

# Instituto Tecnológico de Morelia

PROGRAMA DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

## ANÁLISIS DE RESPUESTA AL BARRIDO DE LA FRECUENCIA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

T E S I S

para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería Eléctrica**

Presenta

**David Jiménez Libreros**

Director de tesis:

**Dr. Vicente Venegas Rebollar**

Morelia, Michoacán. Mayo 2017



# ***RESUMEN***

Este trabajo se enfoca al estudio y aplicación de la respuesta al barrido de la frecuencia (SFRA) para el diagnóstico y simulación de fallas en transformadores de potencia.

Primeramente, se describe la metodología para realizar la prueba de campo especificando las conexiones y recomendaciones para llevar a cabo la prueba correctamente en un transformador de potencia. Asociado a ello, también se explica la forma en la que se puede determinar la función de transferencia de un circuito eléctrico que contiene elementos resistivos, capacitivos e inductivos, lo cual conduce a una mejor comprensión de lo que sucede en un devanado de un transformador ante variaciones en la frecuencia.

Se desarrolla un circuito equivalente del devanado de un transformador de potencia para emular el comportamiento de su impedancia tanto en corto circuito como en circuito abierto. Para obtener este modelo se realizaron diversas pruebas tales como la de factor de potencia del aislamiento, corriente de excitación, reactancia de dispersión, impedancia de frecuencia cero, entre otras. Los datos obtenidos de las pruebas se utilizaron para obtener circuitos referidos tanto al lado de alta como al lado de baja del transformador de potencia. La respuesta de este circuito fue validada mediante una comparación con los resultados obtenidos de la prueba de respuesta en frecuencia mediante un equipo comercial de la marca DOBLE.

Una vez validado el circuito equivalente, se utilizó para estudiar el comportamiento del devanado ante elongaciones axiales, movimientos localizados, resistencia de contacto y espiras en corto circuito. Los resultados obtenidos permiten determinar las distintas variaciones en el espectro de frecuencia que indicarían la presencia de alguna de las situaciones mencionadas.

Los modelos y resultados obtenidos tienen utilidad en el diagnóstico de fallas y en el mantenimiento preventivo y correctivo de transformadores de potencia

# ***ÍNDICE***

## ***GENERAL***

---

***CONTENIDO***

Dedicatoria y agradecimientos	I
Resumen	IV
Abstract	V
Índice general	VI
Símbolos y abreviaturas	X
Índice de figuras	XVII
Índice de tablas	XXV

***CAPÍTULO 1***

***INTRODUCCION***

1.1 Naturaleza del problema	2
1.2 Objetivo	3
1.3 Metas	3
1.4 Justificación	4
1.5 Reseña histórica	5
1.6 Organización de la tesis	7

***CAPÍTULO 2***

***TEORÍA DE CIRCUITOS RESONANTES***

2.1 Introducción	9
2.2 Análisis de Circuito Resistivo	9
2.3 El Inductor	18
2.4 El Capacitor	25
2.5 Resonancia en Paralelo	32
2.6 Conexión RLC en Paralelo	36
2.7 Resonancia en Serie	38

2.8	Conexión RLC en Serie	39
2.9	Aspectos de la prueba de SFRA	40
2.10	Respuesta del Circuito RLC en Paralelo	45
2.11	Caso de Estudio Básico	47
2.12	Caso de Estudio Básico 2	52
2.13	Análisis de la Función de Transferencia	53
2.14	Grafica de la Función de Transferencia	57

### ***CAPÍTULO 3***

#### ***METODOLOGIA DE PRUEBA SFRA***

3.1	Introducción	60
3.2	Procedimiento de Prueba	61
3.3	Recomendaciones de Prueba	75
3.4	Rangos de Análisis de Prueba de SFRA	77

### ***CAPÍTULO 4***

#### ***CIRCUITO EQUIVALENTE PARA EL ANALISIS DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA***

4.1	Modelado del Transformador y Prueba de SFRA	102
4.2	Circuito Equivalente RLC Simplificado Referido al lado de Alto Voltaje	106
4.3	Circuito Equivalente RLC Simplificado Referido al Lado de Bajo Voltaje	107
4.4	Prueba de SFRA en Circuito Abierto	109
4.5	Prueba de Corto Circuito de SFRA	109
4.6	Procedimientos de Prueba	110
4.7	Prueba de Factor de Potencia al Aislamiento Principal (Prueba General)	111
4.8	Prueba de Corriente de Excitación	112
4.9	Prueba de Reactancia de Dispersión	116

4.10	Prueba de SFRA	121
4.11	Prueba de Impedancia de Secuencia Cero	122
4.12	Caso Practico Aplicado a un Transformador	124

## ***CAPÍTULO 5***

### ***SIMULACION DE CASOS PRACTICOS UTILIZANDO EL CIRCUITO***

#### ***EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR***

5.1	Elongación del devanado en forma axial	158
5.2	Movimiento Localizado	166
5.3	Resistencia de contacto	169
5.4	Espiras en corto circuito	172

## ***CAPÍTULO 6***

### ***CONCLUSIONES, APORTACIONES Y TRABAJOS FUTUROS***

6.1	Conclusiones	178
6.2	Aportaciones	179
6.3	Trabajos futuros	180

<b><i>REFERENCIAS</i></b>	<b>181</b>
---------------------------	------------