

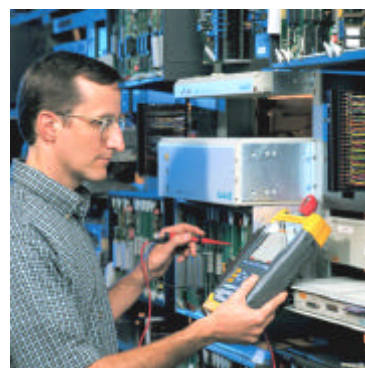
Medidas en variadores de velocidad

Nota de aplicación

Los técnicos de mantenimiento con experiencia están bien preparados para afrontar muchos de los fallos que se producen en los motores trifásicos tradicionales, sin embargo, los modernos motores con control electrónico, llamados habitualmente variadores de velocidad, plantean un especial conjunto de problemas que no siempre son bien conocidos por dichos técnicos.

Esta nota de aplicación irán abordando las averías más frecuentes, el cómo localizarlas y con equipos o herramientas de medida hacer las pruebas necesarias para diagnosticar los componentes defectuosos y otras condiciones que pueden concluir en un fallo prematuro del motor regulado con variadores de velocidad.

Son muchas las posibles formas para intentar localizar averías en un circuito eléctrico y no cabe duda que, con cualquiera de ellas, un buen profesional acabará encontrando, finalmente, la causa del problema. En todo caso es aconsejable empezar por el examen del motor e ir luego retrocediendo hasta llegar a la fuente de alimentación eléctrica. No se olvide que se puede desperdiciar una gran cantidad de tiempo y dinero cambiando piezas en perfecto estado cuando, quizás, lo único defectuoso sea una mala conexión.



Las medidas han de ser precisas

Obviamente, nadie hace intencionadamente medidas inexactas; sin embargo, hacer una medida imprecisa es mucho más fácil de lo que pueda creerse, especialmente cuando se trabaja en ambientes ruidosos y de alta energía, como acostumbra a ser el caso de los talleres y plantas donde operan los variadores de velocidad.

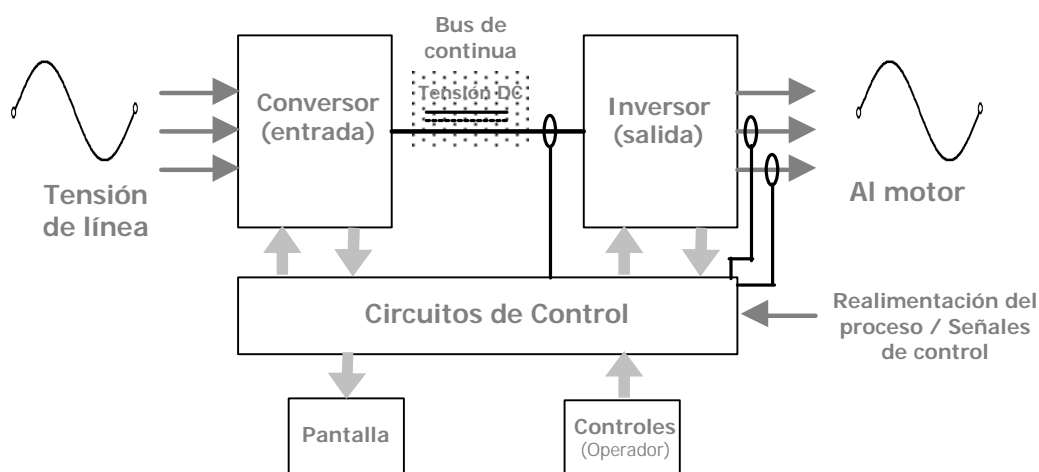
Algunos consejos al respecto:

- Si puede evitarse, conviene no utilizar instrumentos de medida conectados a tierra, ya que pueden introducir ruido en una medida en la que antes no existía ningún ruido. Siempre que sea posible hay que evitar también tocar instrumentos y sondas cuando se hace una lectura, ya que el ruido eléctrico se puede acoplar a través de las manos y esto puede afectar también a la lectura. Es necesario utilizar pinzas amperimétricas que estén bien apantalladas y terminadas en conectores BNC.
- Las pinzas amperimétricas con salidas de 10mV/A ó 100mV/A tienen una relación señal/ruido mejor que las pinzas con salida de 1 mV/A, cuando se miden corrientes inferiores a 20A.
- Por otra parte, es muy importante documentar las medidas eléctricas en puntos de prueba clave del circuito cuando el sistema esté funcionando correctamente. Si no se dispone de un buen plano, merece la pena preparar uno. Basta un sencillo diagrama de bloques y anotar las medidas de tensión y temperatura en los puntos de prueba clave. Esto puede llegar a ahorrar mucho tiempo y preocupaciones posteriores.
- Finalmente, y no por ello menos importante, antes de hacer ninguna medida eléctrica hay que asegurarse de que se conoce perfectamente la forma de hacerla con seguridad. Ningún instrumento de medida es seguro del todo si se utiliza incorrectamente, pero también es cierto que muchos de los instrumentos existentes en el mercado no son adecuados para hacer medidas en variadores de velocidad.

Hablemos de los variadores de velocidad

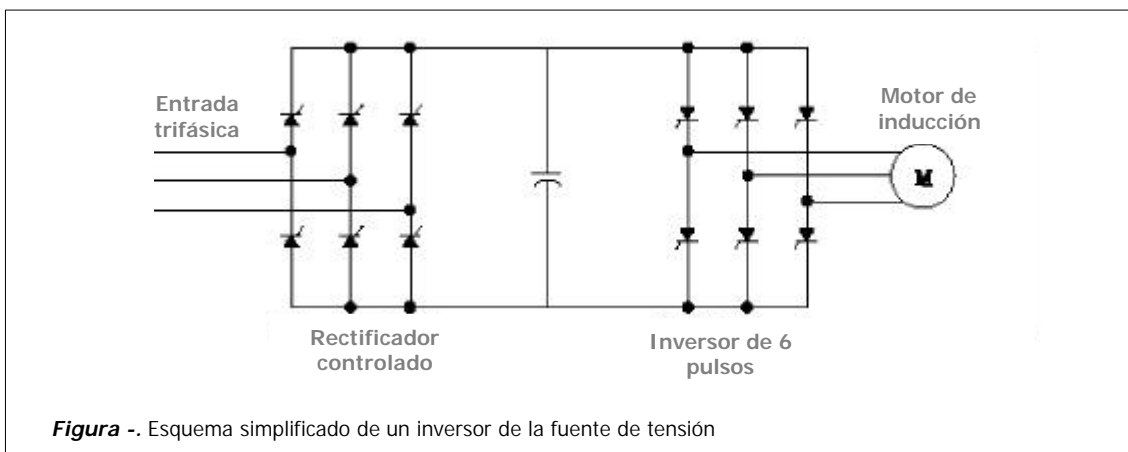
Los variadores de velocidad, también llamados convertidores de frecuencia, son dispositivos utilizados para regular los procesos industriales. Se trata de equipos utilizados, hoy en día, en múltiples aplicaciones, existiendo un buen número de fabricantes y suministradores de los mismos. Sin embargo, existe aún cierto desconocimiento sobre cómo localizar las averías relacionadas con los variadores de velocidad, incluyendo los motores, qué tipos de herramientas de medida hay que utilizar y cómo realizar las medidas, empezando por las más sencillas hasta llegar a aquéllas que requiere herramientas de visualización de la forma de onda, todo ello encaminado a reducir el tiempo de localización de la avería y, por tanto, el tiempo de paro de la máquina.

Correlacionados con los variadores de velocidad (ASD) se encuentran una amplia variedad de motores controlados mecánica, neumática y electrónicamente, de velocidad variable. Para los motores de inducción de CA controlados electrónicamente se suele utilizar otro término: el de accionamiento de frecuencia variable, ya que, en este caso, se varía la frecuencia de la tensión aplicada al motor para cambiar su velocidad. En la figura se muestra el diagrama de bloques de un variador de velocidad.

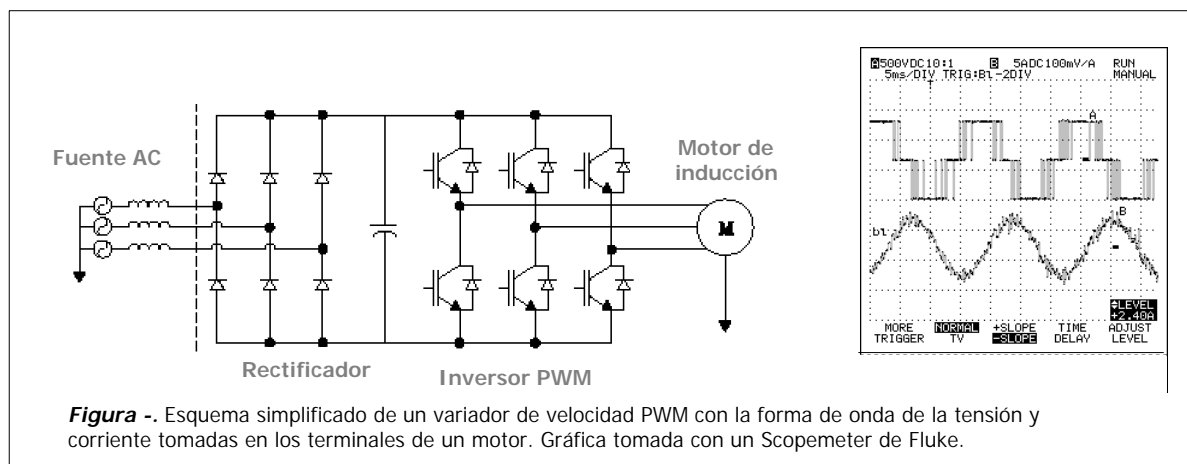


El **convertidor de entrada** transforma corriente alterna sinusoidal en CC, necesaria para los transistores de potencia, controlados electrónicamente, del inversor de salida.

El **enlace de continua** es la fuente de potencia del inversor de salida. Los variadores de velocidad de gran potencia tienen un gran banco de condensadores para almacenar carga eléctrica procedente de la entrada sinusoidal.



El inversor de salida proporciona una tensión y una frecuencia variables en CA. La tensión y la frecuencia (V/Hz) se varían a la vez para obtener un par constante de velocidad variable, o se varían en distinta proporción para obtener un par variable a distintas velocidades.



Los **circuitos de control** temporizan la conmutación de los circuitos de E/S y transportan comandos desde el panel de control del operador. También monitorizan la aparición de fallos de funcionamiento y la existencia de condiciones de funcionamiento incorrectas, informando al operador ó en su caso al técnico. Si es necesario, los circuitos de control paran el variador de velocidad para proteger el motor o el inversor de salida.

Medidas iniciales, las cosas sencillas, lo primero

En primer lugar, hay que asegurarse de que todas las conexiones están bien hechas. Parece algo demasiado evidente, ¿verdad?, sin embargo, los técnicos de mantenimiento en planta que se dedican a la localización y reparación de averías tendrán que admitir honradamente que han pasado por alto esta posibilidad al menos una vez durante su carrera, ¿no es así?. Este paso debe darse antes que ningún otro. Con frecuencia, es necesario apretar periódicamente las conexiones para mantener una baja resistencia de contacto entre conductores. Inspeccionar visualmente todos los puntos de conexión para ver si están flojos, corroídos o con vías de conducción a tierra. Incluso si los resultados de la inspección visual son satisfactorios, al menos deberá utilizarse uno de los tres métodos siguientes, o una combinación de ellos, para comprobar las conexiones: medidas de resistencia, caídas de tensión y medida de temperatura.



La medida de la resistencia es, probablemente, el método menos aconsejable de los tres, pero permite detectar circuitos totalmente abiertos ó vías "de fuga" a tierra que presenten una resistencia. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayoría de los ohmímetros utilizan corrientes muy pequeñas en sus medidas y que pueden dar una conexión por buena cuando, de hecho, la conexión puede estar en circuito abierto siempre que tiene que pasar una gran corriente a través de la misma. Estos es lo que se conoce con el nombre de **resistencia de contacto**.

Otra alternativa es la de comprobar las caídas de tensión a través de las diversas conexiones y compararlas con las de las otras dos fases. Cualquier variación importante entre fases ó superior al 2% o 3% (dependiendo de la corriente del motor y de la tensión de alimentación) en cada conexión debe ser considerada como mínimo de sospechosa.

Finalmente, una sencilla sonda de temperatura por infrarrojos, utilizada con un multímetro digital de mano, es una forma rápida y fácil de comprobar la existencia de conexiones defectuosas. Cualquier aumento significativo de la temperatura del terminal de la conexión debido a pérdidas de calor I^2R , indicará una conexión defectuosa o una resistencia de contacto mayor de lo permisible. Si la temperatura del terminal no se había registrado en el esquema con anterioridad, ha de compararse con la de las otras dos fases.



La salida de 1 mV de la sonda 80T-IR puede ser utilizada por cualquier multímetro digital capaz de leer mV. Los instrumentos Fluke Scopemeter pueden hacer directamente las lecturas en grados centígrados.

Medida en los motores: temperatura y sobrecargas

La temperatura es un indicador clave de que un motor está fallando o que sufre una sobrecarga. Puede utilizarse una sonda de temperatura por infrarrojos (por ejemplo, la 80T-IR de Fluke) para medir temperaturas en los puntos clave de los motores, incluidos los cojinetes y las conexiones de las regletas de terminales (si existiesen), así como la propia carcasa del motor. ¿Son las lecturas próximas a las obtenidas cuando el motor estaba funcionando normalmente? Si estas temperaturas no se habían medido con anterioridad, ¿está la temperatura de funcionamiento del motor dentro de los límites indicados por la clasificación NEMA para ese motor? Si las respuestas a estas preguntas son afirmativas, quizá pueda ya pasarse a estudiar el controlador del variador de velocidad o, para mayor seguridad, pueden hacerse algunas otras medidas, tales como la medida de posibles sobrecargas.

Si el motor está intentado proporcionar una potencia o un par superiores a los nominales, se producirá una situación de sobrecarga, es decir, el motor absorberá una corriente que será superior a la nominal indicada en su placa de características. Por tanto, se puede medir la corriente absorbida por el motor y compararla con la indicada en la placa de características. Es importante no olvidar que hay que multiplicar la corriente nominal por el factor de servicio (SF), siempre que esté en la placa.

Si el motor está por encima de su capacidad nominal y hace que dispare intermitentemente la protección contra sobrecargas del variador, la solución no está en ajustar el dispositivo de protección contra sobrecargas a un valor superior para evitar su disparo. Conviene averiguar si las características nominales del motor son adecuadas para la aplicación. En ocasiones se utiliza un motor más barato y de menor potencia que el necesario o bien un error de cálculo de la carga requerida es la causa de que el motor no sea el adecuado. También es posible que la carga mecánica accionada por el motor haya sido aumentada por el operador o supervisor del proceso, que no se da cuenta de que va aplicar una sobrecarga al motor.

¿Cuál es el próximo paso?

Si los requisitos de la carga mecánica y el comportamiento parecen normales, es posible que exista algún cortocircuito en el bobinado del motor y que ésta sea la causa del aumento de la corriente y del calor y de la disminución del par. Lo que se debe comprobar entonces es el desequilibrio de corrientes, el funcionamiento con una sola fase, el desequilibrio de corrientes, el funcionamiento con una sola fase, el desequilibrio de tensiones y algo que es

característico de los variadores de velocidad PWM: las sobretensiones causadas por ondas de tensión reflejadas. Las tensiones altas en el eje del motor (problema asociado también con los variadores de velocidad del tipo PWM) pueden explicar temperaturas excesivas en los cojinetes y el fallo prematuro de éstos. La forma de probar estas condiciones se explica más adelante.

Medidas de tensión

Puesto que la tensión aplicada a los terminales del motor por el variador de velocidad no es sinusoidal, serán distintas las lecturas proporcionadas por un multímetro analógico ó un multímetro digital que mida el valor medio y un multímetro digital que mida el verdadero valor eficaz. Muchos técnicos de mantenimiento prefieren un multímetro analógico, porque la bobina que sirve de mecanismo de medida del multímetro responde de la misma manera que el motor, es decir, atiende a la componente de baja frecuencia de la forma de onda y no a la componente de conmutación de alta frecuencia. El medidor analógico también estará en correspondencia con la relación V/Hz programada del variador de velocidad y con la tensión mostrada en la caja del variador de velocidad, si es que existe.

Muchos multímetros digitales responderán a la componente de alta frecuencia de la forma de onda de alimentación del motor y, por tanto, darán una lectura más alta. Aunque un multímetro digital capaz de medir verdaderos valores eficaces hará una lectura correcta del efecto de calentamiento de la tensión no sinusoidal aplicada al motor, muy a menudo se prefiere la indicación del medidor analógico, porque da una lectura de tensión inferior, similar a la tensión aplicada que reconoce el motor. Sin embargo, es necesario observar que, aunque el motor no responda a las frecuencias más altas en términos de par o de trabajo, pueden circular corrientes de alta frecuencia por fuera de los arrollamientos, debido a distintas capacidades en otras partes del motor.

La razón de hacer medidas de tensión en los terminales del motor es verificar que la tensión no es demasiado alta ni demasiado baja y que no existen desequilibrios. Se puede utilizar un multímetro u osciloscopio digital con una sonda "filtro-paso-bajo" para verificar que la tensión en los terminales del motor se corresponde con la lectura de tensión mostrada en la pantalla del variador de velocidad. Utilizando un osciloscopio o, por ejemplo, el analizador de calidad eléctrica Fluke 43B, se tiene la ventaja de que es posible hacer simultáneamente la medida de frecuencia que resulta de gran utilidad y es realmente significativa. Si la tensión en el motor es demasiado baja, una causa probable es la existencia de conexiones defectuosas o que la tensión en el bus de continua del variador de velocidad puede ser demasiado baja. A su vez si las tensiones en los terminales del motor son demasiado altas, la tensión en el bus de continua puede ser demasiado alta; lo que podría ser debido a una tensión demasiado alta en la entrada del variador de velocidad.

A continuación hay que medir la tensión entre fases entre los tres terminales del motor para ver si hay desequilibrio de tensiones. Téngase en cuenta que desequilibrios de tensiones tan pequeños como el 3% pueden originar un calentamiento excesivo debido a corrientes desequilibradas en los arrollamientos del estator y una disminución del par motor. Sin embargo, algunas instalaciones de motores toleran mejor los desequilibrios y, por ello, es necesario asegurarse de que se comprueba el sistema completo del motor para ver si existen otras causas. Puesto que lo que se mide es la diferencia relativa entre tensiones entre fases y no tensiones absolutas, un multímetro digital dará unas lecturas más precisas y con mejor resolución que un multímetro analógico.

Para calcular el desequilibrio de tensiones puede aplicarse la siguiente formula:

$$\text{Desequilibrio en tensión (\%)} = \frac{\text{Desviación máxima respecto a la tensión media}}{\text{Tensión media}} \times 100$$

Así, por ejemplo, unas tensiones de 389, 372 y 382 V dan una tensión media de 381V. La desviación máxima respecto a la tensión media será, por tanto, de 9, y el desequilibrio en porcentaje sería:

$$\text{Desequilibrio en tensión} = \frac{9 \text{ V.}}{381 \text{ V.}} \times 100 = \mathbf{2,36 \%}$$

Las causas posibles de los desequilibrios son: que uno de los circuitos de alimentación sólo conduzca parcialmente ó que haya una caída de tensión entre la salida del variador de velocidad y el terminal del motor en una de las fases, a causa de una mala conexión. Hay otros posibles problemas relativos a las tensiones en los terminales del motor relacionados con la distorsión, pero éstos se tienen que ver y medir utilizando un osciloscopio.

Medidas de desequilibrio de corrientes

Se debe medir la corriente del motor para asegurar que no se supera la corriente nominal continua especificada en la placa de características y que las corrientes en las tres fases están equilibradas. Si la corriente de carga medida es superior a la nominal o si las corrientes están desequilibradas, la duración del motor se acortará, porque la temperatura de funcionamiento resultante será elevada. Si el desequilibrio de tensiones está dentro de los límites aceptables, cualquier desequilibrio de corrientes detectado podría indicar un cortocircuito en los arrollamientos del motor. En general, el desequilibrio de corrientes en un motor trifásico no debe ser superior al 10%.

Puesto que la medida de corriente se hará en un entorno de alta energía y eléctricamente ruidoso, conviene utilizar una pinza amperimétrica adecuada, así como una buena técnica de medida. Una pinza amperimétrica del tipo de transformador de corriente (CT) sólo para CA normalmente funcionará mejor, ya que es un dispositivo de baja impedancia y es menos probable que "capture" ruido eléctrico a través de ella. Muchas de las pinzas amperimétricas de CA/CC son de efecto Hall, que tiene una alta impedancia, y son, por tanto, más susceptibles al ruido. Ambos tipos de pinzas pueden tener problemas con el ruido si no están debidamente apantalladas y no tienen terminaciones con conectores BNC.

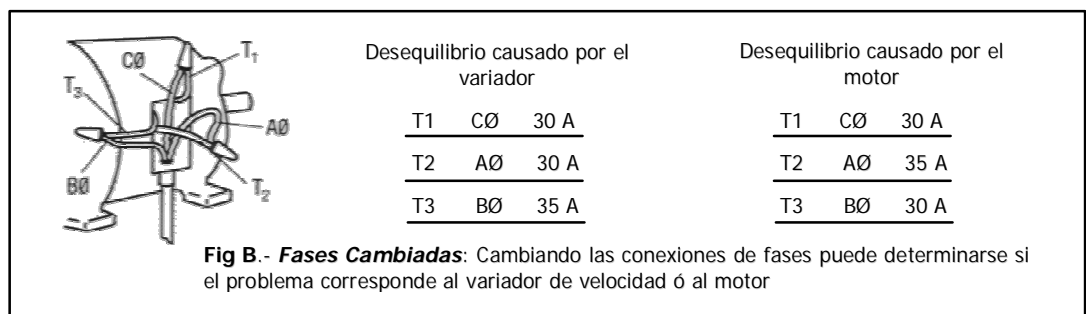
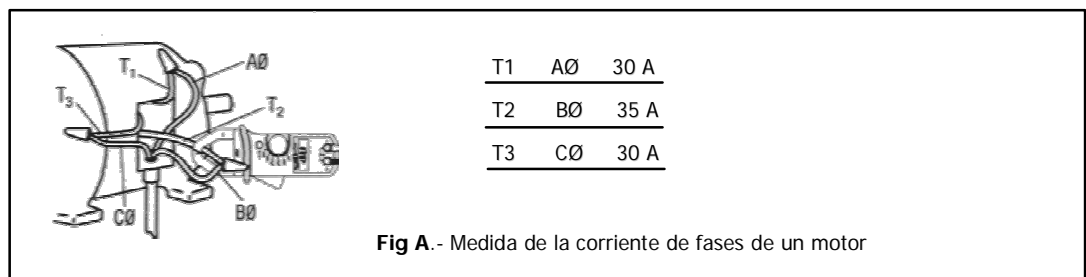
Las pinzas con escalas de salida seleccionables más altas para medidas de corrientes inferiores a 10 A ó 20 A son las que permiten obtener una mejor relación señal/ruido. Como ya se ha dicho, en ocasiones, la integridad de la medida se puede mejorar si, mientras se hace la lectura, no se toca la pinza ni el medidor (ver Fig. A).

Para calcular el desequilibrio de corrientes hay que utilizar la misma fórmula que para las tensiones, sustituyendo éstas por las corrientes. Por ejemplo, corrientes de 30,35 y 30 A darían una corriente media de 31,7A. La desviación máxima respecto a la corriente media sería de 3,3 A con un desequilibrio de corrientes del 10,4%.

Si las corrientes del motor están desequilibradas se puede determinar si el desequilibrio se debe al motor o al variador de velocidad cambiando las conexiones de las fases en los terminales del motor. Pero, en primer lugar, hay que medir la corriente en las tres fases con el motor bajo carga. A continuación, desplazar los conductores de las fases del variador de velocidad a los terminales del motor. Si las fases AØ ,BØ y CØ están conectadas a los terminales del motor T1, T2 y T3, respectivamente, hay que cambiar las conexiones de manera que las fases AØ ,BØ y CØ queden conectadas a los terminales del motor T2, T3 y T1, respectivamente. Después hay que medir de nuevo la corriente de las fases con el motor bajo carga.

Supongamos que la primera medida ha determinado que el desequilibrio de corrientes estaba en la conexión BØ /T2. Si el desequilibrio se desplazó a la conexión BØ /T3 de la segunda medida, el desequilibrio viene del variador de velocidad. Si el desequilibrio de corrientes de la

segunda medida se ha encontrado en la conexión AØ /T2 eso quiere decir que el desequilibrio se debe al motor (ver Fig. B).



Funcionamiento con una sola fase

El funcionamiento con una sola fase es el resultado de perder por completo una de las tensiones de fase aplicadas a un motor de inducción trifásico de CA, y puede ser un problema difícil de detectar. En una aplicación con variador de velocidad esto sería debido, normalmente, a una conexión abierta en cualquier de los extremos del cableado entre el motor y el variador de velocidad o en uno de los conductores del propio cable. También es posible que uno de los IGBT´s, que son los dispositivos que alimentan cada una de las fases del motor, se hayan quedado en circuito abierto. Algunos de los variadores de velocidad del mercado son capaces de detectar esta situación.

El funcionamiento con una sola fase es una causa bastante corriente de fallos de motores de inducción trifásicos, ya que los arrollamientos de las otras dos fases tienen que soportar mayores corrientes y, por tanto, generan más calor, lo que, en su momento, llega a provocar averías prematuras en el motor. Lo que hace que el funcionamiento con una sola fase sea un problema difícil de detectar es que, en esas condiciones, el motor sigue funcionando con normalidad aunque se produzca un aumento del calor generado en régimen normal y, posiblemente, una reducción del par, pero éstas son condiciones sutiles que pueden pasar desapercibidas. Otro indicador es que, en el caso de parar el motor y volverlo a arrancar, éste puede girar en sentido contrario.

Por lo que respecta a la medida, la detección de este problema es también algo difícil. Cuando las medidas de tensión se hacen en los terminales del motor, las lecturas de las tensiones estarán próximas a las normales, ya que la acción del motor está induciendo tensión en el arrollamiento abierto. La mejor manera de detectar con fiabilidad esta situación es hacer medidas de corriente en todas las fases hasta detectar la fase abierta por la ausencia del paso de corriente.

Por J. David Rodríguez

Fluke Ibérica - División Industrial

Adaptación libre de la Nota de aplicación de Fluke Corporación "Medida en variadores de velocidad con multímetros Fluke"