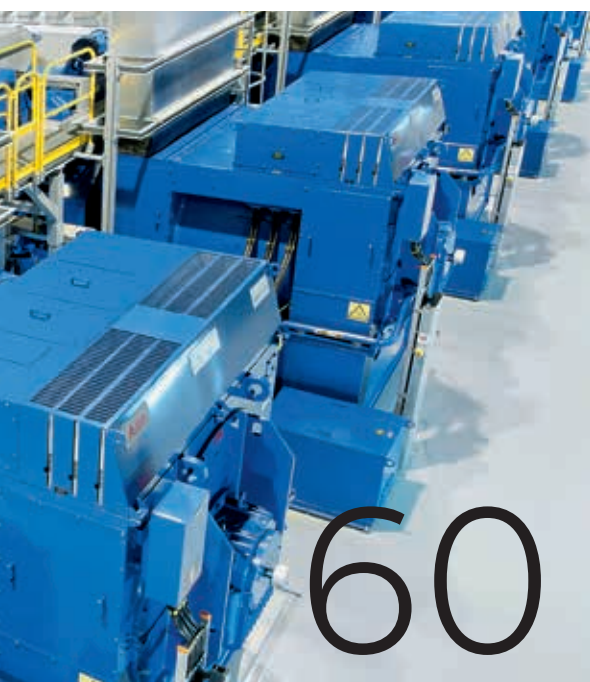


review

Innovación

01|2017 es



-
- 08–17 Lo más destacado en innovación
 - 18–37 Protección y seguridad
 - 38–51 Mediciones
 - 52–67 Servicio y fiabilidad



09

El transmisor láser de nivel sin contacto LLT100



46

50 años de control de la planitud



34

Aislamiento seco para bornas de condensador



Guardar la luz del sol para más tarde





60

Diseño de generadores fiables



54

La modernización amplía las posibilidades



13

05 Editorial

Lo más destacado en innovación

- 08 Noticias breves sobre innovación
- 16 Entrevista: la revolución digital

Protección y seguridad

- 20 Emax 2 y Arc Guard System™ TVOC-2
- 25 IEC 61850 unifica la protección
- 32 Alumbrado de emergencia Guideway
- 34 Aislamiento seco para bornas de condensador

Medición

- 40 Calibres de espesores para metales no ferrosos
- 46 50 años de control de la planitud

Servicios de fiabilidad

- 54 La modernización libera su potencial
- 60 Generadores para energía variable
- 65 Nuevos convertidores IGBT para Re460

69 Consejo editorial

Como los años anteriores, 2017 ha empezado planteando a empresarios, políticos y ciudadanos la necesidad de soluciones innovadoras para los problemas más apremiantes, por lo que parece oportuno dedicar el primer número de ABB Review a la innovación. La propia revista se ha renovado por completo, con una maquetación más manejable, gráficos atractivos y más contenido editorial.

Agradecemos sus comentarios (abb.com/abbreview).

EDITORIAL

Innovación



Estimado lector:

Bienvenido al primer número de ABB Review que se publica en el nuevo formato. Además de la completa renovación visual, confiamos en que aprecie los cambios estructurales que hacen la publicación más accesible y más fácil de manejar.

El nuevo diseño de ABB Review se enmarca en el contexto de una amplia transformación de toda la empresa. ABB se dedica a ayudar a sus clientes a mejorar tres importantes factores mensurables: tiempo de servicio, velocidad y rendimiento. Uno de los instrumentos más importantes para medirlos es la digitalización. Mientras que los grandes avances de productividad se lograban hasta ahora en el terreno de los dispositivos y las tecnologías individuales, la nueva revolución se centrará en la colaboración entre dispositivos y sistemas y entre cadenas de valor. La información en tiempo real se comparte y procesa digitalmente.

En este número de ABB Review y en los números futuros describiremos las formas en las que el futuro digital ha empezado a convertirse en realidad. Que disfrute de la lectura.

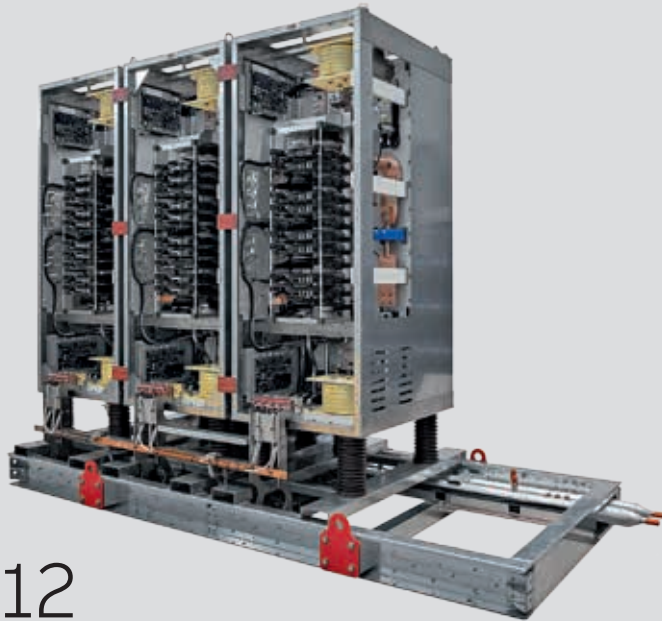
A handwritten signature in red ink, appearing to read 'Bazmi Husain'.

Bazmi Husain
Director de Tecnología



Innova- ciones 2017





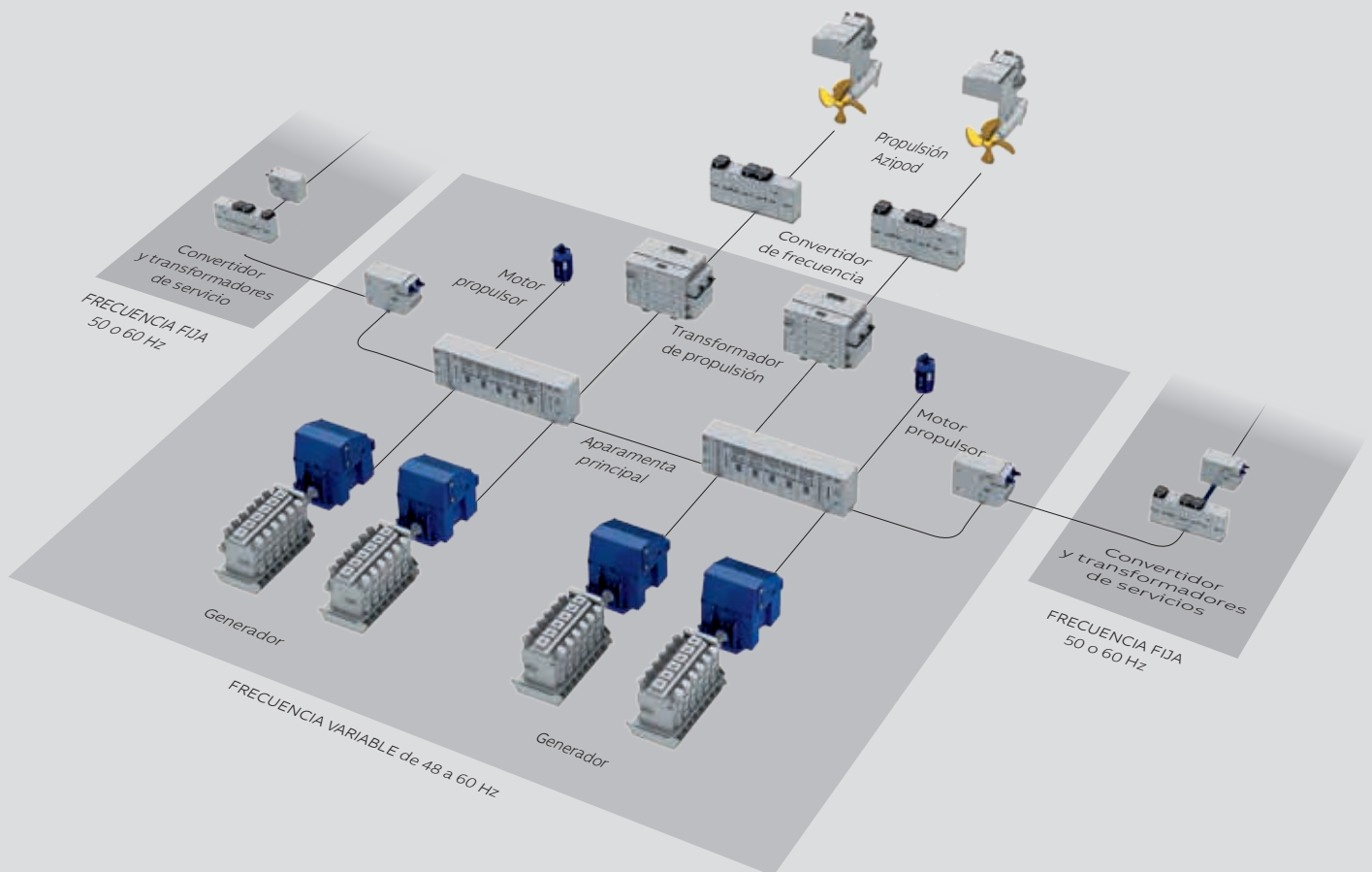
12

“Innovación” es actualmente un término popular, y para mucha gente sirve como sinónimo de “nuevo”. En ABB significa cosas como utilizar métodos exigentes con herramientas avanzadas, patentadas, y matemáticas para localizar fugas en la distribución de gases; el cumplimiento de grandes expectativas con un transmisor de nivel que pueda “ver” literalmente a través de cualquier condición, o hacer más fácil y seguro el almacenamiento de energía, y establecer nuevas marcas de prestaciones en el transporte de energía eléctrica, o en transformadores que alcancen nuevos records. Innovación en ABB quiere decir liderazgo técnico, puesto destacado en el mercado y éxito de clientes.



13

Dynamic AC: grandes rendimientos para valores de potencia ≥ 20 MW



Dynamic AC (DAC) es una solución de central eléctrica para grandes buques de propulsión eléctrica. DAC permite que el régimen de funcionamiento del motor principal varíe de acuerdo con las variaciones de carga sin perder rendimiento. De esta forma, se optimiza el consumo de combustible, con un ahorro de entre un cuatro y un seis por ciento. DAC es especialmente efectivo para buques que navegan rutas de diversas longitudes y a velocidades variables a lo largo del año o de toda su vida. DAC de ABB proporciona a los proyectistas y constructores de buques la flexibilidad añadida para satisfacer a un mercado mundial cambiante. Los sistemas de propulsión diésel- eléctrico clásicos separan la producción de energía de la propulsión y se basan en grupos generadores para equilibrar la producción de energía eléctrica con el consumo de combustible. DAC va un paso más adelante mediante el control de la velocidad de giro de los grupos electrógenos. El sistema eléctrico está diseñado para que funcione con una frecuen-

cia variable del sistema, que oscila normalmente entre 48 y 60 Hz. Los ajustes del régimen del motor se traducen en un consumo óptimo de combustible para cada condición operativa.

La distribución de energía para el consumo auxiliar de a bordo y las cargas de servicios de fonda es suministrada por convertidores de frecuencia que trabajan a frecuencia constante, excepto para determinadas cargas que pueden ser alimentadas directamente desde el sistema de frecuencia variable. Todos los componentes de DAC se pueden integrar completamente en los sistemas inteligentes de automatización y asesoramiento de ABB. DAC es un nuevo concepto que complementa la solución Onboard DC Grid de ABB para la generación eficiente de energía eléctrica en los buques. DAC consigue una mejor funcionalidad para grandes buques que marchen con sistemas eléctricos de alta tensión y potencias de 20 MW o más. Esto contrasta con el sistema Onboard DC Grid diseñado por ABB para buques menores. ●

El transmisor láser de nivel sin contactos LLT100



ABB presenta el transmisor láser de nivel de altas prestaciones LLT100. Mide con precisión valores grandes y pequeños de nivel, distancia y posición. Está diseñado para todas las aplicaciones industriales y entornos difíciles y sustituye a los de radar de canal abierto y a otros transmisores de nivel. El LLT100 mide el nivel de cualquier material, sólido o líquido, incluyendo líquidos transparentes, independientemente de sus propiedades o condiciones. Con su haz láser estrecho, el LLT100 evita obstáculos y puede instalarse cerca de las paredes de los buques, o en depósitos con paletas mezcladoras, rejillas u obstrucciones. El LLT100 mide de forma continua y proporciona un seguimiento de las variaciones rápidas de la superficie. Además, el

avanzado procesamiento de señal proporciona unas mediciones fiables en presencia de mezcladores y en entornos polvorientos, neblinosos y angostos. Su fácil configuración, rápida instalación y alimentación en bucle lo hacen de fácil uso. Dispone de una carcasa robusta IP 67 / NEMA 4X, aprobada para su utilización en áreas peligrosas de clase 1/división 1 (zona 1) resistente a explosiones. Es adecuado para aplicaciones industriales exigentes, como minería, áridos, petróleo y gas, productos químicos, alimentación y bebidas, energía, papel y pasta de papel, productos farmacéuticos, agua y aguas residuales. El LLT100 incorpora la filosofía de diseño de ABB "Measurement made easy": arranque rápido, instalación flexible y sin necesidad de recalibrado. ●

Rápida detección de fugas de gas en conducciones con MobileGuard™

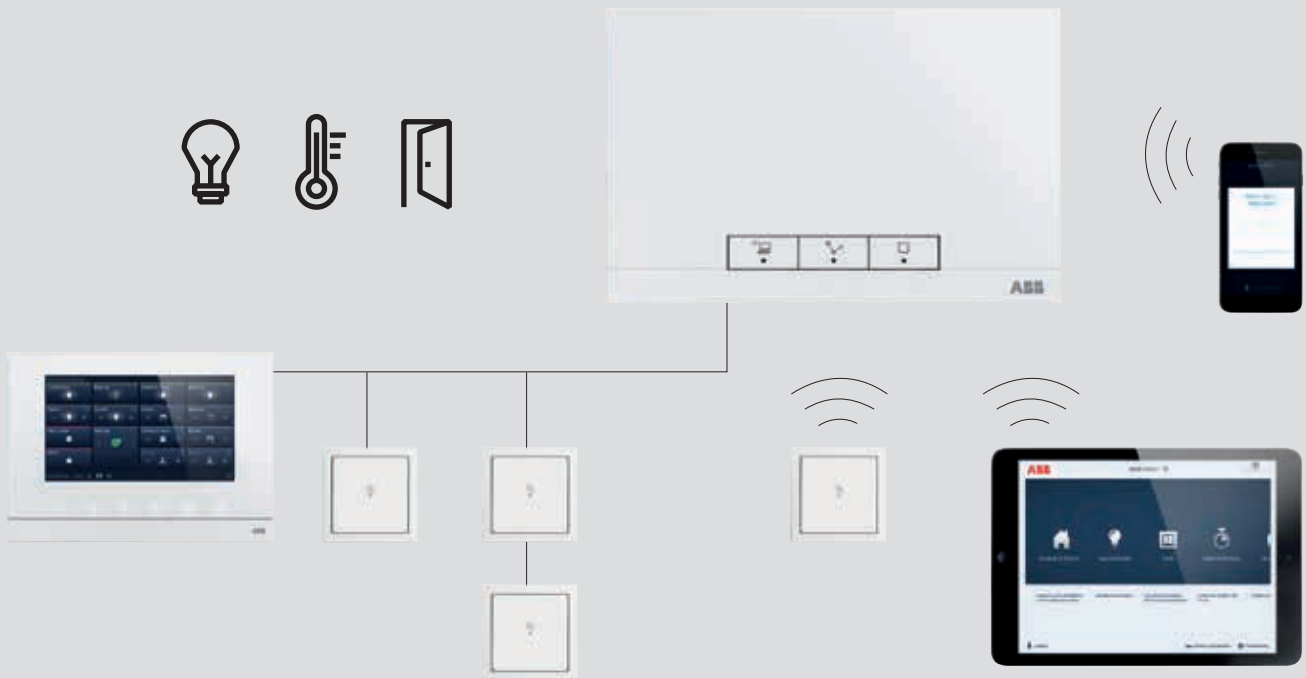


ABB ha desarrollado el sistema MobileGuard para una detección rápida y rentable de fugas peligrosas y perjudiciales para el entorno en las redes de distribución de conducciones de gas natural. El corazón del sistema es un analizador que mide simultáneamente el metano y el etano empleando la tecnología patentada de ABB, basada en láser, OA- ICOS™. El analizador puede detectar unas pocas partes por millardo de metano, lo que permite que el sistema detecte fugas de metano a cientos de metros en vez de unos pocos metros en el caso de los equipos de vigilancia clásicos.

Con el analizador integrado en un vehículo, los usuarios pueden vigilar rápidamente las redes de conducciones. El analizador mide hasta a 5 Hz, o sea, hasta 88 km/h. Además, la capacidad para medir el etano permite que el sistema distinga entre el gas en la conducción y el procedente de otras fuentes de metano, tales como vertederos, ciénagas y ganado, reduciendo de esta forma la aparición de falsos positivos.

Unos algoritmos patentados de análisis sofisticados transforman las concentraciones de gas medidas y los datos de vientos locales y GPS en estimaciones precisas de dónde se están produciendo las fugas en la red de distribución. Los clientes reciben informes de análisis en tiempo real mediante su compartición en la "nube", que se puede examinar en sistemas GIS. El innovador sistema MobileGuard proporciona a las compañías de gas natural nuevas capacidades que garantizan la seguridad pública normalmente, la investigación de olores y el apoyo rápido tras un siniestro, reduciendo al tiempo las emisiones de gases de efecto invernadero y ahorrando dinero. ●

Una domótica más fácil que nunca con ABB-free@home® inalámbrica



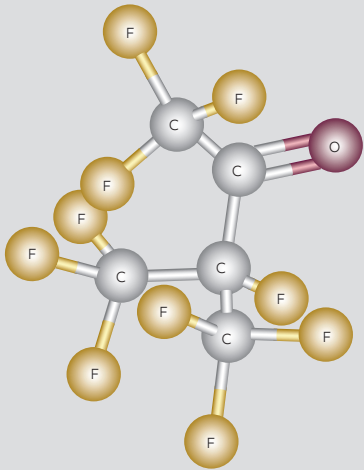
Las soluciones para una casa inteligente dependen de una infraestructura de sensores, actuadores y control inteligente. ABB-free@home® inalámbrico permite ahora conectar estos elementos en un sistema flexible de manera muy sencilla.

ABB-free@home® inalámbrico es un sistema de integración sin conexión por cable para una casa inteligente, lo que lo hace ideal para convertir antiguos edificios en hogares inteligentes, así como para equipar las nuevas construcciones con el último grito en tecnología de automatización domótica.

Gracias a su red mallada, que proporciona una conexión por radio óptima, ABB-free@home® inalámbrico descubre nuevas posibilidades para ejecutar proyectos de casa inteligente de un modo sencillo y económico. Al carecer de conexiones

alámbricas, puede conservarse sin cambios la obra del edificio, lo que significa que se puede actualizar fácilmente iluminación, persianas, puerta de entrada y sistemas de calefacción al último estándar de casa inteligente. En caso necesario, se pueden integrar asimismo en el sistema componentes conectados por cable.

Para el instalador eléctrico, la instalación del ABB-free@home® es muy fácil y rápida. El Punto de Acceso del Sistema permite el acceso desde un PC, una tablet o un smartphone e incluso incorporar un control por voz. El ABB-free@home® inalámbrico puede combinarse con un sistema ABB-free@home® basado en bus, ya existente, y admite la integración directa con sistemas de control de puertas de entrada y acceso a distancia basado en la nube. ●



GIS sin gas SF₆ para aplicaciones de media tensión

Durante decenios, la tecnología de aparamenta aislada en gas (GIS) con hexafluoruro de carbono (SF₆) ha sido la elección obligada para los usuarios que buscaban las dimensiones más compactas posibles, la mayor fiabilidad y una seguridad máxima. Sin embargo, pese a sus extraordinarias propiedades, el SF₆ es un gas con un potente efecto invernadero. ABB es la primera compañía que ofrece una GIS de media tensión (MT) con un gas aislante respetuoso con el medio ambiente basado en una nueva molécula.

Junto con su socio 3M, ABB ha desarrollado una alternativa prometedora al SF₆: el gas aislante AirPlus™ de ABB. Si bien se encuentra cerca de las prestaciones técnicas del SF₆, el nuevo gas no tiene prácticamente ningún efecto sobre el calentamiento global: La nueva molécula de AirPlus se descompone tras una media de 16 días de exposición a la radiación atmosférica (en comparación con los más de 3000 años para el SF₆).

El AirPlus es una mezcla de gases: Para las aplicaciones de MT, más del 80 por ciento en volumen es aire seco y el resto es el fluido dieléctrico NOVEC 5110, una molécula de fluorocetona suministrada por 3M.

AirPlus no está sujeto a ninguna reglamentación como sí lo está el SF₆, lo que hace más sencilla su manipulación y reduce los trabajos administrativos. ABB ha presentado dos productos de aparamenta AirPlus para media tensión: ZX2 AirPlus y SafeRing AirPlus, respectivamente para distribución primaria y secundaria. Estos productos son el primer paso hacia una cartera más amplia de AirPlus y la apertura de una nueva era de tecnología de GIS en el mercado de la MT. ●

Emax 2 se pasa al digital

En 2013, ABB presentó Emax 2, un interruptor de baja tensión, el mejor de su clase, con una función única integrada de gestión de la energía. Emax 2 era una innovación verdaderamente revolucionaria que elevaba el concepto del producto de un interruptor a un controlador completo de la energía eléctrica. Sin embargo, el mundo de la distribución de la energía eléctrica cambia rápidamente y nuevos desarrollos importantes como las renovables, el almacenamiento de energía y las microrredes se agolpan en escena. Estas nuevas tendencias conducen a nuevas demandas de clientes y aplicaciones. Para satisfacer esas demandas, ABB ha revelado ahora el innovador Emax 2, “todo en uno”, la evolución del Emax 2 a una plataforma multifuncional que puede controlar la siguiente generación de las instalaciones eléctricas: las microrredes.

En el fundamento de la potencia del Emax 2 “todo en uno” están sus propiedades digitales únicas para:

- Control: gestión óptima de los recursos eléctricos de las microrredes
- Conectividad: total integración en la era digital
- Facilidad de uso: hace sencillo lo complicado

Emax 2 “todo en uno” es el primer interruptor automático que cumple los nuevos requisitos de redes y – único en su clase – emplea la potencia de los datos, permitiendo una comunicación directa con la nueva plataforma de gestión de energía eléctrica con cálculo en la nube, Ekip SmartVision, una solución digital de ABB Ability. Una arquitectura inteligente y de “enchufar y usar” hace que Emax 2 “todo en uno” sea fácil de usar. De nuevo, Emax 2 establece un nuevo hito en los interruptores automáticos para las necesidades de hoy y del mañana. ●



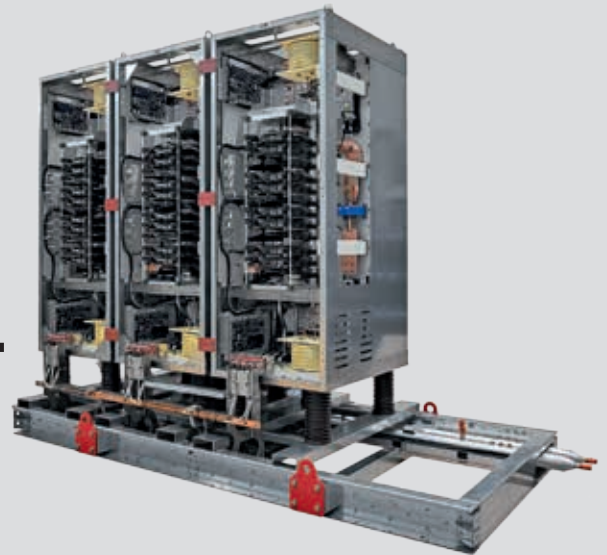
Un GCB mejorado simplifica la protección



Los interruptores automáticos del circuito del generador (GCB) de ABB protegen las centrales eléctricas y simplifican su funcionamiento desde los años 1950. Esforzándose continuamente para mejorar sus prestaciones, ABB ha desarrollado el GCB HEC 10-170 para centrales de hasta 1600 MW. El HEC 10-170 es el sucesor de la serie HEC7/8A, que trabaja en cientos de centrales por todo el mundo. Tiene una capacidad nominal de 170 kA/31,5 kV y un diseño compacto pero flexible. Con la simplificación como primer objetivo de su filosofía, ABB ha colaborado con sus proveedores para desarrollar su GCB perfeccionado. El HEC 10-170 cuenta con una serie de soluciones innovadoras tales como un nuevo disyuntor de corto recorrido, una conexión radicalmente simplificada y un concepto híbrido de refrigeración basado en conductos de calor. También se ha simplificado considerablemente el montaje en fábrica. El robusto nuevo GCB estará en el mercado en el primer trimestre de 2017. ●

Nuevo SVC Light para media potencia

Como parte de la cartera de SVC (compensación estática de var) Light, ABB ha desarrollado un nuevo convertidor modular multinivel (MMC) empleando una topología en cadena para las aplicaciones STATCOM (compensador estático). El nuevo convertidor, destinado a la gama de media potencia hasta unos 100 MVA, utiliza una nueva plataforma tecnológica para semiconductores de tiristor controlado por puerta integrada de conducción inversa (RC-IGCT), con valores nominales de 4,5 kV/3 kA y 6,5 kV/2,15 kA. Al optimizar los dispositivos IGCT para aplicaciones de baja frecuencia – tales como convertidores MMC conectados a redes – se han conseguido las pérdidas menores de la industria. Otras características ventajosas de los dispositivos encapsulados a presión, tales como los IGCT – en comparación por ejemplo con los módulos industriales conectados por cable – son las mejores prestaciones en ciclos de carga y el modo de fallo por cortocircuito intrínsecamente estable. Estas ventajas otorgan al diseño de la célula una resistencia natural, donde un fallo del paquete a presión no provoca necesari-



amente una explosión o rotura. Un solo interruptor de tiristor protege la célula contra daños catastróficos en todo modo de fallo relevante y permite que continúe funcionando el convertidor en la cadena tras el fallo de una sola célula. Además, el diseño del convertidor se hace con vistas a un fácil mantenimiento y la sustitución de componentes a pie de obra. En el nuevo SVC Light para media potencia, esta robusta célula convertidora se combina con los algoritmos de control de ABB, ya bien probados, para aplicaciones tales como la compensación del parpadeo en hornos de arco, apoyo de tensión en renovables, y compensación en compañías de suministro y ferrocarriles, entre otras. Para maximizar las prestaciones, se incorpora el software de control de la aplicación del SVC Light en la nueva plataforma del sistema de control modular avanzado MACH™3, también empleada para aplicaciones de HVDC. ●

SCARA: Elección del mejor brazo para el trabajo



ABB ha presentado su primera línea de robots de brazo robótico articulado de respuesta selectiva SCARA, por sus siglas en inglés, IRB 910SC, para ampliar su cartera de robots industriales. Esta nueva incorporación añade más velocidad, precisión y rentabilidad a su línea de pequeños robots. SCARA se refiere a una clase de robots con cuatro ejes de movimiento: los dos primeros para la colocación en posición horizontal, el tercero para la vertical y el cuarto para el giro sobre los ejes verticales. Estos robots se suelen utilizar para la manipulación en una superficie horizontal, normalmente para usuarios que necesitan ciclos rápidos, alta precisión y alta fiabilidad para una variedad de aplicaciones, tales como montajes eléctricos, inspección, empaquetado, prueba de medicamentos u otras aplicaciones de manipulación de materiales.

La nueva serie SCARA de ABB tiene una carga útil de 3 kg y una carga máxima de 6 kg con tres opciones de alcance variable de 450, 550 y 650 mm, para que el cliente elija el brazo idóneo. Los robots SCARA son más rápidos y, gracias al menor número de ejes, suelen ser más rentables que los de seis ejes. Siguiendo la estrategia de ABB, en SCARA se utilizan los mismos controladores que en sus otros robots. La arquitectura común de hardware y software evita costes de propiedad innecesarios con la ventaja de un sistema de automatización homogénea que se programa, utiliza y mantiene igual en todos los tipos y tamaños de robots. RobotStudio, Integrated Vision y PickMaster son algunos de los productos disponibles para los robots SCARA. ●

REACT guarda la luz del sol

Este año, ABB presentó un cambio revolucionario para la fotovoltaica (PV) y el almacenamiento residencial de energía llamado REACT. Los propietarios de casas pueden ahora guardar todo exceso de energía producida por su instalación fotovoltaica para utilizarla más tarde. Basar todo el sistema (inversor fotovoltaico y almacenamiento) en ABB supone que el cliente final tiene un punto de contacto único con el proveedor. REACT se ofrece en dos categorías de potencia: 3,6 y 4,6 kW para aplicaciones monofásicas. La batería de ión de litio de 2 kWh garantiza una capacidad residual de al menos el 60 por ciento tras un suministro acumulativo de energía de 9 MWh con ciclos de carga/descarga diarios. Esto se traduce en una vida de la batería de diez años como mínimo.

Una característica exclusiva que distingue el producto de lo que ofrece cualquier competidor es que la capacidad de la batería puede ampliarse desde la configuración básica de 2 kWh a 6 kWh añadiendo dos compartimentos más. La optimización del consumo de energía se lleva a cabo mediante el software de gestión energética incorporado que también se interconecta con el contador de energía (suministrado como parte de REACT) en el punto de conexión de la red. REACT está equipado con capacidad de comunicación integrada (Ethernet, wifi, etc.) que permite un control de datos local o a distancia en la nube sin que se requieran otras interfaces. La aplicación para móvil MyREACT, que supervisa y controla el producto, completa la oferta. ●

Nueva marca en la escalada de tensiones de los transformadores

Cuando ABB puso en funcionamiento el UHVDC (CC de ultra alta tensión) de Xiangjiaba-Shanghai en 2008, su calificación de 800 kV, 6.400 MW no tenía precedente en la industria de HVDC. Actualmente, ABB está batiendo su propio record. La compañía ha sido contratada para suministrar convertidores para el transporte de 12.000 MW a 1.100 kV entre Changji y Guquan (China).

El aumento del nivel de tensión supone un enorme desafío para el diseño dieléctrico de los transformadores del convertidor. Para conseguir mayores tensiones no basta simplemente con extrapolar lo que se ha aprendido en anteriores experiencias. De hecho, la intensidad de campo eléctrico que determina el resultado del aislamiento es no lineal en su comportamiento. Ha habido que rehacer los

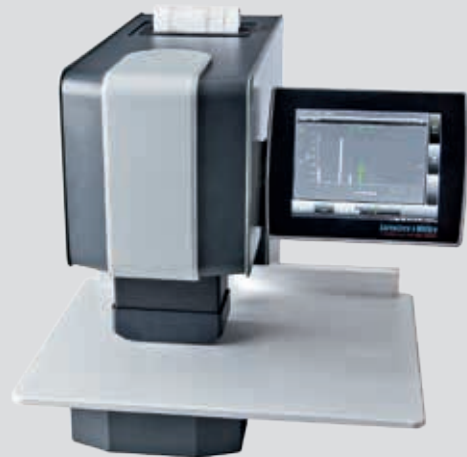
diseños del aislamiento correspondientes al lado de la válvula de los transformadores, incluyendo los casquillos.

Los valores muy altos de tensión y potencia también hacen de este transformador el mayor del mundo en la práctica. Esto ha afectado asimismo al diseño de las bornas, que tienen que tratar tanto con valores extremos de las tensiones como con valores muy altos de intensidades de corriente. La tecnología que ABB está utilizando por primera vez para transformadores convertidores de 1.100 kVcc se ha verificado a través de un ambicioso programa de investigación y desarrollo completado en 2012. Las soluciones aplicadas en el proyecto comercial en marcha actualmente están ya probadas. ●

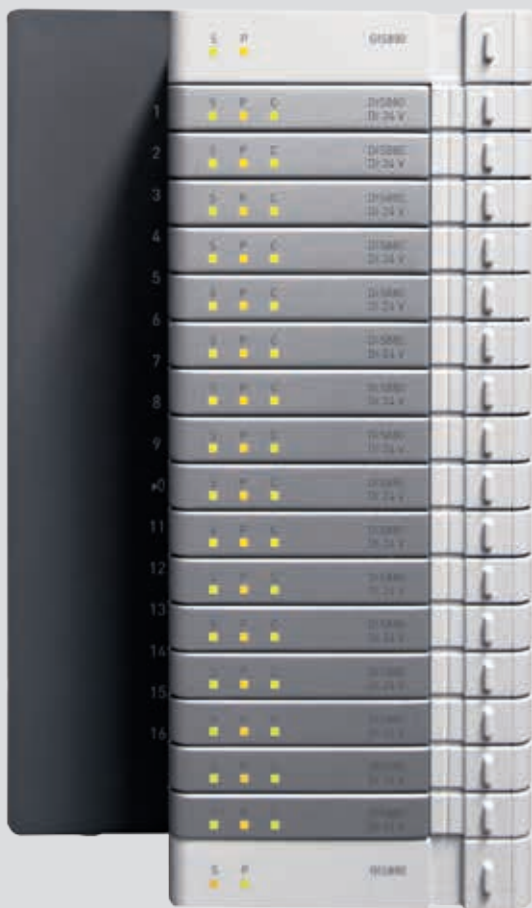
Evaluación más rápida y precisa de la capacidad de impresión con la topografía óptica

Un nuevo instrumento que evalúa de forma rápida y precisa la capacidad de impresión para papel y cartón analizando la topografía de la superficie, ayuda a los fabricantes de papel a obtener papel que satisfaga las necesidades del cliente para una impresión de calidad. Muchos años de estudios de investigación e impresión realizados por Innventia – un instituto sueco que es el líder mundial en investigación sobre papel y pasta de papel – han mostrado que la topografía óptica, es decir, la medición de las pequeñas variaciones y cráteres de la superficie del papel, lleva a cabo, de mejor forma que con los métodos tradicionales, la predicción de cómo va a cubrir la tinta la superficie del papel o el cartón en la impresión flexográfica, en hueco, en offset o híbrida.

La topografía óptica es una técnica de medición en la que se proyecta la luz sobre una muestra con un ángulo agudo desde dos direcciones opuestas, lo que se traduce en una imagen estereoscópica. Al crear sombras, la técnica revela las posibles



variaciones en la superficie del papel. Estas variaciones se emplean como base para una descripción matemática de la topografía de la superficie del papel. Este concepto para la medición es la base del L&W OptiTopo. Basándose en un invento de Innventia, ABB desarrolló el L&W OptiTopo. El L&W OptiTopo mide las propiedades de variaciones y cráteres en las superficies con tanta precisión que puede predecir con exactitud la capacidad de impresión y, por ejemplo, el riesgo de zonas que queden sin cubrir por la tinta. ●



System 800xA's Select I/O cambia de forma fundamental la ejecución de proyectos de automatización

Durante decenios, los proyectos de automatización han utilizado arquitecturas de sistema de control distribuido (DCS) centrado en el controlador. Estas arquitecturas crean un número importante de interdependencias entre tareas del proyecto que pueden llevar fácilmente a considerables sobrecostos y retrasos en caso de que haya que llevar a cabo cualquier cambio. ABB ha desarrollado una nueva familia de I/O – completa con herramientas y metodologías de ingeniería – que elimina esta situación y que lleva la eficiencia del proyecto a un nivel superior, haciendo algo del pasado los excesos de presupuesto o los retrasos de automatización.

Un ejemplo de la interdependencia de proyectos es cuando se declara una “congelación del diseño” antes de la adquisición de un hardware, que, a su vez, tiene que preceder a la ingeniería de la aplicación, y así sucesivamente. Cualquier cambio en el diseño, como la modificación de los tipos de I/O, su aumento, su traslado a un controlador distinto, etc. exige peticiones de cambios potencialmente costosas a causa de la cantidad de trabajo que hay que hacer para realizar los cambios tras haber congelado el diseño.

En respuesta a ello, ABB ha desarrollado una ampliación de la familia System 800xA de soluciones de I/O, llamada Select I/O. Select I/O es una solución de I/O monocanal tanto para las aplica-

ciones de proceso como de seguridad, que se comunica con el sistema a través de una red industrial redundante de I/O Ethernet .

Los terminales de Select I/O se pueden instalar y conectar a pie de obra al principio de la fase de proyecto, obviando la necesidad de armarios de clasificación que ocupan espacio. Mucho después se pueden definir los tipos de señal añadiendo módulos individuales de acondicionamiento de señal, lo que reduce el impacto económico de cualquier cambio posterior.

Con los múltiples grupos de comunicaciones de Select I/O en una red Ethernet redundante, las I/O pueden ser escaneadas, configuradas y comprobadas a pie de obra en paralelo con la ingeniería de aplicaciones que se esté haciendo en la oficina de proyectos de ABB. Este paralelismo se denomina ingeniería “xStream” e incluye capacidades ligeras de clasificación que hacen converger automáticamente los dos flujos de trabajo a entregar – es decir, el proyecto de ingeniería de la aplicación y la configuración de I/O a pie de obra – inmediatamente antes de la puesta en servicio final.

El resultado es que se saca la automatización del camino crítico del proyecto general. Menos sorpresas, menos peticiones de cambios, una puesta en servicio anterior de proyecto y unos propietarios más satisfechos son el resultado. ●

ENTREVISTA

Tomando el pulso a la revolución digital



Guido Jouret

El Director de Digital de ABB, Guido Jouret, dialoga sobre el futuro digital en una entrevista con la ABB Review, y explica cómo la revolución digital transformará la actividad de ABB y a sus clientes.

AR **ABB Review (AR):** ¿Qué queremos decir cuando hablamos de revolución digital? ¿No ha habido digitalización ya durante mucho tiempo?

GJ **Guido Jouret (GJ):** No hay nada realmente nuevo sobre la posibilidad de comunicarse a distancia con un sensor en una fábrica, por ejemplo. Pero el coste de conectar ese dispositivo – incluyendo no sólo el componente de conectividad del propio dispositivo, sino también la red, los servidores, el software, etc. – ha pasado a ser mucho más

asequible gracias al desarrollo en áreas tales como las comunicaciones a través de móviles. Ya hay numerosos dispositivos digitales en las fábricas. Todos ellos producen datos, pero muchos de esos datos están abandonados. Si se los pudiera recoger, guardar y analizar, los dueños de las fábricas podrían optimizar sus operaciones. También los podría usar ABB para proporcionar servicios y mejorar la fiabilidad y el funcionamiento de los equipos. Para el cliente, lo mejor es almacenar y analizar estos datos en la nube, no en un servidor local.

AR Si los datos se mantienen en la nube ¿no pierde el cliente el control sobre ellos?

GJ Ningún almacenamiento online puede ser absolutamente seguro. Pero los datos en la nube suelen estar más seguros que en un servidor privado. Las empresas que proporcionan servicios en la nube saben que su reputación está en juego si se ponen en peligro los datos de los clientes. Además, la mayoría de las empresas han aceptado ya ese tipo de almacenamiento en otras áreas. Por ejemplo, probablemente ya hayan utilizado Microsoft Office 365. Si se pueden confiar a la nube documentos comerciales sensibles, ¿por qué no los datos de procesos?

AR ¿De qué clase de análisis de datos estamos hablando?

GJ Con la ayuda de bibliotecas proporcionadas por empresas como Microsoft y Google, podemos, por ejemplo, efectuar reconocimiento de imagen o analizar corrientes de datos basadas en experiencias anteriores.

- AR** ¿No está la dependencia de algoritmos de proveedores externos erosionando la capacidad de ABB para estar en vanguardia? Después de todo, los competidores pueden emplear las mismas bibliotecas.
- GJ** Es cierto que pueden y que lo harán. Pero, mírelo de esta manera: Las empresas como Microsoft e Intel suministran sus sistemas operativos y procesadores. Nosotros no podríamos soñar en desarrollar esos componentes por nuestra parte. De forma similar, el aprendizaje automático y el almacenamiento en la nube no son sino simples herramientas. Nuestra capacidad para estar en vanguardia reside en lo que seamos capaces de hacer con ellas. La utilización de soluciones personalizadas para encapsularnos no constituye una estrategia sabia a largo plazo. El mercado se está moviendo hacia más posibilidades de elección. Las normas como la IEC 61850 (para automatización de subestaciones) hacen que los clientes puedan combinar y hacer que trabajen juntos dispositivos de distintos proveedores. La posibilidad de elección es buena para el cliente y es buena para ABB. Más que buscar aumentar nuestra porción del pastel, significa que todo el pastel está creciendo.
- AR** ¿Qué hay acerca de la digitalización de los propios dispositivos?
- GJ** Los dispositivos van siendo cada vez más digitales. Por ejemplo, la cabina de un coche Tesla tiene sólo dos botones que no actúen a través de software. Son el botón para las luces de aviso de emergencia y el botón de la guantera. Al instalar un nuevo software, un fabricante puede añadir una función o mejorar la actuación incluso

después de que se haya entregado el producto. Volviendo a Tesla, hace poco se produjo un incidente cuando un coche estaba marchando con el piloto automático. Se modificó el algoritmo para impedir que se volviera a repetir, y el nuevo software se instaló a distancia en todos los coches Tesla. Así, todos los clientes se beneficiaron. Esto supone una desviación radical de la situación actual en la que un producto permanece sin cambios durante el resto de su vida activa.

- AR** ¿Puede darnos algún avance sobre tecnologías que vayan a abrir nuevas oportunidades?

- GJ** Sólo como ejemplo, veamos la tecnología de “blockchain” o “cadena de bloques” (que dio origen al bitcoin). Esencialmente, crea un registro de transacciones anteriores que se guarda de forma descentralizada y en un dominio público y que se puede incorporar pero que no puede borrarse fácilmente.

La transparencia y el cumplimiento son importantes para la realización de operaciones comerciales. Si se han entregado un presupuesto o determinados bienes, es importante que esto sea reconocido para que todas las partes tengan la misma certidumbre.

La automatización y la digitalización están avanzando en la cadena de valor. Si, por ejemplo, observamos las redes eléctricas, en un nivel operativo ya son digitales. El accionamiento de un interruptor ya es una acción digital. Pero en un nivel superior la programación puede todavía implicar a alguien que descuelgue un teléfono. La revolución digital llevará toda la actividad comercial al mundo digital.

- AR** Gracias por esta entrevista. ●





Protección seguridad





ny



La electricidad es la fuente de energía más popular en los hogares, la industria y el transporte, así como para las infraestructuras que los mantienen en funcionamiento, además de gestionar el intercambio de datos vital y en constante expansión. En la próxima década se producirá un aumento extraordinario de la demanda de electricidad en todo el mundo, lo que requerirá una ampliación de la capacidad de los sistemas existentes y la instalación de equipos nuevos. Sin embargo, mayores usos implican mayores riesgos, motivo por el que la seguridad y la protección siguen siendo las prioridades del liderazgo innovador de ABB en el ámbito de la generación, el transporte, los servicios y el uso de la electricidad.

- 20 Emax 2 y Arc Guard System™ TVOC-2 mitigan la descarga de arco eléctrico
- 25 IEC 61850 aúna media y baja tensión
- 32 A la vanguardia con la iluminación de emergencia de ABB
- 34 Aislamiento seco para bornas condensadoras

32

PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

Emax 2 y Arc Guard System™ TVOC-2 atenúan la descarga de arco eléctrico

Una descarga de arco eléctrico es un evento extremadamente peligroso y no deseable en un armario eléctrico. El sistema Arc Guard System TVOC-2 de ABB junto con los interruptores automáticos Emax 2 (aquí mostrados) de ABB crean la base para una estrategia muy efectiva de atenuación de los daños producidos por las descargas de arco en instalaciones eléctricas.



Marco Carminati
ABB Electrification
Products, Protection and
Connection

Bérgamo, Italia
marco.carminati@
it.abb.com



Andreas von-Lako
ABB Electrification
Products, Protection and
Connection

Västerås, Suecia
andreas.von-lako@
se.abb.com

Con temperaturas de hasta 20.000 °C y violentas ondas de sobrepresión, una descarga de arco eléctrico es un evento extremadamente peligroso y no deseable en un armario eléctrico. Las descargas de arco suelen producirse a causa de errores humanos, una conexión defectuosa o la falta de medidas adoptadas para evitar la entrada de pequeños animales en el recinto eléctrico. A lo largo de los años se han tomado muchas medidas para atenuar los efectos de las descargas de arco y ABB ha tenido en el mercado durante algunos decenios productos con contramedidas efectivas. El Arc Guard System TVOC-2 es la última generación de esos productos. Mediante la combinación de TVOC-2 con los interruptores automáticos Emax 2 de ABB, los proyectistas eléctricos pueden crear un sistema que reduzca considerablemente los efectos de una descarga de arco. La combinación TVOC-2/Emax 2 puede utilizarse de diversas formas para que no sólo se limiten los eventos de descargas de arco, sino para que asimismo se minimice el tiempo de inmovilización de la instalación.

La mayoría de los accidentes debidos a formación de arcos en los equipos eléctricos están causados por errores humanos (el 65 por ciento se produce con un operario trabajando en el equipo), conexiones defectuosas o entrada de animales. Lo más corriente es que el accidente se produzca cuando el personal está llevando a cabo labores de mantenimiento o instalaciones en la apartamentada y con la

puerta del armario abierta. Con la puerta abierta, la primera línea de defensa del diseño de la apartamentada a prueba de arcos – las puertas resistentes – está neutralizada.

Afortunadamente, los accidentes son relativamente poco frecuentes, pero cuando se producen, las lesiones pueden ser graves o incluso mortales y el daño a los equipos, considerable. La sustitución y reparación de equipos puede requerir prolongados tiempos de inmovilización, por lo que una descarga de arco puede ser costosa además de trágica. Por esta razón, es esencial evitar a toda costa las descargas de arco. Si no pueden evitarse, deben minimizarse sus efectos. Un sistema de protección

—
Lo habitual es que los accidentes se produzcan cuando el personal está llevando a cabo labores de mantenimiento o instalaciones en la apartamentada y con la puerta del armario abierta.

frente a arcos es, por tanto, una parte necesaria en un moderno diseño de apartamentada. Arc Guard TVOC-2 de ABB – la nueva versión de un sistema de protección contra arcos, bien implantada, que ha



01

— 01 El sistema Arc Guard System TVOC-2 de ABB unido a los interruptores automáticos Emax 2 (aquí mostrados) de ABB crean la base para una estrategia muy efectiva de atenuación de los daños producidos por las descargas de arco en instalaciones eléctricas.

— 02 Ejemplo de colocación de detectores de arco en el sistema de barras de distribución horizontales y verticales, y en el cubículo de interruptores automáticos.

protegido personas y equipos eléctricos de los peligrosos arcos eléctricos durante más de 35 años – es un dispositivo que utiliza una configuración de sensores ópticos para detectar un arco eléctrico. El TVOC-2 se interrelaciona perfectamente con los interruptores automáticos Emax 2 de ABB para proporcionar un sistema de protección activa de respuesta rápida que limita los efectos de la formación interna de arcos.

Fenómenos de arco eléctrico

Un arco eléctrico es un fenómeno que se produce como consecuencia de una descarga. Se produce una descarga cuando la tensión entre dos puntos

supera la resistencia de aislamiento del gas interpuesto. Los gases, que son buenos aislantes en condiciones normales, pueden convertirse en conductores de corriente como consecuencia de una modificación de sus propiedades físico-químicas. En condiciones adecuadas, se puede generar un plasma que conduzca la corriente eléctrica hasta la apertura del dispositivo de protección en el lado de la alimentación.

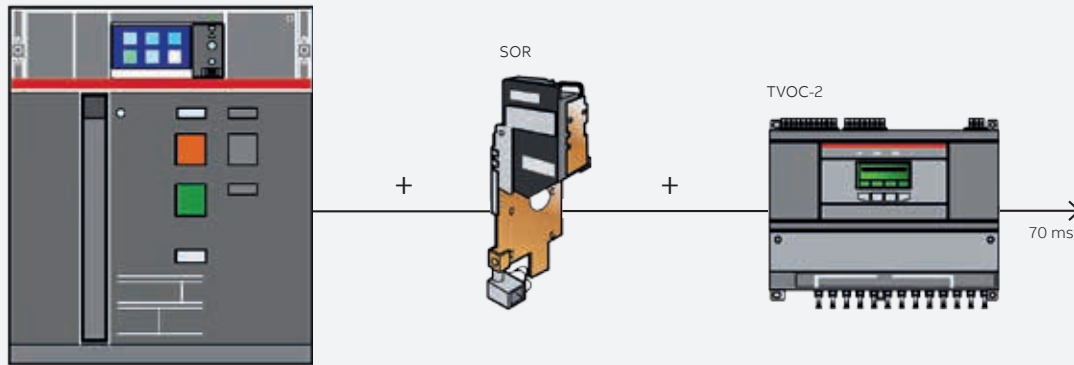
Además de ionización térmica, hay también emisión de electrones desde el polo catódico del arco debido a un efecto termoiónico: los iones, formados en el gas por las colisiones producidas por la temperatura muy alta, son acelerados por el campo eléctrico. Golpean el cátodo y liberan energía, causando de esta forma un calentamiento localizado que genera una emisión de electrones.

La elevada corriente de fallo que se alcanza durante un evento de formación de arco produce un sobrecalentamiento en los cables o en las barras de distribución del circuito, hasta su punto de fusión. Tan pronto como se funde el conductor, aparecen condiciones similares a las que se presentan en una apertura del circuito: Se crea un arco eléctrico que persiste hasta que intervengan los dispositivos de protección o hasta que desaparezcan las condiciones necesarias para su estabilidad. El arco provoca una intensa ionización del gas ambiente, una caída de las tensiones anódica y catódica y una densidad de corriente muy alta en el centro de la columna (del orden de 100 A/cm^2). Hay asimismo muy altas



02 a Sistema de barras de distribución horizontales y verticales b Cubículo de interruptores

Emax 2



03

temperaturas (miles de grados centígrados) en el centro de la columna de corriente y – en situaciones de baja tensión – a lo largo de una distancia que va de micras a centímetros.

—
El TVOC-2 se conecta perfectamente con los interruptores automáticos Emax 2 de ABB para formar un sistema de protección activa de respuesta rápida que limita los efectos de la formación interna de arcos.

Efectos del arco eléctrico en el interior de los montajes eléctricos

Los primeros instantes de la formación de un arco dentro de un armario puede dividirse en cuatro fases:

- Fase de compresión: en esta fase, el volumen de aire ocupado por el arco se sobrecalienta debido al aporte continuo de energía suministrado por la alimentación eléctrica. Gracias a la convección y la radiación, se calienta el volumen de aire restante dentro del armario. Inicialmente, la temperatura y la presión no son homogéneas.
- Fase de expansión: desde los primeros instantes de aumento de la presión interna, muy probablemente se formará un orificio en la carcasa por el que comienza a salir el exceso de calor. En esta fase, la presión alcanza su valor máximo y después empieza a disminuir a medida que el aire caliente escapa del armario.
- Fase de emisión: en esta fase, gracias a la aportación continua de la energía del arco, casi todo el aire es expulsado de la carcasa.
- Fase térmica: tras la expulsión del aire, la temperatura dentro de la apartamenta casi llega a alcanzar la del arco eléctrico. En esta

fase final, que dura hasta que se extingue el arco, los materiales que entran en contacto con el arco sufren erosión, con la consiguiente producción de gases, humos y partículas de material fundido.

En el caso de que se produjera un arco eléctrico en una configuración abierta, alguna de estas fases no se presentará o tendrá menos efectos. Sin embargo, seguirá existiendo una onda de presión y un aumento de la temperatura en la zona del arco.

Efectos del arco eléctrico sobre las personas

Los efectos que se manifiestan en la proximidad de un arco eléctrico hacen de la misma un sitio peligroso:

- Presión: se ha estimado que a una distancia de 60 cm de un arco eléctrico asociado con un fallo por arco de 20 kA, una persona se ve sometida a una fuerza de 225 kg sobre su área corporal. La onda de presión puede causar lesiones permanentes sobre el tímpano.
- Temperatura: un arco eléctrico puede alcanzar fácilmente de 7.000 a 8.000 °C; se puede llegar a 20.000 °C en ciertos casos.
- Sonido: los niveles de ruido pueden llegar a 160 dB (el estampido de una escopeta alcanza sólo 130 dB) y puede dañar el oído.
- Proyección: la metralla a alta velocidad supone un peligro evidente, especialmente para los ojos.
- Radiación: la radiación ultravioleta e infrarroja puede lesionar la córnea y la retina.
- Gases tóxicos: los humos producidos por la combustión de los materiales aislantes y por los metales fundidos o vaporizados pueden ser tóxicos.

En otras palabras, los efectos del estruendo del arco son similares a los de una explosión.

Protección pasiva y activa

Existen tres filosofías de diseño del montaje que aseguran la seguridad del operario y de la instalación en el caso de la formación de un arco dentro de la apartamenta de baja tensión (BT):

—
03 Interruptores auto-
máticos Emax 2 en serie
con un SOR y TVOC-2

—
04 Unidades de disparo
Ekip Touch/Hi-Touch para
el Emax 2 junto con un
módulo de señalización
Ekip de 2K proporcionan
tiempos de disparo más
cortos.

- Montajes que pueden soportar mecánicamente el arco eléctrico (protección pasiva)
- Montajes equipados con dispositivos que limiten los efectos de la formación de arcos internos (protección activa)
- Montajes equipados con interruptores automáticos limitadores de intensidad

Estas tres soluciones (y sus combinaciones) han sido aplicadas con éxito por los principales fabricantes de aparata de BT y equipos de control. La combinación TVOC-2/Emax 2 de ABB es un método de protección activa. Existen dos métodos principales para emplear protección activa que limite los efectos destructivos del arco:

Sensores de presión que detectan ondas de sobrepresión

Pueden utilizarse sensores que señalicen los picos de presión asociados con el encendido del arco. Esta señal actúa sobre el interruptor automático de la alimentación sin esperar a que transcurra el tiempo de disparo de la protección, que es necesariamente mayor. El tiempo de retardo es de unos 10 a 15 ms.

Arc Guard TVOC-2 de ABB es un dispositivo que utiliza una configuración de sensores ópticos para detectar un arco eléctrico.

Un sistema así no precisa ningún dispositivo de proceso electrónico puesto que actúa directamente sobre el relé de apertura (SOR) del interruptor automático de alimentación. Obviamente, es esencial que el dispositivo esté ajustado con un umbral de disparo fijado. Sin embargo, no es fácil definir de antemano cuál debe ser este umbral ya

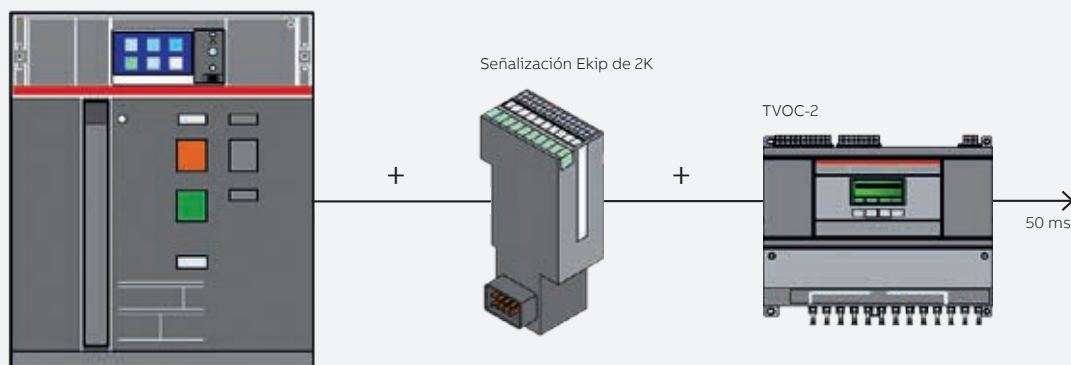
que el valor de la sobrepresión generada por un fallo de arco dentro de un cuadro de distribución no es determinístico.

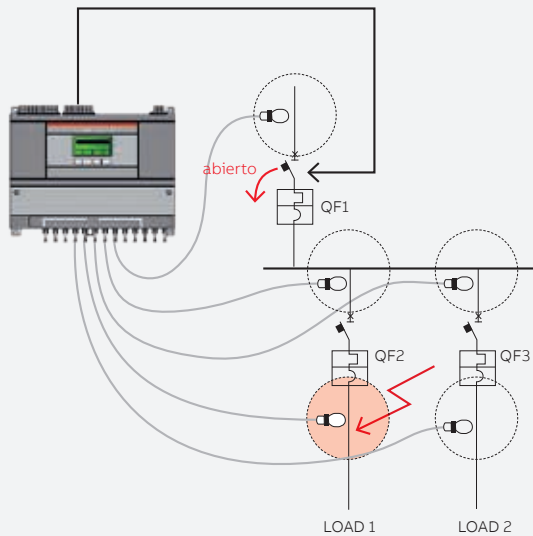
Detectores de luz

La segunda posibilidad es instalar detectores que capten el flujo de luz asociado con el fenómeno del arco eléctrico y que envíen una señal de disparo al interruptor automático. En este caso, el tiempo de reacción de la detección es de alrededor de 1 ms. Este principio es la base del sistema Arc Guard System TVOC-2 →1-2 presenta ejemplos de ubicaciones de detectores. Una solución ideal incluiría al menos un detector por columna y una colocación estratégica de los detectores eliminaría la interferencia entre zonas de detección. Los sensores se calibran para que presenten igual sensibilidad luminosa y su orientación no es crítica, ya que sus lentes de ojo de pez cubren un ángulo muy abierto. Para evitar falsos disparos debidos a flashes de cámaras o a la luz del sol, se puede combinar el monitor de arco con un sensor de corriente para que se active solo cuando se registre también una sobreintensidad. Una inmunidad adicional a las interferencias se consigue mediante el uso de cables de fibra óptica, que no solamente son rápidos sino insensibles a la interferencia electromagnética que con seguridad acompañará a un fallo por arco.

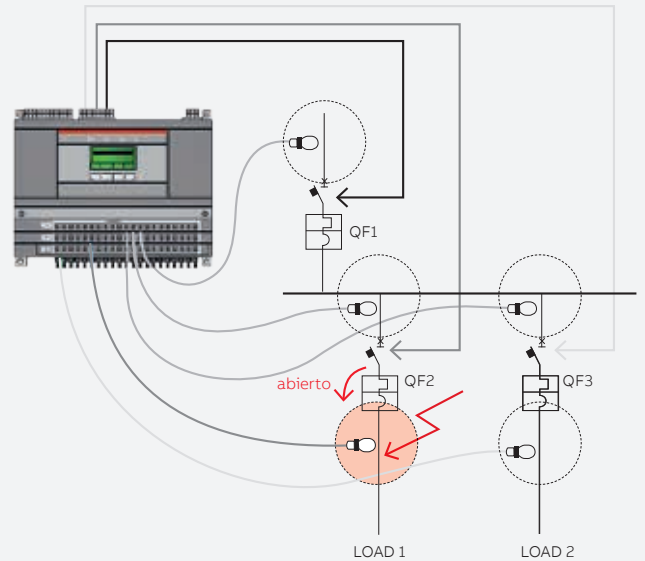
Complemento del TVOC-2 es el interruptor automático Emax 2. El Emax 2 admite hasta 6.300 A e incluye un relé de protección con un controlador de potencia integrado que mide y evalúa el consumo de energía, controlando las cargas para mantener o reducir el uso máximo de potencia. El interruptor automático es de fácil uso y sus avanzadas capacidades de conectividad hacen que sea sencillo de integrar en redes inteligentes, edificios y plantas industriales. Estas características hacen que sea fácil de conectarlo TVOC-2 para crear un equipo de rápida actuación para la atenuación del arco.

Emax 2





QF1 abierto: LOAD 1 y LOAD 2 no incluidos



QF1 y QF3 cerrados: LOAD 2 incluida
QF2 abierto: LOAD 1 aislada

05

— 05 Una configuración no selectiva puede apagar toda la planta en el caso de un disparo.

— 06 Se pueden asociar subconjuntos de sensores de luz con determinadas salidas de TVOC-2 para permitir el disparo selectivo de interruptores.

Cómo actuar con el interruptor automático

Una posible configuración es un sistema Arc Guard formado por TVOC-2 y Emax 2 con un SOR →3. Sin embargo, se consigue un tiempo de corte mucho menor empleando la capacidad de las unidades de disparo Ekip Touch/Hi-Touch para el Emax 2 junto con un módulo de señalización Ekip de 2 K →4. Ekip Touch/Hi-Touch son una nueva generación de unidades de disparo de protección que se programan y leen fácilmente. El módulo puede programarse a través de su MMI (interfaz hombre-máquina) o utilizando el software Ekip Connect en un ordenador portátil. Las unidades de disparo Ekip Touch/Hi-Touch miden la potencia y la energía con precisión y guardan las alarmas, eventos y mediciones más recientes a fin de prevenir fallos en la instalación y realizar los disparos efectivamente cuando sea necesario. Esta disposición reduce

— Se consigue un tiempo de corte mucho menor empleando la capacidad de las unidades de disparo Ekip Touch/Hi-Touch para el Emax 2 junto con un módulo de señalización Ekip de 2 K.

sustancialmente los tiempos de corte totales puesto que ya no dependen del SOR, sino de la apertura ordenada directamente por la unidad electrónica.

06

Ejemplos de lógica de operación manejable

Un TVOC-2 puede controlar de forma individualizada tres contactos de salida distintos (cada uno de los cuales tiene conectados múltiples interruptores) Cada uno de los tres contactos se puede asociar con un conjunto particular de entradas de sensores de luz. Esta selectividad permite determinar qué interruptor se dispara en vez de un apagado de toda la planta en caso de la formación de un arco →5, únicamente se aislarán las secciones afectadas negativamente por el arco. Para simplificar, en las figuras sólo se muestran cinco de los 30 sensores de luz posibles.

Protección de arco esencial

Los sistemas de protección de arco han pasado a ser un elemento esencial en el diseño de armarios eléctricos. Por supuesto, al reducir los costes de inmovilización y los daños, algunas compañías de seguros disminuirán las primas cuando se estén empleando. Asimismo, la legislación contempla cada vez más la protección contra los accidentes por formación de arcos. Por ejemplo, la Directiva de Baja Tensión de la Unión Europea señala, que hay que tomar medidas para impedir daños debidos al calor excesivo causado por las descargas de arcos. Combinado con el interruptor automático Emax 2, el TVOC-2 garantiza la seguridad de las personas incluso con la puerta del armario abierta y proporciona una protección completa y en todos los aspectos contra el arco. Con la capacidad de comunicación entre el Emax2 Ekip y el TVOC-2 empleando Modbus RTU, el cliente podrá conseguir información relativa a las ubicaciones de los disparos y los fallos de forma rápida y precisa. La combinación TVOC-2/ Emax 2 es uno de los productos para atenuación de arcos más fiable que existe en el mercado. ●

 PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

IEC 61850 unifica media y baja tensión

IEC 61850 puede utilizarse con dispositivos electrónicos inteligentes (IED) de baja tensión (BT) de ABB tales como los relés de protección de media tensión (MT) REF y los interruptores automáticos Emax 2 LV para diseñar y aplicar un sistema de protección y supervisión totalmente integrado que abarque los mundos de BT y MT.



Enrico Ragaini
ABB Electrification
Products, Protection and
Connection

Bérgamo, Italia
enrico.ragaini@it.abb.com

La IEC 61850, una norma bien afianzada en la protección de alta tensión (AT) y media tensión (MT), se usa cada vez más en aplicaciones de baja tensión (BT), ampliando así en gran manera su campo de aplicación →1. Los equipos que se benefician ahora de la funcionalidad de la IEC 61850 incluye los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) tales como los relés de protección de MT REF y los interruptores automáticos Emax 2 LV. Conjuntamente, estos dos aparatos

hacen posible diseñar y aplicar un sistema de protección y supervisión totalmente integrado que abarque los mundos de BT y MT. Este amplio enfoque es posible valiéndose de la IEC 61850 para crear propiedades tales como una selectividad lógica avanzada basada en la comunicación de aparato a aparato, unos diagnósticos en tiempo real e ingeniería integrada. Recientemente, se ha producido un importante despliegue de esta tecnología innovadora en Italia, donde ABB ha



Damiano Benedetti
ABB Electrification
Products, Distribution
Automation

Dalmine (BG), Italia
damiano.benedetti@
it.abb.com

01



— 01 La adopción de la IEC 61850 para los equipos de BT ha mejorado en gran manera los sistemas de protección y supervisión. Se presenta la apartamentada de BT y MT que ABB ha suministrado recientemente al emplazamiento de un cliente.

— 02 Esquema simplificado de comunicación GOOSE.

— 03 Diagnósticos de BT/MT basados en GOOSE.

instalado en una fábrica de helados un sistema de protección de BT y MT basado en la IEC 61850. IEC 61850 es una norma de comunicaciones bien afianzada para la automatización de subestaciones. No obstante, más que englobar simplemente un conjunto de áridas reglas, la IEC 61850 puede también constituir la base de un completo concepto de diseño eléctrico que incluya todo el sistema de protección, control y supervisión. En contraste con otros protocolos de automatización industrial, la IEC 61850 fue diseñada específicamente para cubrir las necesidades de automatización de subestaciones, que no cesan en su creciente complejidad. Asimismo, la interoperabilidad se tiene en cuenta a un nivel muy básico para permitir que equipos de distintos proveedores se integren en el mismo sistema sin pasarelas de diseño especializado u otras complicaciones de gran esfuerzo de ingeniería.

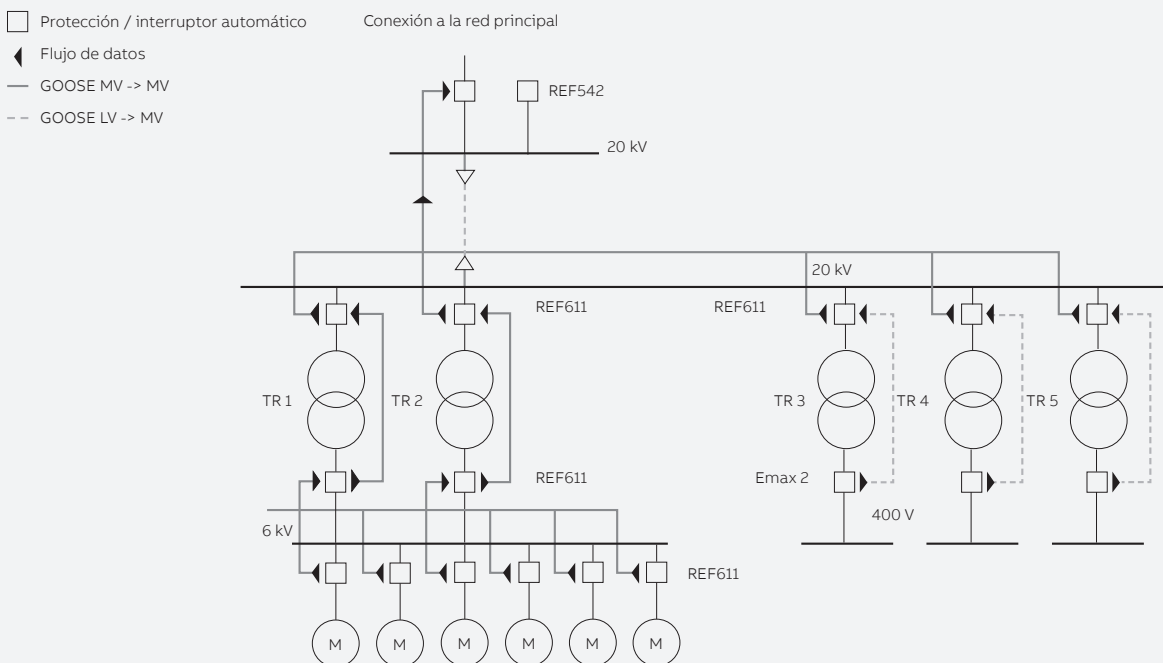
Si bien se diseñó para la automatización de subestaciones, la IEC 61850 puede aplicarse a los sistemas de protección de todas las instalaciones eléctricas, incluyendo las de los espacios industrial y comercial. De hecho, su mayor fiabilidad, selectividad más precisa, tiempos de reacción más cortos y la posibilidad de incorporar tolerancia al fallo y diagnósticos integrados hacen de IEC 61850 el protocolo a elegir en muchos sistemas de control de procesos críticos en plantas químicas, instalaciones petrolíferas, centros de datos y aplicaciones marinas, etc.

GOOSE

Desde el punto de vista de la comunicación de datos, IEC 61850 ha sido diseñado para satisfacer las necesidades de los sistemas de protección eléctrica. Sin embargo, hay algunas diferencias

— IEC 61850 puede constituir la base de un completo concepto de diseño eléctrico que incluya todo el sistema de protección, control y supervisión.

básicas entre estos sistemas y los sistemas de control de procesos que influyen en cómo deben llevarse a cabo las comunicaciones. El control de procesos está normalmente diseñado para la puesta en servicio de los bucles de control: las muestras que se toman en sensores tienen que llevarse a un controlador que ejecuta algoritmos de control y produce los resultados que hay que enviar a los actuadores. Estas acciones se repiten cíclicamente, respetando la frecuencia de muestreo y la duración de ciclos, un requisito fundamental. Cuando se utiliza una red o un bus de campo para conectar los controladores, sensores y actuadores, muchos bucles de control interconectados comparten el ancho de banda disponible de forma equitativa entre ellos. El diseño de este tipo de sistema



suele implicar la programación de tantos paquetes de datos cíclicos como sea posible en el ancho de banda disponible.

En cada ciclo, se leen los sensores y se hacen funcionar los actuadores únicamente en momentos fijados, con el intervalo entre pasos determinado por la duración del ciclo. Esta duración del ciclo, determinada en la fase de diseño del sistema, introduce un retardo entre una variación en la

—
El manejo efectivo de la comunicación no programada con ocasión de un evento es una de las características diferenciadoras de IEC61850 y se aplica empleando paquetes especiales de datos denominados mensajes GOOSE.

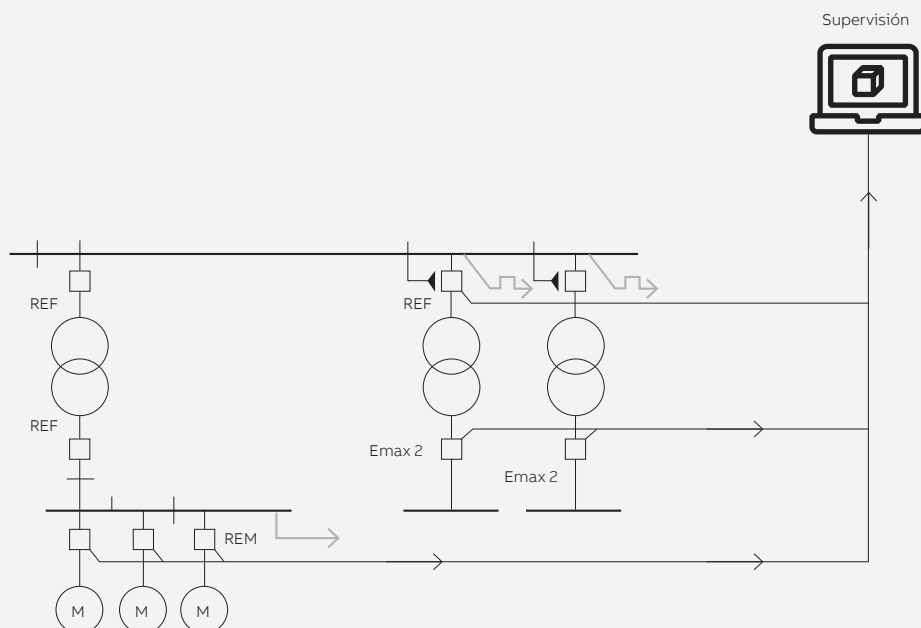
cantidad medida y el funcionamiento del actuador correspondiente. Dicho retardo no es un problema siempre que sea compatible con las constantes de tiempo del proceso que se controla.

Los sistemas de protección, así como la supervisión de las instalaciones eléctricas, obedecen a un concepto distinto: las magnitudes eléctricas

son medidas por el sistema de supervisión en ciclos que son relativamente lentos y normalmente las cantidades medidas no se utilizan en los bucles de control. Sin embargo, cuando se produce una avería los dispositivos de protección que la detectaron tienen que transmitir de recibirla del fallo tan rápidamente como sea posible porque otros dispositivos deben recibirla y decidir qué interruptor hay que disparar. La disposición de esas transmisiones en una organización de turnos equitativos u otro método cíclico que obliga a que el dispositivo tenga que esperar su turno para acceder al medio de comunicación introduciría unos retrasos inaceptables. El manejo eficaz de esas comunicaciones no programadas, con ocasión de un evento, es una de las características distintivas de IEC 61850 y se aplica empleando paquetes especiales de datos llamados mensajes GOOSE (siglas en inglés de “Evento de subestación orientado a objetos genéricos”). En vez de la duración del ciclo, la característica fundamental de los mensajes GOOSE es la latencia, es decir, el retardo entre un evento y la transmisión en la red de la información pertinente →2.

Una característica importante de los mensajes GOOSE es que pueden utilizarse para comunicación horizontal (entre iguales) entre dispositivos además de la usual comunicación vertical de dispositivos a un sistema de supervisión.

— Estado normal



—
04 Trabajos de instalación en el emplazamiento del cliente

—
05 Vista general de la aparamenta de BT y MT que ABB ha suministrado en el emplazamiento del cliente.

Por eso, se puede establecer una selectividad lógica o interconexión entre dos interruptores automáticos mediante el intercambio de mensajes directos entre los dispositivos correspondientes sin depender de una unidad central de proceso que controle la situa-

—
La interoperabilidad se tiene en cuenta a un nivel muy básico para permitir que equipos de distintos proveedores se integren en el mismo sistema sin pasarelas de diseño especializado u otras complicaciones de gran esfuerzo de ingeniería.

ción. La comunicación horizontal mejora tanto la actuación (menor tiempo de reacción global y uso más eficiente del canal de comunicación) como la fiabilidad (ya que un fallo en la unidad central de proceso afectaría a todo el esquema de protección).

Además de la señalización de fallos, los mensajes GOOSE se pueden utilizar para incorporar un mecanismo de diagnóstico en el sistema de

protección. Cada dispositivo puede configurarse para que envíe un mensaje GOOSE a los demás de forma regular (por ejemplo, cada segundo) para informar de que el estado es normal. Si los dispositivos pertinentes dejan de recibir el mensaje adecuado, pueden enviar mensajes de alarma, conmutar a un modo seguro predefinido o adoptar otras acciones, según se precise →3. Los mensajes de diagnóstico utilizan el mismo medio de comunicación que otros paquetes de datos, por lo que no se requiere un hardware adicional.

Ingeniería y configuración

Otras ventajas de IEC 61850 están relacionadas con los procesos de ingeniería y configuración. Debido a la cantidad de dispositivos contemplados y a su complejidad, sería imposible el diseño de un sistema de protección sin un proceso estructurado ayudado por ordenador. El gran número de detalles de configuración y trabajo sobrepasarían al técnico y ocasionaría errores críticos. Para impedirlo, IEC 61850 se basa en la normalización de tipos de objetos y datos, y en descripciones electrónicas formales.

Los IED utilizados para protección pueden ser muy complejos. Su complejidad es controlada en el IEC 61850 mediante la descripción de cada dispositivo en forma de un conjunto de objetos

04





05

lógicos, que se pueden publicar en la aplicación final. Dichos objetos son lo bastante abstractos para ser aplicables a dispositivos de distintos tipos o de distintos proveedores, si bien lo suficientemente realistas para ser aplicables a los trabajos de ingeniería que se realizan. Ejemplos de esos objetos son la protección frente a sobretensiones, la medición de intensidades y tensiones, el control de un interruptor, etc.

La piedra angular del modelo de datos de IEC 61850 es un catálogo de objetos lógicos normalizados con significados bien definidos, y parámetros aplicables y elementos de datos. Todos los dispositivos que satisfacen la IEC 61850 emplean los mismos objetos para incorporar la misma función, haciendo posible combinar objetos en una forma común en una aplicación final.





06

—
06 Panel transformador en el emplazamiento de un cliente.

—
07 Selectividad del disparo de interruptor automático basada en GOOSE.

Esa normalización llega hasta los nombres de los objetos (por ejemplo, PTOC representa siempre una protección contra sobrecorriente) lo que facilita su reconocimiento y empleo por el ingeniero proyectista. Los tipos de datos vienen también fijados por la IEC 61850, de forma que, por ejem-

—
Una característica importante de los mensajes GOOSE es que pueden utilizarse para comunicación “peer-to-peer” entre dispositivos, mejorando de esta forma sus prestaciones.

plu, el resultado de una medición se define junto con su nombre, las unidades de medida, las indicaciones de calidad, etc., reduciendo de esta forma la probabilidad de errores.

Para complementar esa normalización, la IEC 61850 describe un formato electrónico común en el que se describen dispositivos y sistemas.

Todos los dispositivos – es decir, todos los IED en este caso – vienen descritos, cada uno con un fichero, escrito en SCL (lenguaje para descripción de la configuración de la subestación, por sus siglas en inglés), que lista todas sus propiedades y objetos lógicos.

Las herramientas de software de ingeniería de la IEC 61850 pueden leer y manipular los ficheros SCL, permitiendo un proceso sin saltos y un reducido número de errores.

Un lenguaje de descripción electrónica formalizada de estas características tiene el efecto colateral importante de facilitar la interoperabilidad entre dispositivos de distintos vendedores. En tanto que los objetos que incorporan estén descritos por el fichero SCL, el usuario no tiene por qué preocuparse por sus procesos internos.

IEC 61850 reúne los mundos de BT y MT

La mayoría de los IED existentes son relés de protección empleados en instalaciones de MT. No obstante, se han conseguido ventajas importantes cuando se ha aplicado la IEC 61850 en el mundo de la BT. Esto es ahora posible con interruptores automáticos Emax 2 de ABB, los primeros interruptores aislados en aire en incorporar una interfaz 61850 nativa.



Además, la unidad de protección digital Ekip de ABB, que puede instalarse en los interruptores Emax 2 entre 800 A y 6.300 A y estar equipada con una selección de protocolos de comunicaciones, viene asimismo con la IEC 61850. Finalmente, se

—

Los interruptores automáticos Emax 2 de ABB son los primeros aislados en aire en incorporar una interfaz 61850 nativa.

puede conseguir una integración total entre los sistemas de protección y supervisión de BT y MT, con una importante mejora de la fiabilidad de la instalación y una interfaz unificada, más suave, con los sistemas de supervisión.

IEC 61850 para una fábrica de helados

Un ejemplo especialmente significativo de esa integración es la apartamentada de BT y MT que ABB suministró recientemente a un cliente en Ferentino, Italia. La planta, una de las mayores de su tipo, es una fábrica de helados que produce una de las marcas más conocidas en Italia.

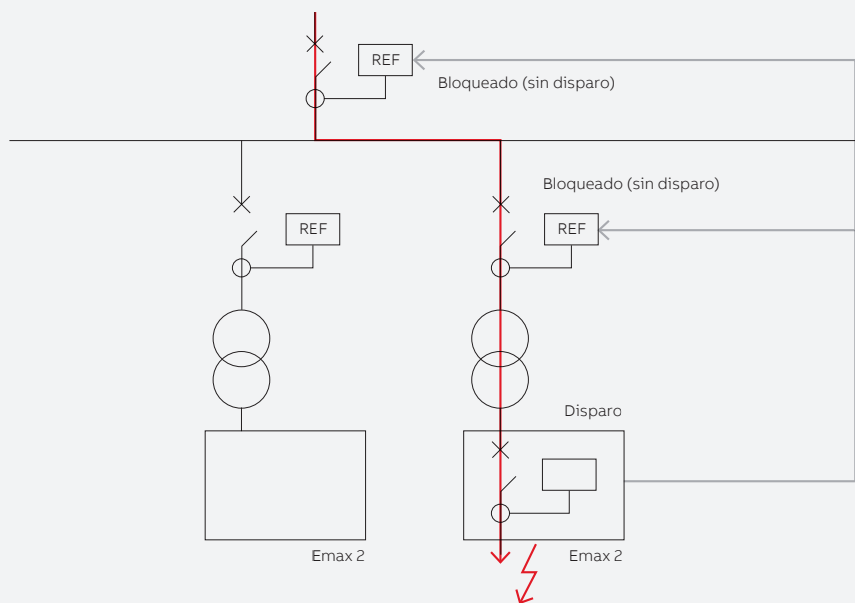
La instalación incluye un panel principal de 20 kV con apartamentada UniSec para conexión con la red principal y un segundo panel que alimenta varios transformadores de 4 MVA y 3 MVA. Los transformadores, a su vez, dan energía a un panel de 6 kV que alimenta los motores del proceso y las apartamentadas de BT principales. Las apartamentadas de BT son suministradas por otro constructor de paneles

y utilizan interruptores automáticos Emax 2 de ABB. Todos los relés de MT (REF611, REF542+ y RIO600) y los dispositivos de protección de motores REM están conectados a través de una barra IEC 61850, que también conecta los tres interruptores Emax 2 principales que actúan como acometidas principales para la parte de MT →4-6.

La utilización de la IEC 61850 en los sistemas de protección de BT y MT permite la incorporación de varias características avanzadas, la más importante de las cuales es la selectividad lógica cuando se produce un cortocircuito. En caso de que se produjera un cortocircuito en uno de los alimentadores de motores de MT, su relé de protección manda un mensaje GOOSE a los dispositivos protectores que se encuentran aguas arriba (los REF utilizados para protección de transformadores y de interfaces), para que impidan su disparo; únicamente se indica que se abra el interruptor automático instalado más próximo a la avería →7. De esa forma se evita una innecesaria pérdida de potencia en otras partes de la planta y se maximiza la disponibilidad del proceso.

De forma similar, en el caso de un cortocircuito en el lado de BT, el Emax 2 afectado, mientras se resuelve la avería, envía un mensaje GOOSE a los REF, de forma que no se produzcan disparos innecesarios de los interruptores de MT.

Además de una selectividad lógica mejorada y una mayor fiabilidad general, la utilización de un solo protocolo ofrece una interfaz común para supervisión y control de la planta, proporcionando más datos de mejor calidad a los operarios para que puedan llevar la planta de una forma óptima. ●



PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

A la vanguardia con el alumbrado de emergencia de ABB

La solución de alumbrado de emergencia Guideway de ABB refuerza la seguridad en el edificio más sostenible del mundo. Guideway también ahorra un 57% en energía y mantenimiento en un período de 12 años.



02



Barbara Brokken
Productos de electrificación de ABB, material para instalaciones, alumbrado de emergencia

Barendrecht, Países Bajos
barbara.brokken@tnb.com

¿Cómo se combinan el refuerzo de la seguridad y un bajo consumo de energía en un edificio de última generación? The Edge, el edificio más sostenible del mundo, ubicado en Ámsterdam, Países Bajos, es un referente contemporáneo por lo que se refiere a su solución de iluminación de emergencia Guideway de ABB. Las placas con pictogramas verdes de la solución de iluminación son altamente visibles por el día, mientras que sus potentes luces LED generan un ahorro de un 57% en comparación con los tubos fluorescentes convencionales. Aunque la placa con pictogramas es muy llamativa, su diseño es muy sencillo. La placa Guideway sin marco se fusiona con el entorno →1.



01

El uso de grandes paredes de vidrio en la arquitectura contemporánea está estableciendo nuevos requisitos en términos de señalización de rutas de evacuación. A la luz del día, la placa con pictogramas debe ser claramente visible para que los usuarios del edificio conozcan la vía de evacuación

—
Las placas con pictogramas verdes son muy visibles por el día, pero sus potentes luces LED ahorran un 57% de energía

más rápida en caso de emergencia →2. El sistema de señalización de rutas de evacuación Guideway de ABB ilumina la placa con pictogramas con una luz de 500 cd/m². A modo de referencia, una pantalla LCD normal tiene una luminancia de entre 200 y 300 cd/m² →3-4.

Centrados en el diseño

En diciembre de 2014, The Edge recibió la puntuación más alta de BREEAM-NL (metodología de evaluación ambiental de edificios). El edificio obtuvo una puntuación del 98,4%, la más alta de la historia [1]. Naturalmente, estas magníficas



— 01 Versión de montaje mural de la solución de alumbrado de emergencia Guideway de ABB.

— 02 The Edge cuenta con grandes muros de vidrio y luz solar a raudales, lo que hace esencial la luminancia de 500 cd/m² de Guideway.

— 03 Código QR para ver el vídeo del producto Guideway (en inglés).

— 04 Código QR para ver el vídeo de instalación de Guideway (en inglés).

Referencias

[1] BREEAM-NL (accessed 2016, April 6). The Edge Amsterdam [Online]. Acceso: <https://www.breeam.nl/projecten/edge-amsterdam-0>

credenciales ambientales requerían una solución de iluminación de emergencia acorde con el diseño y ahí es donde entró en juego Guideway.

— **La larga vida útil de 100.000 horas divide por diez la necesidad de reemplazar la fuente de luz durante un período de 12 años**

Mayor seguridad

El gestor de proyectos de Deloitte para The Edge, Tim Sluiter, señaló: “Este edificio es muy transparente, está construido con líneas limpias y materiales sofisticados, es decir, no había sitio para ocultar un sistema de iluminación aparatoso. Necesitábamos luminarias bonitas y bien diseñadas que se adaptasen a nuestra visión para el edificio. Tenemos una gran entrada y pasarelas suspendidas, grandes espacios abiertos que

también son muy luminosos, con luz natural o reflejos que dificultan la visibilidad de la ruta de evacuación. Finalmente nos decantamos por la solución de iluminación Guideway, con su finísima placa y su casi inexistente marco de acero. Pero la característica más distintiva de Guideway es que es muy fácil de ver. Si uno se encuentra en un lado de la pasarela, tiene visibilidad sin obstáculos hasta el otro lado, donde el cartel se ve claramente. Huelga decir que este sistema de iluminación cumple todos requisitos reglamentarios y es claramente visible a 32 metros de distancia. En Deloitte, la salud y la seguridad son un punto de partida importante, ya que nuestros empleados son nuestro principal activo. Debemos cuidarlos. El alumbrado de emergencia es una parte importante de ese cuidado”.

Reducción del coste

La placa con pictogramas emite una luz homogénea y potente en toda su superficie gracias a la eficiente tecnología de LED. Esto genera un ahorro del 57% en términos de energía y mantenimiento durante un período de 12 años en comparación con un tubo fluorescente. La larga vida útil de 100.000 horas divide por diez la necesidad de reemplazar la fuente de luz durante un período de 12 años. Ese es el secreto de la solución de iluminación de emergencia de ABB. Solo llama la atención cuando es necesario. ●



03



04

 PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

Aislamiento seco para bornas condensadoras

Las bornas condensadoras de alta tensión (AT) son componentes esenciales de todas las redes eléctricas. Dado que están sometidos a elevados niveles de esfuerzo eléctrico, su fallo suele resultar catastrófico. La producción de bornas para 800 kV o más requiere un gran cuidado en el diseño y la fabricación.



Lars Jonsson
Roger Hedlund
ABB Insulation and
Components, Bushings

Ludvika, Suecia
lars.jonsson@se.abb.com
roger.hedlund@se.abb.com

Las bornas condensadoras de alta tensión (AT) son componentes esenciales de todas las redes eléctricas. Dado que están sometidas a elevados niveles de esfuerzo eléctrico, su fallo suele provocar eventos repentinos y catastróficos de carácter explosivo. La mitigación de las consecuencias de los fallos constituye una gran ventaja, y probablemente sea este el motivo por el que cada vez más compañías suministradoras exigen tecnología de aislamiento seco con un aislamiento externo hecho de materiales no quebradizos. Sin embargo, la producción de bornas para usar a 800 kV o más requiere un gran cuidado en el diseño y la fabricación, y no basta solo con mejorar la tecnología de baja tensión existente, ya que las medidas técnicas necesarias para garantizar un funcionamiento sin problemas son, con frecuencia, no lineales →1. Las bornas condensadoras son componentes muy conocidos entre los que trabajan en el ámbito de la AT. A pesar de su apariencia de simplicidad, estos componentes esenciales de la red eléctrica parten de un proceso de diseño y fabricación muy sofisticado.

Las bornas condensadoras constan de tres componentes principales: un aislamiento externo para minimizar las corrientes de fuga y prevenir descargas externas, un “condensador” interno con aislamiento capacitivo para distribuir y estabilizar el campo eléctrico (el “condensador”), y un sistema conductor para transportar la corriente.

El aislamiento interno se compone de una serie de capas coaxiales de material conductor dispuestas de una manera muy precisa en una bobina de papel →2. Este aislamiento se impregna de aceite

Desde la década de los ochenta, la goma de silicona se ha ido consolidando como una alternativa perfectamente válida al material cerámico.

para transformadores o una resina epoxídica para incrementar su resistencia dieléctrica. Estos elementos se denominan papel impregnado en aceite (OIP, por sus siglas en inglés) y papel impregnado en resina (RIP, por sus siglas en inglés), respectivamente. El uso de aisladores OIP comenzó en los años cincuenta y sigue siendo el concepto dominante para niveles de alta tensión, a partir de 735 kV. Los aisladores RIP se han desarrollado gradualmente también para tensiones más altas y su uso se está generalizando, pero el paso a los niveles de tensión más altos ha requerido su tiempo debido a los desafíos técnicos que implica y al conservadurismo que caracteriza al sector energético. En cuanto al aislamiento externo, la cerámica es el material que más se utiliza. Con el paso de los años

—
01 La producción de bornas condensadoras con aislamiento seco para niveles de tensión de 800 kV o más requiere mucha habilidad y cuidado en el diseño y la fabricación. Se muestra un ensayo eléctrico rutinario del primer artículo comercial.

se han probado diversas formas de materiales poliméricos, pero los efectos de la luz solar han limitado la vida útil. Sin embargo, desde los años ochenta la goma de silicona se ha ido consolidando como una alternativa perfectamente válida al material cerámico. La goma de silicona obtiene la máxima absorción de energía a longitudes de onda más bajas de las presentes en la luz solar y, en consecuencia, proporciona una vida útil notablemente más prolongada que otros materiales poliméricos.

—
Los esfuerzos de ingeniería mecánica dedicados a bornas de 800 kV de aislamiento seco han sido enormes, especialmente en lo referido a los requisitos sísmicos.

Ventajas del RIP

La principal ventaja del concepto RIP para las compañías suministradoras es la importante mitigación de las consecuencias en caso de fallo de la borna. Aunque la descarga de fase a tierra puede tener muchas causas, como el fallo de la propia borna o esfuerzos eléctricos, mecánicos o térmicos de la red, la descarga en una borna OIP casi siempre produce una explosión que hace saltar en pedazos las bornas y provoca derrames de aceite. Las consecuencias son especialmente graves cuando los transformadores se incendian [1]. Puesto que los bornas RIP no contienen aceite altamente inflamable y rico en energía, el riesgo de incendio

se elimina en gran medida. Existen muchos otros factores que avalan los beneficios de la tecnología RIP por lo que se refiere a la mitigación de las consecuencias de los fallos [2], [3]. Además de que no saltan en pedazos en caso de fallo, los aisladores de goma de silicona extruïda en un tubo bobinado tienen otras muchas propiedades positivas como aisladores externos:

- Gracias a la estructura química de la silicona, la superficie del aislador es hidrofóbica, por lo que el agua forma gotas, en lugar de un reguero, en la superficie. Esto reduce las corrientes de fuga (y, en consecuencia, la erosión) y los riesgos de descargas en condiciones climáticas extremas.
- La naturaleza continua del proceso de fabricación produce una unión química entre el tubo y el aislante. Puesto que tanto la goma de silicona como el tubo bobinado carecen por completo de uniones, la distribución del campo eléctrico es homogénea y continua, y el riesgo de penetración de la humedad es mínimo. Tampoco hay líneas divisorias en las que podrían recogerse la sal y los contaminantes →3.
- La extrusión también permite optimizar el perfil de las aletas del aislamiento para distintas aplicaciones. Esto genera un campo eléctrico aún más reducido, que a su vez reduce el riesgo de surcos y erosión [2],
- El material polimérico de aislamiento elegido es un caucho vulcanizado a alta temperatura (VAT) con una mezcla cuidadosamente equilibrada de silicona pura y una carga de trihidrato de aluminio (THA) como material básico. Además de su extraordinaria resistencia mecánica, la carga de THA también es resistente a la temperatura

01





02

— 02 Principales componentes de la borna: aislamiento externo (izquierda), aislamiento interno con brida de montaje y conductor (derecha)

— 03 Fabricación del aislamiento externo

— 04 Detalles del análisis FEM de la brida de montaje

— 05 Cálculo FEM de las aletas de silicona

y el fuego, y recupera rápidamente sus propiedades hidrofóbicas después de una lluvia intensa, por ejemplo, si se emplea la cantidad de THA correcta. La experiencia sobre el terreno también ha demostrado que la goma THA es muy resistente a la erosión y que conserva su hidrofobicidad durante mucho tiempo [4].

- Este tipo de aislamiento es significativamente más ligero y mecánicamente más fuerte que los aislantes cerámicos correspondientes. Este detalle es muy importante para soportar los efectos de terremotos y cortocircuitos y para limitar los daños durante la manipulación.

Consideraciones importantes a la hora de desarrollar bornas para 800 kV

Algunos ejemplos de consideraciones importantes a tener en cuenta a la hora de desarrollar bornas con aislamiento seco para 800 kV son:

- Una importante fuente de costes es la resistencia al impulso de maniobra en mojado necesaria, ya que esto determina en gran medida la longitud de la borna. Esto es de especial importancia para bornas RIP, puesto que la longitud está estrechamente relacionada con el complejo proceso de fundición y endurecimiento, las dimensiones del recipiente del proceso, las especificaciones de los equipos de mecanizado, etc.
- En algunas partes del mundo se aplican requisitos sísmicos. Durante el proceso de ingeniería, se requiere mucho diálogo entre los fabricantes del transformador y las compañías suministradoras para evaluar, por ejemplo, los ángulos de instalación y los factores de refuerzo estructural en los puntos en los que se va a instalar la borna.
- Atención a las condiciones locales, como temperatura ambiente.

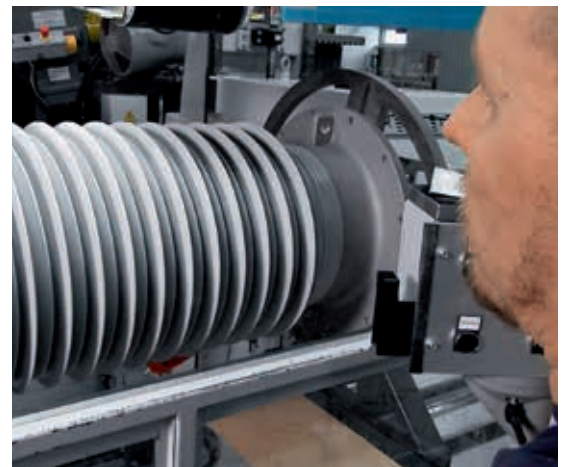
- Un diseño flexible que permite la adaptación dimensional a equipos instalados previamente, con independencia del fabricante.

Aspectos de ingeniería mecánica

Los esfuerzos de ingeniería mecánica dedicados a la borna de 800 kV de aislamiento seco han sido enormes, especialmente en lo referido a los requisitos sísmicos.

Una base sólida de experiencia con bornas anteriores probadas para comprobar sus requisitos sísmicos de la serie GSB ha resultado muy útil, especialmente por lo que respecta al modelado y el análisis de la amortiguación y la frecuencia natural. No obstante, se han realizado varios análisis de elementos finitos (lineales y no lineales) con pruebas de verificación de componentes críticos posteriores. Se han realizado análisis dinámicos tanto con espectro de respuesta requerido (RRS) como de espectro de respuesta de ensayo (TRS). Los resultados calculados se han verificado con un ensayo de mesa vibrante a escala real y cumplen los requisitos sísmicos estipulados en la norma IEEE 693-2005 y otras especificaciones locales aún más estrictas →4.

La solución con barra de tracción utilizada por ABB desde la década de los setenta para simplificar la instalación y la sustitución de bornas sobre el terreno presentaba dificultades mecánicas que dieron lugar a una solución técnica parcialmente nueva. La expansión a mayor temperatura de las bornas RIP en comparación con las aisladas con aceite y aisladores cerámicos para tensiones similares, hacía imposible conservar la fuerza de contacto entre los distintos componentes conductores de la corriente sin un trabajo de rediseño importante. Se han realizado análisis mecánicos pormenorizados, de casos de pandeo, fuerza de cortocircuito, fuerzas de contacto, etc., con el apoyo de análisis FEM y ensayos asociados. Debido a la dificultad general de las bornas secas para disipar el calor, a veces ha sido necesario usar combinaciones de nuevos materiales de baja resistividad para reducir las pérdidas. Esto ha



03

— Este artículo se basa en el siguiente documento de CIGRE: L. Jonsson, R. Hedlund, "Development of dry-insulated 800 kV transformer bushings," 2016 CIGRE-IEC Colloquium, © 2016 IEEE, Montreal, Canada.

Referencias

[1] S. Tenbohlen et al., "Development and results of a worldwide transformer reliability Survey," CIGRE Study Committee A2 Colloquium, 2015.

[2] L. Jonsson, et al., "Dry transformer bushings with composite insulators – the obvious combination for increased reliability," TechCon Asia-Pacific, 2013.

[3] L. Jonsson; "Fire and safety aspects on high-voltage bushings," World Congress on Insulators, Arresters and Bushings, 2009.

[4] I. Gutman, et al., "Long-term service experience and inspection results of HV equipment made of silicone rubber insulators," Ref. 412, CIGRE session, Auckland, 2013.

generado problemas relacionados con la protección contra la corrosión en entornos costeros e industriales severos. Los nuevos materiales también han dado lugar a la introducción de sistemas de sellado de nuevo desarrollo. Todas las soluciones de diseño, incluidas las relacionadas con la corrosión, se han verificado a través de ensayos.

Aspectos de ingeniería térmica

El calentamiento dieléctrico del aislamiento interno puede tener una importancia crucial. Las bornas aisladas en aceite tienen refrigeración convectiva efectiva para la manipulación de pérdidas dieléctricas y resistivas, las bornas RIP no. Esto requiere un detallado análisis teórico de diseños para garantizar la estabilidad térmica en todas las condiciones de prueba y operativas, así como el cumplimiento de los requisitos de sobrecarga.

Durante los ensayos de ciclos de temperatura, la temperatura ambiente varió entre -50 y $+40$ °C, con tiempos de rampa ascendente y descendente cuidadosamente especificados. El principal problema es el fuerte gradiente de temperatura y el esfuerzo mecánico impuestos por la masa fría del núcleo del condensador y la temperatura ambiental elevada.

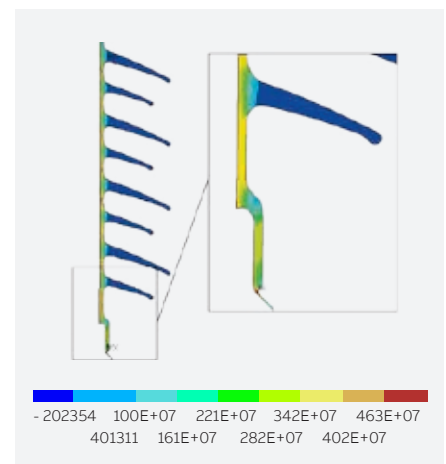
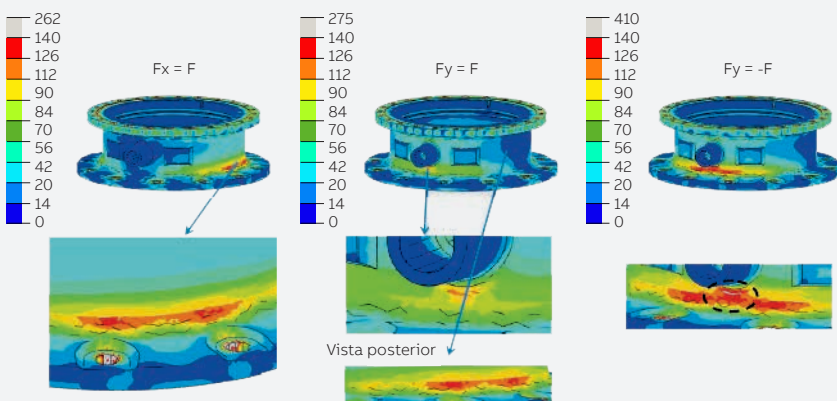
Se han requerido análisis pormenorizados utilizando, por ejemplo, calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis térmicos mecanodinámicos (DMTA) para conocer al detalle los datos de cristalización a varias temperaturas de enfriamiento y cómo se producen los esfuerzos en los materiales. Se realizaron detallados análisis FEM del proceso de enfriamiento y cristalización en distintas secciones del aislamiento, seguidos de verificación de pruebas de componentes, antes de las pruebas finales a escala real con una borna completa. Estos análisis generaron, entre otras cosas, la optimización de determinados pasos en la fabricación del aislamiento externo →5.

Fabricación

Puesto que las bornas de alta tensión por lo general requieren niveles muy bajos de descarga parcial,

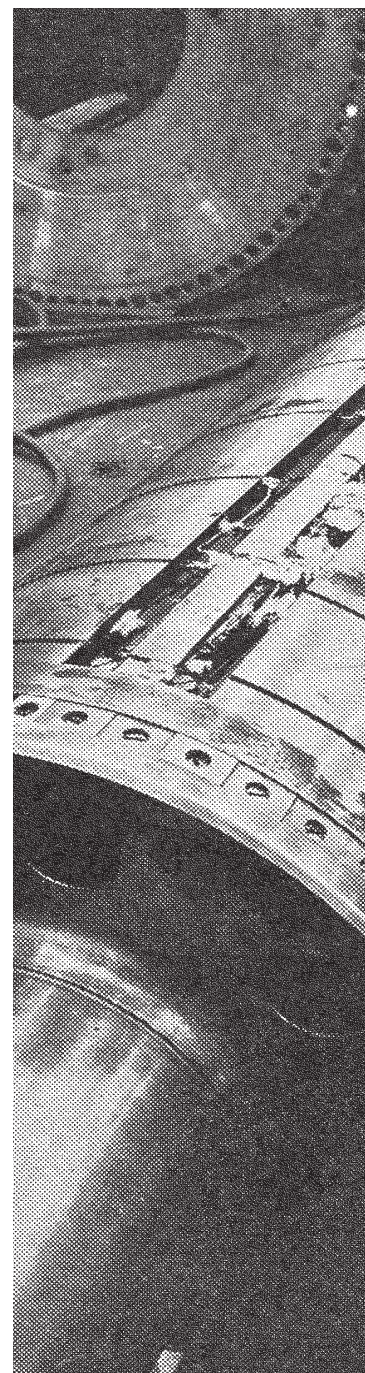
uno de los mayores problemas en la fabricación de bornas RIP es la impregnación y el endurecimiento del aislamiento interno. La capacidad de gestionar procesos de fabricación sofisticados con una desviación mínima es, por tanto, determinante. Con procesos de fabricación tan complicados, también ha resultado difícil aplicar la experiencia de productos existentes para tensiones más bajas, puesto que muchos parámetros críticos no son linealmente escalables, sino que tienen un carácter cuadrático o incluso cúbico. Esto puede dar lugar a requisitos de los equipos de producción varias veces mayores de lo que puede percibirse inicialmente: el peso de una borna seca de 800 kV es, por ejemplo, más del doble del de una de 500 kV, y la longitud del lado del aire es más de un 40% mayor. Los desafíos que implican los núcleos bobinados del condensador para estos niveles de tensión están estrechamente relacionados con el control de colocación de las capas conductoras de dichos núcleos. El cambio dimensional que se produce durante el secado altera las dimensiones axiales de las capas más que las dimensiones radiales. Los efectos de la temperatura también exigen el dimensionamiento de las herramientas de proceso para hacer frente a los cambios sustanciales de la longitud durante la fundición.

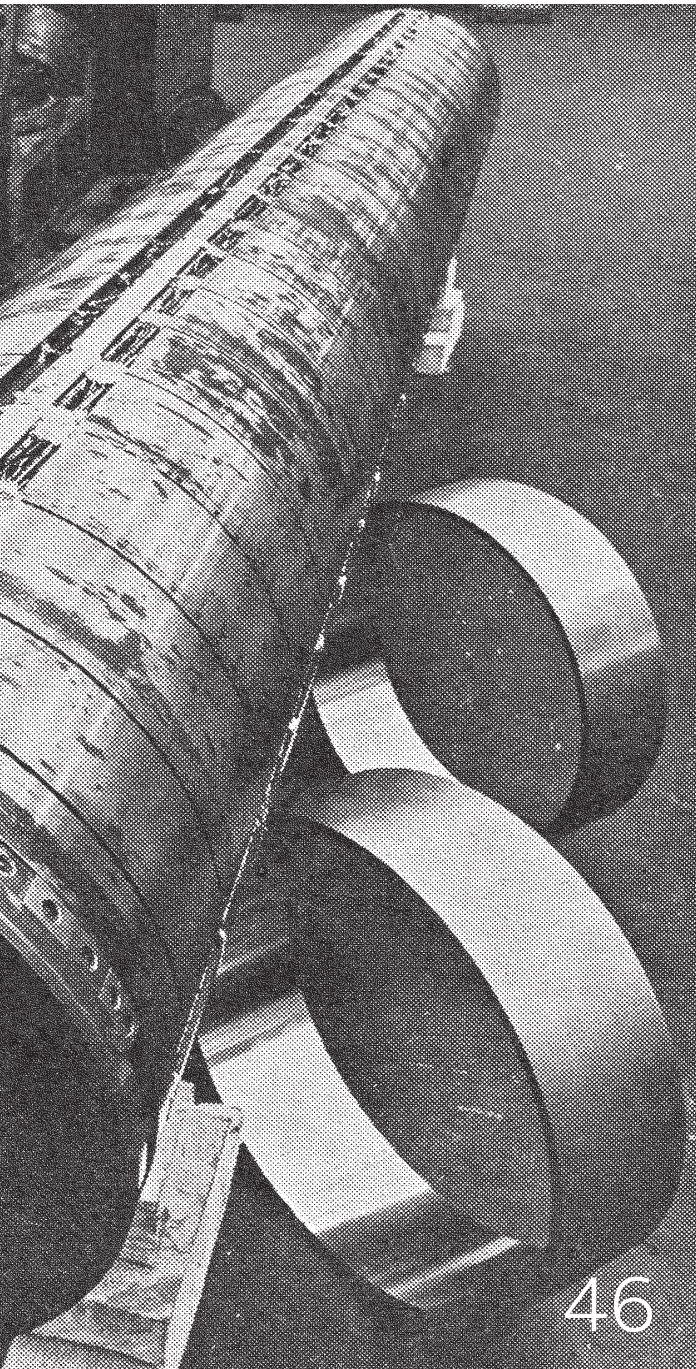
Durante el proceso de fundición real, deben inyectarse casi 2.000 kg de epoxi en el núcleo de celulosa, que han de endurecerse sin formación de cavidades de aire. De lo contrario, las cavidades de aire provocarían descargas eléctricas durante la prueba de rutina final y habría que desechar el aislador. Para evitarlo, el endurecimiento del epoxi ha de supervisarse estrechamente durante el proceso. Fue necesaria una instalación de producción totalmente nueva, con una máquina de bobinado, equipos de proceso y equipos de control actualizados, así como equipos de mecanizado totalmente nuevos, para fabricar la nueva serie de aisladores. Las primeras entregas comerciales se realizaron durante 2015. ●





Medición





La recopilación de datos de una laminadora de metal durante su funcionamiento resulta mucho más complicada que la agregación de datos de usuario en un smartphone. Esto ilustra el abismo que separa los requisitos de rendimiento de las tecnologías industriales y las de consumo.

Su puesta en práctica es tan complicada como importante, pues da a los clientes la llave de la mejora de la calidad, el rendimiento y la productividad en entornos más seguros. Hace medio siglo, ABB inició a la era moderna de innovación en el ámbito de la medición de la planitud y no ha dejado de innovar desde entonces. Su vanguardista calibre de espesores se basa en la última tecnología.

Ambas herramientas de medición son accesibles desde un smartphone.

- 40 Calibres de espesores para metales no ferrosos
- 46 50 años de control de la planitud con el medidor de tensión de ABB

MEDICIÓN

Calibres de espesores para metales no ferrosos

Los calibres de espesores sin separación Millmate (MTG) de ABB basados en tecnología de corriente parásita pulsada garantizan un control fiable y eficiente del espesor en condiciones de laminación complicadas para eliminar preocupaciones relacionadas con la salud, la seguridad y el medio ambiente.



Lennart Thegel
Eva Wadman

ABB Industrial Automation
Measurement & Analytics

Västerås, Suecia
lennart.thegel@se.abb.com
eva.k.wadmann@se.abb.com

Los sistemas de calibre de espesores Millmate (MTG) de ABB combinados con tecnología de corriente parásita pulsada proporcionan a los clientes una selección de productos a medida para resolver las necesidades de producción de bandas no ferrosas. Tanto el sistema MTG box sin separación como el sistema MTG C-frame dependen únicamente del espesor de la banda y son los mejores sensores para garantizar el control del espesor en condiciones de laminación complicadas para eliminar preocupaciones relacionadas con la salud, la seguridad y el medio ambiente asociadas con los calibres radiométricos. El calibre MTG sin separación permite medir en el centro del proceso de laminación, donde otros calibres no pueden. Mediante el desarrollo de sensores de medición de vanguardia, ABB satisface la necesidad del cliente de aumentar la fiabilidad, la eficiencia y la rentabilidad de productos con bandas de metal no ferroso, como las latas de aluminio y las carrocerías de vehículos →1.

Su bajo peso, sus propiedades de reciclaje y sus atractivas características convierten el aluminio en el material ideal para muchos procesos de consumo e industriales. En la actualidad, existe una gran demanda en el mercado mundial del aluminio y se realizan grandes inversiones para aumentar la capacidad de producción de este material. Esta demanda se ha traducido en un aumento del uso de productos de aluminio laminados durante la última década. El aumento de la producción de aluminio

es evidente tanto en la industria de la automoción como en la de bebidas enlatadas. Este crecimiento se debe en parte al consumo de aluminio para componentes estructurales y paneles exteriores de vehículos de alta gama y gran volumen →2.

—
En la actualidad, existe una gran demanda en el mercado mundial del aluminio y se realizan grandes inversiones para aumentar la capacidad de producción de este material.

Gracias a su baja densidad y su resistencia relativamente alta, el aluminio es especialmente apto para sustituir al acero en la carrocería de los coches. El vehículo ligero resultante genera menos emisiones de CO₂ y consume menos combustible que los coches convencionales. Para absorber el aumento de producción de bandas de aluminio de estas industrias, se requiere la mejora de las instalaciones de producción y sensores de medición punteros. ABB dispone de más de 15 años de experiencia en el desarrollo de sensores para garantizar la medición precisa del espesor del aluminio y optimizar los costes del proceso de producción.

—
01 Funcionamiento del calibre MTG Box en un entorno industrial.

Importancia de los sensores

El uso de sensores para realizar una medición precisa ha sido indispensable para controlar los procesos industriales desde la revolución industrial. De hecho, las limitaciones de las instalaciones

—
En la industria del aluminio, el espesor es una de las propiedades más importantes para medir y controlar.

y las duras condiciones ambientales reinantes en los entornos industriales, como las laminadoras, pueden afectar negativamente a los sensores, provocando demoras e interrupciones en el proceso de producción, lo que se traduce en un aumento de los costes de producción. ABB invierte en actividades de investigación y desarrollo de sensores que operan con diversidad de limitaciones espaciales y que son insensibles a las condiciones ambientales de producción y las variaciones en la composición de los materiales, con vistas a mejorar la producción de bandas de aluminio y reducir los gastos.

Concepto de tecnología de medición tradicional

En la industria del aluminio, el espesor es una de las propiedades más importantes para medir y controlar. El cumplimiento de estrechas tolerancias de banda es esencial tanto para el proceso de producción como para el producto en sí. Los calibres radiométricos, es decir, los calibres de isótopos y rayos X, se llevan usando varias décadas con asiduidad. Los calibres de rayos X emplean la atenuación del paso de la radiación a través de la banda de metal. Un detector mide la intensidad de la radiación emitida por una fuente en el otro lado de la banda. El espesor se calcula a partir del conocimiento de que la intensidad se ve afectada por los cambios de densidad en el hueco de medición.

Este método tiene sus ventajas, como la tolerancia a entrehierros grandes, pero también inconvenientes. Además de problemas relacionados con la salud, la seguridad y el medio ambiente, los calibres radiométricos causan problemas de precisión al medir el aluminio. El aluminio tiene una densidad baja y, por tanto, un coeficiente de absorción bajo. En consecuencia, factores ambientales como la suciedad, el vapor y la temperatura del aire afectan a las mediciones del espesor y provocan desviaciones que deben corregirse. El aluminio suele estar aleado con otros metales para



crear las propiedades deseadas, como la resistencia. La presencia de otros metales, como el cobre, afecta a la absorción del aluminio, lo que dificulta la medición del espesor con calibres de rayos X. La dependencia de la aleación de los resultados de los calibres de rayos X requiere correcciones de

—

En 2001, ABB presentó el calibre MTG C-frame para medir espesores de bandas en laminadoras en frío de material no ferroso.

hasta el 50 por ciento, lo que bien puede significar una desviación del espesor del uno por ciento, una clara desventaja para los fabricantes de bandas de aluminio.

Innovaciones en la tecnología de medición

Para responder al problema de la precisión de las mediciones de bandas de aluminio con sensores radiométricos, ABB ha desarrollado el calibre perfecto para los fabricantes de bandas de

aluminio. En 2001, ABB presentó el calibre MTG C-frame para medir espesores de bandas en laminadoras en frío de material no ferroso. El sensor responde a las necesidades de los clientes que desean obtener mediciones de espesores precisas para el aluminio y el cobre, independientemente del entorno de la laminadora y de las propiedades de la aleación. El calibre MTG C-frame emplea tecnología PEC patentada, por oposición a los calibres radiométricos comunes en el pasado. La tecnología PEC emplea bobinas eléctricas para crear campos electromagnéticos formados por impulsos que inducen una respuesta de impulso en la banda. Se mide un impulso de tensión inducido en la bobina al interrumpir súbitamente la corriente. Tras la interrupción abrupta de la corriente de excitación constante que alimenta la bobina, el campo magnético producido por la corriente parásita de la lámina de metal se mide como una tensión transitoria →3.

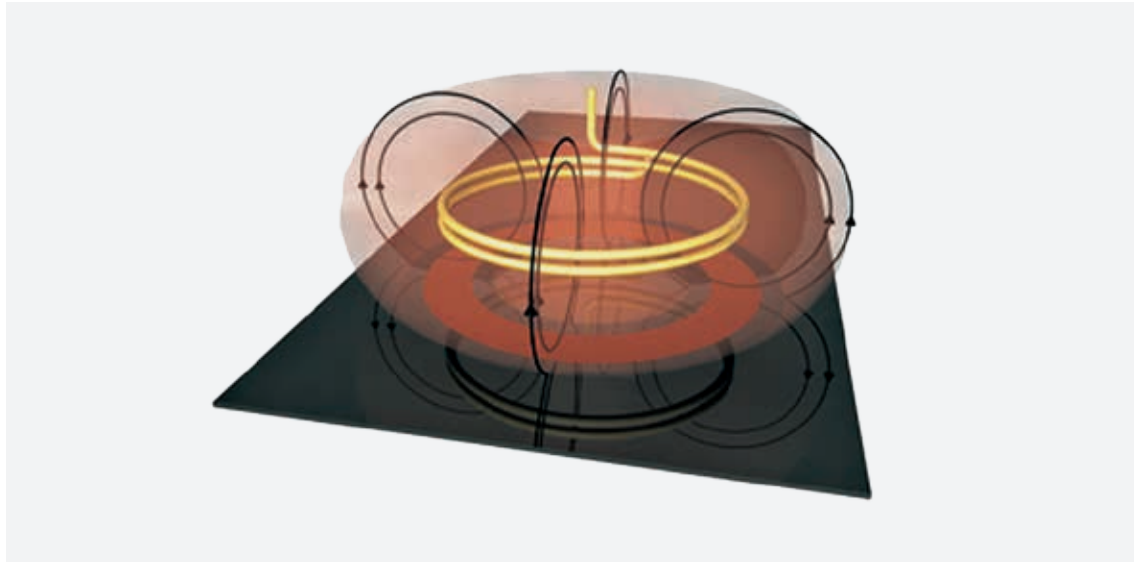
Los clientes pueden medir la distancia, la resistividad y el espesor de la banda no ferrosa con una precisión excepcional sin necesidad de información sobre las propiedades de la aleación o las condiciones ambientales de la laminadora. Se logra una precisión de espesor superior.



—
02 Se prevé un crecimiento del número de vehículos con carrocería de aluminio.

—
03 La tecnología patentada de corriente parásita pulsada se basa en campos magnéticos débiles para realizar la medición.

—
04 Niveles de precisión obtenidos en la fabricación de bandas de aluminio.



03

El uso de calibres MTG en lugar de calibres radiométricos también crea un entorno de trabajo más seguro y elimina la necesidad de formar o certificar a empleados y desechar residuos radioactivos.

Requisitos y proceso de calibración

En un mundo ideal, los fabricantes desearían sensores diez veces más precisos que las tolerancias de los procesos de fabricación. La precisión de los sensores utilizados comúnmente es de tres a cuatro veces mayor que las tolerancias de los procesos de fabricación. Las mediciones de materiales de referencia deben ser como mínimo de tres a cuatro veces más precisas que el sensor utilizado. De acuerdo con ello, las mediciones de materiales de referencia de calibración deben ser como mínimo diez veces más precisas que las tolerancias del proceso de fabricación en el caso de las latas, así como de otros tipos de bandas de aluminio →4. Para obtener mediciones de sensores precisas, ABB ha invertido en tecnología al objeto de perfeccionar la calibración simplificando los procedimientos relacionados.

Procesos de calibración de sistemas MTG

ABB dota a los fabricantes de aluminio de sensores eficaces, fiables y precisos para compensar la presencia de varias aleaciones y eliminar la necesidad de materiales y procedimientos de calibración exhaustivos, especialmente si se usan calibres de

—
Los clientes pueden medir la distancia, la resistividad y el espesor con precisiones excepcionales sin necesidad de información sobre las propiedades de la aleación ni las condiciones ambientales.

rayos X. Con la instalación de sistemas MTG basados en tecnología PEC se resuelven diversos problemas. La aplicación de un campo magnético débil genera una medición de espesores sin contacto y elimina la desventaja asociada con el bajo coeficiente de absorción del aluminio. Dado que



04

las mediciones de espesores son independientes de factores ambientales y propiedades de materiales, no se requieren placas de calibración específicas del cliente, por lo que los periodos de inactividad relacionados con la calibración son prácticamente inexistentes. Los sistemas MTG desarrollados en ABB se entregan calibrados y listos para usar. La calibración se realiza a intervalos de seis meses y dura 20 minutos. ABB entrega el sistema con las 12 placas de calibración necesarias para lograr la trazabilidad y la precisión del calibre. El proceso de la calibración consta de dos pasos →5: El primer paso es la calibración de las placas de referencia mantenidas en ABB. El segundo paso es la calibración de las placas de calibración incluidas en el sistema MTG entregadas al cliente.

Las placas de referencia se calibran en ABB por comparación con bloques patrón calibrados con trazabilidad para cumplir las normas nacionales, como NIST, PTG y NMIJ. ABB ha desarrollado y

—
El calibre MTG Box, inventado y patentado por ABB, es compacto y robusto y emplea campos magnéticos débiles para realizar mediciones basadas en tecnología PEC.

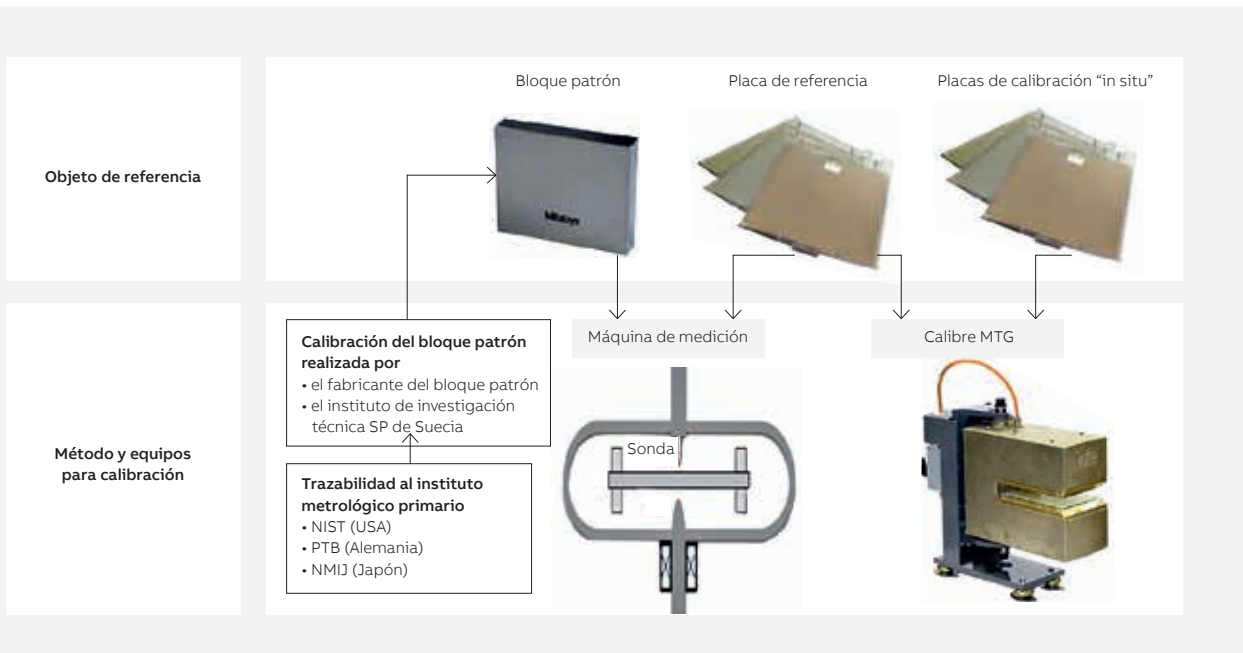
diseñado una máquina de medición mecánica precisa a tal efecto. Las mediciones de referencia se realizan utilizando una sonda láser Hologage con una resolución de medición de 0,01 µm.

En el segundo paso, las placas de calibración in situ se calibran por comparación directa con las placas de referencia de espesor similar y propiedades materiales equivalentes, utilizando el calibre MTG que está calibrado y estabilizado térmicamente. Las placas de calibración in situ alcanzan una precisión de la calibración de entre 0,3 y 0,5 µm.

—
Esta invención única se puede colocar en el centro del proceso de fabricación.

Para conseguir las tolerancias de espesor deseadas tan cruciales para los fabricantes de bandas de aluminio no se requieren placas específicas de clientes ni frecuentes procedimientos de calibración.

Exclusiva solución de medición sin separación
 En 2016, ABB añadió su sensor de calibración sin separación a su selección de sistemas de calibración MTG que miden la banda de aluminio de laminadoras de aluminio y máquinas de colada continua 6. El calibre MTG Box, inventado y patentado por ABB, es compacto y robusto y emplea campos magnéticos débiles para realizar mediciones basadas en tecnología PEC. El calibre es seguro y resiste los impactos mecánicos. Y lo más importante, el nuevo sensor de calibración no tiene separación, por lo que nada obstruye el paso de la banda que se mide. Esta invención única se puede colocar en el centro del proceso de fabricación. El calibre MTG Box suele instalarse debajo de la laminadora, que lo protege durante el ensartado, la salida y la rotura de la banda. Al igual que el sistema MTG C-Frame, este nuevo sensor es insensible a los





06

— 05 Proceso de calibración de placas in situ del sistema MTG.

— 06 El sistema del calibre MTG Box incluye cabezal medidor, piezas hidráulicas, regulador de aire y unidades de control y funcionamiento.

objetos situados en la zona de medición, salvo la banda de metal. El espesor real de la banda de aluminio se mide desde abajo con una precisión del 0,05 por ciento. El calibre compacto se puede colocar cerca de la separación entre rodillos, porque es independiente de todas las condiciones ambientales. Teniendo en cuenta que el sensor es inmune a las variaciones del material, no es necesario compensar el contenido de aleación ni se requiere calibración frecuente. Para la calibración solo se requieren 20 minutos cada seis meses. El uso del calibre MTG Box

—
La presencia de un sistema de posicionamiento hidráulico permite al calibre medir en cuanto detecta tensión en la banda.

incrementa los niveles de control del espesor de bandas de aluminio y la satisfacción de los fabricantes de bandas.

El sistema del calibre MTG Box consta de un cabezal medidor PMGG201-H con una carcasa de aluminio-bronce montada en un bastidor móvil en sentido vertical. Este robusto sensor ajusta

su posición de forma automática para optimizar las mediciones de espesores. La presencia de un sistema de posicionamiento hidráulico permite al calibre medir en cuanto detecta tensión en la banda. La unidad de control PMGA201 está disponible para armario de pared y de suelo y se comunica con el calibre, gestionando el control de los datos de medición, los errores y el estado. Se ofrece la opción de incluir interfaces con comunicación en red con VIP (protocolo de proveedor de internet), OPC DA, Modbus TCP y Profibus-DP, lo que permite integrar el calibre con otros sistemas de control del laminado. Los operarios pueden observar y controlar funciones, como el diagnóstico, el servicio y la configuración. La facilidad de uso del sistema de control combinada con las ventajas del calibre MTG Box sin contacto con tecnología PEC para mediciones de espesores de aluminio hacen que este sea un sistema ideal para laminadoras de aluminio. La independencia del material, la eliminación de la influencia ambiental, la seguridad, la rápida puesta en servicio y la reducción de la frecuencia de calibración incrementan el tiempo de producción casi sin necesidad de mantenimiento. ●

 MEDICIÓN

50 años de control de la planitud con el medidor de tensión de ABB

El medidor de tensión de ABB lleva 50 años ayudando a los operarios de laminadoras a mejorar la calidad y la productividad. La tecnología ha evolucionado mucho durante este medio siglo y merece la pena analizar la innovación, que ha sido un componente clave para superar muchos de los retos aparejados a las laminadoras.



Lars Jonsson
Force Measurement,
Measurement and Analytics

Västerås, Suecia
lars.oi.jonsson@se.abb.com

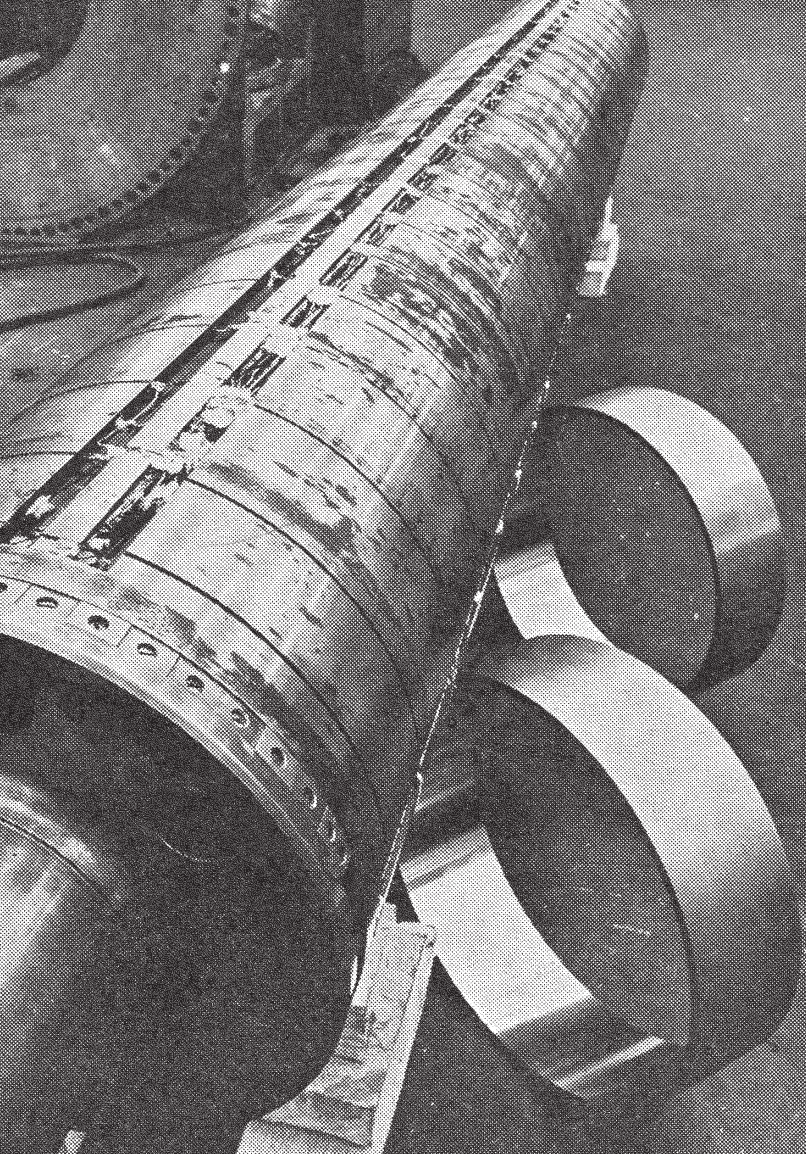
El 14 de abril de 1967, Asea, un predecesor de ABB, comercializó el primer sistema de medición de planitud de bandas del mundo para laminadoras. El cliente que recibió este nuevo producto denominado medidor de tensión fue la empresa de aluminio canadiense Alcan (ahora Novelis). Con él, Alcan logró inmediatamente grandes avances en productividad, beneficios y calidad. Tras

muchas mejoras e innovaciones técnicas y más de 1.200 sistemas entregados, ABB celebra ahora el 50 aniversario del medidor de tensión →1. El medidor de tensión de ABB se basa en la tecnología Pressductor®. Pressductor es un transductor, desarrollado por Asea y patentado en 1954, que mide la fuerza mecánica empleando el efecto magnetoelástico. Este efecto aprovecha el hecho de que las propiedades magnéticas de algunos materiales se ven influidas por las fuerzas mecánicas aplicadas. Dado que los transductores Pressductor no se basan en el movimiento físico



A mediados de los años sesenta, Alcan de Canadá y Asea acometieron una iniciativa conjunta para fabricar un sensor que midiera la planitud de la banda.

ni la deformación, combinan sensibilidad y una tolerancia extraordinaria a las sobrecargas y no tienen límite de acumulación del número de ciclos de carga. Los transductores Pressductor de ABB producen señales de CA de baja impedancia y alta



02

—
01 El medidor de tensión de ABB lleva 50 años ayudando a los operarios de laminadoras a mejorar la calidad y la productividad. Se muestra la sala del operario de una laminadora en frío en tándem de aluminio equipada con dos medidores de tensión.

—
02 Primer medidor de tensión, entregado a Alcan Kingston, Canadá, en 1967 (de "ASEA Veckblad", 14 de abril de 1967).

potencia muy resistentes a las interferencias eléctricas y las fugas a tierra.

Debido al aumento de la demanda de procesamiento de bandas de metal en la década de los sesenta, creció el interés por encontrar una forma de medir la planitud durante la laminación en frío para conseguir el control automático de la misma. Hasta entonces, la planitud se controlaba manualmente a través de las observaciones visuales y sonoras del operario durante la laminación en frío. A mediados de los años sesenta, Alcan de Canadá y Asea acometieron una iniciativa conjunta para

—
Enseguida se tomó la decisión de basar el producto en un rodillo de medición equipado con sensores Pressductor.

—
fabricar un sensor que midiera la planitud de la banda. Enseguida se tomó la decisión de basar el producto en un rodillo de medición equipado con sensores Pressductor. El primer sistema se instaló en 1967 en la laminadora en frío de Alcan de Kingston, Canadá, donde se sometió a pruebas exhaustivas →2.

La idea era controlar la distribución de la tensión transversal de la banda, mejorando así la planitud de la misma. Se suponía que una distribución controlada de la tensión de la banda, es decir, de la planitud de la banda, generaría mejoras en la calidad de la banda y la productividad de la laminadora. La hipótesis resultó correcta: usando el medidor de tensión y un sistema de control de la planitud, Alcan mejoró notablemente la planitud de la banda laminada, elevó el rendimiento, redujo el número de roturas de la banda y logró un incremento de la productividad gracias al aumento de la velocidad de la laminadora y el acortamiento de los tiempos de pasada. En otras palabras, el nuevo producto fue un éxito rotundo.

50 años de colaboración con los clientes

En los 50 años transcurridos desde la primera instalación, la demanda de los usuarios de bandas y de otros tipos de laminadoras ha aumentado espectacularmente, con la consiguiente necesidad de controlar la planitud de una forma más sofisticada. Por ello, ABB ha seguido desarrollando el medidor de tensión en colaboración con sus clientes →3. Las mejoras permiten a los operarios utilizar la laminadora para producir una banda de alta calidad con el máximo rendimiento, reduciendo al mínimo las necesidades de mantenimiento. El medidor de tensión actual está diseñado para laminación en frío y en caliente, y maneja rangos de espesores y productos desde láminas de aluminio de 0,005 mm hasta acero inoxidable de 12 mm.

¿Qué es el control de la planitud de la banda en una laminadora?

El control de la planitud consiste en controlar la separación entre los rodillos de la laminadora para que esta coincida exactamente con el perfil de espesor de la banda entrante. Si existe alguna discordancia, surgirán problemas de planitud →5. El medidor de tensión mide la distribución de la fuerza (F_i) del rodillo →6. Utilizando la tensión (T), la anchura (w), la longitud (L) y el espesor (t) de la banda, se puede calcular la distribución de la tensión en la misma. Dividiendo este valor por el módulo de Young, se obtiene la distribución de la (im)planitud. La distribución de la planitud se mide en unidades I, que se corresponden con la distribución de la elongación relativa multiplicada por 100.000, es decir, una unidad I equivale a una elongación de 1 mm en una banda de 100 m.

$$\text{Tensión: } \Delta\sigma_i = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times \frac{T}{wxt} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{Implanitud: } \frac{\Delta L_i}{L} = \frac{-\Delta\sigma_i}{E} \quad [x10^5 = \text{unidades I}]$$

ABB introdujo la unidad I en los años sesenta para cuantificar la planitud y se convirtió de facto en la unidad de medida de la planitud del sector.

EVOLUCIÓN DEL MEDIDOR DE TENSIÓN

1967	Primer sistema de planitud del mundo suministrado a Alcan Kingston, Canadá →4	1994	Nuevos transductor y rodillo para aplicaciones de láminas
1970	Resolución de medida mejorada: ancho de zona de 52 mm a 84 mm	1998	Primera HMI del mundo basada en un navegador de Internet para aplicaciones industriales
1976	Primer sistema basado en microprocesador (Intel 8080)	2001	Nueva generación con arquitectura de futuro seguro (FSA)
1977	Primer control digital de la planitud en bucle cerrado del mundo (Kobe Steel, Japón)	2002	Rodillo sin costuras para aplicaciones de superficie crítica
1980	Primer sistema de control de la planitud del mundo para un tren de laminación (Outokumpu)	2006	Control predictivo de la planitud
1982	Resolución mejorada: de 26 mm a 52 mm	2007	Rodillo para láminas con resolución de 26 mm
1989	Interfaz hombre-máquina (HMI) digital con gráficos en color	2011	Control de la planitud con identificación automática del proceso
1989	Primer control de la planitud del mundo basado en modelos de actuador	2013	Control coordinado óptimo mediante ESVD para trenes de laminación
1990	Nueva tecnología de medición de la anchura de la banda y la posición del borde – MSS (escáner de bandas Millmate)	2014	Transmisión digital de señal sin mantenimiento (DTU)
1993	Medición y compensación de temperatura de las bandas en aplicaciones de acero	2017	Sistema totalmente digital que cumple las RoHS (restricciones para sustancias peligrosas)

03

¿Cómo funciona la tecnología del medidor de tensión?

El rodillo de medición del medidor de tensión es esencial para medir y controlar correctamente la planitud. Consta de un núcleo sólido con cuatro ranuras axiales que alojan un gran número de sensores Pressductor. Cada zona de medición a lo largo de la anchura tiene, por tanto, cuatro sensores. Este método de cuatro sensores ha sido fundamental para el diseño del medidor de tensión desde el principio y confiere al sistema la ventaja de una compensación física automática de la deformación del rodillo y el cambio de temperatura, de modo que no se requiere software de compensación y se obtiene un tiempo de respuesta de medición muy rápido.

El rodillo se divide en zonas de medición de 26 o 52 mm. Un anillo de acero endurecido retractilado en cada zona protege los sensores y presentar una superficie adecuada para la banda de que se está laminando. Una unidad de transmisión digital (DTU) transmite potencia y señal sin contacto a los sensores del rodillo →7. Cada zona mide de manera independiente la fuerza local dirigida radialmente desde la banda.

Se obtienen cuatro mediciones por cada revolución del rodillo, a velocidades de 1 a 4.000 rpm. El rodillo del medidor de tensión mide la fuerza de toda la banda, incluidas las tensiones de los bordes. La planitud de la banda real se expresa en unidades I.

Innovaciones a lo largo de los años

Desde el principio, se respetaron seis principios de diseño fundamentales para garantizar una medición de la planitud fiable, precisa y rápida:

- La medición de la fuerza debe ser rígida, es decir, la deformación de la banda y del sensor

de fuerza debe ser inapreciable. De este modo se consigue una medición directa y fiable de la fuerza sin filtración de tensión debida a la deformación de la banda.

- Deben usarse sensores con el mismo coeficiente de expansión térmica que el material circundante. Así se minimiza la imprecisión causada por los efectos térmicos.
- Los sensores de una laminadora deben funcionar de forma fiable y precisa durante muchos años sin necesidad de calibración.

—
Las mejoras permiten a los operarios utilizar la laminadora para producir una banda de alta calidad con el máximo rendimiento, reduciendo al mínimo las necesidades de mantenimiento.

- Debe medirse la distribución de toda la fuerza de la banda en un instante, es decir, no debe haber derivación de fuerza al cuerpo del rodillo.
- El principio de los cuatro sensores. Esto permite medir la distribución de toda la fuerza cuatro veces por cada revolución del rodillo sin que se produzca alteración de la señal digital por los cambios de temperatura y la deformación del rodillo.
- La producción de señales de una zona de medición debe ser directamente proporcional al grado de cobertura de la banda. De esta forma se permite la medición precisa de los bordes de la banda.

—
03 Evolución del medidor de tensión de ABB durante los últimos cincuenta años.

—
04 Medición de la planitud HMI desde 1967. Hoy en día, se puede usar un ordenador o un móvil como estación del operario.

Requisitos básicos de un sistema moderno de control de la planitud

Para que el sistema de control de la planitud mejore el rendimiento, los tiempos de pasada y el número de roturas de la banda, debe cumplir varios requisitos muy estrictos:

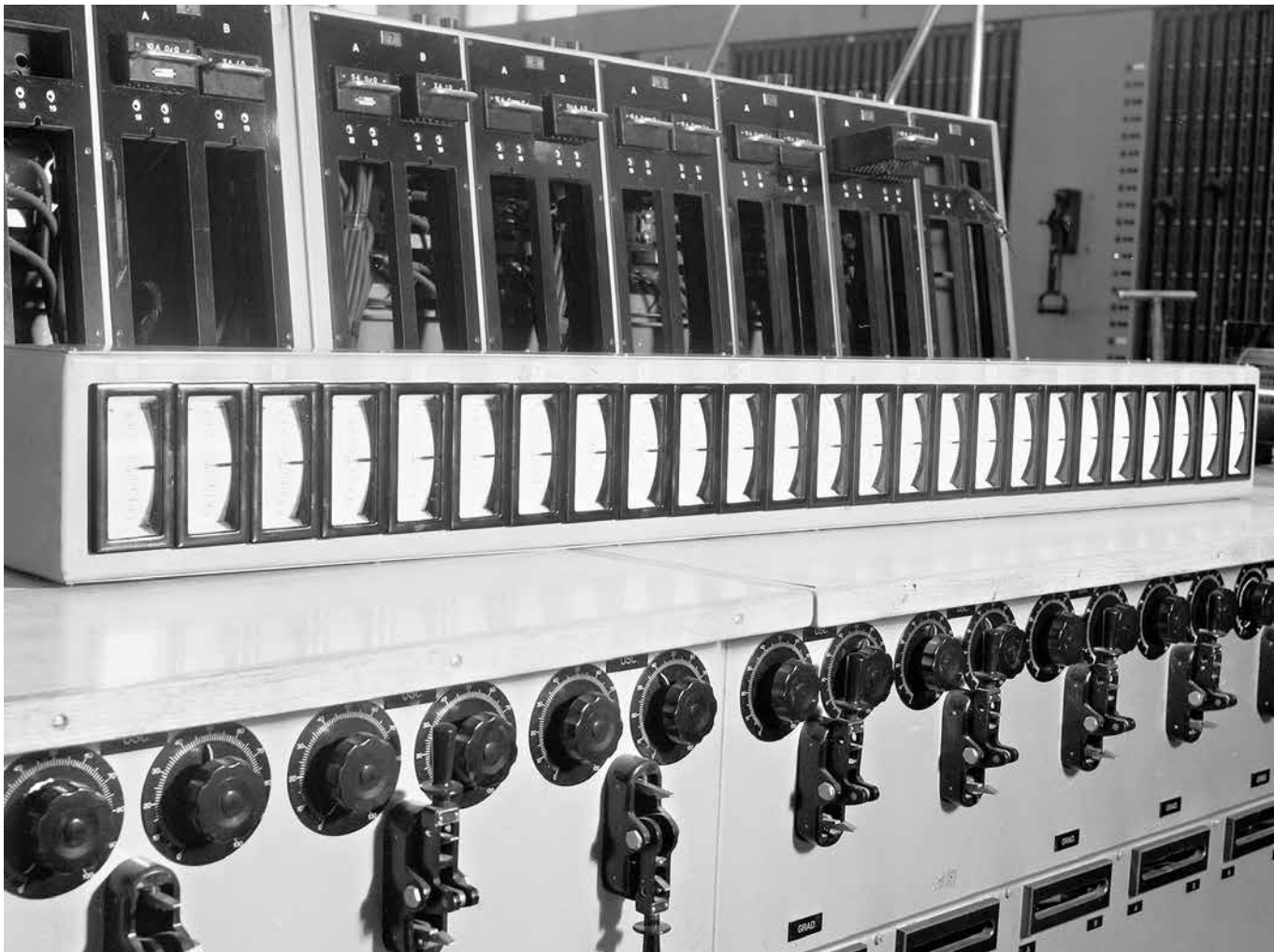
- El requisito más importante es la fiabilidad. El sistema no debe provocar paradas imprevistas en la laminadora (las paradas planificadas son aceptables). A este respecto, el medidor de tensión tiene un MTBR (tiempo medio entre reparaciones) superior a 20 años y emplea transmisión de señales sin contacto ni mantenimiento desde el rodillo.
- Medición precisa. Sin una medición precisa de la distribución de toda la tensión, ningún sistema de control de la planitud es eficaz. (La precisión de medición del medidor de tensión es normalmente de 0,5 unidades I.)
- La medición no debe verse afectada por perturbaciones en la laminadora, como la variabilidad en la tensión de la banda.
- La medición debe ser igual de eficaz en todas las velocidades de la laminadora e incluir los bordes, así como los extremos anterior y posterior de la banda, con independencia del espesor de la misma.
- El sistema de medición debe proporcionar resultados precisos al sistema de control de la planitud en milésimas de segundo y varias veces por metro de banda laminada.

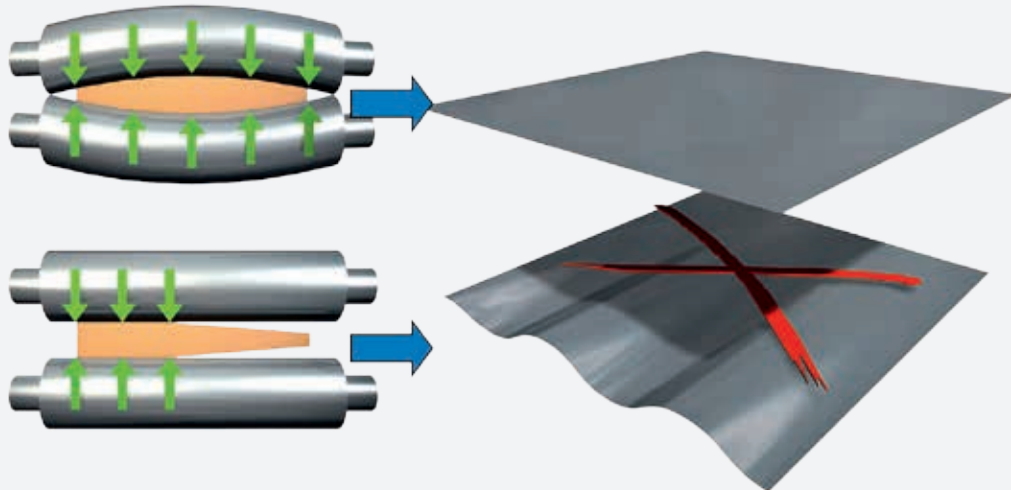
- Es esencial que el operario visualice la planitud real de forma intuitiva.
- El sistema debe manipular una variedad de productos sin necesidad de ajustes y nunca debe deteriorar la superficie de la banda.

—
El medidor de tensión actual está diseñado para laminación en frío y en caliente, y maneja rangos de espesores y productos desde láminas de aluminio de 0,005 mm hasta acero inoxidable de 12 mm.

- El sistema de control de la planitud debe usar todos los actuadores de la laminadora en todo momento y para todos los productos de forma simultánea y eficaz. Puesto que varias combinaciones de actuadores pueden tener el mismo efecto de planitud, el sistema debe ser capaz de seleccionar la combinación más eficaz. No debe requerirse control manual. Aquí, el medidor de tensión tiene funciones de control avanzadas, que incluyen la descomposición ampliada de valores singulares (ESVD) y el control adaptable/predictivo →8.

04





05

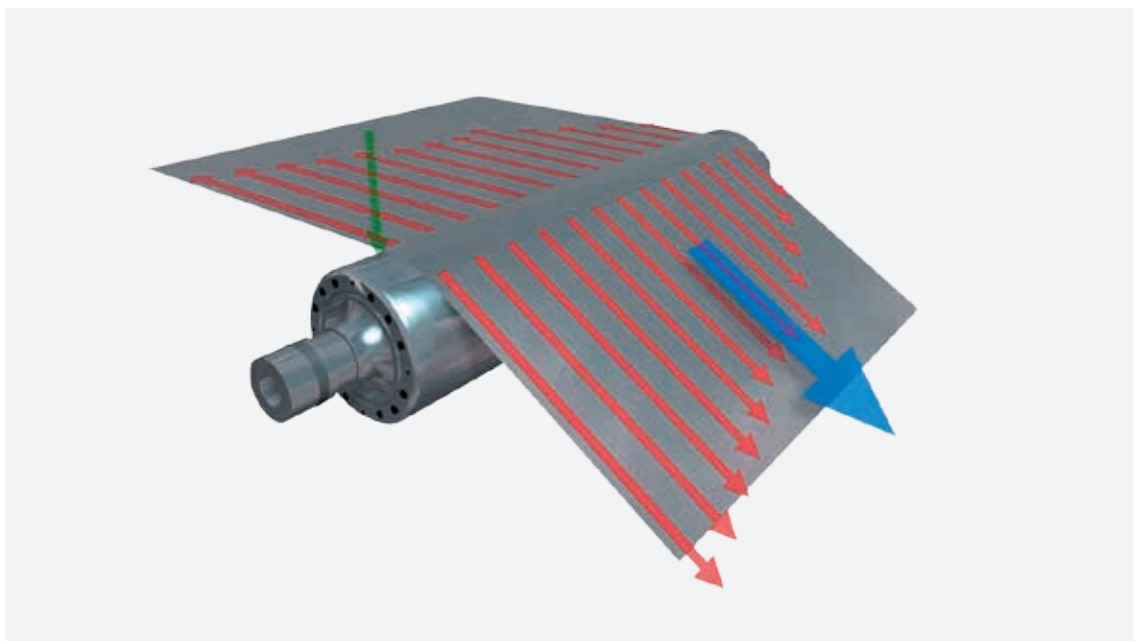
Retos y potencial para el control de la planitud

El sector de la laminación ha afrontado muchos retos en los últimos 50 años y a buen seguro le esperan más en el futuro. Un reto permanente es producir de una forma sostenible, para minimizar los efectos climáticos y medioambientales. El medidor de tensión mejora la calidad y el rendimiento, lo que implica el uso de menos energía por tonelada de producto terminado. Otro reto es añadir funciones que permitan producir el número creciente de productos, aleaciones y dimensiones que el mercado exige con plazos de entrega reducidos. Estas demandas obligan a cambiar en segundos de un tipo de producto a otro completamente distinto, sin deterioro de la calidad ni la productividad. La reducción de gastos es un área en la que el medidor de tensión brinda un gran potencial:

La productividad de la laminadora se ve directamente afectada por el rendimiento obtenido, los tiempos de pasada y los períodos de inactividad

— El medidor de tensión tiene un MTBR superior a 20 años y emplea transmisión de señales sin contacto ni mantenimiento desde el rodillo.

provocados por roturas de bandas. En una laminadora en frío de aluminio, la sensibilidad a la rotura de una banda equivale a 10.000 \$. Para el rendimiento, la sensibilidad suele ser de 150.000 \$



06



07a

—
05 La concordancia entre la separación de los rodillos y la banda proporciona una banda plana. La discordancia provoca una elongación no constante en la banda y, en consecuencia, problemas de planitud.

—
06 El medidor de tensión mide la distribución de fuerzas en el rodillo.

—
07 Hardware de procesamiento de las señales del medidor de tensión

07a En 1967, se necesitaban tres placas de circuitos analógicos para procesar las señales de una zona de medición.

07b Hoy, el procesamiento de la señal es totalmente digital y la DTU procesa en paralelo 80 zonas de medición.

—
08 Control de la planitud con ESVD

08a Actuadores

08b Efecto de planitud

08c Planitud media y estrategia de control



07b

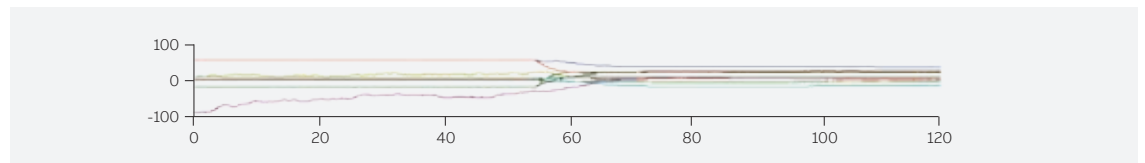
por cada 0,1% y para el tiempo de pasada, equivale a 100.000 \$ por segundo. Con factores de sensibilidad tan grandes, cada mejora, por pequeña que sea, aporta un beneficio económico notable.

Los 50 años de desarrollo del medidor de tensión han generado mejoras notables en el producto:

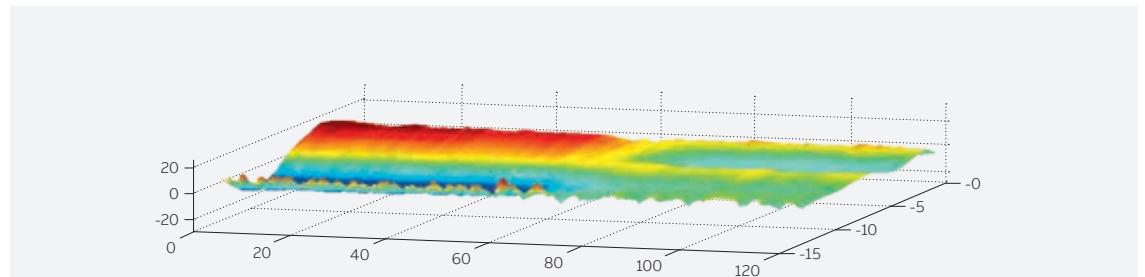
- Uso en productos laminados en frío y en caliente
- Fiabilidad del rodillo extremadamente alta con un MTBR superior a 20 años
- Mejoras en la resolución, la precisión, el tiempo de respuesta y la visualización
- Ampliación del control de la planitud a un concepto general que incluye todos los tipos de

laminadoras existente con un uso óptimo de los actuadores disponibles

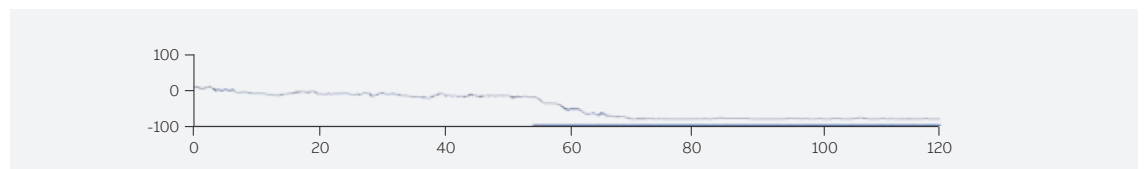
La colaboración con nuestros clientes nos dirá cómo llevar la calidad y la productividad al siguiente nivel, quizás extendiendo el control de la planitud a procesos anteriores y posteriores. Aquí se incluye el control del perfil de la banda durante la laminación en caliente para que obtener una planitud continua y controlable en procesos posteriores. Los sistemas del futuro se conectarán con seguridad al denominado MoT, el Internet de las Cosas Industrial. Esta conectividad permitirá a ABB ayudar a distancia a los clientes a obtener el óptimo rendimiento operativo a largo plazo de sus procesos de laminación. ●



08a



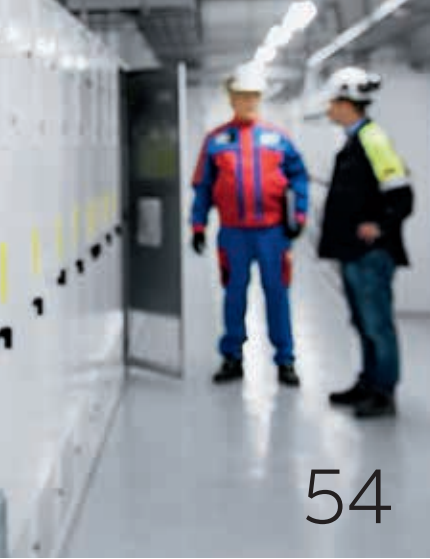
08b



08c



Servicio y fiabilidad



54

“Siempre en marcha” adopta un significado especial cuando se aplica a la fabricación y la infraestructura. Se trata de un objetivo ambicioso para empresas que desean aumentar el rendimiento del capital invertido, y un requisito de funcionamiento para servicios críticos, como la electricidad.

Además, un mundo más interconectado depende más de la fiabilidad de esas conexiones. Los dispositivos y los sistemas deben volver a funcionar rápidamente después de una interrupción o, mejor aún, evitar cualquier problema. ABB está ideando formas de aprovechar el valor de los dispositivos existentes y garantizar la fiabilidad del trabajo conjunto de dispositivos nuevos y antiguos.



60

- 54 Maximización de los períodos de actividad
- 60 Generadores para la era de la generación variable
- 65 Los convertidores IGBT prolongan la vida de las locomotoras Re460

SERVICIO Y FIABILIDAD

La modernización libera su potencial

Un enfoque moderno de la optimización de la vida útil de los accionamientos de ABB ofrece una mejora inmediata del rendimiento y una forma más sostenible de insuflar vida nueva a instalaciones existentes.



01



Marjukka Virkki
Responsable nacional de servicios, Finlandia

Helsinki, Finlandia
marjukka.virkki@fi.abb.com

A medida que la base instalada de accionamientos de una empresa envejece, van cobrando importancia los servicios de prolongación de la vida útil. Los servicios para accionamientos no solo previenen averías, sino que además mejoran la productividad de los activos y la fiabilidad del accionamiento, así como la eficacia operativa global de toda la empresa. El servicio de modernización amplía la vida útil de los accionamientos antiguos y mejora su rendimiento.

El servicio es la clave

A medida que las empresas se centran más en sus competencias clave, aumenta la necesidad de servicios de los proveedores de accionamientos, que pasan a convertirse en una parte esencial de las operaciones. Los accionamientos forman una parte esencial de muchos procesos industriales, ya que proporcionan eficiencia energética, mejora de la productividad y alto rendimiento a los motores eléctricos de diversas aplicaciones. De este modo, si un accionamiento se rompe inesperadamente, puede provocar la detención de las operaciones y provocar un montón de problemas a la empresa. La mejor estrategia es prevenir la avería antes de que se produzca. Durante la vida útil del producto, esto implica un mantenimiento preventivo regular. Pero para un accionamiento industrial que llega al final de su vida útil, la modernización o la sustitución es la mejor solución para minimizar el riesgo de rotura y de paradas de la producción

no planificadas →1. Simultáneamente, estos dos servicios mejorarán el rendimiento de un accionamiento →2.

Partiendo de la filosofía de gestión de la vida útil, ABB ha desarrollado un modelo de gestión de la vida útil para demostrar el rendimiento y la disponibilidad de un accionamiento durante toda la vida útil del producto →3. Este modelo divide la vida útil del producto en cuatro fases: activa, clásica, limitada y obsoleta. En la fase activa y clásica de un producto, ABB cuenta con una completa gama de servicios y asistencia. Por otro lado, en la fase limitada y obsoleta, normalmente

—
El servicio de modernización amplía la vida útil de los accionamientos antiguos y mejora su rendimiento.

los únicos servicios disponibles y recomendados son la sustitución y la modernización, que, además de actualizar el accionamiento, devuelve el producto a su fase activa.

Dado que las empresas industriales tienen muchas estrategias de mantenimiento distintas para sus inversiones, la amplia oferta de ABB les permite elegir los servicios para accionamientos más



—
01 Una solución de modernización suele adaptarse a las necesidades concretas del cliente.

acordes con sus estrategias. Como parte del modelo de gestión de la vida útil y la oferta de servicios de ABB, la modernización respalda el servicio de sustitución y otras soluciones para brindar diversas opciones de mantenimiento de accionamientos para los clientes de ABB.

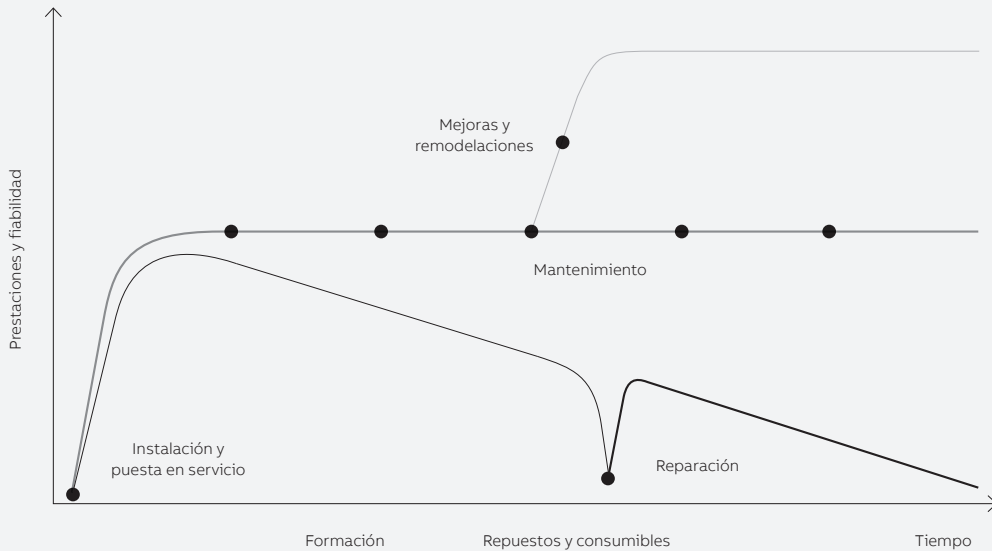
Historia de modernizaciones

El punto de partida para diseñar una modernización suele ser complicado, ya que las modernizaciones requieren habilidades de ingeniería sofisticadas para aplicar las tecnologías más modernas a las distintas generaciones de accionamientos, además de tener en cuenta las necesidades del cliente, como tiempo de instalación rápido, necesidades de personalización y condiciones variables del emplazamiento. A finales de los 2000, ABB acometió un proyecto de normalización de su oferta de modernización para proporcionar a los clientes de ABB la mejor relación calidad precio. En 2007, Marjukka Virkki, actual responsable nacional de servicios de Finlandia, trabajaba como responsable de I+D de servicios de accionamientos y gestionaba simultáneamente el proyecto de normalización de modernizaciones y desarrollo de conceptos: “Cuando empecé a trabajar como responsable de proyectos de modernización en 2007, me di cuenta de que para ampliar el volumen de producción de modernizaciones de alta calidad para clientes potenciales, no podíamos plantear cada solución de modernización individualmente”.

Sin duda, un enfoque individualizado garantiza un diseño basado en las necesidades exactas del cliente, pero puede menoscabar la calidad de la documentación y el tiempo de instalación. Además, no era posible optimizar la cadena de suministros para conseguir los objetivos de coste del producto. Atendiendo a los comentarios de los clientes, teníamos que reducir los plazos de entrega y aumentar el volumen, algo imposible sin normalización. También teníamos que ampliar nuestras capacidades de servicios sobre el terreno, ya que el número de instalaciones estaba creciendo en todo el mundo y con él la necesidad de documenta-

—
La amplia oferta de ABB les permite elegir los servicios para accionamiento más acordes con sus estrategias.

ción y materiales y cursos de formación de alta calidad. Se estableció un proceso de aprendizaje continuo para reducir las probabilidades de materialización de riesgos. Iniciamos el trabajo de desarrollo evaluando la situación y las necesidades del mercado y, con la ayuda de un pequeño equipo de proyecto, definimos la estructura del producto con subconjuntos



02

normalizados y mediante la creación de documentación, instrucciones y descripciones de procesos. Seguidamente, seleccionamos a los proveedores y creamos la línea de producción de volumen con KPI y objetivos claros.

El desarrollo del servicio de modernización siempre ha girado en torno al cliente y a la satisfacción de sus necesidades. Marjukka también explica cómo garantizar un servicio de atención al cliente de la mejor calidad: “Durante el desarrollo del servicio de modernización, nuestro objetivo principal era usar los mismos componentes que en los productos de accionamiento más nuevos. En consecuencia, la instalación y el montaje serían más eficientes y la fiabilidad de la modernización mejoraría, ya que los componentes actuales ya han sido probados y

—

El desarrollo del servicio de modernización siempre ha girado en torno al cliente y a la satisfacción de sus necesidades.

aprobados en fábrica. Asimismo, usamos las normas de diseño y documentación, y métodos de trabajo actuales en el desarrollo del producto. En las modernizaciones se espera que todo, desde las dimensiones del entrehierro hasta el control de las corrientes eléctricas parásitas, cumpla los mismos criterios que nuestros productos nuevos. Esto ilustra nuestros elevados criterios de calidad”. Hoy en día, la mayoría de las modernizaciones se ofrecen de serie. Aplicando los principios de aprendizaje continuo, ABB garantiza las soluciones de modernización más rentables y de mayor calidad, con plazos de entrega y e instalación rápidos. Además, los paquetes estándar pueden

minimizar el tiempo y el riesgo de los proyectos de modernización. Aunque los paquetes estándar ofrecen muchas ventajas, ABB sigue desarrollando algunas modernizaciones de forma individualizada para adaptarse plenamente a las necesidades del cliente. En todas las modernizaciones de ABB, los métodos sistemáticos de documentación, la

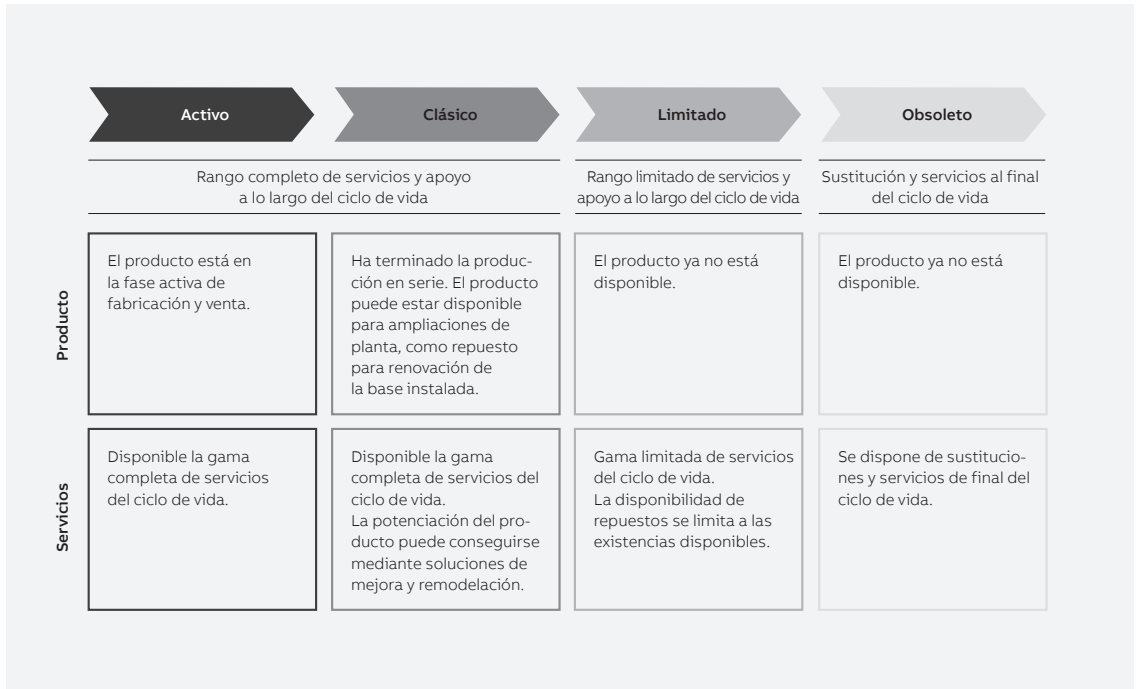
04



— 02 Rendimiento y fiabilidad de un producto a lo largo del tiempo.

— 03 Modelo de gestión de la vida útil de ABB.

— 04 151 accionamientos ACS600 antiguos de la línea de galvanización 3 de Hämaenlinna de SSAB se modernizarán en el plazo de 5 años para garantizar su mantenibilidad y fiabilidad.



03

garantía de calidad y la magnífica formación de los técnicos garantizan la máxima calidad y duración de la vida útil de los accionamientos.

Nuevos y exitosos productos de servicio piloto

En el marco del desarrollo de servicios nuevos, ABB ha ejecutado con éxito varios proyectos piloto en diversos países con clientes de diversos sectores,

como pasta y papel, metal, minería y alimentos y bebidas. En estos proyectos, ABB garantiza la fiabilidad de nuevos diseños de modernización y verifica el funcionamiento de los procesos internos, desde el pedido hasta la entrega y la instalación y puesta en servicio finales de la modernización.





05

Uno de estos proyectos piloto se llevó a cabo con éxito con SSAB que, a la conclusión de este proyecto, decidió modernizar todos los accionamientos de la línea de galvanización 3 de la fábrica de Hämeenlinna, en Finlandia. El proyecto incluye la modernización de 151 accionamientos, que se instalarán de forma escalonada durante un período de cinco años →4.

—
ABB garantiza las soluciones de modernización más rentables y de mayor calidad, con plazos de entrega e instalación rápidos.

SSAB es un fabricante de acero internacional dedicado a la fabricación de productos de acero altamente especializados. La empresa es productor líder de aceros avanzados de alta resistencia, así como de aceros templados y recocidos. La línea de galvanización 3 de la fábrica de Hämeenlinna de SSAB produce planchas de acero revestidas de zinc para los sectores de construcción y automoción. La perfección de sus operaciones es crucial, ya que los productos altamente especializados de la línea no se pueden fabricar en ningún otro lugar.

Una modernización personalizada

Hace algunos años, ABB informó a SSAB de que la vida útil de los accionamientos ACS600 estaba tocando a su fin y que la disponibilidad de la asistencia técnica y los repuestos se limitarían en el futuro. Tras considerar diversas opciones, SSAB eligió el servicio de modernización de ABB para modernizar y devolver los productos a la fase activa de vida útil.

“La modernización escalonada fue una buena solución para nosotros”, afirma Tero Saarenmaa, responsable de la sección de mantenimiento eléctrico de la fábrica de Hämeenlinna de SSAB. “Nos brindó la posibilidad de realizar un mantenimiento preventivo efectivo con los repuestos originales, con asistencia y servicio completos para estos accionamientos cruciales. Además, el proyecto nos permitió utilizar los productos antiguos como repuestos para los accionamientos ACS600 más antiguos hasta la conclusión de la modernización. La rentabilidad y la reducción del tiempo de parada fueron los factores que nos animaron a elegir el servicio de modernización”. Además, Matti Aaltonen, responsable de ventas de servicios de accionamientos y controles de ABB, subrayó la importancia de la capacidad para adaptar la solución específicamente a las necesidades de SSAB. “Puesto que una solución de modernización estándar no satisfacía plenamente sus necesidades, diseñamos una solución adaptada a las necesidades específicas de SSAB. Se han



— 05 Accionamiento antiguo (izquierda) y accionamiento modernizado (derecha).

— 06 Modernización de ACS880 para diseño mecánico de ACV700/SamiStar con dos módulos.

extraído todos los componentes alojados en los antiguos armarios y se están instalando kits de modernización ACS880 adaptados a los armarios ACS600MD, que son más anchos →5. El control de los accionamiento se llevará a cabo con el sistema de control AC80 existente, con algunas modificaciones del software AC80. El ámbito del proyecto incluye la puesta en servicio y los pequeños cambios en los nuevos accionamientos ACS880 se realizarán durante cada parada de mantenimiento”.

Empresa de servicios moderna

Aunque las razones del cliente para elegir el servicio de modernización varían, existen algunas ventajas claras. Una de las razones más comunes para decantarse por la modernización es que el servicio permite a las empresas realizar inversiones escalonadas.

Las modernizaciones no solo reducen el gasto de capital del cliente, ya que las inversiones se pueden realizar durante un período de tiempo más largo, sino que el servicio también permite realizar las instalaciones durante interrupciones de la producción más cortas. La modernización hace uso de las nuevas tecnologías y suele incrementar la eficiencia del accionamiento. Por ejemplo, las nuevas generaciones de accionamientos han integrado las capacidades de conexión a distancia y autodiagnóstico que permiten prestar servicios de supervisión de estado y asistencia a distancia, mejorando la disponibilidad y la optimización del accionamiento y el tiempo de respuesta en caso de fallo. Además, con el uso del armario de accionamientos, los cables y los motores existentes, el cliente ahorra gran cantidad de dinero y de tiempo, ya que no es necesario rediseñar ni realizar cambios en el sistema de refrigeración o el cableado, por ejemplo.

En una época en que la población mundial estira al máximo los recursos de la tierra, el impacto medioambiental de una empresa y el uso de los recursos pasan a convertirse en factores extremadamente importantes. A tal fin, el servicio de modernización minimiza los residuos de materia utilizando el cableado, los motores y los

— Las modernizaciones garantizan al cliente una amplia gama de servicios de vida útil y asistencia en los años venideros.

armarios existente, y empleando a la vez la última tecnología con mejores herramientas y un sistema de diagnóstico más eficaz →6. Según un caso práctico realizado por ABB en 2015 en el sector de pasta y papel, las emisiones totales de CO₂ derivadas de la modernización fueron un 65% inferiores que una línea nueva; las emisiones de CO₂ de una línea nueva ascendían a 6.405 kg, mientras que las emisiones del kit de modernización fueron de solo 2.215 kg. Este ahorro se obtuvo tanto en la producción como en el transporte de los equipos.

Un accionamiento modernizado está garantizado con un sistema de accionamiento actualizado y asistencia para el producto. La modernización de accionamientos permite modernizar de forma rápida y eficiente una base instalada, logrando mejoras inmediatas del rendimiento de la fábrica y el proceso de los clientes. Las modernizaciones garantizan al cliente una amplia gama de servicios de vida útil y asistencia en los años venideros. ●



SERVICIO Y FIABILIDAD

Generadores para la era de la generación variable

Las centrales de apoyo a la red están sujetas a arranques y paradas frecuentes y a ciclos de carga rápidos. La mejora del diseño del alternador de la central para que soporte esfuerzos adicionales es fundamental para la fiabilidad. ¿Cuáles son los parámetros de diseño a los que se debe prestar especial atención?

Timo Holopainen
Jari Jäppinen
Juhani Mantere
John Shibutani
Jan Westerlund
ABB Motors and Generators

Helsinki, Finlandia
timo.holopainen@fi.abb.com
jari.jaappinen@fi.abb.com
juhani.mantere@fi.abb.com
john.shibutani@fi.abb.com
jan.westerlund@fi.abb.com

Mats Östman
Wärtsilä Finland Oy
Helsinki, Finlandia

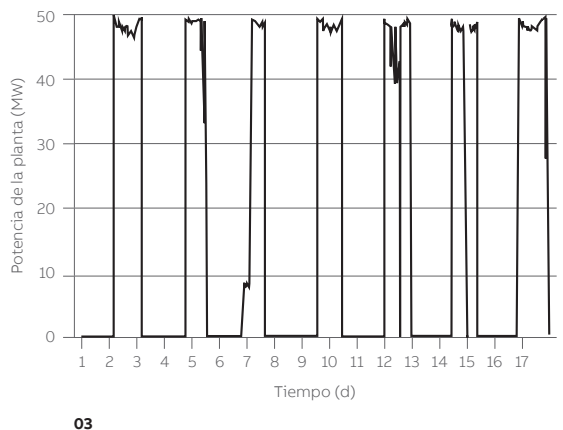
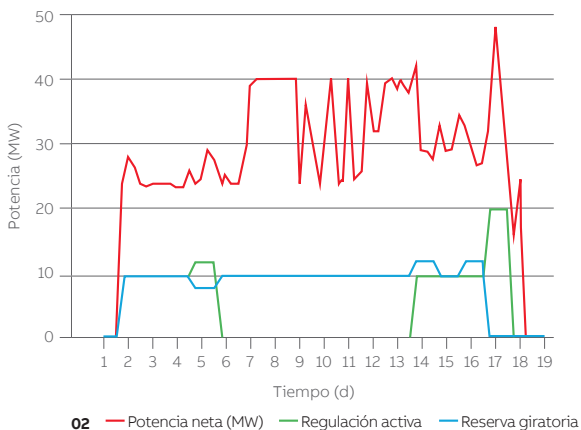
Joonas Helander
Antiguo empleado de ABB

Cada vez se conectan a la red eléctrica más fuentes renovables de generación. La producción de muchas de estas fuentes puede ser extremadamente variable y hay que compensar sus fluctuaciones mediante centrales de apoyo a la red que sean flexibles. En contraste con los generadores de electricidad clásicos, las centrales de apoyo a la red están sujetas a arranques y paradas frecuentes y a ciclos de carga rápidos. Como se ha confirmado en estudios de los ciclos de carga de la vida real en labores de apoyo a redes, el factor clave que se debe tener en cuenta en el diseño es el número mayor de ciclos de carga térmicos y de velocidad. La mejora del diseño del alternador para que pueda soportar esfuerzos adicionales es fundamental para la fiabilidad →1.

Promovido por la legislación y las inquietudes climáticas subyacentes, la penetración de las

—
Se espera que los esfuerzos térmicos se generen principalmente en las regiones del devanado y del núcleo del alternador.

energías renovables está en aumento. El uso creciente de la generación de energías renovables, que en muchos casos es variable y sin inercia, crea nuevos retos para la red eléctrica, el control del





01

— 01 Los alternadores de las centrales de apoyo a la red deben diseñarse para que admitan los esfuerzos térmicos y mecánicos producidos por la necesidad de aumentos y disminuciones en respuesta a la generación variable de renovables en la red. La figura ilustra varios generadores de la central eléctrica de Kiisa en Estonia.

— 02 Potencia de equilibrado medida de una central de motores de combustión durante un periodo de producción de 18 horas.

— 03 Producción de energía de una central durante una semana en agosto de 2013.

— 04 Perfiles de carga de un generador empleado en los análisis de ciclos térmicos.

04a Repetición de un ciclo de cero a plena carga en cinco minutos, mantenimiento durante cinco minutos, bajada a cero en un minuto y parada de cinco minutos.

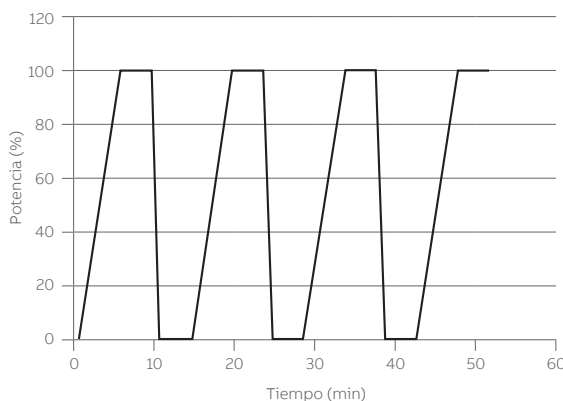
04b Aumento a plena carga en cinco minutos, mantenimiento durante dos horas y paso a carga nula en un minuto.

sistema y las instalaciones ya existentes de generación de energía. Se requieren arranques y paradas más frecuentes, y una mayor capacidad de aumento de la potencia y ciclos en comparación con otras centrales de generación, todo lo cual exige costes y esfuerzos añadidos a los recursos existentes.

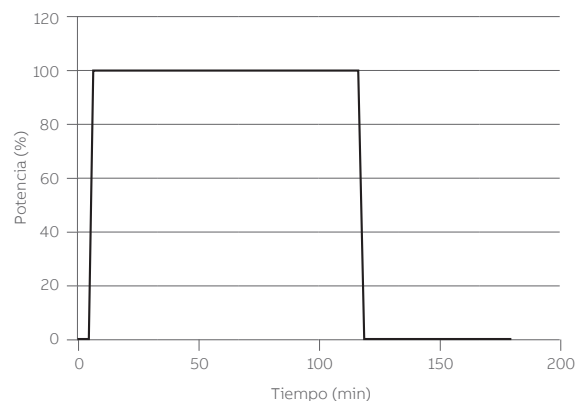
Ciclos de carga de las centrales eléctricas

Tradicionalmente, se hace funcionar los alternadores en condiciones nominales y velocidad constante a lo largo de periodos largos, sin interrupción. Esto ha determinado los principios de diseño y el dimensionamiento de los componentes estructurales de un alternador. La operación de equilibrado de red conlleva una rápida alternancia de periodos de

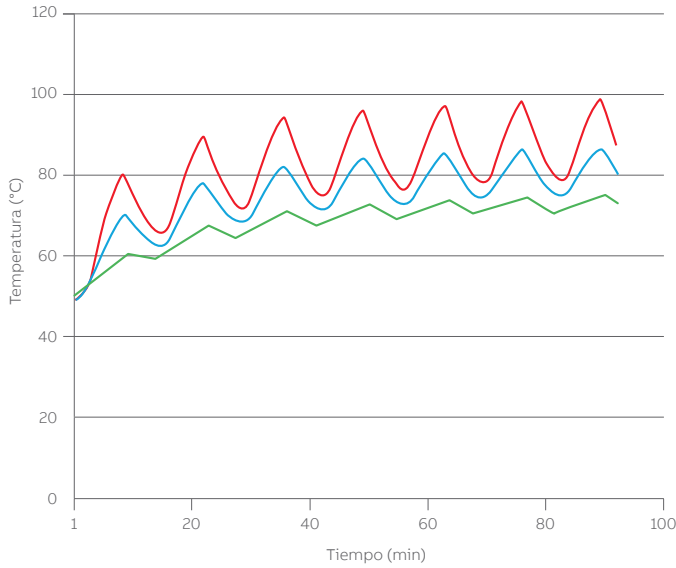
funcionamiento y reposo – lo que se traduce en un número mucho mayor de arranques y paradas →2. En principio, la diferencia entre el generador clásico y el de equilibrado de red es el número de ciclos de carga y la pendiente de la variación de carga. Los grupos electrógenos modernos pueden pasar de cero a velocidad máxima en 30 segundos y a plena carga en cinco minutos; el tiempo de parada desde la plena carga a la parada es de un minuto. La central mostrada en →3 tiene nueve arranques y paradas a lo largo de un periodo de seis días, lo que da una media de 500 al año. En la práctica, el número de ciclos puede ser incluso mucho más alto.



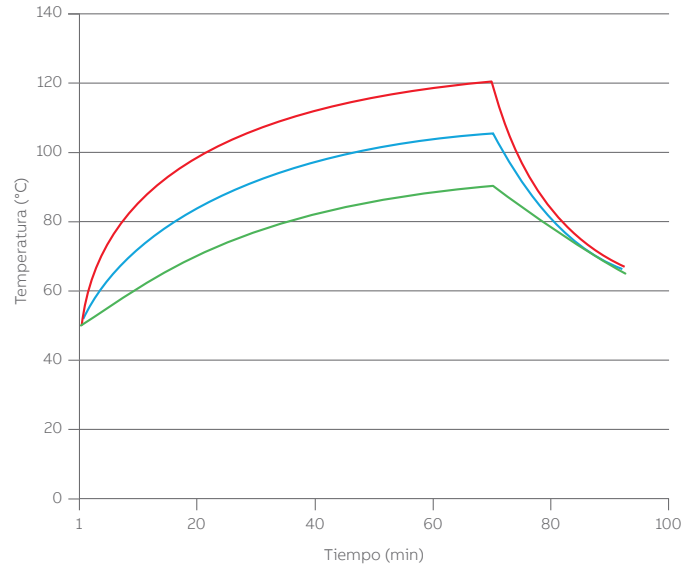
04a



04b



05a — Devanado del estator en ranura — Dientes del núcleo del estator
— Promedio del yugo del núcleo del estator



05b — Devanado del estator en ranura — Dientes del núcleo del estator
— Promedio del yugo del núcleo del estator

Perfiles de carga

En general, el calentamiento y el enfriamiento de los componentes de un alternador no es uniforme y sus constantes de tiempo térmicas varían. Esta anisotropía transitoria es el contribuyente principal a los esfuerzos térmicos y hace exigente el análisis de los ciclos térmicos.

Para analizar y simular el comportamiento térmico se han seleccionado dos perfiles de carga distintos, deducidos del emplazamiento real descrito anteriormente →4. Estos ejemplos proporcionan un número máximo de ciclos de carga/parada, que también proporciona un número máximo de ciclos de carga térmica para evaluación →4a, así como un gradiente de temperatura entre el devanado y el núcleo que está próximo a su valor máximo →4b.

Análisis de los ciclos térmicos

Se espera que los esfuerzos térmicos se generen principalmente en las regiones del devanado y del núcleo del alternador. La predicción de esfuerzos térmicos exige que se pueda simular la distribución de temperaturas. La conductividad térmica del cobre es excelente y la del acero es buena. En consecuencia, los mayores gradientes de temperatura se encuentran en las capas de aislamiento eléctrico entre las superficies de unión cobre-cobre y cobre-acero. La diferencia de temperaturas entre estas partes define el esfuerzo térmico en un alternador.

Se ha aplicado un método de red térmica para predecir el comportamiento térmico transitorio de las partes activas de un alternador, como el estator por ejemplo. En el caso de varios ciclos cortos consecutivos de carga/reposo, la diferencia de temperaturas entre el devanado y el núcleo puede variar tanto como de 10 a 25 K durante los ciclos de carga →5a. Cuando hay un periodo más largo a carga completa que se acerque a las temperaturas de funcionamiento máximas, la diferencia de temperaturas entre el devanado y el núcleo puede llegar a 30 K →5b.

Puesto que las bobinas del estator se adhieren a las paredes de las ranuras a causa del tratamiento de impregnación y no se pueden mover libremente, se generan esfuerzos internos en las capas de aislamiento, lo que puede ocasionar grietas si no se adoptan medidas adecuadas.

— La diferencia entre el generador clásico y el de equilibrado de red es el número de ciclos de carga y la pendiente de la variación de carga.

Análisis de los ciclos de velocidades

Normalmente, el origen de las vibraciones de los alternadores está en las fuerzas recíprocas del motor de combustión. Un motor de combustión interna de cuatro tiempos crea fuerzas de excitación en armónicos completos y medios armónicos de la velocidad de giro. El grupo generador es tan complejo que únicamente simulaciones numéricas pueden predecir el comportamiento de las vibraciones con la precisión requerida. La única forma de investigar fiablemente la resistencia a la fatiga del diseño estructural es llevar a cabo un análisis de respuesta para el grupo completo. El diseño para vibraciones de los alternadores que tengan que funcionar continuamente se basa en evitar las resonancias principales. Debido a la gran cantidad de arranques y paradas, el diseño para la fatiga de la aplicación de equilibrado de red requiere asimismo el análisis para los casos de arranque y parada.

Implicaciones para el diseño de alternadores

Basándose en el análisis de los ciclos térmicos y de velocidades, así como la experiencia de otras aplicaciones cíclicas de generadores y motores,

—
05 Predicción de la temperatura del estator de un alternador (20,8 MVA, 13,8 kV, 60 Hz y 514 rpm).

05a A la frecuencia máxima del ciclo térmico, la diferencia de temperaturas entre el devanado y el núcleo varía entre 10 K y 25 K, llegando al máximo tras el primer ciclo.

05b A la amplitud máxima del ciclo térmico, la diferencia de temperaturas entre el devanado y el núcleo alcanza un nivel de 30 K.

—
06 Ejemplo de los resultados de pruebas de verificación de la duración de vida del aislamiento del devanado (ecuación de Arrhenius ajustada a los datos de pruebas recogidos empleando el método de mínimos cuadrados).

hay varias partes del alternador que deben tenerse en cuenta al diseñar alternadores fiables para equilibrado de redes.

Aislamiento y devanado

Como se ha visto anteriormente, el devanado y el aislamiento son afectados perjudicialmente por los ciclos térmicos. La experiencia ha demostrado – y el análisis lo ha confirmado – que la impregnación a presión en vacío total (VPI) proporciona unas características extraordinarias al conjunto de estator y rotor (núcleo y devanado de acero laminado).

—
El calentamiento y el enfriamiento de los componentes de un alternador no es uniforme y sus constantes de tiempo térmicas varían. Este es el contribuyente principal a los esfuerzos térmicos y hace necesario el análisis de los ciclos térmicos.

En el proceso de desarrollo, siempre es importante la verificación del sistema mediante su prueba. En un procedimiento típico de prueba de ciclo térmico, se calientan en un horno varios juegos de barras de prueba a distintas temperaturas y tiempos de ciclo. Las barras de prueba se someten a continuación a esfuerzo mecánico en un banco de vibraciones, a humedad y finalmente a la prueba de tensión eléctrica del aislante del conductor y del aislante principal. Se repiten los ciclos de prueba hasta que cierto número de barras de prueba de cada juego falle la prueba de tensión eléctrica. Se calcula entonces la

vida útil a partir de los resultados de la prueba de cada juego empleando la llamada regla de Arrhenius →6. Se han llevado a cabo recientemente con éxito pruebas del sistema de impregnación empleado.

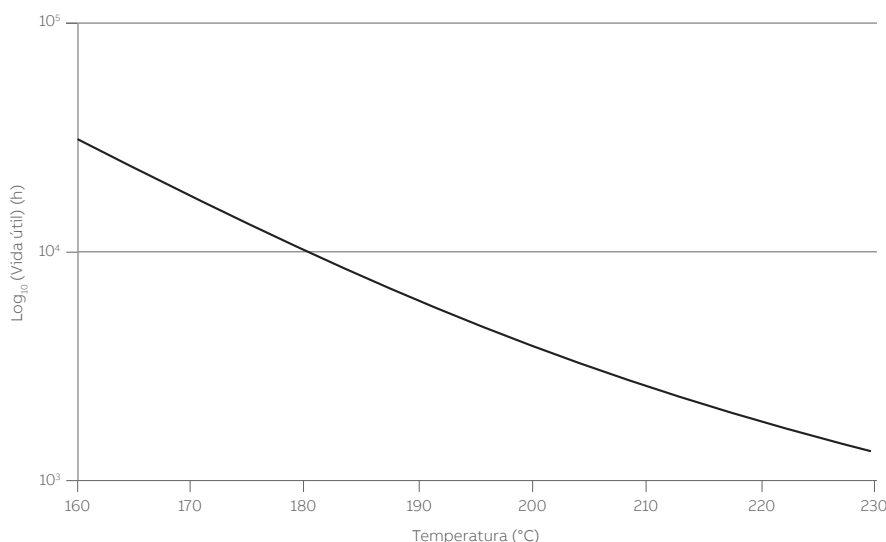
Cabezal del devanado

El cabezal del devanado, junto con su construcción y conexiones de apoyo, están expuestos a ciclos térmicos y a vibraciones provocadas por aceleración, deceleración y frecuente conmutación de la red. La vibración del cabezal del devanado del estator supone una importante preocupación en las máquinas eléctricas grandes. Especialmente en las máquinas bipolares las frecuencias naturales del cabezal del devanado tienden a disminuir hasta cerca de dos veces la frecuencia de la red (100/120 Hz). Por eso, en estas máquinas se precisan unas estructuras de apoyo especiales para aumentar la rigidez del cabezal del devanado y las frecuencias naturales. Sin embargo, en alternadores multipolo los cabezales del devanado son cortos de por sí y las frecuencias naturales lo suficientemente altas sin ninguna estructura de apoyo adicional.

En el desarrollo y diseño de la construcción de cabezales de devanado se utilizan un conjunto de métodos modernos, incluyendo el análisis de elementos finitos (FEA) en 3D. Se emplea este método para el cálculo de fuerzas junto con la respuesta estática y dinámica →7.

La construcción y el diseño del sistema de apoyo del cabezal del devanado con VPI global proporciona muy buenas características para las fuerzas y tensiones existentes. Esto significa que el diseño del cabezal del devanado de alternadores de equilibrado de red de velocidad media será sólido y resistente contra las vibraciones.

El funcionamiento en subexcitación (consumiendo energía reactiva) causa esfuerzos térmicos en la zona de extremo del núcleo. En el caso de alterna-



—
07 Ejemplos de análisis de cabezales de devanado

07a Una forma modal

07b Distribución de fuerza magnética ejercida en un instante

dores de velocidad media (gran número de polos), este efecto es menos grave gracias al menor ancho de la bobina y a la distribución de flujo más favorable en la zona del extremo.

Bastidor

El bastidor del alternador está montado en la base común junto al motor de combustión. El diseño del bastidor del alternador viene determinado principalmente por las excitaciones de vibración que le transmite el motor a través de la base. Esto lleva a un bastidor de diseño ligeramente más resistente en comparación con los alternadores montados sobre un cemento de hormigón. El diseño del bastidor del alternador viene determinado por la resistencia a la fatiga. La capacidad de diseñar alternadores fiables, y que a pesar de

todo tengan una estructura de bastidor rentable, requiere un conocimiento profundo de la dinámica de todo el conjunto generador. La clave para lograr el éxito en ello es un análisis de la respuesta de todo el grupo generador (simulación numérica). Los esfuerzos de fatiga se pueden simular durante los periodos de arranque y parada. Basándose en los históricos de esfuerzos calculados, se puede evaluar la vida de fatiga con métodos convencionales y después se pueden modificar los detalles

—
La impregnación a presión por vacío total proporciona unas características extraordinarias al conjunto de estator y rotor.

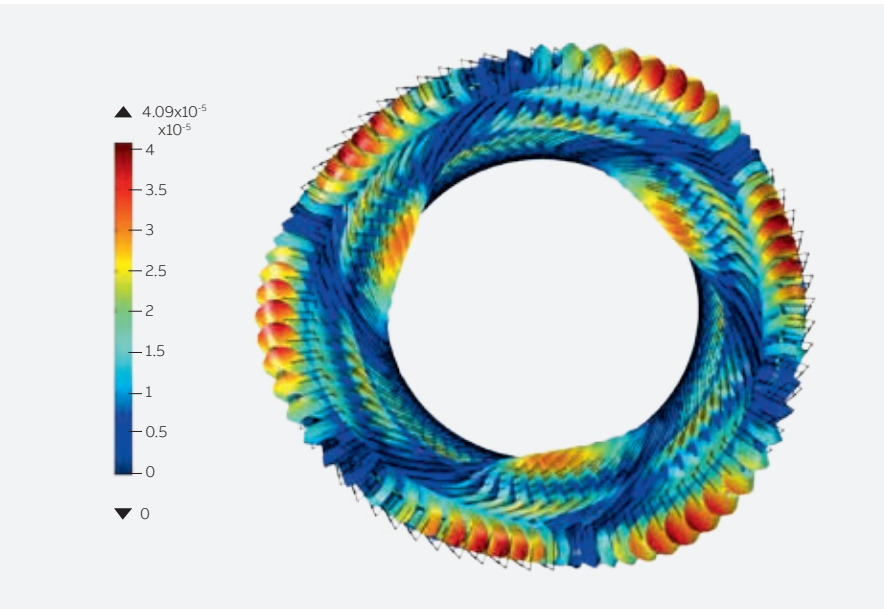
estructurales críticos para resistir a las cargas de fatiga. En definitiva, el procedimiento asegura que el bastidor del alternador llegue a la duración de vida deseada sin fallos por fatiga.

Rotor y cojinetes

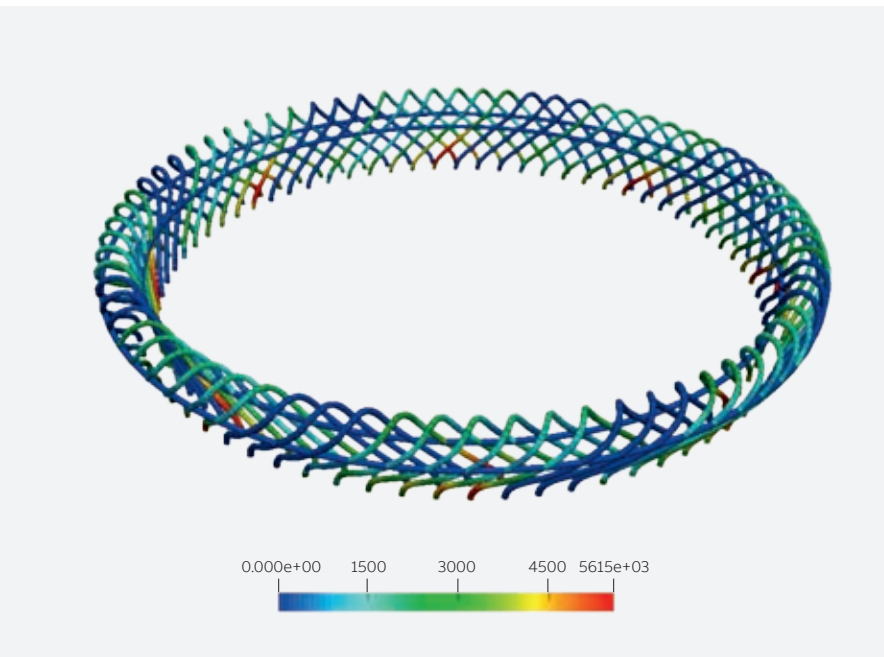
Por lo que se refiere al diseño del rotor, los alternadores de velocidad media son siempre subcríticos. Esto quiere decir que la primera velocidad crítica del rotor por flexión está por encima de la velocidad nominal de giro del alternador. El rotor no supera ninguna velocidad crítica por flexión durante la carga cíclica, dejando así libertad para el diseño del rotor y el cojinete. Esto supone una clara ventaja sobre los alternadores de mayor velocidad (por ejemplo, en el diseño bipolar). Los ciclos térmicos tienen efectos sobre el rotor similares a los del estator. El principio dominante en el diseño del rotor es mantener el contacto entre los componentes a lo largo de los ciclos de temperatura para evitar la fatiga mecánica de la resina. Además, los cojinetes están equipados con un sistema de elevación que permite un gran número de arranques sin ningún desgaste.

Un buen diseño asegura una larga vida

La era de la generación renovable variable supone que los generadores de equilibrio de la red deben durar un número de ciclos térmicos y de velocidades mucho mayor que los grupos generadores clásicos. El diseño del alternador de equilibrado de red requiere una especial atención para conseguir un funcionamiento fiable. Sin embargo, con un diseño óptimo, los alternadores podrán soportar estos nuevos y mayores esfuerzos, y proporcionar una alta fiabilidad durante mucho tiempo. ●



07a



07b

SERVICIO Y FIABILIDAD

Los convertidores IGBT prolongan la vida de las locomotoras Re460

ABB está suministrando convertidores IGBT de último modelo para modernizar y prolongar la vida de las locomotoras Re460 de la compañía de ferrocarriles suizos Swiss Federal Railways (SBB).



Thomas Huggenberger
ABB Discrete
Automation and Motion,
Power Conversion

Turgi, Suiza
thomas.huggenberger@
ch.abb.com

La red de los ferrocarriles suizos es famosa en el mundo entero. Admirada por su densidad y por la puntualidad y frecuencia del servicio, la red atiende a más de un millón de pasajeros al día. Para seguir contribuyendo al éxito de la red y prepararla para las necesidades del futuro, se lanzó el ambicioso programa "Rail 2000" a finales de los 1980. El proyecto pretende añadir capacidad y reducir los tiempos de viaje. Una parte central del plan fue la introducción de la locomotora Re460. Entre 1992 y 1996 entraron en servicio 118 unidades de este tipo →1. Estaban equipadas con convertidores GTO (tiristor de desactivación de puerta) y motores de tracción asíncronos (ambos fabricados por ABB), y representaban lo más avanzado en su tiempo.

Más de 20 años después, la Re460 sigue prestando un excelente servicio. Cubre cerca de la mitad de todos los kilómetros que recorren los trenes de la SBB para servicio de pasajeros. Cada una de las locomotoras ha cubierto por término medio 5,5 millones de km a lo largo de su vida, el equivalente a siete veces la distancia a la luna y vuelta. Aunque las Re460 tienen una construcción robusta y están diseñadas para una larga vida, la electrónica de potencia ha hecho enormes progresos en los últimos decenios. Por ejemplo, los GTO han sido ampliamente sustituidos por IGBT (transistores bipolares de puerta integrada) en aplicaciones de tracción. SBB decidió embarcarse en un programa de remodelación de media vida que actualizará las

locomotoras. La revisión, que incluye una optimización de los sistemas eléctricos completos, asegurará una vida útil de al menos 20 años al tiempo que también mejora el rendimiento energético y el mantenimiento. Se espera que las mejoras aporten unos ahorros de unos 27 GWh/año, correspondientes al consumo de 6.750 hogares suizos.

Experiencia de ABB

ABB es líder en la investigación, el desarrollo y la fabricación de convertidores de tracción eficientes energéticamente y de motores de tracción y transformadores. La compañía tiene más de un siglo de experiencia en ferrocarriles eléctricos por todo el mundo.

Además de suministrar equipos nuevos, ABB tiene una amplia experiencia de apoyo al servicio a lo largo del ciclo de vida para el material rodante. Por ejemplo, en 2008 ABB sustituyó con éxito las cadenas de tracción basadas en GTO de la flota ICE 1 de trenes de alta velocidad de los Ferrocarriles Federales Alemanes (Deutsche Bahn), empleando convertidores IGBT de vanguardia. Basándose en el compromiso de la compañía con los clientes y en sus amplios conocimientos y experiencia, ABB consiguió en 2014 un pedido del SBB por unos 70 millones de francos suizos para suministrar la última generación de convertidores de tracción para la flota de Re460. El objetivo era proporcionar mayor rendimiento energético, mayor fiabilidad y un mantenimiento más fácil.



01

—
01 Locomotora Re460 del SBB [Fotografía copyright de SBB CFF FFS].

—
02 Topología de conmutación y formas de onda de los convertidores IGBT de niveles dos y tres.

—
03 Convertidor IGBT con módulo-fase de nivel tres del tipo empleado para la remodelación de la Re460.

Especificaciones de la modernización

SBB requirió que las locomotoras de la remodelación cumplieran un conjunto de especificaciones exigente. Éstas se definieron, por ejemplo, con el exigente perfil de gradiente de la línea suburbana de Zúrich y las condiciones ambientales del Túnel de Base del San Gotardo (ninguna de estas líneas existían cuando se entregaron las locomotoras

—
Una frecuencia de conmutación más alta habría conducido a unas mayores pérdidas por conmutación y a emisiones acústicas.

Re4460 por primera vez). La línea suburbana requería un concepto redundante: los gradientes elevados en este corredor de alta capacidad imponen un riesgo crítico ya que un tren que fallara allí tendría repercusiones para todo el sistema. La remodelación permite aislar un motor de tracción que falle, pudiendo el tren continuar su viaje empleando los tres motores restantes. En el nuevo Túnel de Base del San Gotardo, el calor y la humedad han impuesto dificultades específicas además de las normas de seguridad contra incendios.

Solución técnica

El diagnóstico de las locomotoras mostró que los motores de tracción, los transformadores y los sistemas de control de los vehículos estaban en buen estado. Por tanto se conservaron estos elementos, definiendo sus parámetros el diseño de los nuevos convertidores de tracción. También determinan que se debe conservar la tensión de 3,5 kV del enlace de CC.

Se consideraron dos posibles topologías de convertidor, ambas con IGBT →2. La primera variante correspondía a una topología de nivel dos, de 6,5 kV nominales. La segunda era una topología de nivel tres en la que los niveles superior e inferior transportan la mitad de la tensión total del enlace con relación al nivel central. Esta es la tecnología preferida por ABB para remodelar las locomotoras con los convertidores de tracción basados en IGBT y fue elegida para su uso en las Re4560.

La topología de nivel tres se traduce en una circulación de corriente de tracción que refleja más aproximadamente la deseada forma de onda sinusoidal. El sistema original GTO incorporaba asimismo una topología de tres puntos. El bajo nivel de armónicos resultante influía en el diseño de los motores de tracción y el transformador. Conseguir el mismo nivel de armónicos con una topología de dos puntos exigiría una alta frecuencia de conmutación. Esto implica mayores pérdidas por conmutación y mayor sollicitación de los materiales aislantes. Además de las ventajas eléctricas y energéticas, la solución adoptada presenta bajas emisiones acústicas.

La adopción de una topología de nivel tres evita asimismo la necesidad de conectar IGBT en paralelo. En concreto, el convertidor del lado de la red (hay un convertidor de ese tipo para cada uno de los dos bogies) está compuesto por un total de cuatro unidades fase-módulo. Los dos convertidores del lado del motor tienen tres cada uno de ellos →3. No se precisa la correspondencia de los módulos IGBT, necesaria en la conexión en paralelo.

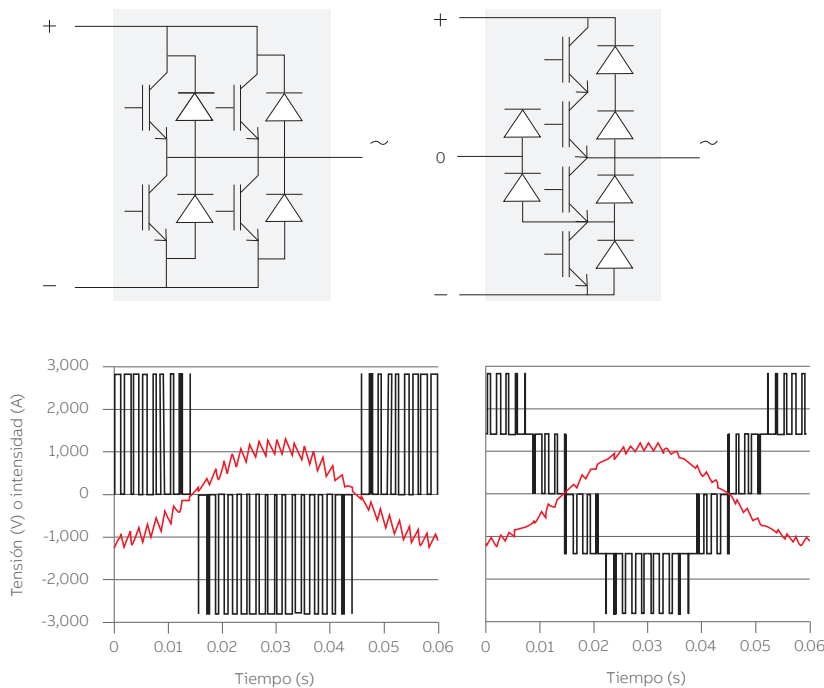
Circuitos eléctricos y construcción mecánica

Excluyendo el uso de tecnología IGBT, la topología del circuito eléctrico es en gran modo idéntica a la del original. Los módulos de fase IGBT refrigerados por agua se basan en la plataforma de convertidor de tracción BORDLINE de ABB. Los módulos de fase empleados en el convertidor del lado de la red son idénticos a los del lado del motor. El tipo se había también usado en otros proyectos de remodelación incluyendo el ICE1 alemán.

El transformador tiene cuatro bobinas en el lado del secundario, dos de las cuales se conectan con cada uno de los dos convertidores correspondientes →4. Cada bobina conecta con una unidad rectificadora, que saca energía del transformador pero que asimismo puede devolverla a la red cuando la locomotora frena.

La tensión del lado de CC de los convertidores se conecta con los condensadores de conexión a CC que la suavizan con ayuda de un circuito resonante ajustado a 33,4 Hz. Este paso es necesario porque la red monofásica de 16,7 Hz del ferrocarril no suministra energía eléctrica continuamente. La energía eléctrica es suministrada a los convertidores del lado del motor en pulsos al doble de la frecuencia de la red.

La tensión del enlace de CC es rectificadora a la trifásica de CA por el convertidor de nivel tres del lado del motor, creando las formas de onda de tensión precisas para controlar la velocidad y el par. Cada uno de los dos convertidores de tracción alimenta los dos motores de un bogie en conexión en paralelo. Los nuevos medios de separación del motor permiten que uno que haya sufrido una avería pueda ser desconectado.



02



03

— Este artículo se publicó por primera vez en eb – Elektrische Bahnen 114 (2016), Número 8–9, páginas 485–489.

— **Lecturas recomendadas**
Nota de prensa: "ABB wins \$70 million order to modernize locomotives for Swiss Railways SBB", 23 septiembre, 2014.

H. Hepp, "Un ajuste perfecto: Los potentes convertidores de propulsión de ABB son eficaces, fiables y muy compactos, lo que los hace adecuados para vehículos ferroviarios de cualquier diseño". ABB Review 2/10 2010, 60–65.

Isber, J. and M. Curtis, "Normalización del motor de tracción: El innovador motor de tracción modular de inducción de ABB establece nuevas cotas de adaptabilidad". ABB Review 2/10 2010, 66–69.

Moine, V., Hepp, H. and S. Maciocia, "Servicio especializado: ABB ofrece un amplio abanico de servicios para las compañías de ferrocarriles". ABB Review 2/2010, 70–76.

Swiss Federal Railways (SBB) Action plan 2015 www.confederation-exemplary-in-energy.ch, retrieved January 2017.

SBB annual report 2015

Pruebas

Se llevaron a cabo amplias pruebas y mediciones en los laboratorios de ABB en Turgi, Suiza. Con ellas se obtuvo una simulación precisa de las condiciones operativas y se verificó la configuración de diseño al tiempo que se aseguraba la compatibilidad con los componentes existentes.

Puesto que los motores de tracción actuales se han desarrollado para corresponderse con los convertidores GTO originales de las locomotoras, los nuevos convertidores IGBT tienen que probarse con dichos

— **La substitución completa de los convertidores GTO empleando los nuevos convertidores de tracción basados en IGBT es una forma eficiente y económica de ampliar la vida operativa de las locomotoras.**

motores →5. La compatibilidad de la nueva tensión de salida con el aislamiento existente en el motor es crítica. La topología de tres puntos genera una configuración de armónicos similar a los convertidores originales y por lo tanto no presenta problemas. Se llevaron a cabo evaluaciones en el laboratorio de pruebas de ABB para asegurar que no se producían sobretensiones como consecuencia de la pendiente mayor de la tensión de conmutación de los IGBT. Estas pruebas se llevaron a cabo con éxito.

Los primeros dos convertidores se instalaron con éxito en una locomotora Re460 en los talleres de SBB en Yverdon-les-Bains. Esta locomotora se está probando actualmente en las líneas de ferrocarril de SBB. Las pruebas continuarán durante un año. Un total de 202 convertidores de IGBT refrigerados por agua, con una opción de 38 unidades más, será suministrado por ABB y montados por SBB. El programa de remodelación concluirá en 2022.

Listos para el futuro

Los sistemas de accionamiento del tren de CA de nivel tres presentados hace más de 25 años continúan demostrando su eficiencia energética y sus costes de mantenimiento mínimos. Como la propia Re460, estos sistemas reflejan una elocuencia de diseño básica y permanecen en buen estado mecánico, suficiente para seguir funcionando durante otros 20 años. Sin embargo, en caso de no abordarse, las dificultades técnicas asociadas con convertidores anticuados, los mayores tiempos de inmovilización, los mayores costes de mantenimiento y las dificultades para conseguir piezas de repuesto amenazan con afectar negativamente a su funcionamiento. La sustitución completa de los convertidores GTO empleando los nuevos convertidores de tracción basados en IGBT es una forma eficiente y económica de ampliar la vida operativa de estas locomotoras. La tecnología IGBT eleva el sistema a la de un material rodante moderno por lo que se refiere a la eficiencia energética, la regulación de la potencia de tracción y la facilidad de mantenimiento. ●

Consejo editorial

Consejo de redacción

Bazmi Husain
Director de Tecnología I+D y tecnología del Grupo

Adrienne Williams
Adrienne Williams
Asesor Jefe de Sostenibilidad

Christoph Sieder
Responsable de Comunicaciones Corporativas

Reiner Schoenrock
Comunicaciones de Tecnología e Innovación

Ernst Scholtz
Director de Estrategia de I+D
I+D y tecnología del Grupo

Andreas Moglestue
Jefe de redacción de ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

Editorial

ABB Review es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Technology Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Daettwil
Suiza
abb.review@ch.abb.com

ABB Review se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán y español. ABB Review 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 suscríbese 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 ©2017
ABB Switzerland Ltd.
Baden, Suiza

Impresión

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn/Austria

Diseño

DAVILLA AG
Zúrich, Suiza

Cláusula de exención de responsabilidad

La información contenida en esta revista refleja el punto de vista de sus autores y tiene 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

<http://www.abb.com/abbreview>



Edición para tablet
ABB Review también en su tablet.

La encontrará en abb.com/abbreviewapp

Manténgase informado

¿Alguna vez se ha perdido un número de ABB Review? Regístrese para recibir un aviso por correo electrónico en <http://www.abb.com/abbreview> y no vuelva a perderse ningún número.

Cuando se registre para recibir este aviso, recibirá también un correo electrónico con un enlace de confirmación. No olvide confirmar el registro.



—
Próximo número 02/2017

África

África es una de las mayores oportunidades de desarrollo del planeta, pero también uno de los mayores problemas. Con una población que llegará a 4.400 millones en 2100, ABB está innovando las tecnologías para prestar servicio a las necesidades del continente africano. El próximo número de ABB Review recogerá los principales ejemplos.