บทที่ 3
การออกแบบและคำนวณ

3.1 การวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในส่วนของการทดลองและศึกษา เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์และประเมินหาความผิดปกติ หรือความเสียหาย ที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเป็นการป้องกันและทำการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ ในการทำงานและสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบที่รองรับ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการตรวจสอบสภาพของหม้อแปลงด้วยวิธีการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ โดยในการทดลองจะใช้เทคนิคในการกวาดความถี่ในการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ (Sweep Frequency Response Analysis ; SFRA) ซึ่งการตรวจสอบหม้อแปลงด้วยวิธีการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ คือวิธีการที่สามารถบอกถึงสภาพของแกนเหล็ก ขดลวด และจุดเชื่อมต่อต่างๆ

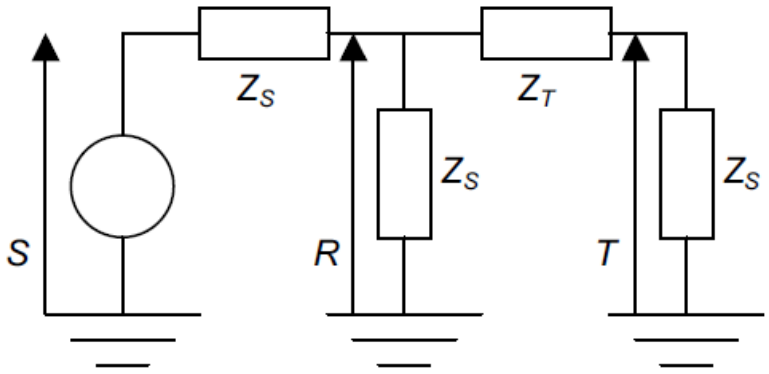
การวิเคราะห์การตอบสนองความถี่คือการตรวจสอบการส่งผ่านพลังงาน (Transfer Function) ของขดลวดภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งบอกผลที่ผิดเพี้ยนไปภายในหม้อแปลงไฟฟ้า ว่ามาจากส่วนใดเพื่อที่จะทำการป้องกันและบำรุงรักษาได้ตรงจุด

3.2 วิธีการตรวจวัด [8]

สำหรับกระบวนการตรวจสอบหม้อแปลงด้วยวิธีการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่นั้น จะมีวิธีการตรวจวัดโดยการปล่อยสัญญาณความถี่เข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อหาสิ่งผิดปกติในแต่ละส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าและนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ออกมาทำการศึกษา และวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้า

3.2.1 วิธีการกวาดความถี่ (Sweep Frequency Method ; SFM)

วิธีการกวาดความถี่เป็นวิธีการที่ทำการปล่อยความถี่เข้าไปสู่หม้อแปลงในหลายย่านความถี่ โดยทำการกวาดความถี่ตั้งแต่ความถี่ต่ำจนถึงความถี่สูง โดยอาจทำการวัดโดยแยกสัญญาณที่ปล่อยเข้าไปแต่ละเฟสได้โดยวงจรที่ใช้ในการตรวจวัดจะแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 วงจรพื้นฐานในการตรวจวัด

โดยกำหนดให้

S คือ สัญญาณความถี่ที่ปล่อยเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้า

R คือ ค่าที่วัดจากสัญญาณอ้างอิง

T คือ ค่าที่วัดจากหม้อแปลง

Z_S คือ ความต้านทานของสายวัด

Z_T คือ ความต้านทานของตัวหม้อแปลงไฟฟ้าและขดลวด

ซึ่งสามารถหาค่า Magnitude ได้จากสมการ

$$k = 20log_{10}\,(T/R) \tag{3.1}$$

หรือ

$$k = 20log_{10}(\frac{V_{out}}{V_{in}}) \tag{3.2}$$

และเฟสจากสมการ

$$\Phi = \angle\,(\mathrm{T/R}) \tag{3.3}$$

สำหรับเทคนิคในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- เทคนิคการวิเคราะห์จากสัญญาณ (Signature Technique) เทคนิคนี้คือการวัดเพื่อเก็บค่าอ้างอิงไว้โดยการปล่อยสัญญาณความถี่เข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้า โดยอาจจะใช้การวัด 3 ครั้งโดยแยกวัดแต่ละเฟสและทำการแปลงให้เป็นสัญญาณเดียว ในการแสดงสภาวะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะที่ทำการทดสอบ โดยสามารถใช้สมการในการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณเดียว คือ

$$Av_i = \frac{Ri+Yi+Bi}{3} \tag{3.4}$$

เมื่อ Ri คือ การวัดสัญญาณความถี่ในเฟสที่ 1

Yi คือ การวัดสัญญาณความถี่ในเฟสที่ 2

Bi คือ การวัดสัญญาณความถี่ในเฟสที่ 3

Av_i คือ ค่าเฉลี่ยของการวัดทั้ง 3 เฟส

$$Si = \sqrt{[(Ri - Av_i)^2 + (Yi - Av_i)^2 + (Bi - Av_i)^2]} \tag{3.5}$$

เมื่อ Si คือ ค่าในการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณเดียว

- เทคนิคการเปรียบเทียบ (Comparison Technique) เทคนิคนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับข้อมูลอ้างอิง ซึ่งความแตกต่างของการตอบสนองความถี่สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลง

$$D_i = R_i - REF_i \tag{3.6}$$

เมื่อ R_i คือ ค่าสัญญาณที่วัดได้

REF_i คือ ค่าสัญญาณอ้างอิง

D_i คือ ค่าความแตกต่างของสัญญาณ

3.2.2 การแปลความหมายของการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลง

(Interpretation of frequency response measurements)

โดยทั่วไปแล้วการเปรียบเทียบกราฟที่วัดได้จากการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการเบี่ยงเบนไปของกราฟการตอบสนองความถี่ ซึ่งหากเกิดการเบี่ยงเบนไปของกราฟ ก็จะบ่งบอกถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในตัวหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะนำไปสู่การตรวจสอบอย่างละเอียดและทำการบำรุงรักษาต่อไป

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด [7]

3.3.1 เครื่อง FRAX -101

เครื่อง FRAX – 101 จะมีหน้าที่เป็นตัวส่งและรับสัญญาณความถี่ที่ปล่อยเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าและส่งข้อมูลที่ได้ไปประมวลผล

ภาพที่ 3.2 เครื่อง FRAX-101

3.3.2 เครื่อง FTB -101

เครื่อง FTB-101 คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของเครื่อง FRAX-101ก่อนทำการวัด เพื่อเป็นการพิจารณาค่าของการส่งผ่านพลังงานว่าเป็นไปอย่างถูกต้องหรือไม่

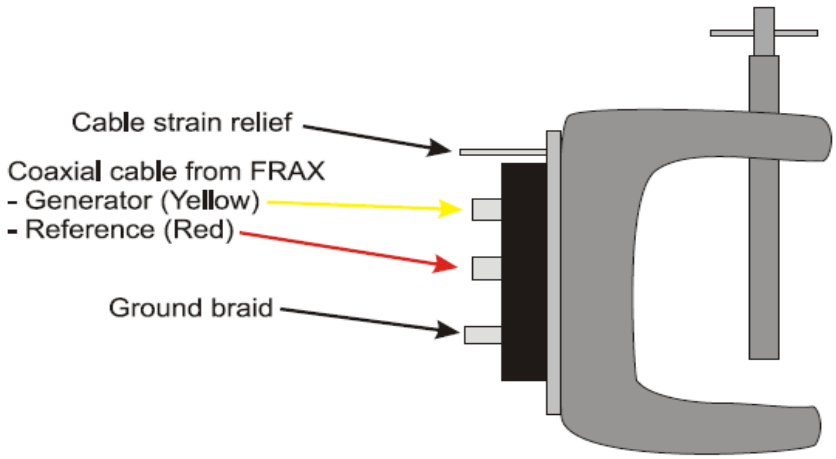
ภาพที่ 3.3 เครื่อง FTB-101

3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

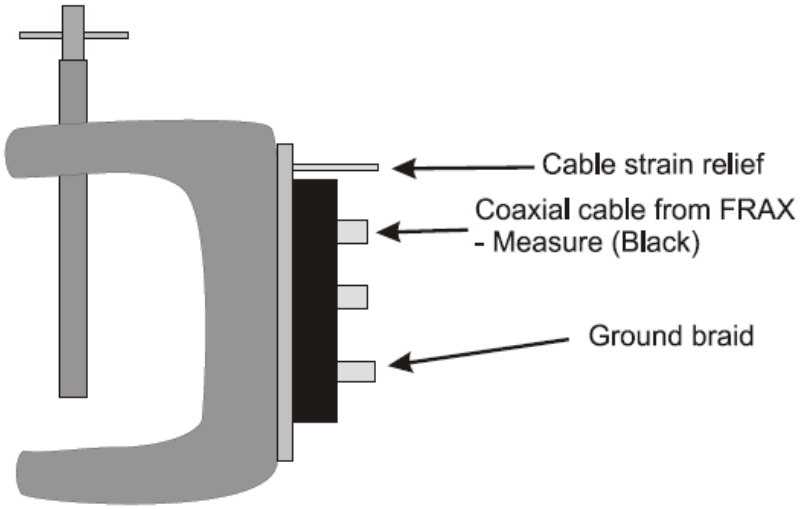
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือวัดกับหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วย

- สายสัญญาณ ทำหน้าที่ในการส่งและรับสัญญาณระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากับเครื่อง FRAX-101
- สายต่อ Ground ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อ Ground ของระบบในการวัด
- C – clamp และ G – clamp ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อสายสัญญาณ และสายต่อ Ground ของเครื่องมือวัดเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้า

ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ



ภาพที่ 3.5 จุดต่างๆในการต่อสายสัญญาณเข้ากับ C - clamp ด้านอินพุท

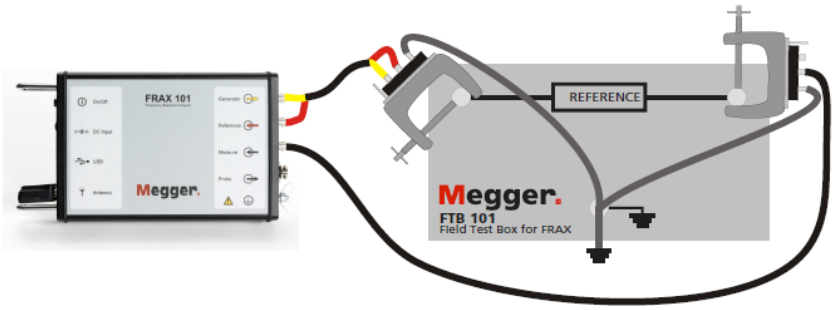


ภาพที่ 3.6 จุดต่างๆในการต่อสายสัญญาณเข้ากับ C – clamp ด้านเอาท์พุท

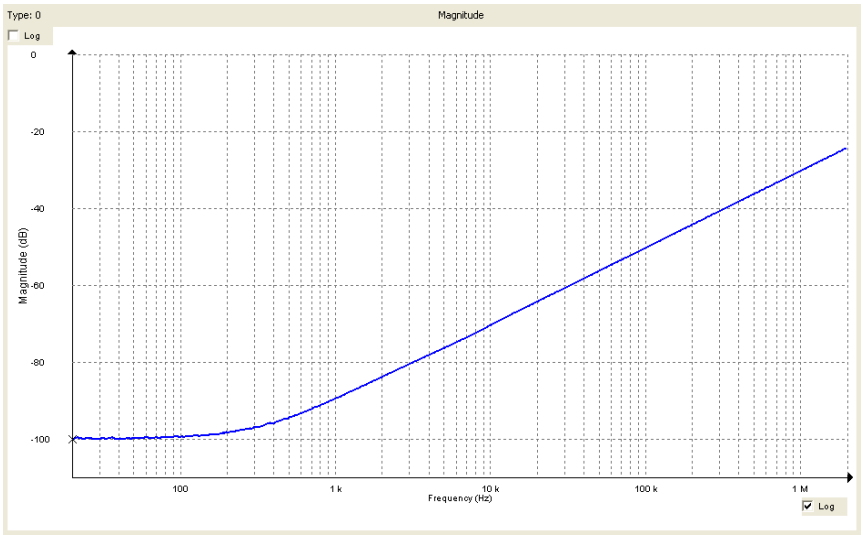
3.4 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือตรวจวัดกับหม้อแปลงไฟฟ้า [7]

3.4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่อง FRAX-101

ก่อนการตรวจวัดทุกครั้งจะต้องมีการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ โดยจะมีการส่งสัญญาณความถี่ผ่านเครื่อง FTB-101 เพื่อตรวจสอบกราฟการตอบสนองความถี่ดังที่แสดงในภาพที่ 3.7 และภาพที่ 3.8

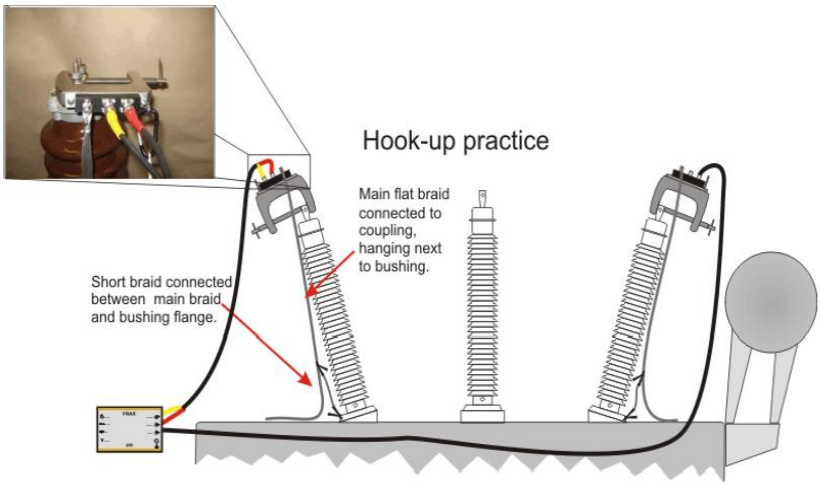


ภาพที่ 3.7 การต่อเพื่อทำการทดสอบการทำงานของเครื่อง FRAX-101

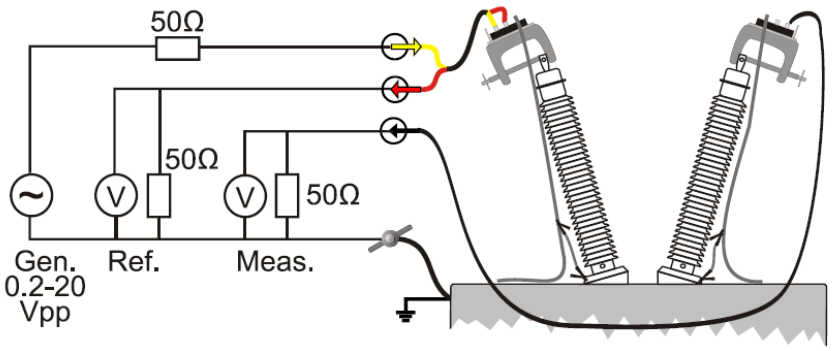


ภาพที่ 3.8 การตอบสนองความถี่ที่ได้จากการทดสอบเครื่อง FRAX-101

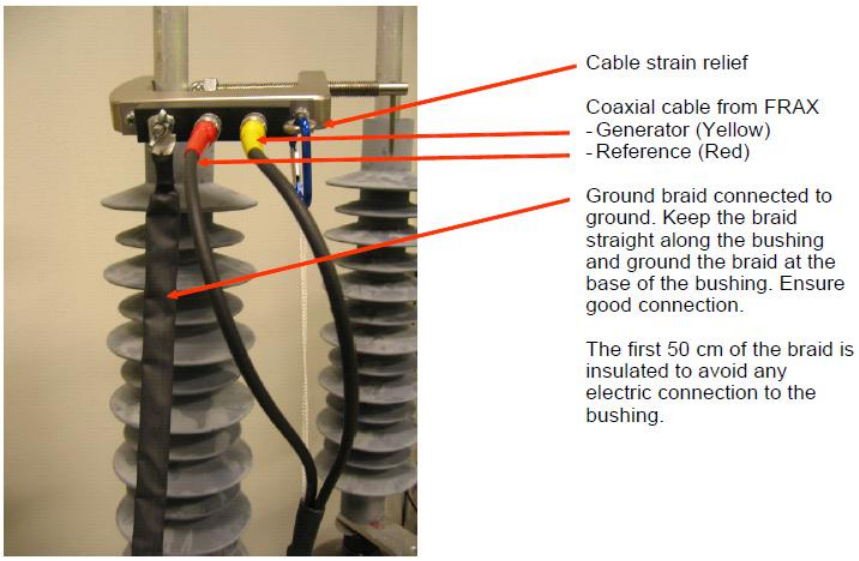
3.4.2 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่อง FRAX-101 กับหม้อแปลงไฟฟ้า



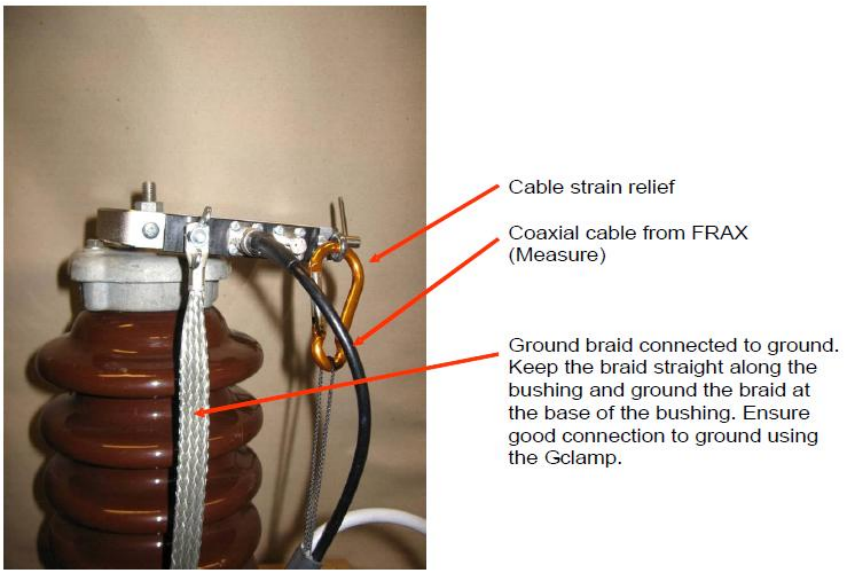
ภาพที่ 3.9 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในการวัดกับหม้อแปลงไฟฟ้า



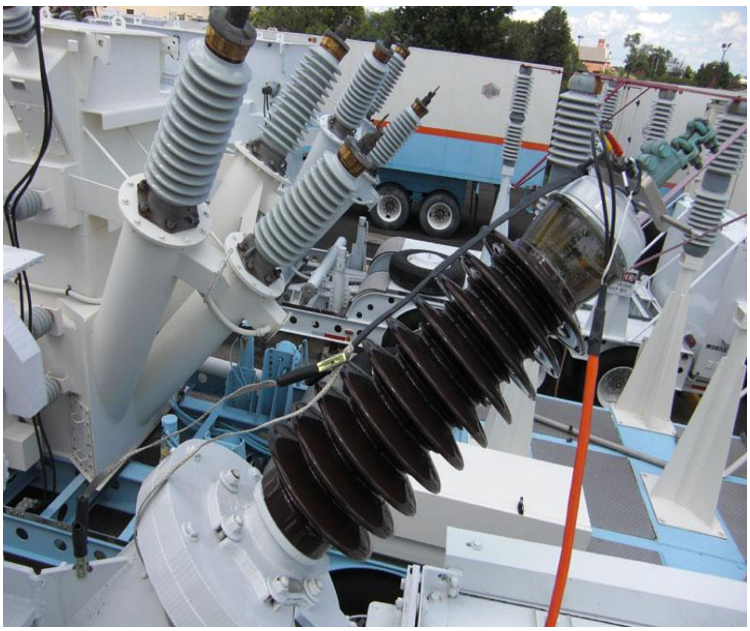
ภาพที่ 3.10 วงจรภายในเครื่อง FRAX-101ในการตรวจวัด



ภาพที่ 3.11 การเชื่อมต่อทางด้านอินพุท



ภาพที่ 3.12 การเชื่อมต่อทางด้านเอาท์พุท



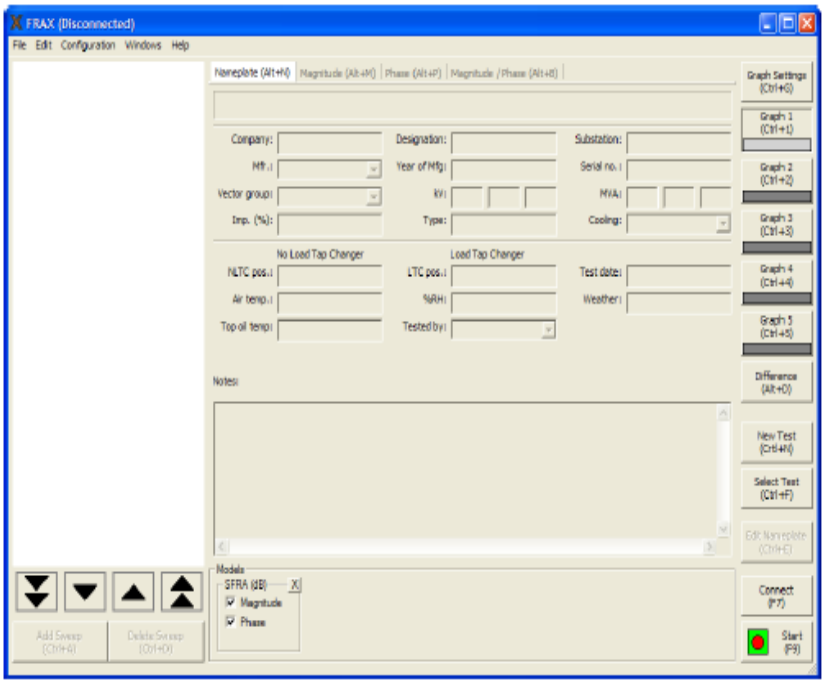
ภาพที่ 3.13 การเชื่อมต่อ Ground ของเครื่องมือวัดเข้ากับระบบ

3.5 โปรแกรมในการกำหนดค่าในการวัดและการแสดงผล [7]

ในการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ ในการกำหนดค่าความถี่ที่จะปล่อยเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้า จะกำหนดค่าจากโปรแกรมเพื่อทำการส่งคำสั่งและค่าความถี่ที่ต้องการใช้ในการตรวจวัดต่างๆ ส่งผ่านไปยังเครื่อง FRAX-101 และรับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการ ประมวลผลและ สร้างกราฟความสัมพันธ์ของการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า และการคำนวณค่าของสัญญาณต่างๆที่ได้จากการตรวจวัด

3.5.1 การกรอกค่าประจำตัวของหม้อแปลงไฟฟ้า

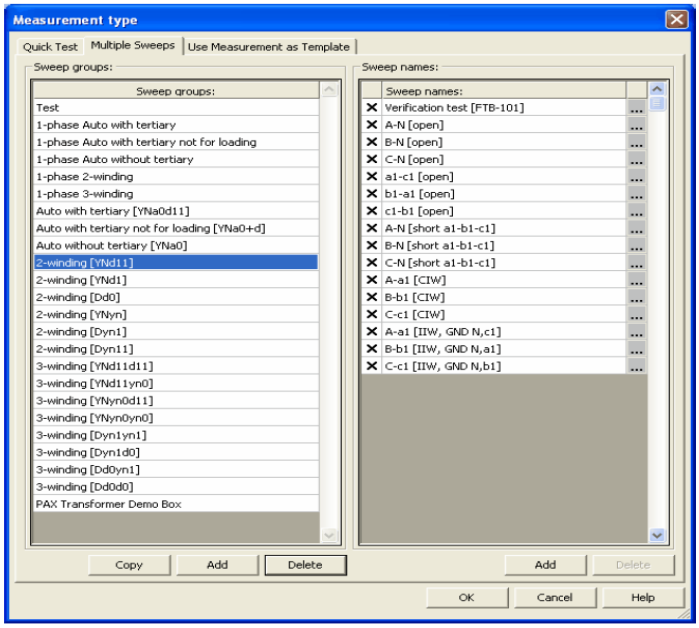
ก่อนเริ่มทำการ วัดจะต้องมีการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับหม้อแปลงลูกนั้นๆก่อน เช่น ชื่อบริษัทผู้ผลิต ชนิดของหม้อแปลง ขนาดพิกัดของหม้อแปลง ปีที่ผลิต วันที่ทำการทดสอบ



ภาพที่ 3.14 การกรอกค่าประจำตัวของหม้อแปลงไฟฟ้า

3.5.2 การเลือก Vector Group ของหม้อแปลงเพื่อกำหนดขั้วในการทดสอบ

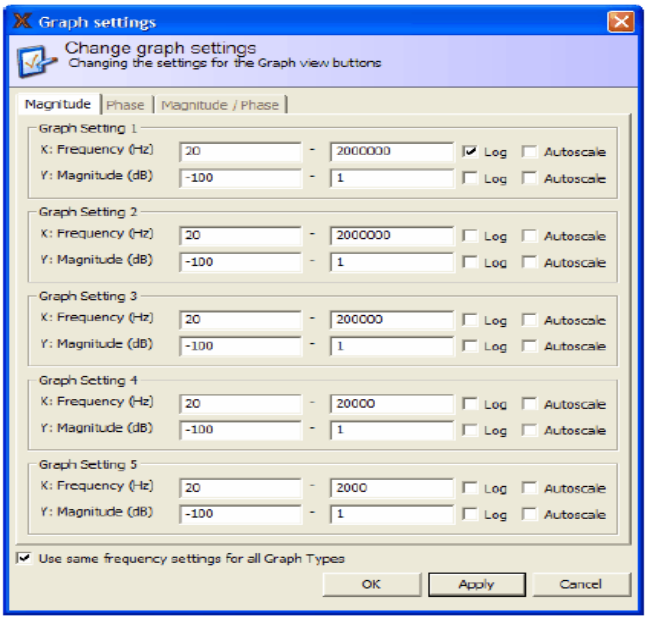
ในการตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละลูกจะต้องมีการกำหนด Vector Group ของหม้อแปลงตามที่ระบุไว้ เพื่อกำหนดจุดในการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดกับขั้วต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพที่ 3.15 การกำหนด Vector Group ของหม้อแปลงไฟฟ้า

3.5.3 การกำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ

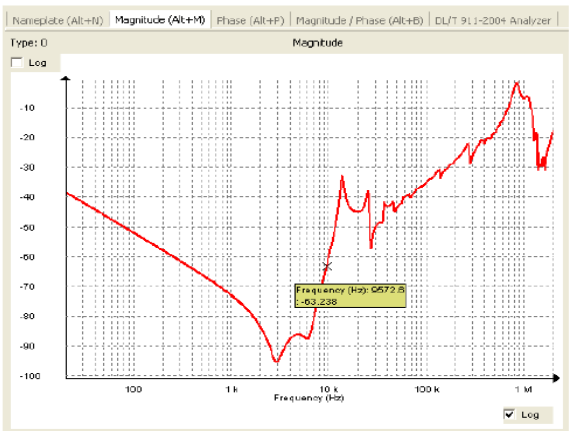
ในการตรวจวัดจะต้องมีการกำหนดค่าความถี่ที่จะปล่อยเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้า และกำหนดค่าต่างๆบนกราฟที่ได้จากการตรวจวัดเมื่อมีการประมวลผลที่ได้จากการตรวจวัด



ภาพที่ 3.16 การกำหนดค่าความถี่และค่าต่างๆ ในกราฟการประมวลผล

3.5.4 การแสดงผลการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า

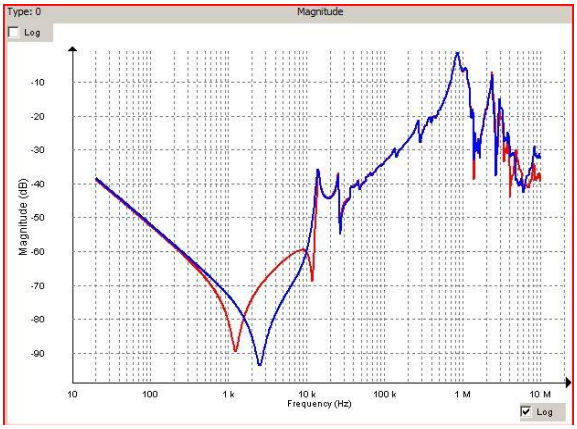
เมื่อทำการปล่อยสัญญาณความถี่เข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าเข้าทางด้านอินพุทผลที่ถูกส่งกลับมาจากการวัดจะถูกประมวลผล และแสดงออกในรูปของกราฟแสดงผลการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงลูกนั้นๆ



ภาพที่ 3.17 การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้า

3.5.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำการตรวจวัดเพื่อเก็บค่าอ้างอิงในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ในสภาพสมบูรณ์หรือเริ่มติดตั้งหม้อแปลงใหม่ และหากมีความผิดปกติภายในระบบ ซึ่งคาดว่าอาจส่งผลกระทบสู่หม้อแปลงจะทำการตรวจวัดเพื่อนำกราฟการตอบสนองความถี่มาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ในช่วงความถี่ต่างๆ

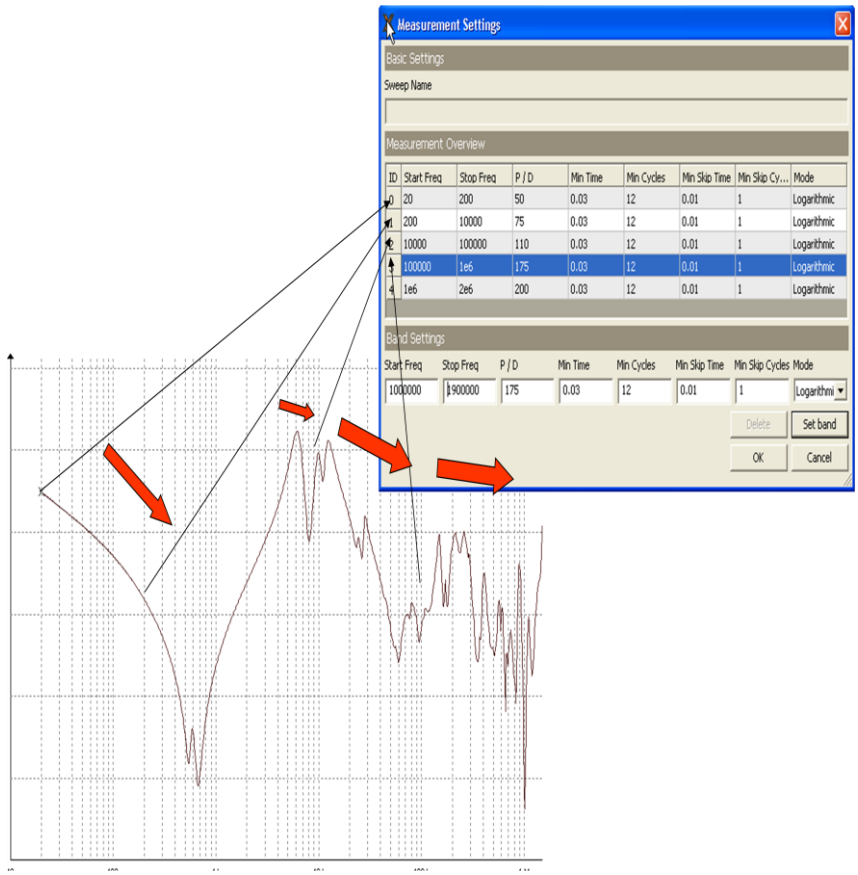


ภาพที่ 3.18 ความสัมพันธ์ของการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

	Frequency	Value	Obvious Distortion	Suspected Distortion	Normal
Low Frequency	1 kHz - 100 kHz	1.81	Value < 1	1 <= Value < 2	2 <= Value
Medium Frequency	100 kHz - 600 kHz	0.96	Value < 0.6	0.6 <= Value < 1	1 <= Value
High Frequency	600 kHz - 1 MHz	0.61		0 <= Value	0.6 <= Value

Conclusion: Suspected Distortion

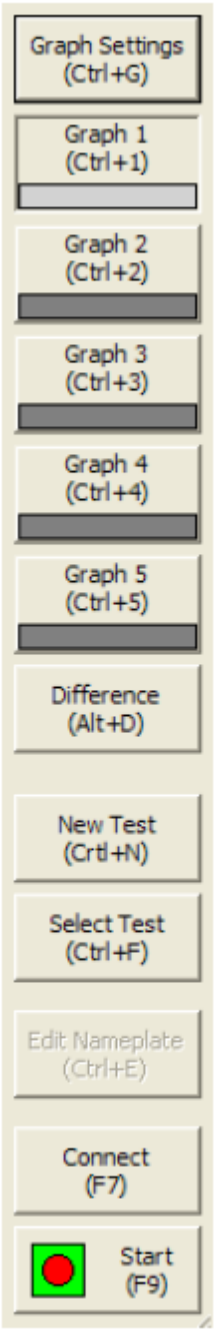
ภาพที่ 3.19 ผลของการตอบสนองความถี่ในช่วงความถี่ที่ต้องการทราบ



ภาพที่ 3.20 ช่วงความถี่ที่กำหนดจากโปรแกรมการทำงาน

3.6 ปุ่มปฏิบัติการต่างๆ ของโปรแกรมการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่

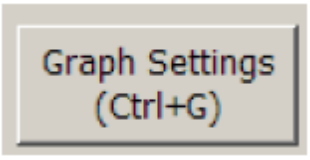
ปุ่มปฏิบัติการใช้สำหรับการเข้าถึงที่เร็วขึ้นเพื่อทำงานร่วมกัน



ภาพที่ 3.21 ปุ่มปฏิบัติการต่างๆ ของโปรแกรมการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่

3.6.1 ปุ่มตั้งค่ากราฟ

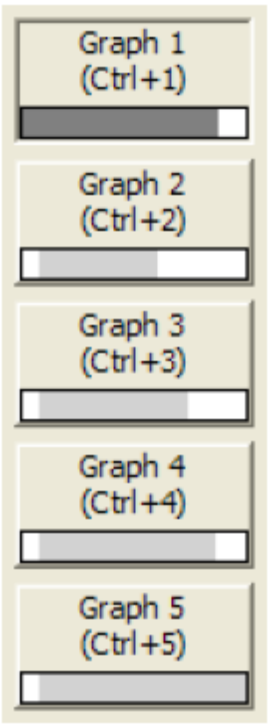
ใช้ในการตั้งค่าการแสดงกราฟ



ภาพที่ 3.22 ปุ่มตั้งค่ากราฟ

3.6.2 ปุ่มตั้งค่าการดูกราฟ

ใช้ในการตั้งค่าการแสดงผลของกราฟ โดยแถบสีที่ปุ่มมีสีต่างกันขึ้นอยู่กับการตั้งค่า



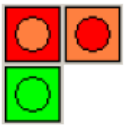
ภาพที่ 3.23 ปุ่มตั้งค่าการดูกราฟ

Logarithmic frequency scale.
Linear frequency scale.
The gray area shows the viewing area of the entire graph.

ภาพที่ 3.24 แถบสีที่ปุ่มตั้งค่าการดูกราฟ

3.6.3 ปุ่มไอค่อน

จะแสดงถึงสถานะของการทำงานของระบบ

Button Icon	Description
	This icon means that you are not connected to the system.
	1. No file is selected in the Legend. 2. No sweep is selected in the Legend. 3. The selected sweep is already measured.
	Measurement in progress.
	Ready to start measurement.

ภาพที่ 3.25 ปุ่มไอค่อนแสดงสถานะของการทำงาน