

## AGN 016 – Corrientes de Secuencia de Fase Negativa

### **DEFINICION**

#### **Secuencia de Fase Positiva.**

Si un alternador está suministrando energía a una carga lineal balanceada, esto se describe como que tiene una secuencia de fase positiva y se considera una condición normal.

#### **Secuencia de Fase Negativa.**

Si un alternador está sujeto a una situación de carga desequilibrada, conectado a cargas no lineales o una condición de falla asimétrica, el estado resultante se describe como si tuviera un componente de secuencia de fase negativa. En estas condiciones, existirá una corriente de secuencia de fase negativa [simbolizada como  $I_2$ ].

### **NIVEL ACEPTABLE DE CORRIENTE DE SECUENCIA DE FASE NEGATIVA**

Los alternadores fabricados por Cummins Generator Technologies están diseñados para cumplir con los estándares de rendimiento de IEC 60034-1. Existe una larga referencia a la capacidad de un alternador para hacer frente a cargas desequilibradas y, por lo tanto, la capacidad de hacer frente a una condición de secuencia de fase negativa, con la estipulación de que la expectativa mínima para el alternador es que pueda hacer frente, al menos, a una condición continua de 8 % de corriente de secuencia de fase negativa [ $I_2$ ]. La relación en p.u. de la corriente de secuencia de fase negativa a la clasificación base continua de un alternador [corriente a plena carga de un alternador de bajo voltaje con clasificación de incremento de temperatura clase H] no debe exceder continuamente 0.08 p.u. [8%]. Las consecuencias de exceder el 8% de corriente de secuencia de fase negativa pueden ser catastróficas.

**Consecuencias de una Corriente de Secuencia de Fase Negativa excesiva.**

Las condiciones de Secuencia de Fase Negativa pueden ocurrir bajo niveles de corriente del devanado del estator dentro de la capacidad diseñada del devanado del estator y, por lo tanto, dentro del nivel de disparo del interruptor automático de salida.

Durante condiciones de componentes de secuencia de fase negativa continua excesivamente alta, la jaula del amortiguador del rotor del alternador estará sujeta a altos niveles de corriente continua y, por lo tanto, se calentará más allá de su capacidad diseñada. Si esta condición continúa, es probable que haya un calor excesivo en la jaula del amortiguador, lo que a su vez calentará el acero laminado del rotor y quemará el "papel" de aislamiento de la ranura del devanado del lado de la laminación de acero del devanado.

En condiciones extremas, la jaula del amortiguador se calentará lo suficiente como para derretir las barras del amortiguador y este material fundido se arrojará al devanado del estator, lo que provocará daños catastróficos en el alternador.

Las cargas desequilibradas o cargas no lineales en la salida trifásica de un alternador también pueden causar problemas operativos a otras cargas conectadas. Una carga desequilibrada en las tres fases dará como resultado que se suministre un voltaje trifásico desequilibrado a otras cargas trifásicas, con el resultado de que estas cargas sufrirán un grado de degradación de los componentes, lo que eventualmente puede resultar en una falla prematura.

## **CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL ALTERNADOR**

Cummins Generator Technologies ha considerado la capacidad de condición de secuencia de fase negativa en el diseño de cada alternador, de modo que la jaula del amortiguador puede tolerar hasta el doble del 8% requerido, digamos 15%. El rotor se calentará pero no debería estar sujeto a fallas prematuras. Sin embargo, a los efectos de establecer la protección de secuencia de fase negativa; el equipo debe ajustarse al valor de "libro de texto" del 8% para garantizar un funcionamiento fiable y seguro.

## **CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SECUENCIA DE FASE NEGATIVA**

### **Método simple para calcular la corriente de secuencia de fase negativa.**

Esta simple ecuación identifica efectivamente el nivel  $I_2\%$  para una situación de carga real contra la capacidad  $I_2$  diseñada del alternador.

Considere un alternador con una clasificación continua de incremento de temperatura Clase 'H' a 100 A por fase, pero que en realidad se ha instalado y especificado para operar a 90 A por fase. Debido a la variación en los tipos de carga, existe una condición de carga desequilibrada, donde el alternador está, de hecho, operando a:

$$U = 70A, \quad V = 50A, \quad W = 45A.$$

### **Método.**

Para identificar  $I_2\%$ :

1. Calcule el valor de la corriente de fase más baja como % de la corriente nominal del alternador y luego la corriente de fase más alta como % de la corriente nominal.
2. Reste el valor de % de la corriente de fase más baja del % calculado para la corriente de fase más alta.
3. Divida el % de la diferencia entre 3.

#### **Cálculo de ejemplo:**

1. El % de corriente de fase más alto =  $\{[70A/100A] \times 100\} = 70$  y el % de corriente de fase más bajo =  $\{[45A/100A] \times 100\} = 45$ .
2.  $70\% - 45\% = 25\%$ . El alternador está suministrando una salida con un desequilibrio del 25% de su corriente nominal de Clase 'H'.
3. Para establecer el nivel de componente de corriente de Secuencia de Fase Negativa asociado con esta condición de carga desequilibrada: Divida este 25% por 3. La Condición de Secuencia de Fase Negativa es, por lo tanto, aproximadamente 8%.

Para obtener más orientación sobre las condiciones de carga desequilibrada, consulte el **AGN017 Cargas desequilibradas**.

#### **Método de diseño del Sistema de Potencia para calcular la Corriente de Secuencia de Fase Negativa.**

El simple ejemplo anterior ha dado como resultado una respuesta mucho más cercana a la respuesta real de lo que normalmente sería el caso. El ejemplo anterior utiliza un método de aproximación y no debe tomarse como la respuesta absoluta con respecto al diseño del sistema.

Los estándares, por supuesto, establecen correctamente que el efecto de calentamiento de cualquier condición de secuencia de fase negativa es un producto de la cantidad de  $I_2$  y la duración del evento  $I_2$ . Los estándares también tienen en cuenta que el efecto de calentamiento es el producto del cuadrado de la corriente [ $I_2$ ], que se escribe en los estándares como;

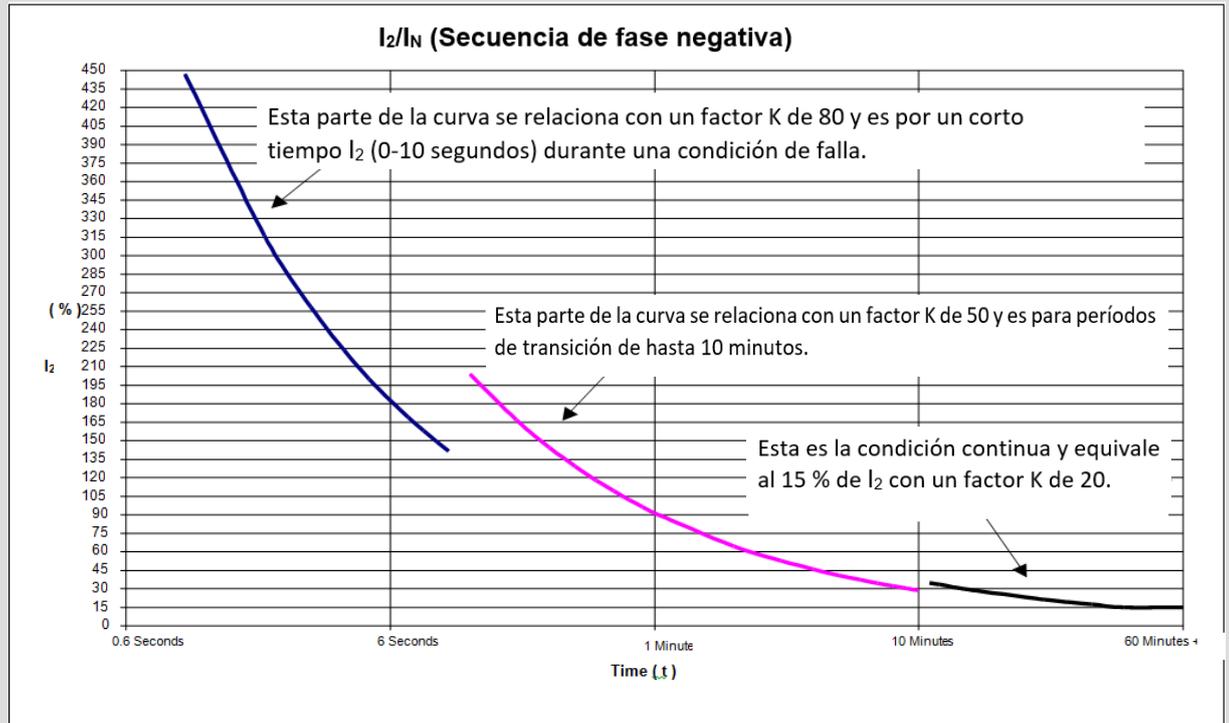
$[I_2 \text{ dividido por la corriente rms nominal del alternador}]^2$ , veces el período de tiempo del evento  $I_2$  en segundos.

Los estándares establecen además que la respuesta a esta suma es igual a una constante, generalmente llamada K, que establecen en 20.

Debe ser aceptado; es importante poder configurar el equipo de protección para tener en cuenta el hecho de que; después de un evento por encima del nivel del 8%, debe haber tiempo suficiente para que la jaula del amortiguador se enfríe antes de que ocurra la siguiente secuencia de fase negativa. Si el próximo evento ocurre casi inmediatamente, entonces esto

se sumará al calor ya presente, y aunque no sobre pase el límite de corriente de secuencia de fase negativa, llevará las cosas por encima de la temperatura.

Por esta razón, debemos introducir una característica de curva de enfriamiento. Aquí, las curvas de enfriamiento suelen seguir una característica exponencial donde se usa el factor 0.632, con un tiempo típico 't' para una jaula del amortiguador: digamos 30 segundos.



### Secuencia de Fase Negativa

***A continuación se presenta una breve discusión sobre lo que dicen las normas y dónde nos encontramos hoy en día con los ratings de los alternadores.***

A menudo nos desafían los "buenos viejos tiempos de corriente asimétrica del 30%" y por qué no seguimos diciendo esto en nuestra literatura. Bueno, en realidad esto se alinea razonablemente bien con los valores establecidos en el estándar [IEC 60034 -1], que establece que para un tipo de generador de CA síncrono, enfriado indirectamente, debe hacer frente a un componente de secuencia de fase negativa del 8% de la corriente.

En los "buenos viejos tiempos", la maquinaria no se operaba demasiado cerca de su límite diseñado; a menudo, las clasificaciones de incremento de temperatura Clase F eran la norma. Esto resultó en una familia de alternadores que tenían una capacidad de Corriente de Secuencia de Fase Negativa en línea con las expectativas del día y esto era para una capacidad  $I_2$  del 30%, lo que significaría un desbalance de corriente de fase del 90%.

Hoy tenemos el mismo diseño de rotor y, por lo tanto, la construcción de la jaula del amortiguador, pero ahora hemos perfeccionado el diseño general del alternador para brindar una mayor salida de kVA de un paquete de material activo determinado. La capacidad de corriente de secuencia de fase negativa; sin embargo, permanece en el nivel diseñado

originalmente de  $I_2$  amperios, que en relación con el aumento de la corriente de salida del alternador ahora es un  $I_2\%$  más bajo. Supongo que se podría decir que las personas que redactan los Estándares conocen el problema y, por lo tanto, redujeron el nivel de  $I_2\%$ .