



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Morelia

División de Estudios de Posgrado e Investigación
Programa de Graduados e Investigación en Ingeniería Eléctrica

T E S I S

"RESPUESTA TÉRMICA DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS CON ACEITES VEGETALES"

Presenta:

Salvador Avalos Lozano

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica

Director de tesis:

Dr. Enrique Melgoza Vázquez

Morelia, Michoacán, Noviembre, 2018

Resumen

Determinar si los aceites vegetales tienen un comportamiento térmico adecuado, dentro de los límites de temperatura de acuerdo a la guía de carga.

En esta tesis se utiliza un método de la guía de carga la IEEE Std. C57.91-1995 para el cálculo de temperaturas sin corrección de viscosidad en transformadores de potencia utilizando los incrementos de temperatura del aceite superior e inferior, así como la temperatura ambiente mediante los cuales se obtiene la temperatura del punto más caliente del devanado. Se usaron diferentes constantes de tiempo para un transformador así como la variación de la temperatura ambiente para determinar el comportamiento térmico en varios puntos del transformador.

También se utilizó el método de la guía de carga de la IEEE Std. C57.91-1995 con corrección de viscosidad y resistencia en el devanado por cambios en la temperatura para varios tipos de aceites (minerales y vegetales). Se consideraron transformadores de potencia con diferentes tipos de enfriamiento para observar el comportamiento térmico en varios puntos del transformador, así como la temperatura del punto más caliente en el devanado.

También se realizaron mediciones de temperatura en un transformador de distribución de 5KVA con tipo de enfriamiento OA. Se utilizó carga en escalón iniciando en .5 p.u. y finalizando en 1.25 p.u. con intervalos de tiempo de media hora con cambios de .25 p.u., posteriormente con un enfriamiento (sin carga) de 50 minutos. Tanto los resultados simulados como experimentales fueron similares para aceite vegetal comparado con aceite mineral. Esto indica que no hay degradación térmica cuando se utilizan aceites vegetales.

Abstract

Determine if the vegetable oils have an adequate thermal behavior, within the limits of temperature according to the loading guide.

In this thesis IEEE Std load guide method C57.91-1995 is used to calculate temperatures without viscosity correction in power transformers using the upper and lower oil temperature increments, as well as the ambient temperature through which the temperature of the hottest point of the winding is obtained. Different time constants for a transformer were used as well as the variation of the ambient temperature to determine the thermal behavior at various points of the transformer.

The load guide method of the IEEE Std. C57.91-1995 was also used with viscosity correction and resistance in the winding due to changes in temperature for several types of oils (mineral and vegetable). Power transformers with different types of cooling were considered to observe the thermal behavior at various points of the transformer, as well as the temperature of the hottest point in the winding.

Temperature measurements were also made in a 5KVA distribution transformer with OA cooling type. Step loading was used starting at .5 p.u. and ending at 1.25 p.u. with half-hour time intervals with changes of .25 p.u., later with a cooling (no load) of 50 minutes. Both the simulated and experimental results were similar for vegetable oil compared to mineral oil. This indicates that there is no thermal degradation when vegetable oils are used.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VIII
Nomenclatura	IX
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Modelos térmicos	3
1.2.1. Modelos correlacionales	3
1.2.2. Modelos de parámetros concentrados	4
1.2.3. Modelos numéricos	4
1.2.4. Modelos teóricos	4
1.3. Modelos térmicos con aceite vegetales	5
1.4. Objetivos	6
1.5. Descripción de los capítulos	7
2. Conceptos de transferencia de calor y transformadores	9
2.1. Modos de transferencia de calor	9
2.2. Tipos de transformadores	11
2.2.1. Pérdidas en transformadores	12
2.2.2. Tipos de líquidos aislantes	14
2.2.3. Sistemas de enfriamiento de transformadores	17
2.3. Efectos de la sobrecarga en transformadores	20
3. Cálculo de temperaturas	21
3.1. Ecuaciones para el cálculo de temperaturas sin corrección de viscosidad	22
3.1.1. Incremento de temperatura del aceite superior	23
3.1.2. Incremento de temperatura del devanado	27
3.1.3. Constante de tiempo	29
3.2. Procedimiento	30
3.3. Resultados	37
3.3.1. Temperaturas con diferentes constantes de tiempo y temperatura ambiente constante y variable	37
3.3.2. Comparación de la temperatura del punto más caliente en el devanado con diferentes constantes de tiempo	38

3.3.3.	Comparación entre temperatura ambiente constante y variable . . .	54
3.4.	Conclusiones	58
4.	Cálculo de temperaturas con corrección de viscosidad	60
4.1.	Ecuaciones	61
4.1.1.	Temperatura promedio del devanado	61
4.1.2.	Aumento de la temperatura en los ductos de enfriamiento del devanado	63
4.1.3.	Temperatura del punto más caliente en el devanado	64
4.1.4.	Temperatura promedio del aceite	65
4.1.5.	Temperatura del aceite superior e inferior	67
4.1.6.	Viscosidad del aceite y calor específico de los materiales	67
4.2.	Características del transformador y datos del ciclo de carga	68
4.3.	Resultados	71
4.3.1.	Temperatura con diferentes sistemas de enfriamiento	71
4.3.2.	Temperatura con diferentes aceites	74
4.4.	Conclusiones	80
5.	Mediciones de temperaturas en transformador de distribución con dife-	82
	rentes aceites	
5.1.	Introducción a LabVIEW	82
5.1.1.	Entorno de LabVIEW	82
5.2.	Desarrollo del programa de adquisición de datos en LabVIEW	83
5.3.	Elementos del experimento	84
5.3.1.	Tarjeta USB-6211	84
5.3.2.	Sensor de temperatura LM35	86
5.3.3.	Transformador de distribución	86
5.3.4.	Aceite vegetal DIELEC-330	86
5.3.5.	Arreglo del experimento	88
5.4.	Procedimiento	89
5.5.	Resultados	90
5.6.	Conclusiones	92
6.	Conclusiones, aportaciones y trabajos futuros	93
6.1.	Conclusiones	93
6.2.	Aportaciones	94
6.3.	Trabajos futuros	95
	Bibliografía	96