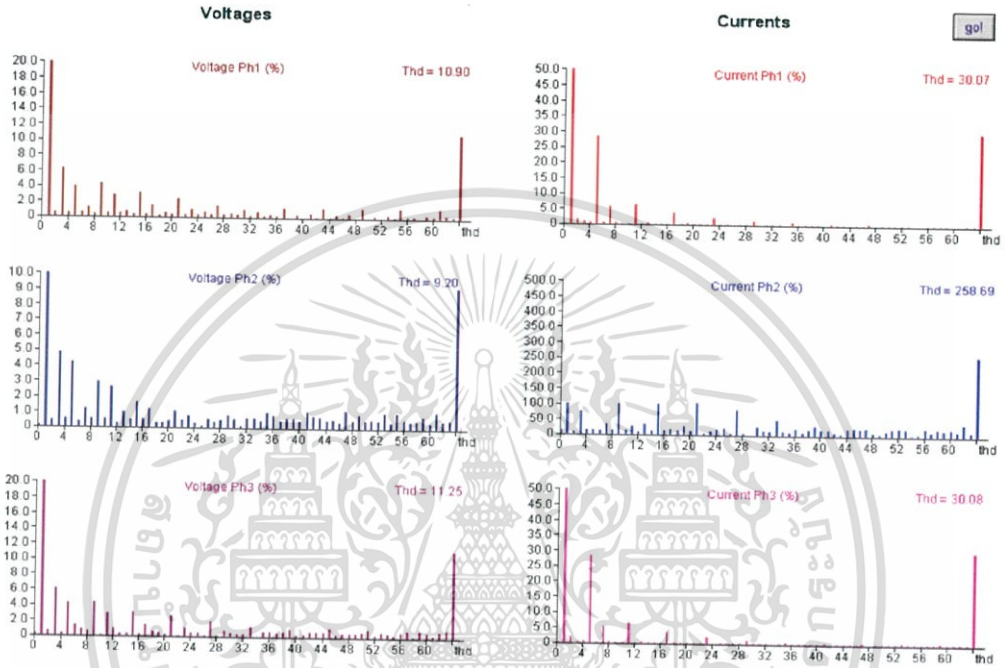


รูปที่ 4.38 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM5 TR4

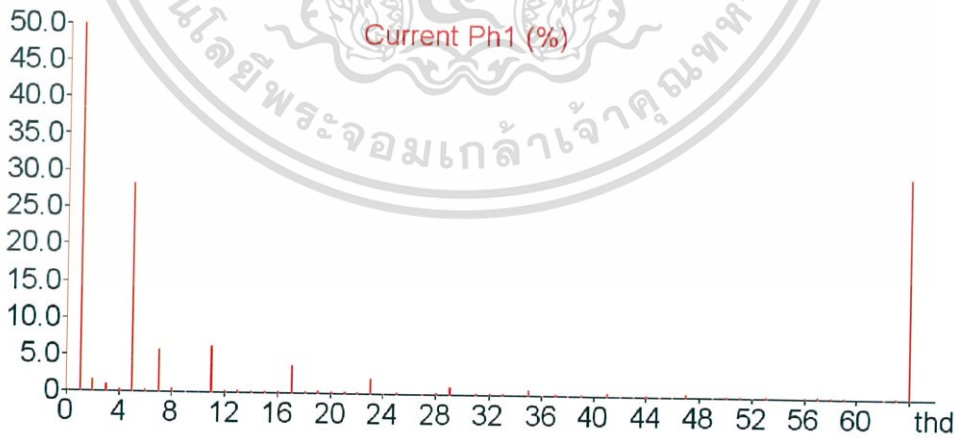
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	257.42	1026.274	10.90	30.07	448.43	264.180	246.339	95.435	0.932 i	
Ph2	260.13	45.378	9.20	258.69	446.53	11.804	3.106	11.388	0.263 i	
Ph3	259.09	1023.763	11.25	30.08	445.73	265.244	172.207	-201.740	0.649 i	
Tot	Null	1044.395				432.203	421.652	-94.917	0.98 c	50.01

รูปที่ 4.39 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM5 TR4



รูปที่ 4.40 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM5 TR4




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	3.90	9.98	28.34	278.52	4.22	10.93	16.53	2.69	4.25	10.95	28.31	277.56
7	1.26	3.24	5.71	56.09	1.18	3.05	33.35	5.43	0.91	2.34	5.51	53.98
11	2.77	7.09	6.40	62.88	2.62	6.78	29.22	4.76	2.90	7.48	6.76	66.29
13	0.78	1.99	0.45	4.44	0.99	2.56	33.33	5.43	0.42	1.08	0.50	4.89

รูปที่ 4.41 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM5 TR4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingshan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No.	: DNT14SEP1129	Date Sampling	: August 28, 2014
Customer	: Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test	: August 29, 2014
Equipment ID	: TR-M-04	Sampling point	: Main Tank
Manufacturer	: EKRAAT	Oil Temperature	: Bottom = 37 °C Top = 50 °C
Serial No.	: 329142	Instrument	: Gas Chromatography
Rated power	: 2000 kVA	Test method	: ASTM 3612
Rated voltage	: 6600/460 V	Test by	: DNT Laboratory & Research
Date MFG.	: 1991	Other	: -
DGA. Measurement Results			
<u>Sampling date</u>	28-Aug-14		
<u>Test date</u>	29-Aug-14		
		ppm/day	<u>Limits (L3)</u>
H2(Hydrogen)	3	0.0	< 1800
CH4(Methane)	3	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	362	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	6488	0.2	< 10000
C2H4(Ethylene)	103	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	11471	-0.3	
N2(Nitrogen)	42379	1.0	
TDCG:	471	0.0	< 4630
CO2/CO:	17.92		3 < R < 10
		Abnormal	

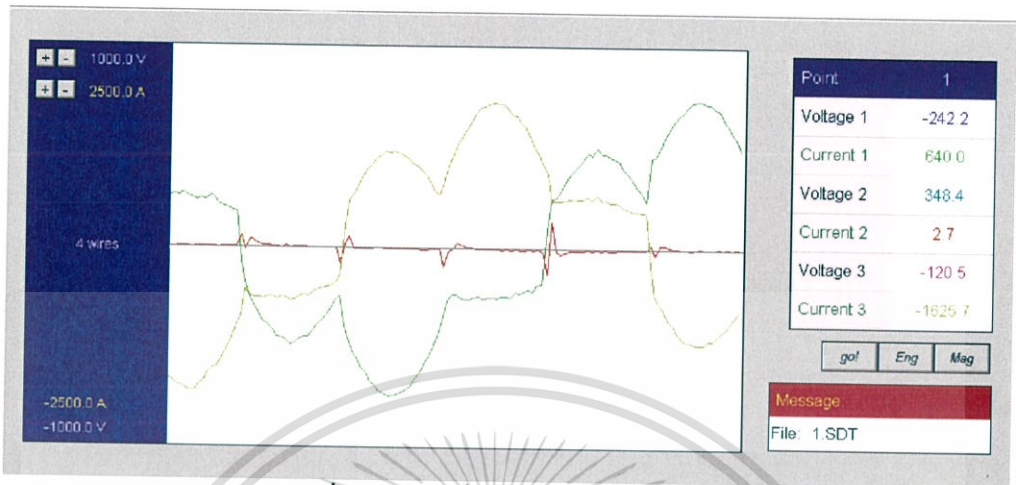
รูปที่ 4.42 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM5 TR4

3. ผลการทดสอบ

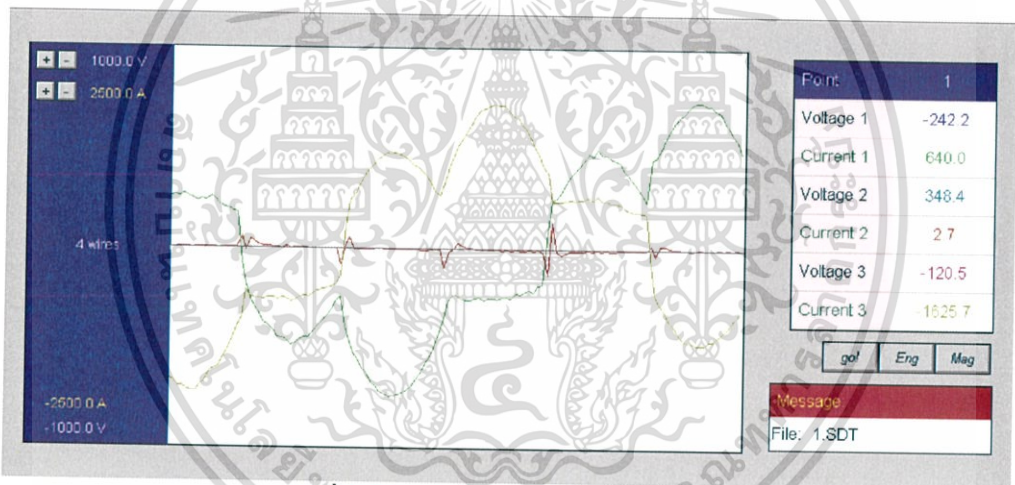
จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM5-TR4 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าเกิดความผิดปกติอยู่ในระยะเริ่มต้น และให้ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Combustible Gas ในการทดสอบครั้งต่อไป และผลการทดสอบ Power factor at 25°C และ Dielectric Breakdown Voltage มีผลทดสอบผิดปกติ ควรให้มีการทดสอบ Power factor at 100°C หรืออาจพิจารณาการกรองน้ำมัน ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่าพบว่ามีค่าผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 10.9% และ %THDi มีค่า 30.07% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM5-TR5 ขนาด 2000 kVA

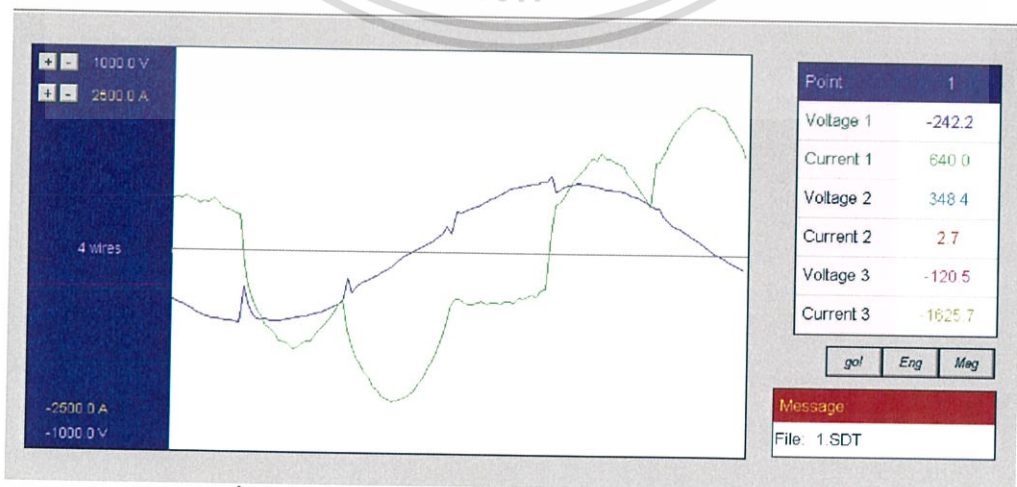
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.43 รูปคลื่นแรงดันของ PM5 TR5



รูปที่ 4.44 รูปคลื่นกระแสของ PM5 TR5

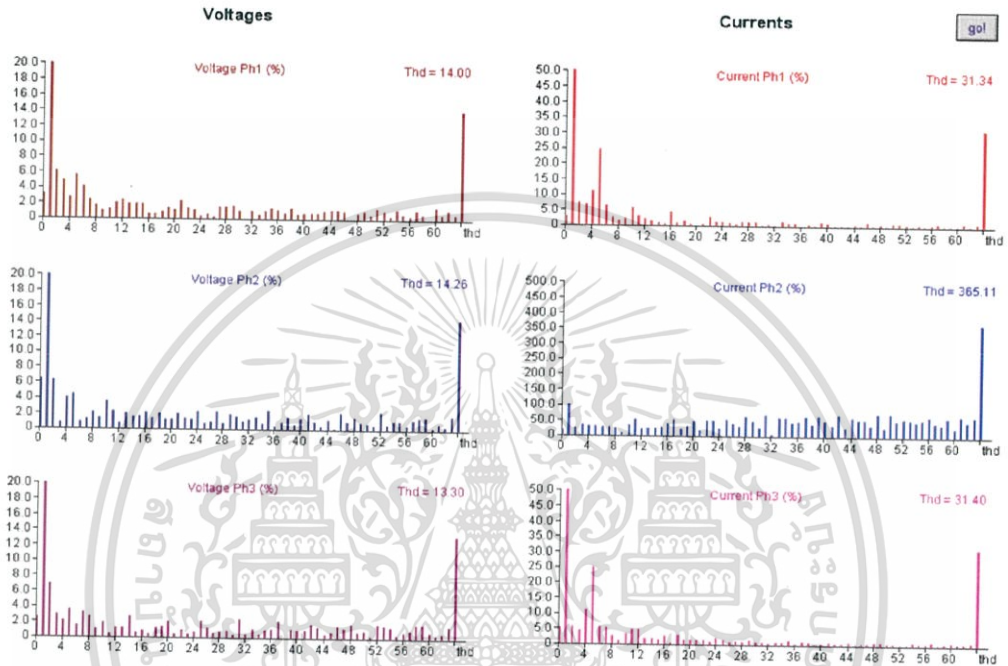


รูปที่ 4.45 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM5 TR5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	256.60	1121.262	14.00	31.34	434.35	287.719	83.569	275.315	0.290 i	
Ph2	246.60	57.073	14.26	365.11	434.90	14.074	2.414	13.866	0.172 i	
Ph3	265.13	1075.332	13.30	31.40	458.81	285.107	64.687	277.672	0.227 i	
Tot	I null:	44.149				586.534	150.670	566.852	0.26 i	53.12

รูปที่ 4.46 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM5 TR5



รูปที่ 4.47 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM5 TR5




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	5.60	14.23	24.47	261.85	4.45	10.85	32.39	4.86	3.53	9.28	24.83	254.09
7	2.35	5.97	2.33	24.94	1.23	2.99	27.73	4.16	3.16	8.29	5.35	54.79
11	2.05	5.22	3.24	34.63	2.26	5.51	55.13	8.28	0.49	1.28	4.66	47.66
13	1.91	4.84	1.49	15.96	1.96	4.77	25.73	3.86	1.27	3.33	1.94	19.89

รูปที่ 4.48 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM5 TR5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท คาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี 14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee 14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1130	Date Sampling :	August 28, 2014
Customer :	Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test :	August 29, 2014
Equipment ID :	TR-M-05	Sampling point :	Main Tank
Manufacturer :	EKRAT	Oil Temperature :	Bottom = 35 °C Top = 50 °C
Serial No. :	326590	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	2000 kVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	6600/460 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	1990	Other :	-

DGA. Measurement Results			
Sampling date	28-Aug-14		Limits (L3)
Test date	29-Aug-14		
	ppm/day		
H2(Hydrogen)	7	0.0	< 1600
CH4(Methane)	2	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	287	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	7022	0.2	< 10000
C2H4(Ethylene)	55	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	17447	-0.4	
N2(Nitrogen)	49102	1.2	
TDCG:	351	0.0	< 4630
CO2/CO:	24.44		3 < R < 10

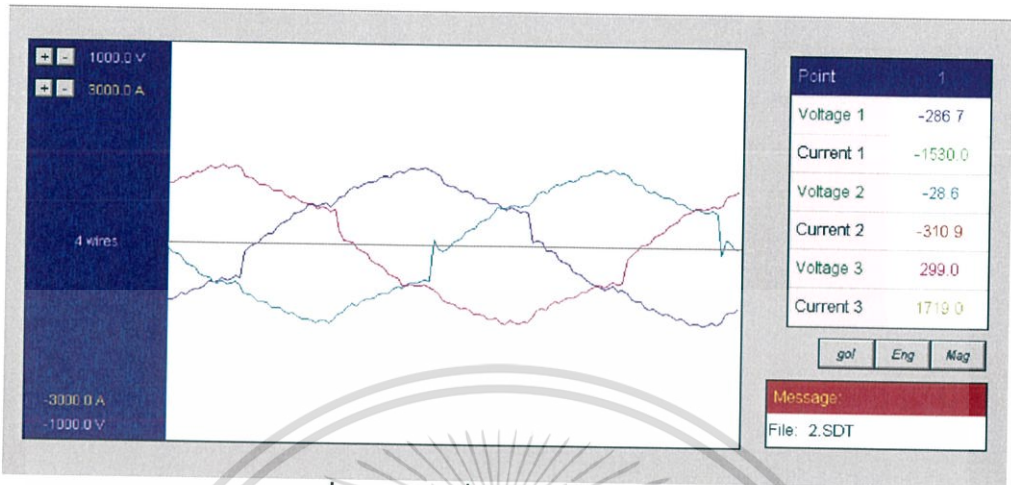
รูปที่ 4.49 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM5 TR5

3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM5-TR5 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าเกิดความผิดปกติอยู่ในระยะเริ่มต้น และให้ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Combustible Gas ในการทดสอบครั้งต่อไป และ Dielectric Breakdown Voltage มีผลทดสอบผิดปกติ ควรกรองน้ำมัน ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับสารโมโนกิสจากตารางข้างต้นพบว่าพบว่ามีค่าความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 14% และ %THDi มีค่า 31.34% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM6-TR3 ขนาด 2000 kVA

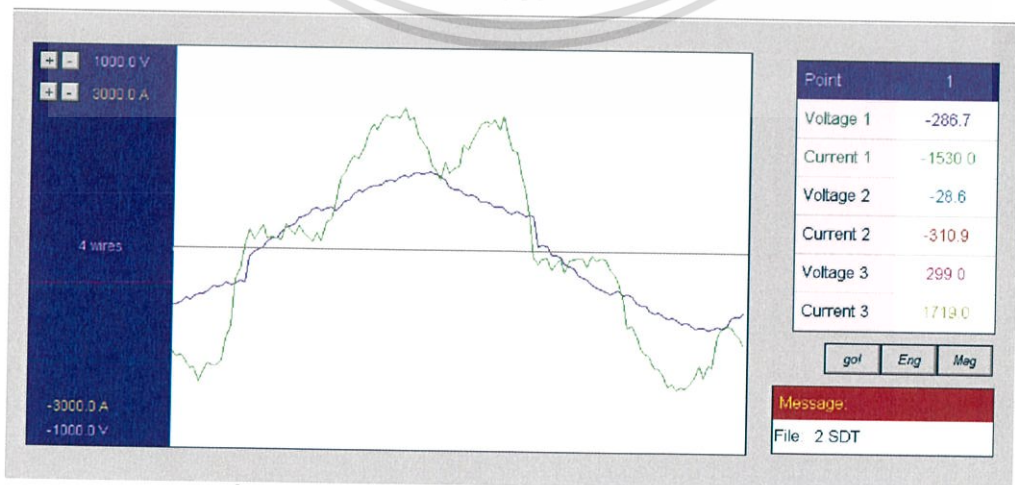
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.50 รูปคลื่นแรงดันของ PM6 TR3



รูปที่ 4.51 รูปคลื่นกระแสของ PM6 TR3

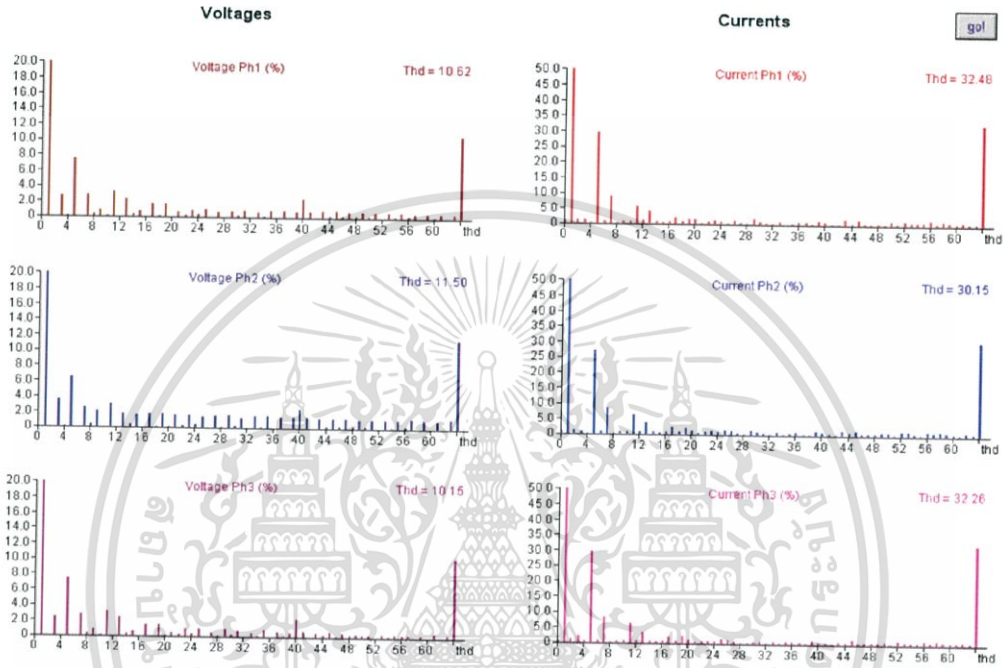


รูปที่ 4.52 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM6 TR3

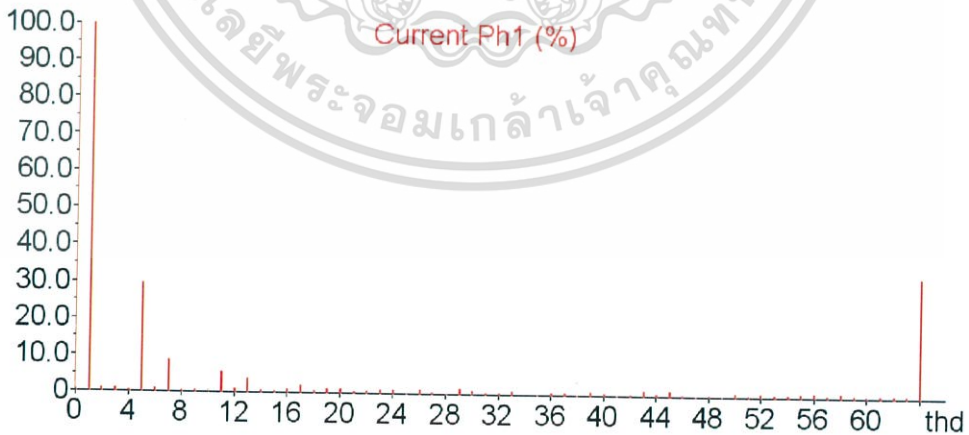
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	253.07	1320.397	10.62	32.48	437.83	334.147	312.988	117.015	0.937	i
Ph2	254.38	1343.214	11.50	30.15	440.95	341.687	325.643	103.473	0.953	i
Ph3	254.85	1341.192	10.15	32.26	439.93	341.797	321.820	115.141	0.942	i
Tot	I null.	6710.686				1017.405	960.451	335.628	0.94	i
										50.02

รูปที่ 4.53 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM6 TR3



รูปที่ 4.54 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM6 TR3




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	7.55	18.99	29.69	372.85	6.46	16.32	27.02	347.41	7.34	18.60	29.52	376.72
7	2.76	6.95	8.79	110.35	2.49	6.29	8.50	109.24	2.76	7.00	8.09	103.23
11	3.35	8.42	5.62	70.63	3.10	7.83	6.38	82.02	3.20	8.13	6.42	81.93
13	2.22	5.58	3.93	49.36	1.82	4.59	3.73	47.91	2.37	6.00	3.45	43.99

รูปที่ 4.55 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM6 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126 ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลังจันทน์, กรุงเทพฯ 10170	
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170	
	Tel : (662) 448-5443, 884-1941 Fax : (662) 884-1942	
Report No. : DNT14SEP1284	Customer : Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date Sampling : September 13, 2014
Equipment ID : PM#6(TR-M-03)	Manufacturer : EKARAT	Date test : September 20, 2014
Serial No. : 3903228	Rated power : 2000 KVA	Sampling point : Main Tank
Rated voltage : 8600/480 V	Date MFG. : 1996	Oil Temperature : Bottom = 39 °C Top = 50 °C
		Instrument : Gas Chromatography
		Test method : ASTM 3612
		Test by : DNT Laboratory & Research
		Other : -

DGA. Measurement Results			
Sampling date	13-Sep-14		
Test date	20-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	3	0.0	< 1800
CH4(Methane)	5	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	176	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	2472	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	29	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	16662	-0.4	
N2(Nitrogen)	46111	1.1	
TDCG:	213	0.0	< 4630
CO2/CO:	14.05		3 < R < 10

รูปที่ 4.56 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM6 TR3

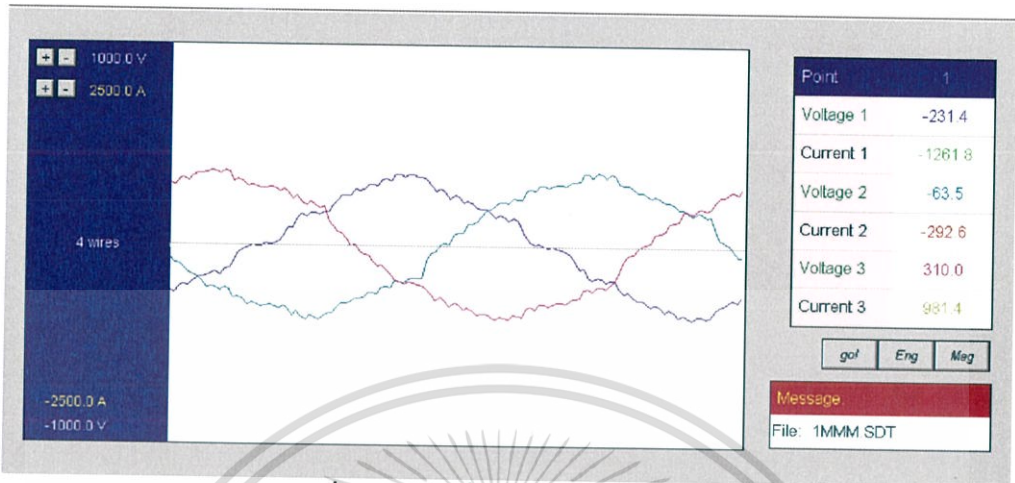
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM6-TR3 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่า Dielectric Breakdown Voltage มีผลทดสอบผิดปกติ ควรกรองน้ำมัน ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่าพบว่ามีค่าผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 10.62% และ %THDi มีค่า 32.48% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

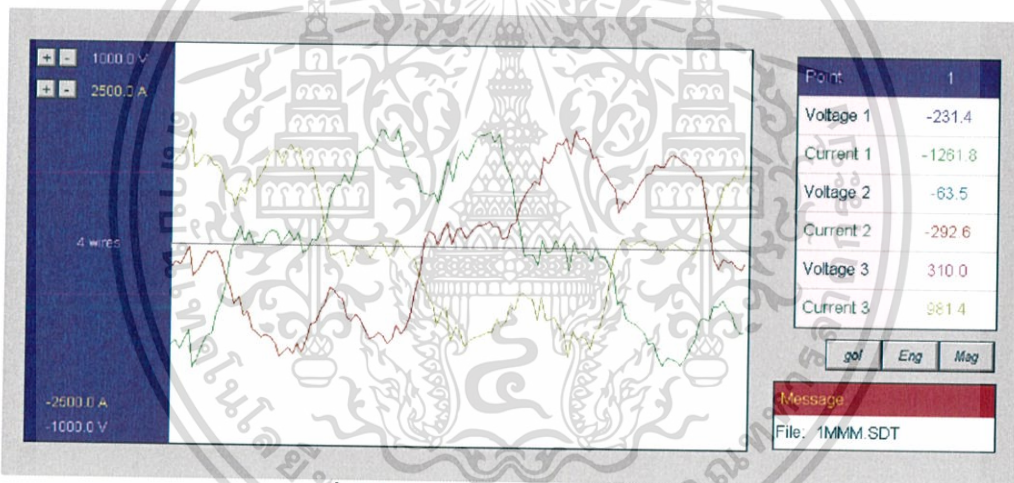
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM6-TR4 ขนาด 2000 kVA

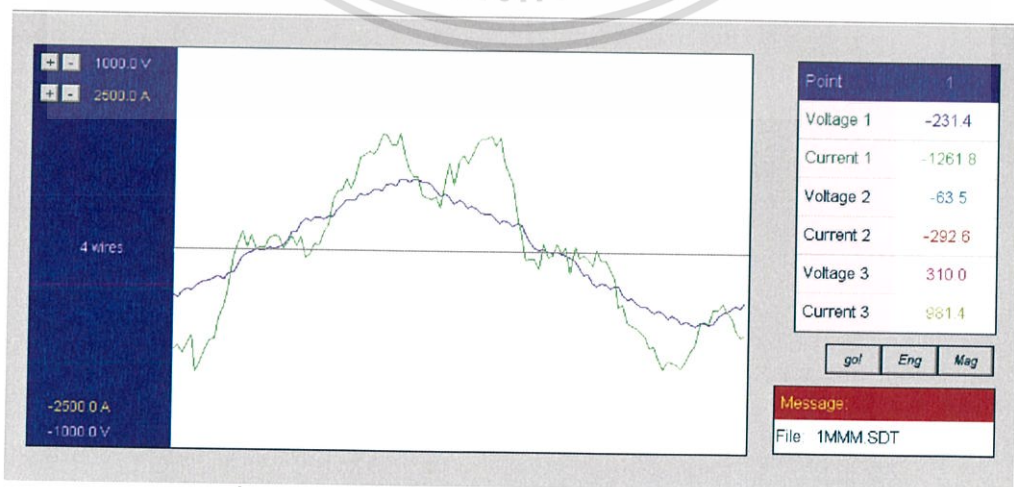
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.57 รูปคลื่นแรงดันของ PM6 TR4



รูปที่ 4.58 รูปคลื่นกระแสของ PM6 TR4

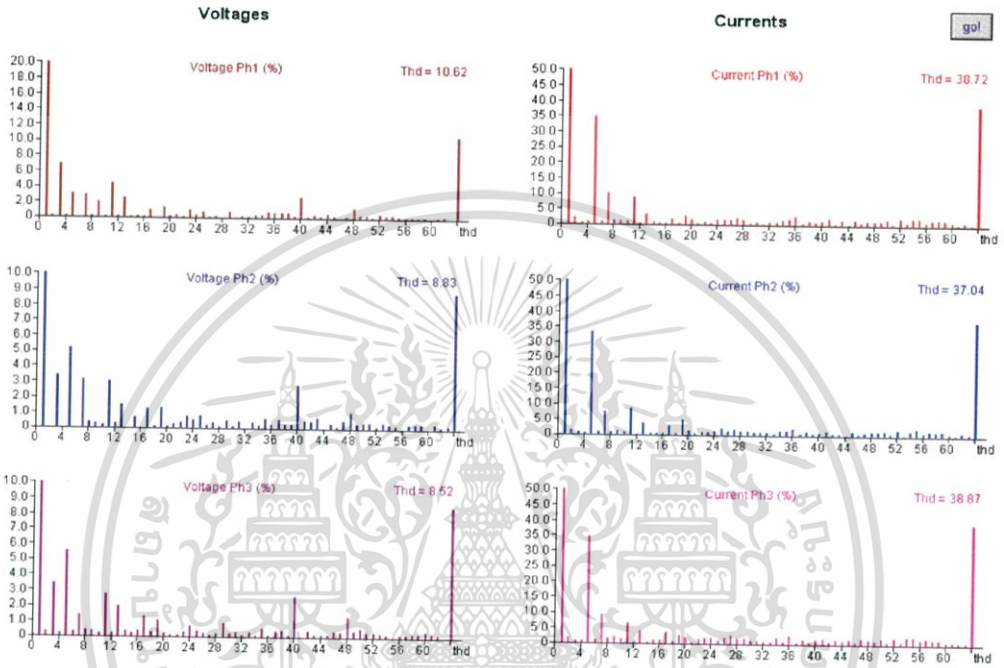


รูปที่ 4.59 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM6 TR4

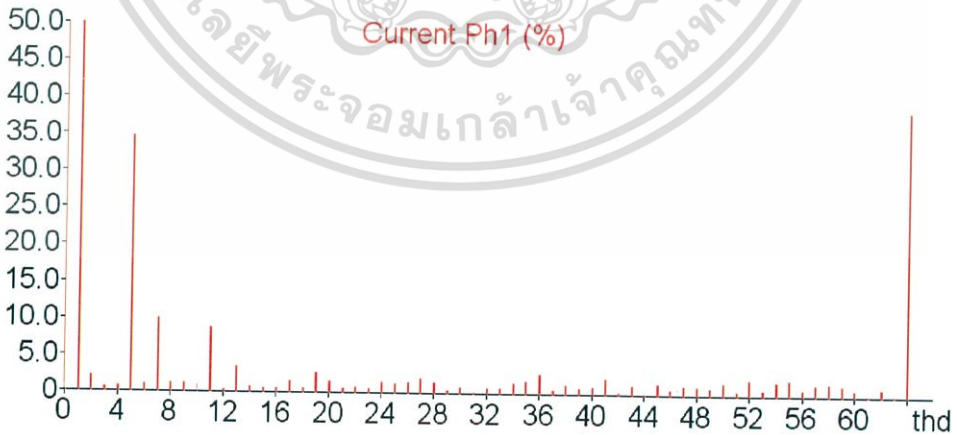
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	222.92	881.423	10.62	38.72	397.93	196.488	179.939	78.928	0.916	i
Ph2	246.27	829.113	8.83	37.04	440.63	204.184	188.923	77.454	0.925	i
Ph3	249.18	770.108	8.52	38.87	405.21	191.893	177.672	72.495	0.926	i
Tot	I null.	1576.145				592.523	546.534	228.876	0.92	i
										49.97

รูปที่ 4.60 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM6 TR4



รูปที่ 4.61 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM6 TR4




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	3.10	6.87	34.67	284.94	5.15	12.63	33.52	260.60	5.55	13.79	34.78	249.63
7	2.86	6.34	10.01	82.29	3.14	7.71	7.50	58.32	1.37	3.40	9.31	66.84
11	4.46	9.88	8.80	72.30	2.99	7.35	8.39	65.25	2.77	6.87	6.79	48.72
13	2.51	5.55	3.55	29.18	1.55	3.80	3.72	28.94	1.96	4.87	4.09	29.36

รูปที่ 4.62 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM6 TR4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ค่าดัชนีกรุป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลังจันทน์, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Taingchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 834-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1285	Date Sampling :	September 13, 2014
Customer :	Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test :	September 20, 2014
Equipment ID :	PM#6(TR-M-04)	Sampling point :	Main Tank
Manufactur. :	EKARAT	Oil Temperature :	Bottom = - °C Top = 42 °C
Serial No. :	3903229	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	2000 KVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	6600/460 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	1996	Other :	-
DGA. Measurement Results			
Sampling date	13-Sep-14		
Test date	20-Sep-14		
		ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	12	0.0	< 1800
CH4(Methane)	106	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	445	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	2467	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	18	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	154	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	3286	-0.1	
N2(Nitrogen)	53291	1.3	
TDCG:	735	0.0	< 4630
CO2/CO:	5.54		3 < R < 10

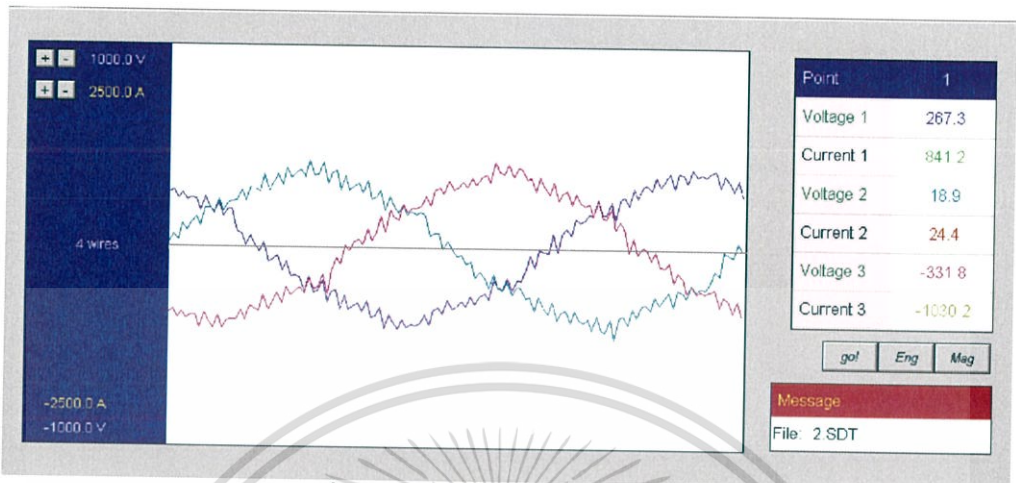
รูปที่ 4.63 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM6-TR4

3. ผลการทดสอบ

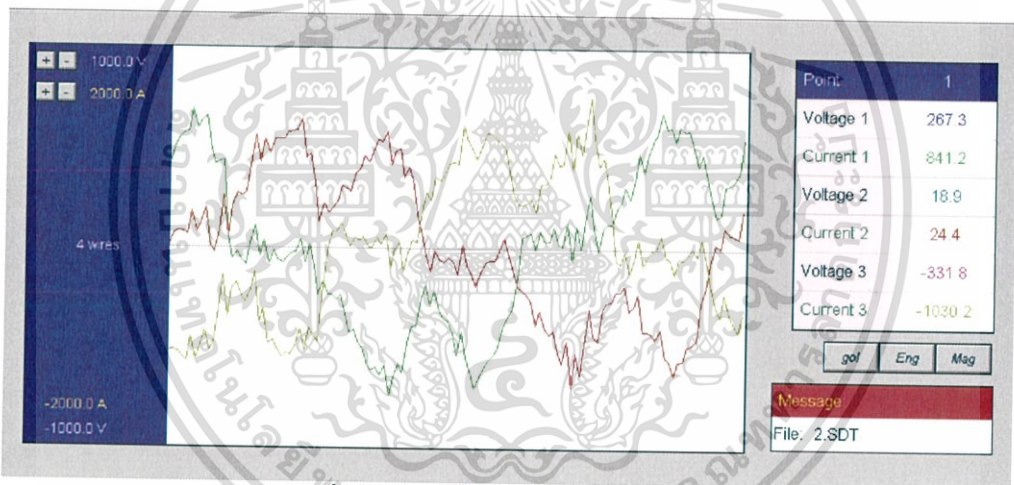
จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM6-TR4 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าก๊าซ Ethane มีค่าสูงผิดปกติอาจมีสาเหตุมาจากบริเวณความร้อนที่มากเกินไป เกิดความผิดปกติทางความร้อนที่อุณหภูมิน้อยกว่า 300 องศา และจากผลการทดสอบควรติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Combustible Gas ในการทดสอบครั้งต่อไป และผลการทดสอบ Power factor at 25°C มีค่าสูงผิดปกติ ควรให้มีการทดสอบ Power factor at 100°C และสามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่ามีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 10.62% และ %THDi มีค่า 38.72% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM6-TR5 ขนาด 1000 kVA

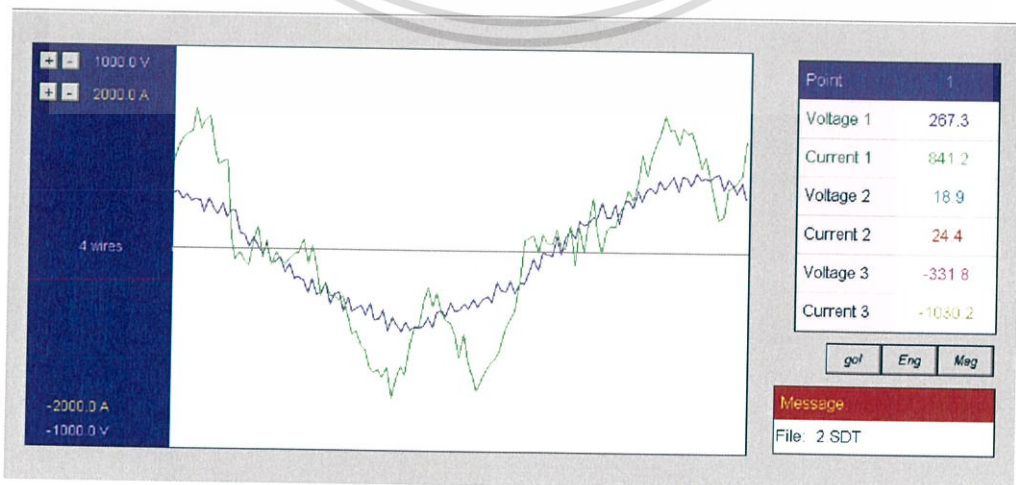
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.64 รูปคลื่นแรงดันของ PM6 TR5



รูปที่ 4.65 รูปคลื่นกระแสของ PM6 TR5

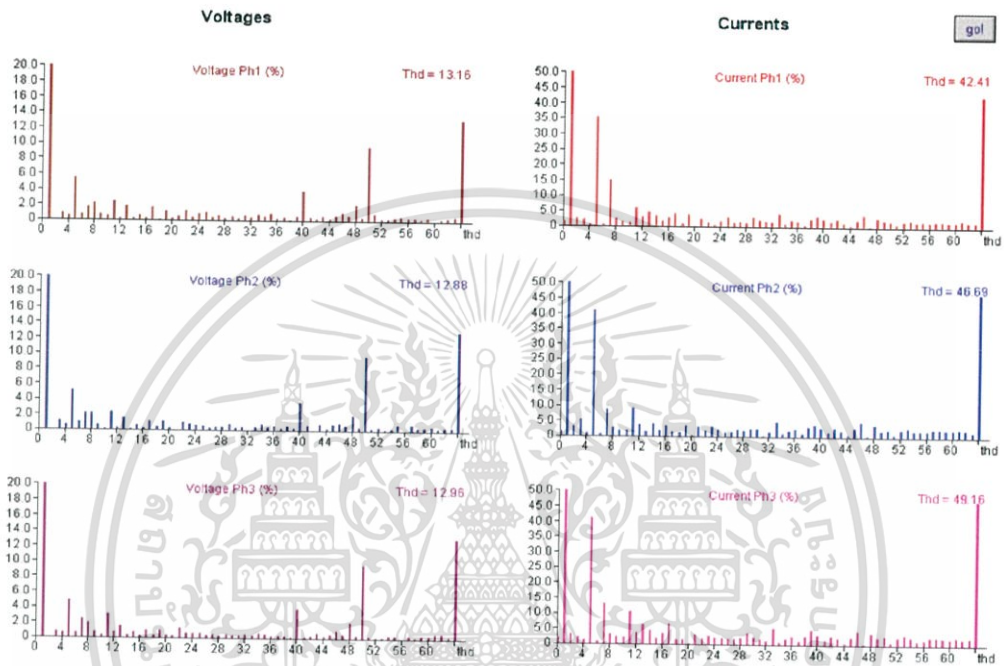


รูปที่ 4.66 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM6 TR5

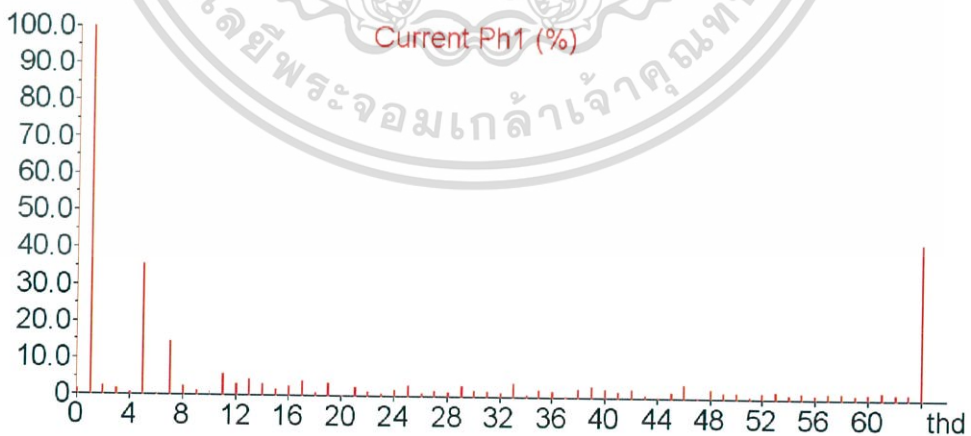
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	PF	Freq
Ph1	255.39	781.881	13.16	42.41	441.03	199.688	180.450	85.515	0.904 i	
Ph2	256.89	695.971	12.88	46.69	442.14	178.791	159.944	79.899	0.895 i	
Ph3	257.24	696.350	12.96	49.16	441.64	179.127	157.576	85.184	0.880 i	
Tot	Null	1875.139				557.471	497.971	250.599	0.89 i	50.00

รูปที่ 4.67 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM6 TR5



รูปที่ 4.68 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM6 TR5




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	5.47	13.85	35.51	255.53	5.10	13.01	40.81	257.31	4.89	12.48	41.13	256.94
7	1.61	4.07	14.79	106.42	2.17	5.53	8.56	53.96	2.41	6.18	12.94	80.82
11	2.35	5.95	5.94	42.76	2.29	5.84	9.13	57.57	3.02	7.69	10.33	64.52
13	1.74	4.40	4.56	32.84	1.51	3.84	1.62	10.24	1.47	3.76	6.19	38.68

รูปที่ 4.69 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM6 TR5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ค่าเอ็นเอ็นหรือรูป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี 14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170	
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee 14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170	
	Tel : (662) 448-5443, 884-1941 Fax : (662) 884-1942	
Report No. : DNT14SEP1296	Customer : Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date Sampling : September 13, 2014
Equipment ID : TR-M-05(PM#6)	Manufactur. : EKARAT	Date test : September 20, 2014
Serial No. : 3902885	Rated power : 1000 KVA	Sampling point : Main Tank
Rated voltage : 6600/460 V	Date MFG. : 1996	Oil Temperature : Bottom = 35 °C Top = 41 °C
		Instrument : Gas Chromatography
		Test method : ASTM 3612
		Test by : DNT Laboratory & Research
		Other : -

DGA. Measurement Results			
Sampling date	13-Sep-14		
Test date	20-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	8	0.0	< 1800
CH4(Methane)	3	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	224	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	2733	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	2	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	5856	-0.1	
N2(Nitrogen)	32321	0.8	
TDCG	237	0.0	< 4630
CO2/CO	12.20		3 < R < 10

รูปที่ 4.70 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM6 TR5

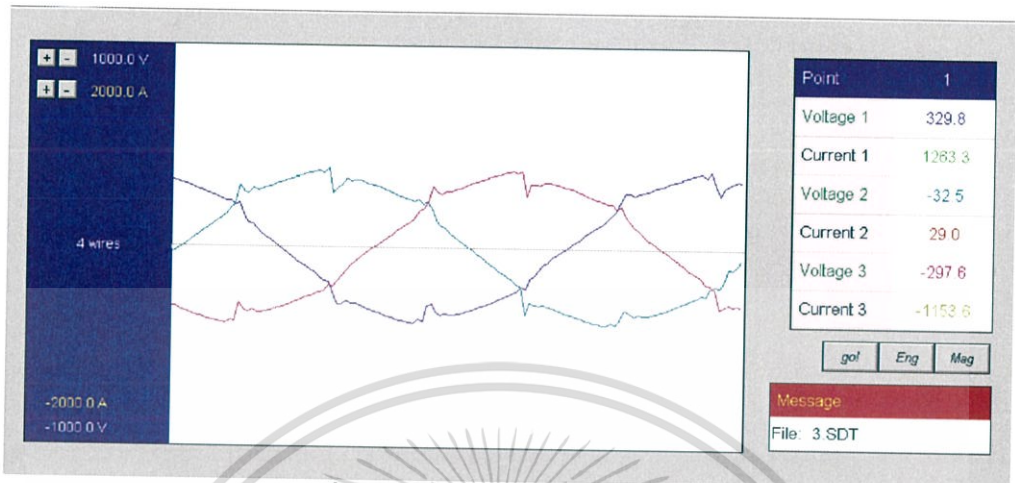
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM6-TR5 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 13.16% และ %THDi มีค่า 42.41% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

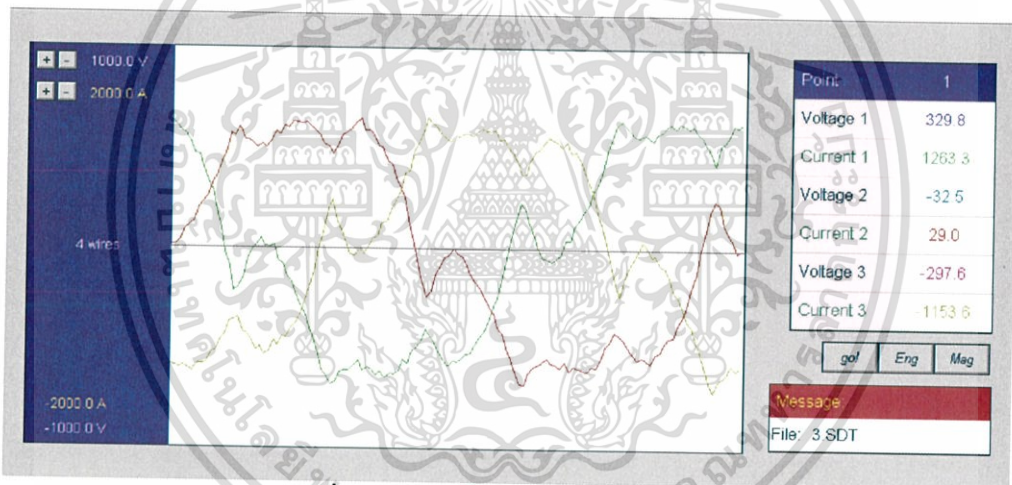
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM7-TR3 ขนาด 2000 kVA

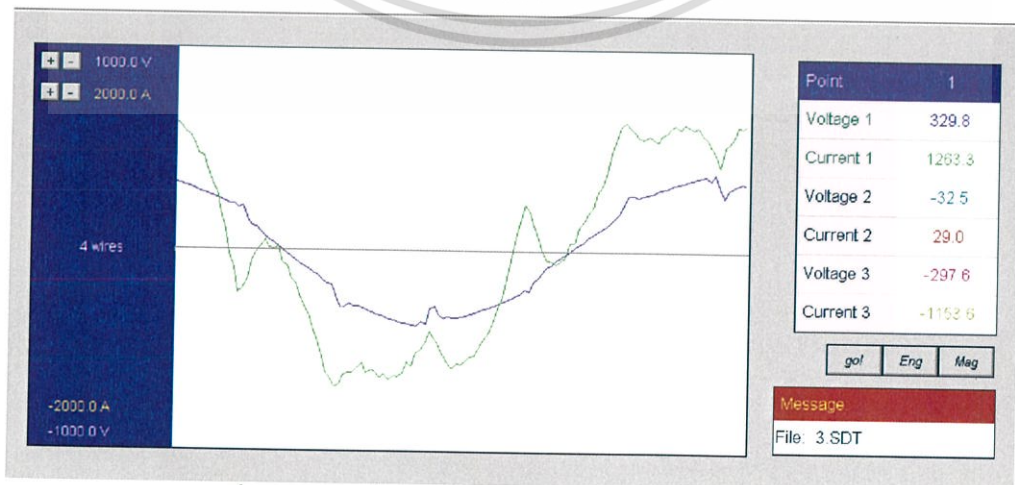
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.71 รูปคลื่นแรงดันของ PM7 TR3



รูปที่ 4.72 รูปคลื่นกระแสของ PM7 TR3

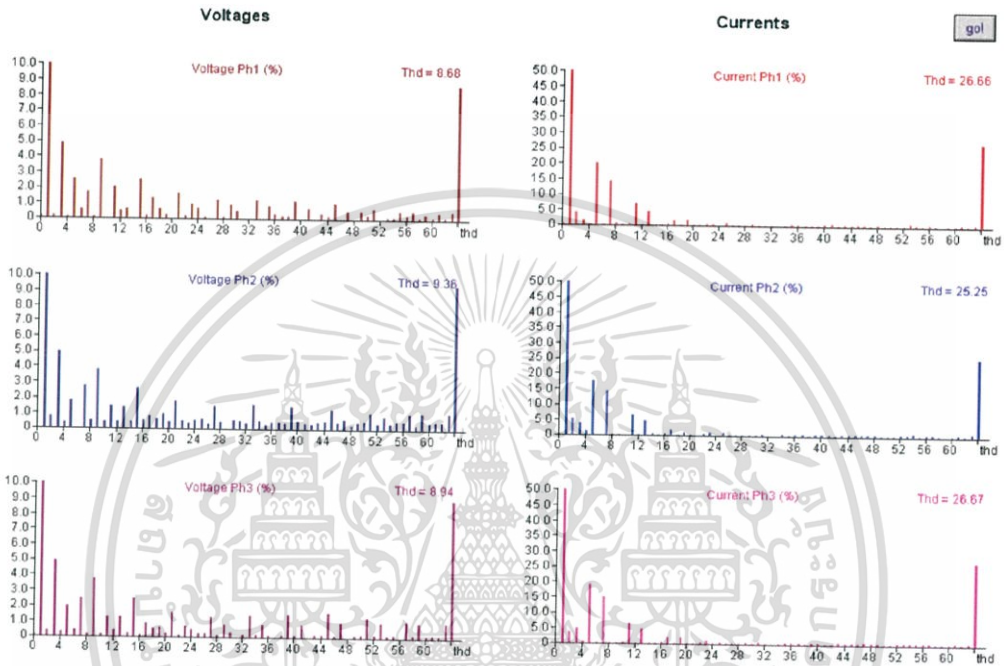


รูปที่ 4.73 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM7 TR3

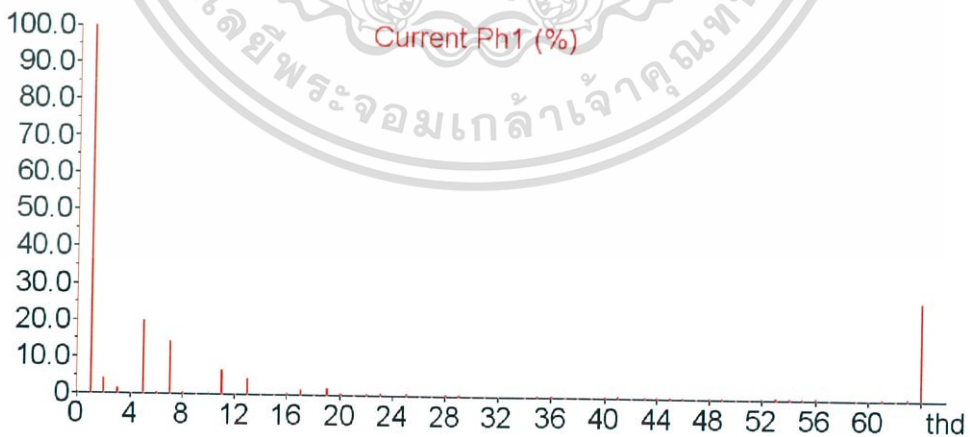
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	PF	Freq
Ph1	258.97	912.880	8.68	26.66	446.39	236.410	216.030	-96.023	0.914	c
Ph2	260.47	895.156	9.36	25.25	449.02	233.160	211.614	-97.894	0.908	c
Ph3	259.24	866.095	8.94	26.67	449.16	224.526	202.989	-95.956	0.904	c
Tot	Null	594.440				694.064	630.633	-289.872	0.91	c
										49.98

รูปที่ 4.74 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM7 TR3



รูปที่ 4.75 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM7 TR3




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	2.54	6.56	19.93	175.83	1.76	4.58	17.49	151.77	1.98	5.10	18.96	158.63
7	1.73	4.48	14.48	127.69	2.71	7.03	14.37	124.71	2.48	6.40	15.09	126.30
11	2.01	5.19	6.82	60.17	1.47	3.82	6.53	56.69	1.24	3.20	6.51	54.47
13	0.62	1.61	4.56	40.20	1.39	3.60	4.86	42.21	1.29	3.34	4.79	40.10

รูปที่ 4.76 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM7 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, ดตั่งจัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1280	Date Sampling :	September 13, 2014
Customer :	Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test :	September 20, 2014
Equipment ID :	WP#7(TR-M-03)	Sampling point :	Main Tank
Manufactur. :	EKARAT	Oil Temperature :	Bottom = 33 °C Top = 45 °C
Serial No. :	3903922	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	2000 KVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	6600/400/230 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	1996	Other :	-

DGA. Measurement Results			
Sampling date	13-Sep-14		
Test date	20-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	4	0.0	< 1800
CH4(Methane)	4	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	225	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	3747	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	37	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	21810	0.5	
N2(Nitrogen)	52054	1.2	
TDCG	270	0.0	
CO2/CO	16.65		< 4630 3 < R < 10

รูปที่ 4.77 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM7 TR3

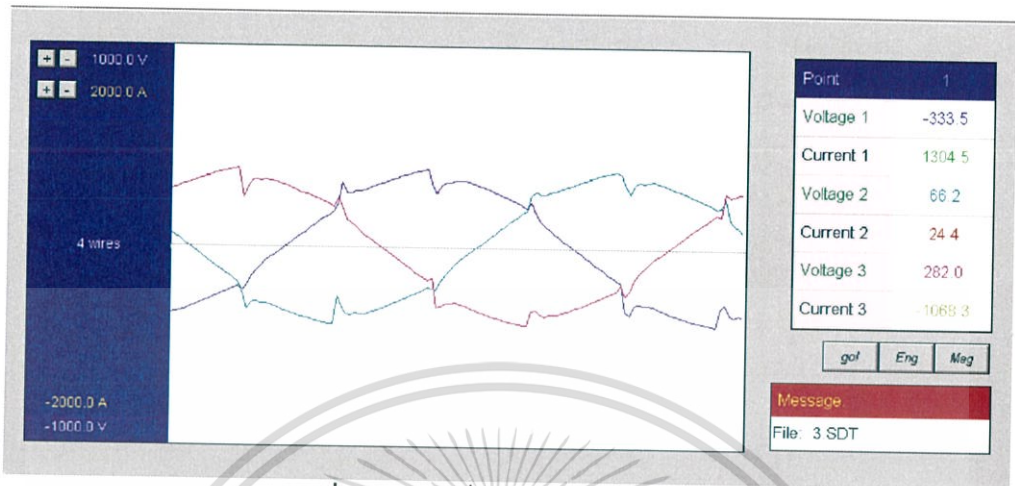
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM7-TR3 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 8.68% และ %THDi มีค่า 26.66% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM7-TR4 ขนาด 2000 kVA

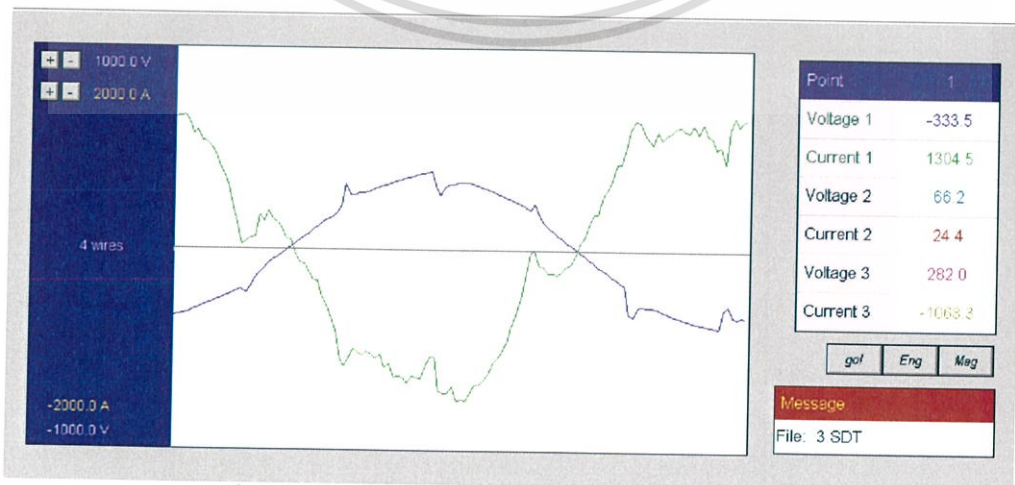
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.78 รูปคลื่นแรงดันของ PM7 TR4



รูปที่ 4.79 รูปคลื่นกระแสของ PM7 TR4

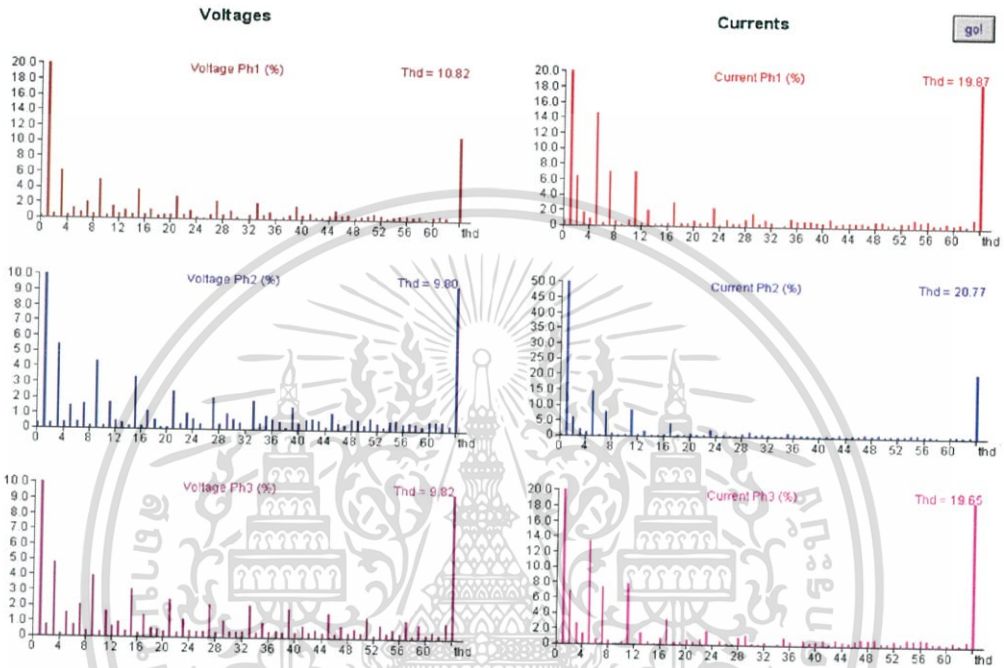


รูปที่ 4.80 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM7 TR4

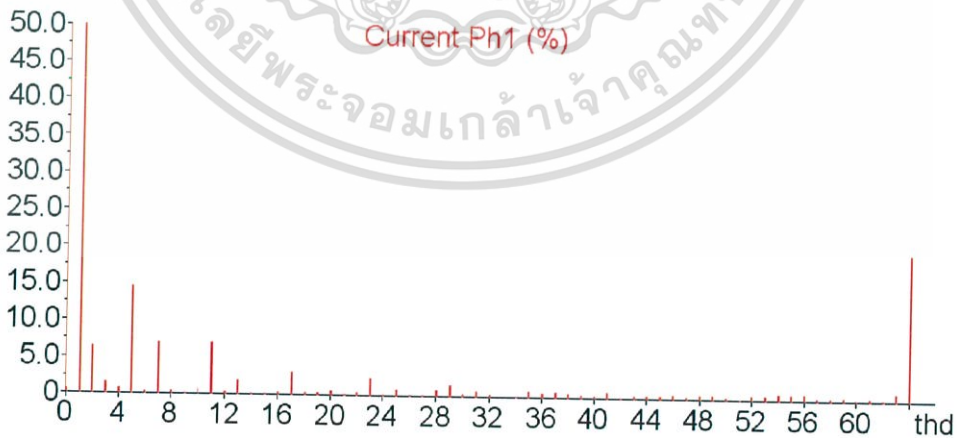
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	U _{xx}	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	260.02	958.730	10.82	19.87	447.52	249.291	-242.244	58.857	0.972	c
Ph2	259.38	884.418	9.80	20.77	447.06	229.398	-211.053	89.888	0.920	c
Ph3	258.45	926.944	9.82	19.65	447.14	239.565	-231.755	60.674	0.967	c
Tot	I null:	156.324				716.346	-685.051	209.419	0.96	c 50.00 NS

รูปที่ 4.81 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM7 TR4



รูปที่ 4.82 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแสของ PM7-TR4




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	1.27	3.29	14.54	136.68	1.45	3.75	14.43	124.95	1.55	3.99	13.42	122.02
7	1.99	5.14	7.06	66.40	1.55	4.01	7.99	69.21	2.01	5.18	7.42	67.50
11	1.48	3.83	7.06	66.36	1.72	4.43	8.45	73.19	1.67	4.30	7.91	71.96
13	1.01	2.61	2.01	18.89	0.35	0.91	1.69	14.63	0.93	2.40	1.47	13.35

รูปที่ 4.83 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์กระแสของ PM7 TR4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดต้าเอนทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, ตลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170	
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingshan, Bangkok 10170	
	Tel : (662) 448-5443, 884-1941 Fax : (662) 884-1942	
Report No. : DNT14SEP1281	Customer : Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date Sampling : September 13, 2014
Equipment ID : WP#7(TR-M-04)	Manufactur. : EKARAT	Date test : September 20, 2014
Serial No. : 3903921	Rated power : 2000 KVA	Sampling point : Main Tank
Rated voltage : 6600/460 V	Date MFG. : 1996	Oil Temperature : Bottom = 34 °C Top = 40 °C
		Instrument : Gas Chromatography
		Test method : ASTM 3612
		Test by : DNT Laboratory & Research
		Other : -

DGA. Measurement Results			
Sampling date	13-Sep-14		
Test date	20-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	6	0.0	< 1800
CH4(Methane)	139	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	272	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	6937	0.2	< 10000
C2H4(Ethylene)	754	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	146	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	17366	0.4	
N2(Nitrogen)	44901	1.1	
TDCG	1317	0.0	< 4630
CO2/CO	25.50		3 < R < 10

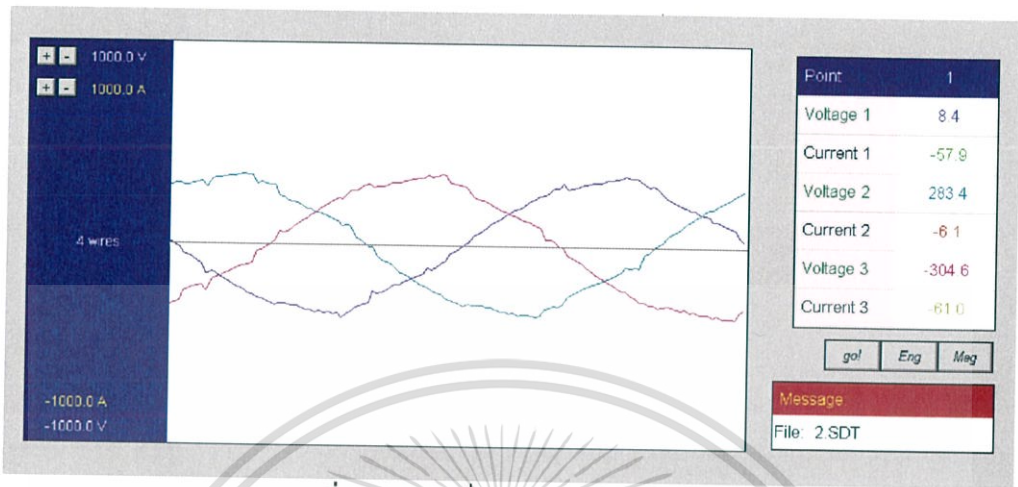
รูปที่ 4.84 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM7 TR4

3. ผลการทดสอบ

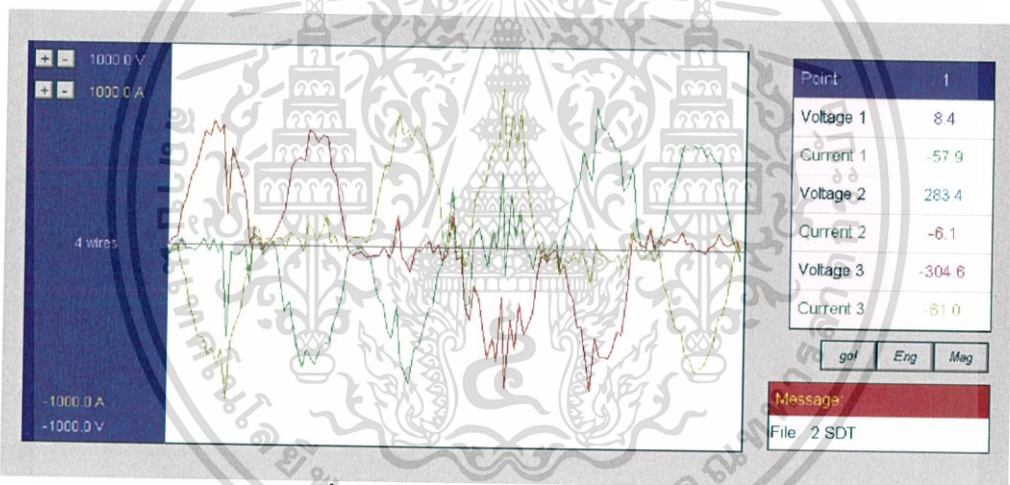
จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM7-TR4 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าเกิดความผิดปกติทางความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 700 องศา ควรเพิ่มความถี่การทดสอบ DGA เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Combustible Gas อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และสามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 10.82% และ %THDi มีค่า 19.87% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM7-TR5 ขนาด 1000 kVA

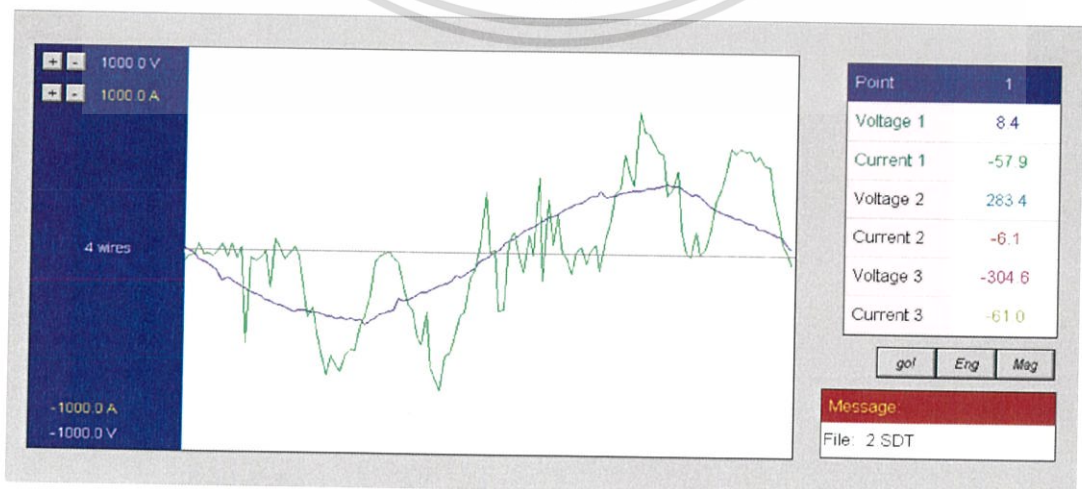
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.85 รูปคลื่นแรงดันของ PM7 TR5



รูปที่ 4.86 รูปคลื่นกระแสของ PM7 TR5

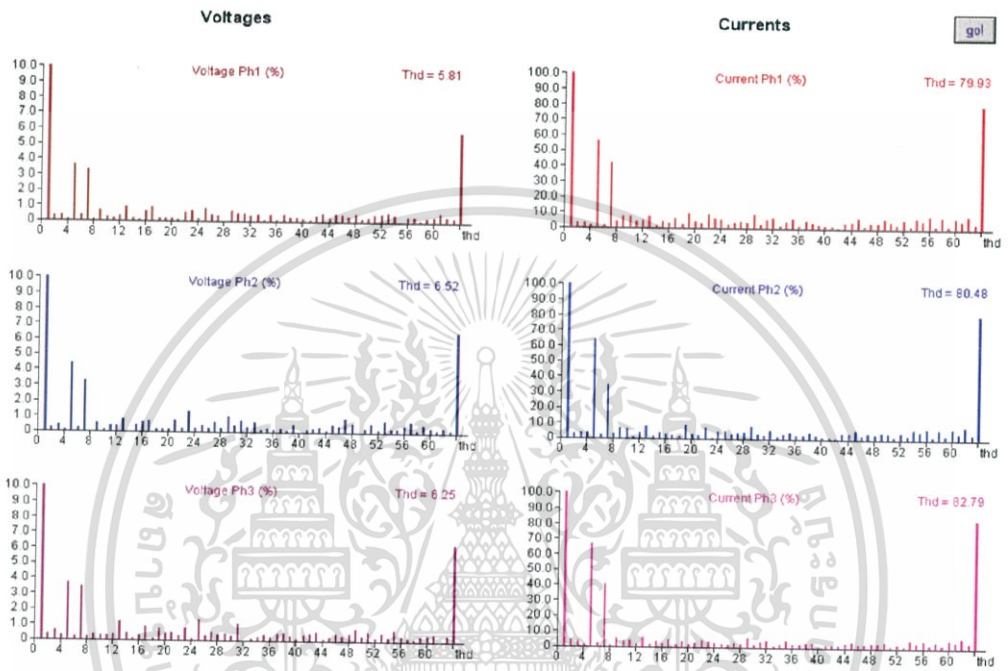


รูปที่ 4.87 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM7 TR5

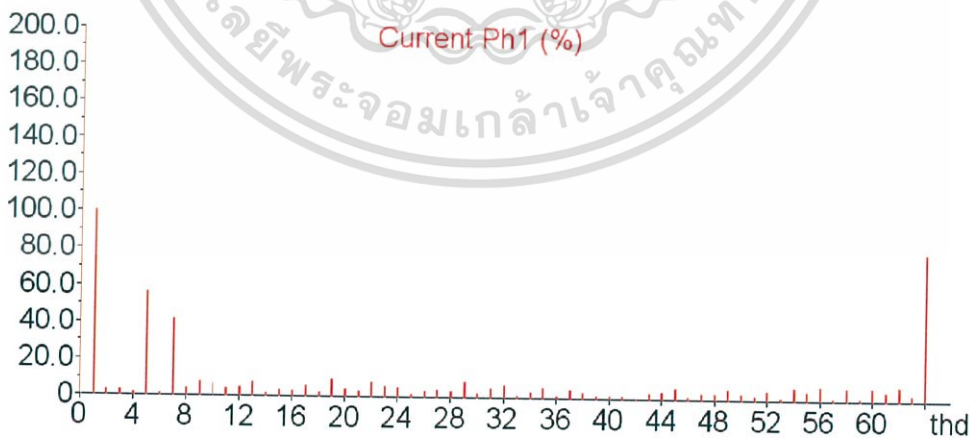
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	234.78	311.880	5.81	79.93	405.39	73.222	51.978	51.572	0.710	i
Ph2	233.84	298.673	6.52	80.48	405.26	69.843	49.165	49.607	0.704	i
Ph3	234.41	317.036	6.25	82.79	406.73	74.318	52.213	52.885	0.703	i
Tot	I null:	644.559				217.380	153.356	154.065	0.71	i
										50.00

รูปที่ 4.88 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM7 TR5



รูปที่ 4.89 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM7 TR5




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	3.64	8.52	56.36	137.28	4.40	10.28	64.63	150.35	3.70	8.66	67.07	163.76
7	3.29	7.72	41.93	102.12	3.25	7.58	34.21	79.59	3.45	8.07	40.79	99.59
11	0.17	0.39	4.46	10.85	0.36	0.84	0.85	1.98	0.29	0.67	4.02	9.80
13	0.87	2.03	7.54	18.36	0.81	1.90	8.24	19.18	1.19	2.78	6.49	15.85

รูปที่ 4.90 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM7 TR5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1299	Date Sampling :	September 13, 2014
Customer :	Siam Kraft Indusy Co., Ltd.	Date test :	September 20, 2014
Equipment ID :	TR-M-05(PM#7)	Sampling point :	Main Tank
Manufactur. :	EKARAT	Oil Temperature :	Bottom = 31 °C Top = 46 °C
Serial No. :	5102234	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	1000 KVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	6600/400/230 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	2008	Other :	-
DGA. Measurement Results			
Sampling date	13-Sep-14		
Test date	20-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	0	0.0	< 1800
CH4(Methane)	2	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	252	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	3456	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	62	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	18435	-0.4	
N2(Nitrogen)	51587	1.2	
TDCG	316	0.0	
CO2/CO:	13.71		< 4630 3 < R < 10

รูปที่ 4.91 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM7 TR5

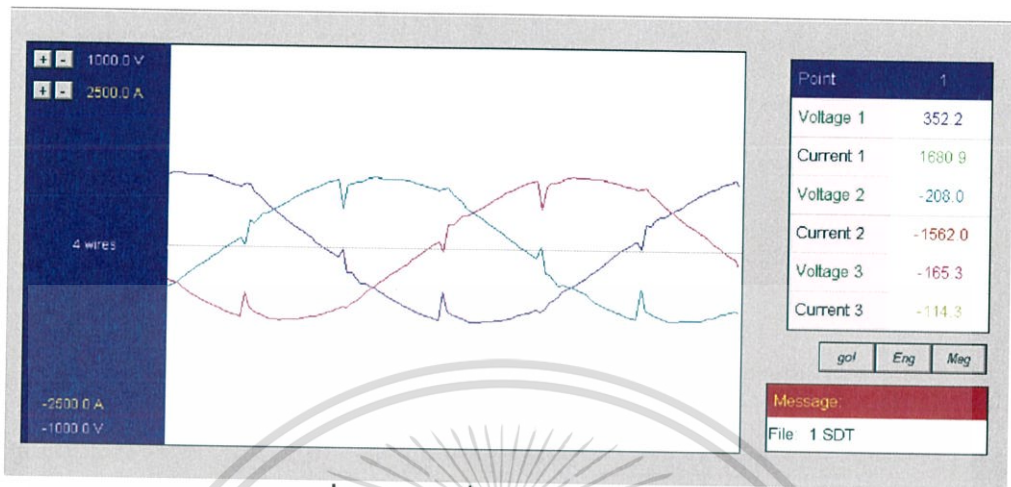
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM7-TR5 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDI มีค่า 79.93% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM8-TR2 ขนาด 2000 kVA

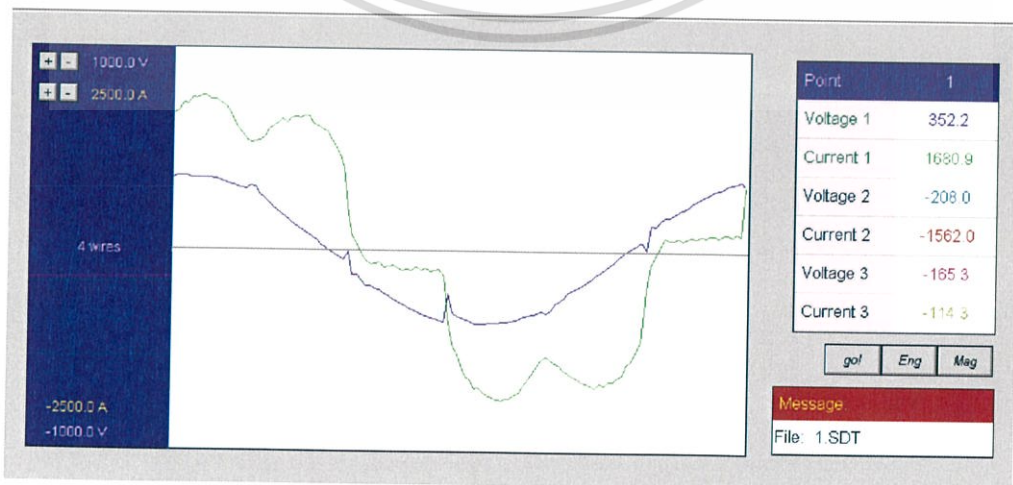
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.92 รูปคลื่นแรงดันของ PM8 TR2



รูปที่ 4.93 รูปคลื่นกระแสของ PM8 TR2

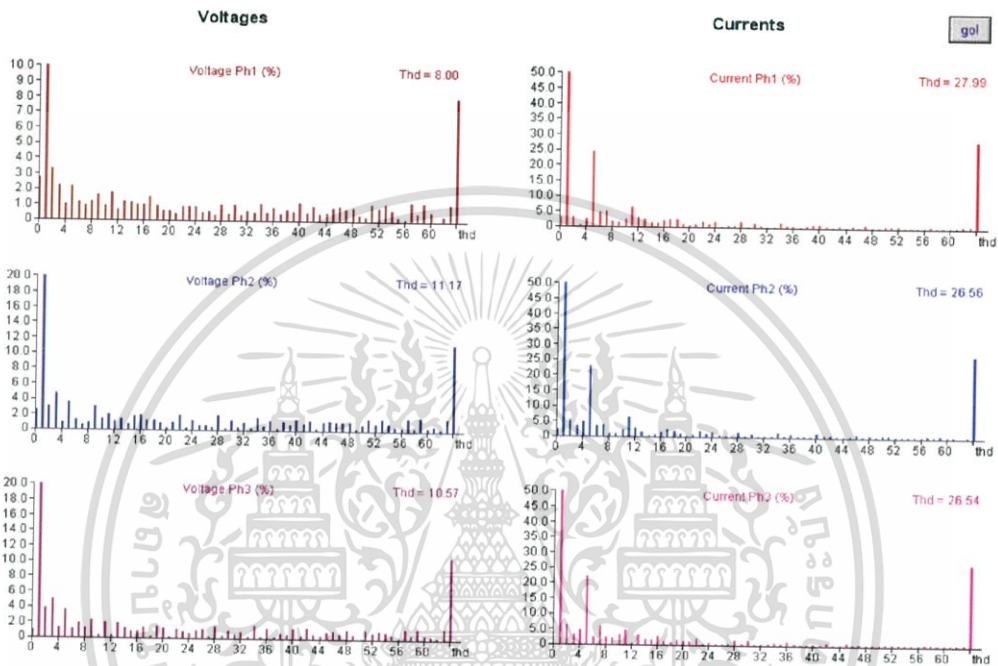


รูปที่ 4.94 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM8 TR2

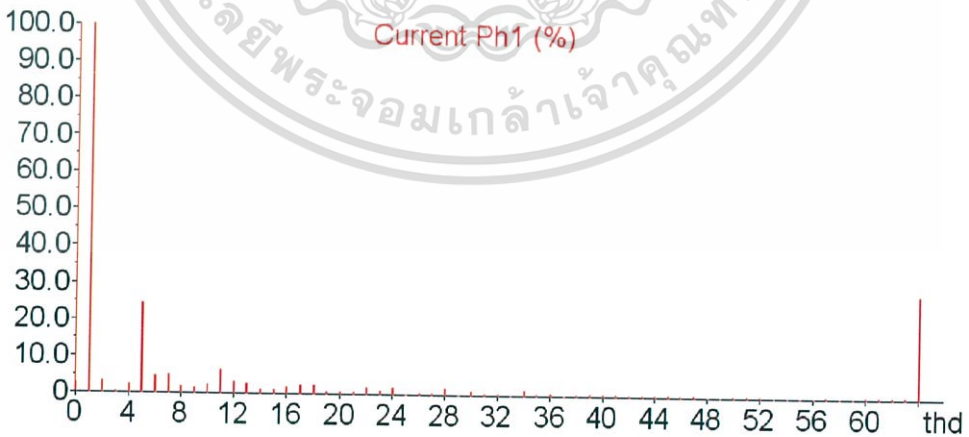
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	U _{rms} (V)	I _{rms} (A)	thdU (%)	thdI (%)	U _{xx}	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	258.38	1276.022	8.00	27.99	439.72	329.698	251.778	212.858	0.764	i
Ph2	251.35	1285.769	11.17	26.56	450.51	323.176	247.842	207.405	0.767	i
Ph3	262.53	1300.220	10.57	26.54	445.24	341.350	268.052	211.348	0.785	i
Tot	I null:	347.121				994.109	767.672	631.612	0.77	i
										51.62 NS

รูปที่ 4.95 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM8 TR2



รูปที่ 4.96 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM8-TR2




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	2.16	5.57	24.56	301.60	3.62	9.04	23.01	285.80	3.49	9.11	22.24	279.49
7	0.96	2.48	5.15	63.23	0.68	1.69	3.60	44.74	1.85	4.83	6.12	76.92
11	1.80	4.63	6.36	78.13	2.05	5.11	6.20	76.95	2.03	5.31	4.64	58.32
13	1.21	3.13	2.62	32.16	1.33	3.33	1.40	17.38	1.83	4.77	3.25	40.81

รูปที่ 4.97 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM8 TR2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท คาพันธ์กรุป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลองจั่น, กรุงเทพฯ 10170			
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingchan, Bangkok 10170			
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942			
Report No.	: DNT15JAN0046	Date Sampling	: December 23, 2014	
Customer	: Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test	: December 24, 2014	
Equipment ID	: TR-2 PM#8	Sampling point	: Main Tank	
Manufactur.	: Thai Maxwell	Oil Temperature	: Bottom = 33 °C Top = 58 °C	
Serial No.	: 220231404	Instrument	: Gas Chromatography	
Rated power	: 2000 kVA	Test method	: ASTM 3612	
Rated voltage	: 6600/460 V	Test by	: DNT Laboratory & Research	
Date MFG.	: N/A	Other	: -	
DGA. Measurement Results				
<u>Sampling date</u>	29-Aug-14	23-Dec-14		
<u>Test date</u>	01-Sep-14	24-Dec-14	ppm/day	<u>Limits (L3)</u>
H2(Hydrogen)	0	0	0.0	< 1800
CH4(Methane)	3	2	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	261	184	-0.7	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	6906	2119	-41.3	< 10000
C2H4(Ethylene)	51	10	-0.4	< 200
C2H6(Ethane)	0	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	18753	18203	4.7	
N2(Nitrogen)	50577	51664	9.4	
TDCG:	315	196	-1.0	< 4630
CO2/CO	26.46	11.50		3 < R < 10

รูปที่ 4.98 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM8 TR2

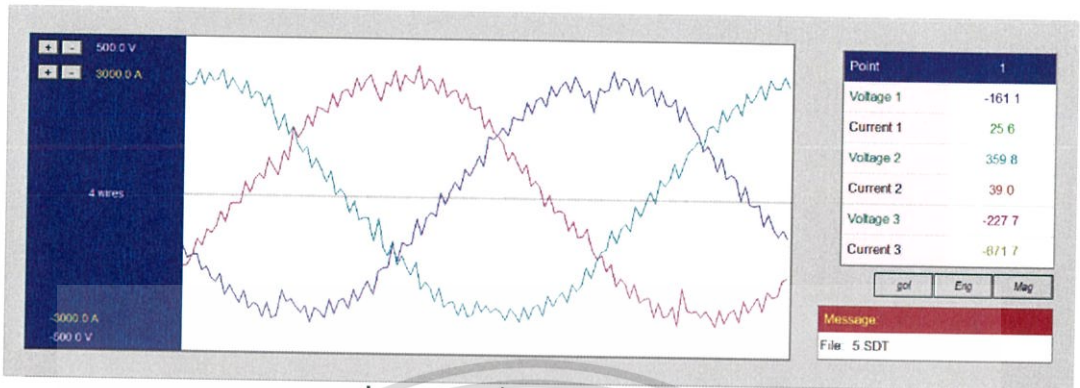
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM8-TR2 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 8% และ %THDi มีค่า 27.99% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

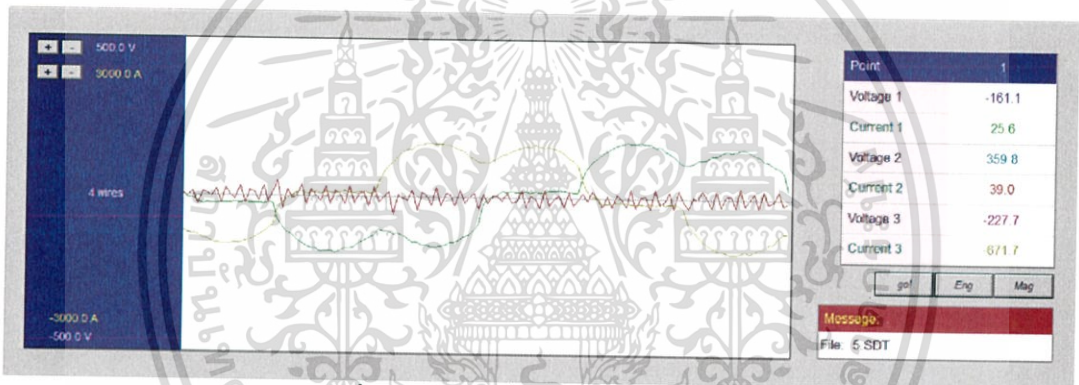
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM8-TR3 ขนาด 2000 kVA

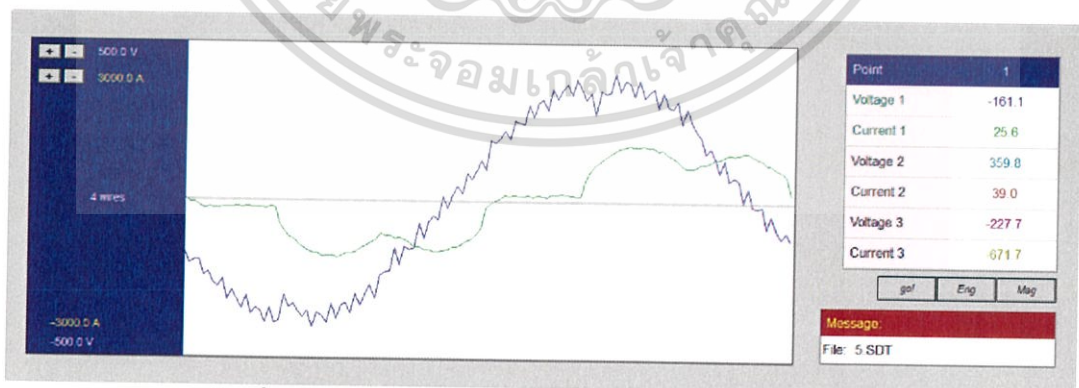
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.99 รูปคลื่นแรงดันของ PM8 TR3



รูปที่ 4.100 รูปคลื่นกระแสของ PM8 TR3

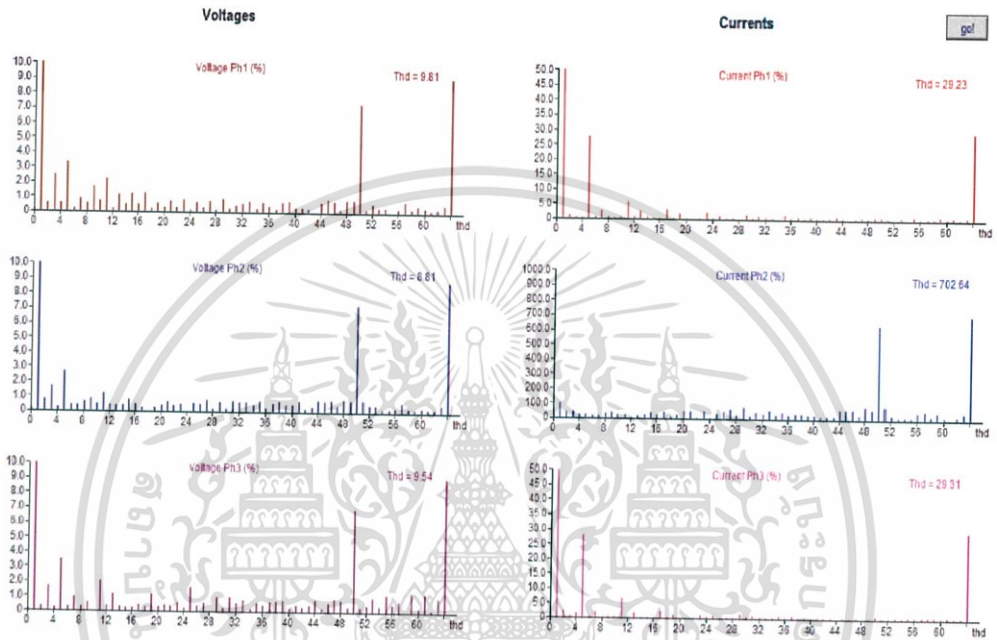


รูปที่ 4.101 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM8 TR3

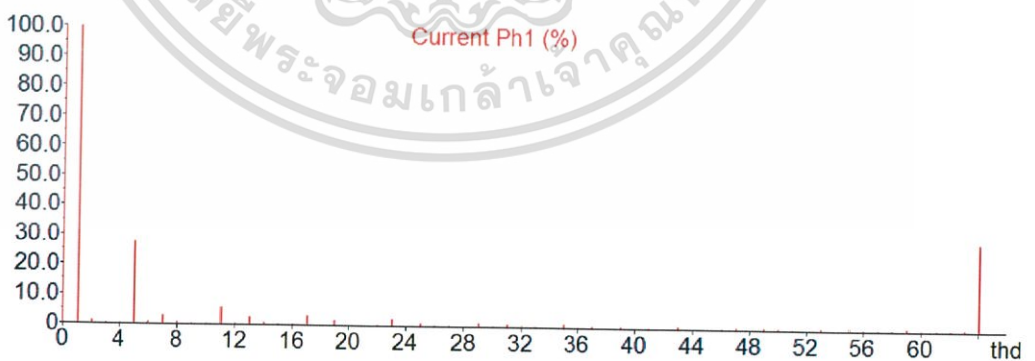
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	266.29	700.242	9.81	29.23	461.19	186.466	127.025	136.507	0.681 i	
Ph2	267.60	123.825	8.81	702.64	462.07	33.136	2.108	33.069	0.064 i	
Ph3	266.45	696.414	9.54	29.31	458.44	185.557	121.433	140.305	0.654 i	
Tot	I null	865.824				398.509	250.567	309.881	0.63 i	50.01

รูปที่ 4.102 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM8 TR3



รูปที่ 4.103 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM8 TR3




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	3.36	8.91	27.74	186.42	2.61	6.96	24.72	4.31	3.45	9.14	27.80	185.81
7	0.86	2.29	2.85	19.16	0.40	1.06	17.43	3.04	0.93	2.48	2.34	15.65
11	2.22	5.89	5.82	39.10	1.19	3.17	22.96	4.00	2.06	5.45	6.73	44.99
13	1.17	3.10	2.50	16.82	0.34	0.92	20.28	3.53	1.12	2.97	1.90	12.69

รูปที่ 4.104 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM8 TR3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลังจันทน์, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingschan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443, 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No.	: DNT15JAN0047	Date Sampling	: December 23, 2014
Customer	: Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test	: December 24, 2014
Equipment ID	: TR-3 PM#8	Sampling point	: Main Tank
Manufacturer.	: Thai Maxwell	Oil Temperature	: Bottom = 32 °C Top = 46 °C
Serial No.	: 220231405	Instrument	: Gas Chromatography
Rated power	: 2000 kVA	Test method	: ASTM 3612
Rated voltage	: 6600/480 V	Test by	: DNT Laboratory & Research
Date MFG.	: N/A	Other	: -

DGA. Measurement Results				
Sampling date	29-Aug-14	23-Dec-14		
Test date	01-Sep-14	24-Dec-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	3	6	0.0	< 1800
CH4(Methane)	2	3	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	324	228	-0.8	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	4893	6120	10.6	< 10000
C2H4(Ethylene)	45	16	-0.3	< 200
C2H6(Ethane)	0	2	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	15400	22676	-62.7	
N2(Nitrogen)	50812	55046	36.5	
TDCG	374	255	-1.0	< 4630
CO2/CO	15.11	26.80		3 < R < 10

รูปที่ 4.105 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM8 TR3

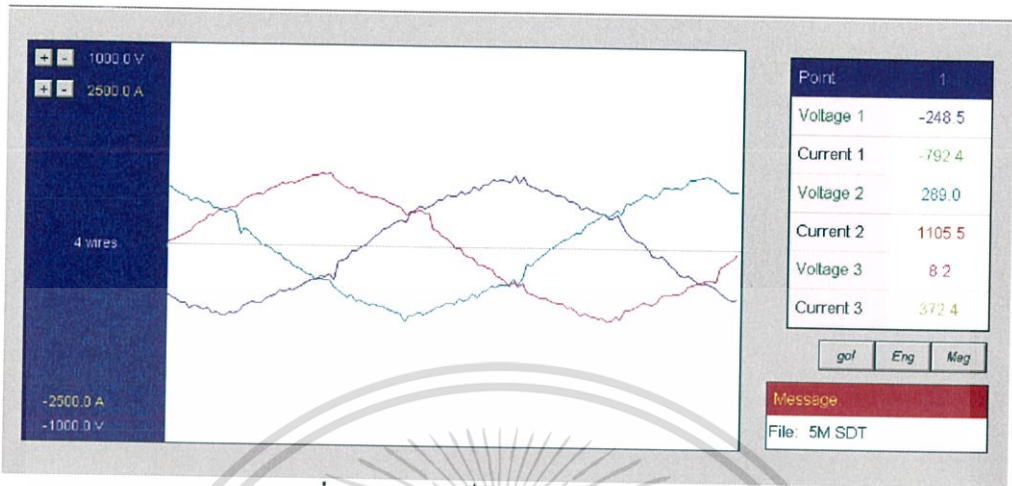
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM8-TR3 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 9.81% และ %THDi มีค่า 29.23% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM9-TR4 ขนาด 1500 kVA

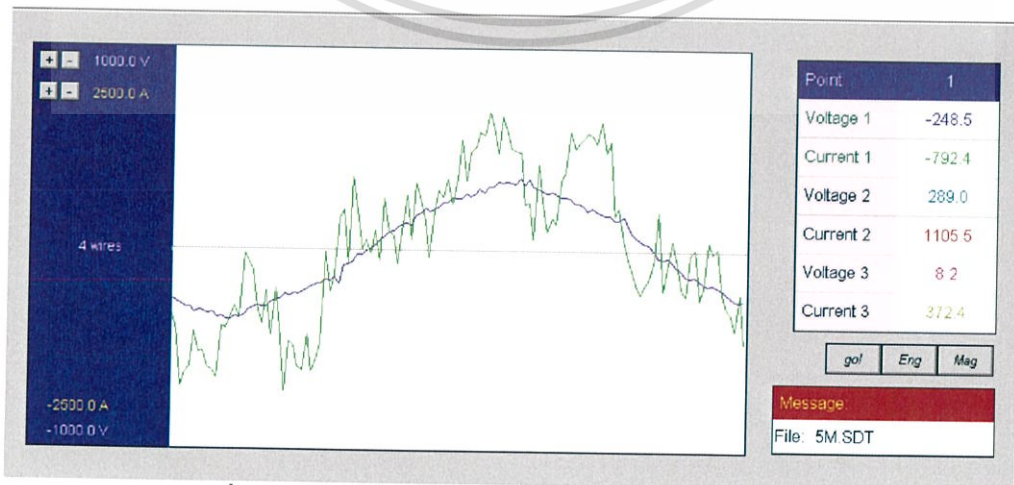
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.106 รูปคลื่นแรงดันของ PM9 TR4



รูปที่ 4.107 รูปคลื่นกระแสของ PM9 TR4

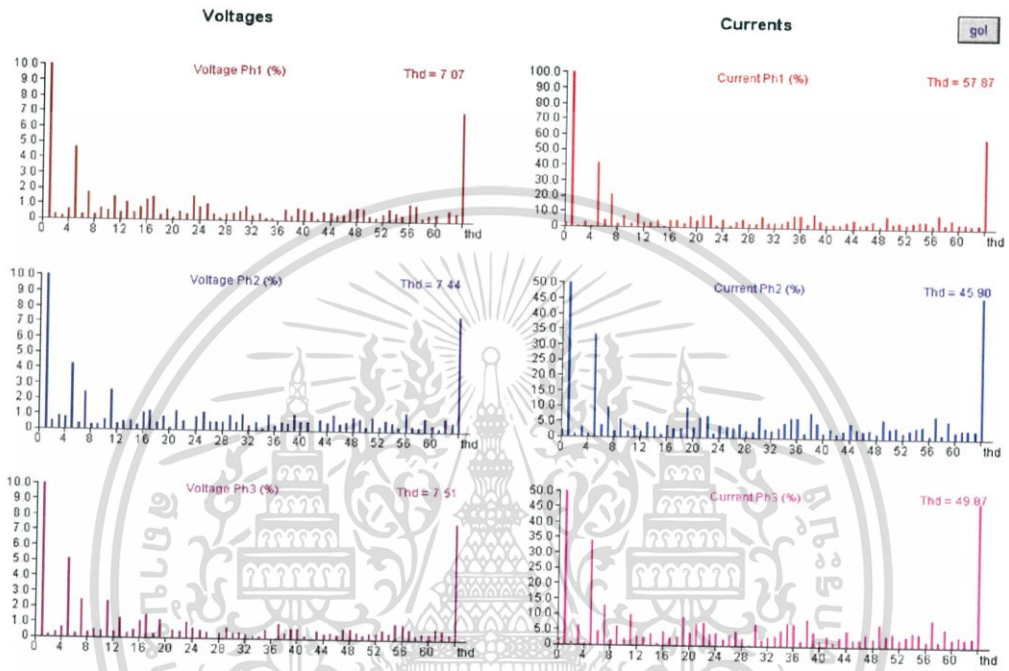


รูปที่ 4.108 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM9 TR4

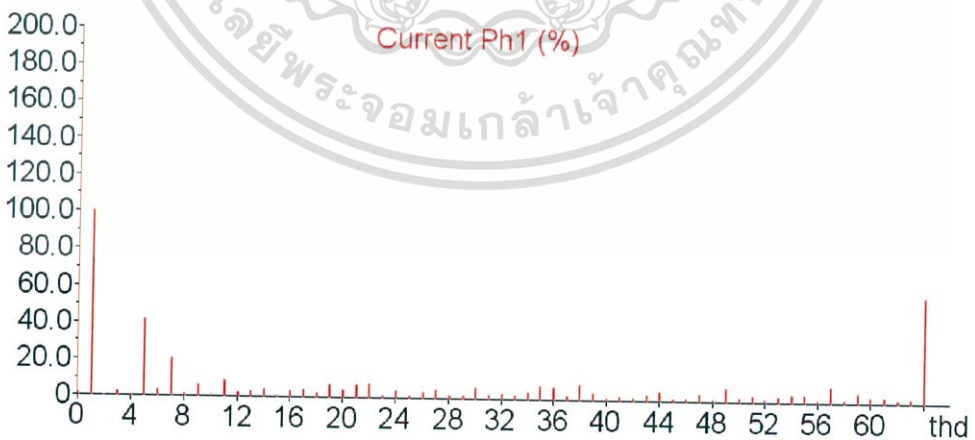
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	228.90	923.614	7.07	57.87	397.91	211.412	181.815	107.881	0.860	i
Ph2	230.82	864.030	7.44	45.90	398.76	199.435	180.569	84.671	0.905	i
Ph3	231.07	877.034	7.51	49.87	398.91	202.657	178.115	96.669	0.879	i
Tot	Null	222.286				613.015	540.499	289.221	0.88	i
										50.05

รูปที่ 4.109 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM9 TR4



รูปที่ 4.110 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM9-TR4




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	4.67	10.66	41.73	333.50	4.23	9.74	33.12	259.94	5.10	11.76	33.92	266.12
7	1.71	3.90	20.97	167.59	2.40	5.53	9.38	73.63	2.45	5.64	12.60	98.89
11	1.47	3.35	9.11	72.82	2.57	5.91	3.67	28.81	2.34	5.39	9.82	77.07
13	1.08	2.48	3.08	24.61	0.53	1.22	4.72	37.06	1.26	2.90	2.37	18.62

รูปที่ 4.111 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM9 TR4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งจั่น, กรุงเทพมหานคร 10170	
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talingchan, Bangkok 10170	
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942	
Report No. : DNT14SEP1141	Customer : Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date Sampling : August 29, 2014
Equipment ID : TR-4 PM#9	Manufacturer : TIRATHAI	Date test : September 2, 2014
Serial No. : 4911684	Rated power : 1500 kVA	Sampling point : Main Tank
Rated voltage : 22000/400/230 V	Date MFG. : 2006	Oil Temperature : Bottom = 38 °C Top = 60 °C
		Instrument : Gas Chromatography
		Test method : ASTM 3612
		Test by : DNT Laboratory & Research
		Other : -

DGA. Measurement Results			
Sampling date	29-Aug-14		
Test date	02-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	5	0.0	< 1800
CH4(Methane)	19	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	148	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	4030	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	4	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	0	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	5041	-0.1	
N2(Nitrogen)	72917	1.7	
TDCG:	167	0.0	< 4630
CO2/CO:	27.23		3 < R < 10

รูปที่ 4.112 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM9 TR4

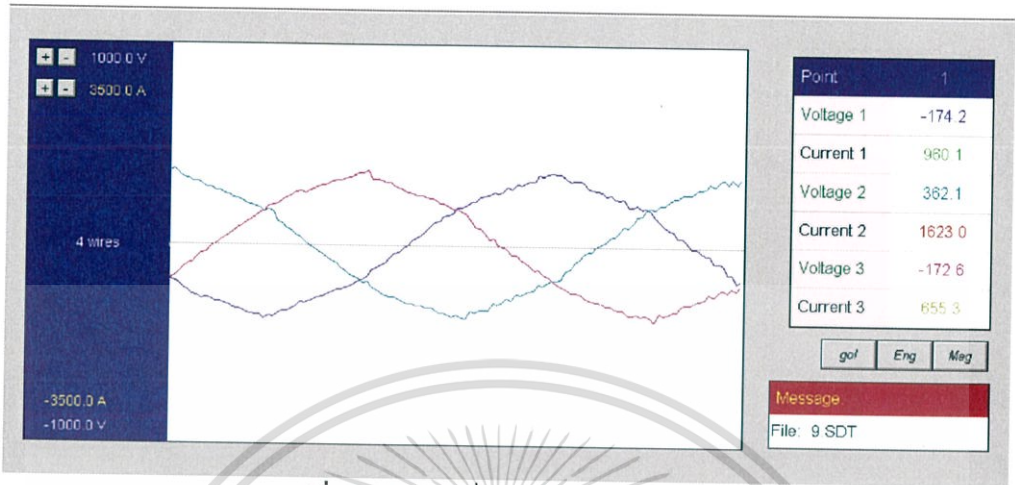
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM9-TR4 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDv มีค่า 7.07% และ %THDi มีค่า 57.87% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีความเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

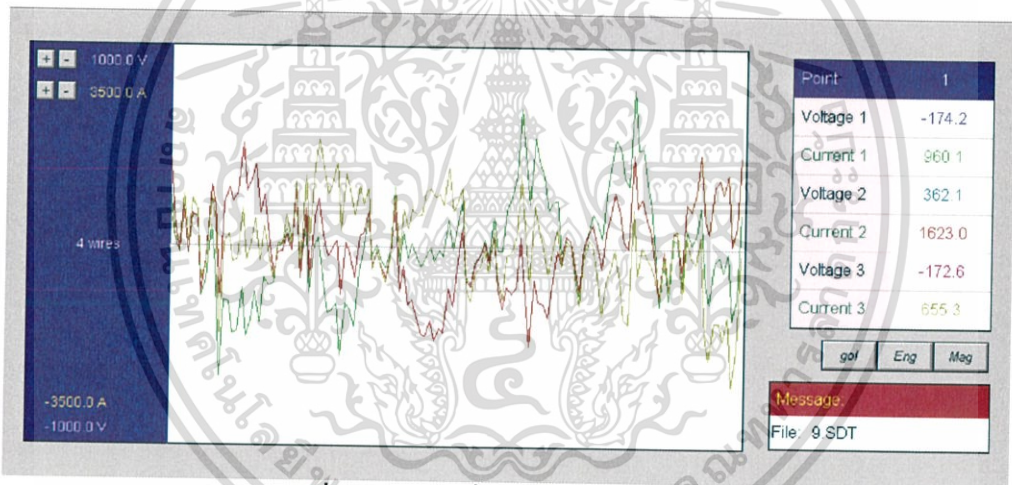
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM9-TR5 ขนาด 1500 kVA

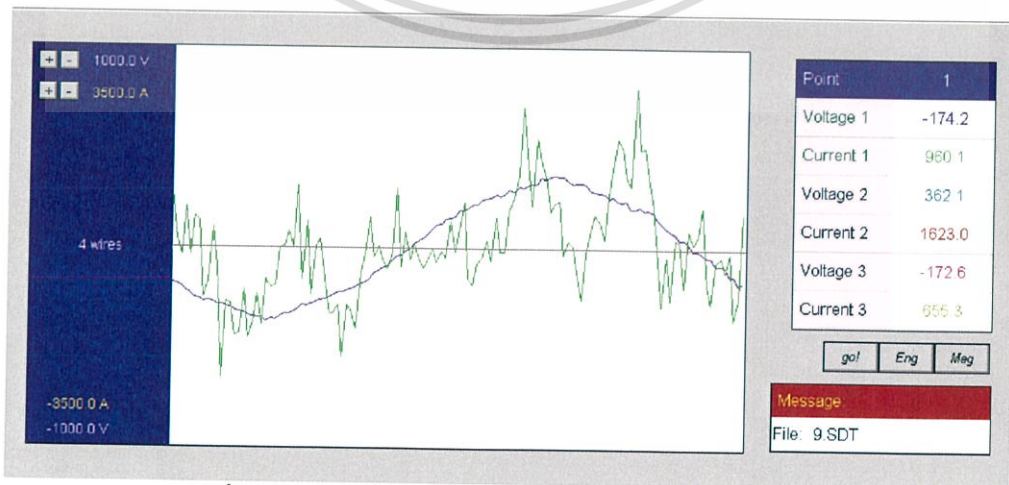
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.113 รูปคลื่นแรงดันของ PM9 TR5



รูปที่ 4.114 รูปคลื่นกระแสของ PM9 TR5

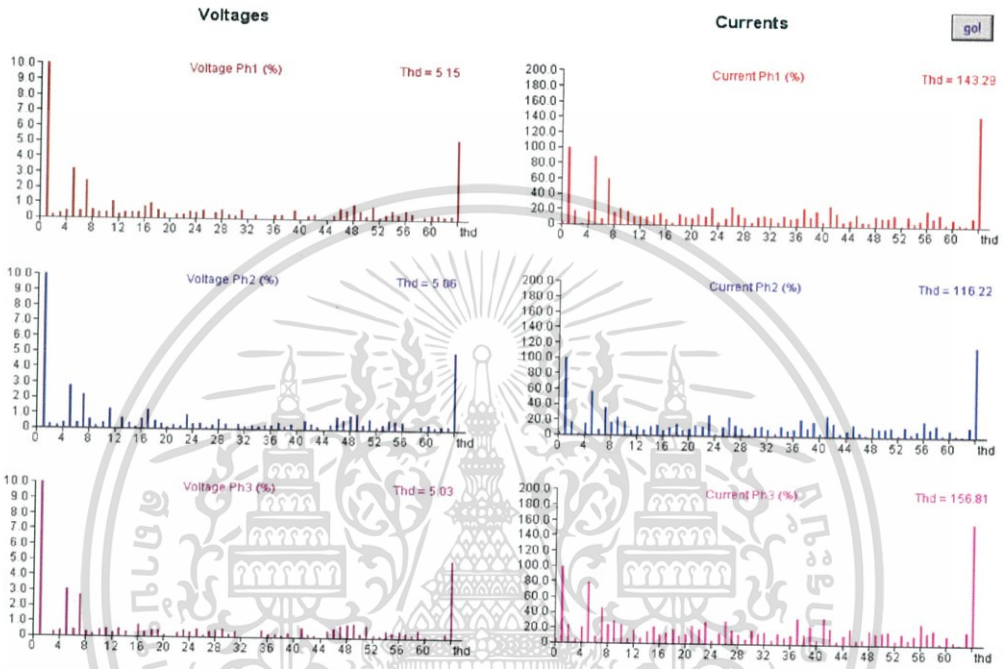


รูปที่ 4.115 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM9 TR5

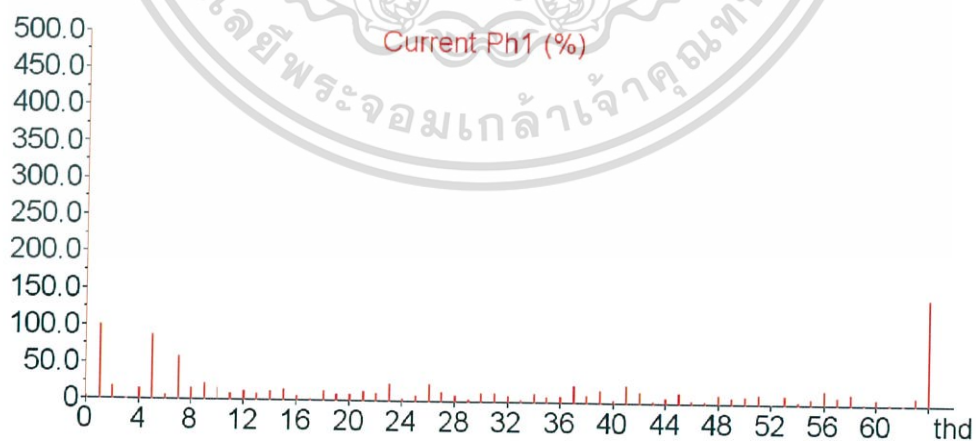
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	Uxx	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	237.74	886.873	5.15	143.29	409.94	210.849	116.901	175.475	0.554	i
Ph2	236.09	783.090	5.06	116.22	409.40	184.882	119.001	141.493	0.644	i
Ph3	236.03	783.208	5.03	156.81	409.71	184.863	97.311	157.179	0.526	i
Tot	Null	6106.342				579.522	333.213	474.146	0.57	i
										50.02

รูปที่ 4.116 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM9 TR5



รูปที่ 4.117 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM9 TR5




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	3.17	7.53	87.46	442.78	2.76	6.51	56.04	285.42	3.08	7.26	78.35	328.87
7	2.44	5.78	59.24	299.92	2.19	5.16	35.82	182.46	2.68	6.31	45.27	190.01
11	1.08	2.57	9.57	48.43	1.25	2.94	6.62	33.70	0.50	1.18	6.40	26.85
13	0.34	0.81	9.85	49.87	0.71	1.67	7.80	39.70	0.51	1.21	7.96	33.41

รูปที่ 4.118 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM9 TR5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นเทรกรุป จำกัด	64/126, ซอยฉิมพลี14, ถนนฉิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee14, Chimplee, Talangchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No.	: DNT14SEP1142	Date Sampling	: August 29, 2014
Customer	: Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test	: September 2, 2014
Equipment ID	: TR-5 PM#9	Sampling point	: Main Tank
Manufacturer	: TIRATHAI	Oil Temperature	: Bottom = 35 °C Top = 50 °C
Serial No.	: 4911626	Instrument	: Gas Chromatography
Rated power	: 1500 kVA	Test method	: ASTM 3612
Rated voltage	: 22000/400/230 V	Test by	: DNT Laboratory & Research
Date MFG.	: 2006	Other	: -

DGA. Measurement Results			
Sampling date	29-Aug-14		
Test date	02-Sep-14	ppm/day	Limits (L3)
H2(Hydrogen)	17	0.0	< 1800
CH4(Methane)	17	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	256	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	3629	0.1	< 10000
C2H4(Ethylene)	14	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	1	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	4622	-0.1	
N2(Nitrogen)	74368	1.8	
TDCG:	305	0.0	< 4630
CO2/CO:	14.20		3 < R < 10

รูปที่ 4.119 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM9 TR5

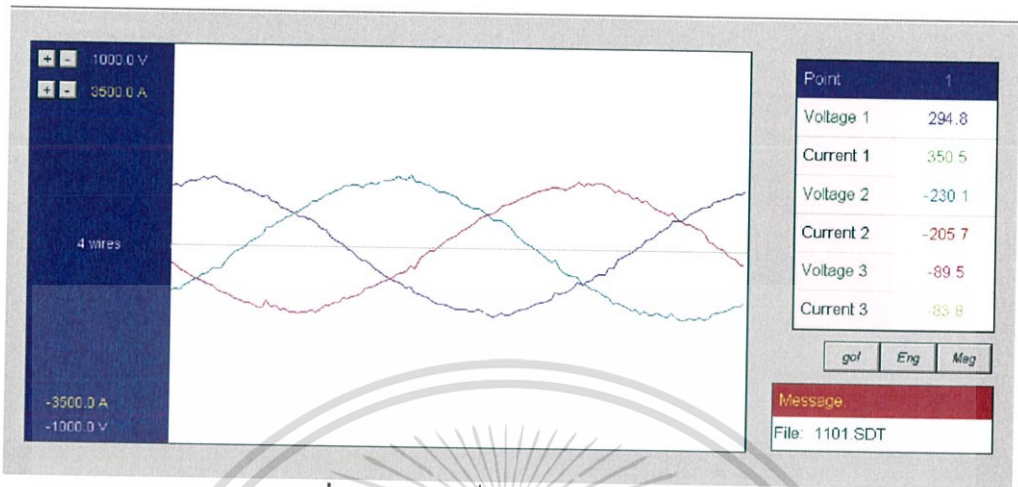
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM9-TR5 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องฮาร์โมนิกส์จากรางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDi มีค่า 143.29% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

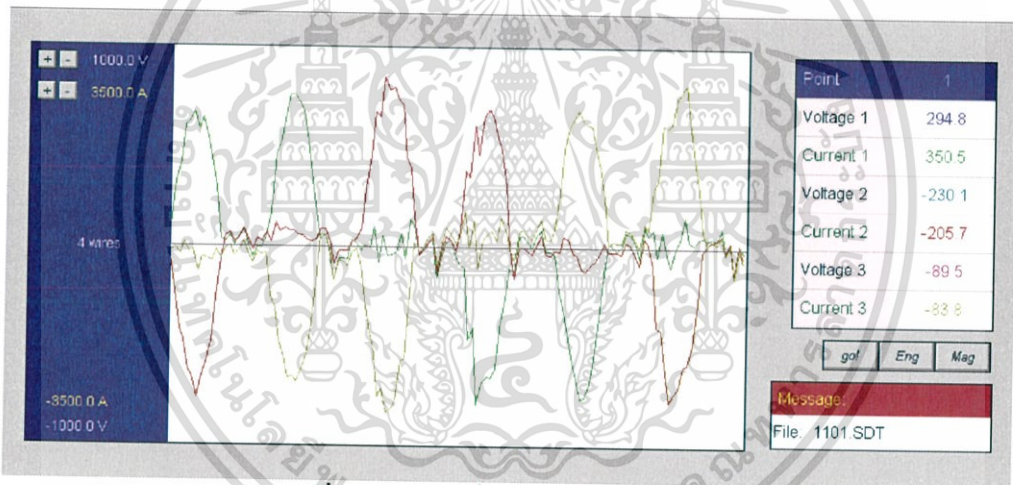
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หม้อแปลงไฟฟ้า PM9-TR7 ขนาด 2000 kVA

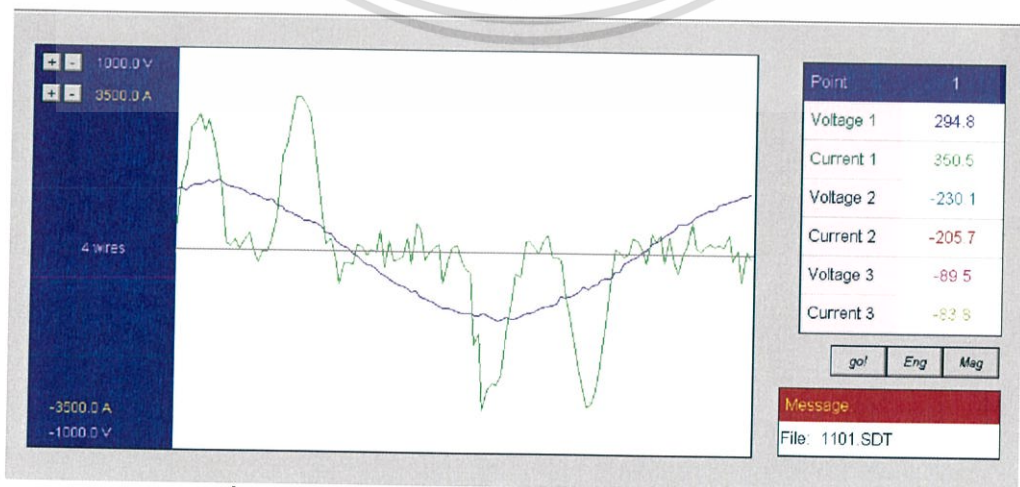
1. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญทางไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.120 รูปคลื่นแรงดันของ PM9 TR7



รูปที่ 4.121 รูปคลื่นกระแสของ PM9 TR7

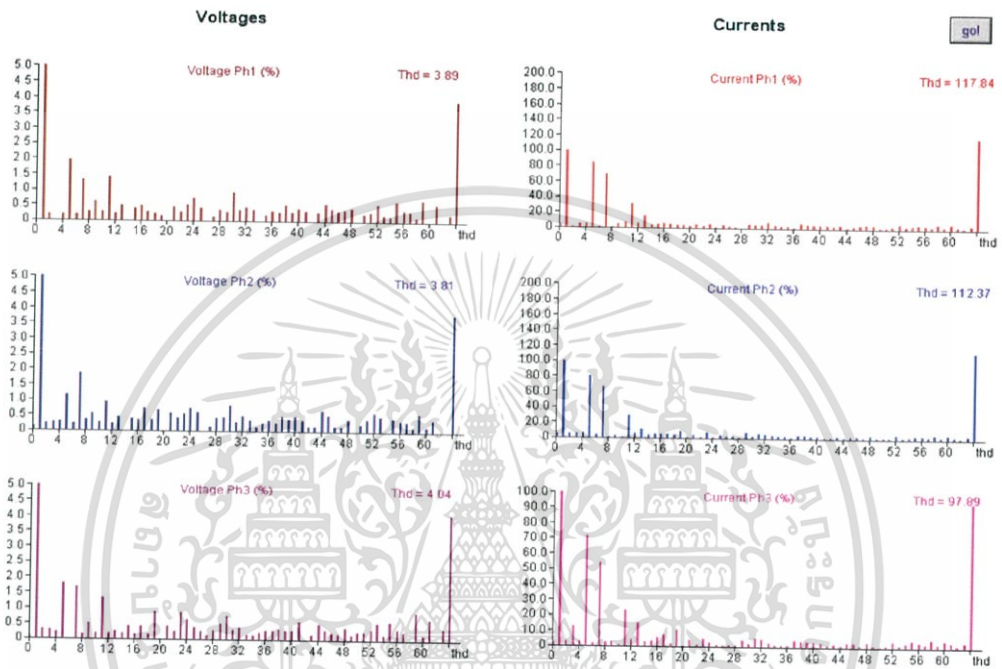


รูปที่ 4.122 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเฟส A ของ PM9 TR7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Urms (V)	Irms (A)	thdU (%)	thdI (%)	U _{xx}	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	Pf	Freq
Ph1	227.09	1101.005	3.89	117.84	399.21	250.024	144.924	203.737	0.580	i
Ph2	237.09	1154.794	3.81	112.37	399.70	273.784	169.574	214.948	0.619	i
Ph3	228.10	1181.378	4.04	97.89	399.46	269.469	172.849	206.729	0.641	i
Tot	/ null	12035.597				792.874	487.346	625.414	0.61	i
										49.94

รูปที่ 4.123 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดของ PM9 TR7



รูปที่ 4.124 สเปกตรัมฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสของ PM9 TR7




Point	U1 (%)	U1 (V)	I1 (%)	I1 (A)	U2 (%)	U2 (V)	I2 (%)	I2 (A)	U3 (%)	U3 (V)	I3 (%)	I3 (A)
5	1.94	4.39	84.48	601.32	1.15	2.72	80.71	618.90	1.77	4.04	71.29	601.54
7	1.31	2.97	68.26	485.85	1.85	4.38	86.40	509.14	1.69	3.85	53.94	455.10
11	1.41	3.19	32.09	228.40	0.93	2.19	28.54	218.87	1.34	3.05	23.39	197.32
13	0.46	1.04	14.58	103.79	0.44	1.03	11.59	88.86	0.25	0.56	15.32	129.22

รูปที่ 4.125 สเปกตรัมฮาร์โมนิกกระแสของ PM9 TR7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงด้วย DGA Analysis

บริษัท ดาต้าเอ็นทรีกรุ๊ป จำกัด	64/126, ซอยจิมพลี 14, ถนนจิมพลี, คลิ่งชัน, กรุงเทพฯ 10170		
DATA ENTRY GROUP CO.,LTD.	64/126, Chimplee 14, Chimplee, Talingchan, Bangkok 10170		
	Tel : (662) 448-5443 , 884-1941 Fax : (662) 884-1942		
Report No. :	DNT14SEP1144	Date Sampling :	August 29, 2014
Customer :	Siam Kraft Industry Co., Ltd.	Date test :	September 2, 2014
Equipment ID :	TR-7 PM#9	Sampling point :	Main Tank
Manufactur. :	TIRATHAI	Oil Temperature :	Bottom = 34 °C Top = 44 °C
Serial No. :	4911624	Instrument :	Gas Chromatography
Rated power :	2000 kVA	Test method :	ASTM 3612
Rated voltage :	22000/400/230 V	Test by :	DNT Laboratory & Research
Date MFG. :	2006	Other :	-
DGA. Measurement Results			
<u>Sampling date</u>	29-Aug-14		
<u>Test date</u>	02-Sep-14	ppm/day	<u>Limits (L3)</u>
H2(Hydrogen)	22	0.0	< 1800
CH4(Methane)	8	0.0	< 1000
CO(Carbon Monoxide)	71	0.0	< 1400
CO2(Carbon Dioxide)	1473	0.0	< 10000
C2H4(Ethylene)	5	0.0	< 200
C2H6(Ethane)	4	0.0	< 150
C2H2(Acetylene)	0	0.0	< 80
O2(Oxygen)	5342	-0.1	
N2(Nitrogen)	71498	1.7	
TDCG:	110	0.0	< 4630
DU2/DU:	20.74		3 < K < 10

รูปที่ 4.126 ผลทดสอบ DGA ของหม้อแปลง PM9 TR7

3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลง PM9-TR7 จากบริษัท Siam Kraft Industry Co, Ltd ได้ผลการทดสอบ Dissolved Gas Analysis พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ สามารถบำรุงรักษาหม้อแปลงได้ตามปกติ ส่วนผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องฮาร์โมนิกส์จากตารางข้างต้นพบว่า มีความผิดปกติที่ค่า %THDi มีค่า 117.84% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEEE519-1992 แล้วถือว่ามีค่าเกินกว่าจากค่าที่มาตรฐานกำหนด

ระหว่างฮาร์โมนิกส์กับความถี่ของฉนวนหม้อแปลง

5 th	7 th	8 th	9 th	
(A)	(A)	(A)	(A)	C ₂ H ₂
13.20	8.80	6.60	3.70	-
159.73	43.50	23.40	2.15	-
331.21	32.69	33.94	12.23	-
94.55	64.24	64.64	13.88	-
344.03	79.30	72.58	3.74	-
378.52	56.09	62.88	4.44	-
261.65	24.94	34.63	15.96	-
372.85	110.35	70.63	49.36	-
284.94	82.29	72.30	29.18	-
255.53	106.42	42.76	32.84	-
175.83	127.69	60.17	40.20	-
136.68	66.40	66.36	18.89	-
137.28	102.12	10.85	18.36	-
301.60	63.23	78.13	32.16	-
186.42	19.16	39.10	16.82	-
333.50	167.59	72.82	24.61	-
442.78	299.92	48.43	49.87	-
601.32	485.85	228.40	103.79	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการทดสอบ

จากการศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลง ได้ทำการตรวจวัดฮาร์โมนิกส์และทำการทดสอบฉนวนน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยกัน 3 วิธีคือ Duval Triangle, Keys Gas Ratio, IEC60599 Ratio พบว่า การแปลผลของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงที่ได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์นั้นมีด้วยกันหลักๆ 3 อย่าง คือ T1(Thermal fault อุณหภูมิต่ำกว่า 300 °C) มีการแปลผลทางDGA คือ ขึ้นส่วนบางส่วนเกิดการติดขัดทำให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายและเกิดความร้อนขึ้น ,T2(Thermal fault อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 300 และ 700 °C) มีข้อบกพร่องบริเวณหน้าสัมผัสของจุดเชื่อมต่อทำให้เกิดแรงดันตกซึ่งเป็นผลทำให้หม้อแปลงเกิดความร้อน ,T3(Thermal fault อุณหภูมิสูงกว่า 700 °C)เกิดกระแสไหลวนอย่างมากในตัวถังหรือแกนเหล็ก ซึ่งจากการแปลผลดังกล่าวเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่หม้อแปลงได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ผลส่วนของ DGA นั้นนอกจากจะอ้างอิงมาจากมาตรฐานมาแล้วแต่ก็ยังไม่อาจไม่ครอบคลุมมากพอยังต้องอาศัยประสบการณ์เพิ่มเติมด้วยเพื่อประสิทธิภาพในการแปลผลในการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าและที่สำคัญอีกประการหนึ่งถ้าอยากได้ข้อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์กับการเสื่อมสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีประสิทธิผลจะต้องทำการทดสอบเก็บข้อมูลในทุกๆปี เพื่อเก็บสถิติและรวบรวมข้อมูลเพื่อหาข้อสรุปได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพื่อนำไปสู่การหาแนวทางแก้ไขปัญหาและหาวิธีการป้องกันเพื่อบำรุงรักษาและยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงอย่างถูกวิธี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas Blooming and Daniel J. Carnovale, P.E. "Application of IEEE Std 519-1992 Harmonic Limits," IEEE IAS Atlanta Section, September 17, 2007
http://ewh.ieee.org/r3/atlanta/ias/IEEE_519.pdf
- [2] ชาตือริยะ ประเสริฐสังข์ และคณะ, "แนวทางปฏิบัติต่อฮาร์โมนิกส์รีโซแนนซ์เพื่อประยุกต์ใช้งานกับการต่อขนานของคาปาซิเตอร์," ปรึญญาพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553.
- [3] K. Sakchai, "ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า (Harmonics in power system),"
http://www.9engineer.com/ee_main/Article/Harmonic.htm
- [4] Maria IsableMilanes Montero, "Comparison of control Strategies for Shunt Active Power Filter in Three-phase Four-Wire System," IEEE TRANSACTION ON POWER ELECTRONICS., Vol. 22, No.1, 2007, pp. 229-236.
- [5] "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems," IEEE Standard 519-1992, Published by IEEE, 1992.
- [6] มนตรี ไชคินี, "กระแสฉวรัลที่สูงเกินเนื่องจากโหลดประเภท Nonlinear Load,"
www.thailandindustry.com, 2550.
- [7] , "ผลกระทบของฮาร์โมนิกต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์," powerquality-thailand.blogspot.com, 2553.
- [8] Tony R. Kuphaldt, "Resonant filters,"
http://www.opamp-electronics.com/tutorials/resonant_filters_2_08_06.htm
- [9] "Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters," IEEE 519, 1981.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม . มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง. มอก. 384-2524
- [11] สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร. : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2528
- [12] IEEE Guide for the interpretation of gases generated in Oil-Immered Transformers (IEEE Std. C57. 104-1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

Effect of Power System Harmonic on Degradation Process of Transformer Insulation System

นนกฤษ เขมาภิรตย์ นิธิฉัฐ ประสงค์ดี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478 E-mail: nonnagrit_kem@hotmail.com

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอถึงผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยหลักแล้วมีสาเหตุมาจากการใช้งานโหลดประเภท Nonlinear ได้แก่พวก AC/DC Drive จนทำให้เกิดปัญหาฮาร์โมนิกส์ไหลเข้าสู่ระบบและอาจจะไหลเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าของเราได้ ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอันเนื่องมาจากผลของฮาร์โมนิกส์เข้าไปสู่น้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้าของเรา โดยความร้อนที่เข้าไปจะไปสลายพันธะโมเลกุลในโครงสร้างของน้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดเป็นแก๊สที่อุณหภูมิต่างกันไป ดังนั้นเราจึงจะตรวจสอบและวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวโดยอาศัยวิธี DGA (Dissolved Gas Analysis) เพื่อดูปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงที่อุณหภูมิต่างๆว่าเกิดแก๊สอะไรบ้างและมีปริมาณเท่าใด และนำข้อมูลดังกล่าวมาแปลผลค่าที่ได้จากวิธี DGA เพื่อแก้ไขปัญหาและหาวิธีป้องกันการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้าในอนาคตของเราได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : คุณภาพกำลังไฟฟ้า, ฮาร์โมนิกส์, DGA

Abstract

A paper will present to you the effects of electrical harmonics on the degradation process of transformer insulation and how it is related to each other. Which is mainly focused on the system that is heavily consisted of non-linear electrical load like AC/DC motor drive that cause problems to the transformer. The rising of temperature in the transformer from the harmonics, causing the transformer's oil to heat up and de-bonding the molecular structure which is turned in to many different type of gasses depended on the corresponding temperature. By Analyzing the mentioned problem using DGA (Dissolved Gas Analysis) Method to determine the amount and type of each gas and produce a result to choose the suitable solution to maintain a good condition of the transformer

Keywords : Power quality, Harmonics, DGA

1. บทนำ

ฮาร์โมนิกส์เกิดจากโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) ซึ่งการวัดค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ามีจุดประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบระดับการรบกวนแรงของฮาร์โมนิกส์ ณ จุดที่วัดว่าอยู่ในระดับใด และจะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด หม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไปมีอายุการใช้งานประมาณ 25-30 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการบำรุงรักษา ภายในเช่น การเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษ น้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้า ถ้ามีอุณหภูมิสูงก็จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในหม้อแปลง เมื่อใช้หม้อแปลงไปนานๆจะต้องมีการตรวจสอบสภาพหม้อแปลงเพื่อประเมินอายุการใช้งานของหม้อแปลง

ดังนั้นจากที่กล่าวถึงเรื่องของฮาร์โมนิกส์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมาข้างต้นแล้ว ทำให้ทางกลุ่มต้องการที่จะศึกษาผลของฮาร์โมนิกส์ว่ามีผลอย่างไรกับความเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยอาศัยหลักการทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ของน้ำมัน DGA (Dissolved Gas Analysis) โดยมีทั้งหมด 3 วิธีดังนี้ Duval Triangle ,IEC60599 ratio และ Keys gas

2. การวิเคราะห์ตรวจจับปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง (DGA TEST)

DGA (Dissolve gas analysis) เป็นการวิเคราะห์ชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะของแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำมันซึ่งจะบ่งบอกชนิดของ fault ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าได้โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับข้อมูลทางสถิติ การทดสอบด้วย DGA ถือว่าเป็นการทดสอบที่มีประโยชน์มากและมักจะทำเป็นอย่างแรกเพื่อหาข้อสรุปว่ามี fault เกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไร

3. ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์และความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง

ความร้อนที่สูงขึ้นผิดปกตินี้เป็นผลมาจากกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss/Eddy current loss) และลวดตัวนำ (Copper loss) ที่เพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากกระแสที่ไหลมีส่วนประกอบฮาร์โมนิกที่เป็นความถี่สูง ซึ่งกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กแปรผันตรงกับความถี่ที่ใช้ งานและผลของ Skin effect ของลวดตัวนำจะทำให้ค่าความต้านทานของตัวนำสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูงไหลผ่านทำให้กำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียในลวดตัวนำสูงขึ้นตามความถี่หรืออันดับของฮาร์โมนิกที่ทำงานนั้นเอง โดยอธิบายความสัมพันธ์ได้ตามสมการด้านล่าง

$$P_T = P_C + P_{Cu} \tag{1}$$

$$P_C = P_{C-R} \times \sum_{h=1}^{h_{max}} h^2 \left(\frac{I_h}{I_R}\right)^2 \tag{2}$$

$$P_{Cu} = R_{Cu} \times \sum_{h=1}^{h_{max}} (I_{h,rms})^2 \tag{3}$$

เมื่อ P_T = กำลังสูญเสียในหม้อแปลงทั้งหมด. watt

P_e = กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก .watt

P_{Cu} = กำลังสูญเสียในขดลวด. watt

h = ลำดับฮาร์โมนิกส์

I_h = กระแสฮาร์โมนิกส์แต่ละอันดับ. Amp

4. การออกแบบและประกอบสร้าง

ปัญหาของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการใช้งานกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Load) ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้นั้นมีปริมาณมากขึ้นซึ่งทำให้ระบบเกิดความเสียหายขึ้นได้และส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเกิดการเสื่อมสภาพอีกด้วย โดยในบทนี้จะขอกล่าวถึงผลการทดสอบเพื่อศึกษาเกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ว่าจะส่งผลกระทบต่อหม้อแปลงไฟฟ้า โดยสามารถดำเนินการได้โดยไปเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Load) โดยโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ Phase Power Convertors เช่น AC/DC Drive

Arcing Devices เช่น เครื่องเชื่อมต่างๆ, Saturable Devices เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถอ้อมตัวได้

จากข้อมูลข้างต้น จึงได้ทำการศึกษาคำอย่างน้ำมันหม้อแปลงถึงการเสื่อมสภาพว่ามีสาเหตุอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์หรือไม่อย่างไรจากแหล่งตัวอย่างที่มีโอกาสเกิดฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นได้แก่ AC/DC Drive, Arcing Device, UPS Computer

4.1 ขั้นตอนการเก็บค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

หลักการทำกรวดโดยการใช้อุปกรณ์มือวัดเพื่อเก็บข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Power Link เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้กับมาตรฐานการไฟฟ้าเพื่อหาความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิกส์กับผลการทดสอบการวิเคราะห์แก๊สเจ็บบนน้ำมันหม้อแปลงโดยวิธี DGA

4.2 ขั้นตอนการทดสอบน้ำมันหม้อแปลงด้วยวิธี DGA

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหม้อแปลง (Sampling) โดยการดูดน้ำมันจากหม้อแปลงไฟฟ้าใส่หลอดทดลอง (Syringe) จากนั้นนำน้ำมันที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาเข้าเครื่องตรวจ DGA เพื่อหาปริมาณแก๊สและท่า

การวิเคราะห์และหาข้อสรุปผลถึงปริมาณแก๊สที่ได้ด้วยวิธี Key Gas ratio, Duval Triangle และ IEC 60599 Gas Ratio

5. ผลการศึกษา

ศึกษาจากโรงงานที่มีปัญหาทางด้านฮาร์โมนิกส์ ดังนี้

โรงงานที่ 1 SIAM YAMATO STEEL (โรงงานผลิตเหล็ก)

โรงงานที่ 2 SIAM KRAFT INDUSTRY (โรงงานกระดาษเครือSCG)

ตารางที่ 1 สรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์กับการแปลผล DGA

location	ID	%THDv	%THDi	Interpretation		
				KeyGas	Duval	IEC60599
SYS	TR6	1.28	2.30	Normal	T3	T3
SK (PM4)	TR3	9.68	43.72	Normal	T3	-
	TR4	11.67	29.93	Normal	T3	T3
	TR5	10.67	12.61	Normal	T3	-
SK (PM5)	TR3	10.26	149.26	Normal	T3	-
	TR4	10.45	106.28	Normal	T3	T3
	TR5	13.85	142.62	Normal	T2	T3
SK (PM6)	TR3	10.77	31.63	Normal	T1	-
	TR4	9.32	38.21	Over heat	T3	T1
	TR5	13	46.09	Normal	T3	-
SK (PM7)	TR3	8.99	26.19	Normal	T3	-
	TR4	10.15	20.10	Over heat	T3	T3
	TR5	6.19	81.07	Normal	T3	T3
SK (PM8)	TR2	9.91	27.03	Normal	T3	-
	TR3	9.39	253.73	Normal	T2	-
SK (PM9)	TR4	7.34	51.21	Normal	T2	-
	TR5	5.08	138.77	Normal	T2	-
	TR7	3.91	109.37	Normal	T3	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่ากระแสฮาร์โมนิกแต่ละอันดับ

Location	ID	5 th (A)	7 th (A)	11 th (A)	13 th (A)
SYS	TR6	13.20	8.80	6.60	3.70
SK (PM4)	TR3	159.73	43.50	23.40	2.15
	TR4	331.21	32.69	33.94	12.23
	TR5	94.55	64.24	64.64	13.88
SK (PM5)	TR3	344.03	79.30	72.58	3.74
	TR4	378.52	56.09	62.88	4.44
	TR5	261.65	24.94	34.63	15.96
SK (PM6)	TR3	372.85	110.35	70.63	49.36
	TR4	284.94	82.29	72.30	29.18
	TR5	255.53	106.42	42.76	32.84
SK (PM7)	TR3	175.83	127.69	60.17	40.20
	TR4	136.68	66.40	66.36	18.89
	TR5	137.28	102.12	10.85	18.36
SK (PM8)	TR2	301.60	63.23	78.13	32.16
	TR3	186.42	19.16	39.10	16.82
SK (PM9)	TR4	333.50	167.59	72.82	24.61
	TR5	442.78	299.92	48.43	49.87
	TR7	601.32	485.85	228.40	103.79

หมายเหตุ ปัญหาของกระแสฮาร์โมนิกต่อหม้อแปลงไฟฟ้า คือ ทำให้กำลังงานสูญเสียของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นทั้งจากลวดคั่นน้ำและแกนแม่เหล็ก กระแสฮาร์โมนิกที่ไหลอยู่ในระบบจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในสายคั่นน้ำมากขึ้นเนื่องจากกระแสฮาร์โมนิกทำให้ค่ากระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น และทำให้เกิดกำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์แก้ค่าตัวประกอบกำลัง (Capacitor Bank) ทำให้เกิดความร้อน

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณแก๊สที่วัดได้จากเครื่องทดสอบ ASTM D3612

location	ID	DGA RESULT (PPM) . TEST METHOD BY ASTM 3612						
		C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂
SYS	TR6	-	61.16	-	1.85	391	3192	-
SK (PM4)	TR3	-	49.27	-	1.11	402	9111	3.37
	TR4	-	63.41	2.55	2.04	237.2	5211	-
	TR5	-	48.88	-	3.19	190.7	3903	7.93
SK (PM5)	TR3	-	16.87	-	2.27	313.4	8070	5.04
	TR4	-	103.1	-	2.52	361.7	6488	3.39
	TR5	-	54.55	-	2.67	287.3	7021	6.84
SK (PM6)	TR3	-	28.55	-	2.68	175.6	2472	3.43
	TR4	-	17.89	153.9	105.5	445.2	2466	12.27
	TR5	-	2.05	-	5.07	224	2733	7.54
SK (PM7)	TR3	-	36.65	-	4.04	224.6	3746	3.83
	TR4	-	754.1	145.8	139	272.3	6936	6.14
	TR5	-	64.96	-	1.77	251.6	3455	-
SK (PM8)	TR2	-	9.58	-	1.79	184.3	2119	-
	TR3	-	16.11	1.86	3.07	228.4	6120	6.17
	TR4	-	4.27	-	9.92	148.1	4030	5.09
SK (PM9)	TR5	-	13.90	1.06	17.30	255.6	3629	16.64
	TR7	-	5.33	3.58	7.53	70.53	1472	22.03

หมายเหตุ การแปลผลจาก Code จากมาตรฐาน IEC 60599 มีดังนี้

Code ที่ 1 PD (Partial Discharges)

มีอาการคือ กระจายมีความชื้นสูง, มีฟองอากาศในน้ำมันหรือสภาพความอืดคั่งซึ่งขาดในน้ำมัน

Code ที่ 2 D1 (Discharges พลังงานต่ำ)

มีอาการคือ การสปาร์กหรือการอาร์คของบริเวณ การแตกหักของรอยเชื่อม, วงแหวนซิลด์, ทอรอยด์, ชุดของขดลวดที่อยู่ติดกัน, ขดลวดคั่นน้ำ

Code ที่ 3 D2 (Discharges พลังงานสูง)

มีอาการคือ การอาร์คเฉพาะพื้นที่ด้วยพลังงานสูงหรือด้วยกำลังไฟฟ้าไหลอย่างต่อเนื่องการลัดวงจรของบริเวณ เช่น ด้านไฟฟ้าแรงดันต่ำกับกราวด์, จุดต่อ / ขดลวด / บุขซึ่งและค้ำถั่ง, บัสบาร์ทองแดงและค้ำถั่ง, ขดลวดและแกนเหล็ก, รอยทางไหม้ (Tracking)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code ที่ 4 T1 (Thermal fault < 300 °C)

มีอาการคือ การใช้งานหม้อแปลงเกินกำลังในสภาวะฉุกเฉินมีสิ่งอุดกั้นที่จำกัดการไหลเวียนของน้ำมันในระบบขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กค้ำในคานยึดลวดการสั้นของแกนเหล็ก

Code ที่ 5 T2 (Thermal fault 300-700 °C)

มีอาการคือ ความบกพร่องของบริเวณ เช่น หน้าสัมผัสของน็อดชิด (โดยเฉพาะระหว่างบัสบาร์อะลูมิเนียม), หน้าสัมผัสแบบเคลื่อนที่ (gliding contact), หน้าสัมผัสภายใน selector switch (โดยคาร์บอนที่ถูกสร้างจากการเผาไหม้)

Code ที่ 6 T3 (Thermal fault >700 °C)

มีอาการคือ กระแสไหลวนปริมาณมากบนตัวถังและแกนเหล็ก, กระแสปริมาณไม่มากนักที่ปรากฏบนตัวถังอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กปริมาณสูงที่ไม่ได้รับการหักล้างออกไป, การลัดวงจรระหว่างแผ่นเหล็กบางที่ซ้อนเรียงเป็นแกนเหล็ก

6. สรุปการทดสอบ

จากการศึกษาผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังต่อการเสื่อมสภาพของฉนวนหม้อแปลง ในการประเมินเพื่อหาแนวโน้มของความสัมพันธ์ในเบื้องต้นพบว่า ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์นั้นมีผลทำให้ความสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าร้อนกว่าปกติ ซึ่งตรงกับผลที่ได้ทำการตรวจวัดค่าฮาร์โมนิกส์และทำการทดสอบฉนวนน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยกัน 3 วิธี คือ Duval Triangle, Keys Gas Ratio, IEC60599 Ratio พบว่าการแปลผลของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงที่ได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์นั้นมีด้วยกันหลักๆ 3 อย่าง คือ T1(Thermal fault อุณหภูมิต่ำกว่า 300 °C) มีการแปลผลทางDGA คือ ชิ้นส่วนบางส่วนเกิดการติดขัดทำให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายและเกิดความร้อนขึ้น T2(Thermal fault อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 300 และ 700 °C) มีข้อบกพร่องบริเวณหน้าสัมผัสของจุดเชื่อมต่อทำให้เกิดแรงดันตกซึ่งเป็นผลทำให้หม้อแปลงเกิดความร้อน T3(Thermal fault อุณหภูมิสูงกว่า 700 °C)เกิดกระแสไหลวนอย่างมากในตัวถังหรือแกนเหล็ก ซึ่งจากการแปลผลดังกล่าวเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่หม้อแปลงได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีผลกระทบต่อการศึกษาของฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

การวิเคราะห์ผลส่วนของ DGA นั้นนอกจากจะอ้างอิงมาจากมาตรฐานมาแล้วแต่ก็ยังไม่ครอบคลุมมากพอยังต้องอาศัยประสบการณ์เพิ่มเติมด้วยเพื่อประสิทธิภาพในการแปลผลในการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าและที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือถ้าหากได้ข้อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์โมนิกส์กับการเสื่อมสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพจะต้องทำการทดสอบเก็บข้อมูลในทุกๆปี เพื่อเก็บสถิติและรวบรวมข้อมูลเพื่อหาข้อสรุปได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพื่อ

นำไปสู่การหาแนวทางแก้ไขปัญหาและหาวิธีการป้องกันเพื่อบำรุงรักษาและยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงอย่างถูกวิธี

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์จรงค์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญาานิพนธ์มาด้วยดีตลอด และอีกท่านที่ช่วยเหลือปริญญาานิพนธ์ให้สมบูรณ์แบบดีเยี่ยมต้องขอขอบพระคุณนาย พัชรธ อ้อยหวาน จากบริษัท DATA ENTRY GROUP ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องการตรวจสอบฉนวนน้ำมันในหม้อแปลงด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี DGA และคอยเป็นที่ปรึกษา ช่วยคิด วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนน้ำมันในหม้อแปลงด้วยการวิเคราะห์โดยวิธี DGA มาโดยตลอดพร้อมทั้งช่วยสนับสนุนในการดำเนินการของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Guide for the interpretation of gases generated in Oil-Immersed Transformers (IEEE Std. C57. 104-1991)
- [2] IEC60599 Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis
- [3] "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," IEEE Standard 519-1992, Published by IEEE, 1992.

ประวัติผู้เขียน



นายณนทกฤษ เชมภักฤษ์

เกิดวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2535

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายนิธิรัฐ ประสงค์ดี

เกิดวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2535

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานและการตรวจวัดฮาร์โมนิกส์

เมื่อมีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าในปริมาณที่มาก จะทำให้เกิดผลเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะกรณีเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้น ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้ารับกระแสหรือแรงดันเกินพิถีพิถันไปมาก ปัญหาเหล่านี้มีความสำคัญมากขึ้นเพราะ ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรม ได้นำอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์มาใช้มากขึ้น ประเทศที่ประสบปัญหาเรื่องนี้ จะมีการวางแผนป้องกันปัญหาเนื่องจากฮาร์โมนิกส์ด้วยการประกาศใช้มาตรฐานทางฮาร์โมนิกส์ขึ้น และมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะการณ์ปัจจุบัน เช่นประเทศสหรัฐอเมริกาประกาศใช้มาตรฐาน IEEE Std.519 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 และมีการปรับปรุงเรื่อยมาฉบับที่ใช้ปัจจุบันคือ IEEE Std.519-1992 : IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic control in Electrical Power System ประเทศอังกฤษ ประกาศใช้มาตรฐานด้านฮาร์โมนิกส์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 และยังใช้อยู่จนถึงปัจจุบันยังมีการปรับปรุงมาตรฐานฉบับดังกล่าวชื่อ Engineering Recommendation G.5/3-1976 : Limits for Harmonics in the United Kingdom Electricity Supply System สำหรับประเทศไทย ทางการไฟฟ้าทั้งสามแห่ง (กฟผ. กฟภ. กฟน.) ได้ร่วมกันจัดทำข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจอุตสาหกรรม ซึ่งอาจอ้างมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (G.5/3) สำหรับปริญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับระบบอุตสาหกรรม ที่ควรศึกษาดังนี้

มาตรฐาน IEEE Std.519-1992

เป็นมาตรฐานที่โรงงานอุตสาหกรรม และบทความที่เกี่ยวกับฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า อุตสาหกรรมหลายบทความกล่าวถึง สำหรับรายละเอียดในส่วนของค่าจำกัดระดับความผิดเพี้ยนของกระแสหรือแรงดันฮาร์โมนิกส์นั้น จะทำการประเมินที่จุดต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC) มาตรฐานฉบับนี้ได้แบ่งแนวทางปฏิบัติออกเป็น 2 แนวทาง คือ

1. แนวทางปฏิบัติสำหรับผู้ไฟฟ้าแต่ละราย

จะพิจารณากระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากผู้ไฟฟ้าว่าส่วนที่ป้อนเข้าสู่ระบบว่ามีค่าเท่าใดด้วยการกำหนดค่าขีดจำกัดกระแสผิดเพี้ยนโดยใช้ดัชนีชี้วัด 2 ตัว คือ ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (Total Demand Distortion: TDD) และ กระแสฮาร์โมนิกส์ในแต่ละระดับ (Individual Harmonics Current Distortion : I_h) ค่าจำกัดจะแบ่งตามระดับแรงดัน และขนาดของกระแสลัดวงจร I_{sc} ต่อกระแสในช่วงที่มีความต้องการสูงสุด (I_L) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน IEEE Std.519-1992

$V_n \leq 69 \text{ kV}$						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 < h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 < h$	TDD
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n \geq 161 \text{ kV}$						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 < h$	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

*อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดกำลังไฟฟ้าที่จะถูกจัดให้อยู่ในค่ากระแสฮาร์โมนิกส์เหล่านี้โดยไม่คำนึงถึง I_{sc}/I_L จริง

หมายเหตุ

- I_{sc} เป็นค่ากระแสลัดวงจรที่จุดต่อคร่อม (PCC) ปกติจะใช้กระแสลัดวงจรในกรณีเกิดการลัดวงจรแบบ 3 เฟส เพราะถือเป็นกรณีรุนแรงที่สุด
- I_L เป็นค่ากระแสที่วัดในช่วงผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้พลังงานสูงสุดในเวลา 15 หรือ 30 นาที แต่ถ้าข้อมูลมีเพียงพอ I_L คำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของกระแสคิยย้อนหลังในรอบ 1 ปี (คิดจากค่าบิลค่าไฟฟ้า) ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่จะประมาณกระแส I_L โดยการทำนายลักษณะโหลดล่วงหน้า (Predicted load profile)
- ค่าในตารางที่ 1 เป็นค่าจำกัดของฮาร์โมนิกส์ที่เป็นลำดับคี่ส่วนค่าจำกัดของลำดับคู่จะใช้ค่าร้อยละ 25 ของค่าจำกัดลำดับที่อยู่เหนือขึ้นไปเช่น ถ้าพิจารณาฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 4 ให้ใช้ค่าร้อยละ 25 ของจำกัดของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วจะไม่พิจารณาฮาร์โมนิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกส์ลำดับเลขคู่ เว้นแต่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีชุดกรองฮาร์โมนิกส์ หรือคาปาซิเตอร์ของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ซึ่งอาจทำให้เกิดสภาวะรีโซแนนซ์ ขยายกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับคู่ให้มากขึ้น

- กระแสผิดเพี้ยนนี้ไม่ให้มีผลต่อส่วนประกอบโดยตรง (DC offset not allowed)
- นิยามของ TDD คือ

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_2^\infty I_h}}{I_L} \times 100$$

เมื่อ I_h คือ ขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ h (ค่า rms)

h คือ ลำดับฮาร์โมนิกส์

I_L คือ ยอดของกระแสในช่วงความต้องการสูงสุด

- ถ้าโหลดที่กำเนิดฮาร์โมนิกส์ประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ที่มีจำนวนพัลส์ (q) มากกว่า 6 พัลส์ ค่าจำกัดในตารางให้เพิ่มขึ้นด้วยตัวประกอบการคูณ $\sqrt{q/6}$ เช่น ถ้าแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกส์เป็นคอนเวอร์เตอร์แบบ 12 พัลส์ ค่าจำกัดในตารางของฮาร์โมนิกส์เฉพาะตัวให้เพิ่มขึ้นของตัวคูณ $\sqrt{2}$
- ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่ใช่ฮาร์โมนิกส์เฉพาะตัว (Non-characteristic harmonic) ให้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 25 ของค่าจำกัดในตารางที่ 1

จากตารางค่าจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน IEEE Std.519-1992 พบว่าจะยอมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปล่อยกระแสฮาร์โมนิกส์เข้าสู่ระบบได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด เช่น ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้ามีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระบบจะยอมให้ค่าจำกัดได้สูงกว่าผู้ใช้ไฟขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับระบบ

2. แนวปฏิบัติสำหรับการไฟฟ้า

เพื่อรักษาคุณภาพการจ่ายกำลังไฟฟ้า ทางกรไฟฟ้าจะพิจารณาในเรื่องของระดับแรงดันฮาร์โมนิกส์ผิดเพี้ยนที่จุด PCC โดยใช้ดัชนีชี้วัด 2 ตัวคือ แรงดันฮาร์โมนิกส์ผิดเพี้ยนรวม (Total Harmonic Distortion: THD_v) และแรงดันฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับ (Individual Harmonic Voltage: V_h) การไฟฟ้าจะพยายามรักษาแรงดันผิดเพี้ยนที่จุด PCC ด้วยการจำกัดค่ากระแสฮาร์โมนิกส์จากผู้ใช้ไฟฟ้า (ดังตารางที่ 2) และสำหรับค่าจำกัดของระดับแรงดันผิดเพี้ยนจะแบ่งตามระดับแรงดันดังตารางที่ 2 ซึ่งค่าจำกัดนี้เป็นสถานะแรงดันผิดปกติ สำหรับสถานะการใช้งานในช่วงสั้นๆ ของการเริ่มเดินเครื่องจักรหรือสถานะผิดปกติ ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิกส์ สามารถเพิ่มได้อีก 50% จากค่าที่กำหนดไว้

ตารางที่ 2 ค่าจำกัดแรงดันฮาร์โมนิกส์ ตาม IEEE Std.519-1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus voltage At PCC (V_n)	Individual Harmonic Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD _v (%)
$V_n \leq 69$ kv	3.0	5.0
69 kv $\leq V_n \leq 161$ kv	1.5	2.5
$V_n \geq 161$ kv	1.0	1.5

*High – voltage system can have up to 2.0% THD cause is an HDVC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a use

หมายเหตุ

- นิยามของ THD_v คือ

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_2^\infty V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

เมื่อ V_1 คือ ขนาดของแรงดันที่ความถี่หลักมูลในสภาวะปกติของระบบ (ค่า rms)

V_h คือ ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกลำดับที่ h (ค่า rms)

h คือ ลำดับฮาร์โมนิก

จากตารางจะพบว่าที่ระดับแรงดันสูงๆ การไฟฟ้าจะต้องให้ความสำคัญกับระดับแรงดันผิดเพี้ยน ค่าแรงดันฮาร์โมนิกจะมีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับเลขลำดับฮาร์โมนิก และจะกำหนดให้ระดับแรงดันผิดเพี้ยนมีค่าต่ำๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงร้อนผิดปกติจากปัญหาฮาร์มอนิก

ในการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้านั้นส่วนใหญ่จะถูกใช้งานกับโหลดไม่เกิน 80% ของพิกัด เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัยและการรองรับการกระชากของกระแสขณะเริ่มเดินเครื่องจักร โดยอุณหภูมิขณะทำงานของหม้อแปลงปกติไม่ควรจะมีค่าสูงเกินเพราะจะเป็นสาเหตุของอายุการใช้งานที่สั้นลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของฉนวนภายใน อย่างไรก็ตามเนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งาน Non-linear load กันอย่างมากทั้งในอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมตลอดจนมีการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์มาใช้กับปั๊มและพัดลมเพื่อวัตถุประสงค์การอนุรักษ์พลังงาน ในด้านที่ดีเครื่องจักรและอุปกรณ์เหล่านี้ช่วยสร้างผลผลิตและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ในอีกด้านหนึ่งเครื่องจักรและอุปกรณ์เหล่านี้สร้างปัญหาฮาร์มอนิกให้กับระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมากและอุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาฮาร์มอนิกนี้อันตบตันๆ โดยความร้อนที่ขึ้นสูงผิดปกตินี้เป็นผลมาจากกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss/Eddy current loss) และลวดตัวนำ (Copper loss) ที่เพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากกระแสที่ไหลมีส่วนประกอบฮาร์มอนิกที่เป็นความถี่สูง ซึ่งเราทราบกันดีว่าค่ากำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก (PEC) แปรผันตรงกับความถี่ที่ใช้งานและผลของ Skin effect ของลวดตัวนำจะทำให้ค่าความต้านทานของตัวนำสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูงไหลผ่านทำให้กำลังงานสูญเสียในลวดตัวนำ (P_{dc}) สูงขึ้นตามความถี่หรืออันดับของฮาร์มอนิกที่ทำงานนั่นเอง โดยอธิบายความสัมพันธ์ได้ตามสมการด้านล่าง

$$P_T = P_C \times P_{Cu} \quad (1)$$

$$P_C = P_{C-R} \times \sum_{h=1}^{h_{\max}} h^2 \left(\frac{I_h}{I_R}\right)^2 \quad (2)$$

$$P_{Cu} = R_{Cu} \times \sum_{h=1}^{h_{\max}} (I_{h,rms})^2 \quad (3)$$

ประวัติผู้เขียน



นายนงกฤษ เชมารักษ์

- เกิดวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2535 สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพมหานคร
- จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ - สิงห์เสนี)2 ในปี พ.ศ. 2554
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ



นายนิธิรัฐ ประสงค์ดี

เกิดวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2535 สถานที่เกิด จังหวัด

กรุงเทพมหานคร

จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสตรีวิทยา2

ในปี พ.ศ.2554

- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้