

MÁXIMA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLE EN UNA ESTACIÓN TRANSFORMADORA

INTRODUCCIÓN

Los altos valores de corriente pueden producir calentamiento y/o esfuerzos electrodinámicos excesivos en el equipamiento e instalación de potencia en las estaciones transformadoras. Si estos valores de corrientes son muy elevados, los efectos producidos ante una falla pueden producir daños permanentes y/o destrucción de la parte afectada, es por ello que estas corrientes de cortocircuito deben estar acotadas para no superar los límites admisibles de la instalación. El calentamiento depende del valor eficaz de la corriente y del tiempo que esta perdura (I^2t), mientras que los esfuerzos electrodinámicos generados dependen del máximo valor instantáneo de la corriente. Por consiguiente, son de interés los máximos valores instantáneos y eficaces de las corrientes de cortocircuito y el tiempo que estas perduran.

Por otro lado, cuando se disipa una corriente por la malla de PAT de la ET se generan tensiones entre diferentes puntos del terreno y entre el terreno y partes metálicas. Estas tensiones pueden generar corrientes sobre las personas que se encuentran en contacto con ellas. Los valores admisibles de estas corrientes, para no comprometer la seguridad de las personas, dependen del tiempo al que están sometidos. Por lo tanto, también son de interés los máximos valores que pueden tomar estas tensiones y su duración, que inciden en el valor de las corrientes de cortocircuito a tierra y el tiempo en que se despejan.

CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLES

Dentro de una estación transformadora, los máximos valores de las corrientes de cortocircuito y la duración de las mismas quedan acotados por los siguientes factores:

- Daños internos y/o respuesta inadecuada en los equipos de playa.
 - Transformadores de potencia.
 - Interruptores de potencia.
 - Seccionadores y cuchillas de PAT.
 - Transformadores de corriente.
- Máximos esfuerzos dinámicos admisibles en pórticos, morsetos y bornes de equipos.
 - Conductores rígidos
 - Conductores flexibles.
- Máximas tensiones de seguridad admisibles.
 - Tensión de paso.
 - Tensión de contacto.
- Máximas temperaturas de corta duración admisibles en conductores y conectores asociados.

- Conductores flexibles y/o rígidos y morsetería asociada.
- Conductores de la malla PAT, derivaciones de equipos a PAT y conectores asociados.

Daños Internos y/o Respuesta Inadecuada en los Equipos de Playa

Los equipos conectados en serie dentro de las estaciones transformadoras están expuestos a las corrientes de cortocircuito, no así el equipamiento conectado en paralelo. Estos equipos conectados en serie deben estar diseñados para que las corrientes de cortocircuito esperadas en la ET no produzcan daños internos y/o destrucción en los mismos, y a su vez para que estos tengan el comportamiento esperado bajo estas circunstancias.

Las corrientes de cortocircuito producen, dentro del equipamiento afectado, una elevación brusca de la temperatura que degrada la aislación interna y disminuye la vida útil de estos. Si estas corrientes de fallas son elevadas y/o su duración es prolongada, el daño causado puede llevar a la destrucción de los mismos o sufrir un daño que afecte el comportamiento esperado. Por otro lado, las altas corrientes también producen esfuerzos electromagnéticos en el interior del equipamiento que puede dañar y/o destruir el equipo afectado.

A continuación se describen los parámetros de los equipos más importantes a especificar para el comportamiento de los mismos ante corrientes de cortocircuito.

Transformadores de Potencia

El comportamiento de los transformadores de potencia ante cortocircuitos externos está reglamentado por las normas IEC 60076-5 (Power transformers – Ability to withstand short circuit). Los parámetros que definen el comportamiento ante cortocircuitos son los siguientes:

- *Máximo valor eficaz de la corriente de cortocircuito simétrica:* el transformador deberá resistir durante 2 s (salvo que el comprador especifique otro valor de tiempo) esta corriente.
- *Máximo valor instantáneo de la corriente de cortocircuito asimétrica:* el transformador deberá resistir la primera cresta de esta corriente.

Interruptores de potencia

Los interruptores de alta tensión están reglamentados por la norma IEC 62271-100 (High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers). Los parámetros que definen el comportamiento ante cortocircuitos son los siguientes:

- *Corriente de cortocircuito nominal de corta duración (I_K):* valor eficaz de la corriente que el interruptor puede conducir durante un intervalo de tiempo especificado (t_K), en la posición cerrado y bajo las condiciones de uso y comportamiento prescriptas.
- *Poder de cierre nominal (I_P):* máximo valor instantáneo de la corriente de cortocircuito asimétrica inicial a tensión nominal que el interruptor es capaz de cerrar bajo las condiciones de uso y comportamiento prescriptas.

- *Poder de ruptura nominal (I_{SC}):* máximo valor de la corriente de cortocircuito al final de la apertura más rápida a tensión nominal que el interruptor es capaz de abrir bajo las condiciones de uso y comportamiento prescriptas. Esta corriente se caracteriza por dos valores: el valor eficaz de componente de alterna y el porcentaje de la componente de continua.
- *Duración nominal del cortocircuito (t_K):* intervalo de tiempo en el cual el interruptor es capaz de conducir la corriente de cortocircuito nominal de corta duración (I_K).

Seccionadores y cuchillas de PAT

Los seccionadores y cuchillas de PAT están reglamentados por la norma IEC 62271-102 (High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches). Los parámetros que definen el comportamiento ante cortocircuitos son los siguientes:

- *Corriente de cortocircuito nominal de corta duración (I_K):* valor eficaz de la corriente que el seccionador puede conducir durante un intervalo de tiempo especificado (t_K), en la posición cerrado y bajo las condiciones de uso y comportamiento prescriptas.
- *Corriente de cresta nominal (I_P):* máximo valor instantáneo de la corriente de cortocircuito asimétrica inicial que el seccionador debe soportar bajo las condiciones de uso y comportamiento prescriptas.
- *Duración nominal del cortocircuito (t_K):* intervalo de tiempo en el cual el interruptor es capaz de conducir la corriente de cortocircuito nominal de corta duración (I_K).

En caso de ser un seccionador combinado con cuchilla de PAT, estos tres valores deberán ser iguales para ambos, a no ser que se especifique otros valores por separado.

Transformadores de Corriente

Los de corriente están reglamentados por la norma IEC 60044-1 (Instrument transformers Part 1: Current transformers). Los parámetros que definen el comportamiento ante cortocircuitos son los siguientes:

- *Corriente térmica nominal de cortocircuito (I_{th}):* valor eficaz de la corriente en el bobinado primario que el transformador debe resistir durante 1 s, sin sufrir deterioro alguno, estando el bobinado secundario en cortocircuito.
- *Corriente dinámica nominal (I_{dyn}):* máximo valor instantáneo de la corriente en el bobinado primario que el transformador debe soportar sin sufrir daños mecánicos o eléctricos como consecuencia de las fuerzas electromecánicas, estando el bobinado secundario en cortocircuito.
- *Factor de seguridad (FS) (para núcleos de medición):* valor mínimo, en veces de la corriente primaria nominal, de la corriente primaria para la cual el error compuesto del transformador es igual o mayor al 10%. Este valor es determinante para la protección de los instrumentos de medición asociados a este núcleo, ya que un valor inadecuado puede resultar en corrientes de cortocircuito, reflejadas desde el lado primario, mayores a las esperadas en el lado secundario del TI.

- *Factor límite de exactitud (para núcleos de protección):* valor máximo, en veces la corriente primaria nominal, de la corriente primaria para la cual el transformador debe satisfacer los requisitos de error compuesto. Este factor es determinante en el comportamiento de las protecciones asociadas a este núcleo, ya que un valor inadecuado puede implicar, por ejemplo, en un disparo espurio de algunas protecciones.

Máximos Esfuerzos Dinámicos Admisibles en Pórticos, Morsetos y Bornes de Equipos

Las corrientes sobre conductores paralelos inducen fuerzas electromagnéticas entre los mismos, que son función del cuadrado de la corriente instantánea y de la separación entre ellos. Si estas corrientes son elevadas, los esfuerzos producidos sobre los conductores y los esfuerzos reflejados sobre los puntos de amarre pueden superar los esfuerzos admisibles por los mismos, produciéndose la rotura en la parte más débil del conjunto.

En los sistemas trifásicos los valores dimensionantes son las máximas corrientes asimétricas de cortocircuito. Las partes más afectadas son las conexiones entre equipos, donde los esfuerzos en los extremos no deberán superar a los admisibles en bornes de equipos y conector asociado, y en las conexiones tendidas entre pórticos (barras y antenas), donde estos esfuerzos dimensionarán los pórticos y la morsetería relacionada. La metodología de cálculo a emplear está reglamentada en la norma IEC 865 (Short-circuit currents – Calculation of effects).

A continuación se describe los principales parámetros que afectan al comportamiento electrodinámico de los conductores ante corrientes de cortocircuito.

Conductores Rígidos

Para una corriente de cortocircuito dada, los esfuerzos ejercidos sobre los conductores y soportes dependen de la separación entre conductores y del tipo y cantidad de soportes. Por otro lado, estos esfuerzos también dependen de la relación entre la frecuencia natural de oscilación del conjunto conductores-soportes y de la frecuencia de la corriente de cortocircuito, en particular, puede haber una amplificación de los esfuerzos en el caso de resonancia o de estar cercana la resonancia. La frecuencia natural de oscilación del conjunto depende del tipo de conductor y de la disposición geométrica del conjunto conductores-soportes, mientras que la frecuencia de la corriente de cortocircuito depende de la frecuencia del sistema, por lo tanto, los esfuerzos generados pueden ser controlados con la disposición geométrica adoptada.

Conductores Flexibles

En un conductor flexible las corrientes de cortocircuito originan en el mismo un esfuerzo de tracción que repercute en los aisladores, en la morsetería, en las estructuras soporte y en el equipamiento. Se distinguen tres tipos de esfuerzos, a saber:

- *Fuerza que se genera durante el cortocircuito (F_t):* debido a los esfuerzos de atracción y repulsión que generan las corrientes.
- *Fuerza que se genera después del cortocircuito (F_j):* debido a la inercia en el movimiento de las masas del conductor y las vinculadas al mismo hasta retornar a la posición de reposo

- *Fuerza de efecto pinch (F_{pi}) (para el caso de conductores conformados por un haz de subconductores):* debido a los esfuerzos generados entre los subconductores del haz de una misma fase.

El máximo de estos valores será el dimensionante. Estos esfuerzos dependen, al igual que el caso de conductores rígidos, de la disposición geometría del conjunto conductores-masas colagantes-amarres y, en especial, los esfuerzos debido al efecto pinch de la cantidad de espaciadores utilizados en el haz.

Máximas Tensiones de Seguridad Admisibles

La malla de PAT de una estación transformadora establece un potencial de referencia proporcionando un medio para disipar corrientes en el terreno, ya sea debido a descargas atmosféricas o corrientes homopolares. Entre otras funciones, esta debe asegurar que las personas situadas en el interior o en las proximidades de la ET no queden expuestas a tensiones peligrosas. Tales tensiones pueden aparecer entre dos puntos de la superficie del terreno o entre el terreno y masas conductoras que normalmente no están con tensión.

Los efectos de corrientes atravesando zonas vitales del organismo dependen de su magnitud, duración y frecuencia. En particular, los seres humanos somos muy vulnerables a corrientes de frecuencia industrial (50/60 Hz), mientras que a frecuencias elevadas (3-10 kHz) nuestro organismo es mucho más resistente. Para valores de corriente que pueden poner en riesgo la seguridad de las personas, su valor admisible está relacionado con la energía absorbida por el cuerpo (I^2t), según diversos estudios. Por lo tanto, es de interés las magnitudes y duración de las corrientes que pudieran circular por el cuerpo humano ante corrientes de fallas a tierra.

El dimensionamiento de las PAT está reglamentado por la norma IEEE 80 (Guide for Safety in AC Substation Grounding). Los valores máximos a determinar de las tensiones que ponen en riesgo la seguridad de las personas son:

- *Tensión de paso (E_s):* diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie del terreno separados 1 m.
- *Tensión de contacto (E_t):* diferencia de potencial entre la malla y un punto de la superficie del terreno (las masas puestas a tierra están a tensión de malla).

Los valores admisibles de estas tensiones dependen de la duración de la falla y de la aislación entre el terreno y la persona, a través de una capa de grava superficial (espesor y resistividad de la capa superficial) que se pone sobre el terreno terminado para disminuir el impacto de estas tensiones.

Los parámetros más influyentes en las máximas tensiones de paso y de contacto que pueden aparecer son:

- *Resistividad del terreno.*
- *Geometría de la malla de PAT.*
- *Máxima corriente eficaz derivada a tierra.*

En particular, dentro de la ET y en las proximidades hay puntos que son especialmente peligrosos donde las tensiones de paso y/o de contacto toman sus valores máximos.

Máximas Temperaturas de Corta Duración Admisibles en Conductores y Conectores Asociados

La circulación de corrientes produce sobre los conductores y conectores asociados una elevación de la temperatura en los mismos. Los altos valores de corriente producen valores de pérdidas por efecto Joule (calor interno generado) muy elevados en relación al calor disipado por los conductores y conectores, pudiéndose despreciar este último ante estas circunstancias. Por consiguiente, ante una corriente de cortocircuito el proceso de calentamiento puede considerarse generalmente como adiabático, resultando la temperatura final función de la corriente de cortocircuito eficaz y el tiempo que esta circula (I^2t).

Los máximos valores de temperatura, alcanzados después de un cortocircuito, en los conductores y conectores deben estar acotados, dado a que las características de los mismos puede ser alterada (pérdidas de resistencia mecánica, formación de óxidos entre contactos, etc.) de manera temporal o permanente.

Las partes afectadas por el calentamiento debido a las corrientes de cortocircuito dentro de una ET son:

- *Conductores de potencia y conectores asociados:* conexiones entre equipos, barras, antenas y conectores.
- *Conductores de PAT:* bajadas a la malla de PAT, malla de PAT y conectores.

Estos deberán estar diseñados para soportar, sin sobrepasar las temperaturas máximas admisibles, las máximas corrientes de cortocircuito esperadas durante el tiempo que estas perduren.

CONCLUSIONES

Dentro de una estación transformadora diferentes parámetros acotan los valores máximos de las corrientes de cortocircuito, debido a que si se superan estos valores máximos se producirán daños y/o destrucción en algunas partes de la instalación o una respuesta inadecuada. Por otro lado, la ET también se ve afectada por corrientes de cortocircuito de diferente naturaleza, cuya incidencia es diferente en cada punto crítico de la instalación y equipamiento, y por el tiempo que estas perduran.

En resumen, para el diseño de una ET, en lo que respecta a la capacidad de soportar cortocircuitos, se deberán especificar corrientes de cortocircuito de diferente naturaleza y el tiempo que perduran cada una de estas, para poder dimensionar cada una de las partes involucradas.

Dependiendo de las hipótesis adoptadas para el diseño de una estación transformadora, resultará la máxima corriente de cortocircuito que admite una estación transformadora.

Consecuentemente, la complejidad de un proyecto que busque elevar la potencia de cortocircuito de una estación transformadora estará dada por las modificaciones necesarias que haya que hacer para aquellos componentes que no tengan la capacidad de cortocircuito requerida.