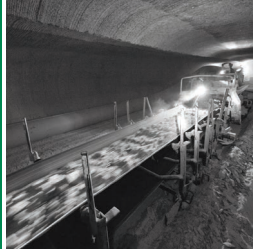




DOCUMENTO
INFORMATIVO



Expertise Applied | Answers Delivered

Mervin Savostianik
P. Eng.
Littelfuse, Inc.

PROTECCIÓN DE FALLAS A TIERRA CON VARIADORES DE FRECUENCIA

Cómo utilizar un relé sensible a la tensión para encontrar fallas a tierra difíciles de hallar en variadores de frecuencia (VFD) de sistemas de resistencia eléctrica con conexión a tierra

Cómo utilizar un relé sensible a la tensión para encontrar fallas a tierra difíciles de hallar en variadores de frecuencia de sistemas de resistencia eléctrica con conexión a tierra

Las fallas a tierra pueden ser peligrosas. Los cortos a tierra de los sistemas con conexión sólida a tierra generan grandes corrientes que pueden dañar el equipo y hacer que se apague. Las fallas a tierra también pueden generar un arco eléctrico, que puede producir graves lesiones al personal que esté cerca y también dañar el equipo. El peligro del arco eléctrico es la razón por la cual los gabinetes eléctricos deben tener etiquetas de advertencia y toda persona que trabaje en paneles eléctricos debe usar el equipo de protección personal (EPP) apropiado. Además de eso, el arco eléctrico puede no reunir suficiente corriente como para activar con rapidez un dispositivo de protección de sobretensión.

Una manera de reducir o eliminar muchos problemas de falla a tierra, incluida la mayoría de los accidentes de arco eléctrico, es utilizar un sistema con conexión a tierra de alta resistencia, donde el punto neutro del transformador (el X0 de un transformador o generador conectado en Y o el neutro artificial de un transformador con conexión en zigzag) está conectado a tierra mediante una resistencia de neutro con conexión a tierra (NGR), como se muestra en la Fig. 1. La resistencia de neutro con conexión a tierra limita la corriente de falla a tierra a un valor bajo y, en muchos casos, permite que el sistema siga funcionando. Mediante la eliminación de fallas fase-tierra, los sistemas con conexión a tierra de alta resistencia eliminan el 95% de los peligros de arco eléctrico. Estos sistemas HRG han sido necesarios en las mineras durante mucho tiempo.

A pesar de que la conexión a tierra de alta resistencia brinda grandes beneficios para mejorar la seguridad, hay algunas cosas importantes que deben tenerse en cuenta, incluso la cantidad de factores que pueden dificultar la detección de fallas a tierra de bajo nivel. El uso de variadores de frecuencia empeora varias de ellas.

Este artículo explicará algunos de los aspectos sobre cómo funcionan los sistemas con conexión a tierra de alta resistencia, examinará los diferentes retos con el control de fallas a tierra en dichos sistemas y mostrará cómo la tecnología puede resolver esos retos.

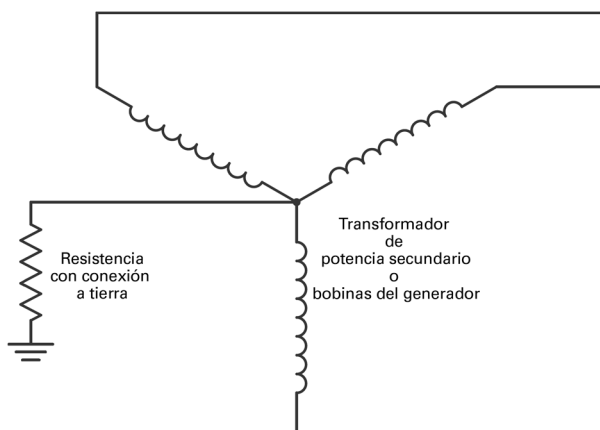


FIGURA 1: En los sistemas con conexión a tierra de alta resistencia, el punto neutro del transformador (o el neutro artificial del transformador con conexión en zigzag) se conecta a tierra mediante la resistencia de neutro con conexión a tierra.

DETECCIÓN DE FALLAS A TIERRA

Dado que los sistemas con conexión a tierra de alta resistencia evitan que las fallas a tierra provoquen una desconexión por sobretensión, debe haber una manera de detectar cuándo se produjo una falla a tierra. La mejor manera de detectarlas en los sistemas con conexión a tierra es utilizar relés de falla a tierra amperimétricos, que utilizan transformadores de corriente homopolar de núcleo equilibrado (transformadores de corriente o transformadores de corriente de impedancia de fuente) para detectar corrientes que fluyen donde no deberían fluir. Eso hace posible la coordinación selectiva y facilita encontrar las fallas a tierra.

Cualquier transformador de corriente de tipo ventana pasa a ser un transformador homopolar de núcleo equilibrado cuando todos los conductores que transportan corriente se pasan por la ventana del transformador. Si no hay falla a tierra, la potencia de salida del transformador debería ser de cero. Si hay falla a tierra, las corrientes no suman cero y la diferencia puede detectarse y utilizarse para activar una alarma o desconectar la sección con falla.

FACTORES LIMITANTES

Hay una cierta cantidad de factores que pueden limitar la capacidad de medir corriente de falla a tierra de nivel bajo. Estos incluyen la capacitancia del sistema, las cargas monofásicas desequilibradas, las limitaciones del sensor de corriente, el funcionamiento a baja frecuencia, los componentes armónicos y la frecuencia portadora del variador de frecuencia.

CAPACITANCIA DEL SISTEMA

Todos los sistemas eléctricos tienen capacitancia fase-tierra. Si bien en realidad esta capacitancia se distribuye por todo el sistema, suele estar modelada como valores "agregados", como se muestra en la Figura 2. En los sistemas con conexión a tierra, si las capacitancias de las tres fases son iguales, las tres fases juntas del transformador de corriente de núcleo equilibrado tienen una lectura de cero, pero si las capacitancias o la tensión fase-tierra son desiguales, el transformador tiene una potencia de salida de no cero. Eso puede producir disparos en falso a menos que el umbral de activación se eleve, pero eso reduce la capacidad de detectar fallas a tierra de nivel bajo. Esto explica en gran medida por qué no son posibles los niveles de protección de personas en los sistemas industriales.

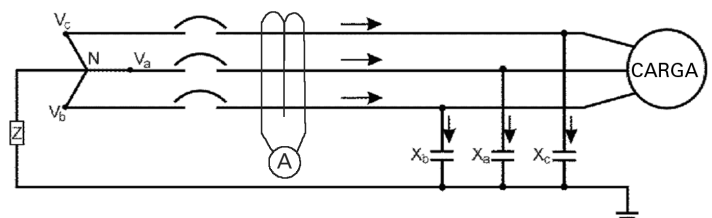


FIGURA 2: Si las capacitancias distribuidas de las tres fases son iguales, las tres fases juntas del transformador de corriente de núcleo equilibrado tendrán una lectura de cero, pero si las capacitancias o la tensión fase-tierra son desiguales, el transformador tendrá una potencia de salida de no cero.

CORRIENTE DE CARGA

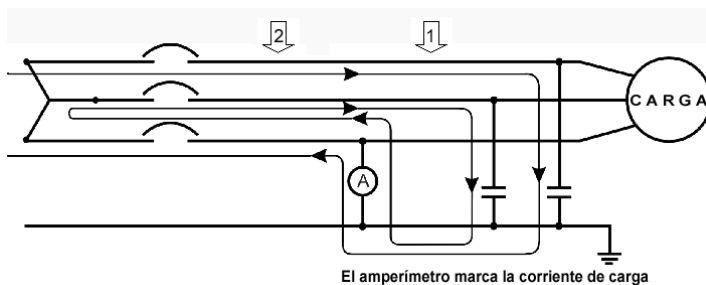
Cuando una fase de un sistema sin conexión a tierra entre en corto en la conexión a tierra, la corriente correrá por la capacitancia a la conexión a tierra de las otras dos fases, como se muestra en la Figura 3. Nota: Un transformador de corriente de núcleo equilibrado en "1" medirá la corriente de carga, mientras que un transformador de corriente de núcleo equilibrado en "2" medirá cero. Esa corriente de carga puede tener la intensidad suficiente como para hacer que un relé de falla a tierra funcione con una línea de alimentación sin fallas. Para evitar lo que se llama activación influida, la protección de esas líneas de alimentación debe colocarse por encima del nivel de la corriente de carga; si es aceptable el funcionamiento influido, la protección puede colocarse a un nivel más bajo.

DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN

Si las tensiones fase-neutro de las tres fases no son iguales, las corrientes que pasan por las capacitancias de las fases serán desiguales, lo cual producirá una corriente homopolar de estado estable. Este tipo de tensiones desequilibradas puede ser el resultado de cargas monofásicas desequilibradas. Por lo general tienen poco efecto, pero pueden afectar la detección de corriente de bajo nivel con falla a tierra. Vale la pena observar que, ante la falla de fugas a tierra, las corrientes desequilibradas de carga no producen desconexiones de falla a tierra porque las corrientes de fase suman cero en los transformadores de corriente de núcleo equilibrado.

LIMITACIONES DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Los transformadores de corriente tienen sus propias limitaciones en lo referente a las corrientes bajas y las altas. En el extremo de corriente baja, hay una corriente primaria mínima que tiene una potencia de salida y, en ciertas circunstancias, eso puede hacer que sea necesario utilizar un transformador de corriente de impedancia de fuente (ZSCT). En el extremo de corriente alta puede haber problemas con la saturación del núcleo, dado que la potencia de salida ya no es proporcional a la corriente primaria. E incluso cuando la corriente primaria no es excesiva, si los conductores primarios están mal ubicados, o hay grandes sobrecorrientes, partes del núcleo del transformador pueden entrar en estado de saturación, lo cual evitará que las corrientes equilibradas se sumen como corresponde y produzcan una potencia de salida cuando no



haya corriente homopolar. Una manera de reducir este efecto es utilizar un acondicionador de flujo, un manguito de empalme con conductividad magnética que entra en la ventana del transformador de corriente y reduce la saturación local. También es útil para centrar los conductores de fase en la ventana del transformador de corriente y agruparlos en ABC, ABC, etc., no AA, BB, CC, etc.

CORRIENTES TRANSITORIAS

Las corrientes transitorias también pueden generar problemas: cuando se enciende un motor del otro lado de la línea, no hay manera de predecir la parte del ciclo de CA en la cual se cerrará el interruptor. Eso puede producir un componente de CC momentánea que puede generar una potencia de salida desde el transformador de corriente. Por suerte, es fácil corregir eso: se aumenta el retardo de desconexión del relé de falla a tierra o se utiliza un filtro digital para rechazar el componente de CC.

PROBLEMAS CON VARIADORES DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia (también conocidos como variadores de velocidad o mandos de velocidad ajustable) se han hecho cada vez más populares en las aplicaciones industriales, pero tienen sus propios problemas en los sistemas de conexión a tierra de alta resistencia (HRG). En muchos variadores de frecuencia, la protección incorporada de falla a tierra se activa sólo si la corriente a tierra alcanza un nivel fijo, por ejemplo, 33% o 50% de la corriente de carga completa. No obstante, en los sistemas de conexión a tierra de alta resistencia, la corriente de falla a tierra se limita a un valor reducido (por lo general unos pocos amperios) por lo cual el variador no puede desconectarse nunca cuando se produce una falla a tierra. Eso significa que siempre debe estar protegido con un relé de falla a tierra, pero ese relé de falla a tierra debe elegirse con cuidado.

Los relés de falla a tierra comunes detectan corrientes de falla a tierra a la frecuencia de la línea de energía (50/60 Hz) o más. Los relés de falla a tierra de más alta gama filtran frecuencias altas para evitar desconexiones producidas por ruido armónico. Algunas aplicaciones de variadores de frecuencia suelen funcionar a partir de los 120 Hz o superior hasta 0 Hz (CC). La mayoría de los relés de falla a tierra no funcionan con frecuencias de potencias de salida baja (por debajo de unos 20 Hz) o con CC. Hay relés de falla a tierra de CC, pero la mayoría no puede detectar las fallas de CA, por lo cual no pueden utilizarse con variadores de frecuencia.

FIGURA 3: Cuando una fase de un sistema sin conexión a tierra entre en corto en la conexión a tierra, la corriente correrá por la capacitancia a la conexión a tierra de las otras dos fases. Esa corriente de carga puede ser suficiente como para producir una activación influida en una línea de alimentación sin fallas.

CORRIENTES ARMÓNICAS

La forma de onda de la potencia de salida de un variador de frecuencia no es una onda sinusoidal pura y, por esa razón, contiene varios componentes de frecuencia armónica (múltiples de la frecuencia de potencia de salida fundamental). Dado que la reactancia de la capacitancia del sistema es inversamente proporcional a la frecuencia, las corrientes armónicas de orden superior fluyen con mayor facilidad por la capacitancia del sistema a tierra. Si la capacitancia y la tensión están equilibradas, las corrientes armónicas de las tres fases son las mismas, suman cero y no tienen efecto alguno en la corriente a tierra. No obstante, los efectos del desequilibrio se ven ampliados en frecuencias superiores. Los terceros armónicos (180 Hz, etc. cuando el sistema está funcionando a 60 Hz), también llamados múltiplos impares del tercer armónico, están en fase entre sí y pueden crear suficiente corriente a tierra como para provocar una desconexión por falla a tierra. Para resolver eso, puede aumentarse la configuración de desconexión del relé de falla a tierra con un filtro digital incorporado que puede rechazar las corrientes armónicas de tercer orden.

Otro problema del variador de frecuencia es la corriente de pérdida de la frecuencia portadora. La potencia de salida de los variadores de frecuencia incluye componentes de la frecuencia portadora. El efecto del desequilibrio entre el capacitivo y la tensión es mayor en las frecuencias más altas y la corriente fluye a tierra sin falla alguna.

SOBRECIENTAMIENTO DEL MOTOR

Los motores que funcionan a bajas velocidades pierden capacidad de refrigeración porque los ventiladores montados en los ejes pierden potencia de salida a baja velocidad (la cantidad de aire que mueve un ventilador centrífugo varía según el cuadrado de la velocidad del eje). E incluso los motores refrigerados con ventiladores independientes pueden sobrecalentarse si sus conductos de aire se tapan con tierra. Los relés de protección del motor pueden ayudar en este aspecto, pero sus funciones son en gran medida las mismas que ofrecen los variadores de frecuencia. Por suerte, algunos de los relés de falla a tierra de hoy admiten las entradas de sensores de temperatura (detectores termométricos de resistencia o termistores de coeficiente positivo de temperatura) incorporados en el bobinado del motor para advertir el sobrecalentamiento del motor con un costo considerablemente inferior al del relé de protección del motor.

DETECCIÓN DE FALLAS A TIERRA A BAJA FRECUENCIA

Si bien puede parecer que va en contra de la lógica, pueden hacerse transformadores de corriente para medir la CC y, de hecho, se utilizan transformadores de corriente en aplicaciones científicas tales como la medición de la corriente de haz de grandes aceleradores

de partículas. En el caso de los relés de falla a tierra, el tamaño del equipo se mide en pulgadas y no en pies o en millas, pero el principio es el mismo: la detección de los cambios en la saturación del núcleo provocada por la corriente continua. Se aplica tensión al secundario del transformador de corriente; a medida que la corriente se intensifica conforme la ley $V = -L di/dt$, el núcleo comienza por fin a saturarse. El sistema de circuitos detecta la saturación y revierte la tensión aplicada, con lo cual genera una onda cuadrada mientras el sistema entra y sale de los niveles de corriente de saturación en ambas direcciones. Cualquier CC o CA de baja frecuencia que fluya por el primario mueve el campo magnético del núcleo en una dirección, lo cual hace que la corriente secundaria en la cual se produce la saturación sea sensible a la polaridad. El resultado es un cambio en el factor de forma de impulso de la onda cuadrada que puede traducirse en una medición de la corriente del primario.

REGULACIONES

Hasta ahora no existen regulaciones oficiales que exijan protección a frecuencias bajas y CC pero la MSHA ha recomendado a los usuarios instalar protección de falla a tierra de baja frecuencia. Canadá todavía no ha abordado el problema, mientras que las autoridades australianas son muy conscientes de ello y han esperado con ansias el desarrollo de una solución.

Una solución para el problema de fallas a baja frecuencia

Hace poco Littelfuse presentó un relé de falla a tierra con microprocesador, el Relé sensible a fuga a tierra de CA/CC EL731 (Figura 4), que utiliza la tecnología descrita anteriormente para medir las corrientes a tierra de hasta 0 Hz -de hecho, puede ser alimentado con CC y utilizado como un relé de falla a tierra de CC. Con frecuencia se lo utiliza con un transformador (para frecuencias de salida de entre 0 y 100 Hz) y puede funcionar con los mismos transformadores de corriente de modelos anteriores, lo cual significa que puede ser instalado en lugar de un relé de falla a tierra sin cambiar los transformadores. Cuando se utilizan frecuencias superiores de motores o existe la necesidad de medir las corrientes armónicas y la frecuencia portadora, puede agregarse un segundo transformador para ampliar la cobertura a 15 kHz. La unidad también brinda dos puntos ajustables en el rango de los 30 a los 5.000 mA, uno de advertencia y uno para activar el cierre, más tres relés de potencia de salida programables.

El EL731 también tiene una entrada de temperatura que funciona con sensores de temperatura de termistores de coeficiente positivo de temperatura o termistores de coeficiente positivo de temperatura y puede mostrar la temperatura del motor (o el variador) y activarse ante un sobrecalentamiento.

Otros componentes

Entre los otros componentes del EL731 hay una pantalla de OLED de 2 x 16 caracteres, medición de corriente y temperatura, botones para programación y navegación del menú, seguridad con contraseña, indicación LED de desconexión y alarma, alarmas con reinicio automático y desconexión de cierre con reajuste remoto y en el panel frontal, memoria de desconexión, potencia de salida análoga de 4- a 20-mA, verificación de transformador con indicación LED y circuitos con revestimiento de conformación. Otras de sus características incluyen la posibilidad de montaje en un panel o en superficie, protección con contraseña para la configuración de parámetros, comunicaciones por Ethernet y firmware fácil de actualizar.

Resumen

Los sistemas con conexión a tierra de alta resistencia tienen muchas ventajas, pero el uso cada vez mayor de variadores de frecuencia puede dificultar el control de fallas a tierra y otros problemas en ellos. Los relés de falla a tierra con nueva tecnología pueden lograr grandes resultados en la eliminación de dichos problemas y conducir a sistemas eléctricos más seguros y confiables.



FIGURA 4: el EL731 es un relé sensible de fuga a tierra de CA/CC con alarma programable y configuración de desconexión, salidas de relé, análoga y serial y una pantalla OLED de treinta y dos caracteres.