

# Anexo B - Corriente asimétrica

Se denomina corriente asimétrica a aquella que inicialmente no es simétrica respecto al eje de cero. Partiendo de un circuito desenergizado, los picos de corriente iniciales pueden ser sustancialmente superiores a los valores pico de corriente eficaz previsible en régimen permanente. La desviación de esta corriente disminuye hasta alcanzarse una corriente simétrica al cabo de unos pocos ciclos. El aumento de la desviación de estos picos puede dar lugar a la rotura mecánica de las grapas de los conjuntos de puesta a tierra, puesto que la fuerza mecánica aumenta en función del cuadrado de la corriente. Es decir, si el pico de corriente se duplica, la fuerza mecánica será momentáneamente cuatro veces mayor. Un problema adicional es el aumento del calentamiento debido a la desviación acumulada de la corriente que circula. Esto reduce aun más el tiempo de fusión del cable de conexión. En ediciones anteriores de la norma ASTM F855 la asimetría máxima especificada era del 20%, determinada en un valor máximo de  $X_L/R$  de 1,8, y la no superación se basaba en la fusión del cable de interconexión. Actualmente se consideran valores de asimetría del 30% al 40% con valores igualmente altos de la ratio  $X_L/R$ . Si se conectara un registrador de corriente a una línea con una asimetría elevada, la forma de onda registrada sería tal y como se muestra en la Figura 11-15. Es durante esta reducción de la asimetría cuando puede producirse una rotura mecánica.

El fenómeno de las corrientes asimétricas se conoce desde hace muchos años. Anteriormente, los niveles de intensidad de corriente en muchas subestaciones eran lo suficientemente bajos para que no se produjeran roturas mecánicas. A medida que aumentó la demanda de electricidad, se fueron ampliando las subestaciones y empezaron a surgir los problemas de asimetría.

La asimetría es provocada por la relación entre la reactancia inductiva de un circuito ( $X_L$ ) y su resistencia ( $R$ ). El problema de la asimetría es especialmente preocupante en las subestaciones, ya que es ahí donde las corrientes alcanzan los valores más elevados y se produce la mayor ratio entre  $X_L$  y  $R$ . La reactancia inductiva  $X_L$  es una de las principales propiedades de los devanados. Las subestaciones sirven de emplazamiento para grandes transformadores, TIs, TPs, reactores de

neutro, etc. todos los cuales tienen devanados que contribuyen a la  $X_L$ . A medida que aumenta la distancia de la línea respecto a la subestación, disminuye el valor de  $X_L$  en relación con la resistencia y por tanto se reduce el problema de asimetría.

La ecuación matemática para la asimetría es la siguiente:

$$I = |V_m/Z| (\text{seno}(\omega t + \theta - \alpha) - e^{-(Rt/L)} \text{seno}(\alpha - \theta)) \\ = |I| (\text{seno}(\omega t + \theta - \alpha) - e^{-(\omega R t/X)} \text{seno}(\alpha - \theta))$$

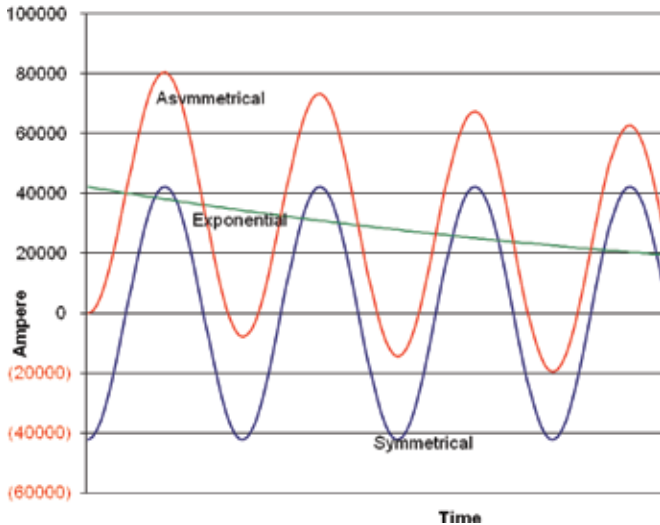
donde:

- $|V_m|$  = tensión de pico máxima previsible, V
- $|Z|$  = impedancia del circuito,  $\Omega$
- $|I|$  = corriente de pico máxima previsible, A
- $R$  = resistencia del circuito,  $\Omega$
- $t$  = tiempo desde la iniciación de la corriente,
- $\omega$  =  $2\pi f$  (radianes/s)
- $f$  = frecuencia, Hz
- $\alpha$  = ángulo de voltaje al iniciarse la corriente, radianes
- $\theta$  = ángulo de fase del circuito, radianes
- $L$  = inductancia del circuito,  $X/\omega$ ,  $\Omega$
- $X$  = reactancia inductiva,  $X_L$

La ecuación se divide en dos componentes. La función de seno calcula el valor eficaz de corriente simétrica del circuito. La función exponencial calcula la curva de desviación en c.c. La curva asimétrica está formada por la combinación de los valores de seno y exponencial. Véase también que en función del valor de  $X_L/R$  y el ángulo de cierre ( $\theta$ ) la onda resultante varía. Para obtener el valor máximo de pico en el primer ciclo, la combinación del tiempo ( $t$ ) y el ángulo de cierre ( $\theta$ ) deberá ser igual a (0). Como puede verse, la onda asimétrica es simétrica respecto al componente de c.c. declinante.

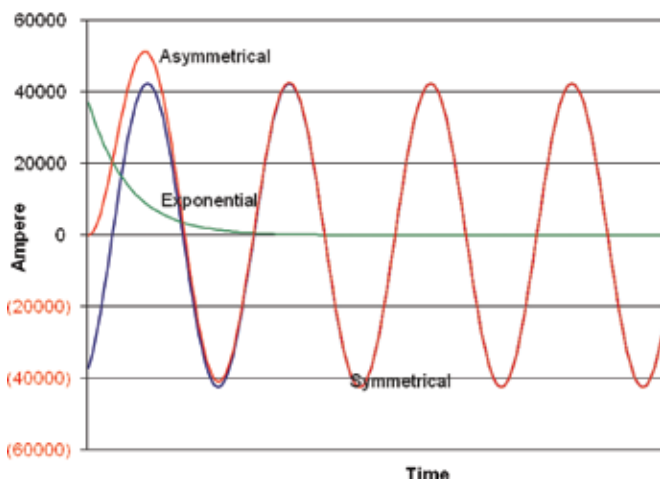
continúa en la próxima página.

La figura B-1 muestra un ejemplo de forma de onda de elevada asimetría. Tarda aproximadamente 15 ciclos en volver a una corriente casi simétrica. En caso de producirse una rotura mecánica, esta probablemente tenga lugar entre el primer y el quinto ciclo.



**Corriente asimétrica (30 kA, X/R=30)**  
**Figura B-1**

Si la ratio entre  $X_L$  y  $R$  es pequeña, la asimetría se reduce hasta alcanzar una forma normal de onda de valor eficaz al cabo de unos pocos ciclos. Si la ratio es elevada, puede tardar hasta 20 ó 30 ciclos en convertirse en una corriente simétrica. En la figura B-2 se ilustra el valor reducido de asimetría máxima permisible en el pasado. Véase como la forma de onda vuelve a la simetría en aproximadamente 1 ciclo.



**Corriente asimétrica (30 kA, X/R=1,8)**  
**Figura B-2**

Las compañías eléctricas deberán evaluar sus instalaciones y dotarlas de juegos de puesta a tierra de protección ensayados bajo esas condiciones y con el régimen nominal correspondiente a las mismas, si se considera necesario. La actual norma ASTM F855 tiene en cuenta este aspecto y especifica procedimientos de ensayo y valores requeridos. Algunas subestaciones siguen teniendo niveles de corriente lo suficientemente bajos para que las roturas mecánicas posiblemente no supongan un problema. No obstante, esto no resulta fácil de determinar in situ, por lo que deberá tenerse en cuenta antes de entrar en una instalación para realizar trabajos de mantenimiento.