

Coordinación de aislamiento

Sobretensiones atmosféricas



El presente artículo de revisión de la Norma IEC 60071-1 y IEC 60071-2, pretende ser una herramienta para la determinación de las tensiones soportadas de coordinación de las sobretensiones de frente rápido utilizando el método simplificado descrito en el Anexo F de la normativa.

Es importante mencionar que la estimación de la corriente de rayo o la amplitud de frente de onda va estar sujeta a un amplio rango de variables como ser nivel ce-ráunico del lugar geográfico en el que se ubica el proyecto, la resistividad del terreno, periodos de retorno, polaridad positiva o negativa del rayo, entre otros.

A su vez, aspectos tales como el nivel ce-ráunico son variables estadísticas dependientes de la precisión de las centrales de monitoreo ambiental y un buen manejo del histórico de datos.

Por tanto, la norma plantea un método simplificado para la estimación de las sobretensiones debidas al rayo, que en términos generales asume que las bahías de entrada de línea y los principales equipos eléctricos de la subestación van a estar protegidos por descargadores de sobretensiones o pararrayos, seleccionados adecuadamente bajo la norma IEC 60099-4.

Antes de realizar el cálculo de la amplitud de la tensión representativa del rayo se deben asumir algunas hipótesis como ser:

- J La pendiente de frente de onda es amortiguada principalmente por el efecto corona de las líneas de transmisión, vale decir que para rayos alejados a la subestación la amplitud de la onda será menor.
- J Los cebados inversos no se producen en la torre más cercana a la subestación debido a la proximidad de la puesta a tierra de la subestación.

Por tanto, la norma plantea la expresión F.17:

$$U_{rp} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_t}$$

Donde;

- U_{rp} Amplitud de la tensión representativa del rayo (kV).
- A Factor del comportamiento del rayo en función al tipo de línea de transmisión.
- U_{pl} Nivel de protección de la onda tipo rayo del pararrayos (kV).
- L Distancia de separación del pararrayos y el equipo a proteger (m).

Coordinación de aislamiento

Sobretensiones atmosféricas



n Número mínimo de líneas conectadas a la subestación ($n=1$ o $n=2$).

L_{sp} Longitud del vano promedio (m).

L_t Porción de la línea aérea que tiene una tasa de defectos igual a la tasa de retorno establecida (m).

R_t Tasa de retorno de la sobretensión, establecida (1/año).

R_{km} Tasa de defectos anuales de la línea de transmisión correspondiente al primer kilometro de línea a partir de la subestación, (1/100 km/año).

Incorporando la expresión F.18 se tiene:

$$L_a = R_a / R_{km}$$

Obteniendo la tensión soportada de coordinación para el impulso de rayo:

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_a}$$

L_a Porción de la línea aérea cuya tasa de defecto es igual a la tasa de fallos establecida aceptable.

R_a Tasa de fallos establecida aceptable del equipo.

Factor A Para diferentes tipos de líneas

Tipo de línea	A kV
Líneas de distribución (cebados entre fases):	
- con las crucetas puestas a tierra (cebado a tierra con una tensión pequeña)	900
- líneas con apoyos de madera (cebado a tierra con una tensión alta)	2 700
Líneas de transporte (cebados fase tierra)	
- un solo conductor	4 500
- haz doble	7 000
- haz cuádruple	11 000
- haz de seis u ocho conductores	17 000

Para el equipamiento eléctrico la tasa de fallo aceptable R_a debido a las sobretensiones están en el rango de 0.001/año hasta 0.004/año. Para líneas de transmisión eléctrica las tasas de fallo aceptables debido a rayos están en el rango de 0.1/100 km/año hasta 20/100 km/año.

En Bolivia es una práctica común asignar para líneas en 115 kV y 230 kV, dos (2) salidas netas 100 km/año y para líneas en 500 kV, una (1) salida neta 100 km/año.

Es importante indicar que las características de protección de un pararrayos son únicamente válidas en su ubicación, en ese sentido, cuanto mayor es la distancia de separación entre el pararrayos y el equipo protegido, menor es la eficacia protectora para este equipo y se podría exceder el nivel de protección del pararrayos.

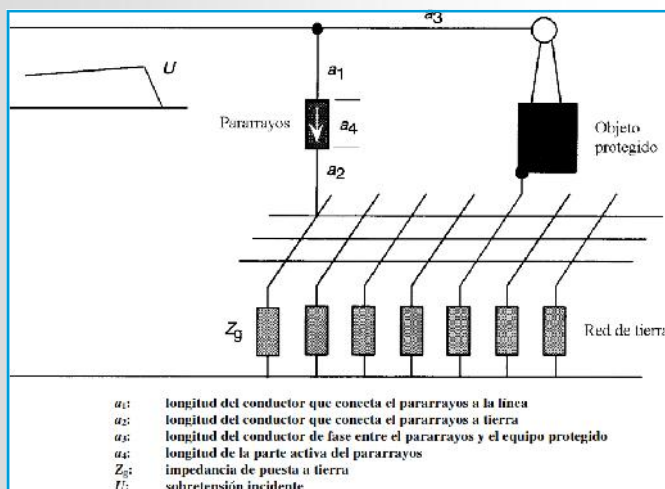
A continuación se muestra los elementos que se deben tomar en cuenta para

Coordinación de aislamiento

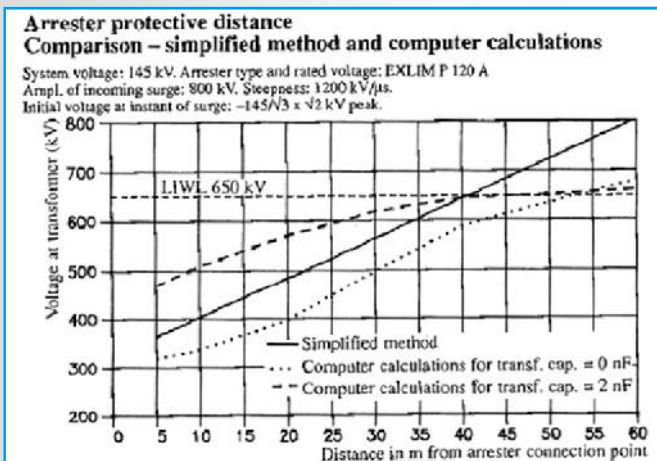
Sobretensiones atmosféricas



determinar la distancia de separación del pararrayos al equipo protegido (L).



Es pertinente realizar una comparación del cálculo de la distancia de protección de un pararrayos efectuada por el método simplificado respecto al método de simulación con software.



De acuerdo a la gráfica, con el método simplificado se obtienen valores más conservadores, pudiendo superar la tensión soportable para descarga atmosférica

a los 40 metros de distancia del pararrayos al equipo protegido.

No obstante, el método de simulación por software usualmente requiere introducir parámetros tales como la amplitud de la corriente de la descarga atmosférica que van a estar sujetos a estudios estadísticos medio ambientales o reportes de proyectos de características similares. Es común encontrar amplitudes de corriente de descarga atmosférica del orden de 150 kA, 200 kA y 250 kA, sin embargo la elección de uno u otro valor va depender de la información disponible para cada proyecto y finalmente de la selección adecuada del ingeniero de diseño eléctrico, puesto que cada parámetro ofrecerá resultados diferentes.

Asimismo, el comportamiento del frente de onda una vez que este ingresa a la subestación va depender de aspectos tales como el estado de contacto de los interruptores de potencia (abierto/cerrado), la capacitancia del equipamiento eléctrico, el tipo de conductores eléctricos de barras y la puesta a tierra de la subestación entre otros.

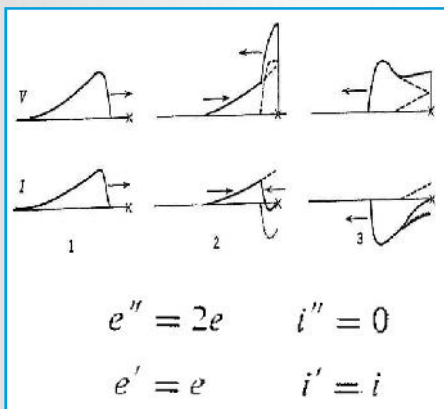
A continuación se puede observar el comportamiento de la onda de descarga

Coordinación de aislamiento

Sobretensiones atmosféricas



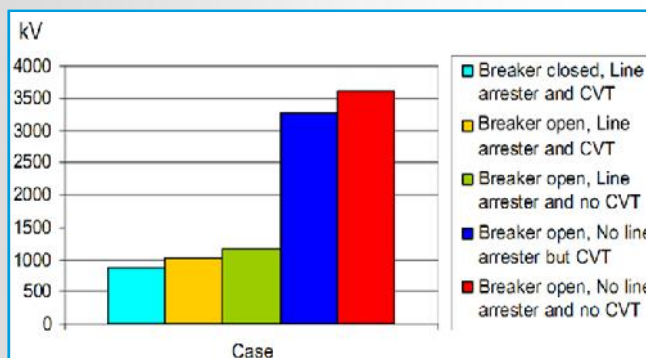
atmosférica cuando el interruptor se encuentra en posición abierta:



Como se puede observar para la curva de tensión existe una reflexión de la onda al tener una discontinuidad lo que produce una superposición y elevación de tensión.

Por otra parte, el equipamiento eléctrico de la subestación también jugará un papel importante respecto a la atenuación del frente de onda como se puede observar a continuación:

Efecto del transformador de tensión capacitivo y pararrayos en una subestación eléctrica



En la gráfica se tienen los resultados de la tensión

medida en el interruptor de potencia para una amplitud de onda de 2000 kV, como se puede observar el nivel más bajo de sobretensión sucede en el caso de interruptor cerrado, bahía de línea con pararrayos y transformador de tensión capacitivo, en tanto que, la situación más crítica sucede con interruptor abierto y bahía de línea sin pararrayos ni transformadores de tensión capacitivos.

Los transformadores de tensión capacitivos tienen una capacitancia entre 4-8 nF y los transformadores de potencia de 2-4 nF.

Finalmente es importante indicar que para la gama I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$) las tensiones soportadas normalizadas incluyen la tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial y la tensión soportada a impulso de rayo, por tanto, la selección adecuada por parte del proyectista de las tensiones soportadas y normalizadas para el impulso de rayo otorgarán confiabilidad a las instalaciones eléctricas garantizando las distancias eléctricas fase-tierra y fase-fase del aislamiento interno y externo.

Elaborado por: Raúl Salamanca Cossio.

Gerencia de Planificación.

Referencias: IEC 60071 Partes 1 y 2, IEC 60099.

ABB High Voltage Surge Arrester.