

¿SF₆ o vacío?



En busca del interruptor idóneo para Tensión Media

Guenther Leonhardt, Mauro Marchi, Giandomenico Rivetti

Más de treinta años de experiencia en el desarrollo de interruptores automáticos de SF₆ y de vacío, unidos a una cooperación cada vez más estrecha entre los centros de investigación participantes, proporcionan a ABB una clara ventaja para decidir qué tecnología es la mejor para una aplicación dada. El papel pionero de nuestra compañía le permite proseguir de forma exclusiva los trabajos de I+D en ambos frentes con el objetivo de elevar al máximo los niveles de rendimiento. Estos trabajos de investigación, unidos a un conocimiento muy profundo de la situación del mercado, permiten a ABB ofrecer asesoramiento y asistencia imparciales a aquellos clientes que buscan el equipamiento de conmutación más ajustado a sus necesidades.

Hace aproximadamente 35 años, a mediados de la década de los sesenta, se empezaron a comercializar dos nuevas tecnologías de corte de circuitos; como medio de extinción del arco, la primera utilizaba gas SF₆ y la segunda el vacío. Los trabajos de investiga-

ción y desarrollo de estas tecnologías han proseguido sin interrupción hasta hoy y ya puede afirmarse que han sustituido los antiguos equipos de conmutación. Sin embargo, no siempre ha existido acuerdo sobre el criterio adecuado para optar por una de estas dos tecnologías

dominantes. La selección de la opción final no suele hacerse de forma objetiva, basándose en características reales, sino bajo la influencia del fabricante del interruptor automático.

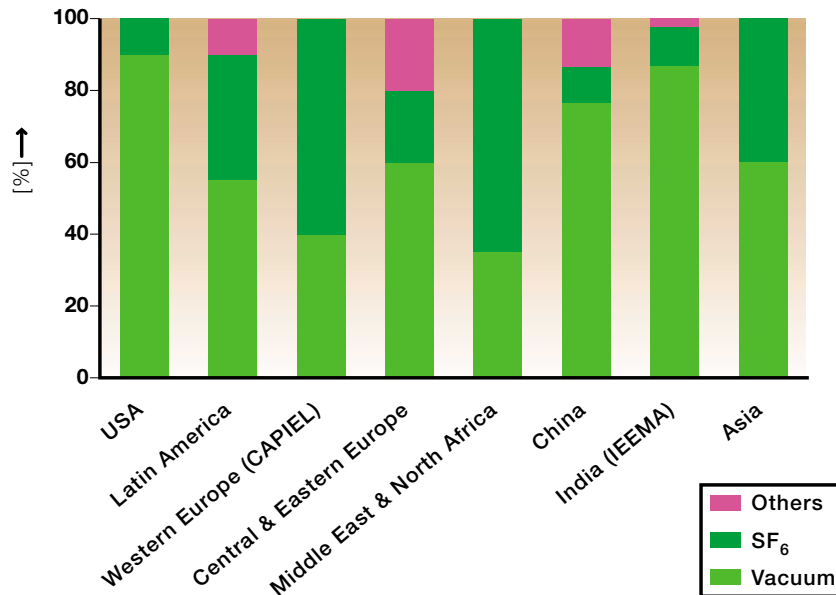
Los interruptores de SF₆ y de vacío gozan de una aceptación comercial variable en dife-

rentes partes del mundo **1**; Europa y la mayor parte de los países de Oriente Medio tienden a inclinarse por los interruptores de SF₆, mientras China, Japón y Estados Unidos prefieren sin lugar a dudas los interruptores de vacío. En otras zonas del mundo las dos tecnologías gozan de la misma aceptación. Las tecnologías que utilizan aceite, en baño o en una cantidad mínima, siguen utilizándose en China, Europa del Este, India y Latinoamérica, aunque se puede constatar una clara tendencia a la desaparición de dichas tecnologías, que pronto serán sustituidas por las tecnologías de SF₆ y de vacío.

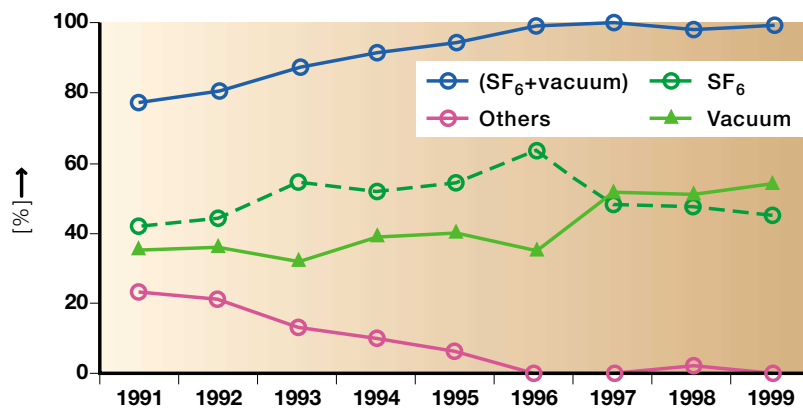
Actualmente, como puede verse en **2**, ABB está concentrada casi exclusivamente y con la misma intensidad en las dos tecnologías dominantes de interruptores, de SF₆ y de vacío.

La experiencia ganada con más de 300.000 interruptores de Tensión Media de uno u otro tipo instalados en todo el mundo, respaldada por más de 30 años de intensos trabajos de investigación [1], ha llevado a ABB al convencimiento de que ambas tecnologías son perfectamente complementarias, si bien en algunos casos se pueden considerar sus diferentes diseños como alternativos. A partir de la convicción de que tanto el hexafluoruro de azufre como el vacío son igualmente importantes, nuestra compañía ha continuado impulsando el desarrollo de ambos sistemas y, en tanto que mayor fabricante mundial de interruptores de Tensión Media, ocupa una posición única para proporcionar un asesoramiento y asistencia imparciales a la hora de seleccionar equipos de conmutación para cualquier aplicación específica.

La decisión de ABB de continuar con igual intensidad el desarrollo de ambas tecnologías ha generado varias ventajas importantes. La



1 Mercado mundial de interruptores automáticos de Tensión Media por regiones (1998)



2 Interruptores automáticos de Tensión Media fabricados por ABB

primera y más destacada es que el profundo conocimiento de las dos tecnologías ha mejorado el servicio al cliente. Al mismo tiempo, la intensa competencia entre los laboratorios de investigación de la compañía ha producido equipos con rendimiento máximo y, además, el intercambio de información entre ellos ha permitido aprovechar al máximo las sinergias

propias del trabajo hecho en paralelo. Ya desde el principio se vio claramente que el hecho de construir los interruptores de forma que sean perfectamente intercambiables **3** conllevaría grandes ventajas, tanto para el usuario como para el fabricante.

Al proceder de este modo, las dos tecnologías se benefician por igual de todos y cada

uno de los nuevos desarrollos. Entre ellos cabe señalar la utilización de actuadores magnéticos como mecanismo de funcionamiento y la integración de sensores en los paneles del equipamiento de conmutación. La intercambiabilidad total hace que la selección sea más sencilla para el usuario y que los factores estructurales hayan dejado de ser decisivos.

Características de interrupción del arco

Interruptores de SF₆

El hexafluoruro de azufre (SF₆) es un gas inerte artificial que tiene excelentes propiedades de aislamiento, así como una estabilidad térmica y química excepcionalmente altas. Estas características le han conferido un amplio uso en interruptores, tanto de alta como de Tensión

Media, mostrando en ambos casos un rendimiento y una fiabilidad muy elevados.

Las ventajas específicas del gas SF₆ en aplicaciones de ingeniería eléctrica han sido admitidas de modo general desde los comienzos de la década de 1930. No obstante, no se desarrollaron ni instalaron los primeros interruptores de Alta Tensión con aislamiento de SF₆ hasta finales de la década de los cincuenta. Los interruptores de SF₆ de Tensión Media fueron introducidos unos años después.

La primera generación de interruptores de SF₆ de Tensión Media utilizaba un sistema de gas a doble presión. Los diseños de segunda generación producían la diferencia de presión necesaria para producir el flujo del gas mediante un pistón accionado mecánicamente que comprimía un pequeño volumen de gas. El pistón estaba integrado en el conjunto

contacto móvil. Estos interruptores del tipo de “soplado mecánico” o “soplado simple” necesitaban un mecanismo relativamente potente [2]. Los diseños de tercera generación producían el flujo del gas utilizando la energía contenida en el arco. Este diseño de interruptor, llamado de “autoextinción” o de “soplado térmico”, requería una cantidad de energía significativamente menor para funcionar.

Los más de 30 años de experiencia acumulada por ABB y la investigación de los interruptores de segunda y tercera generación han culminado hoy en un nuevo diseño muy eficiente. El interruptor de tipo “Auto Puffer” combina las ventajas de los dos diseños precedentes. Un interruptor “Auto Puffer” funciona como un dispositivo de soplado simple al interrumpir corrientes de hasta el 30% de la máxima capacidad de ruptura nominal, y como

3 Interruptores automáticos de vacío VM1, de Tensión Media (a la izquierda), y HM1 de SF₆ con actuador magnético



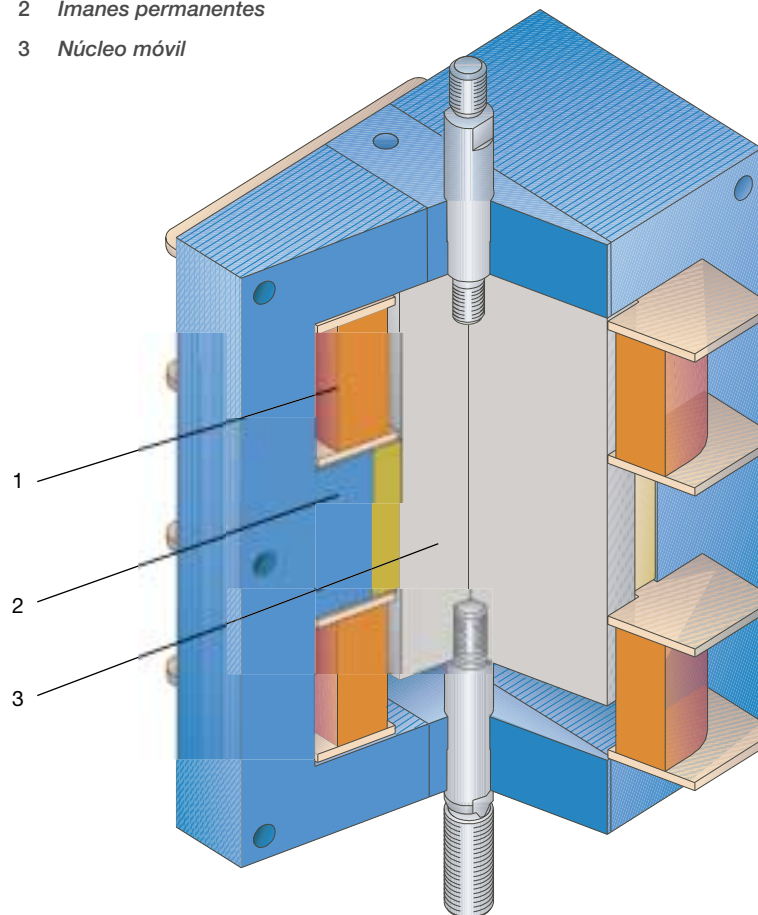
interruptor de tipo de autoextinción en caso de corrientes superiores. El interruptor de tipo "Auto Puffer" necesita únicamente una cantidad mínima de energía del mecanismo de funcionamiento, si bien ofrece los altos niveles de rendimiento de los interruptores de autoextinción. Una menor disipación de energía en el arco, tanto a bajos como a altos niveles de corriente de cortocircuito, garantiza una vida eléctrica más larga que cualquiera de los diseños anteriores. Estas excelentes prestaciones se obtienen sin comprometer la ausencia total de reencendidos, lo cual es una característica clave de la técnica de autoextinción. El diseño del mecanismo ha sido optimizado para generar tan sólo la presión suficiente para garantizar la segura interrupción de las corrientes dentro del intervalo operativo de la técnica de soplado mecánico. Por consiguiente, las pequeñas corrientes inductivas son interrumpidas de forma efectiva con factores de sobretensión inferiores a 2,5 pu.

Interruptores de vacío

Ya a principios del siglo XIX, la interrupción de corriente en el vacío se consideraba una técnica de conmutación 'ideal'. Sin embargo, diversas dificultades prácticas hicieron que se ignorase durante casi tres décadas. Uno de los problemas fundamentales era la fabricación de un contenedor aislante adecuado que permaneciese herméticamente sellado permanentemente. Dicho problema persistió durante varias décadas, hasta que a principios de los sesenta se desarrolló una solución que utilizaba contenedores de vidrio. Curiosamente, la tecnología básica de los recipientes de vidrio soplado ya había estado disponible durante siglos, dándose un nuevo paso adelante con el desarrollo de materiales cerámicos a base de óxido de

4 Sección del actuador magnético

- 1 Bobinas
- 2 Imanes permanentes
- 3 Núcleo móvil



aluminio (Al_2O_3), que tienen una resistencia mucho mayor a los esfuerzos cíclicos originados por las variaciones de temperatura.

Encontrar un material y una forma apropiados para los contactos del interruptor supuso también un serio problema. Los contactos debían mostrar una gran resistencia a la erosión del arco tanto durante las operaciones de apertura como de cierre y, además, toda erosión debía producirse de forma difusa y uniforme en toda la superficie del contacto. El material de contacto debía ser poco propenso

a la soldadura, tanto durante el proceso de cierre como después del mismo. También era importante obtener bajas características de corriente de corte al interrumpir corrientes débiles, así como lograr un efecto adecuado de absorción de gases residuales. La búsqueda del material apropiado mostró que la mayor parte de las propiedades requeridas se encontraban en el cromo. Posteriores investigaciones demostraron que el material compuesto por cobre y cromo era el más apropiado y el que mejor satisfacía las necesidades básicas. La

mezcla Cu/Cr con un contenido de cromo entre el 20% y el 60% es ahora el material estándar de los contactos, siendo utilizado por todos los fabricantes de interruptores de vacío.

El mecanismo de formación de portadores de carga proporciona a un interruptor de vacío la capacidad inherente de extinguir automáticamente arcos de corriente de valores bajos a medios cuando la corriente pasa por el valor cero. Sin embargo, una interrupción satisfactoria de las corrientes de cortocircuito requiere adoptar medidas adicionales de diseño. Los diseños iniciales utilizaban un electrodo de forma especial para producir un campo magnético radial en la zona de contacto del arco. Este campo magnético, al reaccionar con la corriente del arco, obligaba a la raíz de este a moverse continuamente alrededor de la superficie del contacto, impidiendo así el sobrecalentamiento local y un desgaste no uniforme.

Una mejora posterior del diseño, cuyo objetivo principal era aumentar la capacidad de interrupción de corriente hasta valores de corriente de cortocircuito extremadamente altos, fue el desarrollo del campo magnético 'axial'. De nuevo, un electrodo de diseño especial se utiliza para generar un campo magnético axial que distribuye la raíz del arco homogéneamente sobre toda la superficie del contacto.

Tendencias comunes en el desarrollo de interruptores de SF₆ y de vacío

Los interruptores automáticos de SF₆ y de vacío de ABB han venido siendo utilizados durante muchos años en los equipamientos de conmutación de Tensión Media: la experiencia ha mostrado que son fiables, que casi no necesitan mantenimiento y que su funcionamiento es

seguro. Las innovaciones realizadas en ambas tecnologías han mejorado constantemente su eficacia, han reducido las dimensiones de los equipos y, lo que es más importante, han disminuido la cantidad de energía necesaria para su funcionamiento.

Esta reducción de la energía de funcionamiento ha dado lugar al desarrollo de un diseño radicalmente nuevo del mecanismo de funcionamiento: el actuador magnético permanente.

Actuador magnético

El mecanismo de funcionamiento de un interruptor tiene la función, aparentemente 'sencilla', de mover los contactos desde la posición cerrada a la abierta o viceversa y, una vez que la posición requerida ha sido alcanzada, asegurar que los contactos permanezcan en esa posición hasta que se haya dado la orden precisa de que vuelvan a cambiar de posición. El mecanismo de funcionamiento es, por tanto, un actuador biestable típico. Esta función ha sido realizada de forma muy fiable y segura durante muchos años mediante dispositivos mecánicos de muelle y de retención. Sin embargo, las oportunidades que ofrecen hoy los avances en electrónica de potencia han derivado en la búsqueda de un dispositivo de funcionamiento más flexible y más fácil de controlar. Obviamente, un requisito esencial de cualquier nuevo sistema era garantizar un rendimiento igual o superior al del mecanismo tradicional basado en muelle, tanto en términos de fiabilidad como de seguridad y durabilidad.

Una solución apropiada se ha encontrado en el 'actuador magnético'. Un sistema especialmente diseñado que combina electroimanes con imanes permanentes proporciona la energía de funcionamiento necesaria para el

movimiento de los contactos, así como la esencial característica biestable. Los interruptores de SF₆ y de vacío son mantenidos en posición abierta o cerrada por la fuerza de un imán permanente sin necesidad de energía externa alguna. El cambio de estado de los contactos móviles es originado por un cambio de dirección del campo magnético resultante de la excitación de los electroimanes, que son los elementos de control del actuador. La modulación de la corriente de alimentación de los electroimanes permite que la energía desarrollada por el sistema sea ajustada a las necesidades de los diferentes tipos y valores nominales de interruptores automáticos.

El mecanismo de funcionamiento resultante tiene una construcción considerablemente más sencilla que el sistema mecánico convencional. La drástica reducción del número de piezas disminuye inherentemente las posibilidades de fallo, reduciéndose al mínimo el nivel de mantenimiento requerido. En **4** se muestra la construcción de dicho actuador, con núcleo de hierro laminado fijo, imanes permanentes, inducido de acero y bobinas de apertura y cierre. Todas las funciones auxiliares, tales como interbloqueo, señalización, desconexión, cierre, etc., y las funciones de autodiagnóstico, son proporcionadas electrónicamente. Un condensador electrolítico suministra la sobretensión transitoria necesaria para la apertura y el cierre de las bobinas.

Construcción básica de los dispositivos de conmutación

Los nuevos interruptores automáticos de SF₆ y de vacío accionados magnéticamente son totalmente intercambiables, tanto entre sí como con diseños anteriores. Esta intercambiabilidad es de gran importancia para los operadores de la

5 Interruptores automáticos de Tensión Media, VM1 de vacío (a la derecha) y HM1 de SF₆, donde se aprecia el pequeño número de componentes.



instalación, dado que permite reequipar con mínimo coste el instrumental de conmutación.

En **4** y **5** puede verse claramente el número, muy pequeño, de componentes utilizados, lo cual reduce significativamente la posibilidad de fallo.

La sencillez es también una de las características del polo de vacío incrustado y del interruptor de SF₆ que utiliza la técnica del autotampón, especialmente idónea para las aplicaciones de Tensión Media **6**.

Gracias a la tecnología de incrustaciones no se necesitan estructuras especiales de apoyo para el interruptor o sus terminales.

Conmutación rápida

Una propiedad importante del actuador magnético, ya mencionada, es la versatilidad de sus funciones de control. El aprovechamiento de su flexibilidad abre las puertas a nuevas soluciones para problemas importantes asociados a la distribución eléctrica, cuya resolución, cuando ha sido posible, ha supuesto siempre un alto coste. Uno de dichos problemas es la rápida conmutación de transferencia entre fuentes de energía en el caso de fallo en un sistema. Este problema se ha puesto especialmente de

manifiesto durante los últimos años por causa de la multiplicación de las cargas sensibles a la calidad de la energía, principalmente debida a la utilización de equipos electrónicos. La solución actual, basada en dispositivos de electrónica de potencia, es muy eficiente desde el punto de vista técnico, pero al mismo tiempo excesivamente cara. La introducción del actuador magnético ha permitido acelerar el funcionamiento de un interruptor automático de Tensión Media hasta el mínimo absoluto, es decir, al puro tiempo de extinción del arco. Mediante la utilización de interruptores automáticos de Tensión Media accionados magnéticamente y de una electrónica básica apropiada, ha sido posible reducir los tiempos de conmutación de transferencia de la fuente de potencia a menos de 40 ms. Este tiempo es tan corto que resuelve la mayor parte de los problemas provocados por las cargas sensibles a un coste muy competitivo comparado con el de las soluciones basadas en la electrónica de potencia [5].

Interruptor automático síncrono

La disponibilidad de estos nuevos interruptores automáticos con mecanismos de actuación magnética tiene otra ventaja importante, pues

crea las bases para una conmutación síncrona. Esta técnica de conmutación supone que los polos del interruptor funcionan independientemente, abriéndose o cerrándose cada uno de ellos en el momento más apropiado en función de las condiciones de corriente y/o tensión imperantes en la fase correspondiente. La conmutación síncrona minimiza los esfuerzos eléctrico y mecánico producidos tanto en el lado de alimentación como en el de carga del circuito conmutado, así como en el propio interruptor cuando se corta la corriente. Con la conmutación síncrona se minimiza la cantidad de energía que debe ser disipada en la cámara de interrupción y se reduce enormemente cualquier sobretensión derivada de la operación de conmutación. Todas estas ventajas son resultado de un preciso control del funcionamiento del interruptor, lo cual es posible gracias al actuador magnético. La precisión del control es tan grande que se puede sincronizar el término del desplazamiento del contacto móvil con el paso por cero de la corriente en cada fase. Además, la conmutación síncrona minimiza, teóricamente incluso hasta el valor nulo, los picos de la corriente de entrada y las sobretensiones que se producen durante la energización de las cargas inductivas o capacitivas. Dado el tipo de carga, estos resultados se obtienen controlando el cierre de los contactos de acuerdo con el máximo de corriente o de tensión. Las operaciones de cierre y apertura descritas se realizan con una tolerancia máxima de $\pm 0,5$ ms y ± 1 ms respectivamente. Estos valores son una medida efectiva del avance tecnológico conseguido al combinar la electrónica digital con el actuador magnético.

Esta evolución dará lugar a un aumento de fiabilidad del sistema eléctrico en su conjunto, así como a una mayor seguridad para los

operarios y a una reducción de costes asociada a la minimización del esfuerzo eléctrico y del desgaste del equipo eléctrico [6].

Integración con sensores y electrónica

El hardware y software disponibles hoy en día para ser utilizados con interruptores automáticos accionados magnéticamente permiten dar un nuevo paso adelante hacia la integración funcional completa. Con la programación informática adecuada y los sensores de corriente y de tensión necesarios, hoy es posible la integración directa de las funciones de protección en el sistema de control del interruptor. Esto convierte al interruptor automático en un dispositivo totalmente automatizado en materia de funciones de protección y de conmutación, lográndose máxima fiabilidad como resultado de reducir al mínimo los interfaces de los componentes. Esta total integración de las funciones básicas del equipamiento de conmutación ha demostrado ser el camino correcto a seguir en aplicaciones de distribución secundaria de Tensión Media, confirmando que es una técnica puntera en el campo de equipamiento de Baja Tensión .

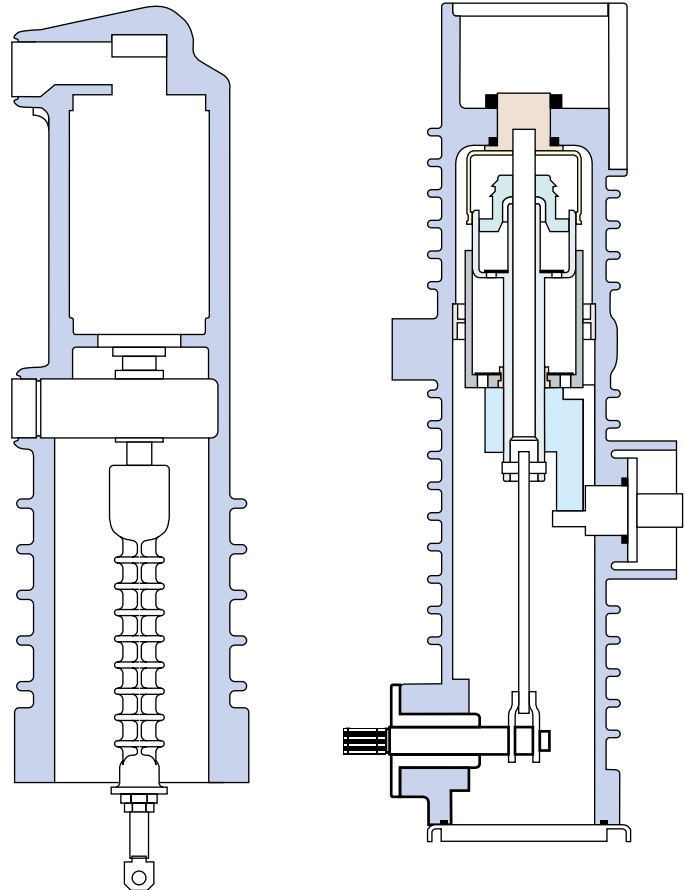
Prestaciones técnicas

Resistencia eléctrica y mecánica

Tanto los interruptores de SF₆ como los de vacío pueden ser considerados como exentos de mantenimiento. Los interruptores automáticos de alta calidad, de SF₆ y de vacío, cumplen los requisitos de clase B establecidos en la norma CEI 60056 [3], la cual indica que:

“Un interruptor automático de clase B (E2 en un futuro, según el borrador de la norma CED) está diseñado para que las piezas inte-

6 Sección del polo de vacío incrustado (a la izquierda) y del polo de SF₆ de autotampón



ruptoras no necesiten mantenimiento durante la vida útil prevista para el mismo; únicamente el resto de las piezas necesitarán mantenimiento, que será mínimo”. A partir de la experiencia, la norma CEI establece el número de operaciones que un interruptor automático deberá ser capaz de realizar en las severas condiciones de uso propias de una red conectada por línea aérea, inclusive la función de reconexión.

La norma prescribe dos ciclos de prueba alternativos para la comprobación de la resistencia eléctrica de un interruptor automático. El ciclo de prueba según la Lista 1 es el preferido. El ciclo de prueba de la Lista 2 puede ser utilizado como alternativa válida para interruptores automáticos utilizados en sistemas sólidamente

conectados a tierra. El nivel de severidad de estos dos ciclos de prueba se considera idéntico.

Fiabilidad del medio dieléctrico

Los modernos interruptores de SF₆ y de vacío están sellados permanentemente, por lo que se necesitan sistemas de diagnóstico para medir la presión del gas o el grado de vacío.

Sobretensiones de conmutación

Toda sobretensión de conmutación generada por interruptores que utilicen una u otra tecnología se mantiene dentro de unos límites que no suponen peligro alguno para los equipos o instalaciones conectados.

Debido a sus características de interrupción, intrínsecamente suave, los interruptores de SF₆ ofrecen dicho nivel de prestaciones sin necesidad de dispositivos adicionales.

Los interruptores de vacío que utilizan modernos materiales de contacto también presentan bajas corrientes de corte. Sin embargo, en casos excepcionales, y dependiendo de las características de la instalación concreta, podría ser necesario un estudio detallado de los parámetros del sistema con el fin de establecer la necesidad de dispositivos específicos limitadores de la tensión.

Impacto medioambiental

El funcionamiento de ambos tipos de interruptores automáticos no supone peligro alguno para la salud de los operarios. En el improbable caso de que se produzca una avería importante actuarían las válvulas de sobrepresión incorporadas a los interruptores automáticos de SF₆, mientras que los interruptores automáticos de vacío sólo estarían sometidos a fenómenos de implosión. La experiencia ha demostrado también que ningún producto emitido por los interruptores automáticos, de uno u otro tipo, constituye un peligro por toxicidad. Los materiales con que se construyen los componentes de ambos tipos de aparatos pueden ser fácilmente reciclados al final de su vida útil. El Protocolo de Kyoto, firmado en la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático del 10 de Diciembre de 1997, ha establecido la reducción de las emisiones de seis gases considerados como posibles causantes del calentamiento global, el SF₆ entre ellos. Por tanto fue necesario analizar las emisiones de gases causantes del efecto invernadero (SF₆ y CO₂) producidas por el proceso de fabricación y por las pérdidas de energía

durante el funcionamiento. La evaluación del ciclo de vida (LCA), realizada más tarde para los interruptores automáticos de SF₆ y de vacío, ha llevado a las conclusiones que exponemos a continuación, que son prácticamente idénticas para los dos tipos de equipos.

El impacto medioambiental durante las fases de fabricación y de funcionamiento debe ser considerado de forma separada. En el caso del interruptor automático de SF₆ se observa que el impacto medioambiental durante toda la fase de fabricación es más de 100 veces mayor que el producido a lo largo de un ciclo de vida completo de 30 años, dado que los interruptores automáticos de SF₆ de Tensión Media están sellados de por vida [4]. La producción de los componentes de cobre y de aislamiento del interruptor automático es lo que más contribuye al impacto medioambiental durante la fase de fabricación.

En cuanto al impacto medioambiental durante el funcionamiento, se puede calcular, basándose en una supuesta vida útil de 30 años y en una corriente media de carga del 20% de la intensidad nominal, que la fase de funcionamiento produce un efecto de calentamiento medioambiental 7 u 8 veces superior al causado durante la fase de fabricación. Esto se debe a las pérdidas de resistencia en el interruptor automático. El análisis muestra que el impacto medioambiental del gas SF₆ propiamente dicho, en relación con el impacto de todo el aparato a lo largo de todo su ciclo de vida, supone únicamente un 0,1% del total. Cuando se consideran los interruptores automáticos de vacío es evidente que, debido a la cantidad de cobre y al número de componentes aisladores, así como a la resistencia del circuito principal, los resultados están muy próximos a los

obtenidos para el interruptor automático de SF₆.

Considerando independientemente el efecto de calentamiento global, puede llegarse a la conclusión de que el impacto depende principalmente de las pérdidas de energía en el circuito principal. Sin embargo, dichas pérdidas son totalmente insignificantes si se comparan con las producidas por los cables, las conexiones y el resto de aparatos que conforman el sistema de distribución eléctrica.

Aplicaciones específicas de conmutación

Líneas aéreas y cables

Las dos tecnologías, usadas para la onerosa tarea de conmutación y protección de redes de distribución por línea aérea, en las que las corrientes de pérdida se distribuyen en todo el intervalo de corrientes, proporcionan sobradamente los márgenes adecuados por encima del máximo requerido por las normas pertinentes y por el funcionamiento normal.

Transformadores

Los modernos interruptores de vacío, así como los de SF₆, resultan apropiados para la conmutación de las corrientes de magnetización de transformadores descargados con sobretensiones inferiores a 3,0 pu. En casos especiales, por ejemplo cuando se utilizan interruptores de vacío para la conmutación de transformadores de tipo seco en instalaciones industriales, se debe recomendar el uso de limitadores de sobretensión.

Motores

Al seleccionar interruptores para fines de conmutación de motores se debe prestar

especial atención a los problemas de sobretensiones durante el funcionamiento. El límite previsto para sobretensiones de menos de 2,5 pu se puede obtener con ambas tecnologías. Si se utilizan interruptores de vacío para la conmutación de pequeños motores (con intensidades de puesta en marcha inferiores a 600 A), podría ser necesario aplicar medidas encaminadas a limitar las sobretensiones debidas a los múltiples reencendidos. Sin embargo, la probabilidad de que surja este fenómeno es baja.

Baterías de condensadores

Ambas tecnologías son apropiadas para la conmutación de baterías de condensadores sin reencendidos de arco. Cuando se deban conmutar condensadores acoplados podría ser necesario instalar reactancias inductivas a fin de limitar las corrientes de entrada. El control síncrono de los interruptores es una solución efectiva para este problema. El SF₆ está recomendado específicamente para aplicaciones con tensiones superiores a 27 kV nominales.

Hornos de arco eléctrico

La conmutación de hornos de arco eléctrico se caracteriza a menudo por su frecuente uso de altos valores de corriente a intervalos cortos. Los interruptores de vacío son especialmente idóneos para estas condiciones de uso.

Bobinas de reactancia en derivación

Los interruptores automáticos de SF₆ son apropiados para la conmutación con sobretensiones generalmente inferiores a 2,5 pu. Si se utilizan interruptores de vacío podría ser necesario, en determinadas condiciones, tomar medidas adicionales para limitar las sobretensiones.

Tracción de ferrocarril

En principio, ambas tecnologías de conmutación son apropiadas para este fin. Sin embargo, en el caso de aplicaciones de baja frecuencia (por ejemplo 16,67 Hz), se recomienda el uso de interruptores de vacío.

Adaptación del interruptor a su tarea

Treinta años de experiencia a nivel mundial en el desarrollo, fabricación y comercialización de interruptores de Tensión Media, tanto de SF₆ como de vacío, han puesto claramente de manifiesto que las dos tecnologías son válidas en sí mismas y complementarias desde el punto de vista de su uso. Los factores económicos, las preferencias del usuario, la 'tradicción' nacional, el nivel de competencia y las necesidades específicas de interrupción son los factores de decisión que favorecen a una u otra tecnología. Entre dichas aplicaciones especiales destacan la conmutación de trans-

formadores secos, los motores de pequeño tamaño, los condensadores, los hornos de arco eléctrico, las bobinas de reactancia en paralelo y los sistemas de tracción para ferrocarril. La necesidad de 'conmutación frecuente' o de 'conmutación suave' puede ser un elemento adicional que influya en la opción final. En dichos casos podría ser necesario hacer un profundo estudio de la instalación prevista a fin de poder encontrar la respuesta más adecuada. ABB dispone de los conocimientos técnicos y de la experiencia necesarios para asesorar y asistir imparcialmente a los usuarios en la selección de los interruptores más apropiados para cada aplicación particular.

Autores

Guenter Leonhardt

ABB Calor Emag
Oberhausenerstraße 33
40472 Ratingen, Alemania
guenter.leonhardt@de.abb.com

Mauro Marchi

ABB Power Distribution
Via Friuli 4, 24044 Dalmine (BG), Italia
mauro.marchi@it.abb.com

Giandomenico Rivetti

ABB Power Distribution
Via Friuli 4, 24044 Dalmine (BG), Italia
giandomenico.rivetti@it.abb.com

Bibliografía

- [1] D. Braun, W. Heilmann, A. Plessl: Criterios de aplicación para interruptores automáticos de SF₆ y de vacío. Revista ABB 4/89, 25–33.
- [2] A. Plessl, L. Niemeyer, F. Perdoncin: Investigación para interruptores automáticos de SF₆. ABB Revista 2/89, 3–10.
- [3] IEC 60056 – High-voltage alternating-current circuit-breakers, Amendment 3, 1996-09.
- [4] R. Borlotti, A. Giacomucci: A simplified LCA of SF₆ medium-voltage circuit-breaker. 7th SETAC Symposium, Brussels, 1999.
- [5] R. Tinggren, Y. Hu, L. Tang, H. Mathews, R. Tyner: Power factor controller – an integrated power quality device. 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference, New Orleans.
- [6] C. Cereda, C. Gemme, C. Reuber: Synchronous medium-voltage circuit-breaker: ABB solution based on magnetic drive and electronic control. 15th International Conference and Exhibition on Electrical Power Distribution Engineering, CIRED, Nice, 1999.