



Explicación de los retos de las pruebas y diagnóstico asociados a los interruptores de vacío de operación magnética

Charles Sweetser, OMICRON electronics Corp. USA

Resumen

Hay una rica historia de tipos y tecnologías de interruptores de potencia. Ya nos refiramos a los métodos de extinción del arco, como el aceite, sople de aire, neumático y magnético, SF6 y vacío, o nos refiramos a los métodos de almacenamiento de energía, como los muelles mecánicos, la neumática y la hidráulica, el uso y la preferencia de estas tecnologías han cambiado mucho con el tiempo.

Ha entrado en escena un recién llegado, el interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente. Este interruptor de potencia se encuentra a niveles de media tensión, y elimina la necesidad de las bobinas de control, los motores y los muelles que se suelen encontrar en los interruptores de potencia de este rango de clase de tensión. En su lugar se utiliza una combinación de condensadores y un actuador magnético para el almacenamiento de energía y el sistema de operación. Este cambio nos obliga a volver a evaluar las pruebas de diagnóstico específicas para este interruptor de potencia. Ahora hay que considerar la incorporación a nuestra lista de señales medidas la tensión de los condensadores y la corriente de accionamiento. No solo será necesario medir estas señales, sino que también tendrán que analizarse correctamente.

Desde una perspectiva de mantenimiento técnico, estas señales adicionales proporcionan información crítica acerca del correcto funcionamiento y condición del interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente.

Este artículo y presentación de fácil seguimiento se centra en los nuevos retos asociados con las pruebas de diagnóstico y los retos asociados con interruptores de vacío accionados magnéticamente. Ofrece a la audiencia la explicación, aplicación y análisis de estas pruebas, utilizando casos prácticos.

Introducción

La selección del tipo de interruptor de potencia y la tecnología varía dependiendo de la aplicación. Para aplicaciones de media tensión, se utiliza ampliamente la tecnología de vacío. En los últimos años, con la presión de aumentar la confiabilidad y reducir el mantenimiento, los métodos de control y operación de los interruptores de potencia de vacío también han cambiado con la introducción del interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente. Las bobinas de control, trinquetes, muelles y motores se han sustituido por fuentes de alimentación, condensadores y actuadores magnéticos. Este importante cambio ha reducido el número de piezas móviles. Los fabricantes de estos interruptores afirman que el mecanismo magnético puede durar bastante más que la propia cámara de corte de vacío.

La tabla 1, a continuación, ayuda a ilustrar cómo se clasifica el interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente en comparación con los demás interruptores de potencia. Este artículo se centrará principalmente en las propiedades del interruptor de potencia de vacío con un mecanismo de operación magnético, resaltado en **ROJO** en la tabla 1.

Tabla 1 – Clasificaciones de interruptores de potencia

TIPOS DE INTERRUPTOR	TIPOS DE MECANISMO
Interruptor de potencia de gran volumen de aceite (OCB)	Mecánico (muelle)
Interruptor SF6 de tanque muerto	Hidráulico
Interruptor de sople de aire de tanque vivo	Neumático
Interruptores SF6 de tanque vivo	Actuador magnético
Interruptores de vacío	
Neumático, magnético	SISTEMAS DE AISLAMIENTO
Soplo de aire de baja tensión	Aceite
Recierres	SF6
Conmutadores de circuito	Airé
Seccionalizadores	Vacío

Como sucede con todos los interruptores, hay que convertir la energía almacenada en movimiento mecánico. La diferencia fundamental del interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente es el elemento de almacenamiento de energía. En lugar de aplicar los métodos tradicionales de almacenamiento de energía, como los muelles, la hidráulica y la neumática, el interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente despliega condensadores que almacenan energía eléctrica en forma de julios.

Tradicionalmente, podíamos ver y oír el mecanismo del interruptor de potencia cuando se cargaba mediante un motor. Ahora, con el interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente, el mecanismo se carga en silencio, porque lo que se carga es el sistema de condensadores. Esta operación de carga deseablemente en silencio, por desgracia, no proporciona ninguna pista o evidencia de que la unidad esté funcionando correctamente. Es importante que el sistema de condensadores se cargue y descargue correctamente. Se pueden añadir señales de medición simples al protocolo tradicional de pruebas de sincronismo que monitoreará el funcionamiento y la integridad del sistema de condensadores y actuador.

Circuitos de control

Los circuitos de control para los interruptores de potencia de vacío operados magnéticamente son una actualización moderna de los esquemas tradicionales de control de los interruptores de potencia. Las placas de circuitos electrónicos han reemplazado los antiguos y duraderos componentes electromecánicos, como las bobinas de control y los trinquetes. Estos circuitos de control modernos se pueden seleccionar para funcionar a diferentes tensiones. En algunos casos, se puede utilizar corriente alterna o continua, lo que los convierte en una buena opción de reemplazo.

Cuando se conectan al circuito de control de un interruptor de potencia para las pruebas, los puntos del bloque de terminales 5, 7, y 9 son los que se utilizan más a menudo, donde 5, 7 y 9 se definen como (+)V, parte superior de la bobina de cierre y parte superior de bobina de disparo, respectivamente. En los circuitos de control tradicionales, se aplican/inyectan los voltios-amperios reales (VA) a las bobinas de control. Sin embargo, cuando se prueban los interruptores de potencia de vacío operados magnéticamente, solamente se necesita una señal de tensión de "menor potencia". En su lugar, tenemos que interconectar los pines "DISPARO remoto" y "CIERRE remoto" (5, 7, y 9) con los puntos de entrada asociados de la placa de control. Estos pines se definen en el manual de instrucciones. Las figuras 1 y 2 ilustran las diferencias entre el estilo antiguo y los recientes circuitos de control. En este ejemplo, siguen siendo relevantes los puntos del bloque de terminales 5, 7, y 9.

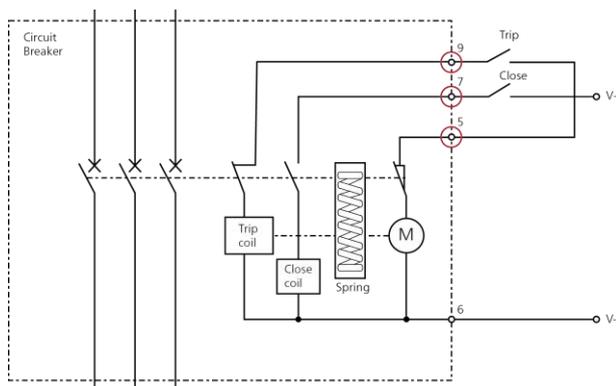


Figura 1 – Circuito de control tradicional

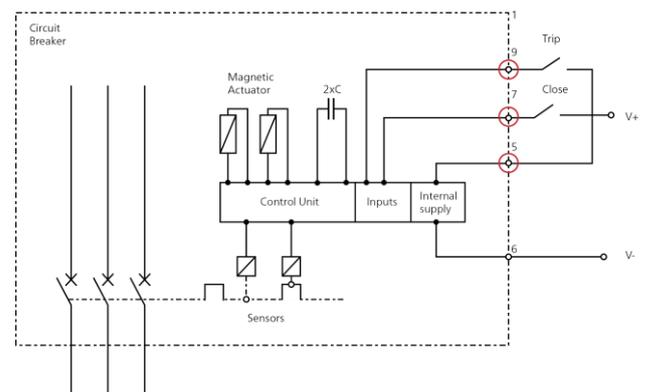


Figura 2 – Circuito de control más reciente

Las entradas de comando, cuando se energizan, no crean la típica respuesta de corriente de bobina de control. En lugar de ello, son entradas de detección de tensión de alta impedancia. Las figuras 3 y 4 muestran las diferencias en las respuestas de las tradicionales bobinas de control electromecánicas y las nuevas entradas de alta impedancia.

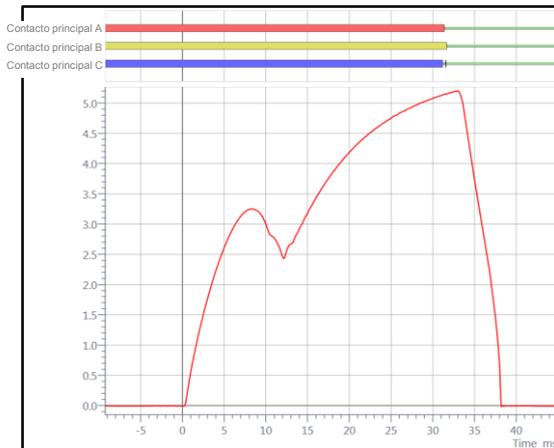


Figura 3 – Respuesta tradicional de corriente de bobina

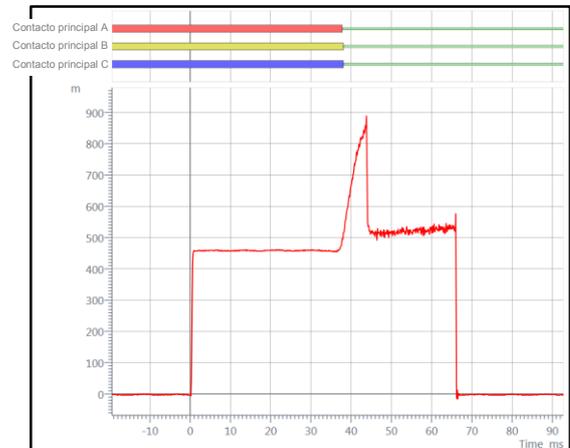


Figura 4 – Entrada de alta impedancia

Estas respuestas de baja corriente pueden causar un problema de detección de umbral en algunos instrumentos de prueba. El instrumento de prueba debe ser capaz de determinar con precisión el inicio de prueba (t_0+). Puede ser necesario medir tanto la corriente como la tensión aplicada a la entrada de comando.

Mecanismo y almacenamiento de energía

Debido a que el interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente almacena energía eléctrica, necesita menos piezas móviles. Los componentes primarios del interruptor de potencia de vacío operado magnéticamente son las siguientes:

- Placa de control
- Sistema cargador
- Condensador
- Actuador magnético
- Conjunto de cámaras de corte

La figura 5 muestra el conjunto de cámaras de corte.



Figura 5 – Conjunto de cámaras de corte

Las figuras 6 y 7 muestran los componentes del actuador magnético y el condensador, respectivamente.

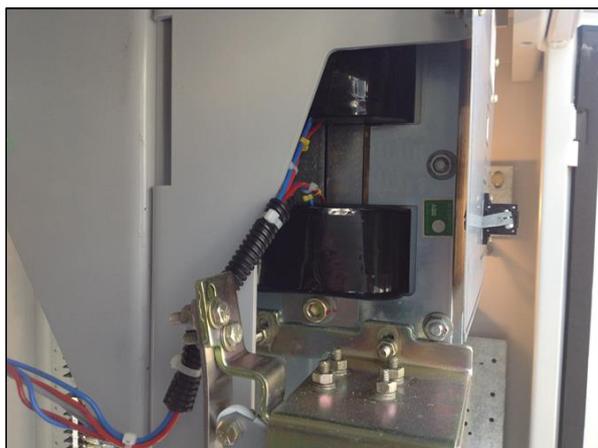


Figura 6 – Actuador magnético (DISPARO y CIERRE) Figura 7 – Condensadores

Pruebas de sincronismo y funcionales

Las pruebas de sincronismo y funcionales del interruptor de potencia constan de tres pasos:

1. Realizar mediciones funcionales
2. Calcular y analizar las características de desempeño
3. Comparar los resultados con las recomendaciones del fabricante o límites definidos por el usuario

La tabla 2 proporciona las pruebas y cálculos fundamentales de las mediciones de sincronismo y el diagnóstico del interruptor de potencia.

Tabla 2 – Mediciones fundamentales del sincronismo de los interruptores de potencia

CONTROL	MEDICIÓN	CÁLCULOS
Disparo (O)	Desplazamiento	Sincronismo del contacto principal
Cierre (C)	Estado del contacto (O-R-C)	Sincronismo de resistencia del interruptor
Recierre (O-C)	Corriente de la bobina de comando	Sincronismo delta (discrepancia de polos)
Disparo libre (C-O)	Estado del contacto auxiliar (OW-OD-C)	Velocidad
(O-CO)	Tensión de la batería	Recorrido total
(O-CO-CO)*	Corrientes de fase (primer disparo)	Sobrerrecorrido
Cierre lento (C)	Resistencia dinámica (DRM)	Rebote
Primer disparo (O)	Tensión del condensador	Carrera
	Corriente del actuador	Limpieza de contactos
	Referencia de comando	Tiempo de permanencia (sin disparo C-O)
		Tiempo muerto (recierre O-C)
		Tasa de carga del condensador
		Pico de corriente del actuador (O, C)
		Tiempo del actuador (O, C)

* Servicio de operación ANSI O-0,3 s-CO-3 min-CO

Señales medidas

Al realizar las mediciones de sincronismo y funcionales del interruptor de potencia, solo hay cuatro señales primarias de interés.

1. Estado del contacto (abierto-cerrado)
2. Referencia de comando de señal de entrada remota (t_0+): Inicio de la prueba
3. Tensión del condensador
4. Corriente del actuador

La figura 8 ilustra una prueba que incluye las señales medidas mencionadas anteriormente.

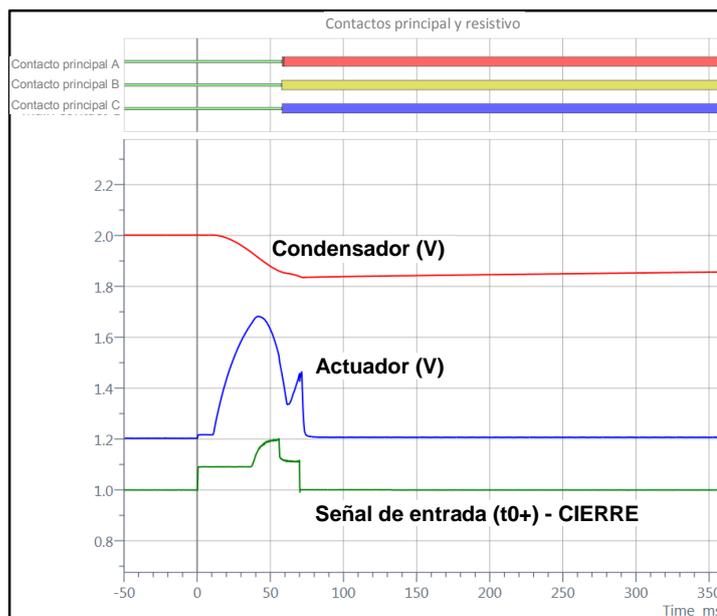


Figura 8 – Señales medidas

Deberá tenerse en cuenta que la tensión del condensador será probablemente superior al voltaje de toque permisible, por lo que deberán observarse las precauciones de seguridad. Siempre debe suponerse que el condensador está cargado. La corriente del actuador se medirá con una pinza de corriente de efecto Hall correctamente graduada. Dado que el interruptor solo energiza un lado del actuador a la vez, solo se requiere una pinza de corriente. Con una sola pinza de corriente pueden medirse los cables del actuador de DISPARO y de CIERRE. La aplicación práctica ha demostrado que conseguir la polaridad correcta de los cables del actuador es una tarea de prueba y error. Tener la polaridad equivocada solo hará que se invierta la forma de onda de corriente en el instrumento de prueba y no afectará a la prueba. Las figuras 10 y 11 ilustran el uso de una pinza de corriente de efecto Hall y la medición de la tensión del condensador, respectivamente.

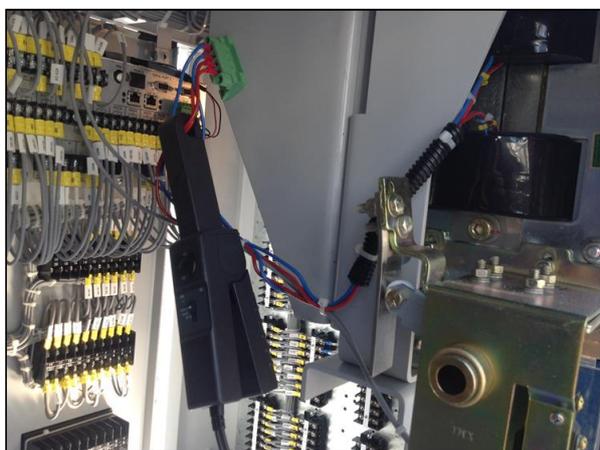


Figura 9 – Pinza de corriente de efecto Hall



Figura 10 – Medición de la tensión del condensador

Características de desempeño

En la tabla 3 se enumeran todas las características pertinentes del interruptor de potencia. Son siete en total, cuatro de ellas relacionadas con el sincronismo tradicional y tres relacionadas con los condensadores y el actuador magnético.

Tabla 3 – Características de desempeño del sincronismo

Sincronismo del contacto principal	El tiempo entre el comienzo de la prueba (inicio de la prueba) y el cambio de estado del contacto principal (conectar o interrumpir).
Sincronismo delta (discrepancia de polos)	El tiempo entre el cambio de estado del primer contacto y el cambio de estado del último contacto en un interruptor, una fase, o un módulo.
Tiempo de permanencia (disparo libre C-O)	El tiempo que los contactos principales permanecen abiertos durante la operación de disparo libre.
Tiempo muerto (recierre O-C)	El tiempo que los contactos principales permanecen cerrados durante la operación de recierre.
Tasa de carga del condensador	La tasa constante a la que se cargan los condensadores después de una operación. Esta será una función de la tensión del condensador en relación al tiempo, V/s.
Pico de corriente del actuador (O, C)	La corriente pico que pasa por el actuador, ya sea para una operación de DISPARO o de CIERRE.
Tiempo del actuador (O, C)	El tiempo que el actuador permanece energizado, ya sea para una operación de DISPARO o de CIERRE.

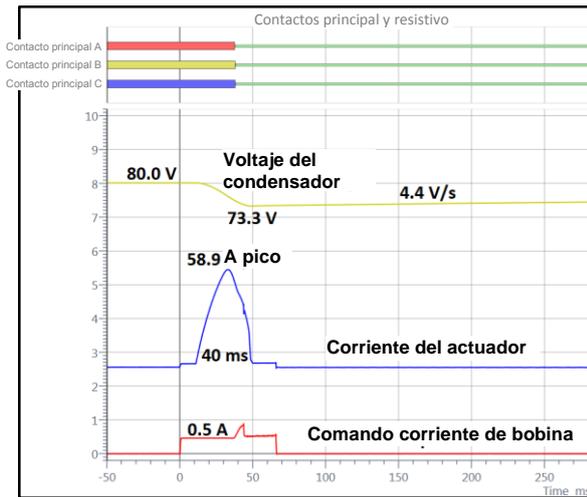
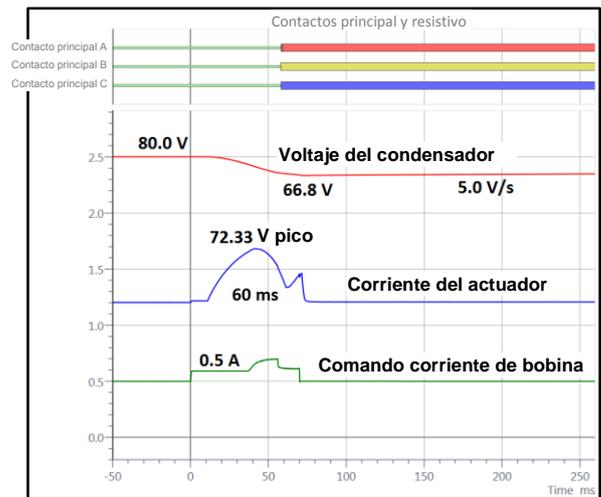
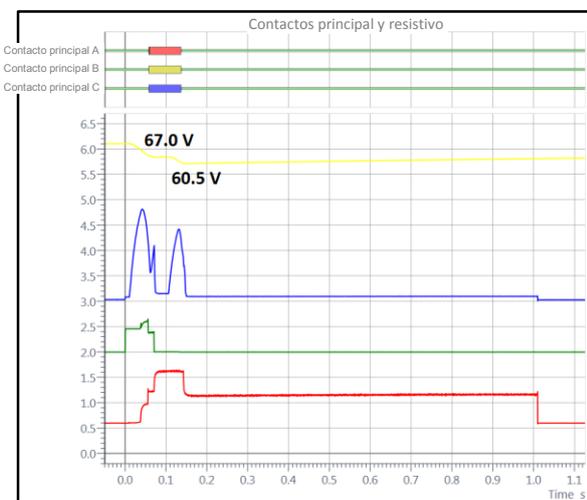
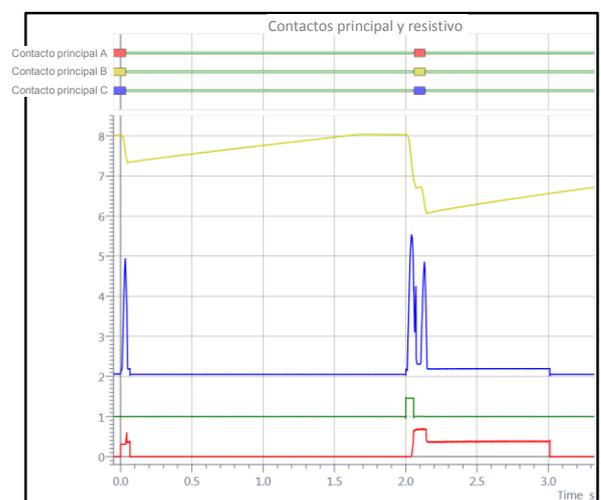
Análisis de los resultados

Los resultados de la prueba de sincronización y funcional se comparan directamente con las especificaciones de desempeño del fabricante y con resultados anteriores [1]. Todas las características de desempeño mencionadas tendrán criterios de incorrecta/correcta. En la tabla 4 se muestran las características típicas de desempeño. Hay que tener en cuenta que no todos los fabricantes documentan todos los límites de las características de desempeño; puede ser importante averiguar los límites que faltan con pruebas de puesta en servicio.

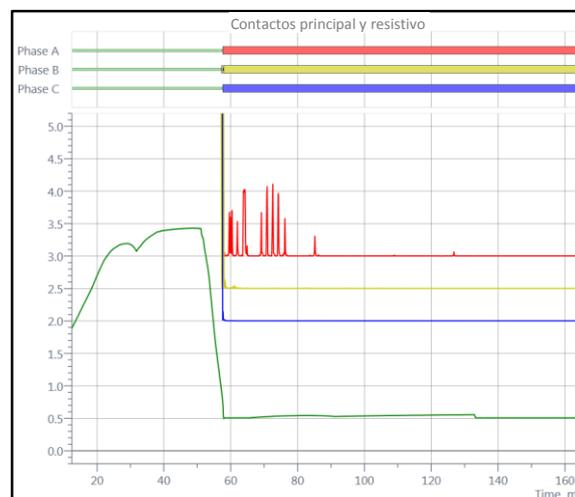
Tabla 4 – Límites de desempeño típicos proporcionados por el fabricante

Identificación	CB1
Tensión del condensador (estado estacionario)	80 VDC
Tensión del condensador (umbral de APERTURA "O")	49 VDC
Tensión del condensador (umbral de CO)	72,5 VDC
Tensión del condensador (O-0,3-CO)	78 VDC
Servicio de operación ANSI	O-0,3s-CO-3 min-CO
Tiempo de interrupción	< 50 ms
Tiempo de recierre (tiempo muerto)	300 ms mínimo

Las figuras 11 a 14 muestran las mediciones reales de DISPARO, CIERRE, SIN DISPARO y O-CO. Se calculan varias características asociadas con los condensadores y los actuadores magnéticos. En estas figuras se muestran valores como mínimas tensiones de los condensadores, velocidad de carga, pico de corriente del actuador y tiempo del actuador.


Figura 11 – APERTURA

Figura 12 – CIERRE

Figura 13 – SIN DISPARO (CO)

Figura 14 – OC-2,0-O

También pueden identificarse unos cuantos indicadores de diagnóstico, como el rebote de contactos. En interruptores de vacío, los contactos pueden experimentar discontinuidades durante la operación de CIERRE. La figura 15 ilustra el rebote inusual de un contacto principal. En este ejemplo, se registró la resistencia dinámica de contactos y se presentó para exagerar este efecto. Parece que el contacto en la fase A no se asienta correctamente.


Figura 15 – Rebote inusual de contactos

Resistencia de contacto

La medición de microohmios o la medición de la resistencia estática de contactos determina la integridad de la continuidad de los componentes del contacto principal. Unas lecturas anormales pueden indicar una alineación incorrecta, presión o superficies de contacto dañadas, como el chapado o el recubrimiento.

Esta es la prueba estándar que se realiza para medir el valor de la resistencia real de la continuidad del contacto y los componentes de serie asociados, como conexiones de bornas y tulipas. La medición estática produce un único valor dependiente de la temperatura en ohmios (Ω).

Se realizará una medición estática de contacto en cada fase, usando una fuente de corriente CC. Para los interruptores de vacío, las mediciones típicas son inferiores a $100 \mu\Omega$; sin embargo, se debe utilizar la literatura del fabricante para determinar el valor real esperado. La experiencia ha demostrado que las mediciones varían de $10 \mu\Omega$ a $100 \mu\Omega$ dependiendo del lugar donde se aplique esta medición, es decir, directamente en las botellas de vacío o en los terminales de borna. Se recomienda probar en los terminales de borna. Si se obtienen valores más altos de lo normal, pueden aislarse los componentes individuales y realizar mediciones adicionales. La figura 16 muestra la colocación seleccionada de cables directamente en las botellas de vacío.



Figura 16 – Cables colocados directamente en las botellas de vacío.

La tabla 5 enumera los resultados típicos de la resistencia estática de contactos. Muestra las diferencias entre las mediciones realizadas directamente en los terminales de la borna y las botellas de vacío.

Tabla 5 – Mediciones típicas de la resistencia de contactos

En	Fase A	Fase B	Fase C
Terminales	$100,02 \mu\Omega$	$99,44 \mu\Omega$	$99,15 \mu\Omega$
Botellas	$28,40 \mu\Omega$	$28,67 \mu\Omega$	$26,72 \mu\Omega$

Se recomienda que se inyecten al menos 100 A CC para esta prueba [2]. Hay que tener en cuenta también que si el interruptor está equipado con los TC, puede tardar varios segundos en saturar los efectos opuestos. Se deben tomar precauciones para garantizar que la corriente primaria máxima inyectada no afecte a los circuitos de protección.

Conclusión

- Los interruptores de potencia de vacío operados magnéticamente utilizan condensadores para almacenar la energía necesaria para operar el interruptor de potencia. Esta técnica utiliza unas cuantas partes móviles, pero es muy diferente de los métodos tradicionales, como los mecanismos de muelles, neumáticos e hidráulicos.
- Las placas de control han reemplazado a las bobinas de DISPARO y CIERRE electromecánicas. Ya no son necesarios voltiamperios para excitar estas bobinas de control. En su lugar se aplica una señal de tensión a través de una entrada de alta impedancia.
- Ahora se recomienda incorporar la tensión del condensador y la corriente del actuador a la lista de señales medidas para las pruebas de desempeño y funcionales. Estas señales proporcionan información para la verificación de la integridad del sistema de carga, los condensadores, y el actuador magnético.
- A partir de la tensión del condensador y del actuador se generan tres nuevas características de desempeño. Estas son: tasa de carga del condensador, corriente de pico del actuador y tiempo del actuador. En la actualidad, no existen valores estándar ni recomendados para estas características de desempeño. Sin embargo, con toda seguridad aumentarán su popularidad cuando se tenga más experiencia con estos interruptores.

Referencias

[1] ANSI/NETA MTS-2011, "Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems"

[2] P. Gill: "Electrical Power Equipment Maintenance and Testing" Second Edition, CRC Press, 2009



Charles Sweetser se licenció en Ingeniería Eléctrica en 1992 y concluyó un Máster en Ingeniería Eléctrica en 1996 en la Universidad de Maine. Se unió a OMICRON electronics Corp USA, en 2009, donde desempeña actualmente el puesto de PRIM Engineering Services Manager para Norteamérica. Antes de unirse a OMICRON, trabajó 13 años en el sector de diagnóstico y consultoría de aparatos eléctricos. Ha publicado varios artículos técnicos para IEEE y otros foros del sector. Como miembro del IEEE Power & Energy Society (PES)(PES) durante 15 años, participa activamente en el IEEE Transformers Committee, donde ocupó el cargo de Presidente del Grupo de trabajo de FRA PC57.149 hasta su publicación en marzo de 2013. También es miembro de varios otros grupos de trabajo y subcomités. Entre sus intereses adicionales se incluye la evaluación del estado de aparatos eléctricos y las descargas parciales.

OMICRON es una compañía internacional que presta servicio a la industria de la energía eléctrica con innovadoras soluciones de prueba y diagnóstico. La aplicación de los productos de OMICRON brinda a los usuarios el más alto nivel de confianza en la evaluación de las condiciones de los equipos primarios y secundarios de sus sistemas. Los servicios ofrecidos en el área de asesoramiento, puesta en servicio, prueba, diagnóstico y formación hacen que la nuestra sea una gama de productos completa.

Nuestros clientes de más de 140 países confían en la capacidad de la compañía para brindar tecnología de punta de excelente calidad. Los Service Centers en todos los continentes proporcionan una amplia base de conocimientos y un extraordinario servicio al cliente. Todo esto, unido a nuestra sólida red de distribuidores y representantes, es lo que ha hecho de nuestra empresa un líder del mercado en la industria eléctrica.

Para obtener más información, documentación adicional e información de contacto detallada de nuestras oficinas en todo el mundo visite nuestro sitio web.

www.omicronenergy.com