

UN NUEVO MÉTODO DE PRUEBAS COMPLETAS DE TRANSFORMADORES DE DESPLAZAMIENTO DE FASE

Los sistemas eléctricos actuales no suelen limitarse a un país o región y a menudo comprenden múltiples redes interconectadas de diferentes países. Estas conexiones «transfronterizas» pueden o bien habilitar la operación sincrónica de múltiples redes o establecer un vínculo no sincrónico entre redes operadas independientemente. La ventaja de los sistemas eléctricos interconectados es su reserva mutua de energía eléctrica, lo que se ha vuelto cada vez más importante durante décadas debido a un aumento de los recursos energéticos distribuidos (DER).

También presentan desventajas, tales como los flujos circulares no planificados, que pueden afectar las limitaciones de transmisión dentro de una zona determinada. Una forma de controlar este tipo de fenómenos es la instalación de transformadores de desplazamiento de fase (PST) con capacidad para controlar el flujo de potencia activa y/o reactiva en conexiones síncronas. Este artículo se centra en los transformadores de desplazamiento de fase simétricos explicando su principio de funcionamiento general y cómo pueden probarse.

Principio de funcionamiento de los PST simétricos

Para regular el flujo de potencia activa por una determinada línea, se utilizan transformadores de desplazamiento de fase para introducir un desplazamiento de fase positivo o negativo entre la carga y la fuente. La figura 1 muestra este principio en forma de un diagrama vectorial que representa las tensiones de



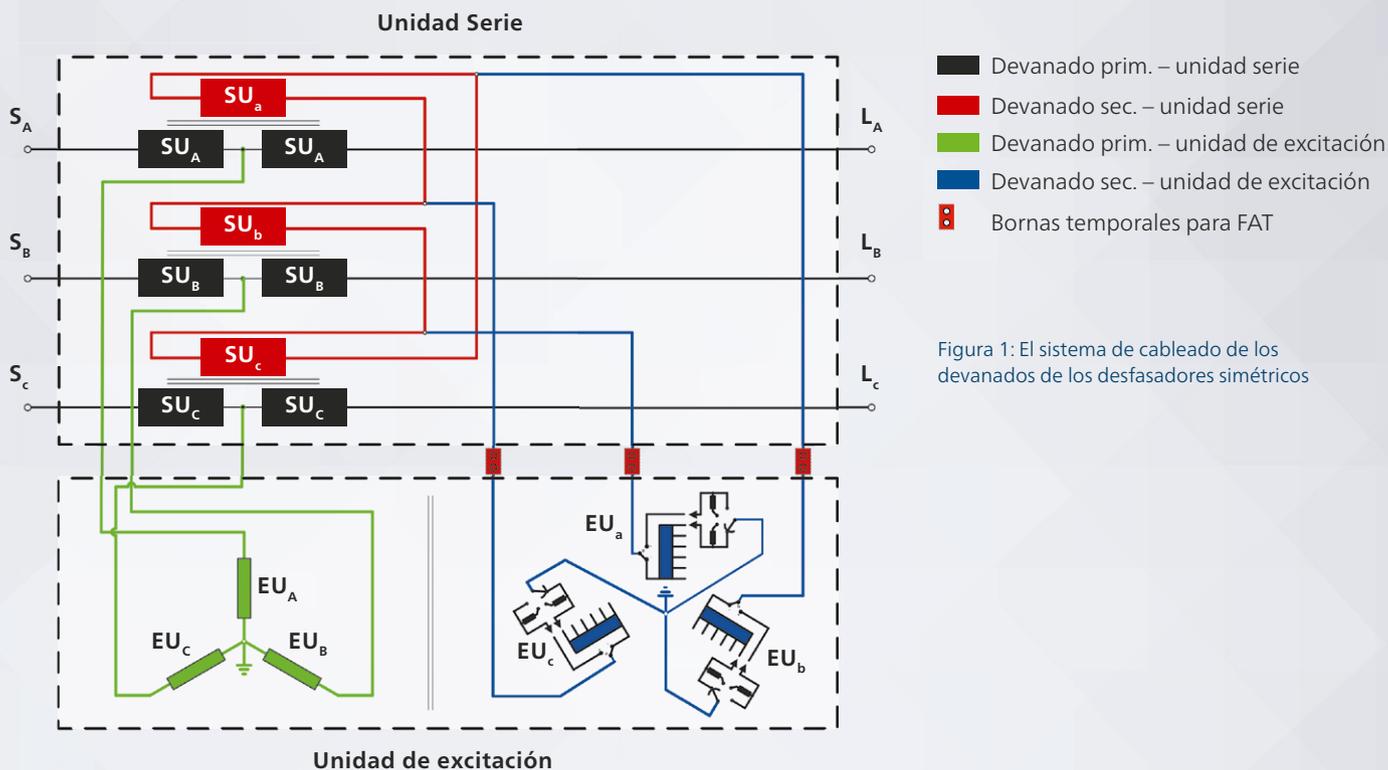


Figura 1: El sistema de cableado de los devanados de los desfasadores simétricos

los lados de la fuente y de la carga. El desplazamiento de fase entre las dos se logra mediante la incorporación de una, así llamada, tensión de cuadratura (ΔU) con un desplazamiento de fase de 90° . La magnitud de la tensión de cuadratura define el desplazamiento de fase entre los lados de fuente y de carga. Para lograrlo, los PST constan, por lo general, de dos transformadores: una unidad serie y una unidad de excitación.

La unidad serie (US) es el elemento principal de un PST, cuyo lado primario está conectado en serie a la línea eléctrica y consta de dos devanados simétricos entre la fuente «S» y la carga «L». El devanado secundario de la US está conectado en un delta, que hace que sea posible ingresar una tensión con un desplazamiento de 90° para comparar con la tensión de alimentación. La unidad de excitación (UE) se conecta entre los dos devanados primarios de la unidad de serie y transforma la tensión primaria en amplitud y ángulo de fase para que el devanado secundario de la US pueda volver a inducirla. El devanado secundario está equipado con un cambiador de tomas en carga (OLTC) para regular la magnitud de la tensión de cuadratura y, por lo tanto, el ángulo de fase entre los lados de fuente y de carga del PST.

Pruebas de los transformadores de desplazamiento de fase

La tabla 1 presenta una selección de pruebas eléctricas que normalmente forman parte de las pruebas de aceptación estándar de las unidades de excitación y serie. La tabla 1 no constituye

una lista completa de las pruebas que se pueden realizar, ya que es sólo una lista de pruebas que se han elegido en el contexto de este artículo porque son adecuadas para mostrar el comportamiento característico del PST y, por lo general, forman parte de todo procedimiento de aceptación en fábrica y de pruebas en sitio. Cuando se instalan los PST en campo, los terminales de la unidad de excitación, por lo general, no son accesibles. Por lo tanto, la mayor parte del tiempo sólo es posible llevar a cabo pruebas individuales de la UE en fábrica. ▶

Medición	Unidad serie	Unidad de excitación
Relación de transformación	FAT / en sitio	FAT
Corriente de excitación	FAT / en sitio	FAT
Cambio de fase	FAT / en sitio	FAT
Resistencia de devanado de CC	FAT / en sitio	FAT
Resistencia dinámica de devanado DC (Escaneo OLTC)	FAT / en sitio	FAT

Tabla 1: Pruebas eléctricas de los PST para la aceptación en fábrica (FAT) y las pruebas en sitio

Mediciones de las unidades de serie

Al igual que medir la relación de tensión en diferentes posiciones de toma de un transformador de red común, es importante verificar el rango de desplazamiento de fase especificado entre los terminales de la línea de los lados «S» y «L» del PST. Utilizamos nuestro sistema portátil trifásico de pruebas de transformadores, TESTRANO 600, para realizar una medición simultánea del desplazamiento de fase, la relación de transformación de tensión y la corriente de excitación en las tres fases. Los resultados confirmaron que el rango de funcionamiento estaba comprendido entre $+10^\circ$ y -10° con un ancho de paso de $0,87^\circ$ en condiciones sin carga.

Un gran reto para los técnicos de pruebas, especialmente durante la puesta en servicio de las pruebas en sitio, es determinar si el PST está funcionando en una posición avanzada o retardada. Los técnicos tienen que saber si el

PST está realizando o bloqueando el flujo de potencia en la rama correspondiente de la red. Para definir los terminales de los lados de fuente y carga, es necesario hacer esta determinación. Mediante una medición trifásica, la relación de fase de las tensiones y corrientes de los lados de fuente y carga se puede mostrar cómodamente en un diagrama vectorial para determinar el estado del control. En la figura 2 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en diferentes posiciones de toma.

La interpretación vectorial de los resultados de la medición de la dirección de control del desplazamiento de fase nos da una indicación clara de cuáles de los vectores de tensión en el lado «S» o «L» están adelantados o retrasados. Una grabación de osciloscopio adicional que requeriría equipos y tiempo de prueba adicionales ya no hace falta gracias a esta visualización de los resultados de medición.



Figura 2: Resultados de las mediciones de desplazamiento de fase «S» – «L» en 3 posiciones características

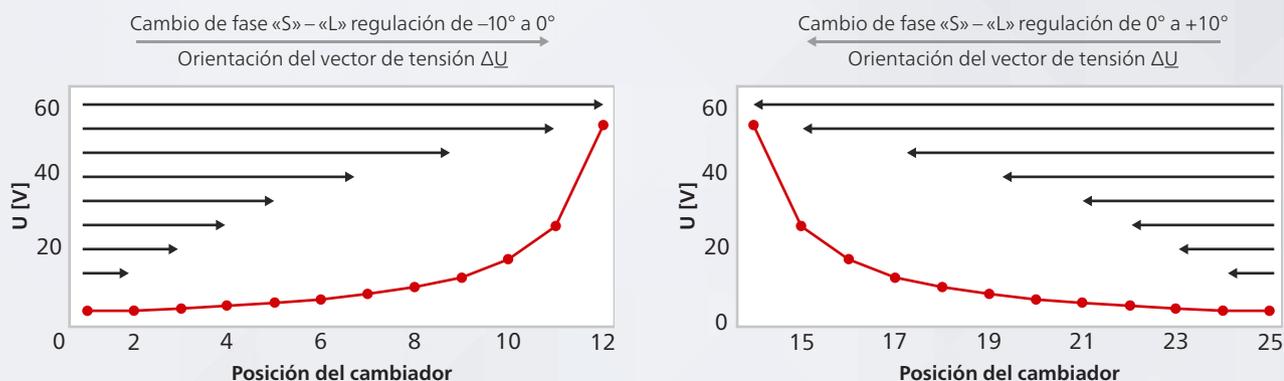


Figura 3: Resultados de la medición del convertidor de tensión de la unidad de excitación en función de la posición del OLTC

Medición de las unidades de excitación

Para ilustrar la capacidad del PST para regular la magnitud de la tensión de cuadratura, medimos la relación de tensión de todas las posiciones de toma de las unidades de excitación. La figura 3 muestra que la relación cambia entre aproximadamente 4,5 y 54 en las posiciones 1 a 12 y viceversa en las posiciones 12 a 25. Las posiciones 13A a 13B son las posiciones del selector de conmutación para conmutar la polaridad del devanado de regulación y, por lo tanto, la dirección del desplazamiento de fase entre los lados de fuente y de carga.

Conclusión

Los transformadores de desplazamiento de fase (PST) son una parte importante de las redes de potencia sincrónicas actuales. Debido a la cambiante infraestructura de generación de energía, es probable que desempeñen un papel

fundamental para garantizar la confiabilidad de las redes eléctricas en el futuro. Como los PST, por lo general, se instalan en los nodos críticos de la red, el tiempo de mantenimiento fuera de línea debe ser lo más breve posible. Los resultados han demostrado que el uso de un sistema trifásico de pruebas de los transformadores es un método muy rápido y eficaz para verificar los parámetros de funcionamiento de un PST durante la puesta en servicio y el mantenimiento en campo.

Al observar el ejemplo de un PST simétrico, hemos demostrado que los métodos descritos son adecuados para verificar los principios operativos de la serie y las unidades de excitación durante las pruebas de aceptación en fábrica. El mismo enfoque también se puede utilizar para un PST asimétrico. ■

«Como los PST –por lo general– se instalan en los nodos críticos de la red, el tiempo de mantenimiento fuera de línea debe ser lo más breve posible».

