

Parte IV: Tensión y equilibrio de fases



Los desequilibrios de tensión no son un problema de calidad de la energía en el sentido de la calidad de la forma de onda senoidal en el suministro eléctrico, ni tampoco son eventos que ocurren en el suministro como los armónicos y transitorios, pero es un tema de importancia crítica por varias razones. En la cuarta parte de esta serie sobre problemas de calidad de la energía explicamos qué es y qué implicaciones tienen estos desequilibrios en el suministro eléctrico de una instalación.

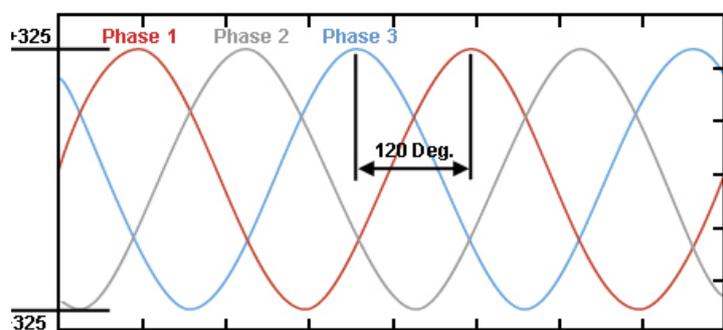
En un sistema de alimentación de CA trifásico equilibrado, los voltajes son todos iguales en magnitud y cada una de las 3 fases está separada por 120 grados.

En cambio, un sistema de alimentación de CA trifásico desequilibrado tiene voltajes que no son todos iguales en magnitud y/o cada una de las 3 fases no tiene estos 120 grados de separación.

Estos desequilibrios pueden ser causados por grandes cargas monofásicas, como hornos de inducción, sistemas de tracción y otras máquinas inductivas grandes, que consumen una corriente en la fase a la que están conectados que no aparece en las otras dos fases. Algunos equipos también pueden estar conectados entre dos fases, de modo que la corriente solo se extraiga en dos de ellas y produzca el desequilibrio en la fase que no esté en uso. De cualquier manera, esto hace que las fases con mayor carga experimenten una mayor caída de tensión, lo que reduce el voltaje en esas fases (o en una fase en particular) para todos los demás equipos conectados al mismo suministro.

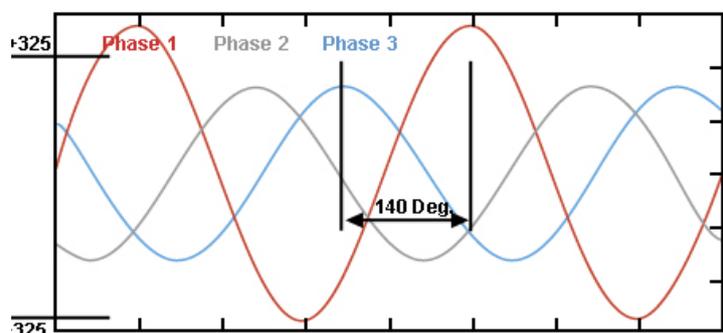
La distribución desigual de las cargas monofásicas generales en un sistema trifásico también puede ser

lo suficientemente mala como para causar un ligero desequilibrio de tensión. La mayoría de las veces esto ocurre con el tiempo porque una instalación originalmente equilibrada experimenta cambios en circuitos y equipos agregados no contemplados en la construcción original. La degradación desigual o la falla de una o más unidades de condensadores PFC en un banco también puede causar un desequilibrio de tensión, y los desequilibrios temporales de tensión pueden ser producidos por una falla en cualquiera de las fases, ya sea dentro de la instalación o en la red de suministro.



Fases balanceadas

Podría decirse que tener voltajes de fase equilibrados es uno de los requisitos más importantes para una instalación industrial, particularmente si hace uso de motores trifásicos y, de manera crucial, si están operando a su capacidad de carga completa o cerca de ella. Los voltajes desequilibrados en los terminales del motor pueden causar un desequilibrio de corriente de fase de hasta 10 veces el porcentaje de desequilibrio para un motor completamente cargado. En consecuencia, los motores que funcionan con suministros desequilibrados deben reducir su carga significativamente aunque el desequilibrio sea relativamente menor. Los desequilibrios también pueden requerir la reducción de potencia necesaria de los cables de alimentación debido al aumento de las pérdidas I²R en el cable.



Fases desbalanceadas

Según IEC, el desequilibrio de tensión se define como la relación entre la tensión de secuencia negativa y la tensión de secuencia positiva. Explicado brevemente, los voltajes trifásicos se pueden expresar matemáticamente como una suma de componentes de secuencia positiva, negativa y cero. El voltaje de secuencia positiva crea flujo en la dirección en la que el motor debe girar, y los voltajes de secuencia negativa giran en la dirección opuesta. Dado que los voltajes de secuencia positiva siempre son mucho más grandes que los voltajes de secuencia negativa, la dirección de rotación del motor no se ve afectada.

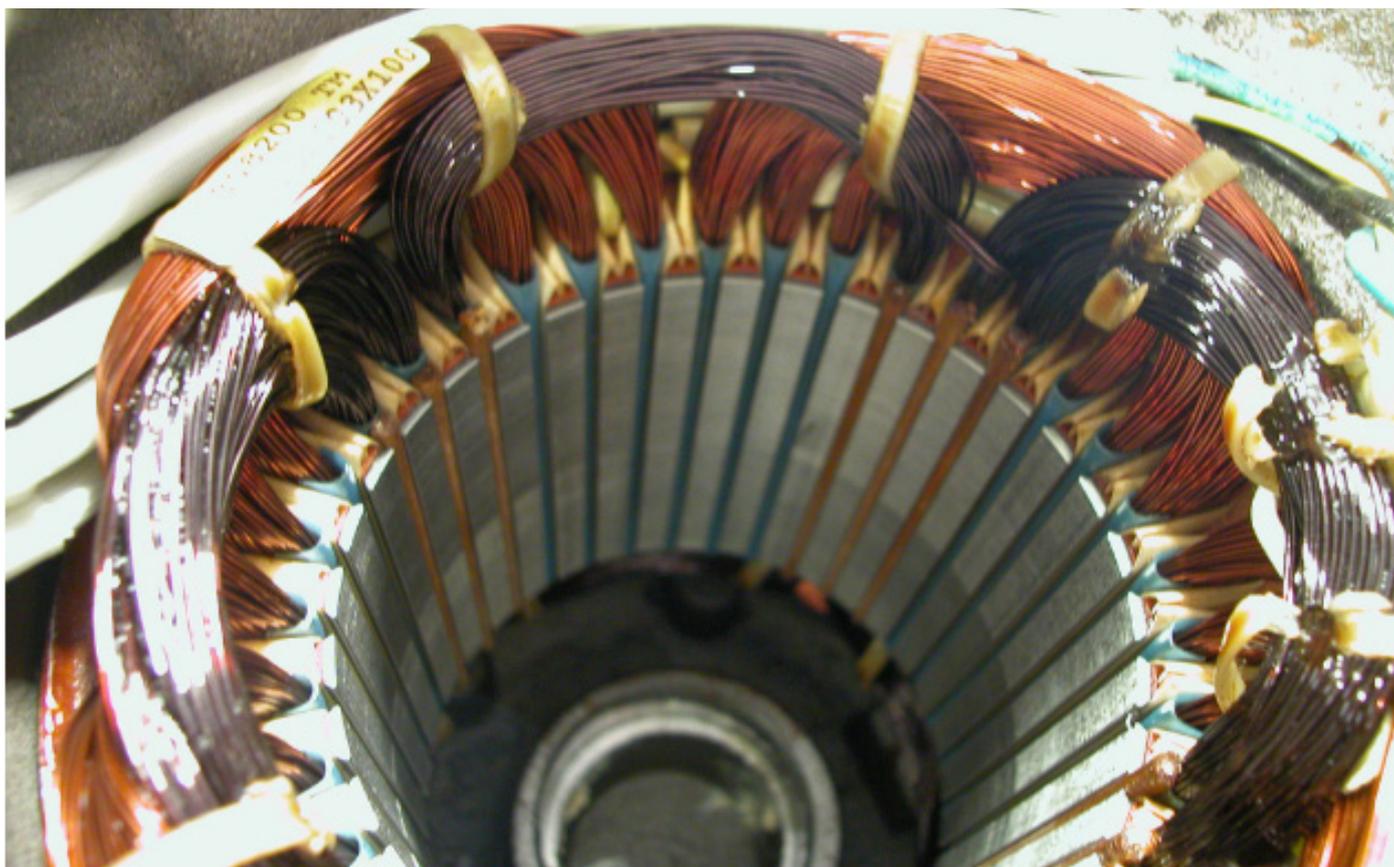


La IEC 60034-1 impone un límite de voltaje de secuencia de fase negativa del 1% en el suministro que alimenta a las máquinas. Sin embargo, la EN 50160 establece que se pueden esperar desequilibrios de hasta el 3% e indica que un sistema de suministro estándar aceptable prevé que “en condiciones normales de operación, durante cada período de una semana, el 95 % de los valores rms medios de 10 minutos del componente de secuencia de fase negativa de la tensión de alimentación debe estar dentro del rango de 0 al 2% del componente de secuencia de fase positiva”.

| Voltage Imbalance | Required Motor Derating |
|-------------------|-------------------------|
| 1% | 98% |
| 2% | 95% |
| 3% | 88% |
| 4% | 82% |
| 5% | 75% |

Motor derating requirements due to voltage imbalance

El flujo de secuencia negativa de rotación contraria causado por los voltajes de secuencia negativa crea un calentamiento adicional en los devanados del motor que eventualmente puede provocar la ruptura del aislamiento y la falla prematura del motor. Un funcionamiento continuo a 10°C por encima de la



temperatura de funcionamiento normal recomendada puede reducir a la mitad la vida útil de la máquina rotativa. Sobre decir que la reducción de la vida útil de funcionamiento del motor es obviamente perjudicial y costosa. El impacto de este problema es evidente por la existencia de muchas empresas que desarrollan y fabrican dispositivos que monitorizan el equilibrio de voltaje para proteger los motores.

Además de los propios motores, muchos controladores e inversores de motores de estado sólido también incluyen componentes que son especialmente sensibles a los desequilibrios de tensión. Dependiendo del producto, algunos de estos se protegerán a sí mismos y al motor en caso de desequilibrio de voltaje y se negarán a operar. Para dispositivos menos sofisticados, la reducción de la vida útil de los diodos frontales y los condensadores de bus de un variador de frecuencia (VFD) son una consecuencia común del desequilibrio de tensión.

Los suministros eléctricos proporcionados mediante UPS, convertidores polifásicos e inversores también funcionan con una eficiencia reducida frente a los desequilibrios de voltaje en el suministro, creando una ondulación no deseada en su lado de CC y, en muchos casos, también creando corrientes armónicas aumentadas en el suministro.

Afortunadamente, la medición del equilibrio de tensión y carga (corriente), y por lo tanto la

identificación del desequilibrio, se logra fácilmente usando un registrador de potencia y energía (PEL). Conectado en el suministro de entrada, este equipo puede monitorizar la carga en las fases de toda la instalación a lo largo del tiempo y medir cómo podría variar durante el día o una semana de funcionamiento normal. Los PEL se pueden mover rápidamente por la instalación, conectarse de manera no intrusiva y utilizarse para medir equipos individuales o cargas y voltajes de circuitos para equilibrar toda la instalación, y luego volver a conectarse al suministro entrante para un monitorizado continuo. Además del equilibrio de tensiones y cargas, le permitirá medir y monitorizar otros parámetros de calidad de energía, incluidos el factor de potencia y los armónicos.

Hay dos precauciones o acciones que debe tomar para reducir el desequilibrio de voltaje y sus efectos. En primer lugar, use circuitos separados para cargas monofásicas grandes y conéctelos lo más cerca posible del punto de suministro entrante. Esto asegurará que la carga no provoque una caída de tensión en ningún cableado utilizado por otros equipos que luego estarían sujetos a esa caída de voltaje. En segundo lugar, asegúrese de que todas las cargas monofásicas, grandes y pequeñas, estén equilibradas uniformemente en las tres fases. Dos simples pasos que podrían ahorrar muchos dolores de cabeza y gastos.