

Elección de autoválvulas de Óxido de Zinc (ZnO) en Alta Tensión

Andrés Granero



Figura 1: Corte de una autoválvula de ZnO para MT.

Principio de funcionamiento

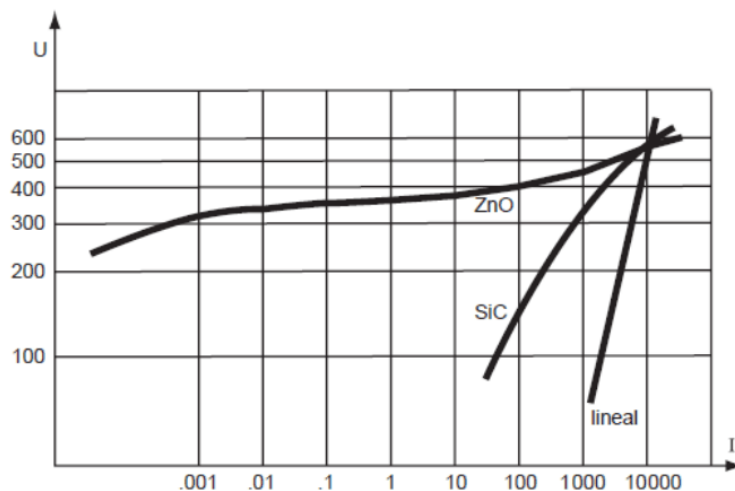
La figura 1 muestra que contrariamente a la autoválvula de resistencia variable con explosor, la autoválvula de óxido de zinc (ZnO) está constituida únicamente por una resistencia variable fuertemente no lineal.

La resistencia pasa de 1,5 MΩ a la tensión de servicio (que corresponde a una corriente de fuga inferior a 10 mA) a 15 Ω durante la descarga.

Después del paso de la corriente de descarga, la tensión en los bornes de la autoválvula es igual a la tensión de la red. La corriente que atraviesa la autoválvula es muy baja y se estabiliza en torno al valor de la corriente de fuga a tierra.

La fuerte no linealidad de la autoválvula de ZnO hace que una fuerte variación de corriente provoque una baja variación de tensión (ver figura 2).

Por ejemplo, cuando la corriente se multiplica por 10^7 , la tensión se multiplica solo por 1,8.



SiC : Autoválvula con explosor y resistencias de carburo de silicio
ZnO : Autoválvula de óxido de zinc

Figura 2: Características de dos autoválvulas con los mismos niveles de protección 550 kV/10 kA

Características

Las autoválvulas *ZnO* se caracterizan por:

- La tensión de régimen permanente que es el valor específico admisible de la tensión eficaz a frecuencia industrial que puede ser aplicada de manera continua entre los bornes de la autoválvula.
- La tensión asignada que es el valor máximo de la tensión eficaz a frecuencia industrial admisible entre sus bornes para la cual la autoválvula está prevista para funcionar correctamente en las condiciones de sobretensión temporal definida en los ensayos de funcionamiento (una sobretensión a frecuencia industrial de 10 segundos se aplica a la autoválvula – IEC 60099-4).
- El nivel de protección definido arbitrariamente como la tensión residual de la autoválvula cuando es sometida a un choque de corriente dado (5, 10 ó 20 kA según la clase), de forma de onda 8/20 μ s.
- La resistencia al choque de corriente de frente escarpado (1 μ s), del rayo (8/20 μ s), de larga duración, de maniobra.
- La corriente nominal de descarga.

La tabla 1 da un ejemplo de características de una autoválvula *ZnO* fase-tierra para una red de distribución pública de 20 kV (con desconexión al primer defecto).

Tensión máxima permanente (fase-tierra)	12,7 kV
Tensión asignada	24 kV
Tensión residual a la corriente nominal de descarga	< 75 kV
Corriente nominal de descarga (onda de 8/20 μ s)	5 kA
Resistencia a la corriente de choque (onda de 4/10 μ s)	65 kA

Tabla 1: Ejemplo de características de una autoválvula *ZnO* para una red de 20 kV.

Elección de autoválvulas de óxido de zinc en AT

El método general de elección de una autoválvula de óxido de zinc en AT consiste en determinar sus parámetros característicos a partir de los datos de la red en el lugar donde va a ser instalado.

Los parámetros que caracterizan la autoválvula son:

- U_c , tensión de régimen permanente
- U_n , tensión asignada

- I_{nd} , corriente nominal de descarga
- Clase de descarga y capacidad energética
- Características mecánicas

Los datos relativos a la red son:

- U_m , tensión más elevada para el material
- TOV (Temporary Over Voltage), sobretensiones temporales (aparecen durante un defecto a tierra o descarga en la red de distribución pública).

La elección de la autoválvula consiste en un compromiso entre los niveles de protección de los equipamientos y la capacidad energética de la autoválvula.

El nivel de protección debe ser lo más bajo posible para la resistencia del equipamiento. Esto implica un dimensionamiento en tensión lo más pequeño posible, por lo tanto mayor dificultad para soportar las sobretensiones temporales.

Determinación de U_c y U_r

- **Método simplificado a partir de las características del material**

Las tensiones U_c y U_r pueden ser determinadas directamente a partir de la tensión más elevada para el material U_m :

$$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

$$U_r = 1,25 \cdot U_c$$

- **Método más preciso a partir de las sobretensiones temporales**

El método simplificado es penalizante porque no tiene en cuenta las solicitudes reales de la red que son generalmente inferiores a $U_m / \sqrt{3}$

Las sobretensiones temporales susceptibles de aparecer en una red son de dos tipos:

- Las sobretensiones en un defecto fase-tierra donde el tiempo de eliminación depende del plan de protección (el factor de sobretensión a tierra es igual a 1,73 para las redes con neutro aislado o puesto a tierra por impedancia).
- Las sobretensiones durante una descarga en la red de distribución pública, del orden del 15 % pero puede llegar hasta el 35 % en ciertas redes.

El valor de la sobretensión temporal a tener en cuenta es el producto de los factores de sobretensión de defecto a tierra y de descarga.

- **Caso particular**

Si las sobretensiones temporales duran más de 2 horas, se admite que es un régimen permanente para la autoválvula y por lo tanto se elige U_c igual a esta sobretensión y

$$U_r = 1,25 \cdot U_c$$

- **Caso general**

La capacidad de una autoválvula para soportar las sobretensiones temporales se da en función de una tensión equivalente de duración 10 segundos (U_{10s}) expresados por la ecuación siguiente:

$$U_{10s} = TOV \left(\frac{T}{10} \right)^\eta \quad \text{con } \eta \cong 0,02$$

T : duración de la sobretensión

TOV : valor de la sobretensión

Esta fórmula permite calcular para cada sobretensión temporal, la sobretensión de duración 10 segundos que provocaría los mismos esfuerzos en la autoválvula.

La duración de la sobretensión temporal debe estar comprendida entre algunos segundos y dos a tres horas ($U_{10s} = 0,97 \cdot TOV$ para $T = 2s$ y $U_{10s} = 1,14 \cdot TOV$ para $T = 2$ horas).

La tensión asignada de la autoválvula será elegida superior o igual al valor máximo de las tensiones equivalentes de duración 10 segundos: $U_r \geq \max(U_{10s})$.

Se tomará

$$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

□ **Corriente nominal de descarga I_{nd}**

En la práctica, para la gama de tensión $1 \text{ kV} \leq U_m \leq 52 \text{ kV}$, se disponen de dos valores de I_{nd} : 5 kA y 10 kA.

El valor $I_{nd} = 10 \text{ kA}$ es elegido para las zonas de fuerte nivel ceráunico.

□ **Clase de descarga y capacidad energética**

Son determinadas por la experiencia o por comparación con proyectos similares.

□ Características mecánicas

Las normas IEC 60099-4 y 60099-5 fijan el límite de presión admisible (expresada en “kA”) que debe ser verificado para cortocircuitos trifásicos en bornes de la autoválvula.

Se verificarán igualmente las características de la autoválvula con relación a:

- La temperatura ambiente
- La altitud
- El nivel de polución
- La resistencia mecánica al viento, las limitaciones sísmicas, la escarcha.

□ Nivel de protección de la autoválvula

El nivel de protección de la autoválvula en el punto de instalación corresponde a la tensión residual (U_{rsd}) en sus bornes cuando es recorrido por la corriente nominal de descarga.

Instalación de autoválvulas AT y MT

En las redes eléctricas de AT y MT, las autoválvulas se instalan a la entrada del Centro o Subestación para asegurar la protección del transformador y sus equipos. Esta protección no será eficaz si no se cumplen las distancias de protección y las reglas de instalación.

■ Distancias de protección

El fenómeno de propagación de las ondas publicado en este blog en el post denominado “Propagación de sobretensiones en redes aéreas y subterráneas” muestra que en el punto de reflexión (transformador MT/BT por ejemplo), la sobretensión alcanza el doble de la onda incidente.

La autoválvula descarga a una tensión de cebado U_{rsd} (igual a la tensión residual para las autoválvulas ZnO).

Si la autoválvula está situada a una distancia elevada, la tensión máxima al nivel del material a proteger será de $2 U_{rsd}$. Ahora bien, la tensión al choque del material es generalmente inferior a $2 U_{rsd}$.

Para paliar este inconveniente, se instala la autoválvula a una distancia inferior a la distancia de “protección” D . La autoválvula es sometida entonces a la suma de la onda incidente y de la onda reflejada, cebándose para una onda incidente inferior a U_{rsd} .

Suponiendo que en el punto de conexión del material, la onda es totalmente reflejada, se demuestra que la sobretensión al nivel del material es limitada a

$$U = U_{rsd} + 2r \frac{D}{v}$$

$r = \frac{dv}{dt}$: pendiente del frente de subida de la onda de tensión, kV/ μ s

v : velocidad de propagación de la onda, m/ μ s

Para una resistencia al choque tipo rayo de U_{cdf} , será necesario que la autoválvula se sitúe a una distancia D tal que:

$$U_{rsd} + 2r \frac{D}{v} \leq U_{cdf}$$

De donde:

$$D \leq \frac{U_{cdf} - U_{rsd}}{2r} \cdot v$$

Aplicación numérica

Consideramos el ejemplo ilustrado de la figura 3:

$U_{cdf} = 125 \text{ kV}$, caso de un transformador *MT/BT* conforme a IEC 60076.3

$U_{rsd} = 75 \text{ kV}$, tensión residual de la autoválvula

$r = 300 \text{ kV}/\mu\text{s}$, pendiente del frente de subida de la onda de tensión

$v = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$, para una línea aérea

Se tiene entonces:

$$D \leq \frac{125 - 75}{2 \cdot 300} \cdot 300$$

$$D \leq 25 \text{ m}$$

La autoválvula debe ser instalada a menos de 25 m del transformador para que la sobretensión no sobrepase el valor de su resistencia al choque del rayo.

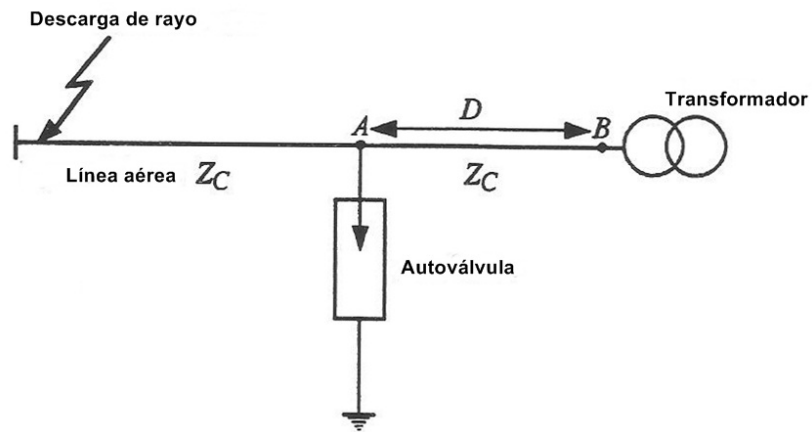


Figura 3: Distancia de protección de una autoválvula protegiendo un transformador alimentado por una línea aérea