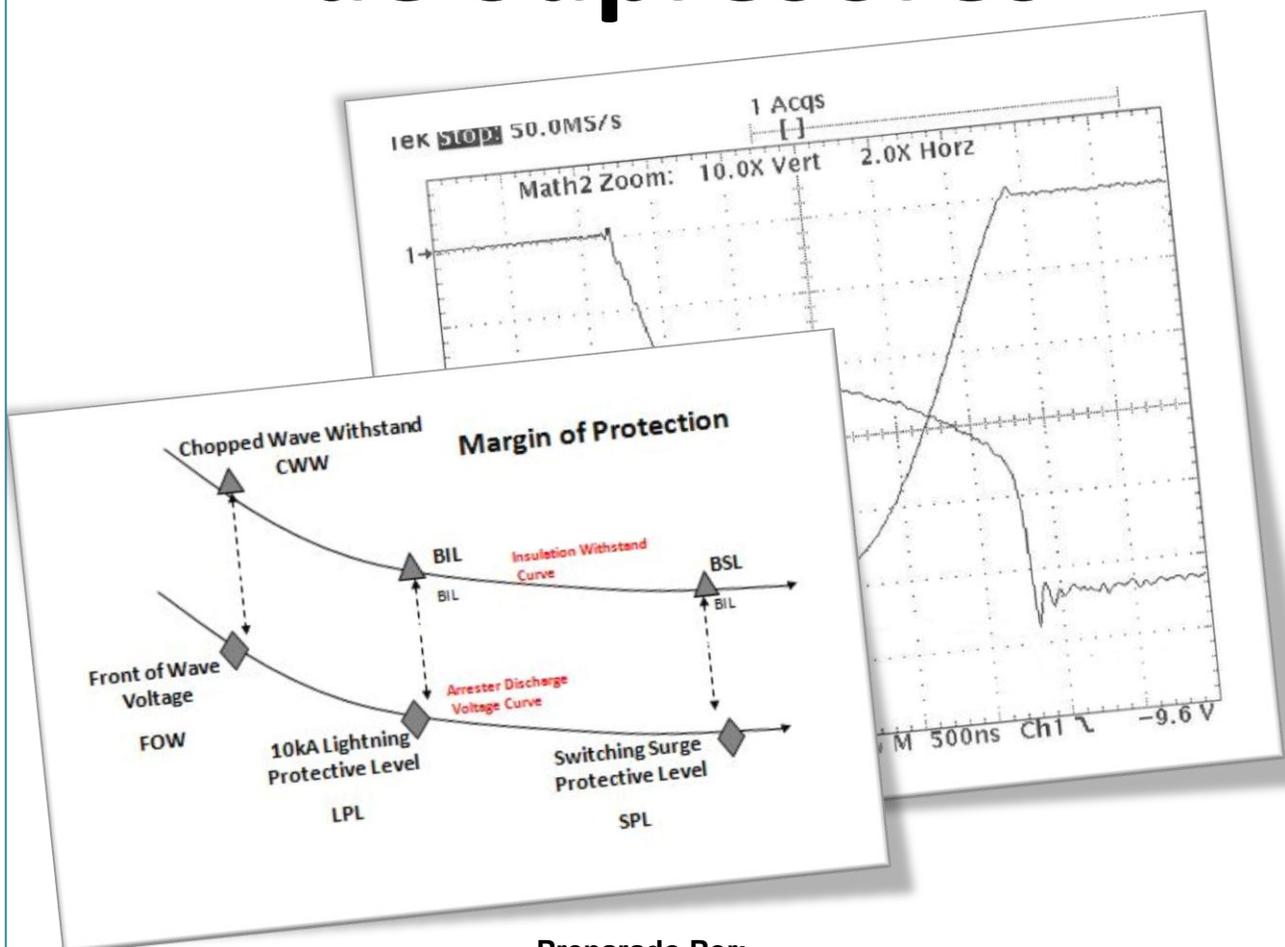


## Entendiendo la Descarga de Voltaje de Supresores



Preparado Por:  
Jonathan Woodworth  
Ingeniero Consultor

ArresterWorks  
Diciembre 2008

# Entendiendo la Descarga de Voltaje de Supresores

## Contenidos

- Introduction
- Definition
- Application of this Characteristic
- Measurement and Testing
- Waveshapes
- Inductive Effect
- Modeling
- Presentation And Catalog Data
- Typical Values

## Introducción

Todos los supresores protegen a los equipos mediante la limitación de la tensión en los terminales del equipo en la presencia de una sobretensión en el sistema. Esta característica de limitación de voltaje es el rasgo principal de un supresor y en la mayoría de los casos, y la razón de su existencia. Esta característica tiene varios nombres e incluso ha cambiado a lo largo de los años. El voltaje de la descarga término se usa comúnmente en el mercado de EE.UU., mientras Voltaje Residual se utiliza en la mayoría de otros lugares del mundo. Un término algo obsoleto que describe esta característica en términos eléctricos es Caída de IR, que se refiere al voltaje a través del supresor cuando una corriente  $I$  pasa a través de la resistencia  $R$  del supresor.

Tanto en las aplicaciones IEC e IEEE, el término nivel de protección se utiliza a menudo en lugar de Voltaje de Descarga. El término Voltaje de Retención es otro que se usa en ocasiones, aunque se utiliza más a menudo para describir la característica de bajo voltaje de los SPD.

Para este documento se utilizará el término Voltaje de Descarga y tiene la intención de representar a todos los otros términos utilizados para esta característica limitante de voltaje de un Supresor.

## Definiciones

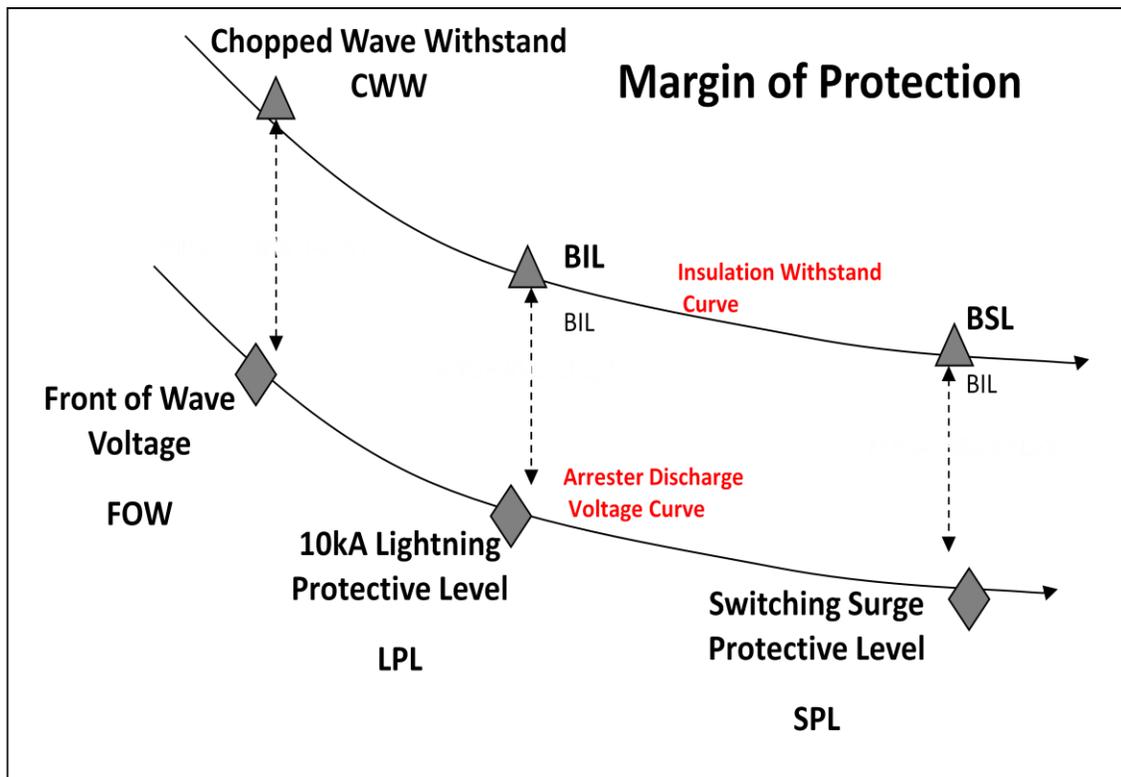
La definición de Voltaje de Descarga que se publica en la sección 3 de IEEE C62.11 es

- **3.25 Voltaje de Descarga:** La tensión que aparece a través de las terminales de un supresor durante el paso de la corriente de descarga.
- **3.23 Corriente de Descarga:** La corriente de sobretensión que fluye a través de un descargador.

La definición IEC también en el apartado 3 de la norma IEC 60099-4 es

- **3.36 Voltaje Residual de un supresor de Pico Ures:** Valor de la tensión que aparece entre las terminales de un supresor durante el paso de la corriente de descarga
- **3.29 Corriente de Descarga de un Supresor:** impulso de corriente que fluye a través del descargador.

De las definiciones anteriores, se puede observar que el voltaje a través de un supresor en un evento de sobretensiones constituye un voltaje de descarga. Durante el funcionamiento en estado estacionario de un descargador, hay una la corriente de fuga que pasa a través del supresor sin embargo, pero ya que no es corriente de sobretensión, el voltaje en estado estacionario no es voltaje de la descarga. Durante una sobretensión de conmutación, o de relámpago y eventos de corriente TOV altos, la tensión que aparece a través del descargador se puede considerar un voltaje de la descarga.



**Figura 1.** Descripción gráfica de los cálculos de Margen de Protección.

### Aplicación de Voltaje de Descarga

Hay tres características de la tensión de descarga que constituyen el nivel de protección del Supresor.

1. **Nivel de Protección impacto (FOW PL)** es el voltaje de la descarga con un tiempo de subida de aproximadamente  $.5\mu\text{s}$ . El IEC equivalente a esto es el nivel de protección de impulso de corriente fuerte y es la tensión residual a través del supresor que resulta de una corriente de descarga subiendo en cresta  $1\mu\text{s}$ .
2. **Nivel de Protección de Rayo (Lightning Protective Level)** es el voltaje de la descarga que resulta de una corriente de descarga con un  $8-10\mu\text{s}$  tiempo de subida. El término del IEC es Nivel de Protección de Impulso de Rayos (Lightning Impulse Protective Level).

3. **Nivel de Protección de Conmutación (Switching Protective Level)** es la voltaje de la descarga resultante de una corriente de descarga cresting in  $45-60\mu\text{s}$ . El término del IEC es Nivel de Protección de Impulso de Conmutación (Switching Impulse Protective Level)

Estas tres tensiones de descarga se utilizan para determinar qué tan bien un supresor protege equipos cercanos. Específicamente se utilizan para calcular el margen de protección. Un margen típico de protección se describe en la Figura 1. Los cálculos del margen de protección sugieren que la curva de aislamiento debe ser más de 115% de la curva de voltaje de la descarga del supresor como mínimo.

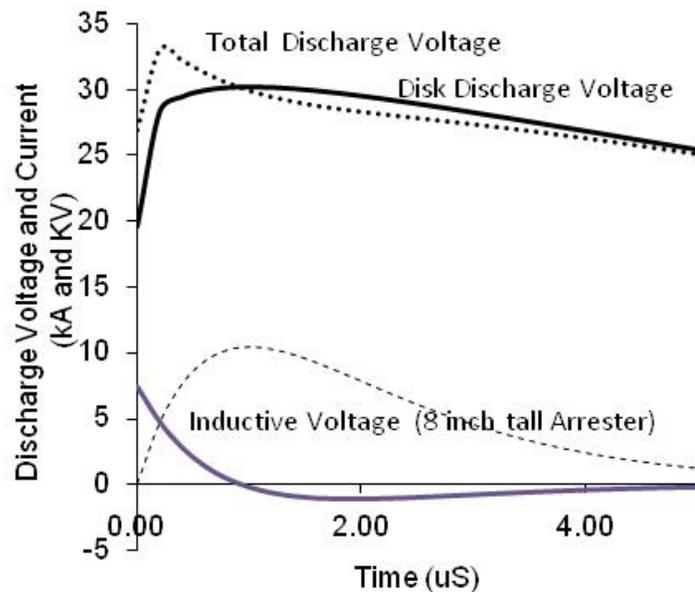
## Medición y Prueba

La medición del voltaje de la descarga puede ser muy dispendiosa especialmente en la región FOW de la característica. Consideraciones importantes al medir este voltaje son:

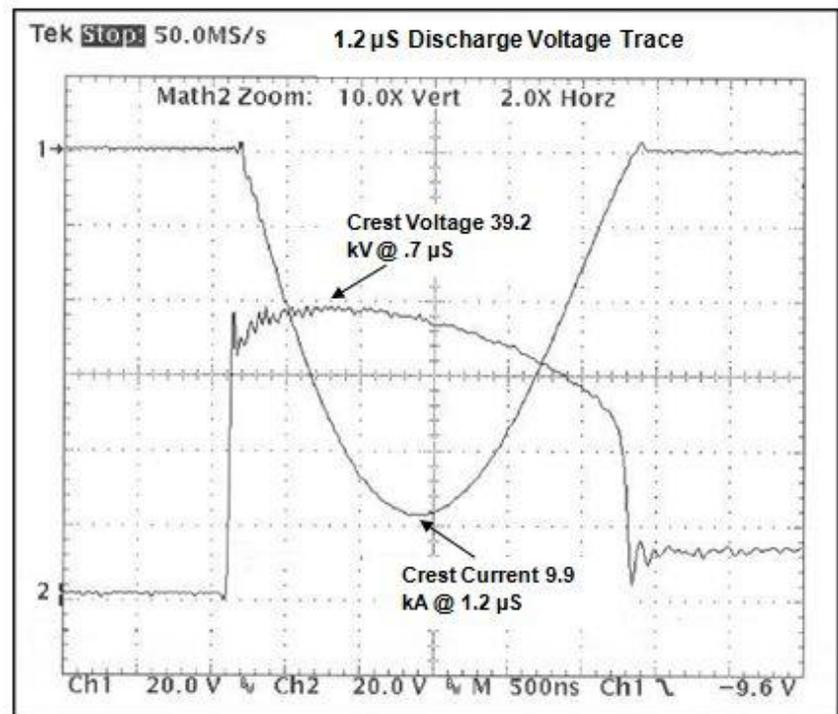
1. Respuesta de frecuencia de los equipos. Osciloscopios digitales son necesarios y los dispositivo de uso más frecuente. Se requieren sensores de corriente con capacidad de impulso y divisores de voltaje de impulso.
2. Sistemas de puesta a tierra sólida y bien conectada.
3. Condensadores de baja inductancia y resistencias de formación de onda.
4. Filtros de señal que proporcionan una representación real de la salida del equipo de medición.
5. Las muestras de referencia con características muy conocidas siempre deben ser probados antes que la calibración pueda considerarse completa. Errores casi invisibles pero insidiosos pueden ocurrir con este tipo de pruebas, y estas muestras darán seguridad doble sobre la que la corrección de la calibración.

Una salida típica del equipo de prueba se encuentra en la Figura 2.

## 10kV Rated Arrester with and without Self Inductance



**Figura 2.** Descarga de voltaje de 1.2  $\mu$ S y Trazo de Corriente.



**Figura 3.** Supresor con y sin Voltaje Inductiva Inherente.

## Comportamiento Temporal e Inductivo

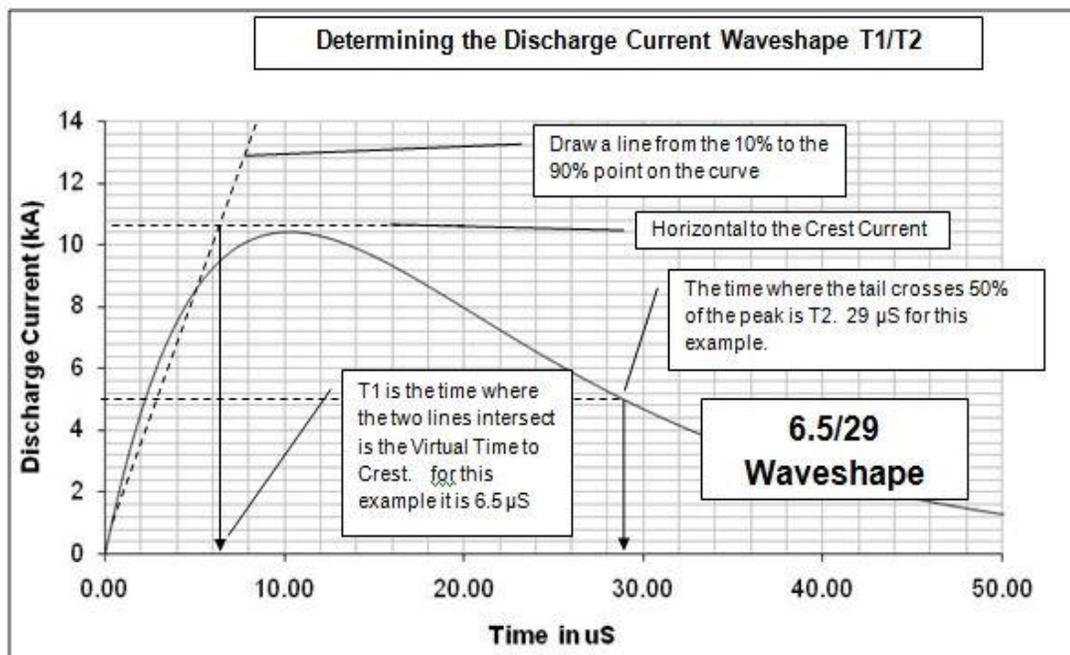
Todos los conductores que tengan cualquier longitud apreciable también tienen inductancia inherente y los supresores no son la excepción. Su inductancia puede convertirse en una parte significativa de las unidades de Voltaje de Descarga cuando el descargador es largo. Este efecto inductivo es parte de la razón de las crestas de voltaje de descarga se producen antes de las crestas de la corriente de descarga, como se ve en la Figura 2.

Al medir tensiones de descarga utilizando corrientes de descarga subon de cresta es de menos de  $2 \mu\text{s}$ , en muestras de supresor más cortos que el supresor, es importante añadir un conductor a la muestra para hacerla inductivamente equivalente a la del supresor completo si se desea equivalencia. En C62.11 e IEC 60099-4 métodos de montaje realistas de una sección prorrateada de un descargador se describen en detalle. En 60099-4 un método de medición de la inductancia inherente de un disco MOV como también se describe en detalladamente.

Además de la inductancia inherente en un descargador MOV, el voltaje de descarga está influenciado por lo que se conoce como el comportamiento de transición temporal de un semiconductor. Este comportamiento también aparece como un comportamiento inductivo, pero es una función del MOV semiconductor tipo N en su transición de un estado no conductor a un estado conductor. Este efecto puede ser visto en todas las frecuencias de impulso, no sólo en las sobretensiones más de rápido aumento.

## Discharge Current Waveshapes

Las formas de onda de corriente de descarga utilizadas para las pruebas de voltaje de alta no fueron elegidas arbitrariamente. La primera forma de onda utilizada para este tipo de prueba hace más de 50 años fue el 8/20 impulso de corriente. La historia cuenta que cuando este tipo de forma de onda de corriente se vio forzado a través de un supresor de carburo de silicio de la época, el voltaje de descarga se parecía mucho a una forma de onda de voltaje de rayo.



**Figura 4.** Determinando la descarga Corriente de Forma de onda.

Sea cierto o no, el 8/20 de forma de onda fue elegido hace muchos años y se ha mantenido como la corriente de descarga estándar de forma de onda a pesar de que se sabe que no todas las formas de onda simulan corriente de rayo. A medida que la comprensión de las formas de onda de rayos actuales evolucionó, se introdujeron pruebas de forma de onda más rápidas. Para simular la corriente de descarga de una oleada de conmutación en una línea eléctrica, la forma de onda de frente lento y cola larga de se adoptó.

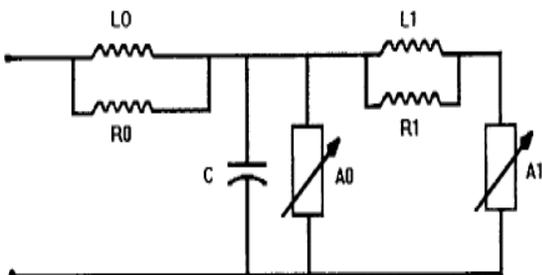
Durante los ensayos de supresores de acuerdo con C62.11 e IEC 60099-4, las siguientes descargas de onda de corriente se utilizan:

- 1  $\mu$ s a cresta la caída no es relevante
- 2  $\mu$ s a cresta la caída no es relevante
- 8  $\mu$ s a cresta la caída no es relevante
- 4/10  $\mu$ s
- 8/20  $\mu$ s
- 30  $\mu$ s a cresta la caída no es relevante
- 150  $\mu$ s a cresta la caída no es relevante
- 1000  $\mu$ s a cresta la caída no es relevante

El método de medición de la forma de onda es aceptado en todo el mundo, como se muestra en la Figura 4.

## Modelado

Modelado de la característica de descarga de voltaje de supresores MOV ha sido el tema de numerosos artículos técnicos. Dado que la característica es una combinación de la resistencia no lineal, la inductancia y el comportamiento de



transición de un semiconductor, la tarea ha sido sustancial.

Un modelo dependiente de la frecuencia fue desarrollado por un grupo de trabajo del IEEE, el Comité de Dispositivos de Sobretensiones de Protección, en los años 90. Se trata de un modelo práctico y preciso para el modelado de circuito en la mayoría de aplicaciones.

Donde:

$$L1 = 15 \text{ d/n}$$

$$R1 = 65 \text{ d/n}$$

d = altura del Supresor en metros.

n = numero de columnas paralelas.

$$L0 = .2 \text{ d/n } \mu\text{h}$$

$$R0 = 100 \text{ d/n } \Omega$$

$$C = 100 \text{ n/d pF}$$

A0 y A1 se pueden estimar a partir de la siguiente tabla.

kA	V-I characteristics of A0	V-I characteristics of A1
	V(p.u.) <sup>a</sup>	V(p.u.) <sup>a</sup>
0.01	1.40	—
0.1	1.54	1.23
1	1.68	1.36
2	1.74	1.43
4	1.80	1.48
6	1.82	1.50
8	1.87	1.53
10	1.90	1.55
12	1.93	1.56
14	1.97	1.58
16	2.00	1.59
18	2.05	1.60
20	2.10	1.61

<sup>a</sup> pu is based on a model element that had a 1.6 kV IR at 10 kA. (See Durbak [B34] for greater detail).

Varios otros modelos se analizan en un documento de 2003 titulado "Simulation of Metal Oxide Surge Arrester Dynamic behavior Under Fast Transients" por Bayadi, Harid, Zehar y Belkhat.

## Prediciendo el Pico de Voltaje de Descarga

Predecir el voltaje de descarga a diferentes corrientes de las ofrecidas en los datos a la mano es a menudo necesario. Para esta tarea, la Ecuación 1 es un modelo simple y eficaz para el cálculo del voltaje de descarga si otros pares de corriente/voltaje se conocen.

$$e = k \cdot I^n \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

e = Descarga de voltaje.

k = Constante.

I = Corriente de descarga.

n = Exponente no lineal

Si se conocen dos pares de corriente-voltaje de Voltaje de Descarga y la corriente de un supresor, los valores de n y k del supresor pueden determinarse con las ecuaciones 2 y 3.

$$n = \ln(E_2/E_1) / \ln(I_2/I_1) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$k = E_1 / I_1^n \quad \text{Ecuación 3}$$

$E_1$  y  $I_1$  = Primer par de voltaje-corriente.

$E_2$  y  $I_2$  = Segundo par de voltaje-corriente.

Station class									
Steady state operation: system voltage and arrester ratings				Protective levels: range of industry maxima per unit of MCOV			Durability characteristics: IEEE Std C62.11-1993		
Max system voltage L-L kV-rms <sup>a</sup>	Max system voltage L-G kV-rms <sup>a</sup>	Min MCOV rating kV-rms	Duty cycle ratings kV-rms	0.5 μs FOW protective level <sup>b</sup>	8/20 μs protective level <sup>b</sup>	Switching surge protective level <sup>c</sup>	High current withstand crest amperes	Trans. line discharge miles	Pressure relief kA rms (symmetrical) <sup>d</sup>
4.37	2.52	2.55	3	2.32-2.48	2.10-2.20	1.70-1.85	65 000	150	40-80
8.73	5.04	5.1	6-9	2.33-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
13.1	7.56	7.65	9-12	2.33-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
13.9	8.00	8.4	10-15	2.33-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
14.5	8.37	8.4	10-15	2.33-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
26.2	15.1	15.3	18-27	2.33-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
36.2	20.9	22	27-36	2.43-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
48.3	27.8	29	36-48	2.43-2.48	1.97-2.23	1.70-1.85	65 000	150	40-80
72.5	41.8	42	54-72	2.19-2.40	1.97-2.18	1.64-1.84	65 000	150	40-80
121	69.8	70	90-120	2.19-2.40	1.97-2.18	1.64-1.84	65 000	150	40-80
145	83.7	84	108-144	2.19-2.39	1.97-2.17	1.64-1.84	65 000	150	40-80
169	97.5	98	120-172	2.19-2.39	1.97-2.17	1.64-1.84	65 000	175	40-80
242	139	140	172-240	2.19-2.36	1.97-2.15	1.64-1.84	65 000	175	40-80
362	209	209	258-312	2.19-2.36	1.97-2.15	1.71-1.85	65 000	200	40-80
550	317	318	396-564	2.01-2.47	2.01-2.25	1.71-1.85	65 000	200	40-80
800	461	462	576-612	2.01-2.47	2.01-2.25	1.71-1.85	65 000	200	40-80
Intermediate class									
4.37-145	2.52-83.72	2.8-84	3-144	2.38-2.85	2.28-2.55	1.71-1.85	65 000	100	16.1 <sup>d</sup>

<sup>a</sup>Voltage range A, ANSI C84.1-1989

<sup>b</sup>Equivalent front-of-wave protective level producing a voltage wave cresting in 0.5 μs. Protective level is maximum discharge voltage (DV) for 10 kA impulse current wave on arrester duty cycle rating through 312 kV, 15 kA for duty cycle ratings 396-564 kV and 20 kA for duty cycle ratings 576-612 kV, per IEEE Std C62.11-1993.

<sup>c</sup>Switching surge characteristics based on maximum switching surge classifying current (based on an impulse current wave with a time to actual crest of 45 μs to 60 μs) of 500 A on arrester duty cycle ratings 3-108 kV, 1000 A on duty cycle ratings 120-240 kV, and 2000 A on duty cycle ratings above 240 kV, per IEEE Std C62.11-1993.

<sup>d</sup>Test values for arresters with porcelain tops have not been standardized. Pressure relief classification is in 5 kA steps.

## **Presentación y Catálogo de Datos**

La mayoría de las secciones del catálogo de supresores contienen información importante sobre Voltaje de Descarga. Dado esta es una característica competitiva y no tiene límites superior o inferior obligatorios, el objetivo de la mayoría de los fabricantes es tener los mejores valores posibles para ofrecer. El voltaje de descarga es listado a menudo para sobretensiones de conmutación, sobretensiones de rayos y sobretensiones de frente rápido. Se dice claramente en la norma IEEE C62.11 y la IEC 60099-4 lo que el valor notificado debe representar.

En general se entiende que los valores que figuran en la literatura de catálogo deben representar el voltaje de descarga completa que incluye la tensión de inducción del descargador, así como el voltaje de descarga nativa. Si el descargador es significativamente más larga que la pila de discos MOV, entonces la tensión inductiva de los separadores insertados también debe ser tenida en cuenta y debe estar contenida en los valores publicados.

Este corto Texto en voltaje de descarga del supresor puede ayudar a un estudiante a iniciar el tema, pero el estudio de los métodos de prueba de alta tensión, cuando es posible ejecutar la prueba, y el estudio de IEEE C62.11 e IEC 60099-4 le llevará mucho. Disfruten

Jonathan Woodworth 12-14-08