

N° Comité de Estudio: 12

N° IV SESEP: CE 12.03

Sobrecarga de transformadores de tres arrollamientos: Herramienta computacional

Ing. Alex Duré Cabañas

ANDE – Dpto. de Ingeniería de Mantenimiento – GT/DMA/IM

Av. Kubitscheck 390 – Asunción, Paraguay

Tel.: 595 21 2172050; e-mail: { [HYPERLINK mailto:dure@supernet.com.py](mailto:dure@supernet.com.py) }

RESUMEN

Son mostrados resultados de simulaciones “sobrecarga versus temperatura de punto caliente” para el caso de un transformador de potencia, inmerso en aceite, de tres arrollamientos. Para la realización de tales simulaciones ha sido implementado un aplicativo computacional en ambiente Matlab™, sobre la base de la metodología propuesta en la referencia [1]. La complejidad del problema de simulación está asociada al hecho de que una misma pérdida total en el conjunto de tres arrollamientos puede ser producida por infinitas combinaciones de corriente de carga de sus tres terminales. Cabe mencionar que las guías de carga IEC-60354 y NBR-5416 no pueden ser aplicadas directamente para el caso de transformadores de tres arrollamientos.

Palabras claves: Sobrecarga - Transformador - Terciario - Simulación - Matlab.

1. INTRODUCCION

La potencia nominal de un transformador no constituye un límite físico de su capacidad de carga. Más bien define una situación de referencia, para la cual, en determinadas condiciones ambiente, diversas temperaturas características no deben exceder determinados valores, fijados ó no por las normas. Por ello, en transformadores de potencia, las limitaciones de carga en condiciones operativas usuales son establecidas sobre la base de consideraciones térmicas.

Por lo expuesto precedentemente, modelos matemáticos que relacionan la evolución temporal de temperaturas características (e.g., las temperaturas de punto caliente de los bobinados y de la parte superior del aceite de cuba) con variables representativas de la carga del transformador (e.g., las curvas de las potencias aparentes transferidas a través de los arrollamientos) han sido establecidas sólidamente (ref. [2], [3] y [4]), siendo aplicadas primeramente en la elaboración de guías de carga (e.g., ref. [5] y [6]) y últimamente en sistemas de monitoreo continuo (e.g., ref.[7] y [8]).

Las referencias [2], [3] y [4], bases teóricas de los modelos usualmente utilizados, fueron revistas en la ref. [1] buscando un mejor énfasis al enfoque computacional. Uno de los resultados mostrados en [1] es un procedimiento iterativo que sobre la base de datos obtenidos durante las pruebas de recepción del transformador (ensayos de vacío, cortocircuito y calentamiento) permite la simulación de perfiles de temperatura para ciclos temporales de carga dados. Este procedimiento posee ventajas sobre otros, principalmente el hecho de tratar el caso de transformadores con varios arrollamientos. Las guías de carga IEC-60354 (ref. [5]) y NBR-5416 (ref. [6]) no pueden ser aplicadas directamente para el caso de transformadores de tres arrollamientos, debido a que la sobrecargabilidad de cualquiera de los arrollamientos está relacionada a la carga de los demás. Además, dichas guías adoptan 140 °C como máxima temperatura de punto caliente en bobinados, un límite que eventualmente podría ser considerado elevado en función de las incertezas del modelaje y condición del equipo.

Por lo tanto, queda demostrada la conveniencia de disponerse de una herramienta computacional que auxilie la determinación de la sobrecargabilidad admisible, preferentemente abarcando transformadores de dos ó más arrollamientos puesto que estos son frecuentemente utilizados en sistemas eléctricos de potencia.

2. SOFTWARE

La metodología propuesta en [1] fue implementada en ambiente Matlab™ (ref. [9]) con el fin de maximizar los límites de carga admisible durante situaciones de sobrecarga emergencial en transformadores de potencia de dos ó más arrollamientos.

Los parámetros de entrada del programa utilizados para definir el comportamiento térmico del transformador, lo constituyen datos obtenidos en los ensayos de vacío, cortocircuito y calentamiento realizados al transformador de potencia, usualmente como parte de los ensayos de recepción en fábrica.



COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO

Dadas las curvas (en función del tiempo) del ciclo de carga y de la temperatura ambiente, el programa genera curvas correspondiendo a la estimativa de las siguientes temperaturas características:

- Temperatura del aceite en la parte superior de la cuba;
- Temperatura representativa para efectos del cálculo de flujo de calor, de los bobinados de cada arrollamiento;
- Temperatura de punto caliente, de los bobinados de cada arrollamiento.

En consecuencia, es posible prever las máximas temperaturas correspondientes a las condiciones operativas y de ambiente especificadas, y compararlas con las restricciones (e.g. valores máximos de temperatura de punto caliente) que se pretende imponer.

3. ESTUDIO DE CASO

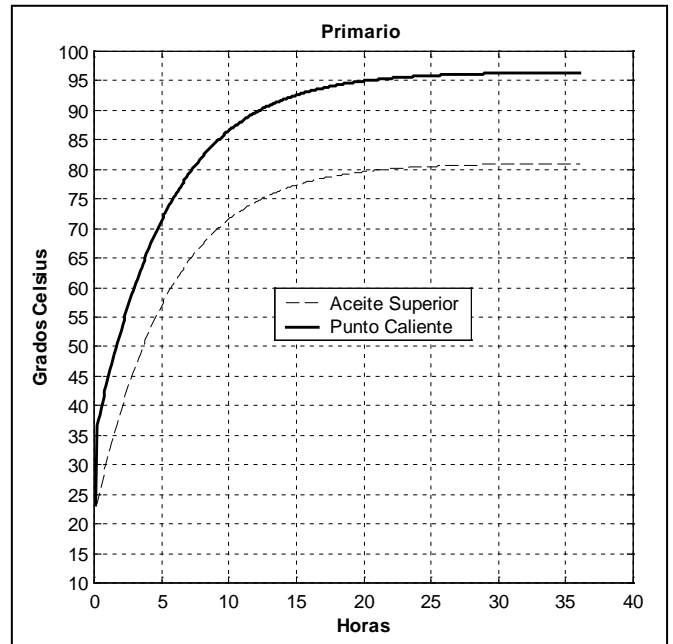
Fue considerado el transformador de tres arrollamientos, tipo 65 °C (según clasificación NBR 5416), con las siguientes características:

	Primario	Secundario	Terciario
Tensión nominal	220 kV	66 kV	23 kV
Potencia nominal ONAF2	30 MVA	20 MVA	15 MVA
Conexión	Yn	Yn0	D11

Tanto el arrollamiento secundario como el terciario de este equipo son utilizados para alimentar cargas.

Los parámetros de entrada para el programa, caracterizando la máquina, fueron los valores de:

- Corrientes y Potencias de pérdida medidas durante ensayo de cortocircuito, en este caso del régimen ONAF2;
- Potencia de pérdida medida durante ensayo de vacío;
- Elevación máxima de la temperatura del punto caliente de cada arrollamiento sobre la temperatura del aceite (aceite en parte superior de la cuba), elevación máxima de la parte superior del aceite sobre temperatura ambiente; especificando potencias base correspondientes (potencias ONAF2, en este caso). Estos valores fueron registrados durante prueba de calentamiento;
- Cantidad de aceite en cuba, masa total de parte activa (bobinados y núcleo); estos valores constan en la placa de la máquina;
- Masas de las bobinas de cada arrollamiento. Estos datos generalmente serán obtenidos vía consulta al fabricante,



ó estimados. En este caso, fueron provistos por el fabricante.

Una salida gráfica correspondiente a la simulación de la prueba de calentamiento es mostrada en la Figura 1 (por claridad, muéstranse solo las curvas para el primario). Se observó, para todos los arrollamientos, excelente concordancia entre las temperaturas finales simuladas y las realmente registradas en la prueba de calentamiento de la máquina (errores del orden de 0.1%).

FIGURA 1

Cuanto a las constantes de tiempo del aceite y bobinado, la metodología de modelaje incluye implícitamente el cálculo de estos parámetros. El valor de la constante de tiempo del aceite indicada por la simulación (ver Figura 1) es de aproximadamente 3.2 horas, siendo por lo tanto consistente al compararlo con los valores conservadores indicados por la NBR 5416 para el régimen ONAF2 y ONAN (respectivamente, 1.25 y 3 horas, ver [6], Anexo A); mas no pudo ser comparado al valor real debido a que durante la prueba de calentamiento de este equipo no fue registrada la evolución temporal de las temperaturas. En el caso en estudio, esto lleva a la necesidad de validar futuramente este parámetro a través de la comparación entre mediciones en campo y simulaciones correspondientes.

Las salidas gráficas correspondientes a la simulación de tres ciclos diarios de sobrecarga emergencial (72 horas), objetivo final del programa implementado, son mostradas en las Figuras 2 y 3. Dichos ciclos de carga consisten de periodos de punta con duración de 1.3 horas, valores de pre-punta/punta de 0.82/1.37; 0.72/1.20; 0.57/0.94 en p.u. de las potencias nominales, respectivamente, de los arrollamientos primario, secundario y terciario. Se considera la temperatura ambiente constante e igual a 40 °C.

FIGURA 2

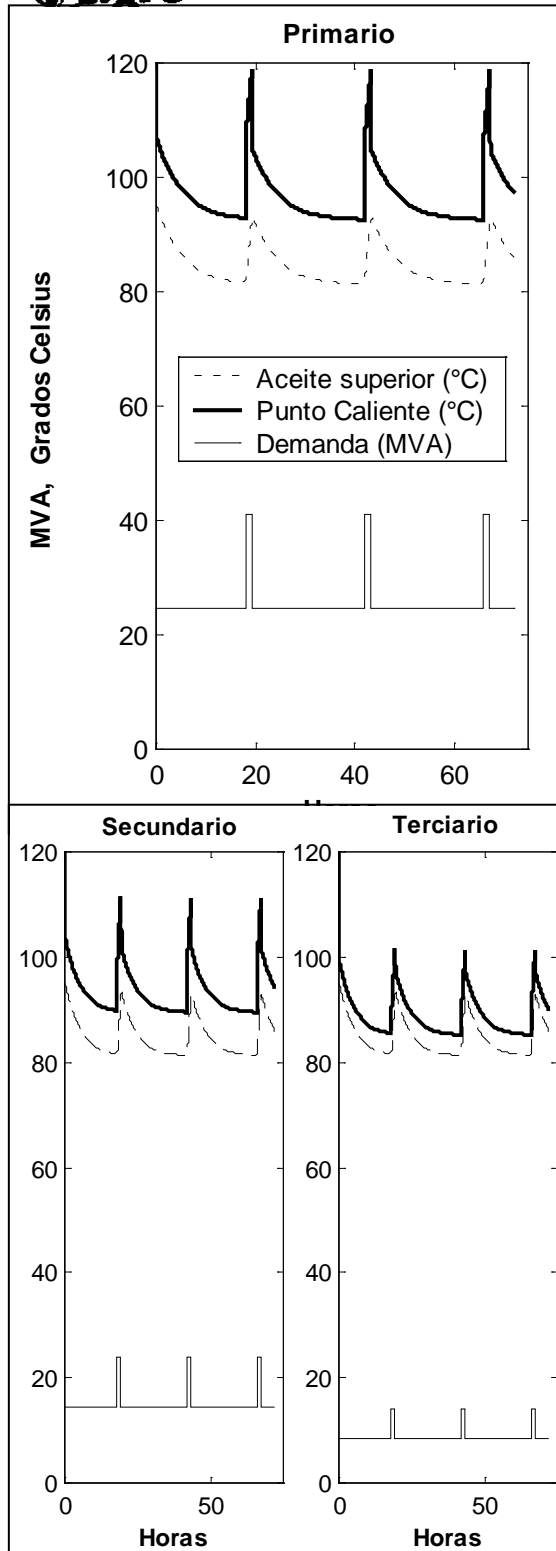


FIGURA 3

Dados los márgenes de error atribuidos por la referencia [7] a metodologías de modelaje similares a la propuesta en la referencia [1], fue adoptado preliminarmente como límite de temperatura para el punto caliente de los bobinados el valor 120 °C. Con argumento semejante, para el aceite situado en la parte superior de la cuba, fue adoptado el valor máximo de temperatura de 105 °C. Considerando estas restricciones, el ciclo de carga correspondiente a la Figura 4 es admisible.

4. CONCLUSIONES

- Cuando a partir de la prueba de calentamiento no es posible calcular las constantes de tiempo de las diferentes temperaturas características, serán necesarias mediciones en campo para verificar la correspondencia entre las simulaciones realizadas y el comportamiento real de los equipos.
- La utilización de la metodología implementada para la definición de sobrecargabilidad máxima implica en el funcionamiento continuo del transformador en el régimen de refrigeración correspondiente a los datos de entrada. Para el caso ilustrado, régimen ONAF2.
- Las pruebas preliminares apuntan a un desempeño satisfactorio de la herramienta presentada en el auxilio a la definición de límites de sobrecargabilidad de transformadores de potencia de dos ó más arrollamientos. Eventualmente sería necesario adaptar un método iterativo para identificar parámetros de modelaje partiendo de mediciones de campo, de tal manera a permitir abordar casos en los que no se dispone de los ensayos de recepción. La referencia [7] sería útil considerando este fin.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bezerra, Luis Roberto; “Carregamento em unidades transformadoras: Aspectos teóricos, metodológicos e computacionais”; 1991; Tese: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- [2] L.C. Whitman and J.E. Holcomb; “Transient Temperature Rise of Transformers”; 1963; Trans. AIEE (Power Apparatus and Systems), vol. 81, pp. 1046-1054, february 1963.
- [3] L.C Whitman,; “Transient Temperature Cooling of Transformers: I – Derivation and Evaluation of equations”; 1967; IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems”, Vol. PAS-86, N° 11, november 1967.
- [4] L.C Whitman,; “Transient Temperature Cooling of Transformers: II – Evaluation of equations and numerical solution of typical cases”; 1967; IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems”, Vol. PAS-86, N° 11, november 1967.
- [5] International Electrotechnical Commission; Publication 60354: “Loading guide for oil-immersed power transformers”; 1991-10.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 5416: “Aplicação de cargas em Transformadores de Potência – procedimento”. 1981.
- [7] Tylavsky et al.; “Sources of error in substation distribution transformer dynamic thermal modeling”; 2000; IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, N° 1, january 2000.
- [8] Givelberg, Miron et al.; “Monitoring Transformer Age”; 1994; Transmission & Distribution International, Fourth Quarter 1994.
- [9] The Mathworks, Inc.; Matlab™ versión 5.3, january 1999; <http://www.mathworks.com>.