ABB

revista

1|11

La revista técnica corporativa

Un año de innovaciones 6
Instrumentos que capturan energía 47
Motores sin chispas 52
Datos compartidos en las subestaciones 73

Innovación

Power and productivity
for a better world™

La portada de este número de la *Revista ABB* recoge algunas vistas de la imponente arquitectura del Yas Hotel de Abu Dhabi. Si bien es difícil que los visitantes dejen de percibir el fascinante diseño del edificio, probablemente la mayoría no será consciente de que otra gran innovación contribuye también a su comodidad: el sistema de control de edificios i-bus KNX de ABB.

Los productos y servicios del mundo del mañana dependerán de la interacción entre numerosas innovaciones de distintas áreas de investigación y desarrollo. El presente número de la *Revista ABB* contempla una selección de avances recientes conseguidos por la empresa.

Innovaciones

6 **Lo más destacado en innovación**
Las 11 mejores innovaciones para 2011
12 **CLEEN y la innovación**
Cómo la colaboración apoya el trabajo de investigación y desarrollo de ABB

Aparamenta

18 **La eVolución inteligente**
El eVD4 aporta sencillez y fiabilidad a las redes de distribución de media tensión
24 **Un interruptor sísmico**
La aparamenta homologada para centrales eléctricas nucleares es un eslabón crítico de la cadena

Accionamientos y convertidores

29 **El valor del accionamiento**
Accionamientos para molinos de tipo piñón-corona de ABB (parte 1)
36 **En tierra y a bordo**
Examen de las tecnologías de muelle y embarcadas y de la normalización del suministro eléctrico a los buques amarrados
41 **El convertidor de cinco niveles**
La tecnología ANPC-5L y el accionamiento ACS 2000

Productividad

47 **Tiempo de recolección**
La captación de energía para la creación de dispositivos realmente autónomos en procesos industriales
52 **Seguridad sin chispas**
Motores y generadores síncronos y de inducción con un funcionamiento garantizado sin chispas
56 **Los motores que vienen**
Los motores síncronos controlados por VSD proporcionan una mayor eficiencia a las aplicaciones industriales

Energía

63 **El otro combustible alternativo**
La eficiencia energética es una pieza esencial de una política energética sostenible para muchas centrales eléctricas
68 **Sobrevivir a un rayo**
ABB ayuda a que los transformadores de distribución sobrevivan a las perturbaciones transitorias rápidas de tensión
73 **Compartir valores**
ABB está realizando la primera instalación comercial de la tecnología de bus de proceso IEC 61850-9-2 LE

Cuestionario

78 **Aquí están los resultados**
Encuesta a los lectores de la *Revista ABB*

Innovaciones

Peter Terwiesch
Director de Tecnología
ABB Ltd.

Estimado lector:

La tecnología es un aspecto determinante de la sociedad moderna. Para comprender en qué forma dependemos de determinadas tecnologías, no tenemos más que observar los procesos de fabricación de los que dependemos o el suministro de energía eléctrica que mantiene encendidas nuestras luces. La medida en que el mundo del mañana difiera del actual dependerá en gran manera del progreso tecnológico y de los avances que surjan entre tanto. Gracias a sus laboratorios de I+D, ABB puede vanagloriarse de desempeñar un papel fundamental, si no determinante, en anticipar algunas de las tecnologías que contribuirán a nuestro futuro.

En este número de la *Revista ABB* se presentan en breves artículos 11 innovaciones seleccionadas en los laboratorios de ABB de todo el mundo. Muchas de ellas se analizan más a fondo en este número de la revista, en otros anteriores y en otros por venir.

Un área que ha dado lugar a cambios enormes en las últimas décadas es la electrónica de potencia. Los aparatos con semiconductores, compactos y fiables, permiten transformar la energía eléctrica con un grado sin precedentes de flexibilidad, eficiencia y control. La *Revista ABB* dedica tres artículos a accionamientos y convertidores. En uno de ellos se examina el ACS 2000, ganador de premios, el primer accionamiento de media tensión sin transformadores de ABB.

Los motores son importantes en prácticamente todos los procesos de fabricación y se adaptan para muchas aplicaciones distintas. Un artículo contempla los motores sin chispas de ABB y su importancia para la protección frente a explosiones. En otro artículo, presentamos los motores síncronos de ABB con pocas pérdidas. Ampliando el campo de visión a la eficiencia energética, un documento que hace pensar propone que la reducción de CO_2, resultado del aumento de eficiencia de las centrales, equivale a utilizar un combustible alternativo y muestra la forma en que los productos de ABB pueden lograrlo.

Las plantas de procesamiento utilizan innumerables sensores y actuadores. Para funcionar, muchos de ellos sólo requieren pequeñas cantidades de energía, pero un reto importante puede ser garantizar la continuidad de este suministro. Una alternativa a su alimentación con cables o baterías es la extracción de la energía del entorno que los rodea (efectos termoeléctricos o vibraciones, por ejemplo). La *Revista ABB* lo estudia en un artículo sobre la captura de energía.

En el ámbito del transporte y la distribución, ABB ha desempeñado, y sigue desempeñando, un importante papel en el desarrollo de la norma IEC 61850 para la comunicación en subestaciones. La *Revista ABB* dedica un artículo a un hito importante: la mejora en curso de una serie de subestaciones en Australia, que representa la primera aplicación comercial de la IEC 81850-9-2. Esta subsección de la norma representa un importante paso adelante para la comunicación digital en las subestaciones. Otros artículos tratan de los distintos tipos de aparamenta y de la protección de los transformadores frente a los rayos.

Confío en que las innovaciones presentadas en este número de la *Revista ABB* aumentarán el conocimiento del lector del potencial que tienen y le inspirarán para descubrir formas para su buena aplicación.

¡Qué disfrute de su lectura!

Peter Terwiesch
Director de Tecnología
ABB Ltd.

Lo más destacado en innovación

Las 11 mejores innovaciones para 2011

ABB trata continuamente de reforzar y ampliar aún más su cartera de productos. Los laboratorios de I+D de la empresa repartidos por todo el mundo trabajan con ahínco para crear tecnologías, productos y soluciones que mejoren aún más la productividad, la eficiencia y la flexibilidad de las actividades de sus clientes. Los éxitos que nos apuntamos todos los años son numerosos, y elegir los más notables no es tarea fácil. La selección actual es una muestra representativa de éxitos recientes. Se examinan con más detalle muchos de ellos, así como otros logros tecnológicos, en este número y en otros próximos de la *Revista ABB*.

El soldador de brazo delgado

ABB ha agregado un nuevo modelo a su familia de robots de gama media IRB 2600: el IRB 2600ID. El ID que aparece en el nombre se refiere a su configuración mecánica integrada, con el paquete de mangueras de soldadura al arco canalizado por el interior del brazo superior y la muñeca del robot.

Esta disposición va más allá de la buena estética. Como ya no hace falta tener en cuenta el giro de los cables, el movimiento del robot es totalmente previsible. Esto hace que la programación del robot sea más fácil y admita movimientos más rápidos. Gracias al brazo y la muñeca más delgados, el robot puede entrar en espacios reducidos y resolver dificultades como soldaduras circulares sin mengua de la calidad o la velocidad.

Con todos los cables y mangueras firmemente sujetos, se reduce también la exposición a las salpicaduras de soldadura, lo que prolonga considerablemente su vida útil. Los costes de adquisición y sustitución se reducen hasta en un 75% y pueden eliminarse hasta tres paradas de producción al año. Hay paquetes completos de soldadura adaptados al IRB 2600ID de varios proveedores importantes de equipos de soldadura, como Fronius, Esab, Binzel y SKS.

El IRB 2600ID ocupa muy poco espacio. El radio de giro de la base es sólo de 337 mm y su anchura, de 511 mm. Para aplicaciones de soldadura por arco, el riesgo reducido de interferencias con otros robots permite instalaciones productivas de alta densidad con un 50% más robots y una salida por celda de producción hasta un 50% mayor.

Para más información sobre robots de ABB, visite www.abb.com/robotics

Primera instalación comercial ajustada a la IEC 61850-9-2

La IEC 61850 es una norma que permite tanto la comunicación entre dispositivos como el uso en común de datos en la automatización de subestaciones. La sección IEC 61850-9-2 de la norma describe el uso en común de valores analógicos en el bus de proceso. ABB está instalando actualmente la primera aplicación en el mundo de un bus de proceso que cumple con esta sección.

Un bus de proceso es la red de comunicación entre los equipos del primario (como interruptores automáticos y transformadores de instrumentos) y los del secundario (como los dispositivos de protección y control) de un sistema de automatización de una subestación. Transmite datos analógicos (medidas de intensidad y tensión), datos binarios (indicaciones de posición de la aparamenta) y órdenes de disparo y cierre (para accionar interruptores automáticos y seccionadores). Antes de la aparición de la nueva norma, esta comunicación habría requerido normalmente un abundante cableado de cobre.

La IEC 61850-9-2 ofrece muchas ventajas. Puesto que el bus es óptico, se reducen los riesgos debidos a la alta tensión. Asimismo se simplifica el mantenimiento, ya que los componentes electrónicos se pueden sustituir sin necesidad de apagar todo el sistema. La presentación de la IEC 61850-9-2 va acompañada por

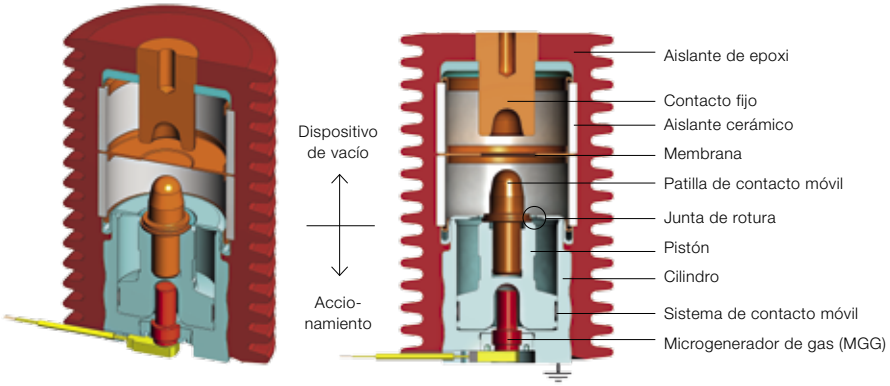
la introducción de un conjunto de herramientas de prueba y diagnóstico.

Para obtener más información, consulte “Valores compartidos” en la página 73 de este número de la *Revista ABB*.

Velocidad y seguridad en la aparamenta

Las tecnologías del bien conocido interruptor de vacío de acción rápida y del dispositivo de conmutación y limitación más rápido del mundo, el Is-limiter, ambos de ABB, se han combinado de forma inteligente para construir un sistema de protección contra fallos por formación de arco para la aparamenta de media tensión (arco interno clasificado) nueva y de generaciones anteriores que trabaja en la gama ultrarrápida.

El sistema funciona según el principio de que la liberación incontrolada de energía producida por un fallo de arco interno se impide mediante la rápida puesta a tierra trifásica metálica. Este tipo de conexión, que se caracteriza por una impedancia muy baja, hace que la corriente de cortocircuito de una avería por formación de arco se conmute inmediatamente al innovador interruptor de puesta a tierra de acción rápida y apague el arco.



El nuevo interruptor ultrarrápido de puesta a tierra (UFES) contiene tres elementos de conmutación primarios (cada uno de ellos incluye una cámara de vacío de dos partes encapsulada en resina epoxi) y una unidad electrónica de disparo rápido para la detección rápida y fiable de las corrientes de fallo e intensidad luminosa del arco en el compartimiento. Con un tiempo de conmutación extremadamente corto, de menos de 1,5 ms, este dispositivo garantiza la extinción casi inmediata de todos los arcos.

En términos técnicos, la disponibilidad del sistema y la seguridad del operario se ven notablemente reforzadas para tensiones nominales de hasta 40,5 kV e intensidades nominales no disruptivas de corta duración (1 s) de hasta 63 kA. Desde un punto de vista económico, los tiempos de parada y los costes de reparación por avería se reducirán drásticamente, al tiempo que aumenta la disponibilidad del sistema.

Para obtener más información acerca del conmutador a tierra ultrarrápido de ABB, consulte “Rapidez, seguridad y ahorro” en la *Revista ABB* 2/2010, páginas 84–87.

GIS compacto y verde

ABB ha presentado su serie de aparamenta aislada por gas (GIS) ENK de 72,5 kV. Sus notables características incluyen una ocupación de espacio un 25% menor que los productos existentes de prestaciones similares, y una reducción del 50% de la cantidad de gas SF_6.

La serie ENK incorpora una tecnología avanzada de enchufar-y-conmutar y una interfaz inteligente con el secundario para satisfacer los requisitos de futuras redes inteligentes. Otras nuevas características son la mayor facilidad de manejo y el rápido acceso al mecanismo de accionamiento desde el panel frontal, además de transformadores de corriente situados en el exterior del compartimiento de gas.
Con sus conexiones enchufables de la barra de bus y el envío de bahías completas, probadas en fábrica, la GIS ENK se puede instalar fácil y rápidamente en su emplazamiento. Está clasificada para una tensión nominal de 72,5 kV y se ofrece para intensidades nominales de hasta 2.500 A y 40 kA en cortocircuito en versiones que cumplen las normas IEC e IEEE.

La compacidad y modularidad de la GIS la hace ideal para su instalación en lugares donde el espacio está limitado, como en las ciudades. Es posible incluso su instalación en interiores. ABB ofrece asimismo GIS para aplicaciones marinas y móviles. La empresa fue la primera en lanzar GIS de alta tensión en 1965, y es el líder mundial en tecnología GIS de alta tensión, con más de 20.000 bahías instaladas y en funcionamiento en todo el mundo.

Inalámbrico y autónomo

En el sector de la transformación, los sensores retransmiten la información que se utiliza para ayudar a optimizar la fiabilidad y la disponibilidad. Los sensores necesitan cables de alimentación y comunicación, un factor que se suma al coste y la complejidad de instalación. Aunque se utilizan baterías para alimentar muchos dispositivos inalámbricos, la necesidad de su sustitución a intervalos regulares puede neutralizar los ahorros de disponer una primera línea de sensores inalámbricos. Es aquí donde la captura de energía (EH) puede aportar una solución.

EH es el proceso por el que se capta la energía de fuentes externas al dispositivo y se convierte en energía eléctrica para alimentar equipos electrónicos de baja potencia. Las fuentes de alimentación usuales incluyen procesos fríos y calientes, radiación solar y energía de vibración y la energía cinética de los medios fluidos o las piezas móviles.
EH puede ser un proceso discontinuo o puede suministrar ocasionalmente más energía de la que realmente se necesita. En cualquier caso, se necesitarán dispositivos de almacenamiento (por ejemplo, condensadores especiales, baterías primarias o secundarias) para resolver las situaciones en que el dispositivo de captura no pueda suministrar energía suficiente al nodo de sensores. También hace falta un sistema de gestión de la energía adecuado para disponer de una alimentación realmente autónoma.
La investigación de ABB ha dado lugar a un transmisor de temperatura completamente autónomo basado en un sistema EH totalmente integrado. Se han integrado generadores termoeléctricos en el dispositivo, que incluye asimismo una solución inteligente de gestión de la energía cuando la temperatura del proceso es insuficiente para generar energía suficiente.

Para más información sobre captura de energía consulte “Tiempo de recolección” en la página 47 de este número de la *Revista ABB*.

Sistema 800xA versión 5.1

Desde su primera presentación en 2004, el sistema Extended Automation System 800xA de ABB ha sido adoptado por más de 6.000 clientes. El sistema ha mejorado la eficacia de los operadores, conseguido soluciones de control sin problemas e integrado sistemas distintos y normalmente separados. La versión 5.1, presentada en 2010, introduce otros avances y mejora las prestaciones, la facilidad de uso y la eficacia de los operadores.

Un área en la que la versión 5.1 incluye ventajas notables es la de ingeniería y gestión de cambios. La herramienta de análisis de tareas permite evaluar una aplicación antes de descargarla, y muestra, entre otros aspectos, la latencia y los conflictos. El informe detallado de diferencias resalta las modificaciones efectuadas en las aplicaciones de control y en los gráficos.

La nueva versión incluye asimismo un nuevo miembro de la familia del controlador AC800M, el PM891, con aproximadamente tres veces la velocidad de reloj (450 Mhz) y cuatro veces la memoria de su predecesor que hacen de él el más potente controlador de su categoría. La virtualización reduce el número físico de ordenadores personales hasta en un 75%. Esta ocupación de espacio considerablemente menor reduce también el consumo de energía y los requisitos de mantenimiento.

Las mejoras de la capacidad de gestión de alarmas incluyen nuevas inhibiciones de alarmas y funciones de análisis y mejoras de la funcionalidad del compartimiento de alarmas. También mejoran la seguridad y la conectividad.

Estos cambios no reflejan sino una pequeña parte de las mejoras generales introducidas en el sistema 800xA con la versión 5.1.

El sistema 800xA versión 5.1 se examinará con más detalle en un próximo número de la *Revista ABB*.

Interruptores que eVolucionan

Nuevas y avanzadas tecnologías están permitiendo el desarrollo de productos muy integrados y versátiles. Uno de estos dispositivos, el interruptor automático eVD4, permite proyectos de aparamenta de media tensión fáciles, flexibles y fiables. Este interruptor supone un importante paso hacia adelante en términos de prestaciones, sencillez (se caracteriza por un reducido número de componentes muy fiables y puede personalizarse con una amplia gama de accesorios que se instalan fácil y rápidamente), fiabilidad para una amplia gama de aplicaciones, seguridad y rentabilidad.

El eVD4 se basa en el interruptor automático de vacío VD4 de ABB accionado mecánicamente, e incorpora el dispositivo electrónico inteligente (IED) basado en Relion especialmente diseñado RBX615 (IED), así como sensores modernos de intensidad y tensión. La unidad RBX615 garantiza la protección general de tendidos aéreos y cables y sistemas de barras de bus de subestaciones de distribución, y es adecuada para cualquier red radial de distribución. La tecnología empleada para desarrollar los sensores ha ayudado a reducir el tamaño del equipo, mejorar el rendimiento y aumentar la normalización. Esta combinación de sensores e IED permite una supervisión precisa y fiable y el registro de los parámetros de red, al tiempo que proporciona una mejor protección de los operarios y de los equipos de las subestaciones.

El interruptor eVD4 cumple íntegramente la norma IEC 61850 y la funcionalidad GOOSE, lo que a su vez asegura la compatibilidad con nuevos sistemas de comunicación de subestaciones.

Encontrará más información sobre el interruptor eVD4 en “La eVolution inteligente”, en la página 18 de este número de la *Revista ABB*.

Cargador rápido de CC de ABB

Los cargadores rápidos de CC (corriente continua) se están aceptando como un elemento clave para los vehículos eléctricos. A diferencia de la carga de CA, que se basa en un pequeño convertidor de carga situado dentro del coche y que puede efectuar la carga en una noche, los cargadores rápidos de CC sacan el convertidor de carga fuera del coche y lo instalan en una infraestructura que pueden compartir muchos vehículos. Esto permite efectuar cargas de gran potencia sin gravar los vehículos con un peso y unos costes importantes, y presenta la ventaja añadida de disponer de varios medios para gestionar los efectos sobre la red eléctrica comercial.

Las actividades de ABB en la infraestructura de movilidad eléctrica dieron un salto considerable con la homologación a primeros de noviembre de 2010 de su cargador rápido de CC que cumple con la norma CHAdeMO y la instalación posterior en el primer centro piloto, el Parque de Ciencia y Tecnología de Hong Kong, con la compañía eléctrica China Light and Power.

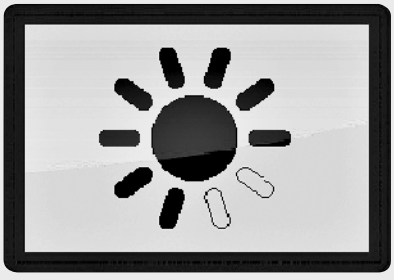
La norma CHAdeMO es la más aceptada para la carga rápida de CC. Ha sido admitida por numerosos grandes fabricantes de vehículos, y en 2010 se lanzó el primer vehículo apto para la carga rápida en CC producido en masa; se han previsto más lanzamientos para 2011 y 2012.

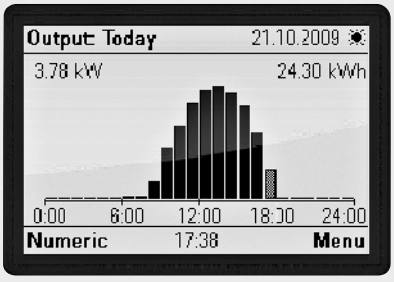
ABB ha trabajado con técnicos de homologación de CHAdeMO de la Tokyo Electric Power Corporation para lograr este hito. Mediante este esfuerzo conjunto, se consiguió la homologación en un tiempo récord y la instalación piloto se terminó sólo dos días después. El nuevo cargador rápido de CC de ABB ha demostrado inmediatamente su rendimiento como punto principal de carga rápida para los vehículos del desfile Hong Kong EV después del EVS-25 (el Simposio y Exposición Mundial de Vehículos Eléctricos) en Shenzhen, efectuando la carga rápida de una línea de siete vehículos Mitsubishi “i MiEV” de la compañía eléctrica China Light and Power.

Encontrará más información sobre la carga de vehículos eléctricos en “El amanecer de una nueva era”, en la página 77 de la *Revista ABB* 2/2010.

Una central eléctrica doméstica

ABB tiene ya una presencia asentada en el mercado de los inversores de conexión de grandes paneles fotovoltaicos a la red. Pero, ¿qué hay de las instalaciones de menor tamaño, como los paneles colocados en las cubiertas de edificios residenciales y comerciales?
El nuevo inversor string de ABB combina una interfaz fácil de usar y una instalación sencilla con altas prestaciones y protección avanzada, lo que permite a los usuarios, no sólo contribuir a sus propias necesidades de electricidad, sino también inyectar energía en la red.





Un inversor instalado en casa debe ser tan sencillo que todos los miembros del hogar puedan entenderlo. El inversor string de ABB incluye un mando a distancia intuitivo, que se inicia con un sol cuyo número de rayos refleja la intensidad luminosa solar y permite verificar inmediatamente y en cualquier momento la actividad del inversor. Para usuarios preocupados por su inversión, la unidad puede mostrar histogramas y registros de producción a lo largo del tiempo. Hay un tercer nivel de complejidad para técnicos e informes sobre numerosos detalles técnicos. El inversor string cuenta con una protección avanzada contra las sobretensiones y un diseño muy compacto.

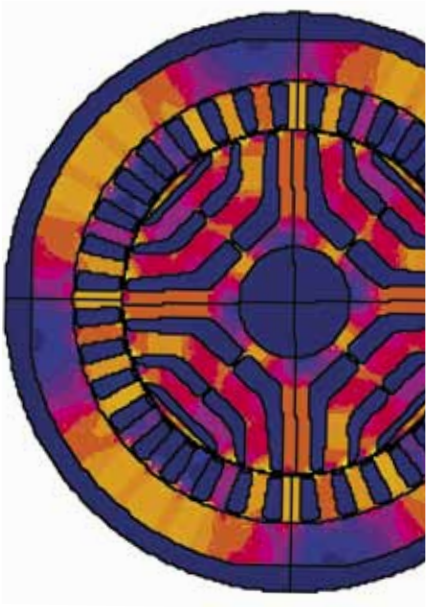
Se hará una presentación más completa del inversor string de ABB en un próximo número de la *Revista ABB*.

Un motor de pérdidas reducidas

La afinada estructura del rotor de los motores de reluctancia síncronos de ABB elimina las pérdidas en la jaula del rotor y, de este modo, aumentan la eficiencia y compacidad. La posibilidad de conseguir unos niveles normales de potencia manteniéndose en la clase A de aumento de la temperatura (60 K) mejora la vida útil del aislamiento del motor y prolonga la vida de los cojinetes o los intervalos entre engrases.

Los motores síncronos controlados por accionamientos de velocidad variable aumentan la eficiencia energética de muchas aplicaciones industriales. La mayoría de las aplicaciones tienen en común la necesidad de que el motor sea lo más eficiente posible y tenga una vida útil lo más larga posible sin aumentar al mismo tiempo las exigencias de mantenimiento o las averías. Los motores síncronos de reluctancia de ABB (a menudo llamados SynRM) utilizan el principio magnético de la reluctancia. Son más pequeños, lo que ayuda a los fabricantes de máquinas a diseñar equipos más pequeños, más ligeros y más eficientes. El motor tiene un funcionamiento intrínsecamente seguro puesto que, al carecer de imanes, no se induce tensión de retorno debida al campo electromagnético, y la protección del convertidor frente a sobretensiones se hace innecesaria. Además, la posibilidad de funcionar a gran velocidad ayuda a eliminar elementos mecánicos de transmisión tales como las cajas de engranajes. Esto permite en su caso la integración del motor y el equipo de la carga.

Para más información, véase “Los motores que vienen” en la página 56 de este número de la *Revista ABB*.



Busch-iceLight

De la misma forma que la iluminación afecta a una fotografía, también puede influir en el ambiente de una habitación. Dotado de la innovadora tecnología LED y de numerosas opciones de orientación e intensidad de las luces, así como de temperatura de color y aspecto, Busch-Jaeger, en colaboración con el famoso arquitecto y diseñador Hadi Teherani, ha desarrollado un nuevo sistema de iluminación válido para edificios residenciales y de oficinas.

Busch-iceLight es un sistema de iluminación modular y versátil que se puede utilizar como luz de información o de orientación o para crear ambiente en una habitación. De pequeño tamaño, como un interruptor de la luz, y con placas del mismo estilo que los interruptores y enchufes, el sistema puede adaptarse al acabado de las instalaciones eléctricas existentes.

El elemento de iluminación se puede ajustar en cinco direcciones distintas para definir con precisión la dirección y el haz luminoso. Hay dos ajustes posibles de la temperatura de color de la luz: blanco cálido o blanco neutro. Y la intensidad luminosa se ajusta al 100% o al 25% con un convertidor de 350 mA / 5 W o de 40 mA / 0,15 W para iluminación nocturna. Ya sea como luz de orientación direccional o como sistema de información luminoso de un edificio, Busch-iceLight garantiza la comodidad y la seguridad. Hay muchas fichas de diseño de alta calidad y pictogramas especiales que hacen el sistema adaptable a las necesidades del usuario.

Busch-Jaeger es miembro del Grupo ABB.

CLEEN y la innovación

Cómo la colaboración apoya el trabajo de investigación y desarrollo de ABB

JUKKA TOLVANEN, TERO AHONEN, JUHA VIHOLAINEN – En el pasado, innovaciones como la bombilla o el teléfono solían surgir del trabajo de personas aisladas, como Thomas Alva Edison y Alexander Graham Bell. En la actualidad, para que surjan innovaciones sigue siendo necesaria la intervención de personas innovadoras, pero éstas ya no están solas en el escenario, pues el desarrollo de ideas nuevas exige casi siempre la colaboración y la asociación de diversas disciplinas. ABB dispone de una enorme capacidad técnica, y el potencial de su presencia global se combina con el conocimiento de lo que necesitan sus clientes en todo el mundo. ABB también se beneficia de la cooperación con empresas y universidades para el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios.

Según un conocido proverbio, dos cabezas valen más que una. En el campo de la ingeniería y la tecnología, el desarrollo de nuevas ideas puede requerir conocimientos técnicos muy variados y, por tanto, la cooperación entre diferentes empresas y organizaciones. Está claro, por ejemplo, que las innovaciones para mejorar la eficiencia energética de los sistemas eléctricos exigen competencia técnica, pero también un dominio de los ámbitos económico y social para obtener unos productos y servicios realmente nuevos y viables.

En otros casos se necesita competencia técnica en diversas áreas de ingeniería y la participación de varias empresas. Como una empresa puede tener competencias del máximo nivel sólo en áreas determinadas, la cooperación entre distintas empresas y organizaciones es a veces la manera más viable de abordar nuevas ideas e innovaciones que abarcan varios segmentos empresariales distintos.

Un consorcio que actúa como base para la investigación

Aunque la colaboración sea viable, hay que fijar algunas reglas antes de empezar. Por ejemplo, para garantizar una cooperación sostenible deben estar bien claras desde el principio las cuestiones de propiedad intelectual y financiación. Una solución para abordar estos aspectos es disponer de un centro de investigación común o de una mancomunidad que gestione las actividades de I+D. En Finlandia se ha creado el centro estratégico de ciencia, tecnología e innovación en el sector de la energía y el medio ambiente (CLEEN Ltd.) para catalizar la cooperación internacional e intersectorial en ese sector tecnológico. Como sociedad limitada propiedad de empresas de ámbito global, institutos de investigación y universidades, CLEEN facilita la acumulación de conocimiento cooperativo y la creación de soluciones, tecnologías y servicios innovadores que están más allá de las capacidades de I+D de una sola empresa o área industrial [1]. Las dos terceras partes de los 44 propietarios de CLEEN son empresas privadas, incluyendo varios líderes globales de la tecnología y el mercado, como ABB, Metso y Wärtsilä. ABB es uno de los fundadores y un miembro activo en las actividades de CLEEN que ha aportado nuevas posibilidades de investigación cooperativa con otras empresas y organizaciones.

Este tipo de empresa conjunta mejora asimismo la posibilidad de recibir financiación exterior, lo que a menudo es esencial para consorcios que llevan a cabo proyectos de investigación amplios y prolongados (por ejemplo, de tres a cinco años). En Finlandia, el principal patrocinador público es la Agencia Finlandesa para la Financiación de la Tecnología y la Innovación (Tekes). Tekes sostiene un consorcio de empresas e institutos de investigación con su nuevo programa de innovación. Este tipo de apoyo permite que la cultura de la innovación evolucione desde la actuación de una compañía aislada hacia la innovación abierta basada en una red.

> CLEEN Ltd. se ha fundado para catalizar la cooperación internacional e intersectorial en los ámbitos de la energía y la tecnología ambiental.

Cooperación moderna entre empresas y universidades

CLEEN forma parte de una importante revisión del sistema finlandés de innovación. Para avanzar hacia este objetivo, el gobierno finlandés ha puesto en marcha seis centros estratégicos de ciencia, tecnología e innovación cuya propiedad y gestión pertenecen en exclusiva a la industria y las instituciones académicas. CLEEN es uno de esos centros, especializado en energía y medio ambiente.

Según Tommy Jacobson, consejero delegado de CLEEN, las empresas se esfuerzan por potenciar una innovación abierta entre empresas, universidades e instituciones de investigación. Actúa como una red en la que las empresas internacionales participantes pueden llevar a cabo actividades de I+D adquiriendo conocimientos nuevos más profundos y más rápidamente que trabajando por su cuenta.

Jacobson continúa explicando que la cooperación es más estratégica para las empresas participantes cuando asignan sus propios recursos humanos de I+D durante varios años y están dispuestas a compartir sus resultados que cuando se limitan a asignar fondos para transferir su propia I+D. Esta participación de la industria asegura asimismo unas vías de comunicación amplias para la transferencia de conocimientos, innovaciones y orientación.

Se ha encontrado una forma eficaz de organización de los programas: en primer lugar las empresas definen el asunto al que desean asignar sus propios recursos y cuyos resultados estarían dispuestas a compartir. Después, las universidades e institutos de investigación responden a esta demanda con sus iniciativas de investigación, generando así una oferta científica recíproca. Jacobson señala que esto también permite ahorrar recursos a las universidades, pues no tienen que perder tiempo formalizando solicitudes de investigación que normalmente tienen una tasa de éxitos reducida, ya que reciben una información que es inmediata, interactiva e iterativa.

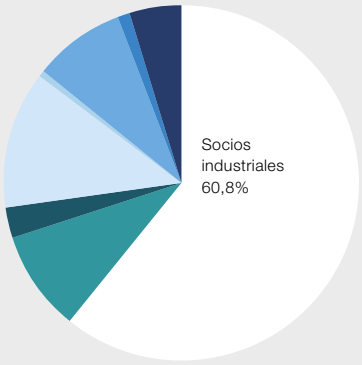
Una importante área de investigación se centra en los mercados de la energía y las redes inteligentes. En este terreno, los principales colaboradores son Nokia Siemens Networks y ABB.

Otras áreas del programa son, por ejemplo, el uso eficiente de la energía y los sistemas de energía distribuidos.

Redes inteligentes y mercados de energía

Una red inteligente suministra electricidad de muchos proveedores a los consumido-

1 Socios industriales y de investigación de SGEM



Socios industriales 60,8%

- ABB Oy 6,3%
- Aidon Oy 0,1%
- Areva T&D Oy 1,4%
- Empower Oy 4,5%
- Emtele Oy 1,5%
- Fingrid Oy 2%
- Fortum Sähkönsiirto Oy 5,1%
- Helen Sähköverkko Oy 1,8%
- Nokia Siemens Networks Oy 29,9%
- Tekla Oyj 3,7%
- The Switch Engineering Oy 1,9%
- Vantaan Energia Sähköverkot Oy 0,9%
- Vattenfall Verkko Oy 1,8%

Socios de investigación 39,2%

- Universidad Tecnológica de Helsinki 5,0%
- Universidad de Kuopio 1,0%
- Universidad Tecnológica de Lappeenranta 8,4%
- MIKES 0,4%
- Universidad Tecnológica de Tampere 12,5%
- Universidad de Vaasa 2,8%
- VTT 9,2%

res utilizando tecnología digital bidireccional y un sistema de control inteligente que vigila la circulación de la electricidad por el sistema. Las redes inteligentes permiten un flujo multidireccional controlable de electricidad, tanto a escala local como a larga distancia. En comparación con las redes eléctricas tradicionales, las redes inteligentes permiten el aprovechamiento y control más eficientes de la generación distribuida de electricidad y la utilización inteligente de las baterías de los coches eléctricos como parte del sistema de distribución de electricidad → 1.

Los temas de investigación del programa de redes inteligentes y mercados de energía (SGEM) son:

- Infraestructura futura de los sistemas de energía.
- Gestión inteligente y explotación de redes inteligentes.
- Pasarelas para clientes.
- Desarrollo de servicios de energía y emisiones permitidos por la tecnología de redes inteligentes.

El objetivo del consorcio de investigación SGEM es desarrollar soluciones de redes inteligentes internacionales que se puedan demostrar en un entorno real utilizando la infraestructura de I+D e innovación finlandesa. Al mismo tiempo, las ventajas de un entorno interactivo internacional de investigación permitirán acumular el conocimiento técnico de los principales proveedores mundiales de tecnología de información y comunicación (ICT) y de redes inteligentes.

Este programa del consorcio incluye varios participantes de la industria, de institutos de investigación y de universidades, como se muestra en → 2.

Los participantes industriales abarcan las áreas de generación y distribución de electricidad, las telecomunicaciones y las tecnologías de la información. Los socios de investigación comprenden cinco universidades finlandesas y dos institutos de investigación (MIKES, VTT). La duración prevista para este proyecto es de cinco años.

Uso eficiente de la energía

El programa de uso eficiente de la energía (EFEU) se centra en el desarrollo de métodos que permitan mejorar la eficiencia energética de aparatos y sistemas. Los sectores a los que se dirige son las industrias y servicios donde se consume aproximadamente el 60% de toda la energía producida. Los objetivos principales del programa de investigación son:

- Desarrollo de nuevos métodos, procesos y sistemas que ayuden a conseguir mejoras importantes de la eficiencia energética.
- Desarrollo de nuevos métodos que produzcan mejoras sustanciales de la eficiencia energética con inversiones menores.
- Creación de una red nacional de I+D para el desarrollo de la eficiencia energética.

Por su naturaleza multidisciplinar, esto exige los conocimientos y la participación activa de partes distintas, como industria manufacturera, fabricantes de aparatos, empresas de servicios, empresas de ingeniería, universidades y organizaciones de investigación. El plazo para los trabajos de investigación es de 3 a 10 años antes de la fase de producción o de servicio. Los principales resultados de la investigación serán la innovación en conceptos de sistemas, normas de dimensionado, métodos de medición y evaluación de la eficiencia energética de los sistemas y soluciones y servicios relacionados con la eficiencia energética. Las ideas derivadas de la investigación se probarán en demostraciones y luego se utilizarán en trabajos de desarrollo más orientados hacia las aplicaciones.

Innovaciones basadas en la investigación académica

Además de los programas del consorcio, la colaboración directa entre la industria y las universidades puede ser una fuente provechosa de innovaciones y nuevas tecnologías. A menudo, la cooperación entre las universidades y la industria ofrece sinergias para ambas partes, ya que las universidades pueden tener y proponer temas de investigación interesantes, y los fabricantes de productos pueden beneficiarse en forma de I+D innovadora y de ensayo de nuevas ideas en las instalaciones de prueba de las universidades. Este tipo de cooperación se ha llevado a cabo con éxito entre ABB y la Universidad Tecnológica de Lappeenranta, Finlandia (LUT) en el campo de los motores eléctricos y los accionamientos de velocidad variable (VSD), que cons-

2 Instalaciones de investigación de sistemas de bombeo en LUT

tituyen una solución fundamental para mejorar la eficiencia energética de las máquinas rotativas.

Fundada en 1969, la LUT imparte educación y desarrolla investigación en las áreas de ingeniería y economía. Los puntos fuertes de la universidad son la eficiencia energética y el mercado de la energía, la gestión estratégica empresarial y tecnológica, la informática científica y la modelización de procesos y el conocimiento del mundo empresarial y la industria de Rusia en relación con las áreas mencionadas [2].

Puesto que la universidad dispone de instalaciones de prueba para sistemas de bombeo y motores eléctricos y posee grandes conocimientos sobre la eficiencia energética de estos dispositivos, la LUT ha podido llevar a cabo actividades de investigación teórica, lo que también ha ayudado a la I+D de nuevos productos de ABB. En la LUT se han estudiado el control directo del par (DTC) en máquinas síncronas de imán permanente (PMSM) y la estimación sin sensores del caudal en bombas centrífugas → 3 [3,4]. Estos temas de investigación han dado lugar a varias solicitudes de patentes y a publicaciones científicas y también han proporcionado información directa al departamento de I+D de motores de ABB.

En consecuencia, la competencia en investigación de la LUT ha sido una buena base para la cooperación con ABB en motores eléctricos y accionamientos de velocidad variable. En la práctica, la colaboración se ha llevado a cabo en el Centro de Carelia para motores y accionamientos (CDMC), que forma parte del departamento de electrotecnia de la LUT.

Para ABB, este enfoque permite el desarrollo de ideas innovadoras con investigadores académicos y también la prueba de los productos obtenidos.

Para el CDMC, esta cooperación ha sido una excelente fuente de nuevos temas de investigación y le ha permitido ampliar su competencia en el área de la eficiencia energética de los motores eléctricos, los VSD y las máquinas rotativas. La cooperación ha permitido al personal de investigación del CDMC ser participantes innovadores en el proceso de investigación y desarrollo de nuevos productos y servicios. Asimismo, los resultados de la investigación pueden, dependiendo del proyecto, publicarse como tesis doctorales y artículos de revista, o en forma de solicitudes de patentes. Los proyectos de investigación se han relacionado con los métodos de control de VSD, las mejoras de la eficiencia de motores eléctricos y el control y diagnóstico de máquinas rotativas como, por ejemplo, bombas centrífugas.

La cooperación con otras empresas y universidades aporta a menudo ideas nuevas e innovadoras. Un ejemplo puede verse en el artículo “Las ventajas de una auditoría”, en este mismo número. En consecuencia, no hay que dejar de lado la colaboración en I+D, ya que permite elaborar proyectos de investigación de más alcance y utilizar en la investigación conocimientos procedentes de distintas áreas. Con independencia de que esto se logre mediante consorcios de investigación con otras empresas e instituciones o por colaboración directa con universidades o institutos de investigación, todas las partes saldrán ganando.

> La colaboración directa entre la industria y las universidades puede ser una fuente provechosa de innovaciones y nuevas tecnologías.

Jukka Tolvanen
ABB Drives
Helsinki, Finlandia
jukka.tolvanen@fi.abb.com

Tero Ahonen
Juha Viholainen
Universidad Tecnológica de Lappeenranta
Lappeenranta, Finlandia
tero.ahonen@lut.fi
juha.viholainen@lut.fi

Referencias

[1] CLEEN Ltd. The Finnish Cluster for Energy and Environment. Consultado el 24 de agosto de 2010 en: http://www.cleen.fi.
[2] Introduction of Lappeenranta University of Technology. Consultado el 24 de agosto de 2010 en: http://www.lut.fi/en/lut/introduction/.
[3] Luukko, J. 2000. Direct torque control of permanent magnet synchronous machines – analysis and implementation. Dissertation, Lappeenranta University of Technology.
[4] Ahonen, T.; Tamminen, J.; Ahola, J.; Viholainen, J.; Aranto, N.; Kestilä, J. 2010. Estimation of pump operational state with model-based methods. Energy Conversion and Management, 51, 1319–1325.

Las ventajas de una auditoría

ABB y la Lappeenranta University of Technology colaboran en un proyecto de auditoría energética con el fin de proporcionar a los usuarios sistemas de bombeo más eficientes y duraderos

El proyecto de auditoría energética (EAP) en la Universidad Tecnológica de Lappeenranta (LUT) se inició en otoño de 2008.

Una auditoría energética es un análisis del consumo de energía de un determinado proceso o sistema → 1.

Los clientes son consumidores de energía que operan primordialmente en el ámbito industrial. Los procesos de auditoría se centran en localizar aplicaciones de funcionamiento ineficiente con maquinaria eléctrica giratoria que suele incluir bombas.

El EAP está financiado por ABB y lo lleva a cabo el Instituto de Energía de la LUT [1]. Este proyecto es el resultado de una prolongada cooperación entre ABB y la LUT, especialmente en el campo de la investigación de la eficiencia de los sistemas de bombeo. El proyecto ha dado lugar a un conocimiento profundo de la eficiencia energética de las aplicaciones de bombeo. Además, en el proyecto se han creado herramientas específicas de simulación para determinar la eficiencia energética de los sistemas de bombeo.

Auditoría del uso industrial de la energía

El objetivo principal de este proyecto ha sido la creación de un método de auditoría de fácil empleo del que pudieran sacar provecho todos los participantes. La intención es obtener información acerca del consumo de energía del sistema en su estado actual e identificar los factores que influyen en el mismo. El segundo paso es identificar las oportunidades económicas de mejorar la eficiencia del sistema y conseguir ahorros de costes. Como resultado de la auditoría, el cliente recibe un plan de acción sobre la forma de conseguir una mejor eficiencia energética.

Resultados importantes en la investigación y el desarrollo de las aplicaciones de bombeo

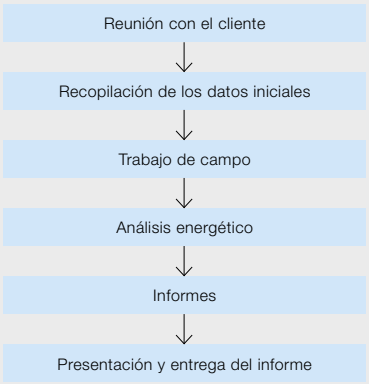
En la LUT se estudia el empleo avanzado de motores de velocidad variable (VSD) en el diagnóstico de bombas centrífugas desde 2005, cuando se estudió en el laboratorio la precisión de la función de cálculo sin sensores del caudal en accionamientos industriales de ABB. Los resultados de las pruebas se publicaron en la revista *World Pumps* durante 2005 y 2006. También se han llevado a cabo proyectos de investigación para determinar nuevos métodos de detección de la cavitación y para el control energéticamente eficaz de las bombas accionadas en paralelo. Con los métodos estudiados, se pueden eliminar las causas principales de fallos de las bombas y se puede disminuir considerablemente el consumo total de energía de los sistemas de bombeo. Puesto que los VSD pueden estimar el funcionamiento de los motores sin necesidad de sensores en el árbol del motor, pueden asimismo aplicarse a la estimación del funcionamiento de una bomba o de otras máquinas movidas por el motor. Por ejemplo, la función de cálculo sin de sensores del caudal en los accionamientos industriales de ABB utiliza las estimaciones internas de velocidad de giro y potencia en el eje para informar al usuario del caudal de la bomba sin necesidad de otros

Mediante el control de velocidad variable avanzado y la conexión en paralelo de las bombas se pueden conseguir ahorros de energía considerables.

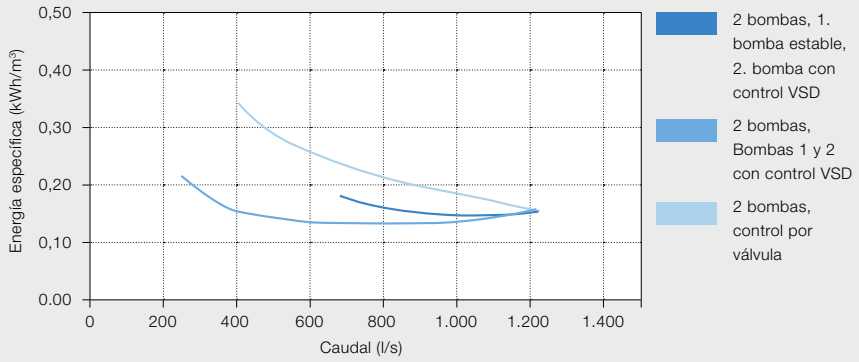
Nota a pie de página

1 Se llama cavitación a la formación de burbujas de gas en el seno de un líquido cuando la presión de éste cae por debajo de su presión de vapor. La contracción rápida de las burbujas provoca ondas de choque que pueden dañar las superficies.

1 Las cuatro etapas del procedimiento de auditoría de LUT



2 Consumo de energía específico de distintos métodos de control del caudal para dos bombas centrífugas conectadas en paralelo



sensores. Esta función se puede utilizar en una aplicación en la que se requiera la información del caudal de la bomba, pero no se aplica para medir los ingresos obtenidos.

Sistemas de bombeo más duraderos y de mayor eficiencia energética

La detección sin sensores de la cavitación se basa en el análisis inteligente de las estimaciones del convertidor para determinar el mal funcionamiento de la bomba. En el caso de las bombas centrífugas, la cavitación es, como es bien sabido, una de las causas de disminución del rendimiento de las bombas y de sus fallos. Por ello, se han establecido diversos métodos para detectar la cavitación. Sin embargo, suelen basarse en mediciones que disminuyen su viabilidad en varios casos. La instalación de sensores puede ser costosa, y la cantidad de bombas que hay que supervisar puede ser tan elevada que sea razonable disponer un sistema de supervisión del estado únicamente en algunos accionamientos de bombas. Por esta razón, la detección de la cavitación sin sensores puede proporcionar al usuario unos beneficios reales, al no haber necesidad de sensores ni de otras instalaciones [2].

El control inteligente de las bombas conectadas en paralelo mediante VSD puede proporcionar ahorros de costes importantes gracias al menor consumo de energía. Puesto que las bombas conectadas en paralelo se suelen explotar aplicando el método de control de marcha/parada, el funcionamiento del número necesario de bombas a una menor velocidad de giro presenta un enorme potencial de ahorro frente al método tradicional. Esto se ha verificado mediante medidas en ensayos realizados en la LUT.

Se han llevado a cabo asimismo varios estudios de investigación de casos reales en aplicaciones industriales de bombeo de aguas sin tratar, centrales eléctricas y estaciones municipales de tratamiento y suministro de aguas. Los resultados han mostrado que se pueden conseguir importantes ahorros de energía empleando métodos de control avanzados de velocidad variable con bombas conectadas en paralelo. Un ejemplo de la forma en que los VSD pueden reducir el consumo específico de energía de dos bombas centrífugas trabajando en paralelo se presenta en ➔ 2.

Con el control de velocidad variable para ambas bombas, se minimiza el consumo específico de energía para caudales más bajos [3].

Los resultados de estos proyectos de investigación demuestran los beneficios de la investigación y desarrollo en colaboración. Se alcanzan con más facilidad soluciones nuevas que aporten mejoras de la eficiencia y economías de costes combinando la experiencia de los participantes en los proyectos en lugar de actuando por separado.

Jukka Tolvanen
ABB Drives
Helsinki, Finlandia
jukka.tolvanen@fi.abb.com

Tero Ahonen
Niina Aranto
Universidad Tecnológica de Lappeenranta
Lappeenranta, Finlandia
tero.ahonen@lut.fi
niina.aranto@lut.fi

Referencias

[1] Aranto, N.; Ahonen, T.; Viholainen, J. (2009, September 1417). Energy audits: University approach with ABB. Proceedings of the 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems (EEMODS '09). European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy.

[2] Ahonen, T.; Tamminen, J.; Ahola, J.; Kestilä, J. (2010, June 2224). Novel method for detecting cavitation in centrifugal pump with frequency converter. Proceedings of the 7th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies (CM and MFPT 2010). The British Institute of Non-Destructive Testing and Coxmoor Publishing Company.

[3] Viholainen, J.; Kortelainen, J.; Ahonen, T.; Aranto, N.; Kestilä, J. (2009, September 1417). Energy efficiency in variable speed drive (VSD) controlled parallel pumping. Proceedings of the 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems (EEMODS '09). European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy.

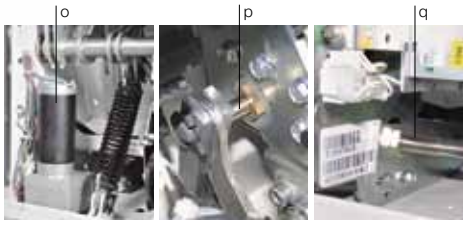
La eVolución inteligente

El eVD4 aporta sencillez y fiabilidad a las redes de distribución de media tensión

CALOGERO SAELI, CALLISTO GATTI, CARLO GEMME, EMILIA DANERI, CARLO CEREDA – **Durante la última década, las redes de distribución de media tensión han experimentado cambios importantes gracias a la evolución continua de la tecnología. ABB está liderando esta evolución al proporcionar a sus clientes nuevos productos, tales como dispositivos de protección y control Relion®, sensores de corriente y tensión e interruptores automáticos de vacío con polos encapsulados, todo lo cual incluye las tecnologías de ABB más avanzadas. ABB ha utilizado estas tecnologías para crear un interruptor automático que incorpora sensores y la unidad de protección y control RBX615. Conocido como el eVD4, permite un diseño y una especificación más sencillos del cuadro eléctrico, una instalación más rápida, mayor fiabilidad y menor necesidad de mantenimiento y coste del ciclo de vida, al tiempo que su mayor normalización contribuye a una aparamenta y unos sistemas menos complejos.**

1 PCM600 cumple IEC 61850, lo que simplifica el diseño de IED y permite el intercambio de información con otras herramientas que cumplen IEC 61850.

a Soporte con interruptor de vacío
b Señales para el relé
c Sensor: bobina de Rogowski o sensor combinado
d Carro para el interruptor extraíble
e Relé de control y protección RBX615
f Pulsador de apertura
g Palanca de carga del mecanismo operativo
h Dispositivo señalizador abierto/cerrado
i Motor con reductora para cargar el muelle del mecanismo
j Toma para circuitos auxiliares (sólo para el interruptor extraíble)
k Pulsador de cierre
l Dispositivo señalizador de muelle cargado/descargado
m Contador de funcionamiento mecánico
n Mecanismo de funcionamiento mecánico



o Motor con reductora de entrada y salida del rack (sólo interruptor extraíble)
p Sensor de proximidad abierto/cerrado del interruptor
q Sensor de proximidad de muelle cargado/descargado

Recientemente, el mundo de la media tensión (MV) ha observado una tendencia muy marcada hacia la evolución de nuevas tecnologías que, a su vez, están permitiendo el desarrollo de nuevas soluciones que satisfagan las necesidades actuales y futuras de las redes de distribución. Por ejemplo, la norma IEC 61850 está impulsando una innovación en los dispositivos de distribución de energía eléctrica que permite incorporar nuevas funciones y nuevas arquitecturas en la aparamenta de media tensión al mismo tiempo que se incrementa la normalización. Ahora hay en el mercado productos que presentan un mayor grado de integración, normalización de componentes y mayor versatilidad general. No sólo mejoran la fiabilidad, sino que además reducen el tiempo y el trabajo necesarios para su instalación y mantenimiento.

ABB ha sido pionera en muchas de estas nuevas tecnologías con su búsqueda de nuevos productos y series de productos para el campo de distribución primaria de media tensión.

Se ha desarrollado una de esas series de productos, la innovadora familia de interruptores automáticos eVD4 (véase la imagen que acompaña al título), especialmente para conseguir proyectos de aparamenta de media tensión fáciles, flexibles y fiables, desde las fases de especificación, licitación, ingeniería y fabricación hasta las de instalación, puesta en servicio, pruebas y mantenimiento.

La serie eVD4 combina tecnologías innovadoras de ABB en el campo de la mecánica, la electrónica y los sensores. El resultado es un dispositivo muy integrado que combina medición, protección y capacidad de control con tecnología de desconexión, conmutación e interrupción de la alimentación del primario.

sensores → 1. Desde su presentación en 2003, el VD4 ha alcanzado un parque mundial instalado de más de 250.000 unidades y se caracteriza por su excelente fiabilidad y flexibilidad en una amplia gama de aplicaciones.

La innovadora familia de interruptores automáticos eVD4 se ha desarrollado específicamente para posibilitar proyectos de aparamenta de media tensión fáciles, flexibles y fiables.

Innovación y una sólida base de tecnología bien probada

El eVD4 se basa en el interruptor automático de vacío VD4 de ABB para media tensión accionado mecánicamente, en el nuevo producto Relion® y en las tecnologías de

La unidad de protección y control RBX615, basada en la tecnología Relion de ABB, es un dispositivo electrónico inteligente (IED) dedicado a la protección, el control, la medición y la supervisión de subestaciones de compañías eléctricas y sistemas eléctricos

2 Comparación de un interruptor eVD4 totalmente automático con un interruptor MV normal en todas las etapas de la vida del producto

Especificación
La gran flexibilidad del eVD4 simplifica las especificaciones.
En otras palabras:
- No hace falta definir parámetros de sensor, pues la capacidad de éste viene determinada por la del interruptor, mientras que el tipo (sólo intensidad o combinado de tensión e intensidad) lo determina el perfil de protección.
- Todas las preconfiguraciones del RBX615 pueden adaptarse para lograr el ajuste óptimo a los requisitos de la red.

Gestión de suministros
En lugar de varios pedidos, basta uno con una sola referencia para obtener una solución completa de aparamenta para MT.

Entrega rápida
La avanzada línea de producción combinada con la normalización de componentes permiten a ABB garantizar los mismos tiempos de entrega para el eVD4 que para los interruptores normales.

Instalación
El eVD4 es una solución lista para instalar. Como los sensores están integrados, no hace falta cableado extra; todas las conexiones de los relés se establecen inmediatamente con el conector del interruptor.

Menos tiempo y esfuerzo de proyecto y cableado
Al ser una solución integral, gran parte del cableado de la aparamenta está incorporado en el interruptor, lo que determina un producto más normalizado. Las conexiones para la parte de baja tensión son limitadas, lo que reduce sustancialmente el riesgo de errores de conexión. A su vez, esto hace que la solución de aparamenta completa sea más rápida y fácil de proyectar.

Menos trabajo para la prueba de aceptación en fábrica (FAT) y mayor seguridad y fiabilidad
Una solución totalmente probada e integrada con menos cables reduce el trabajo necesario para completar las pruebas de FAT obligatorias.

Mantenimiento fácil, optimización de las existencias de repuestos y menor tiempo medio hasta la reparación (MTTR)
El eVD4 se construye con componentes de serie utilizables en una amplia gama de aplicaciones. Además, unas pocas variantes cubren todos los modelos de interruptor de la familia eVD4, lo que obliga a mantener sólo unos pocos repuestos. Todos los accesorios son fácilmente accesibles y sencillos de mantener.
Esta solución integral permite la recuperación rápida del sistema en caso de avería, y todos los componentes esenciales de la aparamenta pueden sustituirse cambiando el eVD4.

La unidad de protección y control RBX615 está integrada en el eVD4 y realiza la supervisión, el control y las funciones de diagnóstico.

industriales. Se instala en el chasis del eVD4 como un dispositivo enchufable por medio de una unidad de acoplamiento.

La unidad RBX615 garantiza la protección general de tendidos aéreos y cables y sistemas de barras de bus de subestaciones de distribución, y es adecuada para cualquier red radial de distribución, independientemente de los principios considerados para la puesta a tierra. Las entradas y salidas digitales (I/O) y los canales de comunicaciones, que están disponibles dentro del compartimiento de baja tensión (LV) de la aparamenta, son accesibles a través del enchufe del interruptor que está conectado a la toma de dicho compartimiento.

Los sensores, montados en los polos del interruptor, miden las tensiones e intensidades necesarias para la protección y el control de los sistemas eléctricos de media tensión. La tecnología utilizada para producir los sensores ha dado lugar a una reducción del tamaño y un mejor funcionamiento del equipo y a un mayor grado de normalización. Esta combinación de sensores e IED (el RBX615) permite el control preciso y fiable y el registro de los parámetros de red para una mejor protección de los operarios y los equipos de las subestaciones.

En → 2 se muestran las ventajas de un interruptor eVD4 totalmente automático respecto a un interruptor normal de media tensión en todas las etapas del ciclo de vida del producto.

El eVD4 es válido para las categorías más usuales de interruptores de media tensión: tensión nominal de hasta 17,5 kV; intensidad nominal de hasta 2.500 A; y capacidad de corte de hasta 40 kA. El relé RBX615 se puede pedir con cinco perfiles de protección distintos, cada uno de los cuales corresponde a un grupo particular de funciones de protección que requieren la medición de tensión e intensidad. Al estar integrado en el eVD4, se ha optimizado específicamente el diseño del relé para que pueda realizar las funciones de supervisión, control y diagnóstico del mismo.

Breve examen de la estructura del eVD4

El diseño del nuevo interruptor de vacío eVD4 cumple ampliamente los requisitos de sencillez (se caracteriza por un pequeño número de componentes muy fiables y se puede personalizar gracias a una amplia gama de accesorios que se instalan fácil y rápidamente) y seguridad (una sólida armazón metálica sujeta los polos y el mecanismo de operación).

Mecanismo de accionamiento

El mecanismo de operación contiene un muelle que almacena la energía necesaria para el disparo del mecanismo de apertura y cierre y bloqueos específicos. El correcto funcionamiento requiere la disponibilidad inmediata de una energía almacenada, que puede ser pequeña (en el caso del eVD4) gracias a la poca masa de los contactos del interruptor y al poco recorrido del contacto en la conmutación. Esto limita el desgaste del sistema y hace que el interruptor no precise apenas mantenimiento. El eVD4 puede ejecutar hasta 30.000 maniobras de apertura y cierre durante su vida útil.

Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad permiten que el eVD4 determine el estado de sus componentes móviles con una fiabilidad elevada. Por ejemplo, estos sensores detectan el estado de apertura/cierre del interruptor

3 El enchufe reforzado del circuito auxiliar del interruptor eVD4

4 El relé RBX615 se basa en la tecnología Relion® de ABB.

y de carga/descarga del muelle, y la posición del carro. Esta información se envía después al relé RBX615 a través de un enlace por cable exclusivo.

Un enchufe mejorado para el circuito auxiliar

El enchufe del eVD4 debe permitir una conexión fiable, no sólo para los circuitos auxiliares del interruptor sino también para las conexiones del relé, es decir, los canales de comunicación, las señales de I/O y las conexiones del sensor de intensidad residual ➔ 3. Esto se consigue con un enchufe reforzado de 58 patillas, más canales de comunicación independientes (a la derecha del conector se ven dos puertos eléctricos Ethernet).

Se ha diseñado el eVD4 para que aproveche al máximo las posibilidades de la norma IEC 61850 y la tecnología de eventos de subestación orientados a objetos genéricos (GOOSE), incluyendo la comunicación horizontal relé a relé de alta velocidad, mediante un bus interpaneles. Sin embargo, cuando sea precisa, es posible una conexión tradicional por cable, punto a punto, con el relé RBX615 por medio de 12 entradas digitales y ocho salidas digitales del enchufe.

Para facilitar la instalación del eVD4 se ha diseñado un accesorio especial para la toma del panel.

Nota a pie de página

1 PCM600 cumple IEC 61850, lo que simplifica el diseño de IED y permite el intercambio de información con otras herramientas que cumplen IEC 61850.

El RBX615 y la HMI

El RBX615 es un relé de uso general basado en la tecnología Relion® de ABB y está específicamente diseñado para trabajar en el eVD4 ➔ 4. Se han optimizado la forma y la disposición de las patillas del relé para permitir una interfaz de enchufe directo al interruptor empleando una unidad especial de acoplamiento.

Puede elegirse con cinco perfiles de protección preconfigurados diferentes, tres de ellos centrados en la protección de alimentadores y dos destinados principalmente a la protección de motores ➔ 5. Las preconfiguraciones pueden adaptarse totalmente con la herramienta de gestión IED para protección y control, PCM600[1] y la herramienta de configuración de aplicaciones (ACT), una herramienta gráfica que permite modificar de forma fácil y sencilla la lógica de la aplicación. Se pueden seleccionar varios bloques lógicos para satisfacer cualquier necesidad de la subestación. También pueden modificarse los parámetros de protección y lógica de control preconfigurados por medio de una interfaz hombre-máquina (HMI) dispuesta en el panel frontal del relé ➔ 6.

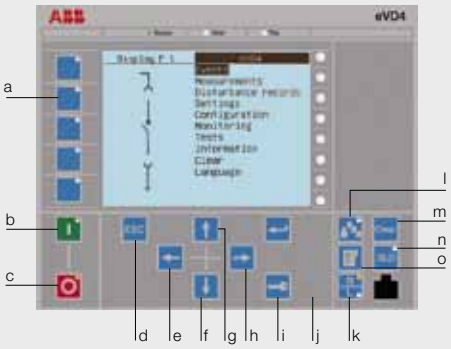
Esta interfaz presenta el diagrama esquemático (SLD) a la izquierda con el menú del relé a la derecha. Se puede editar el SLD mediante la herramienta de edición de la presentación gráfica dentro del PCM600. Los símbolos indicados están dinámicamente conectados al objeto relacionado (por ejemplo, interruptor, armazón del interruptor, interruptor de puesta a tierra, seccionador de línea) y su estado aparece

El eVD4 aprovecha al máximo las posibilidades de la norma EC 61850 y la tecnología GOOSE, incluyendo la comunicación horizontal, relé a relé, de alta velocidad.

5 El relé RBX615 admite cinco perfiles de protección preconfigurados.

Descripción	Configuración
Protección de sobreintensidad no direccional y de fallo de tierra no direccional	Alimentador 1 (F1)
Protección de sobreintensidad no direccional y protección de fallo de tierra direccional basada en la medición de las tensiones de fase	Alimentador 2 (F2)
Protección de sobreintensidad direccional, protección de fallo de tierra direccional basada en la medición de las tensiones de fase y protección de infra y sobretensiones	Alimentador 3 (F3)
Protección de motor basada en la medición de la intensidad	Motor 1 (M1)
Protección de motor basada en la medición de la intensidad y la tensión	Motor 2 (M2)

6 Los parámetros de la lógica de protección y control incluidos en las preconfiguraciones se modifican con el relé HMI.



a Teclas de función de aplicación
b Cierre
c Apertura
d Escape
e Izquierda
f Abajo
g Arriba
h Derecha
i Tecla
j Confirmar
k Local/remoto
l Tecla página LED
m Cancelar
n Esquema de una línea
o Menú

En el eVD4 se utilizan dos tipos de sensores: sensores de intensidad (basados en el principio de bobina de Rogowski) y un sensor combinado de intensidad y tensión denominado sensor combi.

en la pantalla. Además, desde la HMI se puede controlar el estado de estos objetos.

El puerto Ethernet de la HMI proporciona una conexión punto a punto entre el relé y un PC. Con esa conexión, la HMI aparece automáticamente en el navegador de Internet y permite al usuario modificar los parámetros de las funciones de protección y descargar registros de perturbaciones y otras funciones. No es necesario instalar ningún software en el PC para comunicarse con el dispositivo de protección y control. Dos canales de comunicación permiten que el relé se comunique con el sistema de proceso. Aunque el RBX615 cumple la norma IEC 61850, incorpora también Modbus® TCP/IP. En el futuro se podrá disponer de otros protocolos de comunicación.

Sensores

En los interruptores automáticos eVD4 se utiliza la tecnología de sensores más reciente y avanzada. Se pueden instalar dos tipos de sensores en el eVD4: sensores de intensidad (basados en el principio de bobina de Rogowski) y un sensor combinado de intensidad y tensión denominado sensor combi → 7. La elección del sensor depende del perfil de protección del RBX615.

Los sensores se utilizan para:
- Convertir intensidades y tensiones elevadas del circuito primario de la red en una señal adecuada para equipos del circuito secundario (el relé de protección RBX615).
- Aislar entre sí los circuitos primario y secundario.
- Proteger los equipos del secundario de los efectos perjudiciales de intensidades y tensiones elevadas que pueden producirse en el primario durante un cortocircuito de la red.

Cubren toda la gama de intensidades y tensiones con sólo tres tamaños de sensor que llegan hasta la intensidad y tensión nominales máximas del interruptor. Un circuito interrumpido o un cortocircuito en el cable de señal no representan un peligro y no producirán daños.

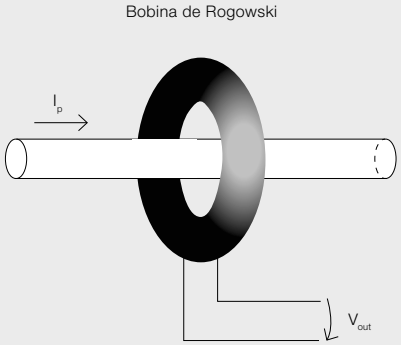
El sensor de intensidad se compone de una bobina de Rogowski, un devanado uniforme sobre un soporte circular cerrado de sección transversal constante y sin núcleo ferromagnético → 8. La tensión inducida en el devanado (la señal transmitida) es directamente proporcional a la variación de la intensidad que lo atraviesa. Estos sensores se caracterizan por la ausencia de saturación y fenómenos de histéresis, ya que la bobina de Rogowski carece de núcleo de hierro, lo que garantiza una linealidad excelente. Los sensores de intensidad del interruptor eVD4 proporcionan mediciones lineales hasta el máximo valor fijado para los umbrales de protección.

El sensor de tensión utiliza un divisor capacitivo para la indicación de tensión → 9. En otras palabras, un electrodo metálico cilíndrico está moldeado en el sensor y se orienta hacia el casquillo del interruptor. La señal de salida es una tensión directamente proporcional a la tensión del primario. Como con los sensores de intensidad, los sensores de tensión se caracterizan por la ausencia de fenómenos de ferrorresonancia y por la falta de sensibilidad a los efectos de los componentes de CC.

Las ventajas de utilizar sensores integrados en el interruptor eVD4 incluyen la linealidad

7 La elección de los sensores de intensidad o tensión depende del perfil de protección del relé.

8 Los sensores de intensidad se basan en el principio de la bobina de Rogowski.



La señal transmitida es una tensión:

$$V_{out} = M\frac{di_p}{dt}$$

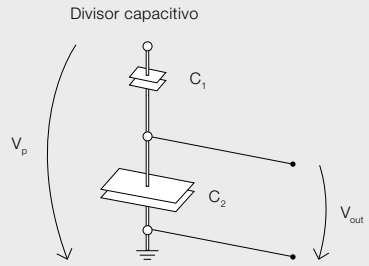
Para una corriente sinusoidal en estado de equilibrio, la tensión es:

$$V_{out} = M \cdot j \cdot \omega \cdot I_p$$

La señal es una tensión sinusoidal proporcional a la intensidad con un desfase de 90° (avance).

En todos los casos, aunque la intensidad del primario no sea sinusoidal, integrando la señal transmitida se obtiene una señal que reproduce la forma de onda de intensidad del primario.

9 Los sensores de tensión usan un divisor capacitivo para indicar la tensión.



Señal transmitida por el divisor de tensión:

La señal transmitida es:

$$V_{out} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_p \quad \text{(divisor capacitivo)}$$

En todos los casos, la señal transmitida reproduce la forma de onda real de la tensión del primario.

de las mediciones y la versatilidad de la protección, la seguridad, el reducido consumo de energía y la calidad de solución respetuosa con el medio ambiente.

Medidas lineales y protección versátil

Al no presentarse fenómenos de resonancia ni histéresis, los sensores muestran unas buenas prestaciones dinámicas y mantienen la linealidad hasta las mayores tensiones e intensidades. En consecuencia, aseguran unas buenas características de protección y permiten análisis de perturbaciones de diversos orígenes.

> El eVD4 supone un importante paso hacia adelante en términos de prestaciones, simplicidad, fiabilidad, seguridad y rentabilidad.

Seguridad

El valor nominal de la señal transmitida debe ser lo suficientemente bajo como para que no represente un peligro para las personas y los equipos del secundario, aunque en el primario se presenten los mayores valores de tensión e intensidad. Un circuito abierto o un cortocircuito en el cable de señal no plantean ningún peligro y no producirán ningún daño.

Consumo reducido

La eficiencia de un sensor es elevada en comparación con la de los transformadores de medida. Además, no hay pérdidas en el cableado del secundario. Esta reducción del consumo contribuye a aumentar la vida útil del equipo, y en una compañía eléctrica estos ahorros son importantes.

Respetuoso con el medio ambiente

En la fabricación de los sensores se precisan pocas materias primas y el consumo de electricidad es insignificante.

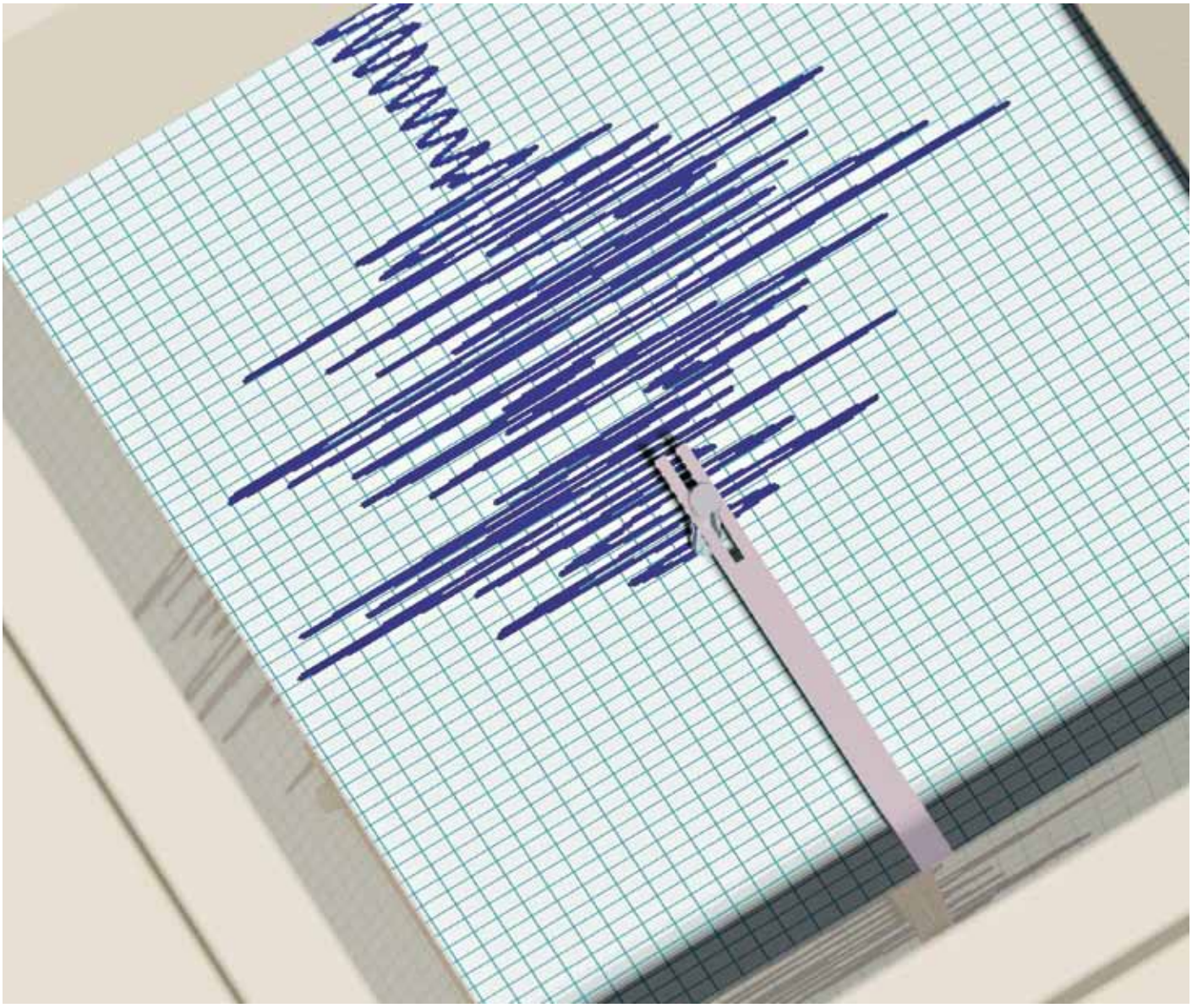
Proyección de la aparamenta de media tensión hacia el futuro

El nuevo interruptor automático eVD4 de ABB es un elemento clave para la creación de aparamenta de media tensión simple, fiable y segura. El cumplimiento íntegro de la nueva norma IEC 61850 y la funcionalidad GOOSE aseguran la compatibilidad con nuevos sistemas de comunicación de subestaciones. Con la adopción del eVD4 se optimiza todo el ciclo de vida de la aparamenta. Desde una mayor facilidad de especificación y pedido hasta la reducción drástica de la complejidad de la aparamenta en términos de ingeniería, cableado y prueba pasando por la puesta en servicio y el mantenimiento del panel, el eVD4 supone un importante paso hacia adelante en términos de prestaciones, sencillez, fiabilidad, seguridad y rentabilidad.

Calogero Saeli
Callisto Gatti
Carlo Gemme
Emilia Daneri
Carlo Cereda
ABB Power Products
Dalmine, Italia
calogero.saeli@it.abb.com
callisto.gatti@it.abb.com
carlo.gemme@it.abb.com
emilia.daneri@it.abb.com
carlo.cereda@it.abb.com

Imagen del título

La imagen del título muestra un interruptor automático eVD4 de ABB con HMI para proyectos de aparamenta de media tensión.

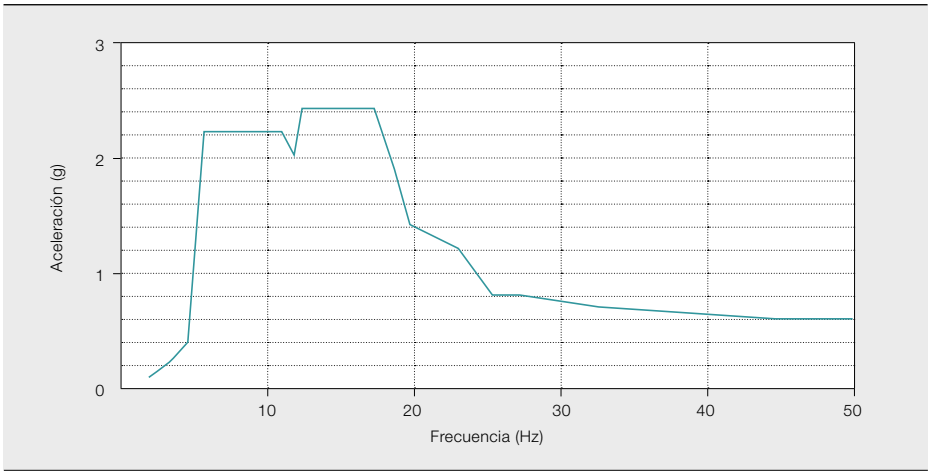


Un interruptor sísmico

La aparamenta homologada para centrales eléctricas nucleares es un eslabón crítico de la cadena

RENATO PICCARDO, ANNUNZIO REGANTINI, DAVIDE CATTANEO, LUCIANO DI MAIO – Una central eléctrica nuclear debe manejar una enorme cantidad de energía en condiciones extremadamente seguras. Deben controlarse todas las funciones del sistema con absoluta fiabilidad y funcionamiento garantizado. El equipo utilizado debe soportar la degradación a lo largo del tiempo debida a la exposición a condiciones ambientales extremas de temperatura, presión, humedad, radiación y vibración, incluidos los movimientos sísmicos. ABB ha desarrollado la aparamenta de media tensión certificada UniGear ZS1 con el objetivo de cumplir todos los requisitos críticos.

1 Ejemplo de espectro de respuesta exigido (RRS)



Quienes trabajan en proyectos de energía nuclear saben que es crucial prestar atención al detalle y emplear únicamente equipos certificados: nunca es aceptable poner en marcha una central nuclear antes de tener la certeza de que todos los componentes que desempeñan una función de seguridad han sido completamente probados y certificados. En las normas IEEE[1] americana e IEC[2] europea se especifican con detalle los parámetros para la certificación.

El proceso de calificación

Cada proveedor de productos de la cadena de seguridad de una central eléctrica nuclear (CEN) debe someterse a un proceso de calificación específico cuyo fin es verificar y certificar la total fiabilidad de los componentes del sistema.

Algunos de los equipos de una CEN también tienen que trabajar en condiciones muy exigentes. Por eso, el principal objetivo de un proceso de calificación es verificar su capacidad para trabajar en condiciones ambientales diversas y bien definidas.

La situación crítica es la posibilidad de un fenómeno sísmico: el sistema debe seguir funcionando durante lo que se denomina terremoto básico operativo (OBE) o, en caso de un terremoto muy intenso, debe detener el reactor, lo que se conoce como apagado seguro en caso de terremoto (SSE). Otro requisito es la verificación de la funcionalidad de todos los componentes en condiciones ambientales muy exigentes de temperatura y humedad y después de sufrir los procesos de envejecimiento térmico y por radiación.

Según las normas IEEE e IEC, se pueden emplear los métodos siguientes para calificar los componentes de un sistema (por separado o combinados):

- Prueba de tipo: una prueba de tipo somete una muestra representativa de equipos, incluyendo las conexiones, a una serie de pruebas que simulan los efectos de mecanismos de envejecimiento muy activos durante el funcionamiento normal.
- Experiencia operativa: los datos de prestaciones de los equipos en cuestión o de equipos de diseño similar que han funcionado correctamente en condiciones conocidas de servicio pueden utilizarse para la calificación de otros equipos en condiciones iguales o menos exigentes.
- Análisis: la calificación mediante el análisis requiere una evaluación lógica o un modelo matemático válido del equipo.

La degradación a lo largo del tiempo, junto con la exposición a condiciones ambientales extremas de temperatura, presión, humedad, radiación y vibración, pueden acelerar los fallos comunes de equipos calificados. Por ello es necesario establecer una “vida útil calificada” para equipos con mecanismos expuestos a mecanismos de envejecimiento muy activos. La vida calificada es el tiempo transcurrido antes del inicio de un episodio de base de diseño para el que el equipo haya demostrado que cumple los requisitos de diseño para las condiciones de servicio especificadas [1].

Calificación climática (prueba cíclica de calor húmedo)

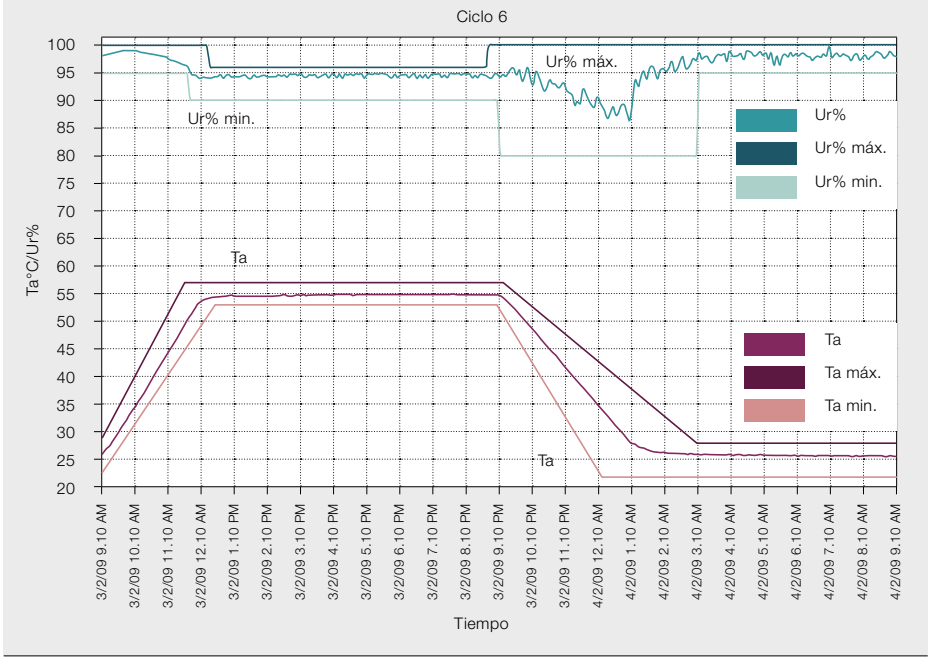
El objetivo de la calificación climática es demostrar que la aparamenta seguirá prestando su función de seguridad antes de la variación de los valores de humedad y temperatura en el entorno en el que se instalará el equipo, durante la variación y después de ella. La prueba determina la idoneidad del equipo en condiciones de humedad elevada combinada con cambios cíclicos de la temperatura y la formación de condensación en la superficie del equipo ensayado. En la aparamenta de media tensión (MT), la condensación que se produce durante los ciclos de humedad-temperatura puede deteriorar las propiedades aislantes.

El sistema debe seguir funcionando durante lo que se denomina terremoto básico operativo (OBE) o, en caso de un terremoto muy intenso, debe detener el reactor.

Notas a pie de página

1 Institute of Electrical and Electronics Engineers
2 International Electrotechnical Commission

2 Ciclo de prueba climática en la cualificación para plantas nucleares de Doel



El Centro de Competencia de ABB situado en Dalmine, Italia, tiene varias referencias recientes de aparamenta de media tensión para centrales nucleares en Europa: Tihange y Doel en Bélgica, Cernavoda en Rumania, Oskarsham en Suecia y Leibstadt en Suiza.

Calificación sísmica y de impacto de aviones

Las normas IEC 60980 [2] e IEEE 344 [3] representan las dos normas de referencia principales para la calificación sísmica de equipos eléctricos de seguridad para centrales eléctricas nucleares. En ninguna de esas normas se definen los espectros de respuesta, ya que varían en función de la zona geográfica y la estructura de la construcción. Por lo tanto, normalmente se definen en las especificaciones técnicas del proyecto.

Una prueba sísmica de series temporales suele incluir una prueba de multifrecuencias triaxial independiente realizada a partir de series temporales (diagramas de aceleración en función del tiempo) sintetizadas artificialmente a partir de un espectro de respuesta requerida dado (RRS). El RRS tiene en cuenta las características de la situación geográfica y la estructura de apoyo o la edificación → 1.

Se considera que el método de las series temporales es la mejor manera de simular las cargas sísmicas durante la calificación de los equipos.

Durante la prueba sísmica se simulan los siguientes tipos de terremotos:

OBE/S1: un terremoto que produce aceleraciones tales que se conservan las condiciones de funcionamiento ininterrumpido sin riesgos para la seguridad pública.

SSE/S2: un terremoto que produce aceleraciones para las que se mantiene el funcionamiento según el diseño de determinadas estructuras, sistemas y componentes necesarios para asegurar la integridad de la vasija de presión del refrigerante del reactor y la capacidad para detener el reactor y mantenerlo en una condición de parada segura.

Calificación EMC

Asimismo, los equipos deben estar certificados para asegurar la total disponibilidad de la función de seguridad en el caso de cargas electromagnéticas elevadas como las que pueden presentarse en condiciones de accidentes. En todos los equipos se realizan dos tipos de ensayos que reproducen la configuración real de los aparatos de instrumentación y control (I&C) instalados en los equipos primarios, incluido el cableado.

Prueba de inmunidad: se llevan a cabo pruebas de calificación de compatibilidad electromagnética (EMC) para verificar el nivel de inmunidad de los equipos a las perturbaciones electromagnéticas en un amplio margen de frecuencias.

Prueba de emisiones: se miden en un amplio espectro las emisiones electromagnéticas irradiadas y transmitidas en los cables por cada componente del equipo eléctrico.

Se llevan a cabo pruebas funcionales detalladas para todas las funciones de I&C, como la protección y las funciones de control integradas en un solo equipo. El proceso de calificación del software sigue las normas IEC desarrolladas específicamente para CEN; se describen en IEC 60780 [4].

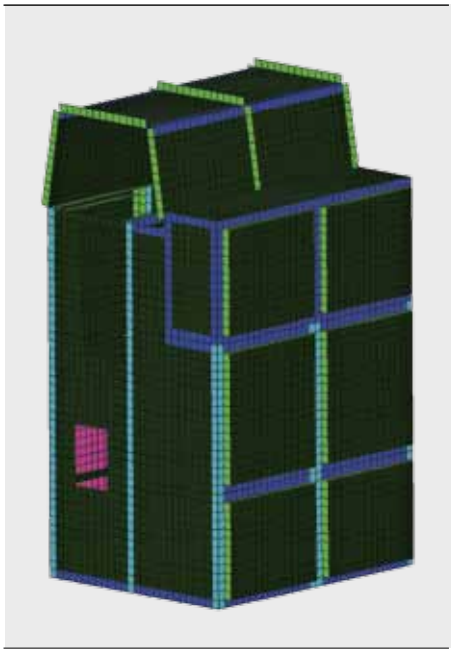
La respuesta de ABB

ABB dispone de los productos, la competencia y los medios técnicos necesarios para garantizar que se cumplen todos los requisitos para las CEN. El Centro de Competencia de ABB situado en Dalmine, Italia, tiene varias referencias recientes de aparamenta de media tensión para CEN en Europa: Tihange y Doel en Bélgica, Cernavoda en Rumania, Oskarsham en Suecia y Leibstadt en Suiza. Para cada uno de estos proyectos, los productos de ABB se sometieron a un riguroso procedimiento de calificación. Este proceso verificó la funcionalidad de los equipos en caso de fenómenos sísmicos y condiciones ambientales difíciles.

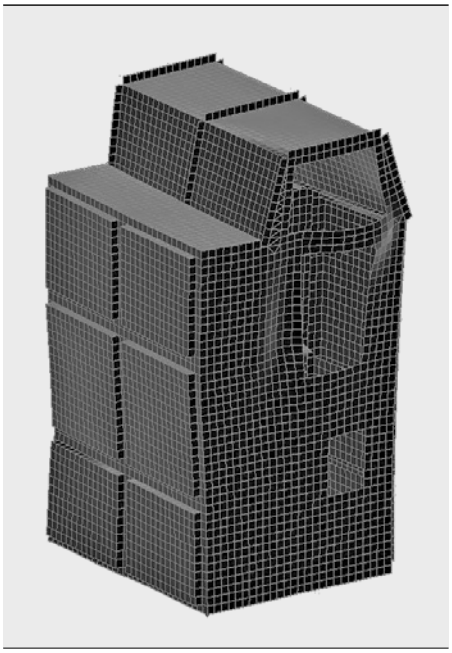
Además de los propios productos, laboratorios y conocimientos técnicos de ABB, la empresa también puede confiar en una asociación particular con laboratorios de tecnología avanzada situados en sus proximidades que disponen, por ejemplo, de mesa vibrante triaxial; además, ABB puede acudir a un equipo de expertos en estruc-

3 Disposición para las pruebas sísmicas de un UniGear ZS1 durante la calificación de la CEN de Doel

4 Ejemplo de evaluación numérica de la estructura utilizada para la calificación sísmica analítica



5 Ejemplo de deformación amplificada de una estructura UniGear ZS1



turas para fenómenos sísmicos. Las simulaciones de fenómenos sísmicos mediante software tienen muchas ventajas para los proyectos de centrales nucleares, puesto que no es preciso disponer de ningún prototipo, lo que permite acortar los plazos de programación y reducir los costes.

En 2009, Areva NP, una empresa líder de ingeniería, abastecimiento y construcción (EPC) de centrales nucleares, certificó que el Centro de Competencia de ABB responde a las condiciones de "planificación y fabricación de aparamenta de media tensión para centrales nucleares".

Aparamenta de media tensión – UniGear zS1

La aparamenta de media tensión es uno de los eslabones más importantes de la cadena de distribución de electricidad. ABB ha desarrollado la aparamenta UniGear ZS1 con el fin de satisfacer los requisitos de todos los usuarios. UniGear ZS1 es una combinación de soluciones consolidadas y componentes innovadores de ABB.

La aparamenta de media tensión es adecuada para su instalación en interiores. Las divisiones metálicas separan unas partes de otras y los componentes bajo tensión están aislados por aire. La gama de aparatos de la aparamenta UniGear ZS1 es la más completa del mercado, e incluye interruptores de vacío y de gas y contactores de vacío con fusibles.

Aplicaciones industriales

Doel es una de las dos grandes CEN de Bélgica. La compañía belga de energía eléctrica Electrabel, parte del grupo GDF SUEZ, es su mayor accionista. En 2009, ABB suministró aparamenta de MT con 18 paneles UniGear ZS1 con valores nominales de 12 kV / 1.600 A / 50 kA y equipada con interruptores automáticos HD4 aislados por SF_6 de ABB. Los equipos de ABB se utilizan para la distribución de la electricidad suministrada por generadores diésel de emergencia.

Los equipos suministrados estaban calificados de acuerdo con las normas IEEE 323 y 344 y las especificaciones del cliente, que incluían la realización de pruebas climáticas y sísmicas → 2.

Se identificó una aparamenta de prueba con todas las características que formaban parte del suministro. En estos prototipos se aplicó un programa de calificación → 3, con resultados positivos.

La central nuclear de Tihange es la otra CEN de gran tamaño de Bélgica. El principal accionista de la central vuelve a ser la compañía belga de electricidad Electrabel. La central dispone de tres reactores de agua a presión (PWR), tiene una capacidad total de 2.985 MWe y supone el 52% de la capacidad total de generación nuclear belga.

ABB ha remodelado 344 interruptores fabricados por CEM Gardy, con interruptores HD4 con aislamiento de SF_6. En la instalación hay 354 interruptores automáticos de MT (incluidos 35 de repuesto) y 34 carros VT (incluidos 7 de repuesto). Un carro VT es un componente con transformadores de tensión montados sobre carros móviles. Según lo estipulado en el contrato, en 2010 tuvo lugar la sustitución de todos los interruptores automáticos y carros de media tensión; la actividad en la planta se ejecutó a lo largo de dos años, durante las paradas anuales de mantenimiento de rutina.

La aparamenta de media tensión es uno de los eslabones más importantes de la cadena de distribución de electricidad. La aparamenta UniGear ZS1 de ABB es una combinación de soluciones consolidadas y componentes innovadores de ABB.

Aparamenta zS1

ABB, además de sus propios productos, laboratorios y conocimientos técnicos, también puede recurrir a una asociación particular con laboratorios de tecnología avanzada.

El proceso de calificación se concibió en dos etapas distintas. Las calificaciones industriales y nucleares se basaron en normas IEC e IEEE para aparatos y aparamenta de MT, así como en las especificaciones técnicas del cliente. Las pruebas sísmicas se realizaron según las normas IEEE en laboratorios de CESI-ISMES.

La central eléctrica nuclear de Oskarshamn es una de las diez de este tipo que funcionan en Suecia. Tiene tres reactores y cubre alrededor del 10% de las necesidades de electricidad de Suecia; los reactores utilizan tecnología de reactores de agua en ebullición (BWR).

En 2009, ABB suministró cuatro instalaciones de aparamenta de MT, cada una de ellas con siete paneles UniGear ZS1 con características nominales de 12 kV / 1.600 A / 50 kA y equipadas con interruptores automáticos ABB HD4 SF6. Como en Doel, los equipos de ABB se utilizan para la distribución de la electricidad suministrada por los generadores diésel de emergencia; el equipo suministrado estaba certificado según las normas IEEE 323 e IEEE 344 y las especificaciones del cliente, que exigió la calificación sísmica.

La calificación sísmica de la aparamenta de MT se llevó a cabo empleando métodos tanto analíticos como de prueba. Ambos se realizaron en colaboración con los laboratorios de CESI-ISMES situados a pocos kilómetros de la fábrica de aparamenta de media tensión de ABB ➔ 4, ➔ 5.

Modernización de las CEN existentes

Se llama remodelación a la incorporación de componentes modernos (dispositivos primarios de conmutación y tecnología digital de protección y control) en instalaciones de media tensión existentes. El objetivo de esta modernización es reemplazar únicamente los componentes cuya sustitución estaba planificada en función del ciclo de vida previsto.

Puesto que los interruptores automáticos trabajan abriendo y cerrando el paso de la corriente, a diferencia de otros componentes de aparamenta que son estáticos, en la mayoría de los casos los interruptores son los equipos más propensos al envejecimiento. Por lo tanto, los interruptores son los componentes que se encuentran generalmente en peor estado y su sustitución por otros nuevos es la mejor solución.

ABB ha efectuado ya remodelaciones en sus propios interruptores y en otros de la competencia. El trabajo más completo se llevó a cabo en la CEN de Tihange, donde ABB modernizó 344 interruptores CEM Gardy con interruptores HD4 de SF_6.

Renato Piccardo
Annunzio Regantini
Davide Cattaneo
Luciano Di Maio
ABB Power Products, Medium Voltage Products
Dalmine, Italia
renato.piccardo@it.abb.com
annunzio.regantini@it.abb.com
davide.cattaneo@it.abb.com
luciano.di_maio@it.abb.com

Referencias

[1] IEEE 323 IEEE standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations.
[2] IEEE 344 Recommended practices for seismic qualification of class 1E equipment for nuclear power generating stations.
[3] IEC 60780 Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification.
[4] IEC 60980 Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations.

Lecturas recomendadas

Serie EN 61000-4 sobre compatibilidad electromagnética - Técnicas de ensayo y medida.

Imagen del título

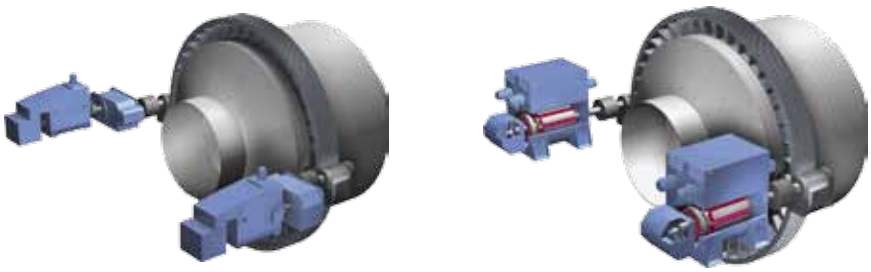
Se utilizan sismógrafos para registrar tanto terremotos reales como para supervisar pruebas en mesa vibratoria.

El valor del accionamiento

Accionamientos para molinos de tipo piñón-corona de ABB (parte 1)

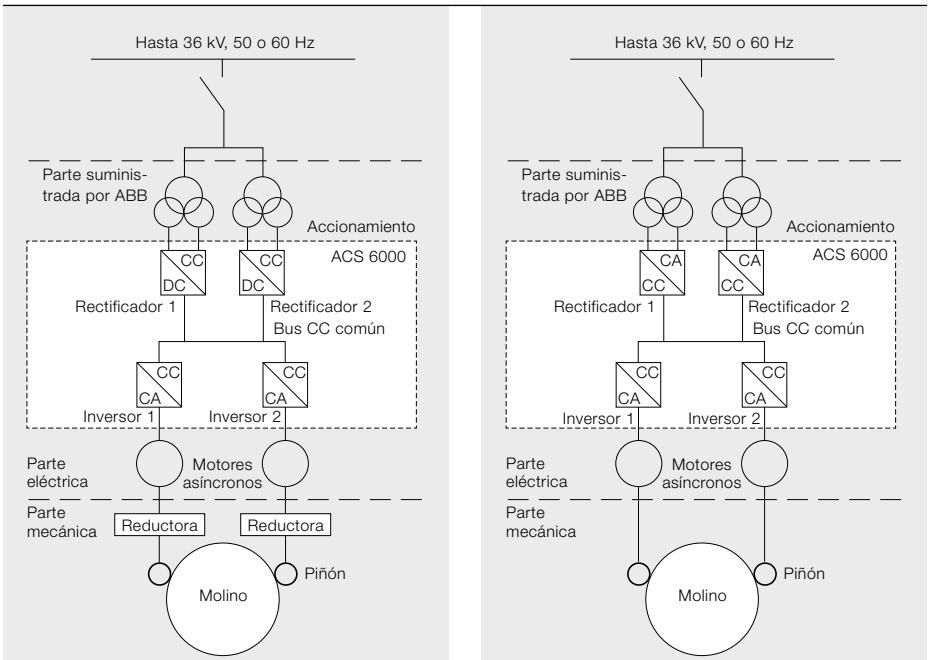
MARCO RUFLI, MAARTEN VAN DE VIJFEIJKEN – La última generación de convertidores de frecuencia de media tensión de ABB ofrece unas oportunidades excelentes para mejorar los procesos de trituración que se utilizan en la industria minera. Gracias al desarrollo de varias funciones operativas exclusivas y avanzadas para los molinos de trituración de tipo piñón-corona utilizados en la industria, esta generación de accionamientos garantiza tanto un funcionamiento suave, seguro y fiable que somete el equipo mecánico a un esfuerzo mínimo como la máxima disponibilidad del molino. La primera parte de esta serie de dos explicará las ventajas operativas de incorporar estas funciones, en tanto que la segunda parte se centrará en experiencias prácticas obtenidas con este tipo de sistemas sofisticados de accionamiento de molinos de piñón-corona.

1 Accionamiento de molino de piñón doble de alta velocidad y accionamiento de molino de piñón doble de baja velocidad



Con reductora | **Sin reductora**

2 Esquema breve simplificado de un accionamiento de molino de piñón doble de alta velocidad y de un accionamiento de molino de piñón doble de baja velocidad



Con reductora | **Sin reductora**

Lo que se pide a los molinos trituradores puede explicarse en términos de funcionamiento, mantenimiento y protección: para conseguir un funcionamiento suave y seguro, es fundamental evitar en lo posible situaciones críticas; las funciones de mantenimiento deben ser rápidas y sencillas de ejecutar; y la protección del sistema es importante en todas las condiciones de trabajo.

En los molinos trituradores de piñón y corona (RMD), y especialmente en los sistemas de piñón doble → 1, el esfuerzo mecánico añadido por los motores puede ser considerable. Por tanto, el concepto de control entre los dos motores debe ser rápido y preciso para evitar esfuerzos añadidos sobre los piñones y la corona.

Esta demanda no sólo se puede satisfacer sino que se supera con la última generación de accionamientos con convertidor de frecuencia de media tensión (MV) de ABB, que incluyen funciones de trituración nuevas y exclusivas. La incorporación de un controlador extra (un controlador del molino) no sólo permite la inclusión de muchas funciones y protección relacionadas con la aplicación, sino que también simplifica la interfaz entre el sistema de accionamiento del molino y el de control distribuido del cliente (DCS). Los accionamientos incorporan la tecnología de control directo del par (DTC) → 2, que se admite como el método de control más avanzado para accionamientos de CA en el que las variables del motor (par y flujo) se controlan directamente mediante la conmutación del inversor. Las funciones relacionadas con el funcionamiento y el mantenimiento sólo pueden incorporarse utilizando accionamientos de velocidad variable y un control preciso que forma parte del diseño. Además, todas las funciones propias de un accionamiento con convertidor de frecuencia benefician al sistema y proporcionan una mayor flexibilidad en el control de todo el proceso de trituración. Estas ventajas incluyen una medición muy precisa de la intensidad de corriente y el par, continuidad durante caídas momentáneas y protección contra fallos de tierra y cortocircuitos.

En los molinos de corona y piñón de mayor tamaño en los que la longitud de los dientes del piñón y la corona va aumentando gradualmente, es fundamental una alineación perfecta de ambos componentes (y de la caja reductora en algunos casos). Sin embargo, la experiencia ha demostrado que puede ser difícil conseguir y mantener una alineación perfecta; por tanto, es esencial evitar arranques bruscos y golpes de par, especialmente en los molinos de mayor tamaño. En todas las condiciones de trabajo (arranque, trituración normal, parada) se necesita un sistema que no castigue la mecánica.

La configuración del sistema de accionamiento eléctrico que se explica en este artículo se compone de un transformador convertidor, un convertidor de frecuencia multiaccionamiento de media tensión ACS 6000 de ABB y dos motores asíncronos en jaula de ardilla de cuatro polos AMI630 de ABB. Los apartados siguientes explican el comportamiento del sistema de acciona-

miento durante las secuencias de arranque, trabajo y parada, y cómo contribuye a mejorar el funcionamiento general del momento.

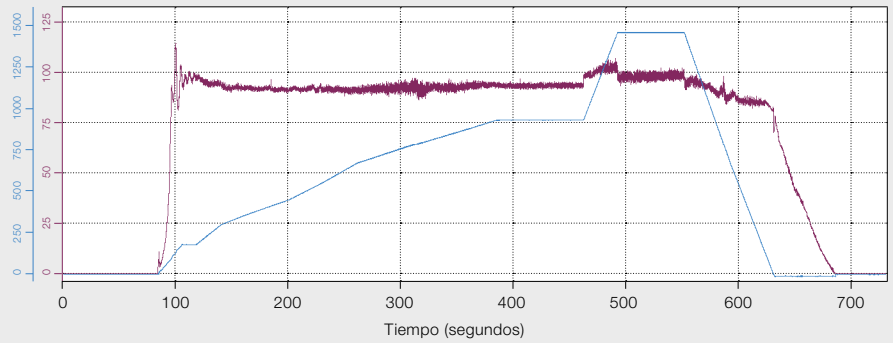
Arranque y parada del molino

La secuencia de arranque del molino está controlada totalmente por el sistema de accionamiento eléctrico; el DCS del cliente (o un panel de control local situado junto al molino y manejado por un operario) sólo tiene que enviar una orden de arranque y la indicación de la velocidad de funcionamiento deseada. Para realizar un arranque suave y seguro, el sistema de accionamiento acelera en primer lugar hasta la velocidad de arranque predefinida (normalmente el 10% aproximado de la velocidad nominal) donde se mantiene y se controla el par y el ángulo del molino. Normalmente, el material que contiene el molino cae en cascada antes de que el molino haya girado 90 grados. Sin embargo, si la carga se queda pegada, caerá desde la parte superior del molino cuando haya girado 180 grados. Esto podría dañar gravemente el molino y sus cojinetes, con la consiguiente parada de reparación prolongada y no programada. Esta situación puede evitarse con la sofisticada tecnología de control del accionamiento de ABB que únicamente libera el accionamiento para obedecer la indicación de velocidad del DCS del usuario si el controlador del molino determina la caída en cascada del material a partir de la disminución del par antes de alcanzar el ángulo crítico ➔ 3.

A partir de ese momento, el accionamiento pasa a estar bajo el control del usuario, lo que significa que obedecerá con precisión cualquier cambio en la velocidad solicitado por el DCS.

Durante la puesta en marcha existe un riesgo potencial de caída de una carga pegada, que puede dañar gravemente el tambor del molino, los rodamientos y otros elementos. El controlador de molino de ABB elimina completamente este riesgo, y no se precisan otras medidas, como la marcha muy lenta, antes de emitir una orden de puesta en marcha, incluso después de un tiempo de inactividad prolongado. Si en el molino hay una carga realmente pegada, el accionamiento se dispara y ejecuta una parada por inercia antes de alcanzar el ángulo crítico. En resumen, el arranque es extremadamente suave para los componentes mecánicos, como la caja reductora, el piñón y la corona, pues nunca se producen golpes de par.

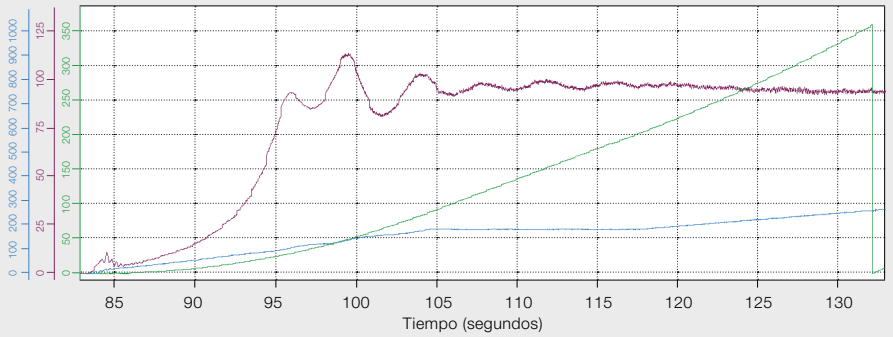
3 Secuencia completa de arranque y parada



Arranque: entre 80 y 118 segundos
Funcionamiento: entre 118 y 550 segundos
Parada: entre 550 y 690 segundos

Régimen del motor (rpm)
Par motor (%)

4 Secuencia de arranque con protección frente a la carga pegada

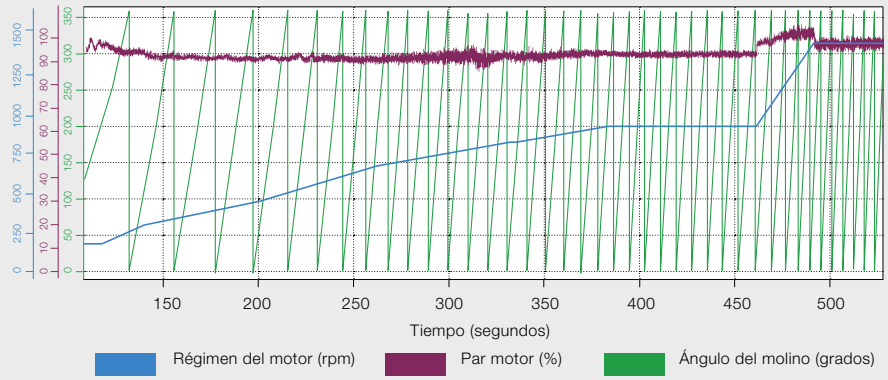


Una parte de la zona de arranque mostrada en ➔ 3 se presenta aumentada en ➔ 4. El valor máximo del par (en rojo), muy pequeño al principio, pone de manifiesto el par de separación una vez que la velocidad del motor ha aumentado lentamente y con suavidad mientras el par aumenta con el ángulo de giro del molino. A un ángulo de unos 30 grados (el primer valor de pico principal del par es aproximadamente del 94% del par nominal, y el segundo, y máximo, es aproximadamente del 113% del par nominal), el material empieza a caer en cascada. Una vez que se ha detectado que la carga cae en cascada, se desacopla el molino para que continúe funcionando a baja velocidad hasta que se produzca la caída en cascada continua, circunstancia indicada por el valor constante del par. A un ángulo de unos 200 grados, el sistema funciona de forma estable y permite que el controlador del molino libere el accionamiento para que pueda seguir la indicación de velocidad del DCS.

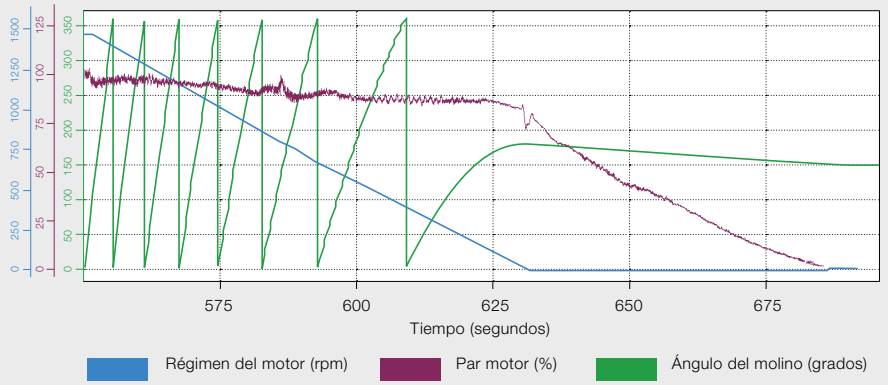
En el accionamiento se puede limitar el valor máximo posible del par motor mediante valores iniciales separados (limitación del

En los accionamientos de molino de piñón y corona (RMD), los esfuerzos mecánicos añadidos por los motores pueden ser considerables, y el concepto del control entre ellos debe ser rápido y preciso.

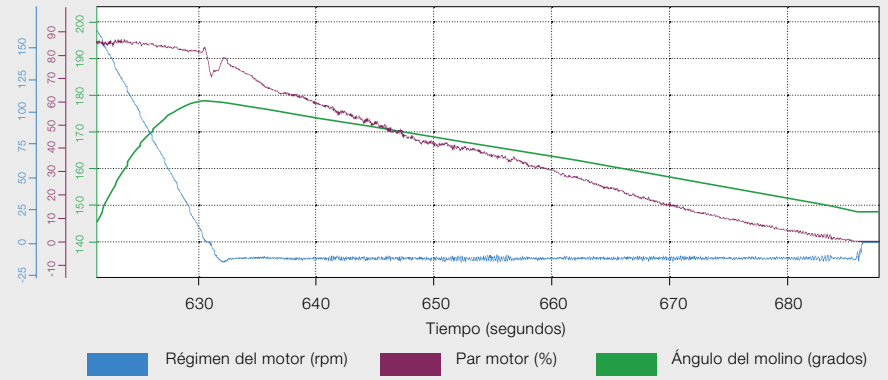
5 Funcionamiento normal



6 Secuencia de parada completa



7 Visión detallada de la inversión controlada



par máximo, por ejemplo al 130% del par nominal) y para el funcionamiento normal después del arranque (limitación del par mínimo, tal como el 110% del par nominal).

Además de no perjudicar a los elementos mecánicos, el proceso de arranque apenas afecta a la red de alimentación porque, mientras el motor está desconectado de la red por el convertidor ACS6000, no se producen intensidades elevadas en el arranque, como es característico de los motores de arranque directo en línea. Por lo tanto, la corriente que se toma de la red durante el arranque es (para el valor máximo de pico del 113% del par nominal) sólo de alrededor del 12% de la intensidad nominal.

Zona de trabajo

Una vez que el controlador del molino deja libre el accionamiento, el operario puede adaptar la velocidad a las necesidades del proceso. El sistema de accionamiento eléctrico puede entregar un par constante a lo largo de todo el margen de variación de la velocidad. También es posible trabajar por encima de la velocidad nominal pero con un par menor (zona de funcionamiento con potencia constante).

En → 5 el operario acelera lentamente hasta la velocidad de referencia. Después de permanecer a dos tercios de la velocidad nominal durante más de un minuto, se acelera el molino hasta una velocidad máxima de casi 1.500 rpm (régimen nominal del motor). Aunque salte ligeramente durante la aceleración (el par de aceleración es aproximadamente el 7% del par nominal), el par permanece prácticamente constante en todo el margen de velocidades.

Secuencia de parada con retroceso controlado

Cuando el DCS emite una orden de parada, el controlador del molino asumirá todo el control de la secuencia de parada.

Para evitar balanceos hacia adelante y hacia atrás innecesarios y prolongados del molino producidos por una parada por inercia, ABB ha desarrollado una función denominada “retroceso controlado” que lleva rápidamente al molino de forma controlada a una posición libre de par.

Para un mantenimiento rápido, fácil y seguro del molino, ABB ha incorporado funciones especiales de mantenimiento en el controlador del molino.

Actúa reduciendo la velocidad hasta cero. Cuando llega a cero, el sistema de accionamiento marcha después lentamente en sentido contrario para que el molino retroceda hasta que no quede ningún par en el sistema → 6.

Durante este tiempo, el motor actúa como generador recuperando la energía potencial que queda en el sistema debido a la presencia en el molino de material con un cierto ángulo.

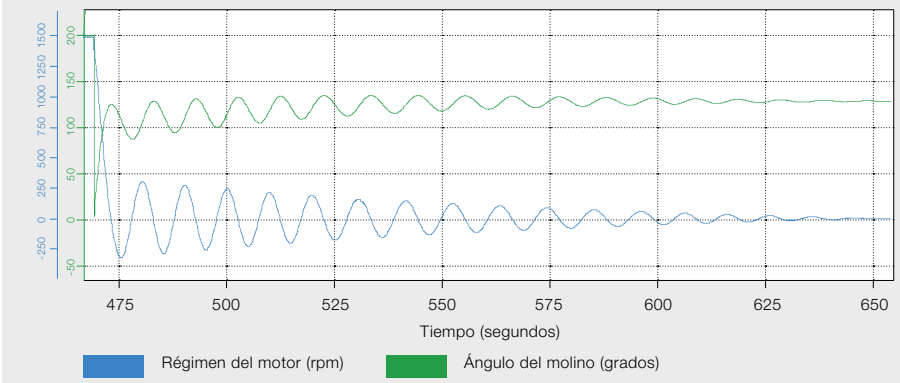
En este tipo de sistema de accionamiento (que incluye un rectificador de puente de diodos que elimina la posibilidad de que se devuelva energía a la red), la velocidad ne-

gativa remanente para que el molino gire hacia atrás es relativamente baja. Esto se debe a que la energía de generación se ve limitada por las pérdidas del sistema de accionamiento (es decir, la conexión entre el motor y el inversor del convertidor de frecuencia). ABB ofrece asimismo la opción de un sistema de accionamiento de cuatro cuadrantes reales con una unidad activa de rectificación que permite devolver a la red la energía de frenado. Esta opción reduce considerablemente el tiempo necesario para el giro inverso del molino.
En ➔ 7 se presenta una vista aumentada de la zona de un retroceso controlado (mostrada en ➔ 6).
Cuando se ha reducido la velocidad del molino y éste ha quedado en una posición desequilibrada, el motor produce en primer lugar un par positivo que simplemente sujeta el molino con la carga desequilibrada. Una ligera reducción del par cambia la dirección de giro, lo que hace que el molino retroceda lentamente hasta que la carga quede equilibrada. Los datos de ➔ 7 muestran claramente que el par (que se aplica a los dientes del piñón) es siempre positivo durante todo el procedimiento, lo que significa que no puede producirse juego entre el piñón y corona y que el contacto entre los dos se mantiene en todo momento. Cualquier holgura se manifestaría por la caída del par hasta cero o menos.

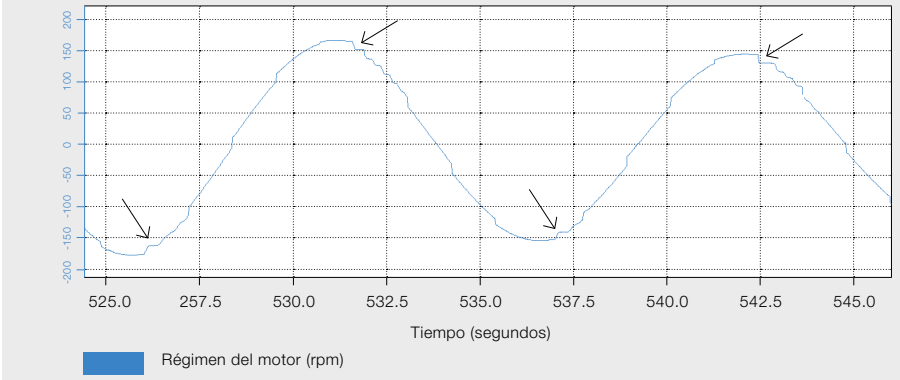
La última generación de convertidores de frecuencia de media tensión de ABB proporciona oportunidades excelentes para mejorar el proceso de trituración que se utiliza en la industria minera.

En esta configuración particular, la velocidad del motor durante un retroceso controlado es sólo de 12,8 rpm, aproximadamente el 0,85% de la velocidad nominal. En otras palabras: se hace retroceder el molino suavemente de forma controlada

8 Parada por inercia (balanceo del molino)



9 Juego durante una parada por inercia



a una velocidad aproximada de 0,1 rpm. Incluso a esta reducida velocidad el sistema sigue funcionando de forma estable gracias a la avanzada tecnología DTC de ABB. Además, el tiempo transcurrido entre la anulación de la velocidad y la del par (molino parado sin pasarse) es de unos 55 segundos. Aunque esto es considerablemente más rápido que una parada por inercia, el empleo de una configuración de convertidor con capacidad de cuatro cuadrantes todavía reduciría más la cifra.
Si se examina la curva del ángulo (en ➔ 7), puede observarse que se hizo retroceder el molino 30 grados, desde unos 178 grados hasta 148 grados aproximadamente (es decir, que la curva del ángulo baja una vez que la velocidad del molino pasa a negativa a los 630 segundos aproximadamente). Esto concuerda perfectamente con el ángulo de caída en cascada medido durante la puesta en marcha en ➔ 4.

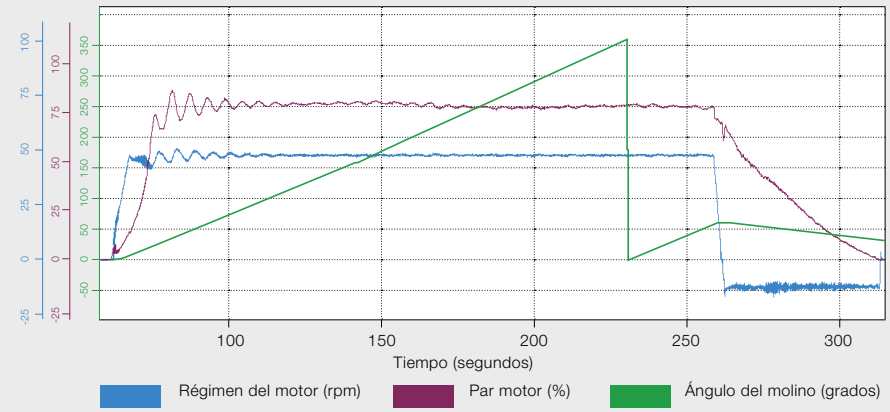
Parada por inercia (balanceo del molino)

Para apreciar plenamente las claras ventajas del funcionamiento con velocidad variable y por tanto del retroceso controlado, se ha probado en el mismo molino una parada por inercia desde la velocidad nominal. La prueba ha demostrado que el tiempo que tarda el molino en alcanzar una parada total (cese completo del balanceo atrás y adelante del molino) desde que se recibió la orden de parada fue de unos 180 segundos ➔ 8.
Una inspección más a fondo de la señal de velocidad del motor (medida con un tacómetro colocado en el motor) como se muestra en ➔ 9, ha descubierto pruebas de holgura (señaladas por las flechas) entre los dientes del piñón y la corona. La causa de ello es la siguiente: la corona mueve el motor, que tiene que acelerarse y frenarse a causa de su inercia. Durante el proceso de deceleración, el diente de la corona golpea el del piñón varias veces para reducir la velocidad del motor. Esto no sólo produce holgura, sino que también somete los dientes a esfuerzos muy elevados.

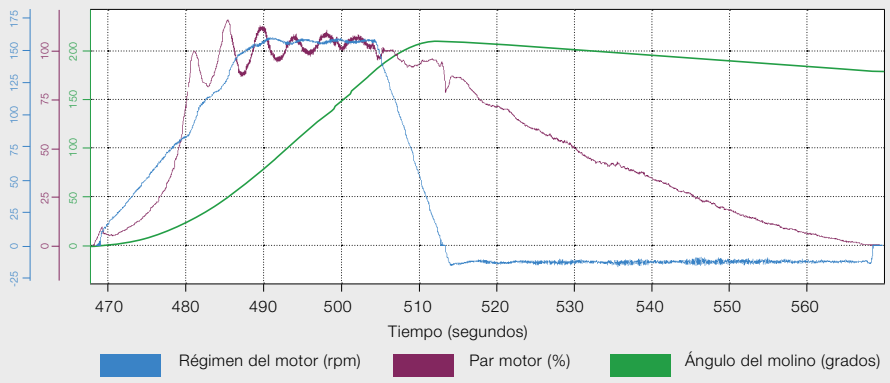
Funciones de mantenimiento

Para un mantenimiento rápido, fácil y seguro del molino, ABB ha incorporado funciones especiales de mantenimiento en el controlador.

10 Rutina de velocidad lenta



11 Rutina de posicionamiento automático con un ángulo de referencia de 180 grados



La función de posicionamiento automático permite a los operarios girar con precisión el molino hasta el ángulo o el número de filas de revestimiento deseados.

Marcha lenta

La marcha lenta, una función de mantenimiento usual en los molinos, no es más que el giro del molino a velocidad muy baja para someterlo a intervenciones de mantenimiento, como puede ser la inspección visual de los cojinetes o la colocación manual para una sustitución del revestimiento. En general, los molinos que utilizan motores de velocidad constante para el sistema principal de accionamiento precisan un motor auxiliar con una caja reductora para la función de velocidad lenta. Los sistemas de accionamiento de molinos de ABB pueden entregar un par elevado a baja velocidad, lo que garantiza la velocidad lenta con el accionamiento principal.

A ser posible, la orden de velocidad lenta debe iniciarse desde un panel de control local situado junto al molino, pero también se puede activar a distancia desde el DCS.

El procedimiento de arranque lo controla por completo el controlador del molino, y al seleccionar el modo de velocidad lenta se acciona la protección de carga pegada. La velocidad lenta suele ser el 5% de la velocidad nominal, pero se puede ajustar en entre el 1% y el 10% después de un arranque correcto.

En ➔ 10 se ilustra una secuencia completa de velocidad lenta.

La velocidad lenta se ha fijado en 48 rpm, o un 3,2% de la velocidad nominal; se ha detectado caída en cascada con un ángulo del molino de 23,5 grados y un par del 73% del par nominal. El operario mantiene el molino funcionando 420 grados a esta velocidad antes de iniciar una orden de parada, haciendo que el controlador del molino reduzca la velocidad y lleve a cabo un retroceso controlado hasta que no quede ningún par en el sistema antes de detener el accionamiento.

Secuencia de posicionamiento automático

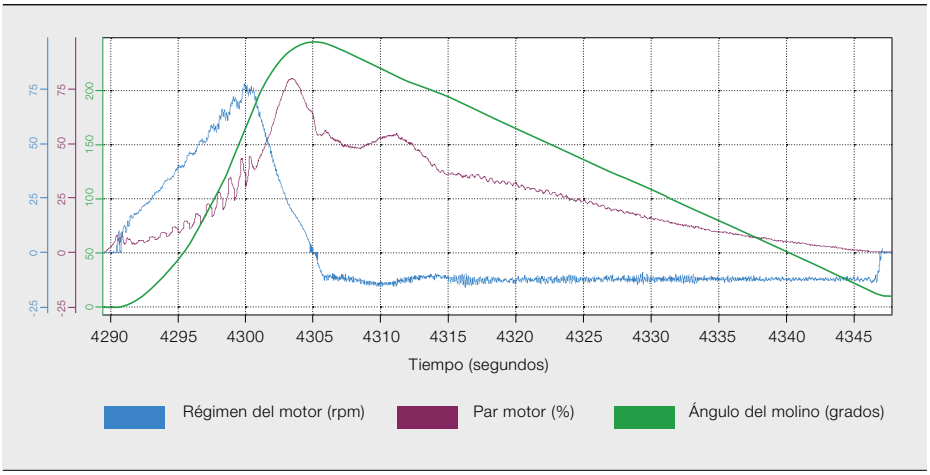
La función de posicionamiento automático permite a los operarios girar con precisión el molino hasta el ángulo o el número de filas de revestimiento deseados. Es una función muy útil durante la sustitución del revestimiento porque ayuda a reducir el tiempo de inmovilización y aumenta la disponibilidad. Iniciándolo desde un panel de control local o desde el DCS, el operario preselecciona el modo de posicionamiento, la dirección de giro y el ángulo o el número de filas de revestimiento deseado.

En ➔ 11 se ilustra una función de posicionamiento automático que requiere un giro de 180 grados: el material cae en cascada a los 27 grados; la unidad sigue funcionando a baja velocidad durante cierto tiempo antes de decelerar; en el punto de velocidad nula el molino ha girado 209 grados y el par en ese punto es el 94% del par nominal (lo que indica que el molino está totalmente cargado); entonces, el accionamiento actúa en sentido inverso y reduce lentamente el par. Cuando el accionamiento se detiene (101,6 segundos después), el molino ha girado 179,2 grados, lo que se traduce en una imprecisión de sólo el 0,5%. La velocidad de posicionamiento óptima para este ejemplo se fijó en 158 rpm, lo que corresponde al 10,5% (10% es lo usual) de la velocidad nominal. A esta velocidad, las imprecisiones en el ángulo estuvieron por debajo del 1% para todas las pruebas.

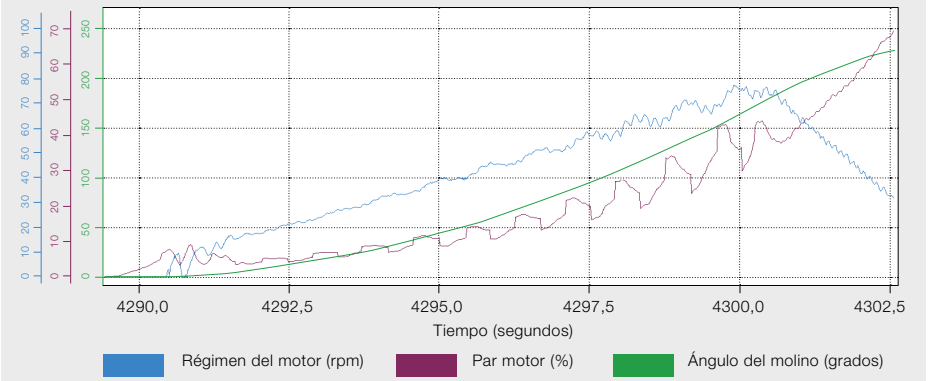
Protección contra la deformación

La protección contra la deformación es una secuencia de posicionamiento automática con un ángulo de referencia fijo de 180 grados. Aunque la deformación no es un problema real en los molinos de trituración de la industria minera, la función se puede utilizar durante paradas prolonga-

12 Movilización de carga pegada con inversión controlada



13 Golpes de par de movilización de cargas pegadas



das (por ejemplo, para mantenimiento) a fin de evitar que la carga se pegue. Lo único que deben hacer los operarios es preseleccionar el modo de protección contra deformación y la dirección de giro preferida antes de enviar una orden de inicio. El controlador del molino se ocupa entonces del giro de 180 grados exactamente igual que como se ilustra en ➔ 11.

Eliminación de carga pegada

Se sabe que las cargas pegadas se producen sobre todo en los molinos de bolas. Una vez que se ha detectado su presencia, hay que retirar el material pegado; esto suele hacerse manualmente y puede traducirse en tiempos de inmovilización considerables.

La función especial de ABB no sólo protege al molino de la caída de una carga pegada, sino que también ofrece una función patentada llamada eliminación de cargas pegadas disponible en el controlador del molino y que sólo se puede iniciar manualmente desde un panel de control local o desde el DCS.

La función de eliminación de cargas pegadas trata de soltar el material aplicando golpes de par al sistema. La amplitud y la duración óptimas de estos golpes se determinan y se fijan durante la puesta en servicio. La amplitud de los golpes de par se define de forma que aplique al sistema un determinado porcentaje del par real, mientras que las funciones de protección, como la limitación del par y la corriente, actúan como si el molino trabajara en condiciones normales. Esto significa que el equipo mecánico no queda expuesto nunca a esfuerzos que superen los valores habituales durante el funcionamiento normal. La función de eliminación de cargas pegadas se puede aplicar en los dos sentidos, positivo y negativo.

En ➔ 12 se muestra una secuencia completa de movilización de una carga pegada con un sentido de giro positivo y un retroceso controlado, y en ➔ 13 se presenta una vista ampliada de la parte inicial de la secuencia.

Se aplican al sistema golpes de par, que se reflejan también en variaciones de velocidad, poco después de una parada, y se aplican en una secuencia de fases de aceleración y desaceleración que tratan de soltar la carga pegada. La amplitud de los golpes de par es un valor relativamente constante en relación con el par real añadido al sistema y puede ajustarse durante la puesta en servicio.

En ➔ 13, la amplitud máxima del mayor golpe de par es del 19,2% del par nominal. Puesto que el par y la velocidad son siempre positivos y la operación se lleva a cabo en el mismo cuadrante (en el primero), no puede producirse juego entre los piñones y la corona.

Continuará

Las funciones exclusivas para molinos de ABB pueden añadir un valor importante a los molinos trituradores en términos de funcionamiento y mantenimiento eficientes. Pero este sistema de accionamiento también está disponible para los molinos de piñón doble, es decir, cuando se conectan dos motores mecánicamente por medio de la corona del molino y trabajan conjuntamente para accionar éste. Naturalmente, esto exige una distribución exacta de la carga. La segunda parte de este artículo presentará, utilizando medidas realizadas en condiciones reales de funcionamiento, la impresionante precisión de un sistema de accionamiento de molino de piñón doble de 2 × 5 MW.

Marco Rufli
Maarten van de Vijfeijken
ABB Switzerland Ltd.
Baden-Dättwil, Suiza
marco.rufli@ch.abb.com
maarten.vijfeijken@ch.abb.com

Lecturas recomendadas

[1] Ravani von Ow, T., Bomvisinho, L. (2010). *Use of the latest technology to overcome the demands of mill operation.* Paper presented at the 42nd Annual Canadian Mineral Processors Operators Conference, Ottawa, Canadá.
[2] Ravani von Ow, T., Gerhard, B. (2010). *Ring-geared mills operated with frequency converter (much more than just variable speed).* Paper presented at the SME annual meeting, Phoenix, Arizona, Estados Unidos.

Imagen del título

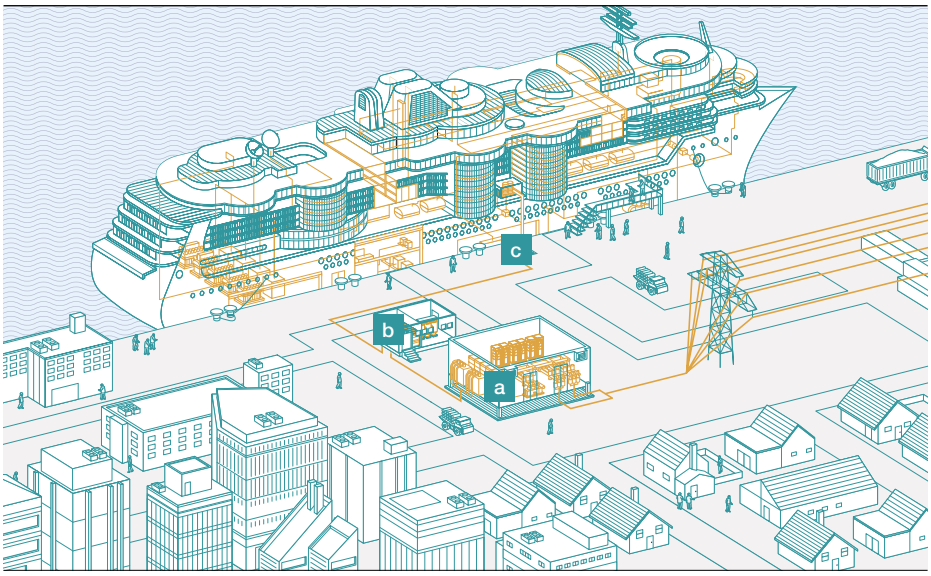
En la planta de concentración de cobre Aitik de Boliden en Suecia se utilizan convertidores de frecuencia de media tensión de la última generación de ABB.

En tierra y a bordo

Examen de las tecnologías de muelle y embarcadas y de la normalización del suministro eléctrico a los buques amarrados

LUTZ THURM, ISMIR FAZLAGIC, THORSTEN HARDER, KNUT MARQUART –
La huella medioambiental de las zonas portuarias es objeto de un minucioso escrutinio. Los gobiernos, las autoridades portuarias y los armadores han explorado diversas soluciones para reducir las emisiones producidas por los buques mientras operan en los puertos. Se ha encontrado una solución a este problema conectando los buques en el puerto a un suministro de tierra que utiliza la electricidad tomada de la red para alimentar la infraestructura del buque necesaria para la tripulación y los pasajeros mientras durante los atraques y para las maniobras de carga. Con la inminente normalización del suministro eléctrico de muelle a buque, es seguro que va a aumentar la implantación de esa solución, que ayudará a las autoridades portuarias y a las compañías navieras a reducir las emisiones que se producen en los puertos.

1 Esquema del suministro de electricidad de muelle a buque



1a Transformador y aparamenta 1b Convertidor 1c Conector

Se han expuesto los argumentos que justifican el suministro de electricidad de muelle a buque → 1: el perfil medioambiental de la electricidad generada por las centrales eléctricas en tierra contrapuesto a los motores diésel de los buques alimentados con combustibles líquidos de los depósitos de a bordo es una de las principales ventajas de esta tecnología. Gracias a la electricidad generada en tierra[1], los organismos reguladores pueden responder a un problema específico y local (la contaminación) con una solución específica y local (la conexión eléctrica en el muelle). Para los puertos, la capacidad de suministrar electricidad a los buques atracados les permite ofertar como servicio una alimentación eléctrica general más eficaz y potente. Además, la inversión en infraestructura es sostenible a lo largo de décadas con ingresos durante periodos prolongados. La zona portuaria obtendrá la ventaja añadida de la reducción del ruido y las vibraciones. Y con la normalización del suministro de electricidad de muelle a buque, vale más la pena la inversión en la tecnología.

La tecnología de muelle

La tecnología necesaria para suministrar energía desde el muelle a los buques atracados no es ninguna novedad. Los ingenieros pueden utilizar tecnologías muy probadas para desarrollar una infraestructura fiable de transporte de electricidad y prestar una atención técnica rigurosa a aspectos como el manejo seguro de los cables. Los costes de los equipos son muy variables en función de las necesidades particulares del puerto y la electricidad que proporciona. Otras inversiones añadidas son consecuencia de la construcción e instalación en el muelle y de las posibles necesidades relacionadas con el refuerzo de la red eléctrica del puerto.

El suministro eléctrico a los puertos suele equivaler al de una pequeña fábrica, con la electricidad necesaria para accionar la infraestructura portuaria de carga y descarga como grúas, cintas transportadoras y pórticos, refrigeración, calefacción y otras de menor importancia. La mayoría de los puertos tienen acceso a una potencia suficiente para atender estas unidades de consumo, con otros 2 a 3 MW para necesidades secundarias. Dado que la electricidad que necesita una embarcación mientras está en puerto puede alcanzar los 10 MW dependiendo de sus características, la infraestructura eléctrica de numerosos puertos será insuficiente para atender una cantidad importante de conexiones eléctricas de muelle a buque sin una importante mejora de su red. Esto puede obligar a invertir en una nueva subestación o a instalar una nueva línea eléctrica de más potencia; ambas medidas deben negociarse con el proveedor de energía eléctrica al puerto.

Las soluciones de alimentación desde el muelle suelen abarcar toda la cadena desde la subestación de entrada e incluyen los transformadores y los convertidores de frecuencia para ajustar la tensión y la frecuencia de la red a las del sistema eléctrico del buque. Esos elementos permiten conectar varios buques simultáneamente para suministrarles electricidad a 50 y 60 hercios independientemente de la frecuencia de la red local. También se incluyen los cables de conexión y los terminales del punto de atraque.

Para cada punto de conexión a la alimentación eléctrica del muelle, el puerto o el ter-

El suministro de energía eléctrica a los puertos suele equivaler al de una pequeña fábrica, con la electricidad necesaria para accionar la infraestructura portuaria de carga y descarga.

Nota a pie de página

1 La alimentación eléctrica desde el muelle al buque se conoce también como *cold ironing* (caldera fría), alimentación eléctrica desde el muelle, corriente alterna naval (AMP) y conexión al muelle, entre otros términos.

2 La cartera de convertidores estáticos de frecuencia de ABB para aplicaciones de suministro eléctrico a los buque amarrados cubre desde 120 kVA (PCS100) a varios MVA (PCS6000).

a Convertidor estático de frecuencia PCS100 de ABB

b Convertidor estático de frecuencia PCS6000 de ABB

minal debe disponer de un transformador especial, que cumple dos fines. En primer lugar, proporciona la necesaria separación galvánica (una conexión directa no metálica entre la red de suministro eléctrico del muelle y el sistema interno del buque), de forma que un fallo de la toma de tierra en el sistema eléctrico del buque no dañe la red del puerto o viceversa. Segundo, el transformador reduce la tensión desde un nivel óptimo para la distribución (por ejemplo, 20 kV) a uno de los dos niveles de tensión normalizados para las conexiones de muelle a buque: 11 o 6,6 kV según lo exija el buque.

Muchos de los buques actuales con equipos de conexión a las instalaciones del muelle no se han construido con este equipo instalado, sino que se han remodelado.

Cada punto de conexión del muelle exige asimismo una aparamenta de media tensión (MV) con un interruptor automático de puesta a tierra. Básicamente, la aparamenta corta el suministro de corriente y el interruptor garantiza que en los cables no haya corriente entre el buque y el muelle mientras se están manipulando y conectando. Puesto que el riesgo mayor asociado con las conexiones eléctricas de suministro desde el muelle son las lesiones del personal que manipula los cables y los sistemas, esta aparamenta tiene un carácter esencial.

Se precisa un convertidor estático de frecuencia para la mayoría de las conexiones eléctricas con el muelle ➔ 2.

La mayoría de los buques trabaja con alimentación a 60 Hz, mientras que las redes eléctricas locales de muchas partes del mundo utilizan 50 Hz ➔ 3.

Por tanto, la mayoría de las conexiones eléctricas con instalaciones del muelle precisarán una conversión de frecuencias. Los convertidores estáticos de frecuencia proporcionan una solución económica para conectar cualquier buque con no importa qué red, independientemente de la frecuencia necesaria. Según sean las características del puerto, una solución centralizada con un convertidor puede atender a muchos buques y puntos de atraque. Gracias al poco espacio que ocupan, los convertidores pueden adaptarse a cualquier edificio o contenedor de subestación junto con la aparamenta y los transformadores compactos. Además, los convertidores de frecuencia mejoran la calidad general de la energía eléctrica de la red portuaria al mejorar el factor de potencia y estabilizar la tensión y la frecuencia. Dependiendo de las prescripciones del proyecto, se utilizan convertidores PCS100 de baja tensión o PCS6000 de media tensión ➔ 2.

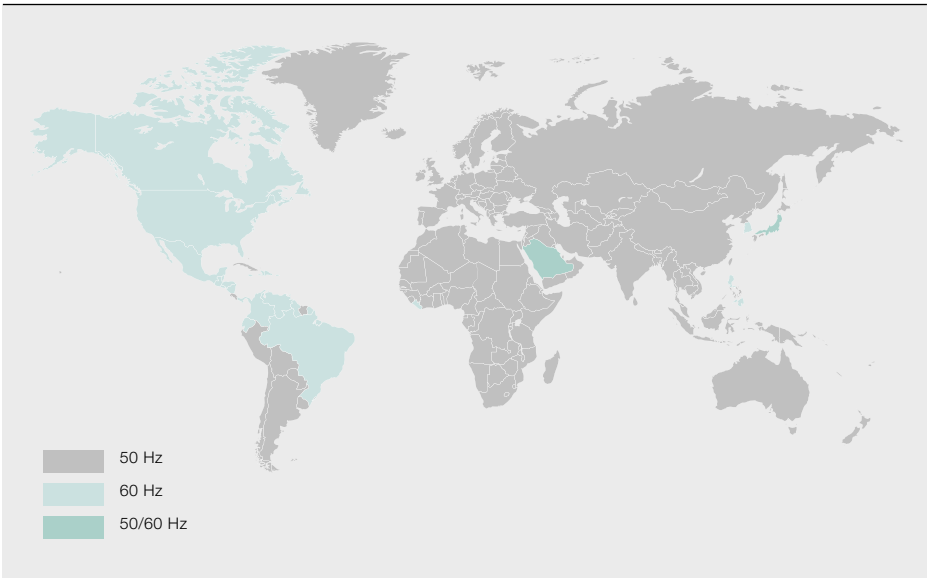
Por último, la infraestructura del muelle para la alimentación de los buques atracados debe incluir un sistema de automatización y comunicación que permita al personal coordinar la conexión de los cables y sincronizar la carga eléctrica del buque al suministro del muelle. Esto es posible con dos RTU (unidad terminal remota), una a bordo y otra en el muelle, que mantengan una comunicación Ethernet con un cable de fibra óptica.

El sistema de alimentación desde el muelle no ocupa mucho del precioso espacio del puerto. La subestación de entrada puede colocarse a cierta distancia, hasta 10 km, del transformador y los paneles de media tensión del muelle que suministran directamente electricidad a la embarcación. En el muelle sólo hay un pequeño y seguro contenedor del tamaño de una habitación que aloja el transformador, la aparamenta de media tensión con un interruptor automático de puesta a tierra, los dispositivos de protección y control y la interfaz con el operario. La ventaja principal de una infraestructura compacta en el muelle es que asegura una actuación sin problemas desde el muelle y que además puede hacerse que sea móvil.

La tecnología de a bordo

Para utilizar la red eléctrica del muelle, los buques deben disponer de equipos, instalados durante su construcción o en remodelaciones posteriores, que permitan la conexión a la red, la sincronización del cambio de la corriente del muelle al buque

3 Las frecuencias en distintas partes del mundo. Estas diferencias requieren convertidores de frecuencia para el paso de la electricidad del muelle al buque.



4 Cables de conexión del buque Oosterdam de compañía Holland America Line

y la conexión de la entrada de alimentación al sistema eléctrico auxiliar del buque. Los buques pueden ser modificados en un tiempo relativamente corto mientras se encuentran operando o en dique seco, sin necesidad de interrumpir sus operaciones durante mucho tiempo.

En primer lugar, la corriente eléctrica de la instalación del muelle debe llegar a bordo mediante cables → 4, → 5.

En algunos casos, especialmente para buques portacontenedores y ferries, el cable se instala en el buque y se descarga con un tambor o carrete al muelle, donde se conecta. En los buques de crucero, el cable se encuentra siempre en el muelle, con un pequeño brazo hidráulico integrado que lo guía.

Cuando el sistema de manipulación del cable está en tierra, la conexión eléctrica se recibe en el buque mediante un panel de conexión con el muelle → 6.

Este panel suele estar cerca del casco y al alcance de los pesados cables del muelle. El panel de conexión con el muelle contiene un interruptor, un relé de protección, la conexión eléctrica física (enchufes y cable de conexión a masa) y una interfaz de control con el sistema de automatización integrado del buque, o sistema de gestión de la energía. Estos sistemas permiten sincronizar la energía eléctrica de entrada con los motores auxiliares diésel del buque antes de proceder a la transferencia de carga. Los paneles de conexión con el muelle de ABB incluyen dos armarios, cuyas dimensiones varían según la potencia. Estos equipos de media tensión deben instalarse en una dependencia dedicada exclusivamente a este fin.

En los buques de propulsión mecánica clásica (en donde los motores diésel mueven directamente las hélices del buque, en lugar de la propulsión eléctrica diésel), el sistema eléctrico auxiliar de baja tensión del buque (normalmente entre 400 y 690 V) precisa un transformador para recibir los 11 o 6,6 kV suministrados desde tierra. Este transformador es relativamente grande y voluminoso, pero a diferencia del panel de conexiones con el muelle, puede instalarse en el cuarto de máquinas o en cualquier otra ubicación adecuada de a bordo.

El proceso de conexión y desconexión del buque a la alimentación situada en tierra requiere entre 5 y 30 minutos. A bordo, el jefe de máquinas o un miembro preparado de la tripulación con experiencia en el sistema de gestión de la energía del buque se encarga de la transferencia de energía. La maniobra del cable puede hacerla personal del buque o del muelle que tenga la preparación adecuada en la manipulación de equipos de media tensión. Al menos una compañía ha empezado a investigar un sistema automático para conectar los cables al buque a fin de mejorar la seguridad y ahorrar tiempo.

Actualmente, la mayoría de los buques equipados con la infraestructura para recibir energía eléctrica desde el muelle son portacontenedores, y muchos proyectistas de buques están incluyendo esta infraestructura en sus proyectos o están dejando espacio para ella. Muchos de los buques actuales con equipo de conexión al muelle han sido remodelados (es decir, se ha añadido el equipo a un buque ya existente), en

IEC, ISO e IEEE han unido sus fuerzas para crear una norma que permita la conexión efectiva de los buques a las redes eléctricas de los muelles en todo el mundo.

5 Conexión de eléctrica de ABB en Gotemburgo, Suecia

6 Panel de conexión con muelle de ABB

lugar de construirlos con el equipo instalado.

Aunque poca de la tecnología instalada a bordo de los buques para el suministro de electricidad desde el muelle es nueva, generalmente debe proyectarse todo el sistema especialmente para cada instalación. Aunque se llegue a normalizar la conexión, no se normalizará el diseño de los buques, lo que significa que las cuestiones de espacio, accesibilidad, interconexión con el sistema de gestión de la energía y los motores diésel tendrán que tenerse en cuenta y evaluarse antes de la instalación. ABB ha desarrollado soluciones llave en mano que cubren todo el alcance del suministro, con una mínima interrupción de las operaciones del buque → 7.

Normalización de los sistemas de conexión de alimentación eléctrica a buques amarrados

Para que el suministro eléctrico a los buques amarrados tenga sentido para puertos y armadores, habrá que instaurar una norma que rija la naturaleza y la disposición de la conexión. Ni el propietario del puerto ni el armador pueden justificar una inversión en equipos costosos que permitan un sistema de conexión con el muelle sin tener la seguridad de que ese sistema va a ser funcional en muchos lugares diferentes y a lo largo de un período definido.

Los trabajos para establecer una norma común para el suministro de energía eléctrica desde el muelle a los buques amarrados se inició a principios de 2005.

Los protagonistas principales de este esfuerzo son proveedores de tecnología, administraciones públicas, autoridades portuarias, navieras (especialmente líneas de cruceros, buques cisterna y portacontenedores), sociedades de clasificación y otros. IEC, ISO e IEEE[2] han unido sus fuerzas para crear una norma que permita la conexión efectiva de los buques a las redes eléctricas de los muelles en todo el mundo. La norma es aplicable a la especificación, la instalación y la prueba de sistemas y centrales eléctricos instalados en tierra y contempla:

- El sistema de distribución en tierra
- La conexión de muelle a buque
- Transformadores y reactancias
- Convertidores de semiconductores y convertidores giratorios
- Sistemas de distribución del buque
- Sistemas de control, supervisión, interbloqueo y gestión de la energía

El objetivo del trabajo de preparación de la norma era definir los requisitos que "permiten, mediante la aplicación de las operaciones adecuadas, que los buques que la cumplan se conecten rápidamente a instalaciones de suministro de alta tensión en el muelle que también la cumplan por medio de una conexión de muelle a buque compatible" [1]. Esto eliminaría la necesidad de que los explotadores de buques o puertos adaptaran o ajustaran sus infraestructuras para permitir las conexiones.

El objetivo inicial de crear una norma mundial única de conexión para todos los buques en todos los puertos hubo de ser abandonado. Las demandas de energía y las capacidades de los buques son tan diferentes que una norma única sería inviable. Como consecuencia, se crearon cuatro normas diferentes pero relacionadas: una para ferries, otra para portacontenedores, otra para cruceros y otra para buques cisterna. Además, hay que considerar dos tensiones principales normalizadas para la conexión: 11 kV y 6,6 kV.

Con una norma mundial establecida, la inversión en sistemas de conexión de energía eléctrica de muelle a buque por parte de los propietarios de puertos y buques debe iniciar el despegue. La norma definitiva está en vías de ratificación.

Lutz Thurm
ABB ship solutions
lutz.thurm@us.abb.com

Ismir Fazlagic
ABB shore solutions
ismir.fazlagic@se.abb.com

Thorsten Harder
ABB frequency converters
thorsten.harder@ch.abb.com

Knut Marquart
ABB Marketing and Customer Solutions
knut.marquart@ch.abb.com

Lecturas recomendadas

- Marquart, K.; Haasdijk, T.; Ferrari, GB; Schmidhalter, R. "Conexión eléctrica desde el muelle al buque". *Revista ABB* 4/2010, pp. 56–60.
- www.abb.com/ports

Referencias

[1] IEC/PAS 60092-510. Edition 1.0 (abril de 2009). Electrical installations in ships – Part 510: Special features – High-voltage shore connection systems. Retrieved September 20, 2010 from http://webstore.iec.ch/preview/info_iecpas60092-510%7Bed1.0%7Den.pdf.

Imagen del título

El buque de cruceros Zuiderdam (página 36) de la Holland America Line está equipado con tecnología de suministro de energía eléctrica de muelle a buque y contribuye así a que la vida residencial en los puertos sea más llevadera.

Nota a pie de página

2 CEI es la Comisión Electrotécnica Internacional; ISO es la Organización Internacional de Normalización; IEEE es el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

El convertidor de cinco niveles

La tecnología ANPC-5L y el accionamiento ACS 2000

FREDERICK KIEFERNDORF, MICHAEL BASLER, LEONARDO SERPA, JAN-HENNING FABIAN, ANTONIO COCCIA, GERALD SCHEUER – La electrónica de potencia moderna ha revolucionado el suministro y la utilización de la energía eléctrica. En el campo de los accionamientos, la posibilidad de seleccionar de forma arbitraria e incluso continua la frecuencia y la amplitud de la tensión de salida de un inversor ha mejorado sustancialmente la eficiencia y el control de la energía.
Los inversores sintetizan la tensión de corriente alterna (CA) conmutando entre distintos niveles de tensión de corriente continua (CC) con una frecuencia alta mediante el empleo de semiconductores. La forma de onda que se crea así es distinta de la sinusoidal ideal debido a esta configuración rectangular de la conmutación. Esa diferencia puede ser suficiente para limitar el uso de esas unidades en muchas aplicaciones que requieren una mayor calidad de la corriente alterna. Una forma de hacer que las ventajas de eficiencia energética de los accionamientos lleguen a una mayor variedad de aplicaciones es aumentar el número de niveles de tensión de CC disponibles. La unidad ACS 2000 de ABB va más allá de los tres niveles que se utilizan normalmente y trabaja con cinco. Además, gracias a su ingeniosa topología, evita muchos de los problemas que, por otra parte, hacen complejos los convertidores de cinco niveles.

Un inversor (un circuito que convierte la CC en CA) funciona según el principio de conmutación entre distintos niveles de tensión de CC. La tensión de salida no presenta por ello la forma de una onda sinusoidal de CA, sino una configuración de impulsos rectangulares de alta frecuencia que trata de parecerse a la onda sinusoidal con la mayor precisión posible ➔ 1c. Una analogía sería una fotografía digital de baja resolución. La fotografía no tiene un parecido exacto con el objeto que describe, pues el escaso número de píxeles limita el detalle que se puede representar. La posibilidad de aproximarse a una onda sinusoidal ideal mediante impulsos rectangulares está asimismo limitada por el número de niveles de tensión disponibles. Sin embargo, a diferencia de la fotografía, el problema no es solamente una cuestión de estética: que la forma no sea la sinusoidal ideal provoca la presencia de armónicos (corrientes y tensiones de alta frecuencia) que pueden tener efectos que van desde sobrecargas en el aislamiento y los cojinetes de apoyo de los motores a interferencias con otros equipos. Se pueden utilizar filtros para uniformizar la salida absorbiendo los armónicos que causan problemas, pero ello supone a la vez un incremento de costes y una causa de pérdidas añadida. Para abordar los efectos de estos armónicos, o bien se diseñan motores que soporten las sobrecargas añadidas (lo que excluye la utilización de muchos motores de los catálogos usuales) o no pueden emplearse esos convertidores en las aplicaciones existentes. Por lo tanto, existe una gran necesidad de un convertidor que pueda generar una salida más próxima a la sinusoidal ideal.

Niveles del inversor

El inversor más sencillo es el convertidor de dos niveles. Se llama de dos niveles porque únicamente puede aplicar dos niveles de tensión: la tensión de alimentación de CC y su inversa. El convertidor de tres niveles de punto neutro fijo (NPC) es una ampliación de este concepto que aplica además la tensión del punto neutro ➔1a y produce las configuraciones de conmutación del tipo mostrado en ➔1c.

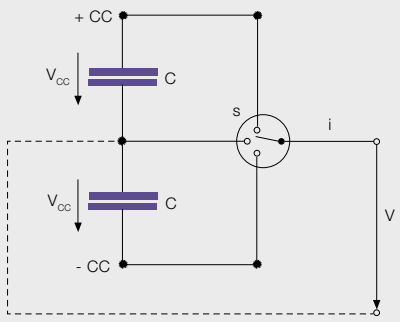
Se han diseñado convertidores que avanzan un poco más y producen cinco niveles de tensión. Sin embargo, esos circuitos suelen ser mucho más complejos. Por ejemplo, si el suministro de CC exige cinco niveles de tensión en lugar de tres, serán precisos más diodos y condensadores de fijación y los correspondientes circuitos de control y carga. Un método alternativo es conectar convertidores en serie. Esto también contribuye a complicar el circuito de alimentación de CC debido a la necesidad de aislar galvánicamente las alimentaciones y, por lo tanto, de usar costosos transformadores. Estas soluciones pueden ser aceptables para niveles de potencia altos, pero la parte baja de la media tensión requiere soluciones más sencillas.

ABB se propuso resolver estos problemas y encontró una solución que genera cinco niveles sin añadir complejidad a la alimentación de CC. Una alimentación de CC de tres niveles no puede producir por sí sola cinco niveles de tensión, por lo que el circuito precisa un condensador extra para cada fase de salida. Pero la solución que ABB ha creado ingeniosamente mantiene cargado este condensador sin necesidad de un circuito de control especial.

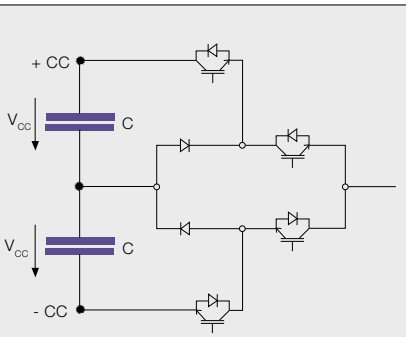
El ANPC-5L

Los conceptos básicos del convertidor de 5 niveles de punto neutro fijo activo (ANPC-5L) se presentan en ➔2a. El condensador de fase Cph se mantiene cargado a la mitad de la tensión de los condensadores de la conexión de CC, es decir, a una cuarta parte de la tensión total de la misma. El principio general es que se puede considerar el circuito como un convertidor NPC de tres niveles más un condensador extra. Este condensador de fase

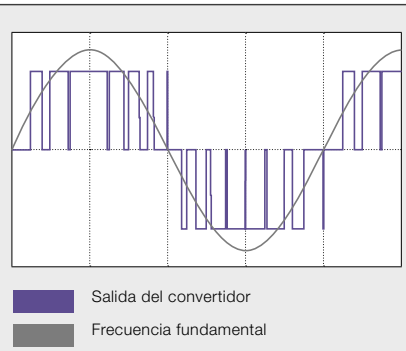
1 Los principios básicos de un convertidor NPC (solamente se muestra una fase)



1a Principio de funcionamiento



1b Circuito



1c Onda de tensión (ejemplo)

El ANPC-5L precisa solamente un condensador más por fase que un convertidor NPC de tres niveles.

se conecta en serie con el convertidor de tres niveles cuando sea necesario y proporciona dos niveles intermedios más de salida.

La alimentación de CC es idéntica a la de un convertidor NPC de tres niveles. La celda 1 de →2b es claramente similar en su topología a un convertidor NPC de tres niveles →1b. De forma similar a un circuito de ese tipo, los dispositivos de conmutación IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) de la celda 1 soportan la mitad de la tensión de la conexión de CC. Gracias a que el condensador añadido está cargado a un cuarto de la tensión de la conexión de CC, los IGBT de las celdas 2 y 3 soportan esta tensión inferior. Esta utilización de los dispositivos con cargas inferiores contribuye a la sencillez del convertidor. La elegancia del diseño se hace aún más evidente cuando se considera que únicamente precisa un condensador más por fase que un convertidor NPC de tres niveles. El convertidor ofrece funcionalidad total de cuatro cuadrantes (se puede hacer la conversión en ambas direcciones).

Funcionamiento del ANPC-5L

Los dispositivos de conmutación de la celda 1 (en →2b) trabajan de forma complementaria, con S1 y Snp2 trabajando conjuntamente (y de la misma forma S4 y Snp1). Los aparatos de la celda 2 trabajan en oposición, al igual que los de celda 3. El número total de estados de conmutación por fase se muestra en → 3.

En total, son posibles ocho estados. Puesto que el convertidor solamente tiene cinco niveles de salida, algunos estados son redundantes. Sin embargo, en vez de deducir de ello que algunos estados del convertidor no se utilizan jamás, el estudio de → 3 revela que para dos de los tres pares de estados redundantes, es decir, V1/V2 y V5/V6, se pueden conseguir efectos opuestos en la carga del condensador de fase. → 4 compara V5 y V6 y muestra la forma en que V6 resta VDC/2 de la tensión de la conexión de CC, mientras que V5 suma ese valor a la tensión del punto neutro. En consecuencia, la corriente que atraviesa el condensador de fase va en la dirección opuesta. Esta característica se puede utilizar para mantener la tensión necesaria en el condensador de fase sin ningún otro circuito de carga.

El ACS 2000

La unidad ACS 2000 utiliza dos convertidores adosados de cinco niveles (B2B). La configuración básica del ACS 2000 se presenta en →5.

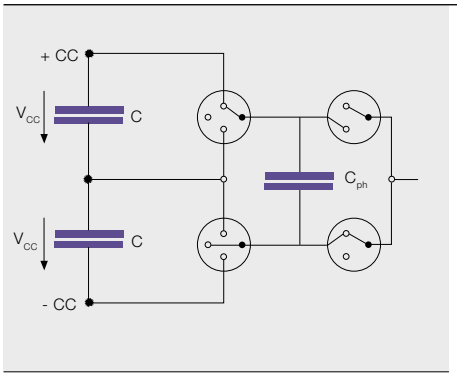
Diseño mecánico

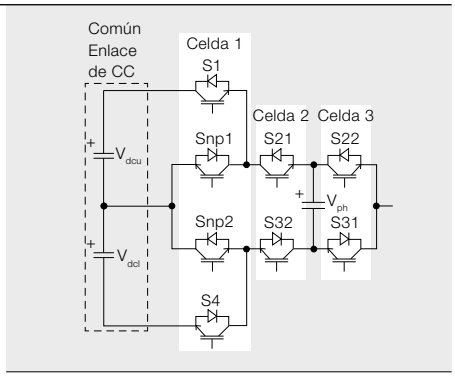
El ACS 2000 sin transformadores →6 se ha diseñado para maximizar el tiempo de funcionamiento gracias a su construcción modular. Los componentes están dimensionados para que cumplan la vida de servicio esperada y se ha facilitado en la parte delantera el acceso a todos los componentes críticos. El diseño por cajones de los módulos de fase facilita una sustitución rápida y segura en caso de avería.

Un componente clave del concepto modular es el módulo de fase →7.

El módulo incluye los componentes principales de una fase del convertidor (como se muestra en →2b), incluidos los semiconductores de potencia, la unidad de puerta y el condensador de fase. Además, el módulo incluye una tarjeta de interfaz con el control del nivel superior, así como los equipos de medida de intensidad y tensión. Esto permite una interconexión sencilla, ya que únicamente se precisa una conexión de alimentación y un enlace de fibra óptica. Las conexiones que llevan corriente se realizan mediante enchufes de contacto.

2 Principio en que se basa el convertidor ANPC-5L (sólo se muestra una fase)





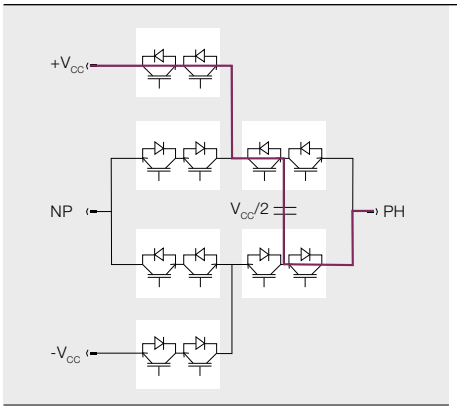
2a Principio de funcionamiento **2b Circuito**

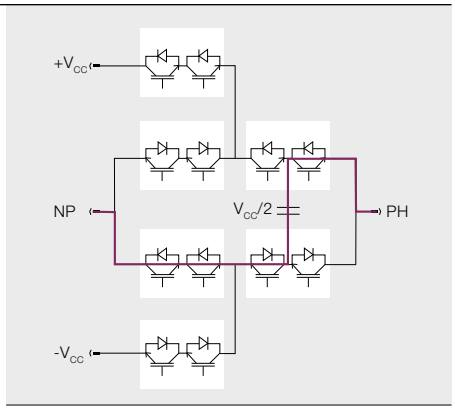
El condensador C_{ph} se mantiene cargado a la mitad de la tensión del condensador del enlace de CC.

3 Estados de fase del convertidor ANPC-5L

Celda 3				Celda 2		Celda 1		Nivel de salida	Desfase de tensión	Efecto sobre C_{ph}		Efecto sobre V_{np}		Vector de cambio
S4	Snp2	Snp1	S1	S32	S21	S31	S22			i>0	i<0	i>0	i<0	
1	0	1	0	1	0	1	0	–2	–V	0	0	0	0	V0
1	0	1	0	1	0	0	1	–1	–V/2	–	+	0	0	V1
1	0	1	0	0	1	1	0	–1	–V/2	+	–	–	+	V2
1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	–	+	V3
0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	–	+	V4
0	1	0	1	1	0	0	1	+1	V/2	–	+	–	+	V5
0	1	0	1	0	1	1	0	+1	V/2	+	–	0	0	V6
0	1	0	1	0	1	0	1	+2	V	0	0	0	0	V7

4 Dos trayectorias distintas de la corriente que producen la misma tensión de salida.

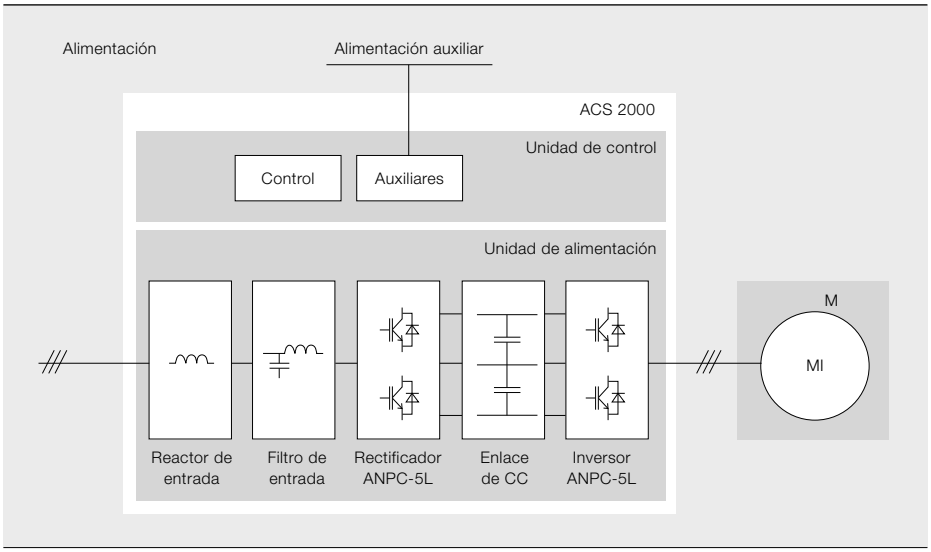




4a Estado de cambio V6 desde → 3 **4b Estado de cambio V5 desde → 3**

La dirección opuesta de la corriente en C_{ph} permite mantener la carga de este condensador.

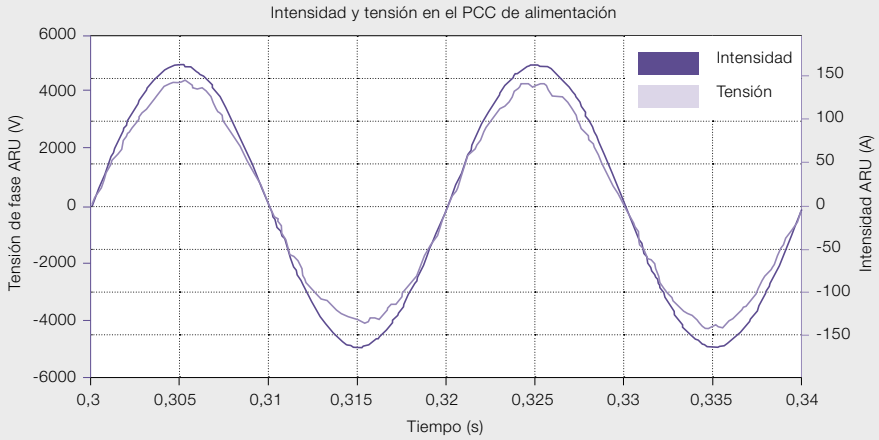
5 Configuración básica de la unidad ACS 2000



6 Unidad ACS 2000 sin transformador de 800 kW 6kV

7 Módulo de fase de la ACS 2000

8 Tensión e intensidad de la entrada del accionamiento que ilustra el funcionamiento con un factor de potencia unitario



El ACS 2000 sin transformadores se ha diseñado para maximizar el tiempo de funcionamiento gracias a su construcción modular.

Gracias a esta sencillez, el usuario puede cambiar un módulo en minutos.

Pruebas

Se ha probado el ACS 2000 en configuración B2B. Se instalaron dos unidades de accionamiento ACS 2000: el DUT (dispositivo sometido a prueba) y un inversor de carga. Las dos unidades fueron alimentadas desde una conexión a la red trifásica común y se conectaron a sus correspondientes máquinas eléctricas (que compartían un mismo eje). Una consecuencia práctica de esta interconexión es que la alimentación solamente tiene que cubrir las pérdidas del sistema de accionamiento. Como ambas unidades (DUT e inversor de carga) eran ACS 2000, era posible observar simultáneamente los modos de propulsión y generación. También se realizaron pruebas B2B a largo plazo para verificar la alta fiabilidad de las unidades.

Prestaciones de entrada y salida

Las prestaciones del rectificador se muestran en ➔8.

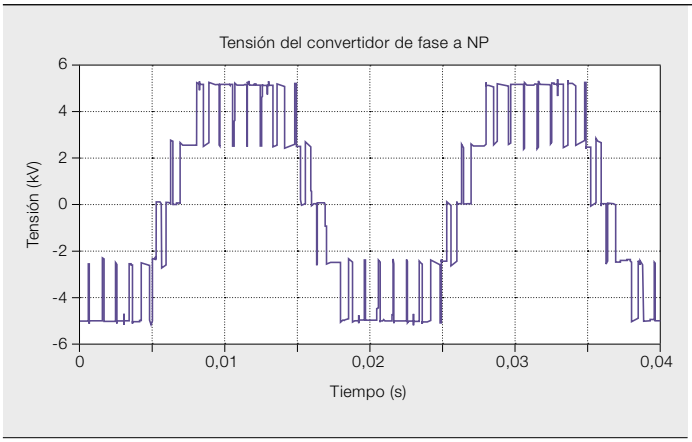
El inversor de cinco niveles entrega al motor una tensión entre fases de nueve niveles. Las formas de onda usuales de tensión y corriente se muestran en ➔9.

El nuevo inversor de cinco niveles produce una salida que está razonablemente cerca de la forma sinusoidal y que cumple los requisitos para el accionamiento de motores diseñados para la conexión directa en línea (DOL) sin necesidad de reducir sus características.

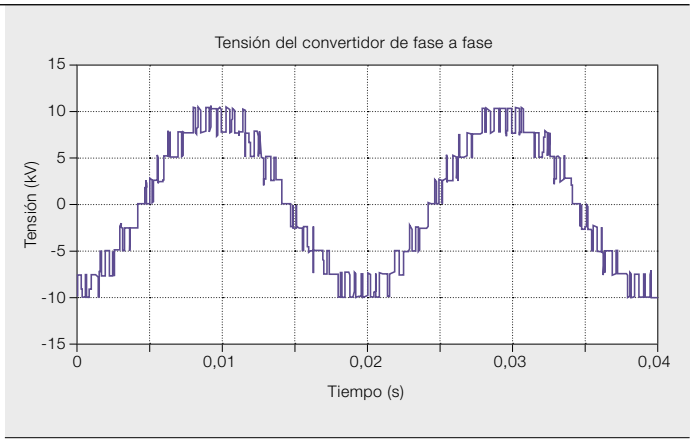
Funcionamiento en caso de cortes de alimentación

Se puede utilizar la combinación de la tecnología multinivel ANPC 5L y el comportamiento dinámico de control directo del par para evitar la desconexión del accionamiento, incluso en el caso de que se produzca un corte de la corriente de red que

9 Formas de onda de la tensión a partir de las mediciones



9a Onda de 5 niveles (fase a neutro)



9b Onda de 9 niveles (fase a fase)

dure varios segundos. También puede seguir funcionando cuando algunas de las alimentaciones auxiliares dejan de funcionar durante un tiempo limitado. La máxima duración admisible para un corte de corriente depende de la carga, de la máquina y del punto de trabajo antes de que se produjera el corte de suministro.

Durante el desarrollo de la operación en caso de fallo, la tensión de la conexión de CC se mantiene en un nivel especificado para mantener la magnetización de la máquina. Para ello, se devuelve la energía de la masa giratoria del motor y la carga a través del inversor para compensar las pérdidas y mantener la tensión de la conexión de CC. Se puede mantener el modo de marcha en caso de fallo mientras la masa giratoria tenga la energía suficiente para atender estas necesidades. Cuando se recupera la tensión de la alimentación de la red, comienza inmediatamente la aceleración de la máquina hasta la velocidad deseada.

Se puede utilizar la combinación de la topología multinivel ANPC 5L y el comportamiento dinámico de control directo del par para evitar la desconexión del accionamiento, incluso en el caso de que se produzca un corte de la corriente de red que dure varios segundos.

Las mediciones de campo realizadas en una instalación real del cliente se muestran en ➔10.

El corte de la alimentación de la red duró un segundo. ➔10a muestra cómo bajan hasta cero la tensión de la red y la corriente de entrada. En ➔10c, se regenera el par del motor durante el corte para mantener la tensión de la conexión de CC ➔10b. Cuando vuelve la tensión de la red, el par vuelve rápidamente al modo de propulsión.

Aplicaciones y logros

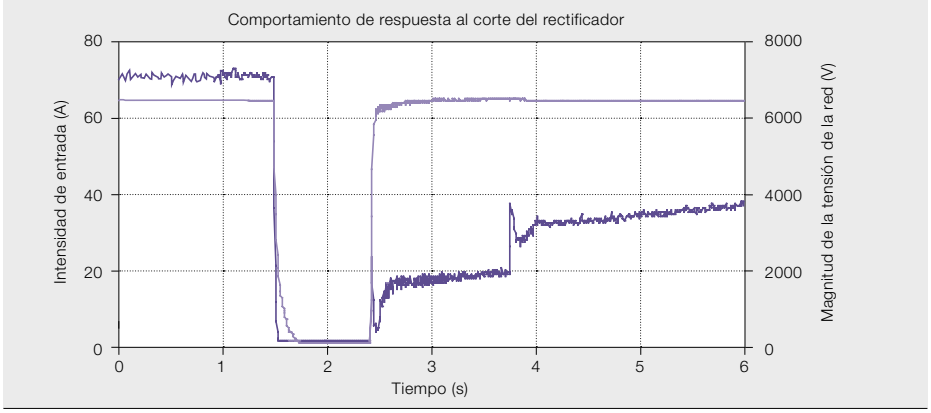
El ACS 2000 está diseñado para diversos campos de aplicaciones en varias industrias dentro del mercado de accionamientos de uso general, como se muestra en ➔11.

El accionamiento que ha ganado un premio

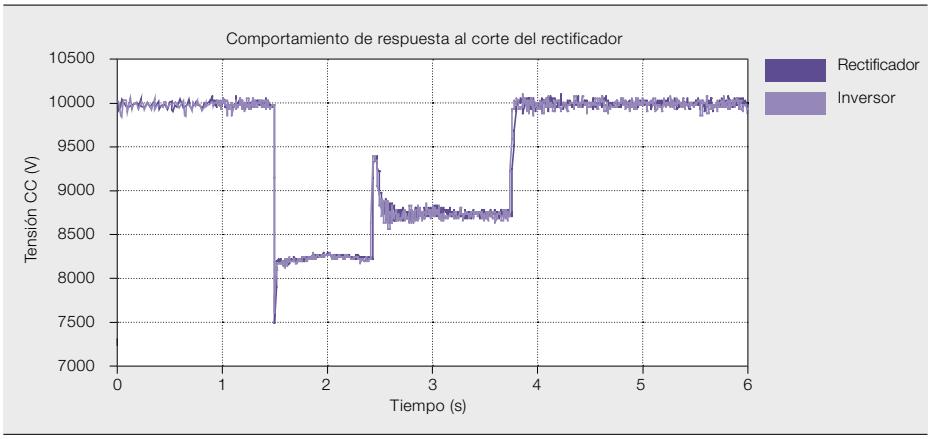
En diciembre de 2010, la empresa de consultoría, Frost and Sullivan otorgó al ACS 2000 el Premio Europeo 2010 a la Innovación para Nuevos Productos de Accionamientos de Media Tensión. Frost y Sullivan expresó que “el producto presenta ventajas tales como conexiones de alimentación con línea flexible, menores armónicos, consumo de energía reducido, facilidad de instalación y puesta en servicio, alta fiabilidad y menor coste de propiedad. El único accionamiento con topología de inversor de fuente de tensión (VSI), diseño sin transformadores y control IGBT multi-

El nuevo inversor de cinco niveles produce una salida que cumple los requisitos para el accionamiento de motores diseñados para la conexión directa en línea (DOL) sin necesidad de reducir sus características.

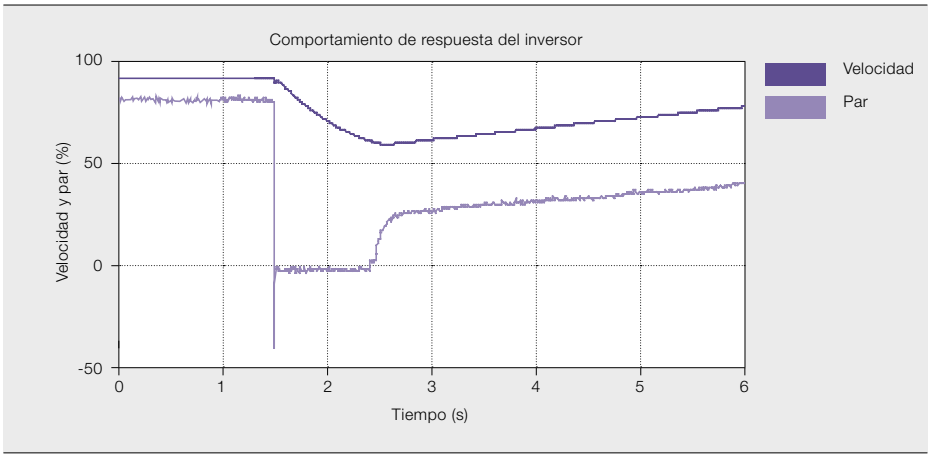
10 Supervivencia a un corte breve: medida del modo de respuesta al corte



10a Alimentación



10b Tensión del enlace de CC



10c Comportamiento

11 Sectores y aplicaciones de destino del ACS 2000

Sectores	Aplicaciones
Cemento, minería, minerales	Cintas transportadoras, trituradores, molinos, ventiladores y bombas
Química, petróleo y gas	Bombas, compresores, extrusores, mezcladores y sopladores
Metales	Ventiladores y bombas
Pasta y papel	Ventiladores, bombas, depuradoras, bombas de vacío y picadoras
Generación de electricidad	Ventiladores, bombas, cintas transportadoras y molinos de carbón
Agua	Bombas
Otras aplicaciones	Pruebas y túneles de viento

nivel patentado, el ACS 2000, marca un hito en el segmento de accionamientos de media tensión (MV) [...] El producto ofrece una serie de características de valor añadido, como sencillez de instalación, puesta en servicio y funcionamiento. Estos atributos son cruciales desde el punto de vista del usuario final."

Frederick Kieferndorf
Leonardo Serpa
Jan-Henning Fabian
Antonio Coccia (anteriormente en ABB)
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil, Suiza
frederick.kieferndorf@ch.abb.com
leonardo.serpa@ch.abb.com
jan-henning.fabian@ch.abb.com

Michael Basler
Power Electronics and Medium Voltage Drives
New Berlin, WI, Estados Unidos
michael.basler@us.abb.com

Gerald Scheuer
Power Electronics and Medium Voltage Drives
Turgi, Suiza
gerald-a.scheuer@ch.abb.com

Lecturas recomendadas

La parte técnica de este artículo se basa en un documento presentado en el simposio de Pisa en junio de 2010.
Debido a problemas de espacio, el presente artículo se acortó considerablemente con respecto al documento original; se recomienda a los lectores interesados en más detalles que lean la versión original [1].

Los autores desean reconocer las aportaciones de compañeros actuales y anteriores al desarrollo de esta tecnología: P. Barbosa, N. Celanovic, M. Winkelnkemper, F. Wildner, C. Haed-erli, P. Steimer, J. Steinke y muchos otros.

Referencias

[1] Kieferndorf, F.; Basler, M.; Serpa, L. A.; Fabian, J.-H.; Coccia A.; Scheuer, G.A. (junio de 2010). ANPC-5L technology applied to medium-voltage variable-speed drives applications. Paper presented at the International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Pisa, Italia. CD-ROM Proceedings.

Imagen del título

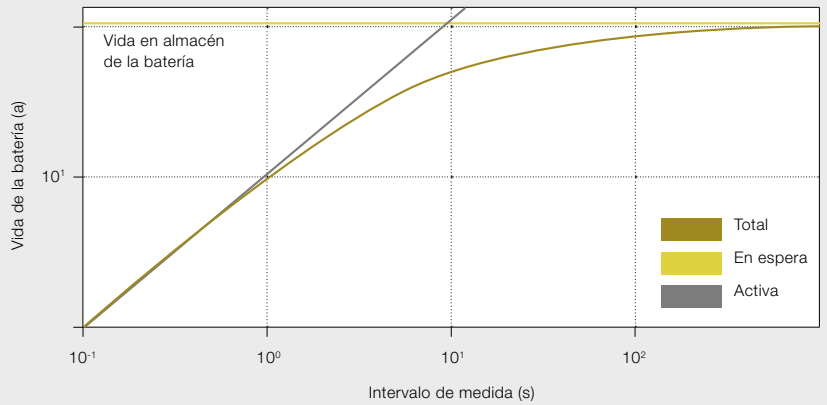
Los accionamientos aparecen en todas partes en centrales e industrias y se presentan en todas las categorías de potencia, desde pequeños ventiladores hasta grandes trituradoras. La imagen corresponde a la central eléctrica de Torrevaldaliga Norte en Italia.

Tiempo de recolección

La captación de energía para la creación de dispositivos realmente autónomos en procesos industriales

PHILIPP NENNINGER, MARCO ULRICH – Buscando reducir aún más los tiempos de inmovilización y hacer máxima la fiabilidad, las empresas tienen que obtener más información sobre el estado de los recursos de una central. Esta información la proporcionan sobre todo los sensores. Instalar más sensores significa tender más cables para alimentarlos y, por consiguiente, incrementar los costes de instalación. Eliminar estos cables no sólo reduciría los costes, sino también la complejidad de todo el proceso. Como el consumo eléctrico de muchos sensores industriales es bastante pequeño, parece que la utilización de baterías sería una solución adecuada. Pero la necesidad de sustituir las pilas con regularidad puede consumir todos los ahorros realizados instalando inicialmente sensores inalámbricos Hay otra solución llamada captación o recolección de energía. Se llama así a la captación de energía (ambiental, cinética, eólica, lumínica), procedente de fuentes externas y su almacenamiento para alimentar equipos electrónicos de baja potencia. La energía ambiental está disponible en abundancia en el sector de la transformación, y su captación está empezando a hacerse notar.

1 Vida de la batería durante el intervalo de medida de una transmisor de temperatura ideal



La tecnología inalámbrica ha tenido un impacto considerable en la sociedad a lo largo de los últimos 15 años y, entre tanto, los avances tecnológicos demuestran que está siendo aceptada gradualmente en la industria de procesamiento, especialmente para supervisar los recursos de que se dispone.

Las plantas de automatización de procesos disfrutan normalmente de una vida útil de unos veinte años; para hacer máxima la rentabilidad de la inversión en este tiempo, su utilización debe ser lo mayor posible. Puesto que una instalación industrial sólo puede estar operativa si todos los recursos necesarios funcionan correctamente, es obligatoria una gran fiabilidad de los componentes. Esto se puede conseguir supervisando los recursos para detectar posibles defectos de los equipos antes de que se produzcan y eliminar de forma programada la causa que produce esos fallos. Para ello, se necesita disponer de más información de sensores. Esta información puede proceder, bien de sensores ya instalados que puedan proporcionar las medidas necesarias, como pueden ser los transmisores de presión diferencial de ABB utilizados para la detección de líneas de impulso (PIL) obturadas, bien de otros sensores colocados en otros puntos del proceso. Si hacen falta otros sensores, los costes de instalación deben reducirse al mínimo para maximizar el beneficio derivado de ellos. Pero, dado que el cableado y la instalación pueden llegar a alcanzar casi el 90% del coste total del dispositivo, es conveniente desde el punto de vista financiero y tecnológico analizar la posibilidad de utilizar dispositivos inalámbricos.

Tecnología inalámbrica

Las soluciones inalámbricas no son ninguna novedad en el sector de la transformación; de hecho, aparecieron en el decenio de 1960. Pero estas soluciones se han aplicado primordialmente en productos especializados para determinados mercados, como el AquaMaster de ABB, un caudalímetro de agua electrónico comercial, o los totalizadores de caudal para la industria del gas y el petróleo. Totalflow de ABB, un sistema de medición y automatización a distancia, es un ejemplo de este tipo.

Como sucede con la tecnología de bus de campo, todo protocolo inalámbrico que trate de alcanzar una masa crítica requiere una norma universal admitida por todos los fabricantes de dispositivos. Una de esas normas ya existe y se llama WirelessHART.

WirelessHART es la primera norma internacional para aparatos inalámbricos que se ha elaborado específicamente para satisfacer los requisitos de las redes de instrumentos en el campo de los procesos.

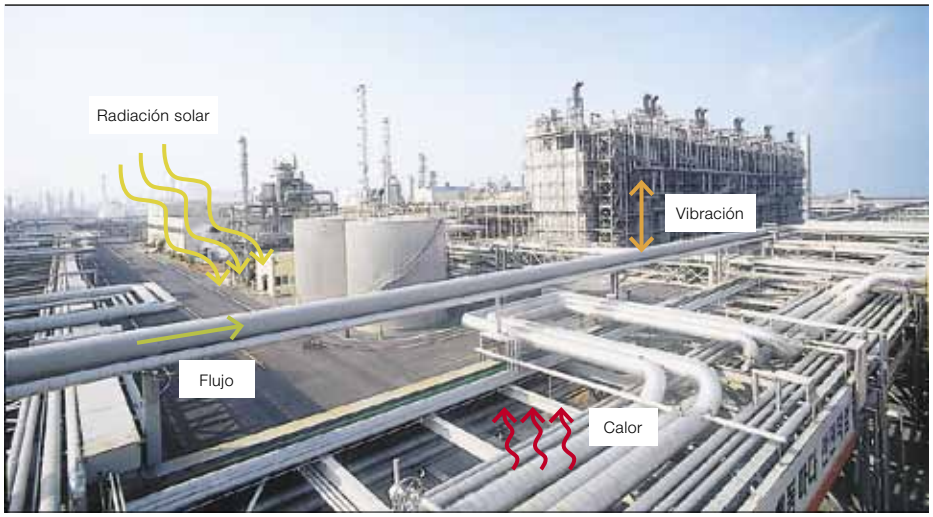
La fiabilidad de las redes es uno de los principales puntos de atención de la automatización de procesos. Un aspecto de las redes inalámbricas que ha influido en la fiabilidad es el sector de las redes malladas. Las redes malladas proporcionan canales redundantes espacialmente entre dos nodos de la red transmitiendo mensajes por rutas diferentes. Así, aumenta la tolerancia a los fallos de comunicación y se permite que una red bien diseñada admita fallos de los aparatos de enlace y encaminamiento de comunicaciones. Además, la redundancia espacial de las redes malladas asegura una comunicación fiable incluso en las bandas industrial, científica y médica (ISM). Por supuesto, la retransmisión de mensajes (como consecuencia de la red mallada) junto con el requisito de una seguridad constante repercute en la necesidad de energía, que debe compensarse para conseguir una optimización de baja potencia.

Puesto que el cableado y la instalación pueden alcanzar casi el 90% del coste total de un dispositivo, conviene analizar la posibilidad de utilizar dispositivos inalámbricos.

Optimización de baja potencia

Hay algunas diferencias importantes entre los dispositivos conectados por cable y los

2 La captación de energía permite convertir la energía creada por procesos industriales en energía eléctrica



3 Un transmisor de temperatura totalmente autónomo

inalámbricos en lo que respecta a la optimización de baja potencia; para ilustrar este punto, vamos a utilizar el transmisor de temperatura industrial TTH300 de ABB, conectado por cable. El dispositivo TTH300 se alimenta por el bucle de corriente de 4–20 mA y mide, por ejemplo, la resistencia del Pt100 de 4 hilos (y, por tanto, la temperatura en la punta del sensor) a intervalos de tiempo muy cortos (según el tipo de sensor y la configuración, puede ser cada 100 ms). Puesto que el bucle de 4–20 mA proporciona continuamente hasta 40 mW de potencia, el dispositivo se ve limitado por la potencia que puede extraer, aunque la energía que consume es irrelevante.

Por otro lado, un sensor inalámbrico no necesita medir temperaturas varias veces por segundo, porque la mayoría de las redes inalámbricas industriales del sector de la transformación no admiten de forma utilizable esos intervalos cortos de actualización. Entre dos mediciones, el transmisor sólo tiene que actuar en la red como repetidor de los mensajes de otros nodos. La electrónica puede permanecer el resto del tiempo en un modo que se denomina de baja potencia, durante el cual no se efectúan cálculos ni mediciones y sólo se consume una parte de la energía.

En el modo de baja potencia, se puede estimar el consumo de energía del dispositivo teniendo en cuenta la potencia consumida en los modos activo y de baja potencia y el ciclo de trabajo del dispositivo. Para el dispositivo inalámbrico descrito anteriormente, el ciclo de trabajo se corresponde aproximadamente con el tiempo preciso para actualizar el sensor. Si no se tiene en cuenta la autodescarga de la batería, se puede efectuar una estimación aproximada de su vida útil en un transmisor alimentado por pilas. En → 1 se ilustra el cálculo correspondiente para un dispositivo ideal.

Captación de energía

La sustitución periódica de las baterías no siempre es una opción ya que, dependiendo de la configuración de la planta, podría anular el ahorro derivado de utilizar dispositivos inalámbricos. En vez de ello, se ve como posible solución la denominada captación de energía (EH), que resuelve este aspecto con dispositivos realmente autónomos. La captación de energía convierte la energía disponible durante el proceso → 2 en energía eléctrica útil, que a su vez se emplea para alimentar dispositivos inalámbricos. Las fuentes de alimentación usuales incluyen procesos fríos y calientes, radiación solar y energía de vibración y la energía cinética de los medios fluidos o las piezas móviles. Los mecanismos más importantes son la radiación solar y los convertidores termoeléctricos y cinéticos.

Radiación solar

Aunque la fotovoltaica es actualmente una tecnología sólida e implantada, sus aplicaciones en interiores son bastante limitadas. Si bien la potencia disponible en el exterior puede alcanzar unos 1.000 W/m^2, los valores usuales en interiores son del orden de 1 W/m^2 [1]. En otras palabras, la cantidad de energía que se puede captar es limitada.

Termoelectricidad

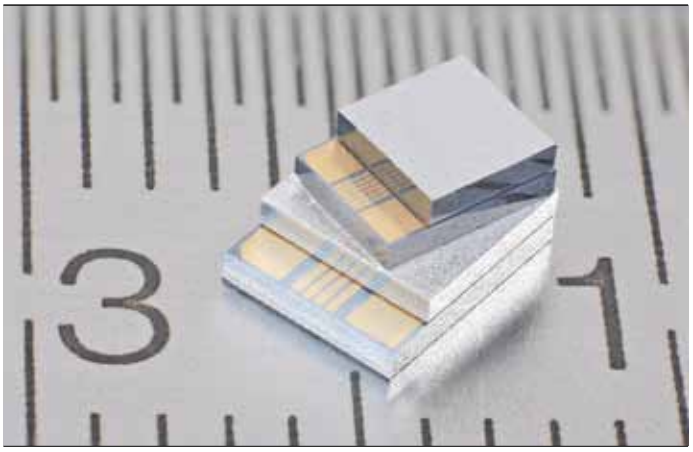
Los generadores termoeléctricos (TEG) captan energía eléctrica a partir de la energía térmica (los gradientes de temperatura entre procesos calientes o fríos y el medio ambiente) utilizando el efecto Seebeck[1] [2].

La captación convierte en electricidad útil la energía disponible en un proceso industrial.

Nota a pie de página

1 El efecto Seebeck, descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821, es un fenómeno en virtud del cual una diferencia de temperatura entre dos conductores eléctricos o semiconductores distintos genera una diferencia de tensión entre ambos materiales.

4 Con una ocupación de espacio de sólo 8 mm², el micro TEG permite tensiones de salida elevadas.



Fuente: Micropelt GmbH

5 Simulaciones térmicas numéricas

Distribución de la temperatura del proceso de 80 °C (rojo)
Temperatura ambiente de 25 °C (azul)

Aunque el rendimiento de los TEG es muy bajo (normalmente inferior al 1%), la tecnología es muy sólida y estable. Suele haber importantes depósitos de temperatura, especialmente en el sector de la transformación. Por lo tanto, hay calor disponible en abundancia, y la energía que puede obtenerse mediante TEG comerciales basta para mantener diversos nodos de sensores inalámbricos en distintas situaciones.

Convertidores cinéticos

La conversión directa del movimiento mecánico –vibraciones, por ejemplo– en energía eléctrica se puede conseguir mediante diferentes mecanismos transductores:

- Mecanismos electromagnéticos que utilizan una bobina montada en un soporte flexible que se mueve dentro del campo magnético estático de un pequeño imán permanente. Esto induce una tensión como explica la ley de Faraday.
- Los transductores piezoeléctricos se basan en materiales piezoeléctricos. Si se somete una masa de prueba apoyada en una suspensión a un movimiento cinético se produce su desplazamiento, lo que induce una tensión mecánica en el material piezoeléctrico.
- Los transductores electrostáticos se basan en un condensador variable cargado. Cuando se aplican fuerzas mecánicas, se realiza trabajo contra la atracción de las placas con cargas contrarias del condensador. Como consecuencia, la variación de capacidad induce la circulación de una corriente en un circuito cerrado.

En resumen, todos los convertidores cinéticos se basan en un resonador mecánico, y los sistemas únicamente pueden producir una potencia razonable si la frecuencia de resonancia del dispositivo de captación coincide con la frecuencia de la excitación exterior. La utilización de accionamientos de frecuencia variable en el proceso limita realmente la aplicación de sistemas de captación por vibraciones.

Componentes y arquitectura del sistema

La captación de energía puede ser un proceso discontinuo: por ejemplo, en el caso de aplicaciones fotovoltaicas de exterior, los ciclos día-noche pueden resultar en fuentes de energía inestables; los tiempos de parada de las plantas pueden dar lugar a diferentes temperaturas del proceso que influyen en la energía suministrada por los TEG; y los accionamientos de frecuencia variable pueden dar lugar a una producción variable de energía en los captadores por vibración. Por contra, a veces los sistemas de captación de energía suministran más energía de la necesaria.

ABB ha desarrollado un transmisor de temperatura autónomo con un sistema EH completamente integrado.

El perfil del consumo de energía de los nodos de sensores inalámbricos típicos es también discontinuo: dependiendo del ciclo de trabajo y de la tasa de actualización del sensor, pueden producirse picos de carga que exijan almacenamiento porque los sistemas EH no puedan soportar a corto plazo estas elevadas corrientes. Básicamente, todo sistema EH necesita un almacenamiento que permita superar las veces en que el dispositivo captador no pueda suministrar suficiente energía para el nodo de sensores. Los almacenamientos usuales incluyen:

- Condensadores especiales o de capa híbrida. Estos condensadores admiten corrientes de pico altas.
- Baterías secundarias recargables.
- Baterías primarias convencionales. Éstas no pueden almacenar una cantidad excesiva de energía procedente del sistema EH, pero sí se pueden utilizar para suministrar energía en los momentos en que el sistema no puede.
- Baterías primarias industriales típicas. Estas baterías tienen un periodo de vida en almacén muy prolongado con una tasa de autodescarga baja y constituyen una alternativa muy fiable para la compensación.

Las baterías secundarias convencionales de iones de litio se caracterizan por una cantidad limitada de ciclos de carga y descarga.

Los dispositivos de captación y los elementos de almacenamiento precisan una gestión de la energía (PM) adecuada para que puedan constituir una fuente de alimentación realmente autónoma. La gestión energética tiene dos funciones principales:

- Ajustar las características de la tensión y la corriente de salida del sistema EH a los requisitos de entrada del elemento consumidor de electricidad.
- Conmutar sin saltos bruscos entre los depósitos de energía y las distintas fuentes de EH.

Unos dispositivos completamente autónomos ayudarán a los ingenieros a conseguir un mejor control de los procesos industriales.

Transmisor de temperatura autónomo de ABB

La investigación de ABB ha desarrollado un transmisor de temperatura totalmente autónomo → 3 que emplea un sistema EH completamente integrado. Se han integrado generadores termoeléctricos en el dispositivo de forma que el manejo, la estabilidad y el factor de forma del transmisor permanezcan invariables a lo largo de su vida y la funcionalidad se vea considerablemente mejorada. El dispositivo incluye asimismo una solución inteligente para el almacenamiento de energía en aquellas ocasiones en las que la temperatura del proceso no basta para generar suficiente energía.

El tamaño total del transmisor de temperatura seleccionado impide la integración de TEG convencionales, que normalmente tienen dimensiones macroscópicas de entre 10 y 20 cm^2.

En su lugar, se utilizaron nuevos generadores microtermoeléctricos (micro-TEG), producidos según un proceso de fabricación por obleas [4] → 4.

La mayor dificultad para integrar estos dos dispositivos fue el asegurarse de que se conservaban la estabilidad y la solidez del transmisor.

En la mayoría de los casos, el proceso está más caliente que la temperatura ambiente y, por ello, hay que acoplar el lado caliente de los TEG al proceso con la mejor conductividad térmica. Se han efectuado numerosas simulaciones numéricas para optimizar el flujo de calor a través de los TEG → 5.

El otro lado (o lado frío) debe enfriarse y se comunicará, por tanto, con el aire ambiente por medio de un sumidero de calor. El sumidero de calor debe colocarse a una distancia suficiente para permitir aquellas aplicaciones en las que el tubo del proceso está cubierto con una gruesa capa aislante.

Con una diferencia mínima de unos 30 K entre las temperaturas del proceso y del aire ambiente, el sistema puede generar la energía suficiente para alimentar la electrónica de medida y de comunicación inalámbrica. Con gradientes de temperatura superiores a 30 K, se genera más energía de la que se precisa, que podría utilizarse para permitir, por ejemplo, índices de actualización más rápidos.

> Los dispositivos totalmente autónomos pueden ayudar a una mejor comprensión y control de los procesos industriales y, por tanto, a hacerlos más rentables.

Previsiones futuras

El transmisor de temperatura alimentado mediante EH resuelve un problema fundamental de los nodos de sensores inalámbricos: ya no se precisa la sustitución periódica de las baterías primarias, lo que a su vez ayuda a reducir el coste total de propiedad. Si bien la captación de energía no siempre es posible para todos los sensores en todos los casos, constituye un suministro de energía alternativo para una amplia gama de dispositivos. Los dispositivos totalmente autónomos pueden ayudar a una mejor comprensión y control de los procesos industriales y, por tanto, a hacerlos más rentables.

Philipp Nenninger
Marco Ulrich
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania
philipp.nenninger@de.abb.com
marco.ulrich@de.abb.com

Referencias

[1] Müller, M.; Wienold, J.; Reindl, L. M. (2009). Characterization of indoor photovoltaic devices and light. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference: 000738-000743.
[2] Vining, C. B. (2001). Semiconductors are cool. Nature, 413 (6856), 577–578.
[3] Nenninger, P.; Ulrich, M.; Kaul, H. (2010). On the energy problem of wireless applications in industrial automation. *In proceedings of the IFAC Symposium on Telematics Applications* (218–224).
[4] Nurnus, J. (2009). Thermoelectric thin-film power generators self-sustaining power supply for smart systems. *In proceedings of smart sensors, actuators and MEMS IV: Vol. 7362-05.* Dresden.

Imagen del título
Igual que se recolectan los cereales para producir alimentos, se puede recolectar energía para producir electricidad.

Seguridad sin chispas

Motores y generadores síncronos y de inducción con un funcionamiento garantizado sin chispas

GÖRAN PAULSSON, JOHAN KARLSSON, JUSSI RAUTEE – Los motores y generadores eléctricos son la columna vertebral de nuestra sociedad industrial: mueven compresores y bombas y generan electricidad. Pero como son eléctricos, plantean riesgos importantes en situaciones en las que hay gases explosivos. Las industrias de extracción de petróleo y gas son un ejemplo. Una chispa, una superficie caliente o un campo eléctrico intenso, tal como una corona (el zumbido que se puede oír en ocasiones bajo una línea de suministro de alta tensión), son amenazas potenciales a la seguridad en un entorno con presencia de gas explosivo. Los motores y generadores síncronos y de inducción de gran tamaño de ABB están homologados para los requisitos de seguridad más recientes y exigentes (las normas internacionales de la IEC) y garantizan un funcionamiento sin chispas.

El diseño y la homologación de los grandes motores síncronos y de inducción de alta tensión proporcionan menores tiempos de puesta en marcha y menores requisitos de mantenimiento.

Durante años, ABB ha tomado medidas para que el diseño y la fabricación superen las normas oficiales de calidad y seguridad, que son fundamentales para sus clientes. En 2010 se homologaron todos sus motores y generadores síncronos de gran tamaño de acuerdo con las normas internacionales más exigentes (IEC 60079-15:2010 y IEC 60079- 7:2006); ahora, toda la gama de motores y generadores de baja y alta tensión de la compañía está homologada para trabajar en zonas peligrosas → 1.

Los clientes que emplean equipos que no están probados ni homologados suelen equipar el motor con un sistema de presurización. Esto significa invertir en compresores de aire de gran capacidad, tuberías y una unidad de control de la ventilación. Al comprobar y homologar sus motores, ABB ayuda a sus clientes a simplificar sus procesos de evaluación de riesgos.

Las ventajas del método de ABB incluyen la reducción de desembolsos iniciales de capital, menores costes de explotación y puesta en marcha más rápida del motor. También mejora la fiabilidad, ya que no hacen falta más componentes. La homologación puede afectar considerablemente a los costes. Así, en una refinería, la ventilación de un motor durante 30 minutos cuesta enormes cantidades de dinero en tiempos de inmovilización y pérdida de producción. Con los equipos homologados de ABB los clientes pueden ahorrarse esos gastos.

A pesar de los grandes avances de la automatización, la fabricación de un motor eléctrico que pesa hasta 80 toneladas sigue requiriendo mucha mano de obra.

El desarrollo de las normas IEC 60079 se inició después de varios incidentes graves por explosiones, que se relacionaron con motores que trabajaban en zonas peligrosas y sus proximidades en los campos petrolíferos y de gas del Mar del Norte, ocurridos en los años 1980 y 1990.

Conjuntamente con el instituto nacional alemán Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) y Shell, ABB presentó un documento [1] en una concurrida conferencia en Europa, la PCIC IEEE de 2008.

Las normas que se presentaron en el documento fueron desarrolladas por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), una organización de más de 100 años de antigüedad que se ocupa de reglamentos y normas internacionales → 3.

Nota a pie de página

1 IEEE PCIC quiere decir Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) y Petroleum and Chemical Industry Committee (Comité de la Industria Química y del Petróleo)

1 Fundamentos de la protección frente a explosiones

Las atmósferas en las que se realizan las operaciones propias de las industrias química, del petróleo y del gas se clasifican en peligrosas y no peligrosas. Los medios peligrosos contienen componentes potencialmente explosivos, como gases, vapores, neblinas o polvos. Estas atmósferas se clasifican en categorías de riesgo basadas en la presencia y la concentración de sustancias explosivas:

- Zona 0: atmósfera explosiva permanente.
- Zona 1: atmósfera explosiva durante menos de 1.000 horas/año.
- Zona 2: atmósfera explosiva durante menos de 10 horas/año.

Una máquina instalada en una zona peligrosa necesita un tipo de protección especial para evitar la ignición de los gases explosivos que pueda haber presentes. Las normas internacionales definen los tipos de protección que permiten las operaciones industriales en dos zonas llamadas 1 y 2. La finalidad de la protección es evitar fuentes de explosión, típicamente superficies calientes y chispas.

Una de las consideraciones más importantes cuando se colocan las bobinas dentro del estator es dejar suficiente espacio entre ellas para evitar descargas de corona.

2 Tipos de protección “n” y “e”

La norma IEC 60079–15:2010 especifica los requisitos de construcción, prueba y marchamos para el material eléctrico del grupo II con tipo de protección “n” (sin chispas), destinado a funcionar en atmósferas explosivas de zona 2. Esta norma se aplica a equipos eléctricos con una tensión nominal no superior a 15 kV rms en CA o CC.

La norma IEC 60079–7:2006 especifica los requisitos de diseño, construcción, prueba y marchamos para el material eléctrico con protección “e” (seguridad aumentada) destinado a funcionar en atmósferas explosivas de zonas 1 y 2. Esta norma se aplica a equipos eléctricos con una tensión nominal no superior a 11 kV rms en CA o CC.

3 Normas IEC

El 15 de septiembre de 1904, los delegados del Congreso eléctrico internacional celebrado en St. Louis, Missouri, EE UU, adoptó un informe que recogía la siguiente frase: “Se adoptarán medidas para obtener la cooperación de las sociedades técnicas de todo el mundo mediante el nombramiento de una comisión representativa que aborde la cuestión de la normalización de la nomenclatura y la capacidad de las máquinas y los aparatos eléctricos”.

La respuesta fue la IEC, fundada oficialmente en Londres en junio de 1906. Desde entonces, la IEC ha participado en la elaboración de normas, directrices de seguridad, pruebas y especificación de componentes para el sector electrotécnico internacional. La misión del grupo lo abarca todo, desde condensadores, resistencias, semiconductores, equipos de comunicación por radio y aparatos eléctricos hasta motores eléctricos.

En 1930, la actuación de la IEC fue decisiva para instaurar el hercio como unidad de frecuencia, el gauss como unidad de densidad del flujo magnético y el gilbert como unidad de fuerza magnetomotriz, entre otras unidades.

En 2005 la IEC publicó un diccionario multilingüe con más de 20.000 términos de electrotecnia en 13 idiomas.

A lo largo de los años, las normas y pruebas de la organización se han convertido en algo así como un permiso para que la industria de fabricación de motores eléctricos pueda producir y vender motores seguros y eficientes.

ABB y las normas

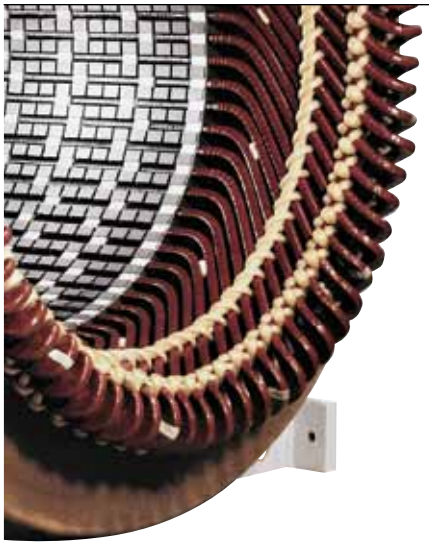
ABB fabrica dos tipos de motores eléctricos de alta tensión, síncronos y de inducción, en plantas de Suecia, Finlandia, Italia, Sudáfrica, China e India. Un motor eléctrico síncrono es un motor de corriente alterna que se caracteriza por una velocidad de giro proporcional a la frecuencia de la tensión de alimentación de CA, es decir, que el motor funciona en sincronía. La magnetización del rotor la lleva a cabo normalmente una unidad externa. Estos motores pueden diseñarse para que funcionen de forma continua en atmósferas designadas como zona 2, clasificadas como “Ex nA, máquinas que no producen chispas”.

Un motor de inducción o asíncrono es un motor de CA en el que el rotor se magnetiza mediante inducción electromagnética, pero su velocidad de giro está ligeramente por debajo de la velocidad sincrónica; es decir que el motor gira asincrónicamente. Se pueden diseñar estos motores para que funcionen en zonas 1, y se conocen asimismo como “Ex e, máquinas de mayor seguridad”.

El 28 de enero de 2010 entraron en vigor nuevas normas de la IEC para equipos situados en atmósfera explosiva. Al basarse en desarrollos y pruebas anteriores, la

4 Sección transversal de una bobina aislada de alta tensión

5 Estator devanado e impregnado preparado para el montaje



6 La prueba

Cumplimiento de IEC 60079–15: las normas 2010 para motores síncronos y generadores sin chispas exige una prueba de tres minutos del estator en una atmósfera explosiva. La prueba es obligatoria para motores de más de 1 kV de tensión nominal que funcionen en presencia de, por ejemplo, hidrógeno, etileno o acetileno y de más de 6,6 kV que funcionen en medios con trazas de propano, gasóleo, acetona, etano, amoniaco u otros gases y vapores explosivos (hasta una docena).

Durante la prueba, el devanado del estátor se cubre con un plástico y se llena con una mezcla de hidrógeno y aire u otro gas explosivo. A continuación se somete el estátor a una tensión variable y creciente (sinusoidal) hasta alcanzar el nivel de prueba especificado. Si se produce una explosión causada por una chispa diminuta en el devanado del estátor, el plástico se rompe y deja salir una onda de presión. La tensión de prueba especificada es 1,5 veces la tensión nominal.

Para pasar la prueba, no se debe producir la ignición de la mezcla gaseosa explosiva.

Según las pruebas realizadas en Alemania en la Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) en 2004 y 2009, los estátor de ABB no producen chispas hasta tensiones de 13,8 kV para el hidrógeno (gas representativo del grupo IIC) y hasta 15 kV para el etileno y el propano (representantes de los grupos IIB y IIA).

En el caso de un motor de inducción de jaula, también el rotor de jaula se prueba en una atmósfera explosiva para comprobar si las barras producen chispas. Esta prueba no es necesaria en el caso de un motor síncrono, pues su construcción es diferente.

La misma norma IEC 60079 especifica la prueba para motores de inducción para el tipo de protección aumentada.

mayoría de la producción de motores y generadores síncronos y de inducción de alta tensión de ABB cumplía con estas normas. Durante 2010 se hizo que el resto de la producción las cumpliera plenamente.

A pesar de los grandes avances de la automatización, la fabricación de un motor eléctrico que pesa hasta 80 toneladas sigue requiriendo mucha mano de obra. Por ejemplo, en la fábrica de ABB de Västeräs, Suecia, se fabrican a la medida unos 200 motores y generadores al año para que cumplan las especificaciones precisas de los clientes. Los trabajadores utilizan una máquina para doblar meticulosamente hilos de cobre aislados con mica del tamaño de un dedo índice a la forma exacta requerida ➔ 4.

En el paso siguiente, las bobinas así preparadas se aíslan con una capa extra de mica antes de colocarlas en el estator.

La física de los motores eléctricos es relativamente básica y es bien comprendida por muchos; lo difícil es el aislamiento de las bobinas de cobre que se devanan en el estator y que se unen con un cordón de fibra de vidrio. Posteriormente se impregna todo el estator con una resina epoxi en un proceso que se denomina impregnación al vacío o VPI.

Después de la impregnación, se endurece el estator en un horno para que adquiera sus propiedades mecánicas y eléctricas finales ➔ 5.

Este sistema Micadur®-Compact Industry (MCI) asegura un aislamiento sellado y homogéneo que se traduce en bajas pérdidas del dieléctrico, alta resistencia mecánica y eléctrica y una excelente transferencia de calor dentro del estator. Si bien este aislamiento es un sistema probado y de eficacia demostrada, uno de los aspectos más importantes cuando se colocan las bobinas dentro del estator es dejar espacio suficiente entre ellas para evitar descargas de corona. Si las bobinas están demasiado cerca unas de otras, hay riesgo de formación de corona. Dejando suficiente espacio de aire entre las bobinas y optimizando la forma en que se colocan, se maximiza el aprovechamiento de la máquina. También es esencial el uso de materiales que supriman la formación de corona.

El diseño y la homologación de los grandes motores síncronos y de inducción de alta tensión proporcionan menores tiempos de puesta en marcha y menores requisitos de mantenimiento. Si bien un menor tiempo de amortización y unos costes reducidos de mantenimiento resultan evidentemente beneficiosos, lo esencial es que los motores homologados de ABB ofrezcan también una seguridad probada, ya que el ensayo es la única forma de verificar que un equipo es realmente seguro ➔ 6.

> El 28 de enero de 2010 entraron en vigor las nuevas normas de la CEI. Basadas en desarrollos y pruebas previas, casi toda la gama de motores y generadores de alta tensión de ABB las cumplían.

Göran Paulsson
Johan Karlsson
ABB Discrete Automation and Motion, Machines
Västerås, Suecia
goran.paulsson@se.abb.com
johan.e.karlsson@se.abb.com

Jussi Rautee
ABB Discrete Automation and Motion
Notting Hill, Australia
jussi.rautee@au.abb.com

Referencias

[1] Rautee, J.; Lienesch, F.; Liew, T. (2008). Safety improvements of non-sparking and increased safety motors. *Petroleum and Chemical Industry Conference Europe – Electrical and Instrumentation Applications*, Weimar, Alemania.

Imagen del título
Una plataforma de extracción de petróleo y gas es un lugar con requisitos estrictos de prevención de chispas. Los motores que se emplean deben recibir una homologación exigente.

Los motores que vienen

Los motores síncronos controlados por VSD proporcionan una mayor eficiencia a las aplicaciones industriales

HEINZ LENDENMANN, REZA R. MOGHADDAM, ARI TAMMI, LARS-ERIK THAND – Los motores eléctricos para aplicaciones industriales representan aproximadamente el 60% y el 65% del consumo de electricidad industrial. La utilización eficiente de la electricidad aumentando la eficiencia de los motores es el núcleo de su constante optimización. También se consigue un importante ahorro de energía utilizando sistemas de accionamiento de velocidad variable; en la actualidad se emplea esta tecnología nada menos que en el 30–40% de todos los motores nuevos instalados. El uso sostenible y la inversión también demandan a los motores mayor fiabilidad y una vida útil más prolongada. La afinada estructura del rotor de los motores de reluctancia síncronos de ABB elimina las pérdidas en la jaula del rotor y de este modo aumentan la eficiencia y compacidad. La posibilidad de conseguir unos niveles normales de potencia manteniéndose en la clase A de aumento de la temperatura (60 K) mejora la vida útil del aislamiento del motor y prolonga la vida de los cojinetes o los intervalos entre engrases.

La posibilidad de funcionar a gran velocidad ayuda a eliminar elementos mecánicos de transmisión tales como las cajas de engranajes.

En gran variedad de aplicaciones industriales se utilizan motores eléctricos. La mayoría de las aplicaciones tienen en común la necesidad de que el motor sea lo más eficiente posible y tenga una vida útil lo más larga posible sin aumentar al mismo tiempo las exigencias de mantenimiento o las averías. Los motores de reluctancia síncronos de ABB son más pequeños, lo que ayuda a los fabricantes de máquinas a diseñar equipos más pequeños, ligeros y eficientes. Además, la posibilidad de funcionar a gran velocidad ayuda a eliminar elementos mecánicos de transmisión tales como las cajas de engranajes. En última instancia, esto permite integrar el motor y los equipos que constituyen la carga, una demanda cada vez más frecuente.

Para responder a la necesidad de un motor más eficiente, más pequeño, con una vida útil más prolongada y con pocas exigencias de mantenimiento con un tipo de motor nuevo y también perfectamente adaptado al empleo de accionamientos de velocidad variable (VSD), ABB se replanteó todas las opciones tecnológicas desde una postura radical. La puesta en marcha de un motor VSD es muy diferente de la de una conexión de línea directa. Esto y otros cambios en las condiciones de contorno ponen de relieve las posibilidades de simplificar el diseño del motor y de mejorar su eficiencia. Un método bien conocido es utilizar motores síncronos (MS). Un MS con un rotor de 4 polos que trabaja a 50 Hz gira en sincronismo con la alimentación eléctrica exactamente a 1.500 rpm. En cambio, un motor de inducción equivalente presenta pérdidas por resbalamiento y sólo gira a 1.475 rpm en un ejemplo seleccionado de 30 kW. En los modernos motores de inducción con la jaula del rotor en cortocircuito, las pérdidas asociadas con el rotor ascienden al 20-35% de las pérdidas totales del motor. La rotación síncrona elimina la mayor parte de estas pérdidas asociadas.

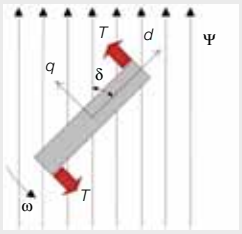
La eliminación de estas pérdidas de resbalamiento lleva a un aumento de la eficiencia de aproximadamente el 0,6% (motor de 220 kW) al 8% (3 kW), y a un aumento del 20% al 40% en la densidad de potencia y par para la misma clase de temperatura del aislamiento.

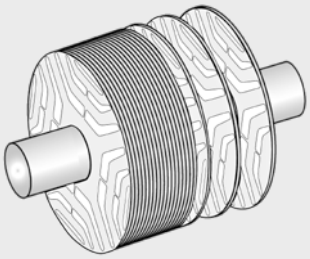
Hay distintos tipos de motores síncronos: devanado de campo con excitadores sin escobillas, de imán permanente, o basados en el principio de la reluctancia magnética (a menudo denominados motores de reluctancia síncronos o MR sinc). El rotor de un MR sinc no tiene ni jaula en cortocircuito como el de inducción, ni imanes permanentes, ni devanados de excitación de campo. En lugar de ello, utiliza el principio magnético de la reluctancia.

El motor de reluctancia síncrono

La reluctancia magnética es el equivalente magnético de la resistencia de los circuitos eléctricos. El rotor presenta una dirección de resistencia magnética mínima (d) y una

1 Fundamento del rotor síncrono de reluctancia y el par

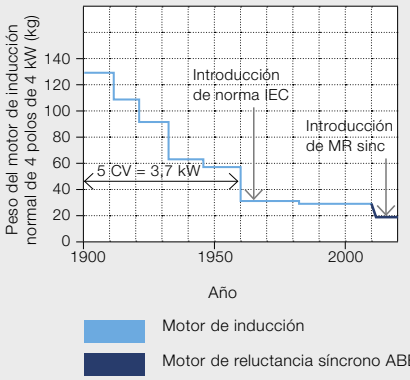




$$T = \frac{3}{2} P_p \left(\frac{1}{L_q} - \frac{1}{L_d}\right) \Psi^2 \sin(2\delta)$$

P_p = *pares de polos del motor*

2 Evolución histórica de los motores LV



Tamaño	Motor de inducción	MR sínc	Salida
100	3,3 kW η=83%	4,3 kW η=90%	+30-45%
160	22 kW	29 kW	+32%
280	90 kW	110 kW	+22%

Comparación de capacidades entre tecnologías

dirección perpendicular (q) con una reluctancia magnética alta o un buen "aislamiento" magnético ➔ 1. El par se produce cuando el rotor intenta alinear la dirección de conducción magnética con el campo del estator. La fuerza del par producido es directamente proporcional al índice de saliencia, es decir, a la relación de inductancias entre las dos direcciones magnéticas del rotor.

La invención del concepto del motor de reluctancia síncrono se remonta a 1923. Sin embargo, este tipo de motor no se adoptó industrialmente, sobre todo por su incapacidad de arranque directo en línea. Ahora se ha eliminado este obstáculo utilizando controladores de velocidad variable ➔ 2.

En 1982 se descubrieron materiales magnéticos permanentes basados en NdFeB. La nueva tecnología de motores de imanes permanentes se adaptó para servomotores y ahora se está imponiendo en muchas aplicaciones industriales especializadas, como los motores de par de baja velocidad sin caja de engranajes [1]. De nuevo, se ha prestado poca atención al humilde MR sinc.

Además, no todos los trabajos publicados anteriormente sobre los MR sinc han logrado demostrar el rendimiento de par superior o la eficiencia mayor que los motores de inducción que cabía esperar de los cálculos, un hecho que los expertos y académicos mencionan para explicar por qué el MR sinc no se utiliza más en la actualidad. Es probable que estos resultados iniciales se debieran al control imperfectamente optimizado del convertidor. De hecho, algunas publicaciones muestran resultados muy prometedores y han estudiado a fondo los aspectos del diseño electromagnético [2], [3]. Es importante señalar las diferencias entre un MR sinc y un motor de reluctancia conmutado o por pasos, con un estator, un concepto del devanado y unas ondas de corriente no sinusoidales totalmente distintos; se trata de un motor que suele considerarse inadecuado para el uso industrial debido a su elevado nivel de ruido. Una desventaja ya mencionada del MR sinc es la necesidad de una mayor intensidad de corriente para obtener el mismo par que con un motor de imán permanente, ya que el rotor debe magnetizarse por medio del estator. Sin embargo, el factor de potencia visto desde la red viene determinado por el convertidor de potencia y es casi igual a uno en todos los modos de funcionamiento, incluso para el MR sinc.

El motor industrial para sistemas VSD

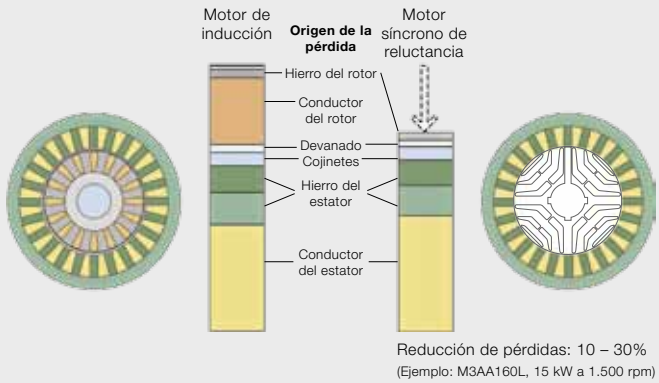
En los diseños del rotor del MR sinc de ABB y el control del accionamiento, la intensidad en el motor, proporcional al recíproco del factor de potencia y el rendimiento, ($\propto 1/(\eta^*\cos(\rho))$, es en realidad menor que en una máquina de inducción pequeña de par y velocidad iguales. Esto se debe principalmente al importante aumento del rendimiento. Sólo en los motores grandes la intensidad del convertidor es mayor que en los motores de imán permanente del mismo par. En general, el MR sinc de ABB trabaja con un accionamiento del mismo tamaño de bastidor (por ejemplo, ACS850) que un motor de imán permanente de potencia y par similares, aunque con mayor densidad de potencia y mayor eficiencia. El aumento de eficiencia del motor se traduce en un ahorro de energía prácticamente idéntico para el sistema de accionamiento.

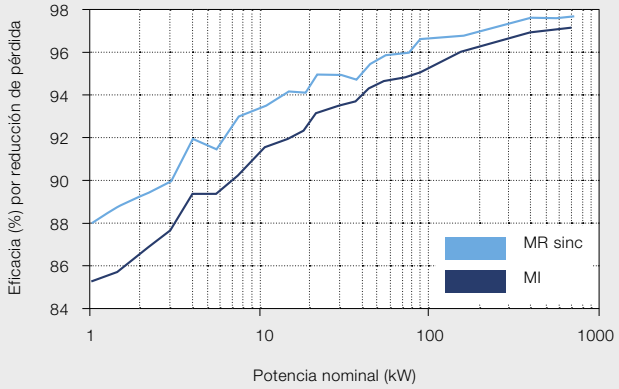
Otra ventaja clave del MR sinc de ABB es la sencilla estructura del rotor. Sin imanes y sin jaula, la construcción del rotor es más robusta que en cualquier máquina de inducción o de imán permanente. Además, no hay riesgo de pérdida permanente de prestaciones debida a la posible desmagnetización en caso de avería o de sobrecalentamiento. El motor tiene un funcionamiento intrínsecamente seguro puesto que, al carecer de imanes, no se induce tensión de retorno debida al campo electromagnético, y la protección del convertidor frente a sobretensiones se hace innecesaria. Por último, los materiales de tierras raras utilizados en la fabricación de imanes permanentes son relativamente caros y puede tener un suministro limitado en algunos mercados debido a la concentración geográfica de los proveedores habituales de materias primas.

La eliminación de la mayoría de las pérdidas del rotor y la sencilla estructura de éste se traducen en varias ventajas para este motor y la carga conectada ➔ 3. Un motor con esta tecnología puede trabajar al nivel de potencia normalizado de la IEC para el tamaño de bastidor considerado. En este caso, la mejora de rendimiento del VSD va desde más del 5% en las máquinas de

> Para motores pequeños de 3 o 4 kW, puede obtenerse hasta un 60% más de potencia para el mismo aumento de la temperatura.

3 Distribución de pérdidas y eficacia





algunos kW hasta cerca de un 0,5% para los motores más grandes (tamaño 315). En consecuencia, cuando a un motor de inducción le habría correspondido un aumento de temperatura de la clase F (105 K), el MR sinc de ABB funciona con un aumento de la clase A (60 K) ➔ 4. En comparación con un compresor determinado a 4.500 rpm, el MR sinc de ABB equivalente sigue presentando temperaturas en los cojinetes aún menores cuando trabaja en la clase H (125 K) que un motor de inducción mayor en la clase F (105 K). Por ello se ha llamado a este motor “CoolMotor” o “motor frío” ➔ 5. Este funcionamiento a baja temperatura mejora la vida útil del aislamiento del motor y alarga la duración de los cojinetes o los intervalos entre engrases. En particular, los cojinetes del motor precisan mantenimiento regular y, según algunos estudios, el fallo de los cojinetes es la causa primordial de aproximadamente el 70% de todas las paradas no programadas de los motores. Una menor temperatura de los cojinetes se traduce directamente en intervalos mayores entre engrases, mantenimiento más reducido y mayor fiabilidad. Incluso si hay que cambiar un cojinete, al no existir fuerzas magnéticas, a diferencia de lo que ocurre en un motor imán permanente, el cambio es tan fácil como en una máquina de inducción.

La tecnología permite un buen aprovechamiento del par a velocidades mayores. En otra utilización de esta tecnología, se mantiene usualmente el funcionamiento a la temperatura convencional de la clase B o F. Puesto que es difícil reducir las pérdidas en el rotor, en comparación con las del estator, su eliminación casi completa repercute especialmente en la prestación de par. Para motores pequeños de 3 o 4 kW puede obtenerse hasta un 60% más de potencia para el mismo aumento de la temperatura. Para un motor de 60 kW, el aumento es del orden del 40%, y del 20% para uno de 220 kW cuando se compara con un motor de inducción. En la mayoría de los casos se puede obtener la misma potencia de un motor con un tamaño que sea de una o, a veces, dos clases menor que para otro de inducción. La reducción del espacio ocupado es apreciable en todas las aplicaciones que puedan utilizar menor altura de la carcasa y motores más pequeños. Otra mejora añadida es la menor carga térmica en los componentes cercanos, en particular en armarios cerrados. Incluso con esta densidad de potencia mucho mayor, la eliminación de las pérdidas en el rotor tiene otra ventaja importante: puesto que se ha eliminado gran parte de la conducción de calor a través del eje, se reduce la temperatura de los cojinetes, especialmente en el extremo del accionamiento. Comparando un MR sinc de ABB con uno de inducción de 6 kW, esta reducción puede ser de hasta 30 K, siendo normales las reducciones de 15 a 20 K aproximadamente para toda la gama de potencias. Este efecto es especialmente pronunciado a velocidades mayores y cuando se opera en clases de temperatura más altas. Esta eficiencia normalmente alta se mantiene incluso para estas elevadas potencias. Además, el MR sinc de ABB presenta la excelente curva de eficiencia bajo carga parcial que es característica de las máquinas síncronas, que mantienen la eficiencia incluso con carga parcial, una característica que se valora especialmente en los accionamientos VSD para ventiladores y bombas.

Finalmente, en estos rotores la inercia es entre un 30% y un 50% menor gracias a la ausencia de jaula e imanes. En aplicaciones muy dinámicas, como las de grúas,

El funcionamiento a baja temperatura mejora la vida útil del aislamiento del motor y alarga la vida de los cojinetes o los intervalos entre engrases.

4 Clases de temperatura

La temperatura ambiente es la temperatura del aire que rodea al motor. Este es el punto umbral o la temperatura del motor cuando está apagado y completamente frío.

El aumento de temperatura es el cambio que ocurre dentro de un motor cuando trabaja a plena carga. La diferencia entre la temperatura en el momento del arranque del motor y la temperatura final es el aumento de temperatura del motor.

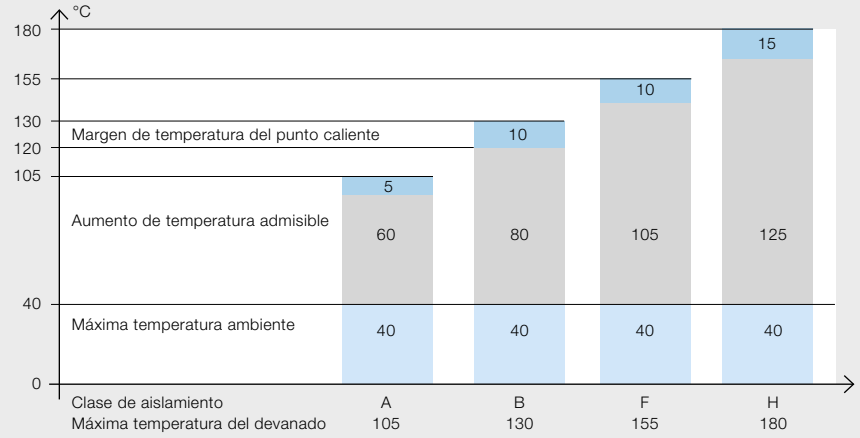
El método normal de medir el aumento de temperatura es registrar la diferencia entre las resistencia eléctricas del devanado frío y caliente.

Esto es la media del cambio de temperatura del devanado completo, incluidos los cables del motor, las vueltas y los cables del interior de las ranuras del estator. Como algunos de estos puntos están más calientes que otros, se utiliza un factor de compensación para indicar la temperatura probable del punto más caliente. Esto se conoce como margen del punto caliente.

Las clases de aislamiento agrupan los aislantes en función de su resistencia al envejecimiento térmico y a la rotura. Las cuatro clases de aislamiento habituales se denominan A, B, F y H. La resistencia a la temperatura de cada clase es la temperatura máxima a la que puede trabajar el aislante para tener una vida útil de 20.000 h.

Utilizar un motor con un aumento de la temperatura inferior al admitido por la clase del aislante puede cambiar la capacidad térmica del motor, que será capaz de trabajar a una temperatura ambiente superior a la normal. Esto prolonga la vida del motor.

La tabla 1 recoge las clases de temperatura y los márgenes de aumento de temperatura y punto caliente para distintas envolventes de motores normales.



Se emularon las condiciones del accionamiento de bombas, ventiladores, compresores y aplicaciones para minería y grúas empleando métodos de comprobación de esfuerzos muy acelerados (HAST).

esta disminución contribuye a la eficiencia energética y acorta los ciclos de elevación gracias a la mayor aceleración.

Estructura y fiabilidad de los rotores

La mayoría de los aspectos técnicos de los sistemas de accionamiento para MR sinc de ABB se basan directamente en tecnologías ya existentes. La carcasa, la caja de conexiones, el estator, el diseño y la tecnología del devanado y las opciones de cojinetes son idénticos que en los motores de inducción. Como las corrientes trifásicas son sinusoidales, los mismos productos para accionamiento pueden controlar este tipo de motor, siempre que se optimice el firmware y se incluya este tipo de motor. Sólo el rotor es diferente.

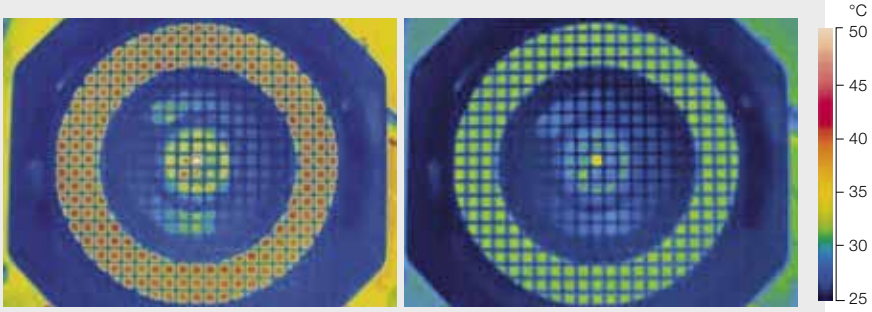
El rotor es menos complejo que en los motores de inducción o de imán permanente. Está formado por chapas de acero eléctrico laminado montadas en el eje. La complejidad está en el diseño. Se realizaron abundantes simulaciones por elementos finitos (FEM) para diseñar con meticulosidad la sección transversal en términos de propiedades eléctricas y mecánicas. Opciones importantes del diseño son el número de segmentos magnéticos y la forma exacta de las barreras de aire. Esto determina la producción de par y la corriente de magnetización del motor. Reducir al mínimo la corriente reactiva fue determinante para mantener una calificación favorable del accionamiento. Es esencial la colocación exacta de los segmentos de la periferia para generar un par uniforme durante la rotación manteniendo el ruido tan bajo como en los motores convencionales. Un resultado de esta compleja optimización realizada aplicando métodos FEM y algoritmos analíticos y genéticos fue que una configuración de 4 polos es la más apropiada para toda la gama de velocidades hasta 6.000 rpm.

Para comprobar la fiabilidad de este nuevo rotor se ha llevado a cabo una prueba exhaustiva del sistema de motor y accionamiento a lo largo de todo el proceso de desarrollo (véase la imagen del título, páginas 56–57). Se emularon las condiciones del accionamiento de bombas, ventiladores, compresores y aplicaciones para minería y grúas empleando métodos de comprobación de esfuerzos muy acelerados (HAST). Se elaboraron ciclos HAST específicos para este motor para asegurar su resistencia a lo largo de su vida útil. Por ejemplo, un experimento culminado con éxito condujo a una frecuencia elevada de repetición de arranques y paradas del motor a velocidades por encima de los valores permitidos en catálogo. El recuento de ciclos y las condiciones de sobrecarga se dimensionaron para que se correspondieran con una duración de más de 20 años de funcionamiento en condiciones nominales.

Convertidor y control del accionamiento

Se adoptó la tecnología de accionamientos convencionales de ABB utilizada para motores inducción y de imán permanente con control de par directo (DTC) estándar para incluir el MR sinc como un nuevo tipo de motor. A pesar de compartir muchas similitudes con el motor de imán permanente, excepto por el valor nulo del flujo del rotor, durante el desarrollo se prestó mucha atención a la optimización de la producción de par por medio del control del par máximo por amperio (MTPA). De esta forma se mantiene al mínimo la intensidad en el accionamiento en cada punto

5 Valores de temperatura detectados por una cámara térmica



Rotor convencional

Rotor síncrono de reluctancia

6 Rendimiento del accionamiento para control

Se dan los rendimientos del nuevo accionamiento para tres tamaños de bastidor de motor IEC.

Motor, aumento de temperatura clase F								Accionamiento, 400 V				
Tamaño mm	PN kW	nN rpm	PN kW	nmáx rpm	Ef %(1/1)	TN Nm	MM kg	Código de tipo ACS-850-04	N A	Ruido dBA	Tamaño d. bastidor	MD kg
100	4	1500	4	2250	84.3	25	22	010A-5	10.5	39	B	5
100	7.5	3000	7.5	4500	88.7	23	22	018A-5	18	39	B	5
100	13	4500	13	6000	90.5	27	22	030A-5	30	63	C	16
100	17.5	6000	17.5	6000	91.3	27	22	044A-5	44	71	C	16
160	26	1500	26	2250	91.7	165	180	061A-5	61	70	D	23
160	50	3000	50	4500	94.0	159	180	144A-5	144	65	E0	35
160	70	4500	70	5300	94.6	148	180	166A-5	166	65	E	67
280	110	1500	110	1800	96.0	700	640	260A-5	260	65	E	67
280	130	1800	130	2200	95.9	689	640	290A-5	290	65	E	67

Véanse las especificaciones completas en las páginas web de ABB www.abb.com/motors&generators

de trabajo. El control incluye asimismo la posibilidad de una zona de debilitamiento del campo, es decir, de una gama de velocidades por encima de la velocidad nominal. Puede alcanzarse una velocidad máxima de hasta el 1,5 veces la nominal para gran parte de la gama de motores. Este control del accionamiento es un resultado de ABB especialmente importante que permite a este MR sinc alcanzar una densidad de par considerablemente mayor que en motores de inducción.

La instalación y el manejo del accionamiento electrónico de este motor son indistinguibles de las correspondientes a los VSD para motores de inducción o de imán permanente. Entre las características de serie se incluyen la identificación automática de parámetros basada en los valores de la placa de características y el funcionamiento sin sensores. El motor no necesita sensores de velocidad, pero mantiene la velocidad con una exactitud absoluta y una elevada dinámica de par. Incluso puede dimensionarse el accionamiento para una sobrecarga y una carga por ciclo predeterminadas.

> Otra mejora añadida es la menor carga térmica en los componentes cercanos, en particular en armarios cerrados.

Resumen de las prestaciones

Puesto que este motor, igual que el de imán permanente, necesita siempre un accionamiento VSD, se han creado parejas normalizadas recomendadas de motores y accionamientos ACS para una gama de potencias y velocidades → 6.

Como respuesta a las principales tendencias del mercado –potencias mayores, rendimiento más alto, intervalos de servicio más largos y reducción del espacio ocupado– se dispone ahora de un motor completamente nuevo adecuado especialmente para sistemas VSD. Se ha logrado aumentar la densidad de potencia entre un 20% y un 40% en comparación con un motor de inducción, con una configuración del rotor sin jaula en cortocircuito ni imanes permanentes, con motores más pequeños, con menos producción de calor y con una mayor eficiencia para sistemas VSD. Un motor de inducción normal equipado con un nuevo rotor, combinado con un accionamiento normal con software nuevo da lugar a un sistema VSD que suministra una potencia y una eficiencia elevadas. La potencia y la eficiencia entregadas son comparables a las de un accionamiento con motor de imán permanente, aunque el uso de las tecnologías asociadas con el sólido motor de inducción proporciona a los usuarios lo mejor de ambos mundos, con otras ventajas añadidas.

Heinz Lendenmann
Reza Rajabi Moghaddam
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia
heinz.lendenmann@se.abb.com
reza.r.moghaddam@se.abb.com

Ari Tammi
ABB Discrete Automation and Motion,
Motors & Generators
Vaasa, Finlandia
ari.tammi@fi.abb.com

Lars-Erik Thand
ABB Discrete Automation and Motion,
Motors & Generators
Västerås, Suecia
lars-erik.thand@se.abb.com

Referencias

[1] Haikola, M. “Sin engranajes. La solución de accionamiento directo de ABB responde a los desafíos que plantean los procesos más exigentes del mundo”. *Revista ABB* 4/2009, pp. 12-15.
[2] Boglietti, A.; Cavagnino, A.; Pastorelli, M.; Vagati, A. “Experimental comparison of induction and synchronous reluctance motors performance” en Conf. Rec. 40th IEEE IAS Annu. Meeting, Oct. 2005, vol. 1, pp. 474–479.
[3] Germishuizen, J. J.; Van der Merwe, F. S.; Van der Westhuizen; K., Kamper, M. J. “Performance comparison of reluctance synchronous and induction traction drives for electrical multiple units” en Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting, Oct. 8–12, 2000, vol. 1, pp. 316–323.

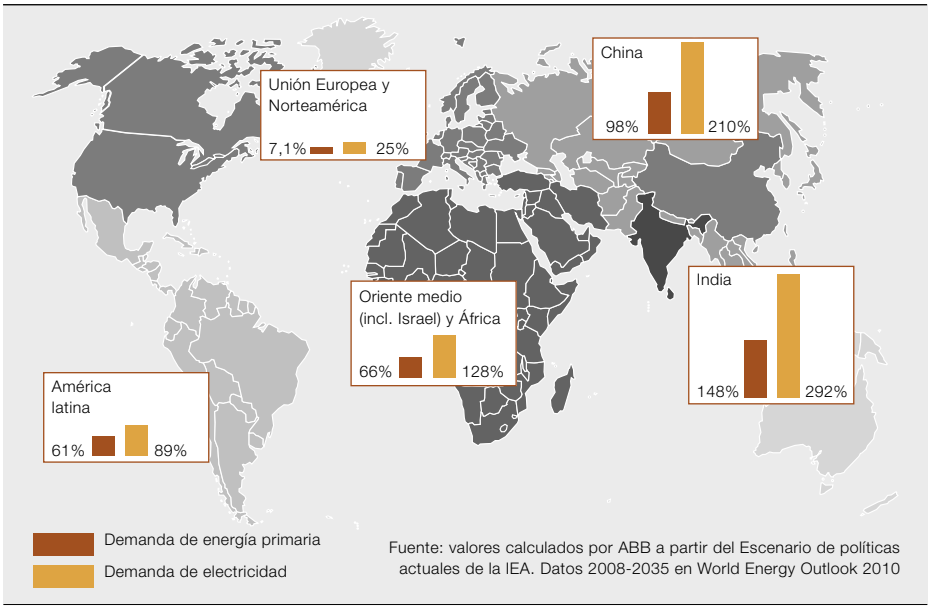
Imagen del título
El sistema de motor y accionamiento sometido a pruebas de esfuerzo muy aceleradas (HAST).

El otro combustible alternativo

La eficiencia energética es una pieza esencial de una política energética sostenible para muchas centrales eléctricas

WERNER JANIK, JOSEPH LAUER – A medida que crece la población mundial, también crece su sed de energía. La consecuencia a largo plazo será la escasez de combustibles fósiles, actualmente la principal fuente de energía en el mundo. Por otra parte, los combustibles fósiles son asimismo responsables de gran parte de las emisiones de CO_2 que se producen actualmente y que afectan gravemente al clima mundial. Por lo tanto, mientras persista la dependencia de la generación de energía basada en este tipo de combustibles, persistirá esta situación sin salida. Por supuesto, desde hace tiempo se sabe que las fuentes de energías renovables son la solución a este problema. Sin embargo, aunque se está avanzando rápidamente hacia la sustitución de las centrales eléctricas térmicas por fuentes de energía renovable, hay que resolver muchos problemas antes de que esas fuentes puedan contribuir a la combinación total de energías. Desgraciadamente, el tiempo se acaba para el planeta Tierra mientras espera más innovaciones en energías renovables o la largamente esperada explotación de la fusión nuclear. En paralelo con estos trabajos, hay que tomar medidas para proteger el planeta y para conservar sus recursos y la biosfera para las generaciones futuras, y esto se puede conseguir aplicando métodos y tecnologías de eficiencia energética ya desarrollados.

1 Comparación del crecimiento de la demanda de energía primaria y eléctrica



Fuente: valores calculados por ABB a partir del Escenario de políticas actuales de la IEA. Datos 2008-2035 en World Energy Outlook 2010

La mayor parte de la electricidad generada en la actualidad procede de la quema de combustibles fósiles. El carbón produce más del 40% del suministro eléctrico mundial, por lo que la generación de electricidad es el componente que hace la contribución mayor y de más rápido crecimiento a las emisiones de CO_2. La tasa de crecimiento de la generación renovable es elevada, y la correlación entre consumo de energía y emisiones se podría reducir eficazmente utilizando fuentes de energía renovables. Por desgracia, la contribución de estas fuentes a la combinación energética total es aún muy pequeña, y se está investigando la forma de integrar eficientemente mayores cantidades de energía renovable.

El tiempo no juega a favor de la Tierra, y por lo tanto deben llevarse a cabo simultáneamente otras mejoras si se quiere mejorar la pauta de utilización mundial de la energía y la huella de carbono correspondiente.

Las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) indican que, en los próximos 20 años, el uso más eficiente de la energía ofrece un potencial para frenar las emisiones de CO_2 mayor que todas las demás opciones juntas. La aplicación de tecnologías, métodos y comportamientos de eficiencia energética puede afectar (es decir, reducir) inmediatamente a la correlación entre crecimiento económico y consumo de energía. En el campo de la generación de energía, particularmente en las centrales térmicas, la tecnología y los métodos precisos para conseguirlo ya los tiene ABB.

Problemas actuales de la energía

En todas las regiones del mundo la demanda de electricidad crece dos veces más deprisa que la demanda de energía primaria → 1. Esta tendencia es especialmente notable en las economías en expansión de Oriente Medio, India y China, donde se espera que la demanda crezca entre el 140% y el 261% en comparación con el 89% y el 116% para la energía primaria.

Sin embargo, la satisfacción de la demanda consiste realmente en alcanzar el equilibrio correcto entre producción y consumo de la energía eléctrica. En consecuencia, el objetivo global de la eficacia energética será generar tanta energía eléctrica como se pueda a partir de los combustibles fósiles disponibles y, al mismo tiempo, consumir la menor cantidad de esta energía que sea posible. De esta manera, cada barril equivalente de energía eléctrica ahorrado puede considerarse como un "combustible alternativo añadido" disponible para otros fines.

Eficiencia energética: el otro combustible alternativo

La cadena de producción y consumo de electricidad suele incluir pérdidas, la mayor de las cuales se ilustra en → 2. Como ilustra la figura, desde las fuentes de energía primaria, como el gas o el petróleo, hasta el usuario industrial o las viviendas particulares, se pierde cerca del 80% de la energía. La mayoría de estas pérdidas se produce durante el proceso de generación en las centrales eléctricas, debido principalmente a las bases termodinámicas del propio proceso. Por ejemplo, consideremos una central eléctrica convencional de carbón que produzca 500 MW de energía eléctrica bruta. La planta tiene unos 25 años de antigüedad con una eficiencia típica de central térmica del 34% con un índice de eficiencia térmica neto de 10,2 BTU/kWh 1. Aunque la planta fue diseñada originalmente para un funcionamiento de carga base, se ha modificado esta filosofía para satisfacer las demandas

En la cadena de producción y consumo de energía eléctrica se puede perder hasta el 80% de la energía, la mayor parte durante la generación.

variables de las redes actuales; esto significa que se ha reducido el factor de capacidad anual a cerca del 70%, con muchas operaciones de carga parcial entre el 50% y el 90%. Esta práctica es ahora más o menos corriente en muchas de las instalaciones de generación actuales, y ofrece el potencial intrínseco de generar un "combustible alternativo", es decir, eficiencia energética.

Pero antes de que una central eléctrica invierta en mejoras de eficiencia energética, deben plantearse tres preguntas fundamentales:
- ¿Quién dispone del conocimiento técnico y las tecnologías para poner en práctica métodos rentables de eficiencia energética?
- ¿Qué tipo de ahorros pueden obtenerse?
- ¿Cómo se puede obtener?

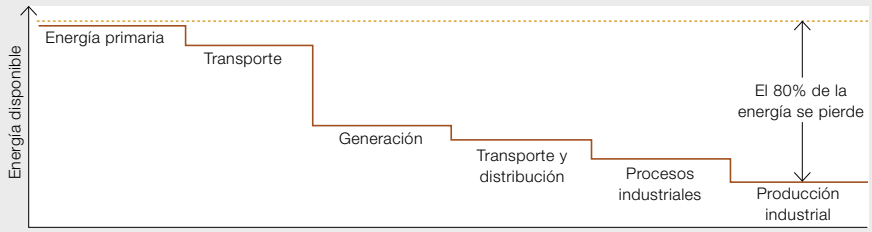
Las dos primeras preguntas pueden responderse con una sola frase: los métodos y las tecnologías desarrolladas por ABB permiten mejorar la eficiencia energética entre un 8% y un 10%. Visto de otra forma, la cantidad extra de combustible disponible y los ahorros posibles (al año) en la central de carbón de referencia de 500 MW del ejemplo considerado son:
- Consumo original de combustible: 1.400 millones de kg
- Energía extra suministrada a la red: 21,25 MWh
- Energía ahorrada: 22,5 millones de KWh
- Reducción de las emisiones de CO_2: 260.000 toneladas
- Combustible alternativo equivalente añadido: 154 millones de kg (¡suficiente para mover alrededor de 850 coches durante un año!)

En cuanto a la viabilidad económica de la implantación de métodos y tecnologías de eficiencia energética, la experiencia de ABB ha demostrado que un plazo medio de amortización de entre dos y tres años es todo lo necesario para alcanzar estos objetivos.

Metodología de ABB para la mejora de la eficiencia energética

La solución de ABB para mejorar la eficiencia energética consiste en una metodología de tres etapas:
- Etapa 1: identificación de oportunidades
- Etapa 2: plan maestro
- Etapa 3: puesta en práctica

2 A lo largo de la cadena de valor pueden producirse pérdidas de hasta el 80%



3 El estudio de identificación de oportunidades de ABB contiene una evaluación completa de un amplio abanico de aspectos de la gestión energética.

Tecnología y control
Identificación de mejoras mediante control de procesos, modificación de equipos o tecnologías energéticas eficaces que típicamente cubren los siguientes sistemas de energía:
- Equipo de combustión (turbinas, hornos, calentadores, etc. de gas)
- Calderas, turbinas y sistemas de vapor
- Generación eléctrica y equipos
- Grandes sistemas de bombas, ventiladores y motores
- Sistemas eléctricos: AT y usuarios de MT/BT
- Aire y gases industriales comprimidos
- Calefacción, ventilación y aire acondicionado (CVAA)
- Refrigeradores y congeladores industriales

Comportamientos y prácticas
Evaluación de comportamientos y prácticas en materia de eficacia energética en procesos y servicios mediante un estudio completo orientado a las mejores prácticas:
- Estrategia y políticas energéticas
- Métodos de gestión energética
- Inversión de capital
- Tecnología de la información
- Gestión operativa
- Planificación y rendimiento operativo
- Formación y desarrollo
- Prácticas y estrategias de mantenimiento
- Motivación del personal

Las herramientas y técnicas auxiliares utilizadas en esta metodología se han desarrollado gracias a la experiencia adquirida trabajando en una amplia diversidad de procesos de generación y consumo de energía en muchos emplazamientos de clientes a lo largo de varios años. Cada etapa de la metodología de mejora de la eficiencia energética tiene por objeto entregar justamente la información necesaria que permita a los explotadores de las centrales eléctricas avanzar con confianza y completar finalmente un programa de mejoras que proporcione ahorros de energía reales y sostenibles.

Identificación de oportunidades

La primera etapa es una evaluación de la eficiencia energética encaminada a identificar oportunidades específicas para aportar mejoras confirmando cómo, dónde y por qué se consume energía, a detectar áreas de ineficiencia y a comparar el rendimiento actual con las mejores prácticas sectoriales demostradas. En → 3 se recoge una amplia variedad de aspectos de la gestión energética.

En → 4 se presentan los aspectos que formarían parte del estudio de identificación de oportunidades para una central eléctri-

Las previsiones de la IEA indican que, en los próximos 20 años, el uso más eficiente de la energía ofrece un potencial para frenar las emisiones de CO_2 mayor que todas las demás opciones juntas.

Nota a pie de página
1 La BTU (unidad térmica británica) es una unidad tradicional de energía equivalente a unos 1,055 kilojulios. Es aproximadamente la cantidad de energía que se necesita para aumentar 0,556 °C la temperatura de 0,454 kg de agua.

4 Componentes de un estudio de identificación de oportunidades para una central eléctrica de carbón de 500 MW y 25 años de antigüedad con una eficacia del 34%

Rendimiento y control de la turbina de vapor
- Rendimiento termodinámico
- Rendimiento del condensador (en su caso)
- Optimización de la extracción y control de la retropresión de vapor
- Control de la turbina (unidades individuales y control global del parque para optimizar las tasas de calor)

Rendimiento y control de la turbina de gas (TG)
- Rendimiento termodinámico
- Mantenimiento predictivo de la TG
- Degradación del rendimiento
- Control de la TG (unidades individuales y control global del parque para optimizar las tasas de calor)

Rendimiento y control de la caldera
- Rendimiento termodinámico
- Condiciones de alimentación de agua
- Control de la caldera (unidades individuales y control global de las calderas para optimizar las tasas de calor)
- Sistemas de distribución del vapor

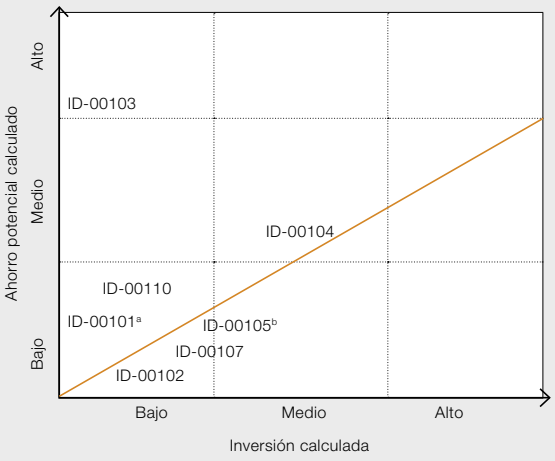
Equilibrio eléctrico de la central
- Motores y accionamientos (bombas y ventiladores)
- Transformadores
- Aparamenta
- Aparatos de campo
- Sistema de aire comprimido

Sistemas de gestión de la energía
- Medición, supervisión y registro de la energía
- Magnitud del análisis KPI y evaluación continua del rendimiento
- Integración con la política de gestión energética

Equipo del panel de control
- Sistema de captura de datos
- Sistemas de alarma
- Auxiliares

Tasa térmica global de la central
- Oportunidades para continuar la optimización

5 Gráfico de recuperación de la identificación de oportunidades



Central A1
Proyecto considerado

ID101	**PXXQ (Dys bastidor)**
3.2.1	Instalación de VSD en 1 bomba
ID102	**PXXW (Dys agitación)**
3.2.1	Instalación de VSD en 1 bomba
ID103	**PXX Control de presión**
3.2.1	Presión del sistema de bombeo
ID104	**PXX Sistema de bombeo**
3.2.1	Instalación de VSD en 1 bomba
ID105	**Bombas PXX, PXY, PXZ**
ID106	Instalación de VSD en 1 bomba
ID108	VSD en cada uno de los sistemas de bombeo anteriores 3.2.1
ID107	**PXX Sistema de bombeo**
3.2.1	Instalación de VSD en 1 bomba
ID109	**SX Torre de refrigeración**
3.2.1	Reducir el exceso de enfriamiento; elevar la temperatura CW
ID110	**SX Torre de refrigeración**
3.2.1	Instalación de VSD en los ventiladores

ca de carbón típica similar a la de 25 años ya descrita (500 MW de generación eléctrica bruta, eficiencia de la planta del 34%, índice de eficiencia térmica neto de 10,2 BTU/kWh, factor de capacidad anual de alrededor del 70%).

Tras estudiar cada uno de estos aspectos, ABB podría describir la naturaleza y la magnitud de las opciones de ahorro de energía y hacer recomendaciones precisas acerca de las medidas que deberían adoptarse para obtener otros posibles beneficios. Una vez terminada la evaluación de la eficiencia energética dentro de una amplia cartera de oportunidades identificadas en el proyecto, se ejecutan las más prometedoras.

Otra forma de determinar cuáles son las medidas que deben llevarse a cabo es emplear un gráfico de amortización que presenta un resumen cualitativo de la oportunidades de ahorro de energía identificadas frente al ahorro de energía previsible y los costes de inversión probables → 5. O dicho de otra forma: el gráfico de amortización presenta una interpretación básica de la rentabilidad de las oportunidades. Esta evaluación gráfica ayuda a identificar rápidamente las medidas (normalmente las que se encuentran por encima de la línea naranja) que tienen posibilidades de proporcionar una buena rentabilidad de la inversión.

6 Medidas identificadas para mejorar la eficacia energética de una central de carbón

- Optimización de la manipulación del carbón
- Mejora del control del caudal de ventiladores ID y FD
- Mejora del control de las bombas de alimentación de agua de la caldera
- Instalación de motores y accionamiento de alta eficacia
- Optimización de los controles de la turbina
- Control avanzado de la temperatura del vapor
- Estabilización de la tasa de disparo y optimización de la combustión
- Reducción del exceso de oxígeno para la combustión de la caldera
- Mejora de la presión del agua de alimentación y control del nivel
- Mejora del sistema de electricidad (transformadores GSU y auxiliares)
- Reducción de fugas
- Reducción de pérdidas térmicas
- Optimización térmica del trabajo de las enfriadoras

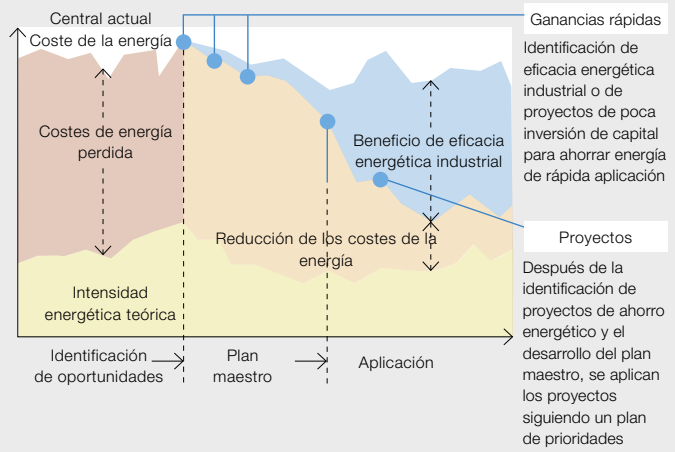
Siguiendo con el ejemplo de la central eléctrica de carbón, en → 6 se recogen las medidas identificadas que justifican la inversión en mejoras de la eficiencia energética, todas ellas muy comunes para estos casos.

Para aumentar la eficiencia energética de una central no basta con adoptar medidas técnicas; también tiene una gran repercusión la mejora de las prácticas de explotación, tanto en la dirección de la central como en el terreno operativo. Ejemplos de posibles mejoras pueden verse en muchas operaciones de centrales eléctricas:
- Parada manual de aparatos que no sean necesarios.
- Mayor separación de la frecuencia de inspecciones.
- Implantación de una política efectiva de sustitución de aparatos de alumbrado.
- Implantación de una política de sustitución de aparatos basada en la evaluación del coste del ciclo de vida (LCA).
- Desarrollo de una política de mantenimiento predictivo.
- Implantación de un programa de objetivos de eficiencia energética.

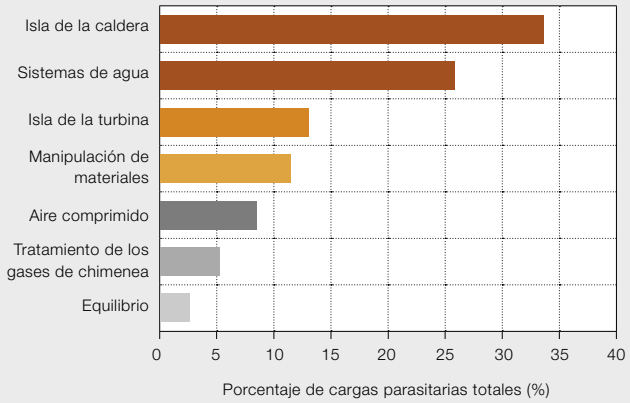
Plan maestro

En esta etapa, las oportunidades identificadas durante la evaluación se transforman en un plan detallado de ejecución. El plan maestro adopta la forma de una serie de proyectos de mejora, cada uno con ventajas conocidas y calculables. Generalmente,

7 Evaluación del coste de la energía con el método de 3 fases de ABB



8 Determinadas áreas de una central contribuyen más al consumo energético global de la planta.



el plan maestro lo desarrolla ABB junto con el cliente, y al final de la etapa se habrá elaborado una hoja de ruta clara con especificaciones detalladas del proyecto que permitirá la materialización más económica de las oportunidades de ahorro de energía. Durante esta etapa, el cliente puede aplicar sin ayuda de ABB algunas de las medidas rápidas y sencillas. Muchas de las oportunidades pueden realizarse con las tecnologías esenciales de ABB, y las que no se basen en ellas podrán ser ejecutadas por terceros.

Puesta en práctica

La etapa de puesta en práctica cubre la ejecución de los proyectos de implantación y, por lo general, la llevan a cabo de forma conjunta ABB y el cliente o, dependiendo de lo que se precise para alcanzar los objetivos fijados, por ABB junto con los socios tecnológicos adecuados u otros fabricantes de equipos originales.

Medición de los resultados

Todos los métodos puestos en práctica para la mejora de la eficiencia energética carecen de utilidad práctica si las ventajas no pueden verse diariamente. Por lo tanto, es esencial implantar las herramientas adecuadas para registrar y mostrar las mejoras conseguidas en todas las áreas relevantes de la planta. Esta información es necesaria para todas las medidas aplicadas, tanto en la tecnología y el control, la supervisión y la fijación de objetivos de la central como en los comportamientos y prácticas.

El éxito, especialmente para las centrales eléctricas de carbón, depende en gran medida del modo de operación de la central; las centrales operadas en modo de estado estacionario tienen pocas posibilidades de optimización, mientras que las que se explotan en modo operativo de carga parcial importante son muy adecuadas para la realización de ejercicios de identificación de mejora de la eficiencia energética → 7.

En el ejemplo de 500 MW citado en este artículo se puede conseguir una mejora del índice de eficiencia térmica de aproximadamente un 8%. También se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 8% en relación con la potencia aumentada de la planta. Este valor se distribuye más o menos entre las distintas zonas de la central, dependiendo de la influencia de cada una en la carga parásita de la planta → 8.

Estos resultados se pueden conseguir gracias a la capacidad y la flexibilidad de ABB para determinar la mejor solución posible de mejora del rendimiento energético en las centrales eléctricas.

Werner Janik
ABB Power Generation
Mannheim, Alemania
werner.janik@de.abb.com

Joseph Lauer
ABB Process Automation
Montréal, Canadá
joseph.lauer@ca.abb.com

Imagen del título
Aunque la tasa de crecimiento de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables es elevada, se está investigando la forma de integrar eficientemente mayores cantidades de estas fuentes.

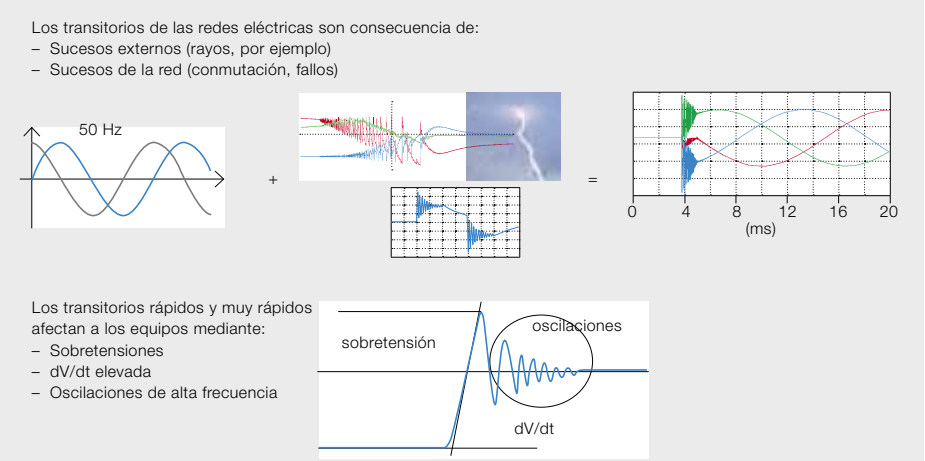
En todas las regiones del mundo la demanda de electricidad crece dos veces más deprisa que la demanda de energía primaria, una tendencia especialmente notable en las economías en expansión de Oriente Medio, India y China.

Sobrevivir a un rayo

ABB ayuda a que los transformadores de distribución sobrevivan a las perturbaciones transitorias rápidas de tensión

WOJCIECH PIASECKI, MAREK FLORKOWSKI, MAREK FULCZYK, PAWEŁ KŁYS, EGIL STRYKEN, PIOTR GAWĄD – La descarga de un rayo no es nunca una experiencia agradable. Pero el pico de tensión no es lo único que puede dañar los equipos eléctricos, sino también el aumento rápido de la tensión. En algunos casos, los transitorios de tensión son mucho más bruscos que los que se producen en las situaciones típicas contempladas en las normas usuales, y provocan aumentos del orden de megavoltios en unos microsegundos. El aislamiento que recubre los devanados de los transformadores y los motores no suele estar diseñado para estos transitorios y puede sufrir daños permanentes si no se utiliza alguna otra protección. Los estudios demuestran que pese a que se diseñe cada componente del equipo para que soporte las subidas bruscas comunes, hasta un 35% de los fallos del dieléctrico pueden deberse a estos aumentos bruscos [1]. Una solución es rediseñar por completo los equipos para que soporten mejor estas perturbaciones transitorias. Un método más sencillo es añadir un componente que proteja los equipos de las subidas bruscas sin afectar al funcionamiento cotidiano normal. ABB ha desarrollado precisamente un componente de ese tipo.

1 Transitorios en redes eléctricas



Los transitorios de las redes provocan sobretensiones y oscilaciones superpuestas de las tensiones e intensidades de fase

Los componentes de alta frecuencia del espectro de una sobretensión ➔ 1 presentan una distribución de tensiones muy irregular. Esto somete el sistema aislante a cargas locales que exceden con mucho las que aparecen en condiciones normales de trabajo. Además, las complejas estructuras internas de los aparatos eléctricos pueden comportarse como circuitos multirresonantes. Las altas frecuencias pueden, por tanto, provocar además una amplificación local. Los esfuerzos resultantes sobre el sistema aislante pueden comprometer considerablemente la duración del equipo y causar con frecuencia cortocircuitos internos.

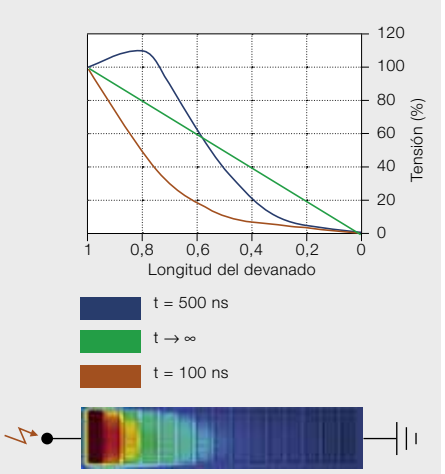
El impulso de tensión que puede soportar el material aislante depende en gran medida del tiempo que dura la elevación. Esto se tiene en cuenta normalmente cuando se elige el aislamiento de los motores eléctricos. Preocupa especialmente el aislamiento en seco de las máquinas eléctricas giratorias controladas por accionamientos que emplean dispositivos de conmutación de estado sólido a alta frecuencia. Los fabricantes de esas máquinas ofrecen a menudo pautas acerca de los límites de amplitud de las sobretensiones y sus correspondientes tiempos de frente. Hay que prestar especial atención a las sobretensiones cuyo tiempo de subida está usualmente por debajo de 1 µs [2], que provocan una distribución inicial de tensión no lineal en el devanado. Esta distribución irregular inicial de la tensión produce una carga de alta tensión en el aislamiento y puede provocar averías, descargas parciales y de efecto corona ➔ 2.

En los transformadores de distribución se observa asimismo una demanda creciente de un mayor nivel de resistencia del dieléctrico a la perforación. Esto se satisface mediante diseños no convencionales de los devanados que aumentan los costes, tanto de diseño como de fabricación. Son especialmente preocupantes los transformadores expuestos a frecuentes descargas atmosféricas. Los operadores de esas redes suelen requerir el cumplimiento de una norma muy exigente que incluye la prueba de transformadores con un impulso de frente brusco. La norma finlandesa SFS 2646 establece un aumento de la tensión (dV/dt) de 2 MV/µs [3]. Esta norma exige que se proteja el transformador frente a sobretensiones mediante un descargador próximo. Como el descargador es de reacción relativamente lenta, la tensión en los terminales del transformador puede (en las condiciones de prueba) subir hasta niveles que excedan con mucho el nivel básico de aislamiento (BIL) determinado por la tensión de trabajo del equipo. Además, el alto valor de dV/dt de la forma de onda se traduce para un devanado clásico en una distribución de tensión inicial no lineal que provoca una sobrecarga local del sistema aislante ➔ 3. Los resultados experimentales lo confirman e indican que un descargador puede no proporcionar una protección suficiente para los transformadores de distribución [4] de diseño estándar.

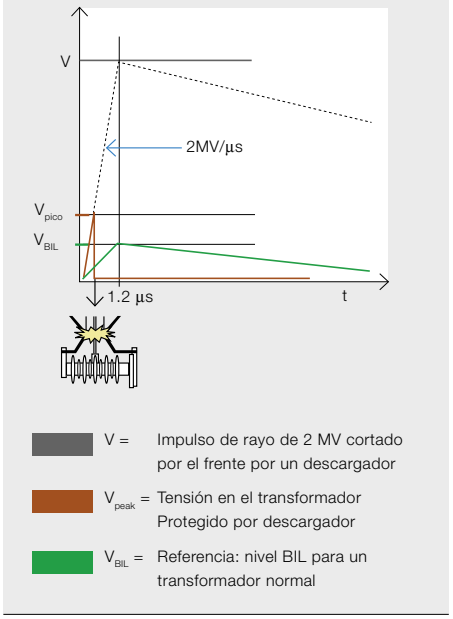
La solución usual consiste en aplicar un diseño especial del devanado que incluye elementos añadidos (pantallas electrostáticas) que ecualizan la distribución de potencial inicial. Esta solución ayuda a evitar la sobrecarga local del aislamiento producida por un valor elevado de dV/dt, pero añade complejidad, tanto al diseño como al proceso de fabricación del transformador. Además, el pico de sobretensión llega de todas formas al devanado del transformador, por lo que hay que dimensionar el aislamiento para que soporte sobretensiones por encima del BIL estándar.

Hay que prestar especial atención a las sobretensiones cuyo tiempo de subida está usualmente por debajo de 1 µs, que provocan una distribución inicial de tensión no lineal en el devanado.

2 Distribuciones iniciales no lineales del potencial eléctrico en el devanado del transformador

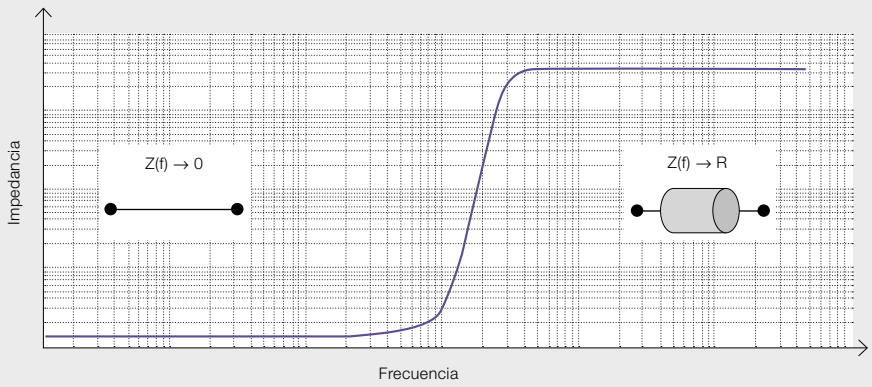


3 Efecto de una sobretensión por rayo de frente cortado sobre un transformador



La onda de BIL normal (línea verde) es una referencia.

4 Representación idealizada de la característica de frecuencia de la impedancia del choque en serie.



SmartChoke: protección basada en impedancias en serie

ABB ha desarrollado una alternativa a este diseño especial del transformador colocando un elemento de filtro conectado en serie (que se denomina bobina de choque) aguas arriba del equipo protegido. El principio básico del elemento en serie es proporcionar una característica impedancia-frecuencia adecuada ➔ 4. Esto hace que el dispositivo sea prácticamente transparente para 50 o 60 Hz, pero elimina los componentes de muy alta frecuencia.

Los experimentos han demostrado la eficacia de este método para reducir el valor de dV/dt que resulta de transitorios asociados a recebados de arco y predescargas en un interruptor. La bobina de choque instalada en serie externamente combinada con un pequeño condensador en shunt redujo el valor de dV/dt a un nivel seguro y eliminó asimismo las oscilaciones de alta frecuencia que se habrían producido en caso contrario después de un transitorio de esas características [5].

La reducción conseguida en la dV/dt de los transitorios provocados por la conmutación planteó la cuestión de si se podría utilizar un procedimiento similar para reducir la dV/dt de los provocados por los rayos a los que se ven expuestos con frecuencia los transformadores de distribución montados en postes. Además, ABB ha tratado de integrar el dispositivo en el propio transformador.

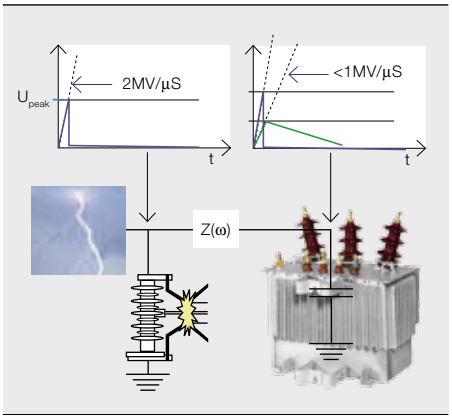
La bobina de choque colocada en serie puede considerarse como una alternativa a los devanados de diseño especial descritos anteriormente que utilizan pantallas electrostáticas para la ecualización de la distribución de potencial a altas frecuencias. La bobina de choque en serie es un filtro pasabajos cuando se combina con la autocapacitancia de un transformador (a frecuencias elevadas, la característica del devanado del transformador se puede representar por su capacitancia ante las sobretensiones). Esta capacitancia varía según el tipo y el tamaño del dispositivo. En los transformadores rellenos de aceite puede estar entre uno y unos pocos nanofaradios por fase.

La respuesta de frecuencia de un filtro de este tipo se puede optimizar mediante la adecuada selección de los parámetros R y L. También se debe asegurar que la bobina de choque se comporta correctamente en condiciones normales de funcionamiento y soporta la prueba de cortocircuito.

> La bobina de choque se conecta en serie aguas arriba del equipo protegido. El principio básico es que proporcione una característica impedancia-frecuencia adecuada.

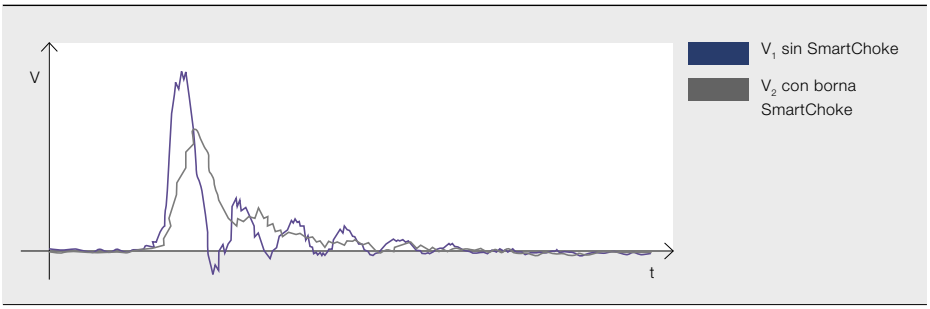
Según sea la relación entre los valores de R, L y C, la respuesta del circuito puede ser aperiódica o incluir además componentes oscilantes. Si el valor de la resistencia es inferior al valor crítico Rc, los términos

5 Concepto de un dispositivo en serie que protege el transformador de distribución frente a dV/dt elevadas



6 Borna de transformador con filtro SmartChoke integrado

7 Reducción de la sobretensión y la dV/dt medida experimentalmente



8 Transformador resistente frente a valores de dV/dT elevados protegido con SmartChoke de ABB

periódicos se anulan y la tensión de salida es una combinación de funciones exponenciales.

Por lo tanto, es muy importante elegir un valor apropiado para la resistencia de amortiguación a fin de conseguir la mayor reducción posible del valor dV/dt y evitar al mismo tiempo sobretensiones y oscilaciones de tensión después de la bobina de choque ➔ 5.

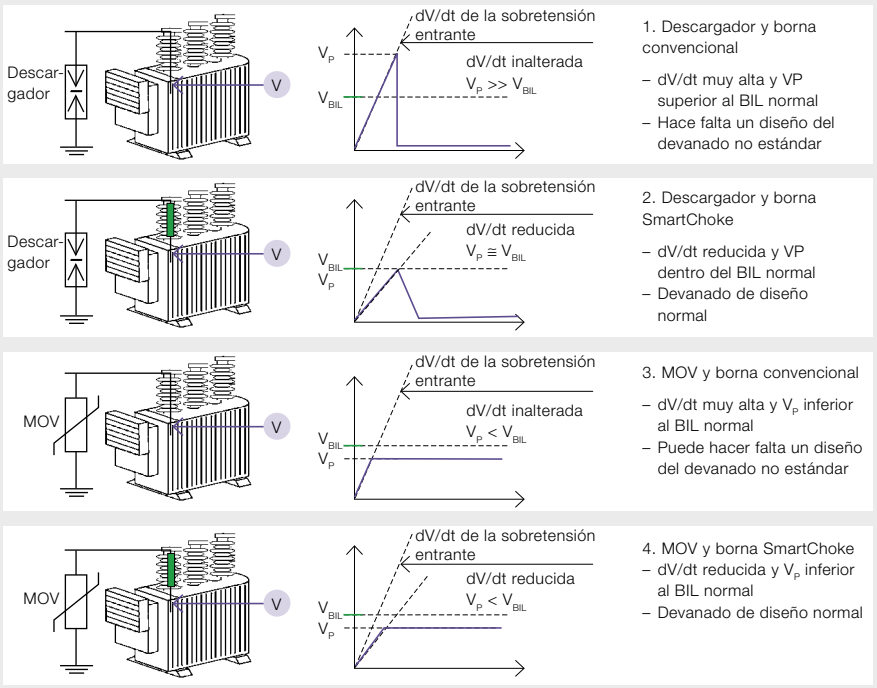
En este procedimiento, la capacidad C equivale a la capacitancia entre fase y tierra del transformador. Puesto que, como se ha indicado anteriormente, los límites de esta capacitancia son bien conocidos para un tipo determinado de transformador, los valores de R y L se pueden optimizar para que cubran todos los transformadores típicos de una determinada categoría. Si se considera la situación idealizada de ➔ 3, en la que un impulso por rayo de 2 MV se corta con un descargador, el equipo no protegido (por ejemplo, un transformador montado en un poste) estaría sometido a una tensión de pico entre fase y tierra superior a 270 kV (caracterizado por un valor de dV/dt de 2 MV/µs). Con la bobina de choque en serie instalada aguas arriba del aparato protegido, no solamente el valor de dV/dt es menor, sino que también se reduce el valor del pico de sobretensión que alcanza el transformador.

Es muy importante elegir bien el valor de la resistencia de amortiguación para conseguir la mayor reducción posible del valor dV/dt.

Transformador protegido con SmartChoke

Se ha instalado en los nuevos transformadores de distribución de ABB la bobina de choque en serie descrita, lo que les proporciona una mayor protección frente a transitorios con valores de dV/dt elevados. El elemento SmartChoke se integra en el aislador pasante del transformador ➔ 6 y de esa forma se filtran los transitorios con valores elevados de dV/dt antes de que lleguen al devanado.

9 Comparación entre distintos escenarios de protección



Los experimentos han demostrado que la reducción del valor de dV/dt supera en un factor de dos a la borna de transformador estándar.

Los parámetros de la bobina de choque encapsulada en el aislador pasante del transformador relleno de epoxi se eligen de forma que se pueda utilizar el mismo aislador para proteger todos los tamaños típicos de transformadores de distribución que trabajen en subestaciones montadas en postes en redes de distribución.

Los experimentos realizados han demostrado que la reducción del valor de dV/dt supera en un factor de dos a la borna pasante de transformador estándar. También se ha observado una reducción importante del pico de sobretensión ➔ 7.

Se ha homologado un transformador que incorpora aisladores pasantes SmartChoke ➔ 8 según la norma SFS 2646 en el laboratorio de alta tensión de la Universidad de Tecnología de Helsinki en Espoo, Finlandia. Se demostró que un transformador con diseño de devanado estándar y protección con bobinas de choque encapsuladas en los aisladores pasantes y descargadores de 2 × 40 mm puede someterse de forma segura a impulsos de rayo de 2 MV/µs.

Protección segura

La utilización de una bobina de choque aguas arriba del equipo que se desea proteger se ha mostrado como una alternativa interesante a la realización de un nuevo diseño completo del mismo equipo. Aunque las bobinas de choque reducen el valor de dV/dt y también el valor de pico de la onda de frente cortada, hay que señalar que la función principal del dispositivo de protección es reducir el valor dV/dt de un transitorio producido por una sobretensión causada por un rayo. Por lo tanto, es complementaria de la protección contra sobretensiones estándar proporcionada, por ejemplo, por descargadores o supresores de óxido metálico ➔ 9.

Wojciech Piasecki
Marek Florkowski
Marek Fulczyk
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia
wojciech.piasecki@pl.abb.com
marek.florkowski@pl.abb.com
marek.fulczyk@pl.abb.com

Paweł Kłys
ABB Power Products, Distribution Transformers
Lódz, Polonia
pawel.klys@pl.abb.com

Egil Stryken
ABB Power Products, Distribution Transformers
Drammen, Noruega
egil.stryken@no.abb.com

Piotr Gawąd
ABB Power Products, Apparatus
Przasnysz, Polonia
piotr.gawad@pl.abb.com

Referencias

[1] Agrawal, K. C. (2001). “Industrial Power Engineering and Applications Handbook”. Newnes.
[2] IEEE Working Group. (agosto de 1981). “Impulse voltage strength of AC rotating machines”. En IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems: Vol. PAS-100(8), (4041–4052).
[3] Finnish Standards Association. (1987, June 29). SFS 2646, , Pole mounted substation.
[4] Burrage, L. M.: Shaw, J. H.: McConnell, B. W. (abril de 1990). “Distribution transformer performance when subjected to steep front impulses”. En IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5(2).
[5] Glinkowski, M.; Piasecki, W.; Florkowski, M.; Fulczyk; M., Arauzo, F. (mayo de 2008). “SmartChoke-protecting power equipment from fast transients”. Informe presentado en la IEEE PES Transmission and Distribution Conference, Chicago, IL, Estados Unidos.

Imagen del título
Las descargas de rayos son causa de transitorios de sobretensión abruptos que pueden dañar los equipos eléctricos.

Compartir valores

ABB está realizando la primera instalación comercial de la tecnología de bus de proceso IEC 61850-9-2 LE

STEFAN MEIER – La introducción de la norma IEC 61850 representa un gran paso adelante en la automatización de subestaciones, y el proceso continúa. Un ejemplo es la aplicación de la subsección de la norma IEC 61850-9-2 para compartir valores analógicos muestreados mediante Ethernet. Integrando esta tecnología en sus sistemas de automatización de subestaciones, ABB ha combinado más de 10 años de experiencia en la fabricación de transformadores de medida no convencionales para la medición de intensidad y tensión con las últimas tecnologías de comunicaciones. Ahora es posible conectar más eficazmente equipos primarios (de alta tensión) a los dispositivos de ABB para protección y control de subestaciones, bien probados en la práctica, y mejorar la fiabilidad y la disponibilidad de las subestaciones optimizadas. Combinando estas tecnologías esenciales en la primera aplicación comercial de la IEC 61850-9-2 LE realizada en el mundo, ABB está renovando una subestación que puso en servicio en 1999.

Como pionera en los campos de NCIT[1] y la tecnología de bus de proceso, ABB comenzó en 1999 la puesta en servicio de una serie de seis subestaciones de exterior con la tecnología de bus de proceso y NCIT. La tecnología mixta, o de subestaciones "híbridas", suministrada a la compañía eléctrica de Australia Powerlink Queensland se basaba en un sistema inteligente "plug-and-switch" de ABB (iPASS). Los módulos electrónicos integrados en los accionamientos del interruptor, seccionador y conmutador de puesta a tierra de los módulos iPASS podrían comunicarse mediante un bus de proceso óptico patentado. Además, los módulos iPASS estaban equipados con el sensor ELK-CP de ABB para medir tensiones e intensidades, también conectado al bus de proceso.

Un bus de proceso es la red de comunicación entre los equipos del primario (como los transformadores de medida) y los del secundario (como los IED[2] de protección y control) del sistema de automatización de una subestación. Esta red de comunicación óptica se utiliza para transmitir datos analógicos (como los valores medidos de intensidad y tensión). También se puede utilizar la red para transmitir datos binarios (como las indicaciones de posición del mecanismo del interruptor) y las órdenes de disparo y cierre (para accionar interruptores y seccionadores), pero esto no forma parte de las aplicaciones actuales de los bus de proceso. En las subestaciones clásicas actuales, esta información se intercambia por medio de un extenso cableado de cobre en paralelo. La utilización de redes de fibra óptica no sólo elimina grandes tramos de cable de cobre, sino que también aumenta la seguridad operativa aislando el primario del proceso del secundario ➔ 1.

Las familias de sensores ELK-CP se basan en conjuntos redundantes de bobinas de Rogowsky[3] para la medición de intensidades y dos divisores capacitivos independientes para medir tensiones. Como no contiene aceite, este equipo es, a la vez, respetuoso con el medio ambiente y extremadamente seguro. El diseño totalmente redundante de los sensores (incluyendo la electrónica asociada) permite la aplicación de dos sistemas de protección paralelos y totalmente independientes, lo que aumenta la disponibilidad del sistema secundario. Como la electrónica del sensor puede sustituirse de forma independiente y sin parar todo el sistema de protección, las reparaciones requieren menos tiempo y, como no hay que manipular partes activas, son mucho más seguras ➔ 2.

ABB ha instalado más de 300 de estos sensores electrónicos en subestaciones de Powerlink. Es de destacar que, en más de 10 años de servicio, jamás ha fallado ninguno de los convertidores del primario. Basándose en los valores obtenidos de la experiencia, el tiempo medio entre averías (MTBF) de la electrónica de los sensores es casi de 300 años. Esto demuestra la fiabilidad extrema y la alta disponibilidad de los sensores, incluso en las condiciones ambientales, muy exigentes, del clima australiano.

> La publicación de la IEC 61850 abrió un nuevo capítulo en la descripción de la funcionalidad y las comunicaciones de subestación.

La mejora

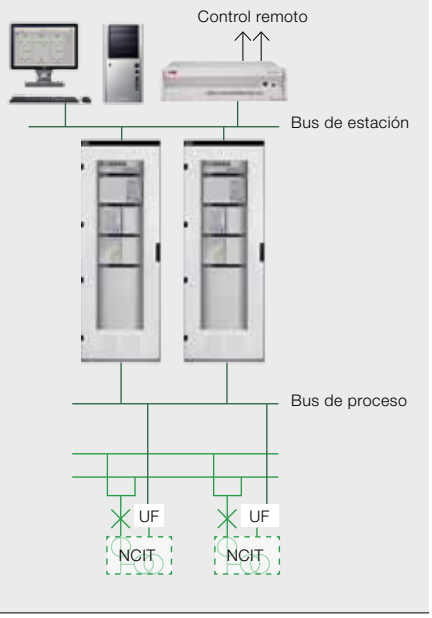
Powerlink puso en marcha un proyecto de mejora que implicaba la sustitución de los equipos del secundario de las subestaciones híbridas, incluyendo la electrónica orientada al proceso que conecta con el bus de proceso. Un requisito fundamental de esta mejora es su plena conformidad con las normas internacionales, especialmente la incorporación del bus de proceso para los valores analógicos muestreados, que debe cumplir la norma IEC 61850-9-2 LE ➔ 3.

Powerlink adjudicó a ABB el contrato de mejora de la primera subestación iPASS. Este proyecto representa la primera aplicación comercial en el mundo de un bus de proceso según la IEC 61850-9-2 LE. Su incorporación está muy avanzada.

Bus de proceso según la IEC 61850-9-2 LE

La publicación de la norma internacional para redes y sistemas de comunicación en subestaciones IEC 61850 abrió un nuevo capítulo en la descripción de la funcionalidad y las comunicaciones de subestación. Por primera vez hay una norma que ampara una verdadera interoperabilidad entre dispositivos de distintos proveedores, junto con un diseño preparado para el futuro. La norma ha ganado rápidamente la aceptación del mercado[4].

1 Bus de estación y proceso en subestaciones



Notas a pie de página

1 NCIT: transformadores de medida no convencionales.
2 IED: dispositivo electrónico inteligente.
3 La bobina de Rogowski es un dispositivo que se utiliza para medir intensidades alternas. Incluye un devanado toroidal. El conductor por el que circula la intensidad pasa por el centro del toro. La salida del sensor es una tensión proporcional a la derivada de la intensidad.
4 Véase también Informe especial *IEC 61850 de la Revista de ABB*.

ABB desempeñó un papel importante en la creación de la norma y sigue siendo una fuerza impulsora de su mantenimiento y desarrollo futuro. Desde la instalación en 2004 del primer proyecto del mundo con varios proveedores, ABB ha entregado para instalaciones repartidas en unos 70 países más de un millar de sistemas con bus de estación conformes con la IEC 61850.

Después de la introducción con éxito de la IEC 61850 para estaciones, su importancia en la comunicación orientada al proceso con bus de proceso está aumentando rápidamente. Para completar la capacidad de la norma para definir todos los intercambios de señales dependientes del tiempo necesarios entre los niveles de proceso y de bahía, la parte 9-2 de la norma se centra en el intercambio de valores analógicos muestreados mediante una red Ethernet.

La IEC 61850-9-2 exige que los valores analógicos muestreados sean transmitidos por las denominadas unidades de fusión (MU). Una MU correlaciona en el tiempo y fusiona datos analógicos procedentes de cada fase o punto de medición de la subestación antes de transmitirlos a través de la red Ethernet que proporciona acceso a los datos a los dispositivos de protección y control. Con la introducción de la CP-MUP, ABB es la primera empresa que ofrece una unidad de fusión de cumplimiento probado con certificación UCA[5].

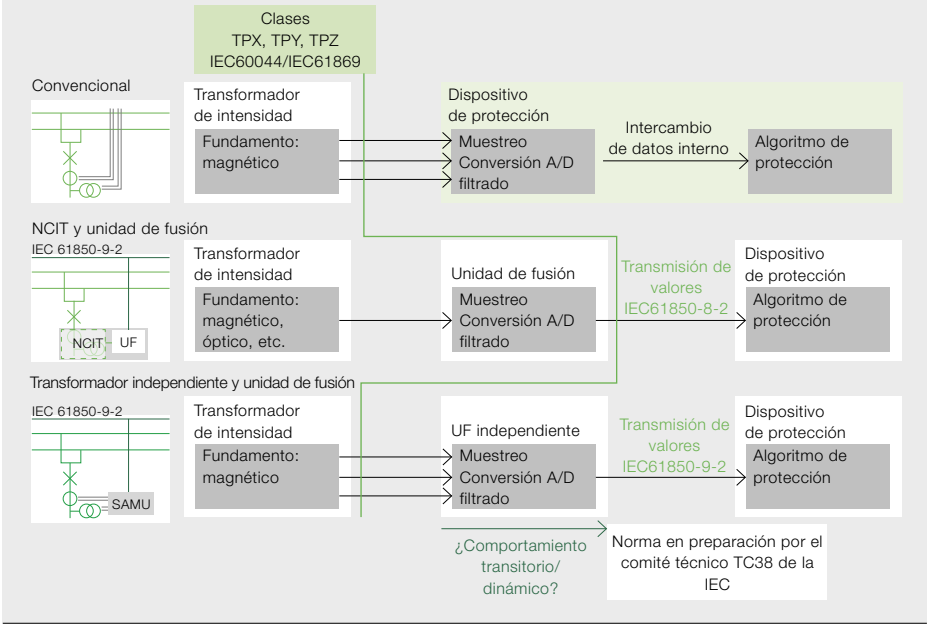
La IEC 61850-9-2 ha permitido el intercambio de señales desde los NCIT de forma normalizada, lo que refuerza las grandes ventajas de la tecnología NCIT. Entre ellas se incluyen los máximos niveles de precisión en todo el ámbito de medición, un diseño que ocupa poco espacio y una mejora radical de la seguridad en comparación con los equipos convencionales.

Para facilitar la puesta en práctica de la parte 9-2 de la norma y para simplificar su aplicación, el Grupo Internacional de Usuarios UCA ha desarrollado una guía de aplicación de la IEC 61850-9-2. La guía proporciona más información sobre el modo de aplicar la norma y define un subconjunto de la misma. Este documento tiene la referencia IEC 61850-9-2 LE (para la edición abreviada) y predomina entre las realizaciones actuales de la 9-2.

Como las unidades de fusión NCIT están adaptadas a un tipo específico de NCIT, constituyen una entidad única que se puede desarrollar y probar en cuanto al tipo conjuntamente, lo que permite definir el comportamiento de toda la cadena de medición en el puerto IEC 61850.

2 NCIT combinados de intensidad y tensión ELK-CP3 con unidad de fusión IEC 61850 9 2 LE

3 Normalización del comportamiento de los transitorios e interfaces de comunicación



Esto contrasta con las unidades de fusión autónomas (SAMU), que se conectan con CT[6] y VT[7] convencionales. Las SAMU muestrean las señales analógicas y pasan los valores al bus de proceso. Inevitablemente, la conversión de valores analógicos a muestras digitales influye en la respuesta de transitorios de la cadena de medición. Este comportamiento dinámico de la SAMU no está cubierto por la norma IEC 61850. Los comités técnicos y grupos de trabajo de IEC y Cigré correspondientes continúan trabajando sobre este aspecto. La definición que se obtenga se incorporará a una futura edición de la norma IEC 61869, la norma internacional de transformadores de medida → 3.

Ampliación de la probada tecnología de sensores con el bus de proceso de última generación

En el proyecto de mejora para Powerlink, ABB se está apoyando en su amplia expe-

Las redes de fibra óptica no sólo eliminan grandes cantidades de cable de cobre, sino que también aumentan la seguridad de funcionamiento.

Notas a pie de página

5 El Grupo de Usuarios Internacional UCA es una sociedad sin ánimo de lucro dedicada a ayudar a usuarios y proveedores en la puesta en práctica de normas para aplicaciones en tiempo real en diversos sectores con requisitos afines.

6 CT: transformador de intensidad

7 VT: transformador de tensión

4 Sistema SA para aparamenta de corte 1½ con uno o dos sistemas de protección redundantes

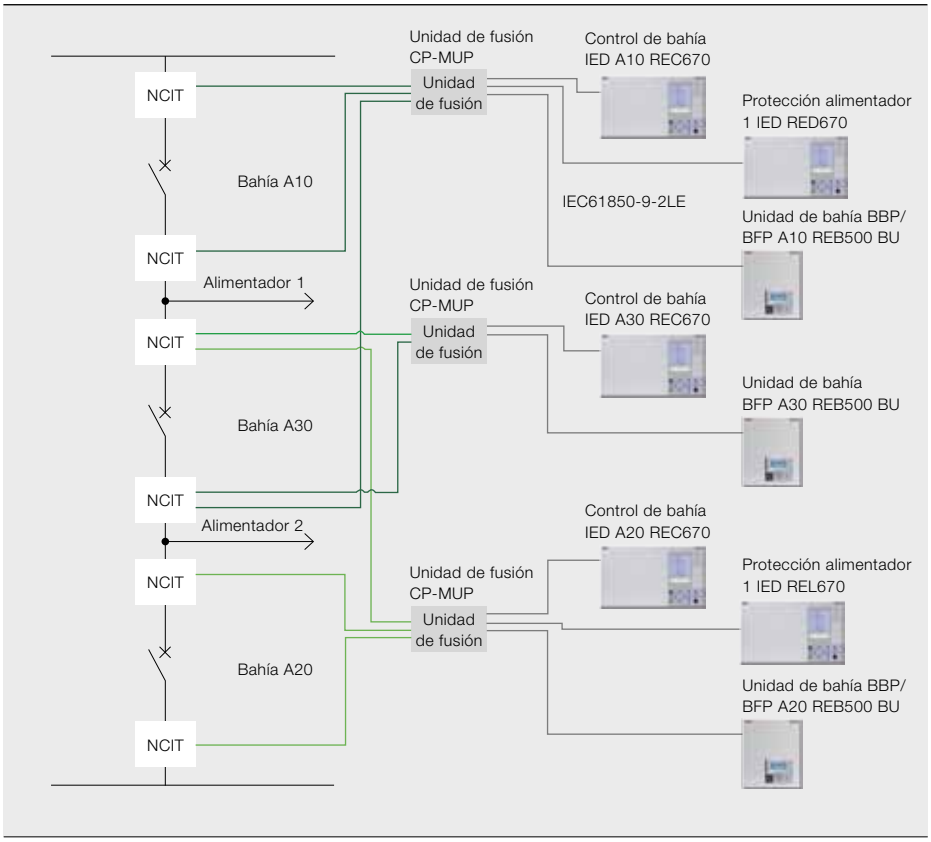


ABB desempeñó un papel importante en la creación de la norma IEC 61850 y sigue siendo una fuerza impulsora de su mantenimiento y desarrollo futuro.

riencia en NCIT y va a sustituir el bus de proceso patentado instalado originalmente por tecnología IEC 61850. El nuevo sistema conforme a la IEC 61850 se encargará de las comunicaciones a nivel de estación y de proceso.

En el proyecto de Powerlink Queensland, ABB utilizará su sistema de automatización de subestaciones SAS600, los IED de protección y control de su serie Relion® 670 y su barra de bus descentralizada REB500 y sistema de protección de fallos de interruptores. Todos los dispositivos de protección y control del sistema se conectarán al bus de proceso IEC 61850-9-2 LE y recibirán valores analógicos muestreados desde las unidades de fusión CP-MUP de ABB. Las MU se interconectarán con los sensores existentes combinados de intensidad y tensión mediante la nueva electrónica de sensores. De esta forma se minimizan las modificaciones de los equipos del primario ➔ 5.

En ➔ 4 se muestra un sistema de automatización de subestaciones para una disposición de 1½ interruptores similar al utilizado para la mejora del sistema secundario en Australia. Para satisfacer los requisitos de redundancia del cliente, se ha utilizado un segundo sistema completamente independiente de unidades de fusión e IED de protección que emplean el diseño redundante integrado de NCIT de ABB.

A fin de demostrar la idoneidad de los componentes y probar los conceptos que se van a utilizar en el proyecto de Powerlink, se han adoptado medidas complementarias para verificar la nueva tecnología.

Se pusieron en servicio una serie de instalaciones experimentales que incorporaban dispositivos NCIT e IED conectados al bus de proceso para adquirir experiencia con la nueva tecnología en entornos reales de subestación. Entre ellas se encontraba la mejora de una arteria en una de las subestaciones de 275 kV de Powerlink con nueva electrónica de sensores, unidades de fusión e IED de protección de la serie Relion® de ABB. Además de ayudar a los clientes a adquirir una experiencia y confianza importantes, las instalaciones experimentales también proporcionan información vital sobre la estabilidad y el comportamiento a largo plazo de los equipos en prueba en comparación con dispositivos convencionales o no convencionales.

Todos los equipos de protección y control de ABB se someten a pruebas rigurosas de verificación de productos y sistemas en el centro de ABB para verificación de sistemas con certificación UCA[8]. Además, se llevó a cabo una prueba conceptual del proyecto de mejora del sistema secundario de Powerlink en el campo de pruebas de ABB con expertos de ambas empresas. Se prestó especial atención al comportamiento del sistema en distintas condiciones de fallo.

El sistema se comportó de manera fiable, de acuerdo con lo proyectado y en ninguna condición se produjeron sobreactuaciones ni se emitieron señales de disparo incorrectas. Este tipo de señales erróneas podrían, en una situación real, ocasionar apagones de la red eléctrica.

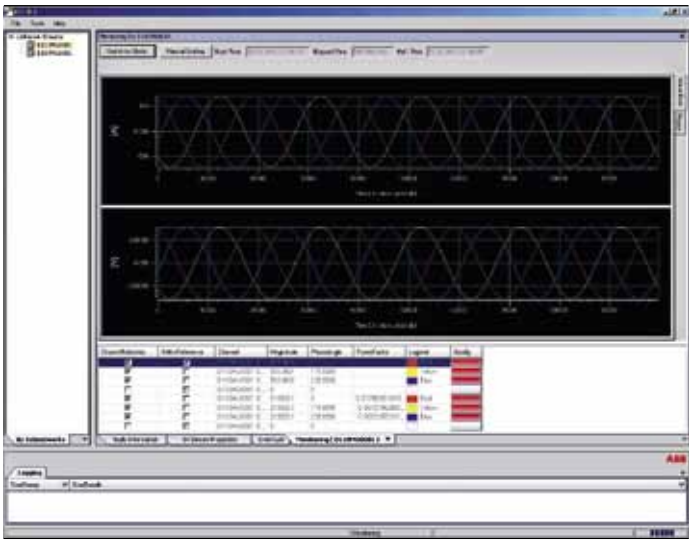
Durante la simulación de las diversas condiciones de fallo posibles, una supervisión permanente y detallada de todos los componentes del sistema demostró su importancia para permitir la rápida y precisa identificación de las averías. La supervisión continua del sistema reduce drásticamente la necesidad de actividades de mantenimiento periódico y simplifica en gran manera el mantenimiento dirigiendo al personal de las subestaciones al lugar exacto de la avería.

Nota a pie de página

8 Véase también “Verificado y validado: ABB dispone de su propio centro de verificación y validación” en las páginas 23–28 del *Informe especial sobre IEC 61850*.

5 Una de las subestaciones iPASS de Powerlink con NCIT

6 Analizador IEC 61850-9-2 de ABB



Prueba y mantenimiento de instalaciones de bus de proceso

La sustitución de los cables de cobre por otros de fibra óptica y la descripción de la información transferida de acuerdo con la IEC 61850 abre nuevas oportunidades para herramientas inteligentes de prueba que admiten la puesta en servicio y el mantenimiento de sistemas de automatización de subestaciones.

ABB se apresuró a poner en el mercado el conjunto de herramientas de prueba integrada, ITT6009, con una amplia serie de herramientas que ayudan a los usuarios a aprovechar completamente las ventajas de la IEC 61850.

ITT600 oculta la complejidad intrínseca de la norma IEC 61850 y proporciona al personal de pruebas y mantenimiento una visión clara de los datos disponibles en el sistema. Por ejemplo, facilita la verificación de la coherencia de la instalación con la descripción de la configuración de la estación (SCD) y ayuda a analizar la comunicación entre los IED y el sistema en la estación.

Todos los equipos de protección y control de ABB se someten a pruebas rigurosas de verificación en el centro de ABB para verificación de sistemas con certificación UCA.

Desde la introducción del bus de proceso para valores analógicos muestreados se han añadido al juego de herramientas las correspondientes a este concepto. Esto es especialmente importante en una situación en la que los NCIT proporcionan mediciones empleando una conexión óptica con las unidades de fusión. En este caso, todos los terminales CT y VT convencionales quedan obsoletos y todos los análisis se realizan en la red de IEC 61850-9-2. Aprovechando su gran experiencia en la integración de la norma IEC 61850 y el desarrollo de herramientas de prueba, ABB está desarrollando un analizador con numerosas funciones para valores analógicos muestreados → 6.

La ventaja de analizar valores en el bus de proceso frente a la medición convencional de intensidad y tensión comienza a percibirse cuando hay que acceder a los puntos de medición. Con los valores disponibles en la red del bus de proceso ya no es necesario acceder a componentes bajo tensión ni cortocircuitar y abrir terminales de CT.

Conectando el puerto Ethernet de la herramienta de análisis a la red de bus de proceso, o directamente a la unidad de fusión, el técnico de mantenimiento puede acceder fácilmente a todas las series de valores muestreados.

A diferencia del análisis con amperímetros o voltímetros, el analizador 9-2 presenta inmediatamente los datos antes no disponibles directamente. Estos datos incluyen de forma inmediata representaciones de las intensidades y tensiones en todas las fases, diagramas de fasor e información detallada sobre los telegramas transmitidos. Esta última información proporciona una visión vital del estado del sistema y puede, por ejemplo, indicar cuáles se están sometiendo a pruebas.

Tendencias futuras

Aprovechando todo el potencial del concepto de bus de proceso y su definición en la norma IEC 61850, también pueden transmitirse datos binarios a través de la red óptica de comunicaciones entre el proceso primario y los IED de protección y control. Si se colocan los módulos binarios de entrada y salida cerca del proceso primario se evita prácticamente todo el cableado de cobre, lo que se traduce en nuevas ventajas, como la posibilidad de aislar eléctricamente los sistemas a nivel de proceso y de bahía y la supervisión continua de todas las señales.

Combinando su aplicación de vanguardia de tecnologías IEC 61850 en la estación y en el nivel del proceso con una gran experiencia en el campo de la tecnología de NCIT, ABB está preparando ofertas inteligentes con vistas al futuro para satisfacer las demandas de soluciones más fiables, eficientes y seguras, maximizar los beneficios y revalorizar los activos.

Stefan Meier
ABB Power Systems
Baden, Suiza
stefan.meier@ch.abb.com

Nota a pie de página

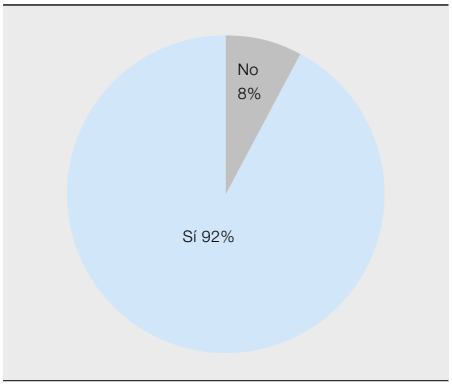
9 Véase también “Un mundo de pruebas: un conjunto completo de herramientas de ABB para la prueba y puesta en servicio de software para sistemas de automatización de subestaciones” en las páginas 29–32 de *Informe especial de la Revista de ABB IEC 61850*.

Aquí están los resultados

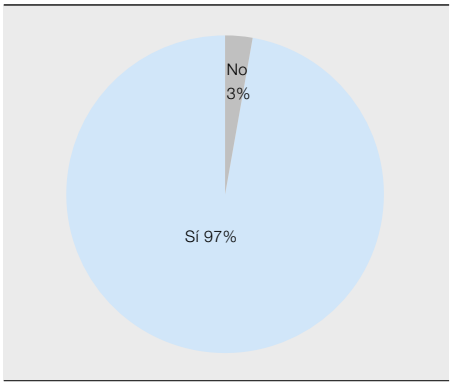
Encuesta a los lectores de la *Revista ABB*

El equipo de la *Revista ABB* y todos los miembros de I+D y Tecnología del Grupo ABB quieren agradecerles el tiempo que dedicaron a completar la encuesta a los lectores de la *Revista ABB* el pasado otoño. La información que nos devuelven nos ayuda a orientar la revista. Nos agrada especialmente ver que la mayoría de ustedes leen artículos que se encuentran fuera de su área de conocimientos y encuentran muchos usos para la revista, lo que demuestra la aplicación que tiene la *Revista ABB* en muchas áreas tecnológicas diferentes. Aunque la encuesta se publicó en cinco idiomas y apareció en todo el mundo, los cinco ganadores de nuestro sorteo procedían de Extremo Oriente y el sudeste de Asia. Enhorabuena y gracias a Gary-Hua Guan (China), Barton-XingPing Liu (China), Giridhar Sharma (India), Sheng zhang (China) y Feni-Nurdiana Masrani (Malasia). Cada uno de ellos recibirá una linterna solar y una memoria USB de 4 GB.

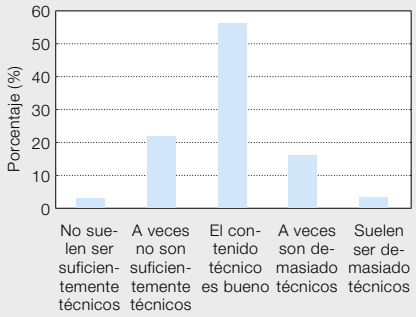
1 ¿Lee los artículos de la Revista ABB que no pertenecen a su especialidad?



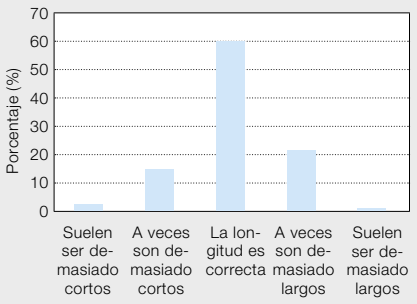
2 ¿Recomendaría la Revista ABB a un colega?



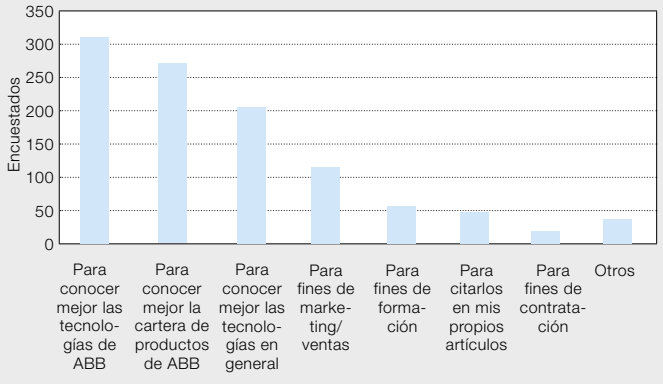
3 ¿Considera satisfactorio el nivel técnico de los artículos de la Revista ABB?



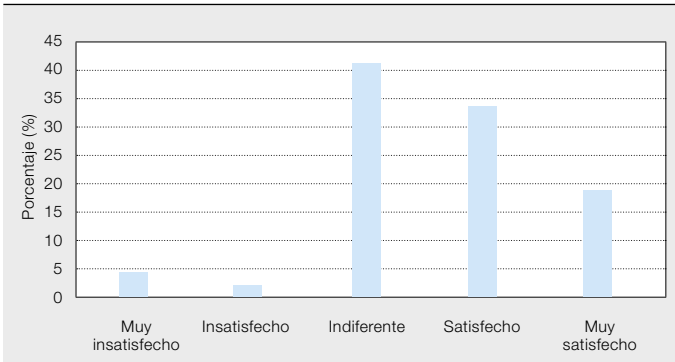
4 ¿Qué opina de la longitud de los artículos?



5 ¿Por qué lee la Revista ABB? (se admiten varias respuestas)



6 Desde el número 1/2010, la Revista ABB presenta un nuevo diseño en consonancia con la nueva estrategia de marca de ABB. ¿Le satisface la nueva imagen?



Total de encuestados: 494

Consejo de redacción

Peter Terwiesch
Director General de Tecnología
I+D y tecnología del Grupo

Clarissa Haller
Responsable de comunicaciones corporativas

Ron Popper
Jefe de Responsabilidad empresarial

Eero Jaaskela
Jefe de gestión de cuentas del grupo

Andreas Moglestue
Redactor Jefe de *Revista ABB*,
andreas.moglestue@ch.abb.com

Editorial
La *Revista ABB* es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Technology Ltd.
Revista ABB
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zürich
Suiza

La *Revista ABB* se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán, español, chino y ruso.
La *Revista ABB* es una publicación gratuita para todos los interesados en la tecnología y los objetivos de ABB. Si desea suscribirse, póngase en contacto con el representante de ABB más cercano o suscríbase en línea en www.abb.com/abbreview

La reproducción o reimpresión parcial está permitida a condición de citar la fuente.
La reimpresión completa precisa del acuerdo por escrito del editor.

Editorial y copyright © 2011
ABB Technology Ltd.
Zürich, Suiza

Impresión
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn/Austria

Diseño
DAVILLA Werbeagentur GmbH
AT-6900 Bregenz/Austria

Cláusula de exención de responsabilidad
Las informaciones contenidas en esta revista reflejan el punto de vista de sus autores y tienen una finalidad puramente informativa. El lector no deberá actuar sobre la base de las afirmaciones contenidas en esta revista sin contar con asesoramiento profesional. Nuestras publicaciones están a disposición de los lectores sobre la base de que no implican asesoramiento técnico o profesional de ningún tipo por parte de los autores, ni opiniones sobre materias o hechos específicos, y no asumimos responsabilidad alguna en relación con el uso de las mismas. Las empresas del Grupo ABB no garantizan ni aseguran, ni expresa ni implícitamente, el contenido o la exactitud de los puntos de vista expresados en esta revista.

ISSN: 1013-3119

www.abb.com/abbreview

Avance 2|11

Petróleo y gas

Según estimaciones de la Administración de Información de la Energía de EE.UU. (EIA), el petróleo supone alrededor del 36% de la energía primaria consumida en el mundo y es la mayor fuente de energía primaria. El gas natural se encuentra en tercer lugar (por detrás del carbón) y representa aproximadamente el 23%. Estas dos fuentes de energía cubren casi el 60% de las necesidades de energía de la humanidad, o el equivalente a más de 100 millones de barriles al día. La continuidad del suministro de petróleo y gas es de primordial importancia para la economía, la industria y un sinfín de aspectos de la actividad humana. A pesar del crecimiento que han experimentado las energías alternativas y la energía nuclear y del progreso en la eficiencia energética, el volumen necesario de petróleo y gas seguirá aumentando probablemente durante muchos años.

ABB ofrece muchas tecnologías que potencian la cadena de valor del petróleo y el gas. Estas tecnologías apoyan a la industria en casi todas sus actividades, desde la exploración y la extracción al procesamiento y el transporte. El número 2/2011 de la *Revista ABB* examinará de cerca algunas de las aportaciones que realiza la compañía a este atractivo sector industrial.

¿Conectar energía renovable a la red?

La energía producida por el agua, el sol y el viento, es más abundante en montañas, desiertos o mar adentro. Las soluciones de ABB ayudan a que la energía renovable llegue ya a más de 70 millones de personas, integrándola en las redes eléctricas, salvando largas distancias. ABB contribuye a hacer estas redes más inteligentes permitiendo así la protección ambiental y la lucha contra el cambio climático. **www.abb.com/betterworld**

Naturalmente.

Power and productivity
for a better world™

ABB