

DEGRADACION EN LOS VARISTORES DE OXIDO DE CINC

JULIO MONTENEGRO
UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR
CARACAS - VENEZUELA

JORGE RAMIREZ
UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR
CARACAS - VENEZUELA

RESUMEN

Los varistores de óxido de cinc son el componente principal de los modernos descargadores de sobretensiones. La degradación acelerada o pérdida de su característica óhmica no lineal, debido a varios factores, reduce drásticamente la vida útil del equipo en operación. En esta publicación se presentan los factores más importantes que afectan la conductividad del material.

ABSTRACT

The zinc oxide varistor are the most recent component used in manufacturing modern arresters. Fast degradation or loss of their non linear characteristics reduces the equipment life expectancies. Some of the most important factors are presented here and how they affect its conductivity.

1. MECANISMO DE CONDUCCION

La principal ventaja para la aplicación del varistor cerámico de óxido metálico es su característica extremadamente no lineal (ver figura 1.1) :

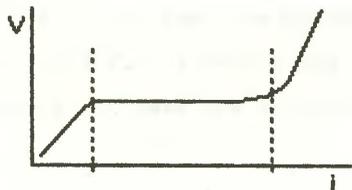


figura 1.1

En una primera fase de conducción, al aplicar un bajo campo eléctrico, el material permite el paso de valores muy bajos de corriente, en el orden de los

microamperios o aún menores, con una componente principalmente capacitiva y una componente resistiva casi despreciable. Luego, para valores de campo eléctrico que pueden estar entre 1000 [V/cm] y 2500 [V/cm], dependiendo de la composición del material, la conducción sufre una variación repentina, produciéndose un incremento en el valor de la corriente que puede alcanzar los 10KA. Para estos valores se obtiene una característica voltaje vs. corriente casi horizontal, para después, ir aumentando en forma escarpada la característica resistiva, en niveles de corriente superiores a los 10KA.

Para representar la característica voltaje vs. corriente del varistor de óxido metálico se utiliza la siguiente ecuación empírica, conocida como la ley de potencia del varistor [1] :

$$I = K * V^\alpha \quad (1.1)$$

en donde I es la corriente que atraviesa el material al aplicar el voltaje V en los extremos o terminales, y el coeficiente α , representa la característica de no linealidad. Basándose en una curva como la de la figura 1, la forma de calcular el coeficiente α consiste en aproximar por asíntotas el rango de corriente en estudio, utilizando la expresión logarítmica de la ecuación (1.2) :

$$\alpha \approx \frac{\text{Log } I_2 - \text{Log } I_1}{\text{Log } V_2 - \text{Log } V_1} \quad (1.2)$$

Para un material totalmente óhmico, α tendría un valor de uno (1), y para uno

perfectamente no lineal, α tendería a un valor infinitamente grande.

Un modelo circuital que puede incluir la característica señalada anteriormente es el de la figura 2 :

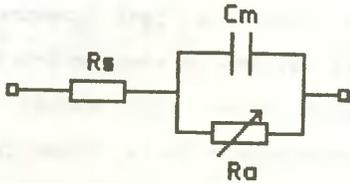


figura 2

en donde R_s es la resistencia intrínseca del varistor y C_m representa el comportamiento capacitivo que tiene en la etapa previa al voltaje de ruptura. La resistencia variable R_a dependerá del voltaje aplicado al material, y estaría contenida en el factor K de proporcionalidad de la ecuación (1.1).

2. DEGRADACION DEL MATERIAL

El inconveniente producido por la degradación del varistor de óxido metálico se traduce en un aumento considerable en las pérdidas del descargador de sobretensiones, a un punto en el cual, el balance térmico del equipo se lograría a una temperatura superior a la máxima soportable por la coraza, o simplemente, inadmisibles por el nivel de pérdidas que implicaría.

El indicador inmediato de la degradación es un aumento en la componente resistiva de la corriente de fuga, estimulada por la excitación térmica de cargas, producto del calentamiento. Hay dos condiciones de degradación muy diferenciadas entre sí. La primera condición se produce por la aplicación de campo eléctrico al material en forma permanente; una especie de

envejecimiento que se puede explicar por una polarización del material. Este efecto es gradual y es bastante estable durante la mayor parte de la vida útil del equipo. El comportamiento de la corriente se puede describir aproximadamente por la siguiente expresión [5] :

$$I_d(E) = I_0(E) * [1 + h * Jt] \quad (2.1)$$

en donde $I_0(E)$ es un valor de corriente inherente al material, t es la variable del tiempo y h representa la rata incremental de degradación, dependiente de la temperatura y del campo eléctrico aplicado. Esta aproximación es bastante válida en casi toda la vida útil del material, excepto en el inicio y al final, en donde el comportamiento es más irregular.

Tras la aplicación permanente de un campo eléctrico, en la medida en que la corriente de fuga I_d va aumentando con el tiempo, también lo hace la temperatura del material, pero en condiciones estables, esta última se equilibra por la disipación de calor al medio. Solo basta que se produzca una variación desfavorable en las condiciones, por ejemplo, la ocurrencia de una descarga, para que este equilibrio se rompa y el elemento entre en una etapa de desbalance térmico. En esta etapa hay realimentación positiva de temperatura, es decir, mientras más se calienta el material, más cargas libres se producen, y éste se calienta aún más, por aumento de la corriente.

La condición en la cual el efecto del calentamiento crece sin control, se conoce como desgaste térmico. Es necesario desconectar el equipo una vez alcanzada esta fase, de lo contrario, podría transformarse en una causal de falla para

el sistema.

Inevitablemente, el desgaste térmico es el final de la degradación normal del material, sin embargo, puede adelantarse debido a factores externos.

3. FACTORES DEGRADANTES

Se pueden agrupar en dos tipos de factores dependiendo de la causa: una por factores no eléctricos y otra por factores eléctricos.

Quando la degradación ocurre por factores no eléctricos, la variación en la característica de conducción se ve poco afectada, excepto la temperatura externa que puede influir en la producción de cargas libres y la humedad. La inclusión de agua en los espacios intergranulares aumenta la cantidad de cargas libres por iones disueltos en ésta, lo que origina un incremento en la corriente, pero, a pesar de que esta corriente contribuye con las pérdidas, se puede eliminar totalmente con solo secar o extraer el agua, en cuyo caso, la recuperación de la cerámica es reversible, inmediata y perfecta.

Otro factor no eléctrico de consideración es la temperatura de operación que de ser muy elevada influye en la liberación de cargas por excitación térmica. Otras variantes en la conductividad son producto de mezclas específicas en el proceso de manufactura del varistor.

El efecto de factores eléctricos fué analizado cualitativamente al comentar sobre degradación por operación y por desgaste térmico. Una expresión que describe el comportamiento aproximado de la corriente que atraviesa el material es la siguiente [2]:

$$I_c = I_{c0} \exp\{-[E_a - f(V)]/kT\} \quad (3.1)$$

en donde:

- Ea : energía de activación para la reacción química
- V : voltaje aplicado entre granos de óxido de cinc (ZnO)
- k : constante de Boltzman
- T : temperatura absoluta

La energía de activación es independiente de la temperatura y del voltaje aplicado, dependiendo solo del tipo de material. La influencia representada por el término $f(V)$ es la debida al campo eléctrico aplicado, y la variable temperatura influye en el aporte de cargas libres, producidas por excitación térmica.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En referencia a los equipos de protección contra sobretensiones que utilizan los varistores de óxido de cinc, se puede señalar lo siguiente:

- a. El contenido de humedad dentro de la coraza del equipo de protección es decisivo en el valor la corriente de fuga, inclusive, en su vida útil.
- b. Es importante reconocer la diferencia entre los tipos de degradación que pueda sufrir el material, ya sea por degradación continua o por desgaste térmico.
- c. El nivel cerámico de la zona de instalación debe influir en el dimensionamiento del equipo, conjuntamente con la consideración anterior.

La condición más importante es la del balance térmico, por lo tanto, es necesario un estudio detallado de las características del punto del sistema en donde va a ser instalado el equipo, desde el punto de vista eléctrico y ambiental, ya que niveles

inadecuados de tensión, aplicada en forma continua, pueden elevar considerablemente la temperatura de operación hasta valores que propicien el inicio de una fase de degradación por desgaste térmico.

BIBLIOGRAFIA

(1) "THEORY OF CONDUCTION IN ZnO VARISTORS"

G.D.Mahan; L. M. Levinson; H. R. Phillips
J. of Applied Physics. Vol 50 # 4.1979

(2) "THERMAL STABILITY AND LIFE OF THE GAPLESS SURGE ARRESTER"

M. Mizuno; M. Hayashi; K. Mitani
IEEE Vol PAS - 100 # 5, 1981

(3) "LABORATORY TESTS TO CHARACTERIZE METAL OXIDE SURGE ARRESTERS"

E. Elli; E. Warnots; L.F.M. Nascimento
CESI TECHNICAL ISSUE, 85 42

(4) "NONOHMIC PROPERTIES OF ZINC OXIDE CERAMICS"

M. Matzuoka
Japanese J. of Applied Physics. Vol 10
6. 1971

(5) "STABILITY AND LONG TERM DEGRADATION OF METAL OXIDE SURGE ARRESTERS"

S. Tominaga; Y. Shibuya; Y. Fujiwara;
M. Imataky; T. Nita
IEE Vol PAS - 99 # 4. 1980