

Admitancia fácil, la función de protección de fallo a tierra definitiva para redes compensadas

Por Ari Wahlroos, Janne Altonen, Przemyslaw Balcerek, Marek Fulczyk – ABB

Una red compensada es una red en la que el punto neutro del sistema está conectado a masa mediante una bobina de compensación. Esta conexión a masa reduce las corrientes de fallo a tierra capacitivas producidas por la red hasta casi cero en el punto de fallo y facilita las condiciones de autoextinción de fallo sin necesidad de interruptores automáticos y sin provocar cortes al cliente. Por eso aumenta sin cesar el número de redes de media tensión que se están transformando al tipo compensado. Sin embargo, las bajas intensidades de fallo de las redes compensadas desafían los principios tradicionales de protección frente a fallos a tierra.

A principios del decenio de 1980 se desarrolló en Polonia un principio alternativo basado en la admitancia medida en el punto neutro. Este principio, sencillo

pero muy inteligente, tiene muchas ventajas sobre los métodos tradicionales y puede aplicarse a todo tipo de redes sin conexión a tierra y compensadas, incluidas las arterias con compensación distribuida. La función de protección del fallo a tierra basada en la admitancia en el punto neutro se presenta en los productos Relio REF615 y REF630 de ABB.

A principios del siglo XIX, Waldemar Petersen descubrió que conectando una inductancia al punto neutro del transformador principal, la corriente capacitiva del fallo a tierra producida por la red podía reducirse hasta casi cero y, de este modo, la mayoría de los fallos a tierra con arco se autoextinguían. Actualmente, estos componentes de inductancia



se llaman "bobinas de Petersen", "bobinas de compensación" o "bobinas de supresión de arcos".

Los fallos a tierra pasajeros causan la mayor parte de los apagones, y el uso de bobinas de compensación reduce sustancialmente la frecuencia de cortes, con el resultado de un suministro más fiable y de más calidad. La compensación permite también que la red siga funcionando durante un fallo a tierra sostenido, siempre que se cumplan las condiciones para tensiones peligrosas impuestas por las leyes y los reglamentos.

Por ello, la aplicación de bobinas de compensación se ha hecho común en redes de distribución de media tensión en todo el mundo.

Las redes compensadas ponen a prueba los métodos de protección

Aunque la compensación tiene ventajas para la explotación, la protección frente a los fallos a tierra de la red es más complicada debido a las corrientes de fallo extremadamente bajas que se producen como consecuencia del efecto compensador de la bobina de Petersen. A menudo, estas corrientes son solo una fracción de la corriente de carga normal, y son insuficientes para disparar un relé convencional de sobreintensidad.

Tradicionalmente, la protección frente al fallo a tierra en redes compensadas se ha basado en el componente activo de la corriente residual (principio de locosphi) o de la potencia residual (principio de Watt-meric). A principios del decenio de 1980 se formuló en Polonia otro principio basado en la admitancia medida en el punto neutro que se ha convertido en un requisito funcional para las empresas de suministro de ese país.

El concepto de protección de la admitancia en el punto neutro

La protección de la admitancia en el punto neutro, como otros métodos de protección del fallo a tierra, se basa en los componentes de la frecuencia fundamental de la intensidad residual (I_0) y la tensión residual (U_0). Pero, la magnitud sobre la que se actúa no es ni la intensidad residual ni la potencia ($S_0 = U_0 I_0$), sino la vigilancia del valor de la admitancia medida en el punto neutro, Y_0 , definida como el cociente de los factores de la intensidad y la tensión residuales:

$$Y_0 = (I_0 / U_0) = G + j B$$

donde "G" es la conductancia y "B" es la susceptancia. La admitancia medida está directamente relacionada con parámetros conocidos

del sistema, como resistencias en *shunt*, capacitancias e inductancias de la red. La parte resistiva de la admitancia en el punto neutro, es decir, la conductancia G, corresponde a las resistencias de *shunt* y a las pérdidas del sistema, y la parte imaginaria, es decir, la susceptancia B, corresponde a las capacitancias y las inductancias de *shunt* del sistema. Como estos valores son la base del análisis de la protección del fallo a tierra de la red, sus valores siempre se conocen y se guardan habitualmente en los sistemas de gestión de la distribución (DMS).

La principal ventaja de vigilar el cociente de I_0 y U_0 , es decir, la admitancia en el punto neutro es que, idealmente, este cociente permanece mientras varía la resistencia del fallo a tierra, pues I_0 y U_0 disminuyen cuando aumenta la resistencia del fallo. Esto contrasta con la protección tradicional del fallo a tierra, donde la magnitud de la cantidad con la que se opera, basada en la corriente o en la potencia residuales, está muy reducida por la resistencia del fallo. Esta característica del principio de la admitancia en el punto neutro mejora la sensibilidad de la protección del fallo a tierra y la discriminación entre las condiciones con fallo y sin fallo, especialmente a los valores de resistencia más elevados.

Nota técnica

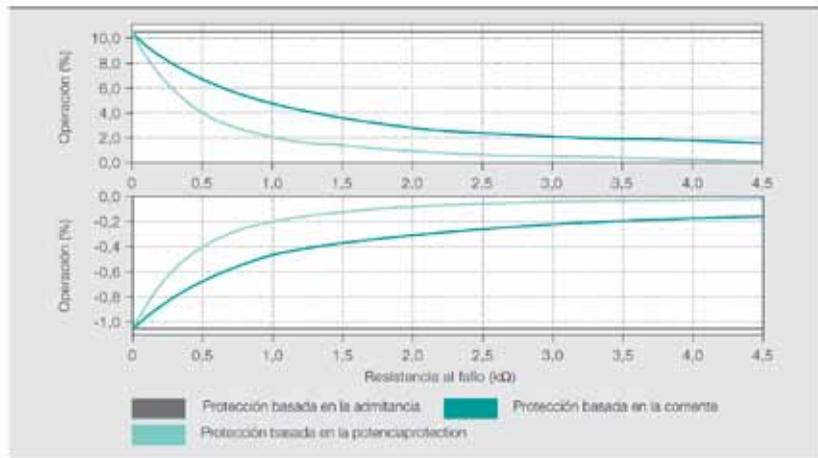


Figura 1. Distintos principios de protección frente a fallos de tierra que muestran la magnitud de la operación como un porcentaje del valor nominal de Y_0 , I_0 o S_0 frente a la resistencia al fallo

La teoría de la protección de la admittance en pocas palabras

En el caso de un fallo fuera de la arteria protegida, la admittance medida es igual al negativo de la admittance total en el punto neutro de la arteria protegida: $-Y_{fdtot}$.

Esta admittance es la suma de las admittancias totales de los conductores de fase de la arteria protegida, Y_{Fd} , y las admittancias de las bobinas de compensación situadas en la arteria protegida, Y_{FdCC} (en su caso). La parte resistiva de la admittance medida corresponde a las pérdidas resistivas del *shunt* de la arteria y a las pérdidas de las bobinas distribuidas situadas en la arteria protegida. La parte imaginaria es proporcional a la suma de las

capacitancias de fase a tierra de la arteria y las inductancias de las bobinas de compensación distribuidas situadas en la arteria protegida.

En el caso de fallo dentro de la

arteria protegida, cuando la protección debe funcionar, la admittance medida es igual a la admittance total en el punto neutro de la red de fondo, Y_{bgtot} . Esta admittance es la suma de las admittancias totales de los conductores de fase de todas las demás arterias de la subestación, Y_{Bg} , y de las admittancias de las bobinas de compensación situadas fuera de la arteria protegida en la subestación, Y_{CC} , o en las arterias próximas, Y_{BgCC} . La parte real de la admittance medida es siempre positiva, pero el signo de la parte imaginaria, es decir, la susceptancia, depende de la sintonía de la bobina de compensación. Normalmente, la protección se prepara para actuar con el componente adicional de inten-

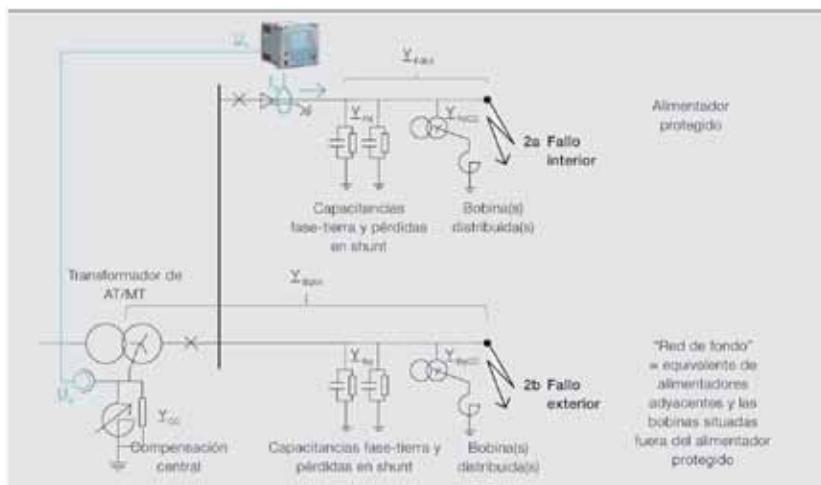


Figura 2. Circuito equivalente monofásico simplificado de una red compensada con un fallo de tierra situado bien en el alimentador protegido (2a), bien en la red de fondo (2b)

alidad resistiva introducido por el resistor en paralelo de la bobina. En la medición de la admitancia, el aumento de la intensidad resistiva se mide directamente en la parte real de la admitancia, es decir, la conductancia.

El principio fundamental de funcionamiento de la protección de fallo a tierra basada en la admitancia se apoya en la discriminación entre las admitancias en el punto neutro resultantes de los fallos interiores y exteriores. La protección actúa, es decir, dispara el interruptor del circuito, cuando se mide la admitancia interna del fallo, pero no cuando se mide la admitancia externa. Esta condición se caracteriza por los límites de funcionamiento, que pueden ser circulares o estar formados por una o varias líneas. La protección actúa cuando el punto de la admitancia calculada se desplaza fuera de estas líneas.

El principio de la admitancia en el punto neutro tiene la flexibilidad suficiente para ser aplicable a todos los tipos de impedancia elevada en redes conectadas a tierra, no conectadas y compensadas, incluidas las arterias con compensación distribuida. Esto últimos dispositivos se están haciendo más comunes a medida que los ten-

didados aéreos, vulnerables al mal tiempo, se van sustituyendo por cables subterráneos. Estos cables multiplican la corriente de fallo a tierra producida por tales arterias, lo que habitualmente exige compensación local con bobinas distribuidas. Las bobinas distribuidas pueden ser problemáticas para los métodos convencionales de protección del fallo a tierra, pues sus características no pueden adaptarse fácilmente cuando la configuración de la línea de alimentación cambia sustancialmente.

La flexibilidad del principio también mejora la protección durante los fallos a tierra repetidos, pues hay un margen mayor antes de que pueda producirse el funcionamiento en falso.

Plenamente compatible con la protección tradicional del fallo a tierra

Como en la protección tradicional del fallo a tierra, el principio de la admitancia en el punto neutro utiliza el estado de sobretensión residual como criterio general de partida para definir la sensibilidad de la protección básica. Esto permite la combinación con los principios tradicionales, útil cuando se utilizan varios principios de protección en el área de distribución de una subestación.

Mejora del principio de admitancias

Tradicionalmente, la protección del fallo a tierra se basa en los fasores de intensidad y tensión residual

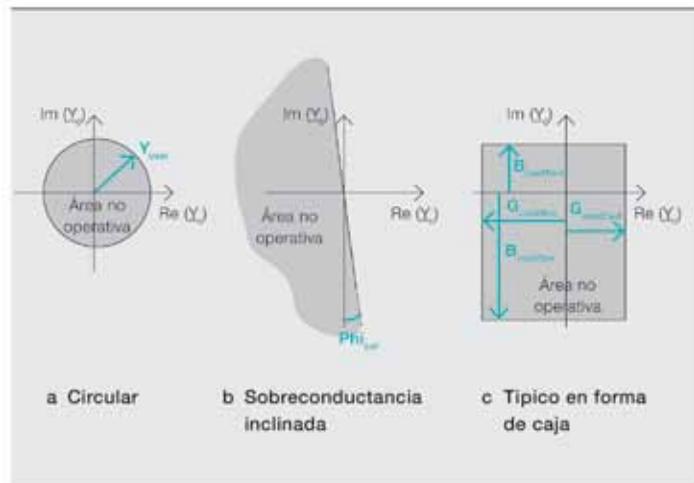


Figura 3. Ejemplos de características de admitancias reales (Re) e imaginarias (Im). El área sombreada es el área no operativa, es decir, donde la protección funciona cuando la admitancia calculada está fuera de la línea o líneas límites

Nota técnica

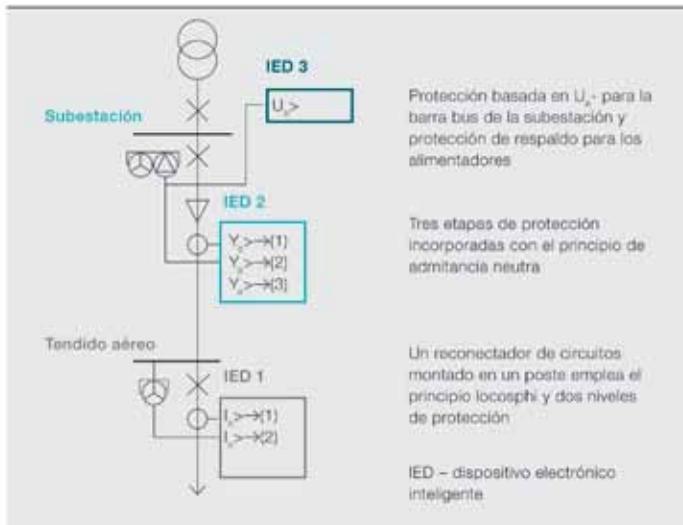


Figura 4. Ejemplo de diagrama de protección para una protección de alimentadores de media tensión utilizando admitancia neutra y funcionalidad clásica de protección frente al fallo a tierra

que se calculan en cuanto se detecta el fallo a tierra. Cuando la red está formada primordialmente por tendidos aéreos, puede haber en ella una tensión residual de estado sin fallos de magnitud elevada debido a conductores de fase no traspuestos. Esta asimetría de la red afecta a las cantidades con las que se opera, por lo que el resultado del cálculo depende de que haya una fase defectuosa, por ejemplo. Esta dependencia aumenta con la resistencia de fallo, y puede afectar negativamente a la sensibilidad de la protección del fallo a tierra. Con el principio de admitancias en el punto neutro se puede eliminar el efecto de la asimetría de la red a partir de los resultados de la me-

dición. Esto se logra utilizando las llamadas cantidades delta: los valores anteriores al fallo de los fasores de intensidad y tensión residual se restan de los valores medidos durante el fallo antes de calcular la admitancia en el punto neutro. Los algoritmos apropiados son fáciles de implementar en los modernos dispositivos electrónicos inteligentes.

Un problema se convierte en una oportunidad

En las redes de media tensión están apareciendo más componentes armónicos debido al creciente número de cargas generadoras de armónicos y de diversos componentes no lineales. En con-

secuencia, también hay muchos más armónicos en la corriente de fallo a tierra de una sola fase.

Como la bobina de compensación solo compensa el componente de frecuencia fundamental de la corriente del fallo a tierra capacitiva, permanecen los otros componentes de frecuencia. Tradicionalmente, estos componentes se consideran perturbaciones que deben filtrarse. Por el contrario, la protección del fallo a tierra basada en la admitancia en el punto neutro se aprovecha de estos armónicos para mejorar la discriminación entre condiciones con y sin fallo. En los dispositivos electrónicos inteligentes modernos, las admitancias armónicas pueden calcularse fácilmente y sumarse a la admitancia de la frecuencia fundamental en formato de fasor, lo que hace la discriminación entre estados con y sin fallo aún más clara.

Años de experiencia positiva

Desde su invención, el método de protección del fallo a tierra basado en la admitancia en el punto neutro se ha difundido desde Polonia a otros países europeos. Puede aplicarse a la protección del fallo a tierra direccional habitual, pero también a la detección del fallo a tierra de alta impedancia e inter-



mitente. ABB, en colaboración con empresas eléctricas de Finlandia, ha hecho avances en este aspecto. Sobre la base de completas pruebas sobre el terreno puede concluirse que la técnica tiene realmente una sensibilidad superior a la de los principios tradicionales de protección del fallo a tierra. Con los valores apropiados y mediciones exactas, pueden detectarse fallos a tierra con resistencias de fallo de hasta 10 k Ω .

En comparación con los métodos tradicionales, la protección basada en la admitancia en el punto neutro presenta varias características atractivas, como mayor sensibilidad y seguridad frente a fallos a tierra continuos y repetidos. Además, es de aplicabilidad universal, incluidas las redes con compensación distribuida; por lo tanto, el principio es una opción segura para aplicaciones de redes inteligentes. Por último, la confi-

guración de la protección puede determinarse fácilmente a partir de datos básicos del sistema, lo que permite la optimización sencilla y práctica de las características operativas ■

Nota del editor: Esta nota fue originalmente publicada en ABB review 2/2013