

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

สำหรับโครงการ เรื่อง การวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง คณะผู้จัดทำโครงการได้เข้าไปทำการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้า ที่บริษัทแห่งหนึ่ง ในนิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งได้เข้าไปทำการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 2 ลูก โดยครั้งแรกได้ทำการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 50 MVA , 123/11 kV เพื่อเก็บค่าอ้างอิง และครั้งที่ 2 ได้ทำการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 50 MVA , 115/22 kV เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าอ้างอิงที่ทำการบันทึกไว้ โดยขั้นตอนในการปฏิบัติงาน ดังนี้

4.1.1 เตรียมความพร้อมด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

4.1.2 ตัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังออกจากระบบ



ภาพที่ 4.1 วิธีการปลดโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

4.1.3 ทำการ Discharge หม้อแปลงลงกราวด์

4.1.4 ทำความสะอาดลูกถ้วย และจุดที่จะทำการวัด โดยใช้ผ้าที่สะอาด ชุบแอลกอฮอล์ หรือน้ำเปล่า เพื่อให้ลูกถ้วยมีค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดวาวไฟตามผิวของลูกถ้วย

4.1.5 ทำการเชื่อมต่อระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง กับชุดทดสอบ FRA ดังภาพที่ 4.2 ภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.2 ขั้วการเชื่อมต่อของเครื่อง FRAX - 101



ภาพที่ 4.3 วิธีการเชื่อมต่อเครื่องทดสอบ FRAX - 101 ทางด้านเครื่องจ่ายสัญญาณความถี่



ภาพที่ 4.4 วิธีการเชื่อมต่อสายสัญญาณจากเครื่อง FRAX – 101 กับขั้วของหม้อแปลงที่ต้องการทดสอบ

4.1.6 เรียกใช้โปรแกรมการตรวจสอบการตอบสนองความถี่ (FRAX) ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้วทำการจ่ายความถี่ 20 Hz – 2 MHz ให้กับหม้อแปลง แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

4.1.7 นำผลที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง แล้วทำการวิเคราะห์ผล

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

โดยการนำค่าที่ได้จากการตอบสนอง ความถี่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DL/T 911-2004 โดยเริ่มวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตอบสนองความถี่ในช่วงความถี่ 1 kHz – 1 MHz โดยความถี่ที่นำมาวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงความถี่ต่ำ 1 kHz – 100 kHz

ช่วงความถี่ปานกลาง 100 kHz – 600 kHz

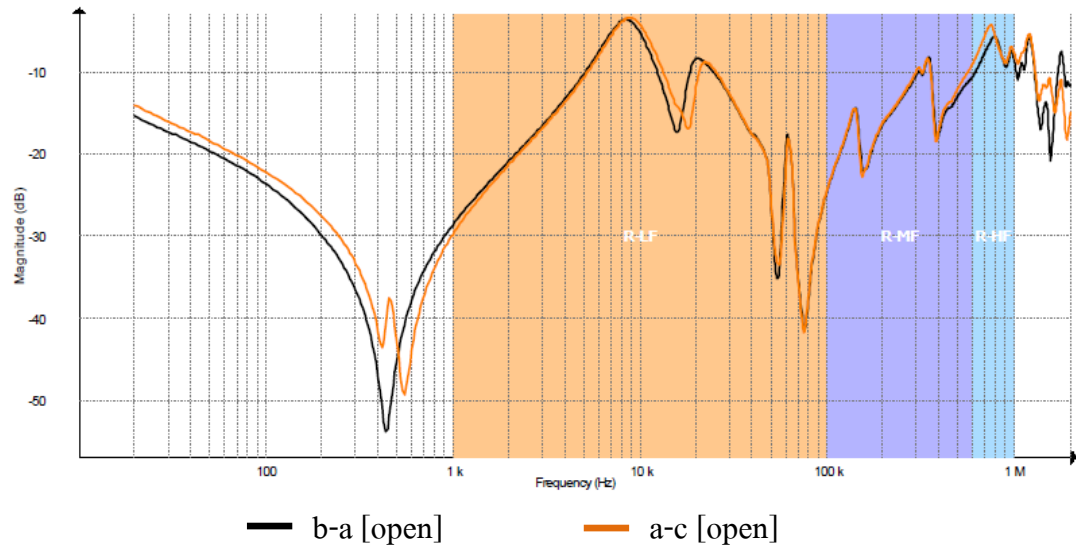
ช่วงความถี่สูง 600 kHz – 1 MHz

SFRA Test Results	
Report date: 2012-05-22	
Date of Test:	Time of Test:
5/03/2012	15:36:30
Company Name:	Location:
XXXXXX	GAS TURBINE GENERATOR
Test Object:	Manufacturer:
GT2B UNIT TRANSFORMER 123/11kV	TIRA THAI
Serial Number:	Built Year:
4710348	2005
Phase Design:	Winding Configuration:
3	YNd11 (Y-D, 30° lead)
KV Rating:	KVA Rating:
123-11	50,000
NLTC Position:	LTC Position:
3	1
Temperature:	Reason For Test:
31	
Tested By:	
Notes:	

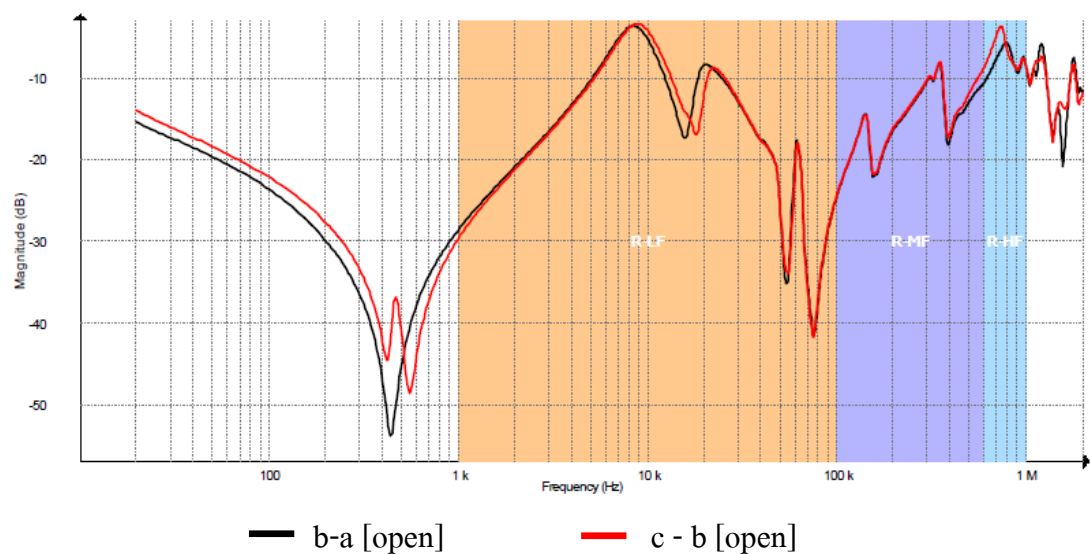
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิง

4.2.1 ผลที่ได้จากการทดสอบ ของหม้อแปลง ไฟฟ้ากำลังเพื่อทำการเก็บค่าอ้างอิง (5-3-2012)
โดยทำการทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงกับหม้อแปลงไฟฟ้าดังตารางที่ 4.1

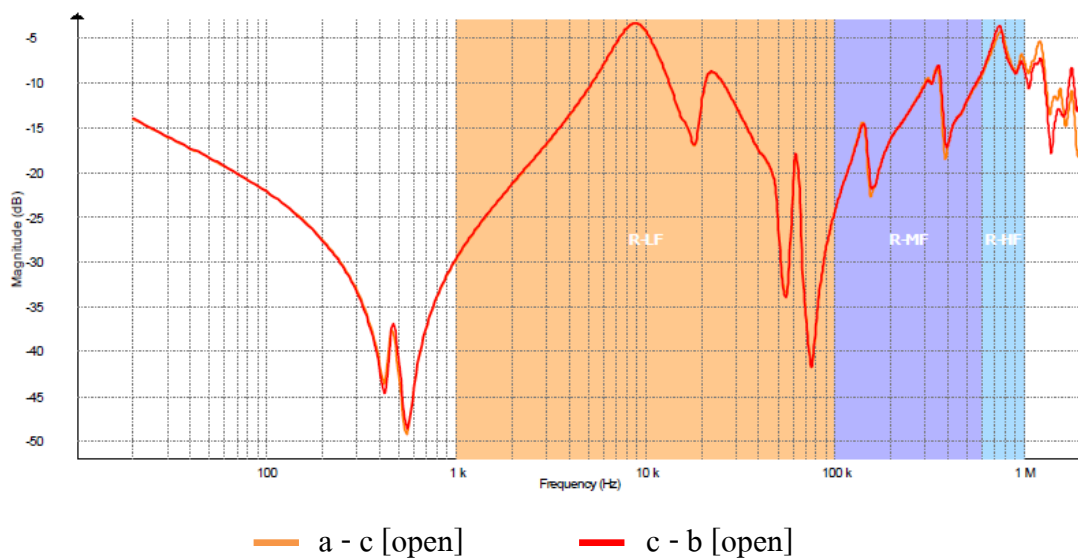
การทดสอบหม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำ ต่อแบบ LV OPEN



ภาพที่ 4.5 การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงระหว่างขั้ว b-a [open] และ a-c [open]



ภาพที่ 4.6 การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงระหว่างขั้ว b-a [open] และ c-b [open]

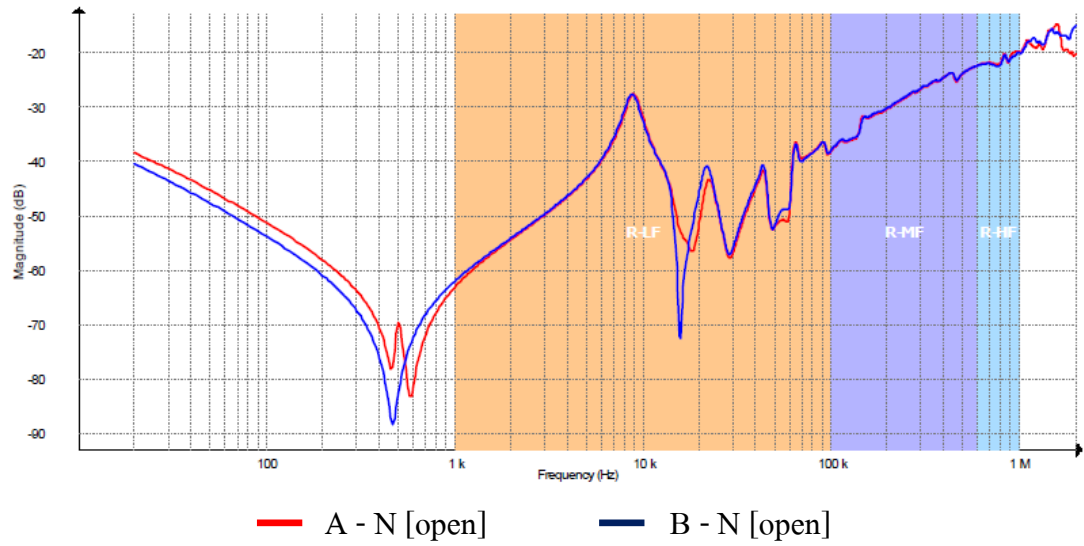


ภาพที่ 4.7 การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงระหว่างขั้ว a - c [open] และ c - b [open]

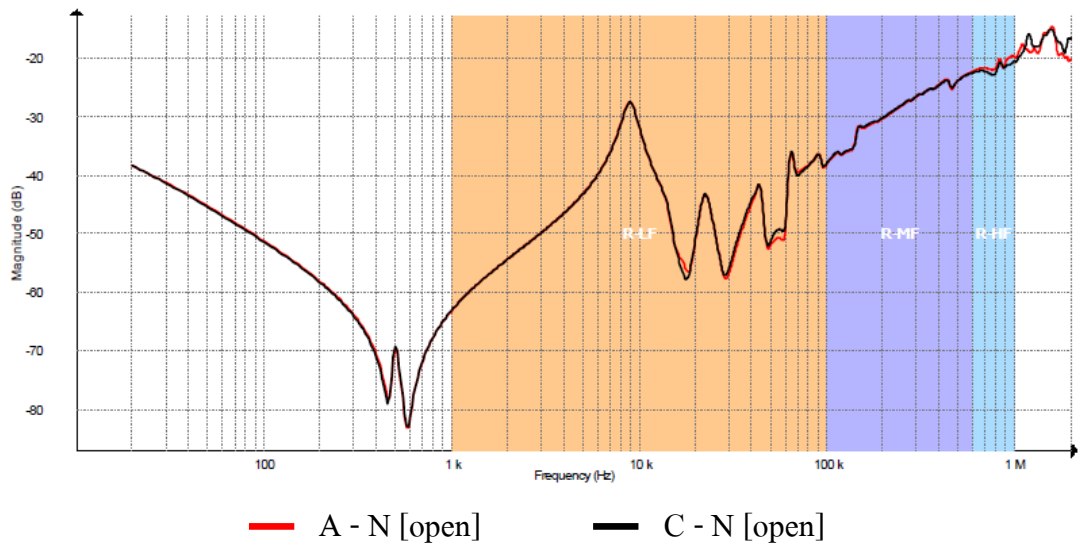
ตารางที่ 4.2 ระดับความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลง
จากภาพที่ 4.5 , 4.6 และ 4.7

	Name	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}	ระดับความแตกต่าง
R_{AB}	b - a [open] – a - c [open]	1.98	2.01	0.71	Light Distortion
R_{BC}	b - a [open] – c - b [open]	2.00	2.24	0.39	Light Distortion
R_{AC}	a - c [open] – c - b [open]	4.05	1.93	1.25	Normal

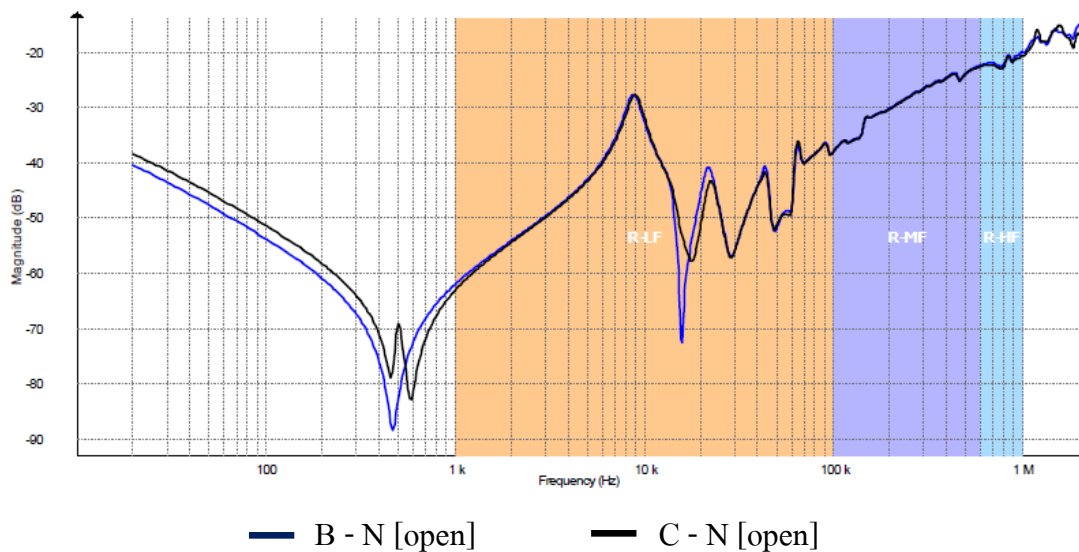
การทดสอบห้ือแปลงทางด้านแรงดันสูง ต่อแบบ HV OPEN



ภาพที่ 4.8 การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงระหว่างเฟส A - N [open] และ B - N [open]



ภาพที่ 4.9 การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงระหว่างเฟส A - N [open] และ C - N [open]

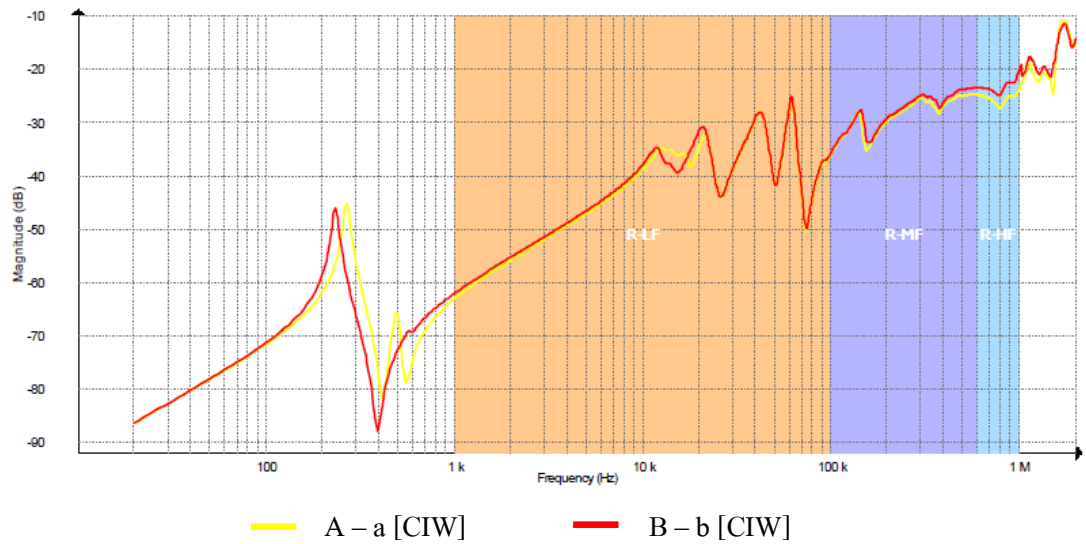


ภาพที่ 4.10 การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอ้างอิงระหว่างเฟส B - N [open] และ C - N [open]

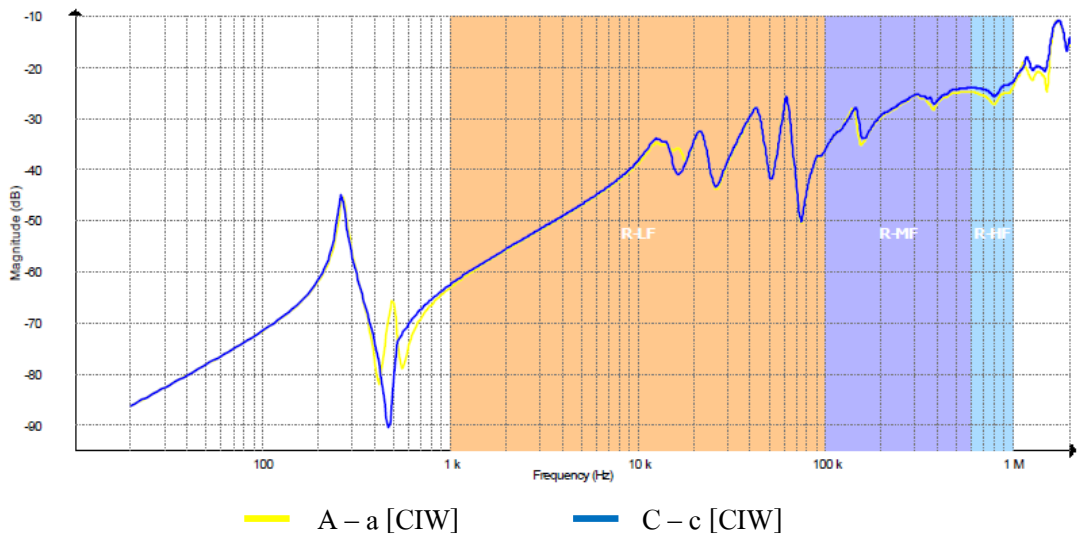
ตารางที่ 4.3 ระดับความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลง
จากภาพที่ 4.8, 4.9 และ 4.10

	Name	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}	ระดับความแตกต่าง
R_{AB}	[A-N] - [B-N]	1.34	3.26	1.47	Light Distortion
R_{BC}	[A-N] - [C-N]	2.73	3.36	1.10	Normal
R_{AC}	[B-N] - [C-N]	1.36	3.99	1.86	Light Distortion

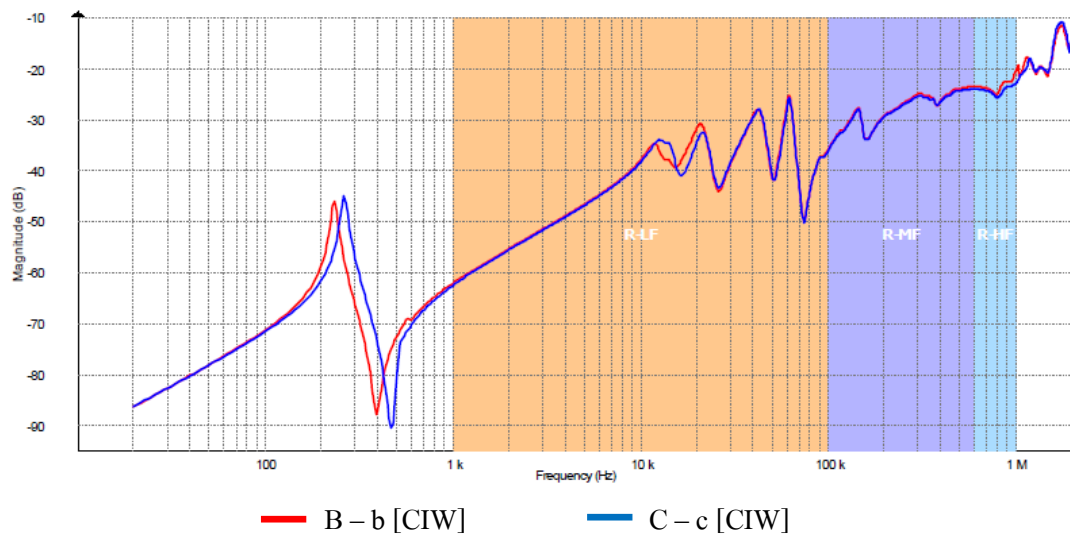
การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า Capacitive Inter - Winding (CIW)



ภาพที่ 4.11 การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า CIW ระหว่างเฟส A - a และ B - b



ภาพที่ 4.12 การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า CIW ระหว่างเฟส A - a และ C - c

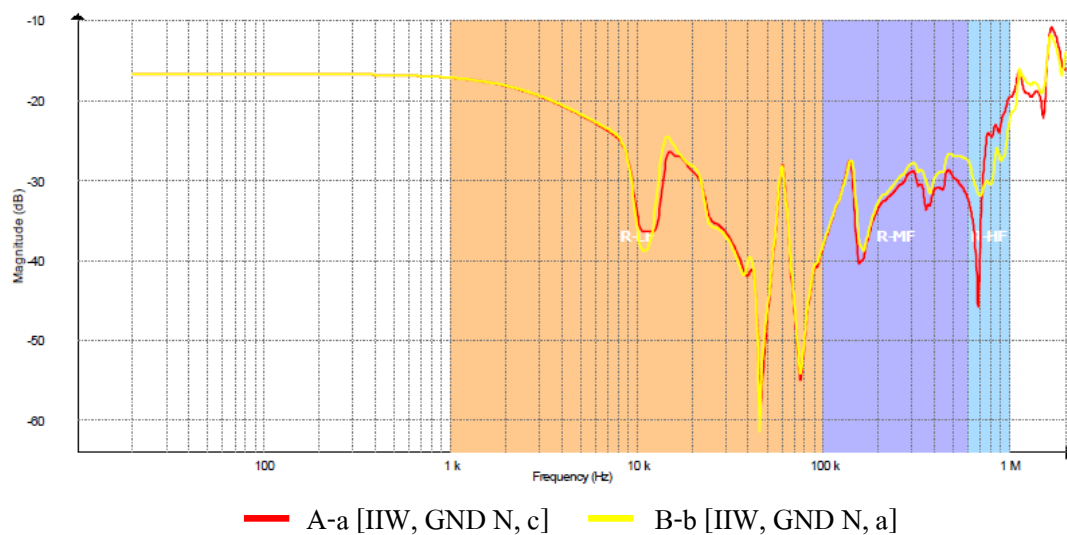


ภาพที่ 4.13 การทดสอบห้อยแปลงเพื่อพิจารณาค่า CIW ระหว่างเฟส B - b และ C - c

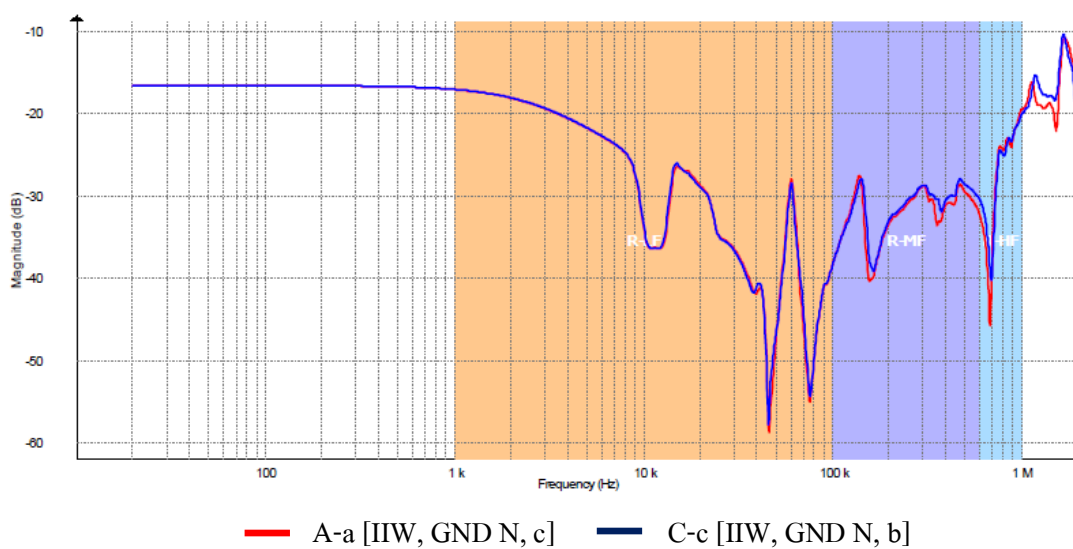
ตารางที่ 4.4 ระดับความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของห้อยแปลง
จากภาพที่ 4.11 , 4.12 และ 4.13

	Name	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}	ระดับความแตกต่าง
R_{AB}	[A-a] - [B-b]	2.19	1.87	0.72	Normal
R_{BC}	[A-a] - [C-c]	2.37	1.77	1.26	Normal
R_{AC}	[B-b] - [C-c]	2.14	3.10	0.92	Normal

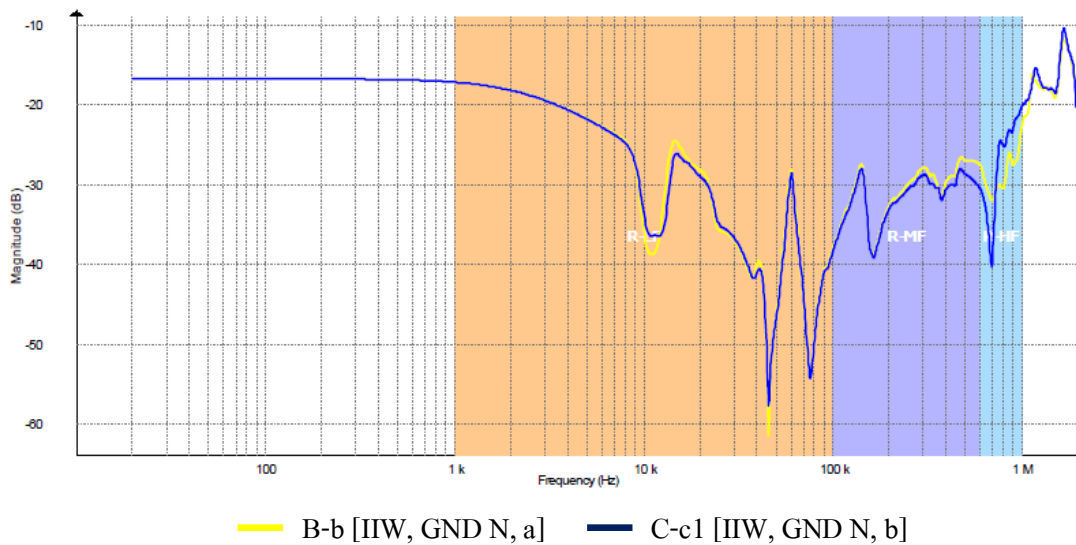
การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า Inductive Inter – Winding (IIW)



ภาพที่ 4.14 การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า IIW ระหว่างเฟส A- a และ B- b



ภาพที่ 4.15 การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า IIW ระหว่างเฟส A- a และ C- c



ภาพที่ 4.16 การทดสอบห่อแปลงเพื่อพิจารณาค่า IIW ระหว่างเฟส B-b และ C-c

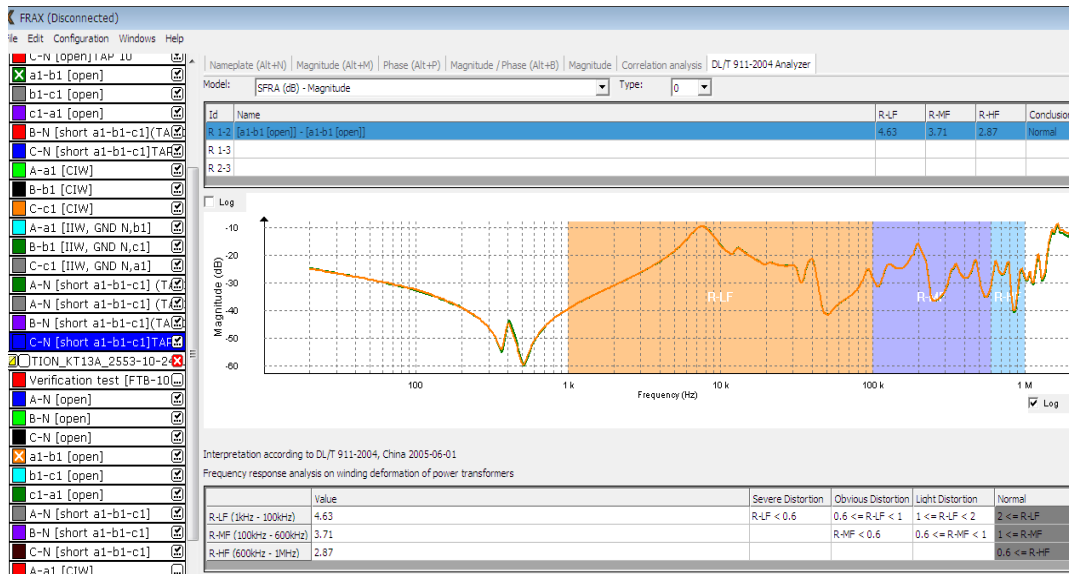
ตารางที่ 4.5 ระดับความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของห่อแปลง
จากภาพที่ 4.14 , 4.15 และ 4.16

	Name	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}	ระดับความแตกต่าง
R_{AB}	[A-a] - [B-b]	2.25	1.15	0.48	R-HF above limit, R-LF and R-MF normal
R_{BC}	[A-a] - [C-c]	2.84	1.30	1.44	Normal
R_{AC}	[B-b] - [C-c]	2.40	1.82	0.62	Normal

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลเบื้องต้นของหม้อแปลงที่ทำการทดสอบการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่

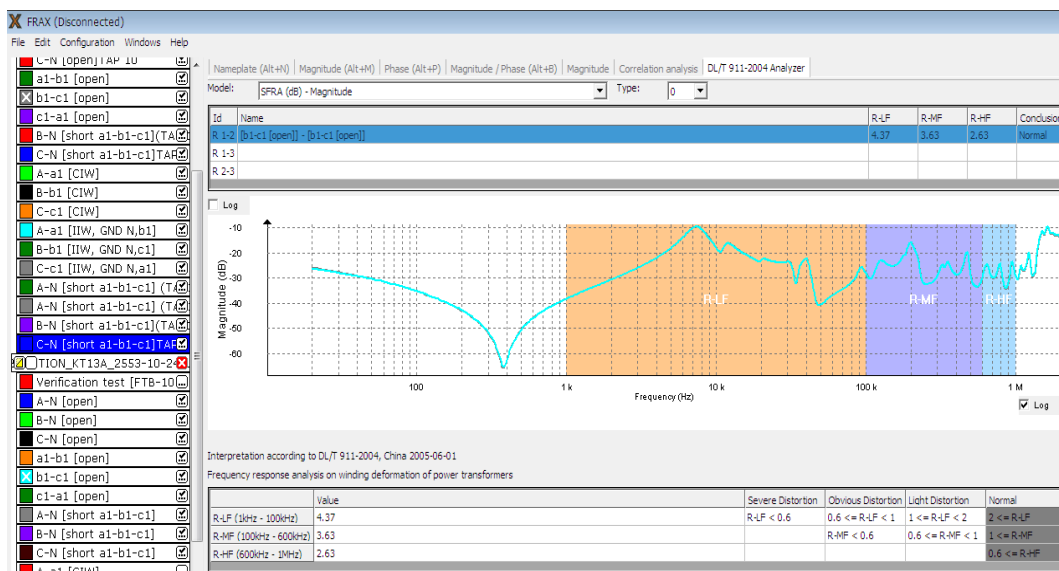
SFRA Test Results	
Report date: 2012-05-22	
Date of Test:	Time of Test:
13/03/2012	14:25:17
Company Name:	Location:
XXXXX	GIS SUBSTATION
Test Object:	Manufacturer:
KT13A	EKARAT DAIHEN
Serial Number:	Built Year:
EDP011601	1998
Phase Design:	Winding Configuration:
3	YNd1 (Y-D, 30° lag)
KV Rating:	KVA Rating:
115-22	50,000
NLTC Position:	LTC Position:
19	6
Temperature:	Reason For Test:
35	
Tested By:	
Notes:	

4.2.2 ผลที่ได้จากการทดสอบ ของหม้อแปลง ไฟฟ้ากำลัง (13-3-2012) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (24-10-2010)



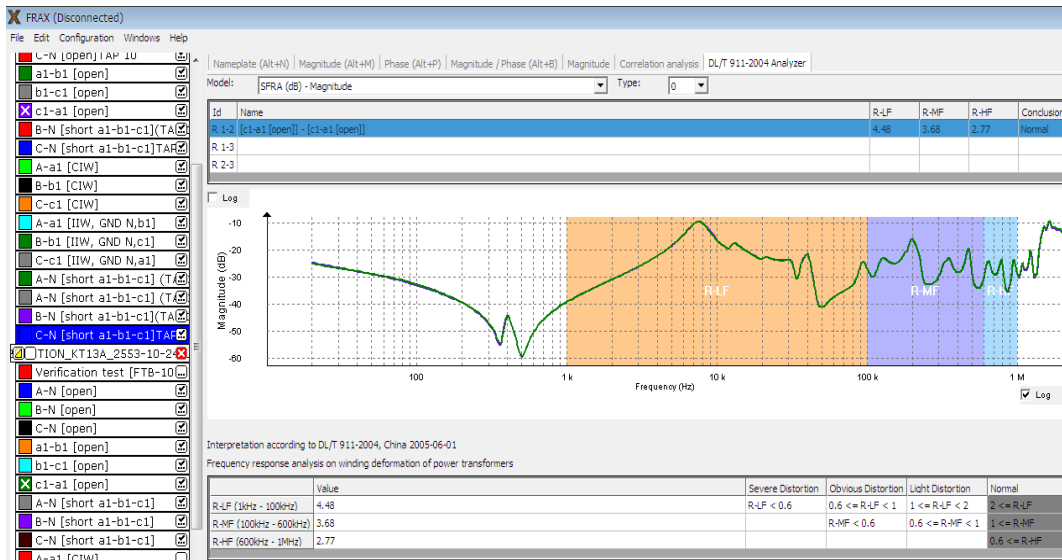
— a1-b1 [OPEN] ค่าอ้างอิง — a1-b1 [OPEN] ค่าที่ได้จากการทดสอบ

ภาพที่ 4.17 ผลของการตอบสนองความถี่โดยต่อแบบ a1 - b1 [OPEN]



— b1-c1 [OPEN] ค่าอ้างอิง — b1-c1 [OPEN] ค่าที่ได้จากการทดสอบ

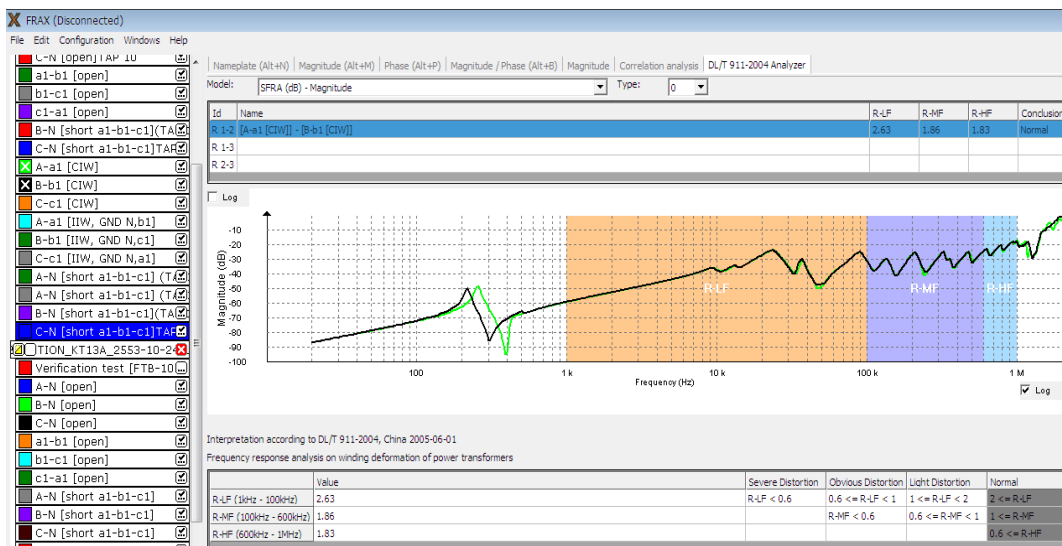
ภาพที่ 4.18 ผลของการตอบสนองความถี่โดยต่อแบบ b1 - c1 [OPEN]



— c1- a1 [OPEN] ค่าอ้างอิง — c1- a1 [OPEN] ค่าที่ได้จากการทดสอบ

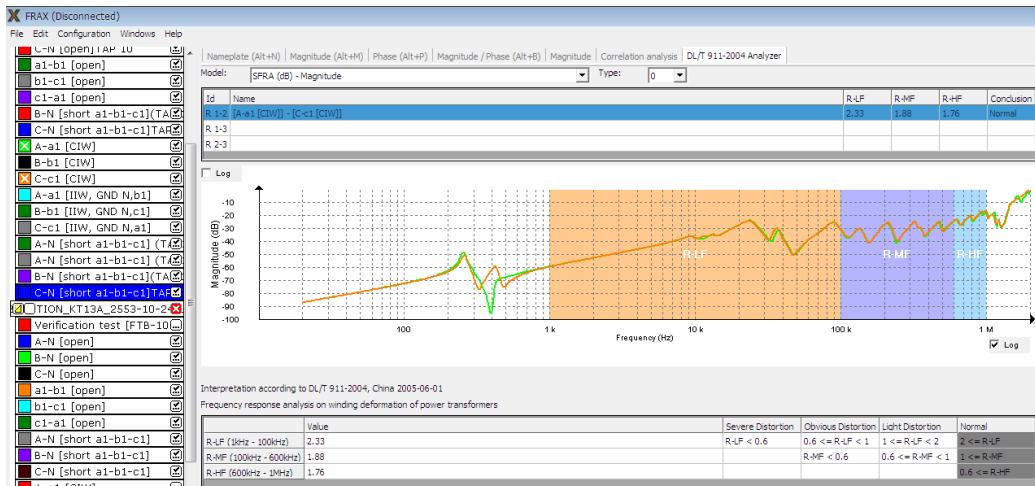
ภาพที่ 4.19 ผลของการตอบสนองความถี่โดยต่อแบบ c1 - a1 [OPEN]

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่า Capacitive Inter - Winding ของหม้อแปลงไฟฟ้าในแต่ละเฟส



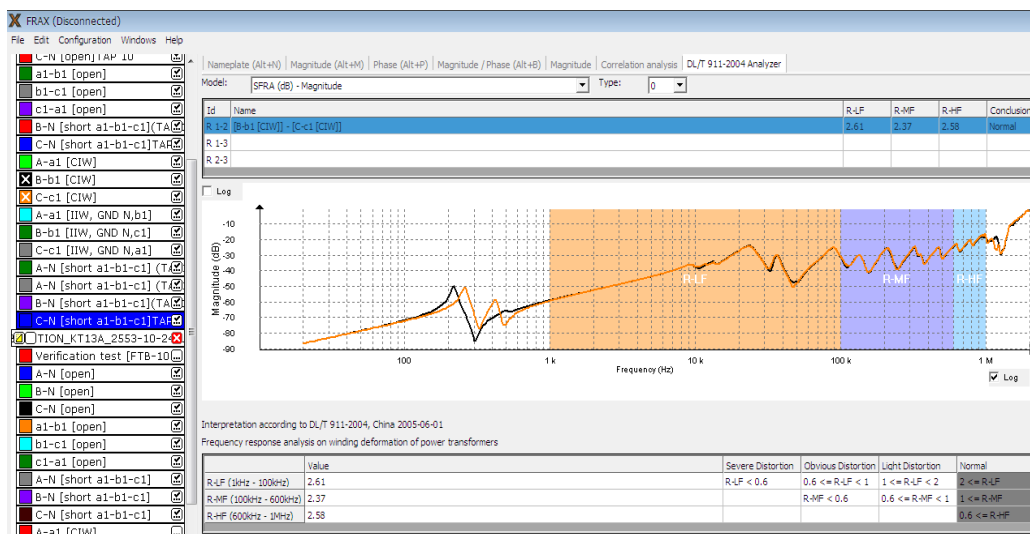
— A - a1 [CIW] — B - b1 [CIW]

ภาพที่ 4.20 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ระหว่างเฟส A - a1 และ B - b1



— A – a1 [CIW] — C – c1 [CIW]

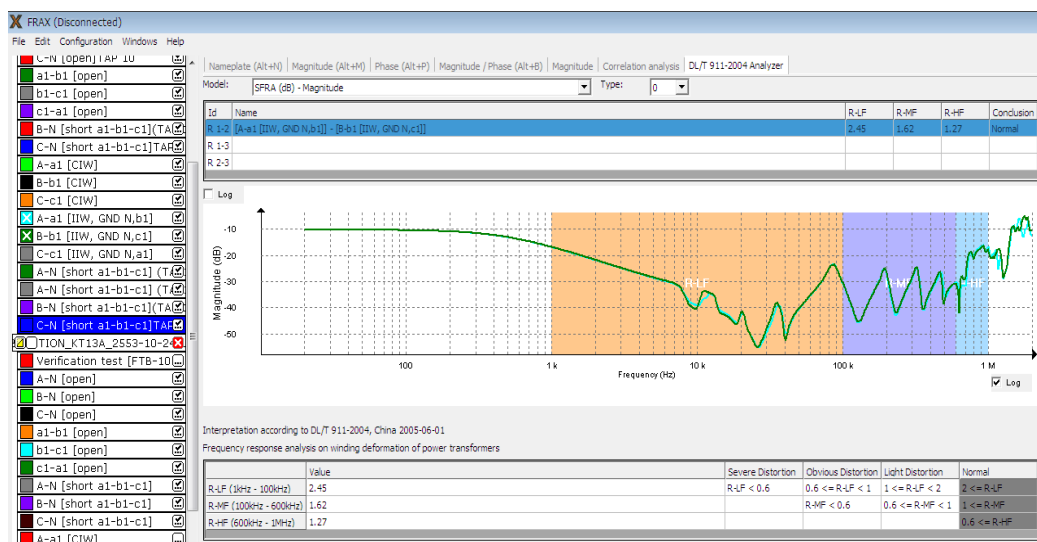
ภาพที่ 4.21 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ระหว่างเฟส A – a1 และ C – c1



— B – b1 [CIW] — C – c1 [CIW]

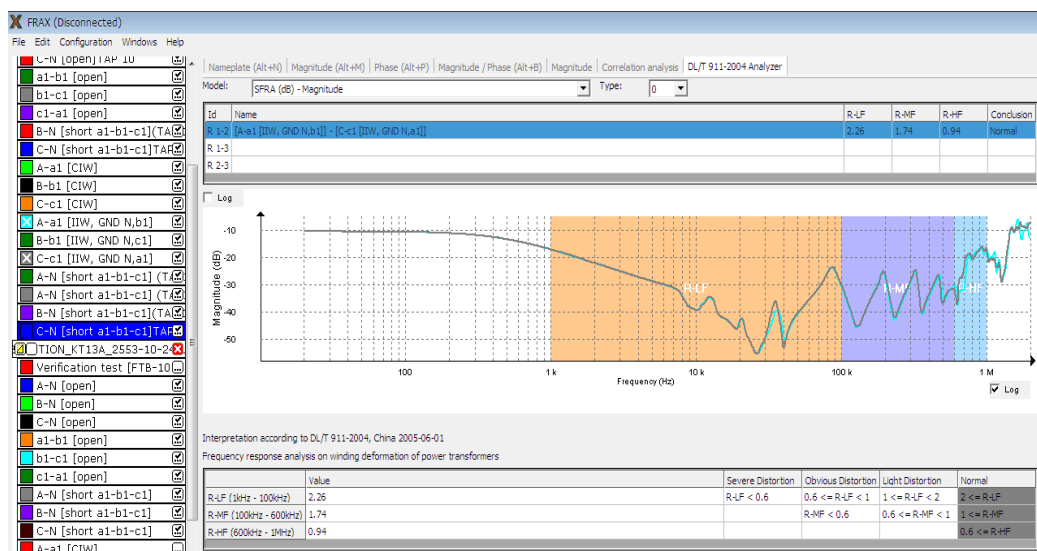
ภาพที่ 4.22 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ระหว่างเฟส B – b1 และ C – c1

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่า Inductive Inter - Winding ของหม้อแปลงไฟฟ้าในแต่ละเฟส



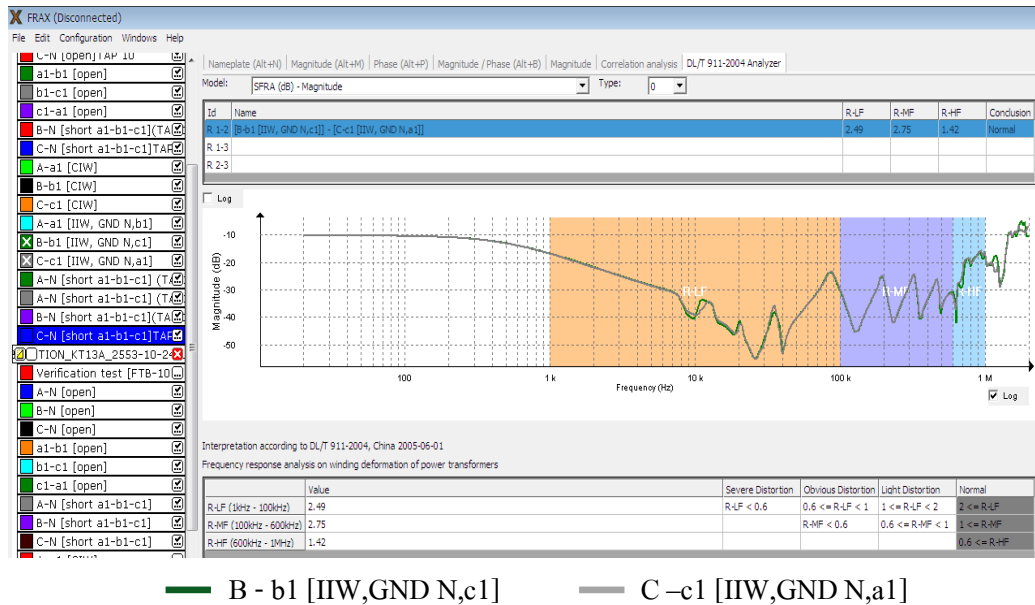
— A – a1 [IIW,GND N,b1] — B - b1 [IIW,GND N,c1]

ภาพที่ 4.23 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองของความถี่ระหว่างเฟส A – a1 และ B – b1



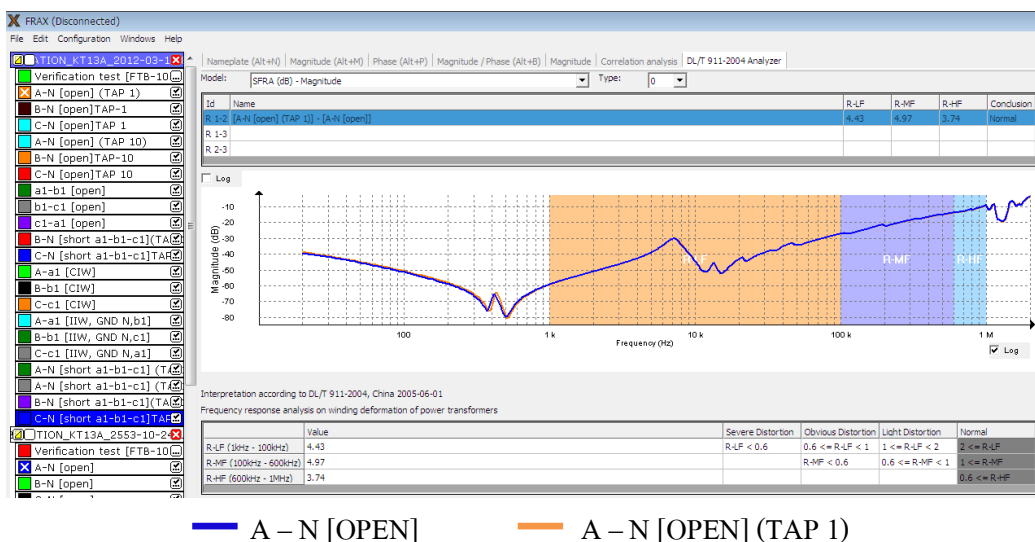
— A – a1 [IIW,GND N,b1] — C – c1 [IIW,GND N,a1]

ภาพที่ 4.24 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองของความถี่ระหว่างเฟส A – a1 และ C – c1

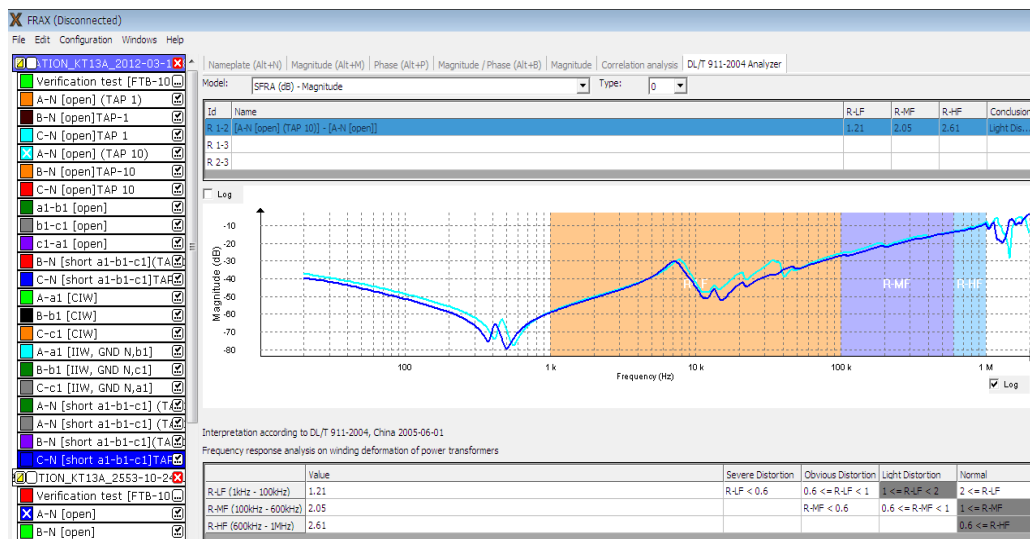


ภาพที่ 4.25 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ระหว่างเฟส B – b1 และ C – c1

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่า การตอบสนองความถี่ภายในแกนเหล็กและขดลวดของหม้อแปลงโดยทำการเปลี่ยน TAP ของหม้อแปลงเพื่อตรวจสอบ

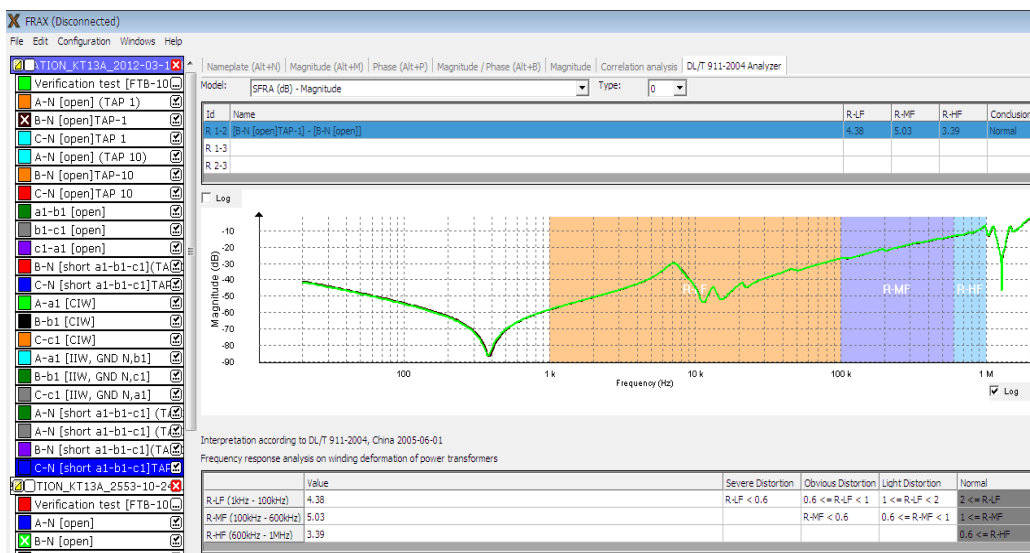


ภาพที่ 4.26 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ภายในขดลวดของหม้อแปลงระหว่าง TAP A – N [OPEN] และ A – N [OPEN] (TAP 1)



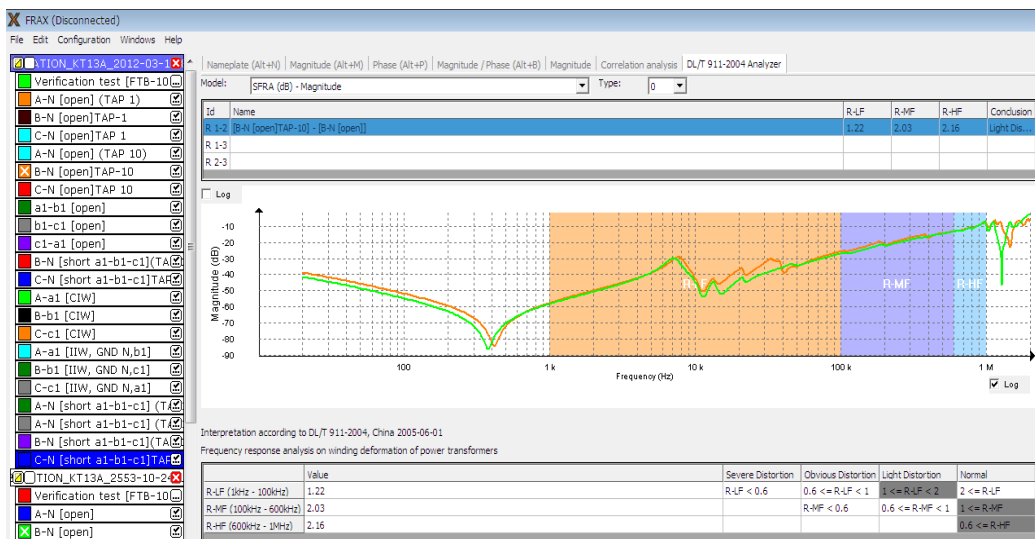
— A – N [OPEN] — A – N [OPEN] (TAP 1)

ภาพที่ 4.27 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ภายในขดลวดของหม้อแปลงระหว่าง TAP A – N [OPEN] และ A – N [OPEN] (TAP 10)



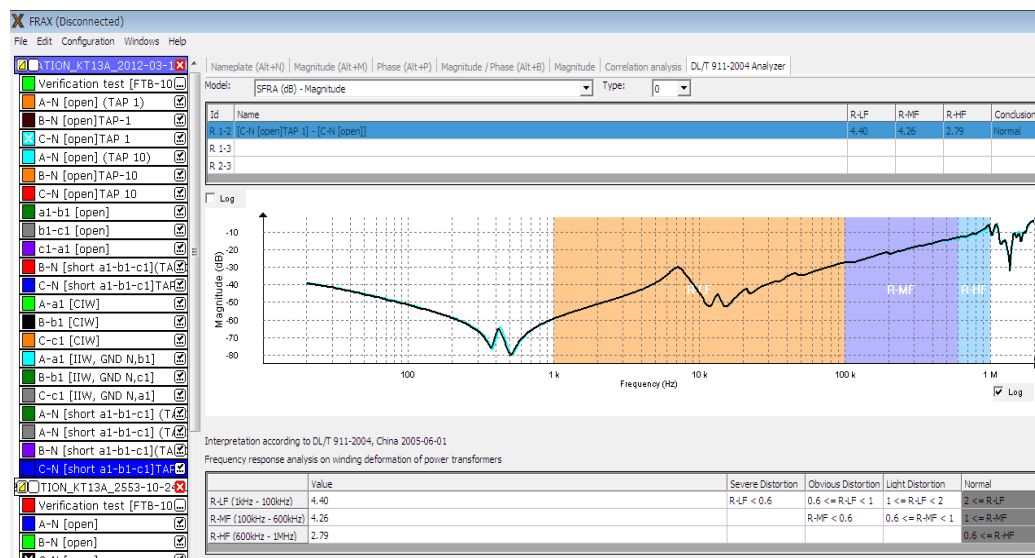
— B – N [OPEN] — B – N [OPEN] (TAP 1)

ภาพที่ 4.28 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ภายในขดลวดของหม้อแปลงระหว่าง TAP B – N [OPEN] และ B – N [OPEN] (TAP 1)



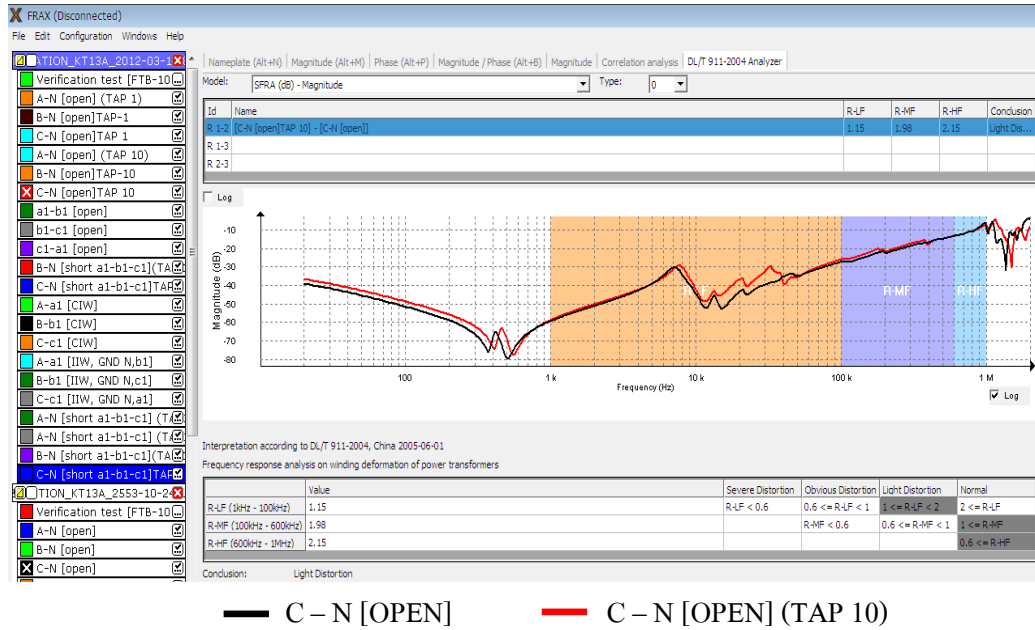
— B – N [OPEN] — B – N [OPEN] (TAP 10)

ภาพที่ 4.29 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ภายในขดลวดของหม้อแปลง ระหว่าง TAP B – N [OPEN] และ B – N [OPEN] (TAP 10)



— C – N [OPEN] — C – N [OPEN] (TAP 1)

ภาพที่ 4.30 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ภายในขดลวดของหม้อแปลง ระหว่าง TAP C – N [OPEN] และ C – N [OPEN] (TAP 1)



ภาพที่ 4.31 ผลของการเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ภายในขดลวดของหม้อแปลงระหว่าง TAP C - N [OPEN] และ C - N [OPEN] (TAP 10)

ตารางที่ 4.7 ระดับความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลง KT13A

ภาพที่	ช่วงความถี่	Value	สถานะภายในหม้อแปลงไฟฟ้า
4.17 a1- b1 [OPEN]	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	4.63	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	3.71	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.87	Normal
4.18 b1- c1 [OPEN]	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	4.37	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	3.63	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.63	Normal
4.19 c1- a1 [OPEN]	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	4.48	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	3.68	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.77	Normal
4.20 A - a1 และ B - b1	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	2.63	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	1.86	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	1.83	Normal
4.21 A - a1 และ C - c1	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	2.33	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	1.88	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	1.76	Normal
4.22 B – b1 และ C – c1	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	2.61	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	2.37	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.58	Normal
4.23 A – a1 และ B – b1	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	2.45	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	1.62	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	1.27	Normal
4.24 A – a1 และ C – c1	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	2.26	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	1.74	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	0.94	Normal

ตารางที่ 4.7 ระดับความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลง KT13A (ต่อ)

ภาพที่	ช่วงความถี่	Value	สถานะภายในหม้อแปลงไฟฟ้า
4.25 B – b1 และ C – c1	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	2.49	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	2.75	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	1.42	Normal
4.26 A – N [OPEN] และ A – N [OPEN] (TAP 1)	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	4.43	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	4.97	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	3.74	Normal
4.27 B – N [OPEN] และ A – N [OPEN] (TAP 10)	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	1.21	Light Distortion
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	2.05	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.61	Normal
4.28 B – N [OPEN] และ B – N [OPEN] (TAP 1)	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	4.38	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	5.03	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	3.39	Normal
4.29 B – N [OPEN] และ B – N [OPEN] (TAP 10)	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	1.22	Light Distortion
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	2.03	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.16	Normal
4.30 C – N [OPEN] และ C – N [OPEN] (TAP 1)	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	4.40	Normal
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	4.26	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.79	Normal
4.31 C – N [OPEN] และ C – N [OPEN] (TAP 10)	R-LF (1 kHz – 100 kHz)	1.15	Light Distortion
	R-M (100 kHz – 600 kHz)	1.98	Normal
	R-HF (600 kHz – 1 MHz)	2.15	Normal

ผลที่ได้จากกราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า จะแสดงความแตกต่างของค่าอ้างอิงและค่าที่ได้จากการทดสอบ

ซึ่งสามารถคำนวณค่าความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ได้ดังสมการดังต่อไปนี้
การคำนวณค่าความแปรปรวนมาตรฐานของทั้ง 2 เหตุการณ์

$$D_x = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[X(k) - \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \right]^2, D_y = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[Y(k) - \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) \right]^2 \quad (4.1)$$

การคำนวณค่าความแปรปรวนร่วมของทั้ง 2 เหตุการณ์

$$C_{XY} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[X(k) - \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \right] \times \left[Y(k) - \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) \right] \quad (4.2)$$

การคำนวณค่าความแปรปรวนร่วมของค่าแฟกเตอร์ปกติของทั้ง 2 เหตุการณ์

$$LR_{XY} = C_{XY} / \sqrt{D_x D_y} \quad (4.3)$$

การคำนวณค่าความสัมพันธ์ของแฟกเตอร์ R_{XY} เป็นไปตามข้อกำหนดของสมการ ดังต่อไปนี้

$$R_{XY} = \{10^{-\lg(1-LR_{XY})}, 1 - LR_{XY} < 10^{-10} \}_{others} \quad (4.4)$$

โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาที่ช่วงความถี่ต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ระดับของการเปลี่ยนแปลงภายในหม้อแปลงไฟฟ้า

สถานะภายในหม้อแปลงไฟฟ้า	ค่าความแตกต่าง
ปกติ	$R_{LF} \geq 2.0, R_{MF} \geq 1.0, R_{HF} \geq 0.6$
เกิดความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	$2.0 > R_{LF} \geq 1.0, 0.6 \leq R_{MF} < 1.0$
เกิดความเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัด	$1.0 > R_{LF} \geq 0.6, R_{MF} < 0.6$
เกิดความเสียหายรุนแรง	$R_{LF} < 0.6$