

ENSAYOS PARA EL DIAGNOSTICO DEL ESTADO DE LA AISLACION EN ALTERNADORES.

Ing. Jorge Fernández Daher, Ing. Daniel Slomovitz.
Laboratorio de UTE

Resumen:

Este trabajo describe las distintas técnicas de ensayo utilizadas para diagnosticar el estado de la aislación estática de alternadores en centrales hidráulicas y térmicas. Se detallan técnicas clásicas ampliamente difundidas a nivel mundial. Se introducen nuevas técnicas digitales basadas en adquisición y procesamiento de datos estando aún en etapas de investigación y desarrollo.

Se presenta un resumen de resultados obtenidos en una serie de ensayos realizados durante los últimos dos años en alternadores de centrales de UTE. Es posible estimar el estado actual de dichos alternadores basándose en resultados de los ensayos y realizando comparaciones con resultados de ensayos en otros países.

1. Introducción

Durante muchos años los operadores de máquinas generadoras han demostrado un alto interés en los ensayos de alta tensión tanto alterna como continua. La mayoría de los investigadores han concluido que ningún ensayo por sí sólo es suficiente para poder determinar el estado de la aislación de un alternador. Independientemente de la gravedad de la falla en un alternador obviamente es muchísimo más conveniente si las paradas pueden ser programadas y se evitan las salidas de servicio intempestivas. Una forma de reducir este problema es la introducción de rutinas periódicas de ensayos no destructivos que permitan detectar cambios significativos en el estado de la aislación. Estas rutinas

permiten también la postergación de rebobinados de acuerdo a la velocidad de deterioro de la aislación.

Se han desarrollado una serie de técnicas de ensayo en continua y alterna de 50 Hz descritas en normas y procedimientos ampliamente difundidos. Los ensayos en alta tensión continua son interesantes por el pequeño volumen del equipamiento necesario. A su vez los resultados son sensibles a la contaminación superficial de aisladores de las barras de salida de máquina. Los Ensayos a 50 Hz reproducen los esfuerzos eléctricos a los cuales está sometido el alternador en servicio pero requieren una fuente de alimentación de mayor potencia. Los investigadores han dedicado mucho esfuerzo en desarrollar ensayos no destructivos adecuados reconociendo sus limitaciones y los riesgos de perforación durante los mismos.

Estos ensayos se realizan sobre las distintas fases del alternador en forma individual o sobre el conjunto de todas ellas. Los ensayos en continua requieren de uno a tres días dependiendo de la técnica utilizada. Los ensayos de alterna se realizan en el transcurso de algunas horas permitiendo la vuelta al servicio de la máquina rápidamente. En general la máquina se quita de servicio en la noche anterior, se quitan algunas tapas del alternador y se desconectan las barras de salida lo más cerca posible de la máquina. Los ensayos se realizan al otro día con los arrollados en frío y se vuelven a colocar las tapas y reconectar las barras al final del día. Cuando se produce una parada más prolongada, durante mantenimientos anuales, es posible realizar los ensayos de continua. Las fases de la máquina se conectan a tierra para descargar el dieléctrico antes de la realización de los ensayos y se ensaya una fase por día. Este tiempo puede reducirse utilizando técnicas distintas que desprecian los efectos de las corrientes residuales debidas a la carga del dieléctrico. Se describen a continuación las distintas técnicas de ensayo y la evaluación de los resultados.

2. Ensayos en continua

2.1 Índice de polarización

Antes de energizar un alternador es necesario determinar el grado de contaminación y humedad para evitar un riesgo innecesario de falla. Esta condición se

Trabajo presentado en el IV ENCUESTRO DE POTENCIA, INSTRUMENTACION Y MEDICIONES, de IEEE-Uruguay, Capítulo Power-I&M, Octubre 1996, Montevideo, Uruguay.

traduce en un aumento de la corriente de fuga. Esto puede determinarse mediante un ensayo de resistencia de aislación y cálculo del índice de polarización. Este índice se calcula haciendo el cociente entre la corriente de fuga al minuto de aplicada la tensión y la corriente a los 10 minutos. Este ensayo no permite discernir si el problema es superficial o interno de la aislación del alternador. Cuando se obtiene un valor bajo de índice de polarización primero debe realizarse una buena limpieza y secado. Si la aislación no presenta problemas la limpieza hace que el índice de polarización aumente a valores normales. Los valores normales dependen del tipo de aislación. En general índices del orden de 3 son buenos para aislaciones bituminosas y 8 para aislaciones epóxicas.

2.2 Resistencia de aislación

Este ensayo se realiza simultáneamente con el índice de polarización. Se mide la corriente al minuto de aplicada la tensión y se calcula la resistencia de aislación. Este es un valor que depende de la corriente de fuga y los valores normales son distintos según el tipo de aislación y el tamaño del alternador. Existen normas que indican los valores mínimos de resistencia de aislación [1].

2.3 Corriente de absorción

Luego de un tiempo determinado de aplicada la tensión se cortocircuita el bobinado a tierra y se mide la corriente de descarga. Se mide el valor de la corriente de descarga al minuto de cortocircuitado el arrollado. Para poder comparar esta corriente en distintos alternadores es necesario normalizar el valor según la tensión de ensayo y la capacidad de la máquina. Existen criterios para decidir sobre el estado de la aislación de acuerdo al valor normalizado obtenido [2].

2.4 Desvío de la ley de Ohm

Este ensayo da una idea de magnitud de las fugas en las cabezas de bobina. Estas son fugas que normalmente no siguen la ley de Ohm. El ensayo consiste en determinar para cada escalón de tensión dado la corriente de conducción relevando la curva I en función de V . El ensayo se continua hasta llegar a 2 veces la tensión nominal de la máquina o hasta que la pendiente de la curva llega a 5. Este límite es por razones de seguridad para no perforar la aislación aunque esto es relativo ya que se ha llegado a valores superiores sin problemas. El relevamiento de la curva de corriente se hace mediante la aplicación sucesiva de escalones de tensión de la misma amplitud. Existen dos métodos, uno sugerido por EDF [2] y otro por IEEE [3]. La diferencia fundamental entre ambos es que el primero determina la corriente de conducción de cada escalón restando de la corriente medida la suma de las corrientes de absorción generadas por los escalones precedentes mientras que el

método de IEEE no descuenta nada. En general las diferencias entre ambos métodos no son importantes siendo el método francés de aplicación más complicada por los cálculos.

3. Ensayos en alterna.

Las características dieléctricas de la aislación de una máquina pueden ser representadas por una combinación en paralelo de una conductancia y una capacidad. Sus valores se mantienen prácticamente constantes sobre el rango de tensiones hasta la tensión de servicio. Sin embargo si el dieléctrico contiene cavidades huecas, al aumentar la tensión aplicada por encima del valor necesario para que aparezcan descargas parciales, se produce un aumento de la capacidad y de la conductancia. La pérdida de energía en la conductancia incremental es aquella que se disipa por las descargas parciales.

3.1 Factor de disipación

Existen dos métodos para medir la energía y la carga integrada de las descargas parciales descriptos en una norma ASTM [4].

En el primer método se realiza una medida inicial de capacidad y factor de disipación a una tensión por debajo de la tensión de aparición de descargas parciales. Luego se aumenta la tensión hasta la tensión de ensayo y se realiza otro juego de medidas. A partir de ambos juegos de medidas es posible calcular la pérdida de energía debida a las descargas parciales. Este ensayo se realiza con puentes convencionales de medida de tangente δ . El incremento del factor de disipación es usado como un índice de la intensidad de las descargas y se escribe como $\Delta \text{tg } \delta$.

En el segundo método se utiliza un circuito de puente especial que es balanceado a una tensión inferior a la tensión de aparición de las descargas parciales. Luego se aumenta la tensión hasta la tensión de ensayo pero el puente no se vuelve a balancear. Toda tensión de desbalance en los terminales del detector se muestra en un osciloscopio junto con una muestra de la tensión de ensayo. Se forma una figura que se aproxima a un paralelogramo cuya área es una medida de la pérdida de energía debida a las descargas parciales. En este puente se coloca el espécimen bajo ensayo en serie con un condensador de baja tensión y se conecta esta rama a una fuente de tensión sinusoidal. Otras dos ramas del puente proveen una tensión para lograr el balance a baja tensión de la tensión en bornes del condensador de baja tensión. Cuando se aumenta la tensión las descargas se integran por el condensador de baja tensión apareciendo una tensión de desbalance en sus bornes. Esta tensión controla la deflexión vertical del haz del osciloscopio mientras que una tensión en fase con la tensión de ensayo controla la deflexión horizontal. Cuando el puente está

balanceado la imagen es una línea horizontal. Al aparecer descargas la imagen se aproxima a un paralelogramo cuya altura representa la suma de descargas parciales en medio ciclo y el área a la energía disipada por las descargas por ciclo. Si el paralelogramo está girado o levemente distorsionado es posible hacer un pequeño ajuste en el puente para compensar por los cambios en la capacidad y $\text{tg } \delta$ por efectos distintos a las descargas.

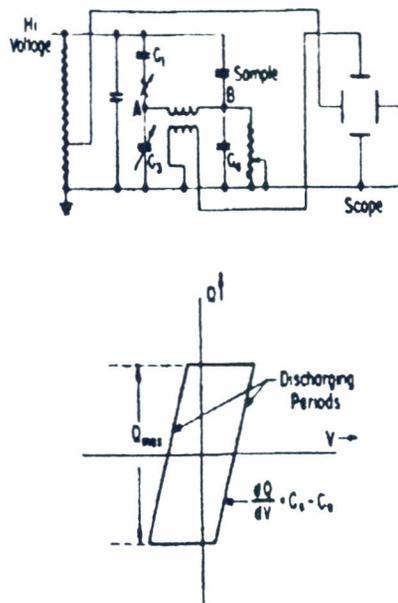


figura 1

La calibración del eje vertical del osciloscopio se realiza inyectando una carga conocida y midiendo la deflexión. En el eje horizontal los cálculos surgen a partir de relaciones de transformación en la medida de la tensión de ensayo. Es importante que la fuente utilizada tenga potencia suficiente para poder excitar a la muestra y que está libre de distorsión armónica ya que esto hace que no se pueda formar una línea al balancear el puente.

3.2 Descargas parciales

Este ensayo consiste en medir el valor de las descargas a través de un condensador de acople al ir aumentando la tensión de ensayo. Se registra el valor de tensión al cual comienzan a aparecer las descargas y también el valor máximo de las descargas a la tensión de ensayo. Para determinar este valor es necesario que las descargas se produzcan a un ritmo casi permanente y se evalúa haciendo un promedio visual. Obviamente es necesario contar con personal con amplia experiencia para poder dar una estimación acertada de las descargas. Existe otro método sugerido por EDF en el que los anchos de banda son distintos y se realiza una integración informando valores rms de descargas. Los resultados

arrojados por ambos métodos no son comparables siendo este último muy dependiente del equipamiento utilizado. Para la medición del valor máximo de las descargas según el primer método se hace pasar la señal por un filtro de banda ancha. En el método francés se aplican filtros de banda angosta y se calcula el valor cuadrático medio.

3.3 Técnicas digitales

Para que la evaluación de las descargas parciales sea más independiente de la experiencia del operador es que se están desarrollando a nivel mundial nuevas técnicas basadas en procesamiento digital de las señales de descargas. Estos métodos también permitirían determinar con mejor precisión el tipo de defecto que se presenta en el alternador analizando nuevos parámetros. Es posible discriminar la cantidad de descargas según su magnitud y fase relativa a la tensión de ensayo. Estas distribuciones se pueden realizar fácilmente adquiriendo los datos con osciloscopios digitales y procesando la información con potentes programas de análisis en computadora. Las últimas tendencias [5] [6] proponen graficar la distribución acumulada en una gráfica de Weibull. Procesos de descargas parciales internas se corresponden con líneas rectas mientras que descargas en ranuras o superficiales cambian la forma de la gráfica. En la figura 2 se muestra la distribución para barras con descargas internas normales y la figura 3 muestra el caso de barras con descargas superficiales.

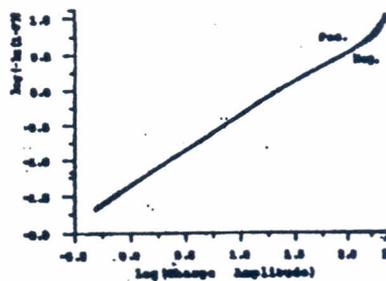


figura 2

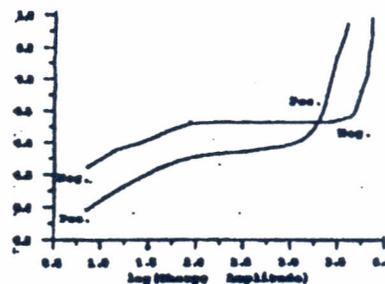


figura 3

4. Ensayos en máquinas de UTE

Desde hace aproximadamente dos años se vienen realizando ensayos periódicos en los alternadores de las centrales hidroeléctricas de UTE. La inquietud surge de los responsables de la operación de las centrales para poder determinar el estado actual de la aislación de sus alternadores en vista a poder estimar la vida útil remanente de la máquina. Esto es muy importante ya que permite programar un cambio de bobinados en el momento económicamente óptimo.

4.1 Descripción de los alternadores

UTE cuenta en la actualidad con 3 centrales hidroeléctricas, Gabriel Terra, Rincón de Baygorria y Constitución. En la tabla 1 se muestran las características de los alternadores.

Central	alternadores	tensión (kV)	potencia (MVA)
G. Terra	4	13,8	32
Baygorria	3	7	36
Constitución	3	15	111

tabla 1

4.2 Ensayos

La mayoría de los ensayos se realizaron en los alternadores de la central de Baygorria teniendo ya para uno de los alternadores dos ensayos completos y un ensayo completo en los restantes. Los valores promedio encontrados se muestran en la tabla 2.

Central	índice polarización	R aisl. (Mohm)	ley de ohm (pendiente)	$\Delta \text{tg } \delta$ (10^{-3} entre 0.6 y 0.2 U_n)	nivel de descargas (nC)
Gabriel Terra	3	130	2	-	90
Baygorria	3	450	2,3	3	20
Constitución	8	1.400	3,7	-	-

tabla 2

Estos alternadores muestran un buen estado de la aislación. En la central Constitución se han realizado sólo ensayos en continua en 2 de sus máquinas también con buenos resultados. En la Central Gabriel Terra no se han realizado ensayos que puedan ser útiles para su

mantenimiento predictivo ya que esta central está bajo un proceso de renovación.

También se tomó un alternador para efectuar los ensayos pero con la intención de verificar los márgenes de seguridad de los mismos. En el ensayo del desvío de la ley de Ohm se aumentó la tensión hasta más de 2 veces la tensión nominal sin producirse ni perforación ni contorneo y manteniéndose la corriente en valores bajos. Posteriormente se aplicó tensión alterna de 30 kV, muy superior a la nominal, sin producirse perforación. Es posible ver que a pesar de ser máquinas al final de su vida útil soportaron los esfuerzos a que fueron sometidas en estas sobretensiones. Esto indica que los márgenes de seguridad impuestos en los ensayos son adecuados representando un riesgo mínimo para la aislación del alternador.

Es posible ver de los resultados obtenidos en los alternadores de UTE, que el estado de estas máquinas es bueno.

5. Conclusiones

Se han presentado una serie de técnicas de ensayo en alternadores que permiten determinar el estado de su aislación. Ninguna de estas técnicas por si sola permite dar un diagnóstico, sólo el conjunto de resultados permite hacerlo. El desarrollo de nuevas técnicas permitirá hacer una evaluación más precisa del tipo de falla incipiente presente en una máquina.

Es importante la realización de un programa de ensayos no destructivos periódico para poder identificar tendencias en la degradación de la aislación. Esto también permite la reducción de salidas de servicio no planeadas y la renovación del bobinado en el momento óptimo desde el punto de vista económico. Esto se está aplicando en los alternadores de UTE permitiéndole a los responsables tomar decisiones más acertadas.

6. Referencias

- [1] IEEE std. 43-1974
- [2] Informe EDF ref: PA/AAI/LL
- [3] Norma IEEE de desvío de la ley de ohm
- [4] Norma ASTM 382-75
- [5] "Ensayos para el mantenimiento de máquinas eléctricas basados en técnicas digitales", Jorge Fernández, Daniel Slomovitz, Walter Mandl, CEDE 94, Buenos Aires.
- [6] "PD analysis of rotating machines", A. Contin, G. Rabach, IEEE Trans. Elect. Insul., v28, Feb 1993, pp.1033-1042.
- [7] "Diagnostic testing og high-voltage machine insulation", J. S. Simons, IEE Proceedings, vol. 127, Pt.B, No. 3, May 1980.