

DETERMINACIÓN DE LAS CORRIENTES DE INSERCIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE “n” TRANSFORMADORES.

Autor: Ing. Horacio Salvañá

Objetivo:

El objeto de este trabajo es calcular los valores de corrientes de Inserción y su atenuación en el tiempo de un sistema de distribución de Media Tensión compuesto por n transformadores. Los resultados corresponden a valores eficaces de corriente. **Conocer el comportamiento de las corrientes de inserción, aporta datos adicionales para el ajuste de protecciones.** Ambos análisis son empíricos y aproximados, pero con un grado de certeza aceptable para ser aplicado en distintos casos.

Las fórmulas son aplicables a sistemas de distribución urbanos y pierden certidumbre para casos de líneas rurales y casos especiales como cargas puntuales únicas y muy grandes.

Si bien este desarrollo está registrado legalmente como obra inédita (Expediente 245.618), pretende ser el primer paso para futuros estudios. Por este motivo sería interesante recibir información sobre la comparación entre los resultados teóricos y prácticos, pues por ejemplo se puede dar el caso de necesitar corrección por temperatura ambiente o aplicar un factor para cableado subterráneo.

Introducción:

La corriente de inserción en una red de distribución depende, entre otras variables, del punto en el que se encuentra la sinusoide de tensión en el momento de la conexión. Esto da una gran dispersión de valores, pero recordemos que estamos analizando un sistema trifásico por lo que esta dispersión se restringe, ya que estamos buscando corrientes máximas, y una de las tres tensiones está predispuesta a generar un máximo de corriente dentro de cierto rango. La intención es encontrar el comportamiento de la intensidad de corriente dentro de un margen aceptable de cálculo. Por otro lado debemos tener presente que nos interesa la máxima corriente en valor absoluto, no nos afecta el signo de la misma.

Este análisis está estructurado en dos etapas:

- 1.- Determinar el valor máximo de la corriente de inserción.
- 2.- Establecer la curva de atenuación de la corriente.

Consideraciones de Cálculo

- a.- Se deben tomar los transformadores ubicados aguas abajo del punto de conexión.
- b.- Es recomendable despreciar para el cálculo los transformadores de baja potencia (del orden de 63 kVA) y los transformadores menores a 150 kVA alejados a más de 3.000 metros del punto de conexión.
- c.- Estas ecuaciones no contemplan el caso de cálculo de un punto intermedio de la red. Es decir se deben realizar los cálculos para el punto de conexión. Ejemplo:

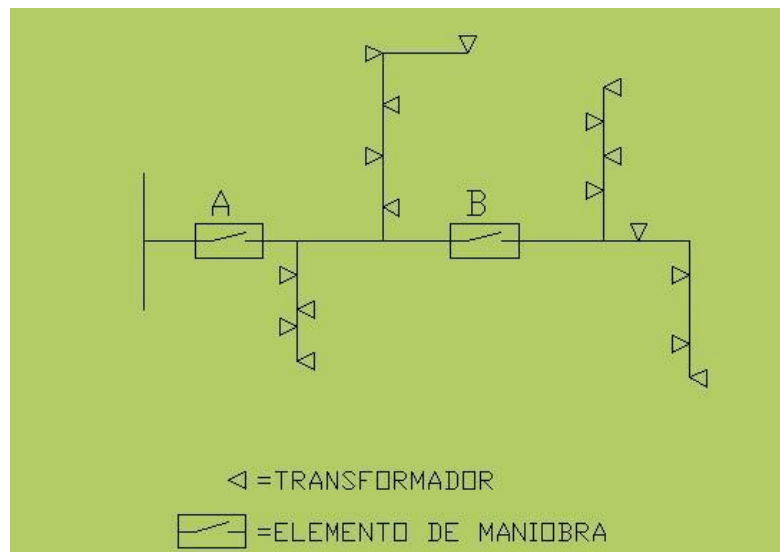


Figura 1

Para el caso de la Figura 1, si se calculan los parámetros en el punto B y se conecta desde el punto A, los valores reales obtenidos en el punto B son muy dispersos respecto a los calculados.

- d.- Los cálculos no contemplan casos de reconexiones menores a 3 segundos.

Desarrollo:

1.- Determinación de $I_{MáxInserción}$

Este cálculo se basa en el hecho de que no son iguales las corrientes de Inserción de un transformador de x kVA que de n transformadores de x/n kVA. Los datos necesarios son los siguientes:

P_{Total} = Suma de las Pot. nominales de los transformadores instalados. [kVA]

n = Cantidad de transformadores instalados.

V = Tensión nominal del sistema. [kV]

Con estos valores calculamos lo siguiente:

$$I_{Instalada} = \frac{P_{Total}}{\sqrt{3} \cdot V} \quad [A]$$

K_1 = Factor de Corriente Máxima

$$K_1 = 3.3 - \frac{96.1 \cdot n^{1.6}}{P_{Total} + 41.8 \cdot n^{1.6}}$$

Quedando $I_{MáxInserción} = I_{Instalada} \cdot K_1$ (1)

2.- Determinación de la curva de atenuación.

Si bien los amortiguamientos se representan normalmente con funciones exponenciales negativas, en este caso la manifestación de los ejemplos estudiados no responden a esta modelización matemática, por lo que se buscó una ecuación que represente el efecto de amortiguamiento con mayor fidelidad.

Para este cálculo se necesitan saber los siguientes parámetros:

I_{media} = I media = Intensidad de Corriente Media, no es un valor real, es un valor auxiliar de cálculo que depende de los tres datos iniciales del punto 1.- y se determina con la siguiente ecuación:

$$I_{media} = \frac{P_{Total}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot n}$$

$I_{MáxInserción}$ = Es el valor calculado en el punto 1.- ecuación (1).

I_c = Corriente de carga esperada en la línea a conectar, este valor normalmente se conoce por registros anteriores, es el valor al que tiende la curva de atenuación.

Ahora debemos calcular los tres coeficientes de aplicación en la fórmula final:

K_2 : Pendiente; depende de la I_{media} calculada arriba.

$$K_2 = \frac{22 \cdot I_{media}}{1000} - 0.13$$

K_3 : Factor de Inserción, es una relación entre $I_{MáxInserción}$ e I_c .

$$K_3 = \frac{I_{MáxInserción}}{I_c} - 1$$

K_4 = Factor de atenuación; depende del K_3

$$K_4 = \frac{K_3}{9} + 0.63$$

Por simplicidad tomamos como tiempo $t = 0$ ms (milisegundos) el momento en el que se produce el $I_{MáxInserción}$, la curva que describe la atenuación de la corriente en el tiempo responde a la siguiente ecuación:

$$I_{(t)} = I_c + \frac{(K_3 \cdot I_c)^2}{(K_2 \cdot t^{K_4}) + K_3 \cdot I_c}$$

t = tiempo en milisegundos

3.- Consideraciones Finales

Es importante mantener claro el concepto de que con este procedimiento se intenta determinar un valor máximo de corriente de inserción y curva que describe la atenuación de la corriente de inserción en el tiempo, en valores eficaces.

La corriente máxima de inserción se alcanza dentro de los dos primeros ciclos luego del instante de la conexión, es decir para un sistema de 50 Hz, alcanza el máximo dentro de los 40 ms, por lo que a los fines prácticos, si se desea graficar el comportamiento general de las corrientes máximas en el tiempo es válido trazar una recta desde el origen hasta el

$I_{MáxInserción}$ con una “duración” de 1.5 o 2 ciclos (30 o 40 ms) y luego trasladar el origen del tiempo al punto donde se produce la $I_{MáxInserción}$.