



Implementación de un esquema de tensión inducida para pruebas a transformadores

Orestes Hernández
Gualfrido Hernández
Miguel A. Ramírez
Alberto C. Ayala

Recibido: Julio del 2007

Aprobado: Septiembre del 2007

Resumen / Abstract

Se presentan los resultados del trabajo desarrollado para la implementación del ensayo de tensión inducida en transformadores de distribución monofásicos, en el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) de Cuba. El esquema de prueba se obtuvo a partir del empleo de un grupo motor - generador, con un regulador de tensión externo y empleando un variador de frecuencia para obtener la frecuencia necesaria para este tipo de ensayo.

Palabras clave: Transformadores, pruebas a transformadores, ensayo de tensión inducida

The results of the developed work for the implementation of the induced voltage test to be applied to single phase distribution transformers in the Researches and Electroenergetic Tests Center (CIPEL) of Cuba, are presented, The test outline was obtained starting from the employment of a motor - generator group, with an external voltage regulator and using a frequency converter to obtain the necessary frequency for this type of test.

Key words: Transformers, transformer tests, induced voltage test

INTRODUCCIÓN

Dentro de los ensayos de rutina establecidos por las normas internacionales de pruebas a transformadores de potencia, se encuentra el ensayo de tensión inducida o también llamado *ensayo de doble frecuencia*.

Esta prueba tiene como objetivo, verificar el estado del aislamiento interno de los enrollados del transformador, es decir, el aislamiento entre espiras y entre capas de un mismo devanado.

Hasta la fecha, en el CIPEL, no se había podido llevar a cabo este ensayo por no existir una fuente de al menos 120 Hz, capaz de suministrar la tensión y la energía necesaria para este tipo de prueba.

El centro contaba con un regulador de tensión monofásico de hasta 520 V, adquirió un grupo motor generador trifásico de 60 Hz de frecuencia eléctrica y un variador de frecuencia y con esto se realizó el proyecto y construcción del esquema para este ensayo.

DESARROLLO

Ensayo de tensión inducida

Este ensayo es de rutina, es decir, que debe aplicarse a cada uno de los transformadores que se fabrique o repare. Pretende verificar únicamente el estado del aislamiento interno del transformador, entre espiras y capas de un mismo devanado, debido a que este aislamiento no puede comprobarse con la prueba de

tensión sostenida, porque en esta, todo el devanado se pone al mismo potencial.

La tensión inducida se realiza aplicando una tensión sinusoidal a los terminales de uno de los devanados del transformador, manteniendo el otro devanado con sus terminales abiertos y flotando.

El valor de esta tensión debe ser igual a dos veces la tensión nominal del devanado y la frecuencia, lo suficientemente mayor a la frecuencia nominal para evitar un exceso de corriente de magnetización durante la prueba.

La energía de la prueba debe conectarse a un cuarto o menos del valor de tensión necesario y se debe elevar la tensión en no más de 15 s.

Una vez alcanzada la tensión de prueba, se mantiene durante el tiempo de duración del ensayo T .

Después se reduce gradualmente en no más de 5 s, a un cuarto o menos del valor de tensión necesario y se desenergiza el circuito.¹

El valor mínimo de la frecuencia de ensayo, según la publicación *IEEE Std. C57.12.90 - 2000*, se determina por la siguiente expresión:¹

$$F_m = F_n V_p / (1.1 V_n)$$

donde:

F_m : Frecuencia mínima de la prueba (Hz).

F_n : Frecuencia nominal (Hz).

V_p : Tensión inducida en el devanado (V).

V_n : Tensión nominal del devanado (V).

El tiempo de duración del ensayo, T será 7200 ciclos de la señal y se determina, según la *IEC Publicación 76 Parte 2, de 1999*,² por:

$$T = 120 F_n / F_p^2$$

donde:

T : Tiempo duración del ensayo (s).

F_p : Frecuencia de la prueba (Hz).

En la actualidad existen varios métodos mediante los cuales, se pueden obtener la tensión sinusoidal con la frecuencia necesaria para este ensayo.

Uno de estos métodos utiliza equipos electrónicos de potencia, que generan tensiones a la frecuencia y potencias requeridas.

Otro método es a partir de un motor asincrónico de rotor bobinado, utilizándolo como generador, haciendo girar su rotor con un motor primario a velocidad nominal pero en sentido contrario al campo del estator, para

obtener una velocidad relativa del rotor con relación a la velocidad del campo del estator, igual al doble de la velocidad nominal. De esta forma, en el rotor se puede obtener una tensión con una frecuencia igual al doble de la frecuencia nominal.

El método más tradicional es mediante una máquina sincrónica de baja potencia, movida por un motor primario. Este par pudiera tener como frecuencia nominal, la frecuencia necesaria para la prueba, pero no son comunes las máquinas sincrónicas con frecuencias eléctricas nominales mayores a 60 Hz. Lo más habitual es, a partir de un generador sincrónico de 50 o 60 Hz, aumentar su velocidad en el eje hasta obtener la frecuencia necesaria en las magnitudes de salida.

Esta variación de la velocidad en el eje del generador se puede obtener acoplándosele un motor cuya velocidad nominal sea la indispensable para la frecuencia que se necesita o acoplándosele un motor que aunque no tenga la velocidad nominal necesaria, se le pueda variar esta mediante los métodos que existen y de esta forma llevar al generador hasta la velocidad que le permita generar a la frecuencia de la prueba, siempre que mecánicamente sea permisible.

Variación de la velocidad del motor primario

Los métodos de variación de velocidad de un motor de inducción son:

1. Actuando sobre el deslizamiento.

a) Por variación de resistencia (obsoleto).

b) Por cascadas asincrónicas (tiene un rango limitado de regulación de velocidad).

2. Por polos consecuentes (en máquinas especialmente construidas para eso).

3. Por frecuencia.

a) Control vectorial.

b) Control escalar (mantiene la relación V/F , constante).

Este último método de variación de velocidad por control escalar de la frecuencia es el procedimiento seguido en este proyecto. Para esto el variador de frecuencia permitirá, cambiando la frecuencia de la tensión de alimentación del motor primario, variar su velocidad hasta el doble de la velocidad sincrónica del generador, para obtener el doble de la frecuencia en la tensión de salida del mismo.

Variando la tensión en la excitatriz del generador, con una fuente de corriente directa, se varía la tensión de salida de este y en caso de ser necesario una tensión mayor a 480 V, se conecta a la salida del grupo un autotransformador regulable con posibilidades de hasta 520 V con 21 kVA.

Obtención de los parámetros necesarios para la prueba

La velocidad del motor primario³ es:

$$n = (120 F / P) (1 - S)$$

donde:

F : frecuencia eléctrica (Hz).

P : Número de polos.

S : Deslizamiento (%).

Quiere esto decir que si se duplica la frecuencia eléctrica de la alimentación, se duplicará la velocidad de rotación del motor.

La velocidad sincrónica de un generador³ es:

$$n = 120 F / P$$

La frecuencia eléctrica en hertz (H z) de un generador sincrónico es:

$$F = n P / 120$$

Es decir, que si la velocidad se aumenta al doble, se obtendrá el doble de la frecuencia en las magnitudes de salida del generador.

El variador de frecuencia se muestra en la figura 1 y sus características se presentan en la tabla 1.⁴

El grupo motor - generador - regulador, se muestra en la figura 2, y sus características en la tabla 2.

La figura 3, muestra una vista del regulador de tensión.



Variador de frecuencia ABB.

1

Tabla 1 Características del variador de frecuencia	
Tensión nominal de entrada (V)	3 fases de 208 - 460 ± 10 %
Frecuencia de alimentación (Hz)	50 - 60
Tensión nominal de salida (V)	3 fases de 208 - 460 ± 10 %
Corriente nominal de salida (A)	64
Rango de frecuencia de salida (Hz)	0 - 180



Grupo motor-generador.

2



Regulador de tensión.

3

Tabla 2
Características del grupo motor-generador-regulador

Magnitudes eléctricas	Motor	Generador	Regulador
Tipo	Asincrónico	Sincrónico	Autotransformador
Número de fases	3	3	1
Frecuencia nominal (Hz)	60	60	60
Tensión nominal (V)	120/208/240	120/208/240	380/0-520
Corriente nominal (A)	28,40/15,00/14,20	12,00/6,95/6,00	
Velocidad nominal (rpm)	1 740	1 800	-
Deslizamiento (%)	3,33	-	-
No. de polos	4	4	-
Potencia nominal	5 HP	2,5 kVA	21 kVA
Tensión máxima excitación (V)	-	125	-
Corriente máxima excitación (A)	-	1,37	-

A partir de los datos de los equipos disponibles se obtiene:

- Llevando el variador de frecuencia a 240 V y 120 Hz, el motor gira a 1740 r/min, lo que hace que el generador induzca tensión a 118 Hz, la cual es permisible para la prueba.

El grupo motor - generador, permite mecánicamente esta velocidad.

En las figuras 4 a) y 4 b), se muestran vistas del esquema de prueba ya montado, ejecutándose un ensayo.

Detección de fallas en esta prueba

Las normas establecen que durante la prueba se debe estar atento a la presencia de humo o burbujas en el aceite, sonidos audibles, caídas abruptas de la tensión o incrementos súbitos de la corriente. Plantean que cualquiera de estas indicaciones debe ser cuidadosamente investigada mediante la observación, repitiendo el ensayo o mediante otras pruebas para confirmar si ha ocurrido una falla.¹

También se plantea el empleo de medios automáticos de desconexión instantánea para el caso de falla.

Los autores consideran que en este ensayo pueden ocurrir fallos entre espiras de alguno de los devanados sin que se produzca una caída notable de la tensión o un incremento brusco de la corriente, y mucho menos sean perceptibles sonidos, burbujas o humo.

Por otro lado, los medios de desconexión automática deben tener una calibración variable pues en todos los casos los transformadores tomarán su corriente de vacío y esta es distinta para cada capacidad y modelo, por lo que una corriente que puede ser normal para capacidades grandes, es sin duda indicio de falla en capacidades menores.

Debido a esto, se decidió diseñar un sistema de protección para el esquema que fuera lo más ajustable a los niveles de corriente de excitación que se manejan en esta prueba para las distintas capacidades y niveles de tensión.

La tabla 3 muestra los niveles máximos de corriente que pudieran tomar los transformadores en este ensayo.⁵

Con el esquema de prueba se puede realizar este ensayo a transformadores de distribución monofásicos de todas las capacidades.



a)



b)

Prueba de tensión inducida a transformadores.

4

Tabla 3
Transformadores monofásicos

Trafo. (kVA)	Io (% de In)	In a 240 V (A)	Io a 240 V (A)	In a 480 V (A)	Io a 480 V (A)
5	1,00	20,83	0,21	10,41	0,10
10	1,00	41,67	0,41	20,83	0,20
15	1,00	62,49	0,62	31,24	0,31
25	1,00	104,15	1,04	52,07	0,52
37,5	0,80	156,25	1,25	78,12	0,62
50	0,80	208,30	1,66	104,15	0,83
75	0,80	312,50	2,50	156,25	1,25
100	0,80	416,60	3,33	208,30	1,67
167	0,60	695,83	4,17	347,91	2,85
250	0,60	1 041,50	6,25	520,5	3,12
333	0,60	1 387,50	8,32	603,75	4,16

Para el sistema de protección se aprovecha el interruptor magnético a través del cual el generador entrega la energía.

La bobina del magnético se conectó en serie con un par de contactos normalmente cerrados de un relé instantáneo de C A calibrado para operar a 5 A.

La bobina de este relé se conecta al secundario de un transformador de corriente en serie con la salida del generador.

Tanto el interruptor magnético como el relé y el TC tienen un rango de frecuencia de trabajo que permite sus empleos en esta aplicación.

Este TC tiene relación de transformación variable como se muestra en la tabla 4.

Las corriente que circularán durante la prueba podrán variar entre 0,1 y 8,32 A, en dependencia de las características del transformador que se ensaye.

Esta prueba, por ser destructiva, se realiza normalmente después de las no destructivas, por lo que en el momento de ejecutarla, se tiene el dato de la corriente de excitación a 60 Hz, que debe ser la misma que tome el transformador durante el ensayo de tensión inducida. Esto permite ajustar la protección del esquema de prueba para que opere si la corriente excede el valor prefijado.

De esta forma sí se podrá tener evidencia de la ocurrencia de alguna falla leve.

Otra medida que se puede llevar a cabo ante algún síntoma de avería es repetir la medición de la relación de transformación, que en caso de dar un valor distinto a los resultados de la primera, es concluyente para declarar que el equipo no pasó la prueba.

Como elementos de medición, el sistema consta de un amperímetro de campo de medida variable, cuyo rango de frecuencia de trabajo permite su empleo.

Este amperímetro está conectado en serie del TC de relación de transformación variable. Con este se monitorea la corriente que va tomando el transformador a prueba.

También, para medir la tensión y la frecuencia que entrega la fuente de energía, el sistema tiene un voltímetro cuyo rango de frecuencia de trabajo también permite su empleo y un frecuencímetro, conectados en los terminales de salida del esquema de prueba.

Tabla 4
Relaciones de transformación del transformador de corriente utilizado

Corrientes (A)	Relación de transformación
50 - 5	10,0
20 - 5	4,0
10 - 5	2,0
5 - 5	1,0
2 - 5	0,4
1 - 5	0,2
0,5 - 5	0,1

CONCLUSIONES

1. Se proyectó y construyó un esquema para realizar la prueba de tensión inducida a transformadores de distribución monofásicos.
2. Se empleó un regulador de tensión y un generador sincrónico de 60 Hz movido por un motor de inducción, cuya velocidad se aumentó al doble de la nominal para obtener 118 Hz en las magnitudes de salida del generador.
3. Para actuar sobre la velocidad del motor primario se empleó un variador de frecuencia.
4. El grupo motor - generador permite mecánicamente el aumento de la velocidad.
5. Se diseñó un esquema sencillo de protección instantánea con ajustes discretos de la corriente de disparo, para proteger la fuente de energía de la prueba y señalar la ocurrencia de falla.
6. El esquema de prueba se encuentra trabajando, y permite realizar este ensayo que antes no se ejecutaba en el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas.

REFERENCIAS

1. ANSI - Std. IEEE C.57- 12.90, 2000.
2. IEC Publicación 76, Parte 2. 1999.
3. Chapman, S. J.: *Máquinas Eléctricas*. 2da ed., McGraw Hill, México, 1995.
4. *Manual de Usuario. Variador de frecuencia ABB*.
5. *Especificaciones técnicas para transformadores de distribución monofásicos*, UNE, Cuba, 1997.

AUTORES

Orestes Hernández Areu

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: orestesh@electrica.cujae.edu.cu

Gualfrido Hernández Puentes

Técnico Electricista Industrial, CIPEL Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: gualfrido@electrica.cujae.edu.cu

Miguel A. Ramírez Moreno

Técnico Electricista, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae
e-mail: mramirez@electrica.cujae.edu.cu

Alberto C. Ayala Anaya

Técnico Electricista, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail: acaa@electrica.cujae.edu.cu