

ABB

1 | 14
es

review



Lo más destacado en innovación 6

Luz para medir la intensidad 13

Simulaciones combinadas 45

Enchufe con USB integrado 55

La revista técnica
corporativa

Innovación



Power and productivity
for a better world™



En este año del centenario, *ABB Review* mirará tanto hacia el futuro como hacia su pasado. La perspectiva de la historia ayuda a conocer mejor el presente y el efecto que las continuas innovaciones han ejercido sobre la empresa, el mercado y la propia sociedad a lo largo de los años. La fotografía de la portada representa un robot ABB trabajando en la fábrica de interruptores de ABB en Beijing, China. La de esta página corresponde a la fábrica de maquinaria de Stromberg en Vaasa, Finlandia en el decenio de 1940.



Lo más destacado en innovación

- 6 Lo más destacado en innovación**
Las innovaciones más destacadas de ABB para 2014

Innovaciones en la supervisión

- 13 Luz para medir la intensidad**
Sensor de intensidad de fibra óptica integrado en un interruptor automático de alta tensión
- 18 Imagen del estado de salud**
Un enfoque integrado de la gestión del estado de los activos

Innovaciones en la transformación

- 24 Vientos de cambio**
Diseño y prueba de la transmisión de una turbina eólica de 7 MW
- 28 Novedades en los frenos**
Productos de CC montados junto a las vías para mejorar la eficiencia de la tracción

Innovaciones en la simulación

- 34 Más velocidad**
Simulación en tiempo real de componentes de electrónica de potencia para aplicaciones ferroviarias y de otro tipo
- 40 Turbocompresión**
ACTUS es un nuevo software de simulación de ABB para grandes motores de combustión turboalimentados
- 45 Tren de modelos**
Combinaciones electromagnéticas y mecánicas simuladas para mejorar el diseño de transmisiones
- 50 Matriz de modelos**
Conceptos de simulación modularizada para el análisis y la optimización de interruptores

Innovaciones en la alimentación

- 55 Enchufe inteligente para teléfonos inteligentes**
Enchufe con conector USB integrado
- 59 Jugador experto**
El RPC PCS100 de ABB no se limita a compensar la potencia reactiva

Eternos pioneros

- 65 En armonía**
La provechosa historia del desarrollo conjunto de rectificadores y semiconductores para alta potencia

Innovación



Claes Ryttoft

Estimado lector:

Este año es muy especial para *ABB Review*: en 2014 se cumplen 100 años desde que se publicara por primera vez nuestra antecesora, *BBC Review*. Un siglo es mucho tiempo, sobre todo al ritmo al que evoluciona la tecnología, y los cambios de los que la revista dan testimonio documentan de forma muy sugestiva estos cien años de innovación ininterrumpida. Durante todo este año del centenario esperamos compartir con usted algunos logros del pasado junto con innovaciones modernas, vistas en algunos casos desde el centro de la propia innovación.

Al abrir el año del centenario con un número dedicado a la innovación, *ABB Review* mira al mismo tiempo hacia el futuro y hacia la historia. Parece, pues, apropiado que uno de los artículos esté dedicado a una forma nueva de medir la intensidad utilizando un descubrimiento muy antiguo. En 1845, Michael Faraday observó que los campos magnéticos afectan a la polaridad de la luz, una observación que durante muchos años se consideró de poca utilidad práctica. Hoy, ABB lo comercializa como medio para obtener mediciones exactas de la intensidad eléctrica sin contacto.

ABB sabe muy bien que, para obtener buenos resultados, nuestros clientes no solo buscan las tecnologías más avanzadas, sino que además necesitan manejarlas de forma fiable, económica y duradera. En un artículo sobre el estado de salud de los activos se explica por qué este campo cobra cada vez más importancia y cómo ABB proporciona valor añadido en este terreno.

El año pasado, *ABB Review* publicó varios artículos sobre simulación centrados en la forma en que los investigadores de ABB utilizan las tecnologías más avanzadas para entregar productos cada vez más sofisticados. Continuando por este camino, publicamos

otros cuatro artículos sobre simulación que cubren desde el análisis de interruptores hasta los turbocompresores. Con una orientación afín, un artículo sobre el diseño y la prueba de generadores eólicos permite estudiar un caso de implantación de la innovación.

Los dispositivos USB están presentes en todos los aspectos de nuestra vida personal y profesional, pero los cargadores ocupan demasiado sitio en la maleta cuando vamos de viaje y en muchos otros sitios. ¿Nunca ha deseado una forma más cómoda de cargar estos aparatos? Le presentamos una solución elegante: un enchufe con un conector USB integrado.

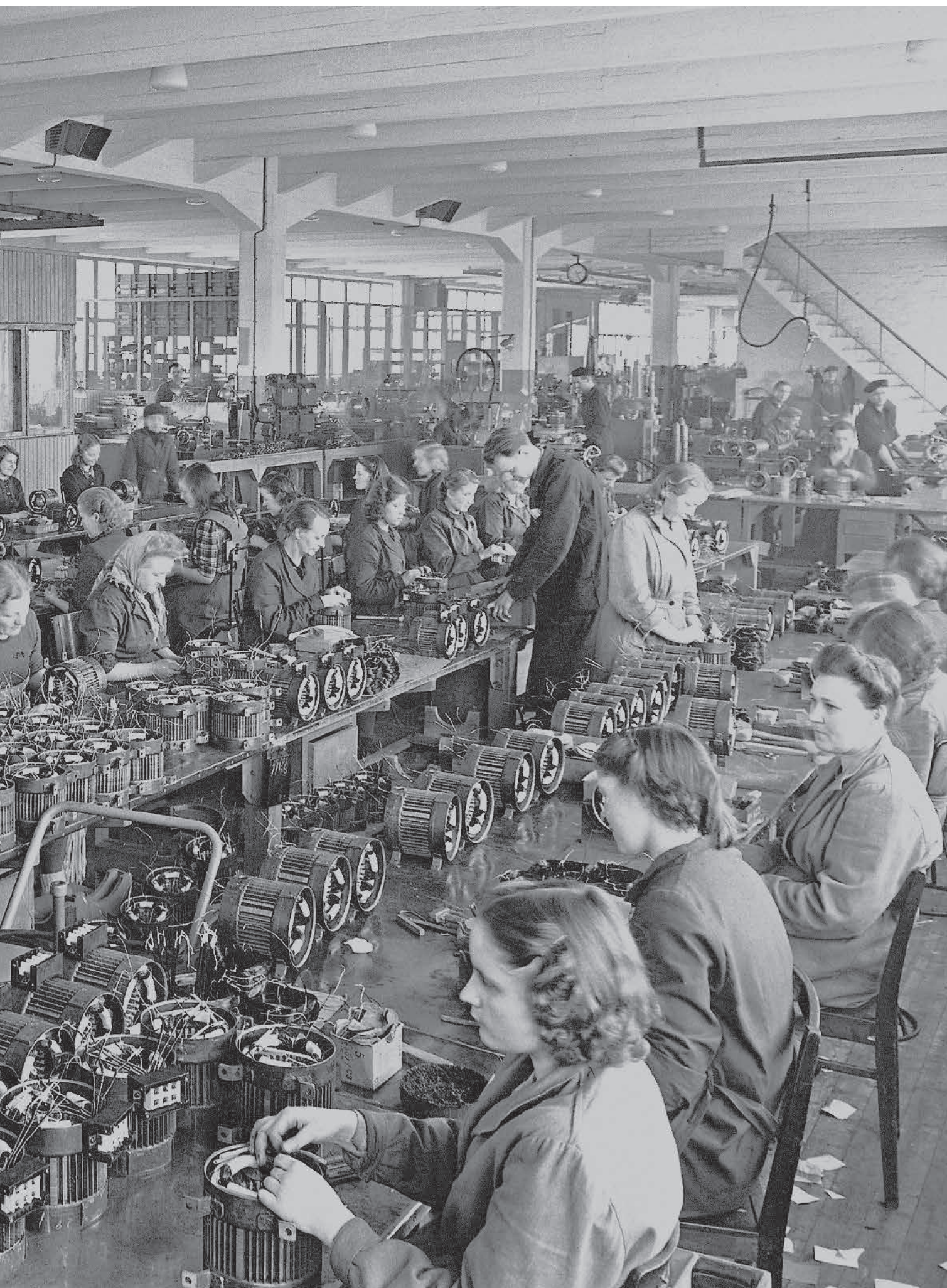
Este número se completa con un vistazo a la historia. En el número 2/2013, *ABB Review* repasó los cien años de participación de la empresa en la electrónica de potencia. Ese artículo se centraba sobre todo en los dispositivos de conmutación, desde las válvulas de mercurio hasta los semiconductores. En este número hemos repetido la misma historia desde la perspectiva del rectificador.

Por último, me gustaría aprovechar esta oportunidad para recordar a los lectores que además de la edición impresa, *ABB Review* se distribuye en formato electrónico, tanto en PDF como en una versión más interactiva para tablets. Encontrará más detalles sobre esto en www.abb.com/abbreview.

Que disfrute de la lectura.

Claes Ryttoft
Consejero Delegado de Tecnología y
Vicepresidente Senior del Grupo ABB





Lo más destacado en innovación

Las innovaciones más destacadas de ABB para 2014

ABB trabaja continuamente para reforzar su cartera de productos y crear nuevas tecnologías para situar estos productos a la vanguardia de la innovación.

Recogemos aquí una muestra de los innovadores logros de la empresa. En este número y en otros próximos de *ABB Review* se analizan con más detalle estos y otros avances tecnológicos.

Mayor duración de la batería

ABB está desarrollando una instrumentación realmente inalámbrica que genera electricidad captando energía del entorno.

Para resolver el problema de la escasa duración de las baterías en la instrumentación inalámbrica, en especial con tasas de actualización alta, ABB está diseñando dispositivos de baja potencia alimentados con una batería D normal, pero capaces de prolongar enormemente su duración captando electricidad del proceso que miden. Una célula Peltier de muy alta eficiencia integrada en los transmisores utilizará el gradiente térmico entre el proceso y el entorno para generar energía.

El transmisor de ABB se alimenta mediante un generador microtermoelectrónico (micro-TEG) integrado, que se alimenta a su vez de la diferencia de temperatura entre el proceso y el medio circundante. El dispositivo es capaz de funcionar independientemente de la batería con una diferencia de temperatura de aproximadamente 35 °C.

Los captadores térmicos están integrados en los transmisores de temperatura y se venden como una opción externa para transmisores de presión, sin necesidad de ningún otro dispositivo mecánico para la conexión o de circuitos electrónicos para la conversión y la adaptación de la energía.

Además, ABB estudia actualmente una plataforma inteligente de gestión de la energía que aceptará fuentes externas de alimentación y permitirá la conexión de diferentes captadores (vibración,



solar, etc.) para alimentar los dispositivos. La plataforma se extenderá a otras líneas de productos, como los transmisores de nivel y caudal.

Los dispositivos saldrán al mercado a principios de 2014, dentro de la serie respectiva: 266 Presión, TTF300 y TSP3xx Temperatura.

USB sin apagar la cafetera

Busch-Jaeger, miembro del Grupo ABB, ha desarrollado un enchufe SCHUKO® con una toma USB integrada.

Este galardonado producto resuelve con elegancia el problema, hasta ahora irresoluble, de encontrar un cargador USB y un cable y, a continuación, decidir qué electrodoméstico se desenchufa para enchufar el USB. Con la multiplicación de los dispositivos domésticos que se deben recargar en una toma USB, el enchufe SCHUKO con USB integrado facilitará la vida a muchos clientes.

El enchufe empotrado suministra una corriente de carga de hasta 700 mA e incluye protección para niños. Como el factor de forma coincide exactamente con los enchufes SCHUKO normales, montar los nuevos enchufes con USB es facilísimo.

La empresa ha desarrollado dos productos de carga USB para el enchufe SCHUKO USB: una fuente de alimentación USB y una estación de carga USB. La primera ofrece dos conectores USB de 700 mA (o uno de 1.400 mA) para cargar. La segunda incluye un soporte de dispositivo antideslizante y la carga se realiza mediante un conector micro-USB que suministra hasta 1.400 mA, suficiente para las tabletas de mayor consumo.



La base SCHUKO USB ha recibido varios premios internacionales, entre ellos el premio Audience Choice Award en el pabellón de diseño de la feria IFA 2013 de Berlín.

Encontrará más información en el artículo "Enchufe inteligente para teléfonos inteligentes", en la página 55 de este número de *ABB Review*.

Mayor eficiencia energética para trenes de CC con equipos de vía

Los vehículos ferroviarios regeneran la energía de frenado con sus motores de tracción (que funcionan como generadores). Casi siempre, una pequeña parte de esta energía cinética alimenta cargas embarcadas, mientras que el resto se devuelve a la red y se reutiliza si hay cerca coches acelerando. Si no los hay, el excedente se disipa, por lo general con resistencias embarcadas o montadas junto a la vía. El Sistema de recuperación de energía (ERS) Enviline™ de ABB evita este desperdicio y reduce el consumo total entre un 10 y un 30 por ciento sin necesidad de invertir en nuevo material rodante ni en sistemas de control de red.

El ERS Enviline™ consta de un inversor IGBT en paralelo con los diodos rectificadores de la subestación de CC. Con este sistema, la electricidad de la red de tracción de CC vuelve a la red de CA. El ERS no solo recupera la energía



de frenado, sino que también puede atenuar la energía reactiva con un efecto de filtrado activo para reducir el efecto de los armónicos y reforzar los rectificadores existentes.

Cuando no existe la opción de vender la electricidad excedente, ABB ofrece el Sistema de almacenamiento de energía (ESS) Enviline™ más pequeño, modular y flexible del sector.

Entre las ventajas del ESS están el mantenimiento de la tensión frente a bajadas, el aumento de la potencia de tracción durante la aceleración y la reducción de las penalizaciones por picos de demanda. Se puede utilizar también como sistema eléctrico de tracción instalado permanentemente o

como sistema móvil autónomo en sustitución de los sistemas eléctricos de tracción conectados a la red. Cuando se utiliza con las baterías, el ESS puede también suministrar alimentación de emergencia e incluso generar ingresos participando en el mercado eléctrico local, como en el proyecto de ABB con la Autoridad de Tráfico del Sudeste de Pensilvania (SEPTA), Estados Unidos. El ERS de ABB ganó un premio en la categoría de electrificación de la feria Railtex 2013 en Londres.

Encontrará más información en el artículo "Novedades en los frenos" en la página 28 de este número de la *ABB Review* y en <http://www.abb.com/railway>

Un lago que es una batería

Una de las grandes cualidades de la energía hidroeléctrica es que se puede almacenar para liberarla cuando se necesite, lo que la hace idónea para resolver los picos de demanda. El bombeo de reservas lleva este concepto un paso más allá: el agua se puede bombear a una reserva situada a más altura para atenuar los picos y valles de la demanda. El bombeo de reservas cobra cada vez más importancia en la regulación de la red y en el mantenimiento de la continuidad del suministro.

ABB ha entregado el convertidor de frecuencia más potente del mundo para bombeo de reservas a la planta Grimsel 2 de Kraftwerken Oberhasli AG (KWO), en Suiza. Esta planta conecta la reserva superior del lago Oberaar con el lago Grimsel, situado 400 m más abajo. Hasta el momento, el bombeo solo se podía controlar regulando el número de



bombas en funcionamiento, hasta un máximo de cuatro. El convertidor de frecuencia electrónico de 100 MW de potencia permite controlar la velocidad de una de estas bombas en función del excedente de energía disponible. Ahora la bomba se puede arrancar, utilizar y detener más deprisa, el agua se aprovecha con mayor eficacia y flexibilidad para la generación y, además, se incrementa la contribución de la planta a la estabilidad de la red.

A pesar del avance de otras tecnologías de almacenamiento, el bombeo de reservas sigue siendo el único medio

maduro y asequible de almacenamiento de la electricidad adecuado para la regulación de redes y, por lo tanto, desempeña un importante papel en el panorama futuro de la generación. El nuevo convertidor del lago Grimsel es una contribución a la Estrategia Energética Suiza para 2050, que tiene como fin garantizar la continuidad del suministro energético suizo y aumentar el uso de energías renovables.

El convertidor de frecuencia de Grimsel se describirá con más detalle en un próximo número de *ABB Review*.

Autobús de carga instantánea

Dos obstáculos que dificultan la adopción de vehículos eléctricos son los tiempos de carga largos y la necesidad de recargas frecuentes. En el caso del transporte público, el tiempo de inactividad asociado con la recarga de las baterías puede suponer un gran obstáculo para la viabilidad comercial de la tracción eléctrica. Además, el tamaño y el peso de las baterías a bordo aumentan el consumo y reducen el espacio disponible para los pasajeros. El autobús de demostración TOSA, que circula actualmente en la ciudad suiza de Ginebra, propone una respuesta elegante a este problema.

La tecnología de carga instantánea de ABB recarga el autobús en solo 15 segundos. Además, la carga se hace en las paradas en las que el autobús se debe detener obligatoriamente, por lo que no influye en los horarios. En cuanto el autobús se detiene en una parada, un contacto situado en el techo se eleva automáticamente para alinearse con una toma aérea con ayuda de una guía láser. A continuación, un cargador instantáneo entrega 400 kW durante 15 segundos. La energía suministrada es suficiente para recargar las baterías y, además, reduce la capacidad necesaria. Las baterías también se recargan cuando el vehículo frena. En la estación terminal se hace una recarga completa en la que se pueden entregar 200 kW durante 3 a 5 minutos utilizando el mismo contacto del techo.

Teniendo en cuenta que la entrega de 400 kW durante la carga instantánea puede poner a prueba la red eléctrica



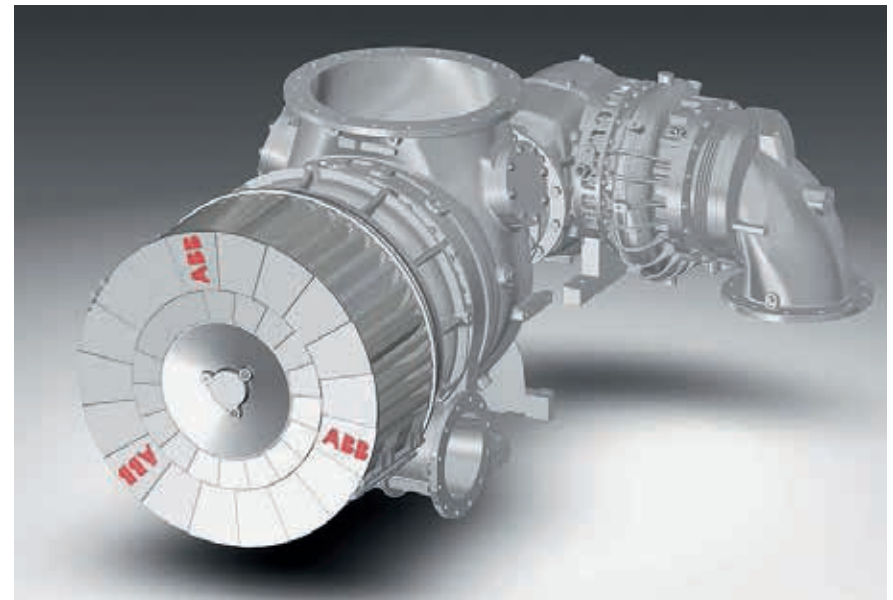
local, el cargador de las paradas utiliza supercondensadores para aplanar el pico de demanda y reducir la carga local en la red. A diferencia de las soluciones de recarga nocturna, TOSA se adapta naturalmente al uso de energía solar y a su disponibilidad diurna.

Encontrará más información en el artículo "Recarga rápida: la recarga instantánea es el billete para un transporte limpio" en la página 64 de *ABB Review* 4/2013.

Más potencia para la turbocompresión Power2

El turbocompresor de dos etapas es una importante tecnología que ofrece una reducción del consumo de combustible y las emisiones con un incremento de la densidad de potencia del motor. Con la serie Power2 800-M, ABB presenta una segunda generación de turbocompresores de dos etapas para grandes motores diésel y de gasolina de cuatro tiempos.

Los factores más importantes que impulsan el desarrollo de los modernos motores de cuatro tiempos y velocidad media son la elevada eficiencia total del motor, el bajo coste de explotación y la alta densidad de potencia, todo ello cumpliendo una legislación de emisiones cada vez más estricta. La segunda generación de Power2 de ABB presenta un sistema de turbocompresión de dos etapas que entrega



unas presiones de sobrealimentación de hasta 12 bar, lo que permite que los diseños de motores cumplan todos estos objetivos.

Todos los componentes de Power2 se han optimizado para hacer frente a los requisitos de un sistema de dos etapas que funciona en instalaciones marinas, de alta mar y de generación.

El nuevo sistema incorpora un cartucho extraíble con herramientas especiales de desmontaje fácil y un mantenimiento rápido, además de unas etapas optimizadas del compresor y la turbina para el funcionamiento combinado en un sistema de dos etapas. Se ha reducido el tamaño de todo el sistema para minimizar los requisitos de espacio con un rendimiento óptimo.

Grandes robots industriales: la nueva generación

Desde hace más de treinta años, ABB desarrolla grandes robots industriales para atender las necesidades de fabricación actuales. ABB acaba de presentar el robot más robusto de su historia. La séptima generación de grandes robots industriales, la IRB 6700, ofrece numerosas mejoras de nueva generación derivadas de las estrechas relaciones con los clientes y los exhaustivos estudios de ingeniería.

Los robots de nueva generación han aumentado el rendimiento y la fiabilidad y han reducido sustancialmente el coste de propiedad. Los robots IRB 6700

tienen mayores cargas útiles y mayor alcance, son más ligeros y precisos y su consumo eléctrico se ha reducido en un 15 por ciento.

Todos los robots de la familia 6700 se han diseñado para integrar la solución Lean ID, que permite colocar las partes más expuestas del paquete de terminación en el interior del robot. El equipamiento de un IRB 6700 con Lean ID facilita la programación y simulación con movimientos de cables predecibles, reduce el espacio ocupado y alarga los intervalos de revisión debido al menor desgaste.

Al diseñar el nuevo robot, la facilidad de mantenimiento se consideró un aspecto decisivo para mejorar el coste total de propiedad. Las rutinas de revisión del equipo se han acortado, y se han alargado los intervalos entre revisiones. Además, se ha mejorado el acceso a



los motores. Los seis primeros robots de la familia, con cargas útiles de 150 a 235 kg y alcances de 2,6 a 3,2 m, se presentaron a finales de 2013. Se están desarrollando otras dos variantes del robot para atender cargas útiles de hasta 300 kg, con un lanzamiento previsto para finales de 2014.

El PLC de seguridad AC500-S acelera y simplifica la ingeniería de seguridad

El controlador lógico programable (PLC) de seguridad AC500-S es una nueva incorporación a la cartera de productos PLC AC500 de ABB. Ofrece a los ingenieros funciones flexibles y potentes que aceleran y simplifican el desarrollo de soluciones seguras de control, incluso con aplicaciones de control de gran complejidad. Ya se ha utilizado con éxito en grúas, montacargas, robots y turbinas eólicas.

El AC500-S incluye una arquitectura de doble procesador que cumple los niveles SIL3/PLe de seguridad funcional. Se programa mediante el Generador de automatización, un paquete de ingeniería integrado de ABB para PLC AC500, paneles de control CP600, accionamientos, control de movimientos y robots.



El PLC dispone de muchas funciones nuevas adecuadas para el mercado de la maquinaria de seguridad, que incluyen soporte para programación de texto estructurado (ST) de alto nivel, lógica de escalera y diagramas de bloques de función. La inclusión del soporte de programación ST representa una función exclusiva en el mundo del PLC y simplifica el desarrollo cuando se integran algoritmos y cálculos matemáticos complejos. El PLC AC500-S de seguridad ofrece una selección de módulos de E/S de seguridad con certificación SIL3/PLe, que incluye entradas y salidas digita-

les, y un módulo de entrada analógico específico de 0–20 mA (o 4–20 mA). Para simplificar el diseño del sistema y mejorar la productividad, los módulos de E/S de seguridad se pueden instalar como parte de la solución PLC principal, o ubicarse en un bastidor de E/S remoto conectado a través de un protocolo PROFINET/PROFIsafe. El nuevo PLC AC500-S de seguridad está perfectamente integrado en la plataforma escalable PLC AC500, lo que permite al cliente elegir el nivel de rendimiento adecuado a la aplicación, además de operar en condiciones adversas y climas extremos.

SafeRing Air: una solución compacta

ABB ha desarrollado una unidad principal en anillo (RMU) tan compacta como la RMU aislada en gas SF₆ tradicional, pero en la que se utiliza aire seco, respetuoso con el medio ambiente, como gas de aislamiento, lo que evita el uso intensivo de materiales epóxicos.

La solución SafeRing Air utiliza un gas aislante que forma parte de la atmósfera sin necesidad de aumentar las dimensiones físicas del producto. SafeRing Air está disponible para un máximo de 12 kV en configuraciones de disyuntor e interruptor de separación de carga para aplicaciones de

RMU que requieren soluciones alternativas.

El diseño de la armadura se basa en un sistema completamente sellado con un recipiente de acero inoxidable que contiene todos los componentes bajo tensión y las funciones de conmutación. Safe-Ring Air es idóneo para subestaciones secundarias compactas, industria ligera y aplicaciones de edificios e infraestructuras. SafeRing Air ofrece una funcionalidad completa de tres vías con el mismo espacio que el SafeRing actual aislado con SF₆ y es perfecto para instalaciones nuevas y aplicaciones de renovación.

El diseño de la armadura se basa en la cartera actual de SafeRing/SafePlus, por lo que no varían la interfaz de usuario, el espacio, los repuestos y el funcionamiento en obras de renovación.



Aparamenta digital

Las tecnologías innovadoras han mantenido el desarrollo continuado de la aparamenta de ABB durante casi un siglo.

UniGear Digital combina un diseño probado UniGear con una solución única para la protección, el control, la medición y la comunicación digital. En el nuevo diseño, se integran en cada panel sensores de intensidad y tensión de última generación al lado de los IED Relion multiuso de ABB, que garantizan la compatibilidad con el protocolo IEC 61850 de comunicación digital. La proximidad de las funciones de conmutación y comunicación permite una reducción del plazo de entrega de hasta un 30 por ciento, mayor sencillez de instalación, puesta en servicio y pruebas, y un ahorro energético de hasta 150 toneladas equivalentes de CO₂ en

comparación con una subestación convencional UniGear ZS1 de 14 alimentadores con una vida útil de 30 años.

El uso de los paquetes de conectividad IED permite que la conexión de la aparamenta digital al sistema SCADA de un cliente sea más sencilla y rápida. Las nuevas aplicaciones de alto rendimiento, como la transferencia de barras de alta velocidad y la distribución rápida de cargas, son posibles gracias al enfoque digital, lo que permite un mayor rendimiento. UniGear Digital está configurado para facilitar la flexibilidad y la expansión sin necesidad de ningún cableado complejo añadido.

El uso de sensores de intensidad y tensión mejora mucho la seguridad, ya que no hay riesgo de circuitos de intensidad abiertos o ferorresonancia en los transformadores de tensión. Además, los sensores permiten acortar el plazo de entrega hasta un 30 por ciento, debido a la normalización de las variantes, lo que elimina la necesidad de transforma-



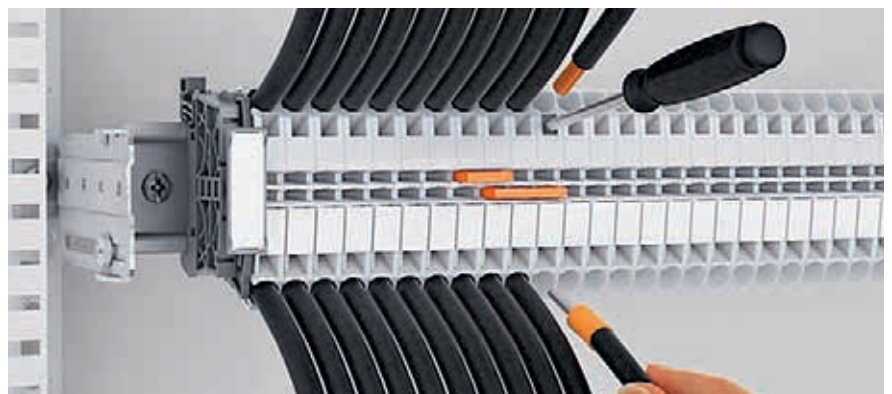
dores de instrumentación realizados bajo pedido. La implementación de la comunicación basada en IEC 61850-9-2 en la aparamenta garantiza unas funciones de protección y control de gran fiabilidad.

UniGear Digital está actualmente disponible para valores nominales de hasta 17,5 kV, 4.000 A y 50 kA. ABB tiene previsto ampliar el concepto digital a la totalidad de la cartera UniGear de 12 a 24 kV.

Bloques de terminales de alto rendimiento con tecnología sin tornillos

Los armarios de control se están convirtiendo en una imagen habitual en un número creciente de entornos industriales. A estos armarios llegan decenas de cables (millares en grandes instalaciones), y cada uno debe tener una terminación adecuada, ya que una sola conexión defectuosa puede provocar el fallo de toda la instalación. ABB acaba de presentar un nuevo bloque de terminales patentado PI-Spring, para aplicaciones estándar y de lujo que mejora la fiabilidad de las conexiones.

Los bloques de terminales PI-Spring permiten la conexión a presión de conductores rígidos o flexibles con férula; los conductores flexibles sin férula se pueden conectar accionando el resorte del bloque con un destornillador durante la inserción. La conexión de



cables es un 50 por ciento más rápida que con las tecnologías corrientes.

Los conectores PI-Spring son resistentes a las vibraciones, los golpes y los entornos agresivos. Las certificaciones mundiales permiten el acceso a los mercados de todo el mundo y a numerosas aplicaciones industriales, entre las que se encuentran los entornos peligrosos y los trabajos marinos.

Teniendo en cuenta que los modos de encaje a presión y de resorte se ejecutan en un único perfil, el inventario se puede reducir en un 50 por ciento.

Además, la gama PI-Spring comparte los mismos accesorios que la gama de terminales de tornillo SNK de ABB, y

todas las secciones finales de PI-Spring encajan en gran número de bloques, lo que reduce aún más el trabajo de logística. El diseño asimétrico de los bloques permite la detección visual inmediata de los bloques de terminales invertidos. El marcado previo y rápido con un bolígrafo antes del etiquetado final se facilita gracias a la gran superficie plana de marcado. El ángulo de 30° de la entrada del conductor ahorra un 15 por ciento de altura y permite al mismo tiempo un radio de curvatura generoso.

Los bloques de terminales PI-Spring de ABB se presentarán con más detalle en un próximo número de la *ABB Review*.





Luz para medir la intensidad

Sensor de intensidad de fibra óptica integrado en un interruptor automático de alta tensión

KLAUS BOHNERT, RICHARD THOMAS, MICHAEL MENDIK – Las mediciones de intensidad y tensión son dos funciones clave en el control y la protección de las redes eléctricas. Tradicionalmente, se han llevado a cabo con los denominados transformadores de medida, aparatos voluminosos que pueden pesar varias toneladas. Hace tiempo que se piensa que los instrumentos basados en fibra óptica que aprovechan el efecto Faraday tienen un gran potencial como una atractiva nueva tecnología para la medición de la intensidad. El notable progreso alcanzado en las telecomunicaciones ópticas durante los últimos 20 años ha proporcionado componentes como fuentes luminosas, fibras ópticas, moduladores y fotodetectores que pueden reutilizarse para producir sensores de intensidad de fibra óptica (FOCS) que son fiables y comercialmente atractivos. Por otro lado, los FOCS también se han beneficiado del rápido desarrollo en los últimos años de los giroscopios de fibra óptica, que utilizan técnicas que aprovechan los mismos efectos físicos básicos.

Imagen del título

Durante muchas décadas, la medición de intensidades en equipos de alta tensión se ha basado en transformadores voluminosos que podían pesar varias toneladas. Ahora se sustituirán por el sensor de intensidad de fibra óptica de ABB, cuyo pequeño tamaño permite integrarlo en equipos primarios como interruptores automáticos.

Hace más de 40 años se admitió que el efecto Faraday en las fibras ópticas podría ser la base de una nueva y mejor tecnología para la medición de intensidades.

las comunicaciones ópticas ha proporcionado muchos componentes que pueden reutilizarse para los FOCS, como fuentes luminosas, fibras ópticas, moduladores y fotodetectores.

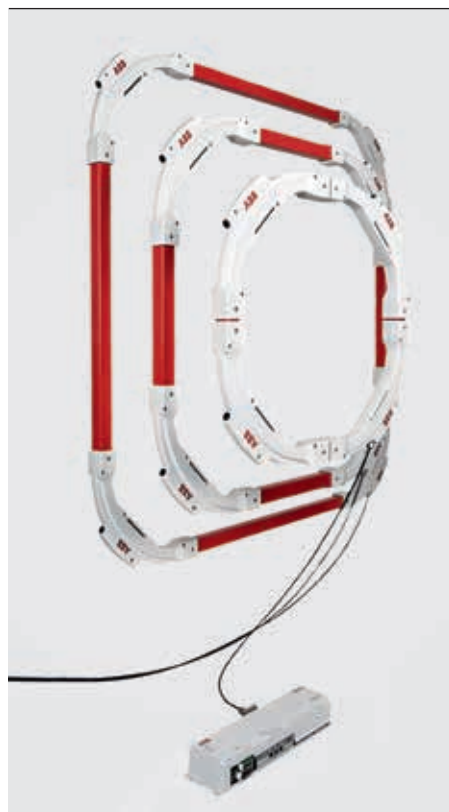
Los FOCS también se han beneficiado del desarrollo de los giróscopos de fibra óptica. En la actualidad, los giróscopos de fibra se utilizan en numerosos sistemas de navegación, por ejemplo en la industria aeroespacial. Estos giróscopos utilizan técnicas similares a las que utilizan los FOCS para medir el desplazamiento de fase diferencial de las ondas luminosas. Mientras que en los giróscopos el desplazamiento de fase es el resultado de una rotación (el efecto Sagnac), en los sensores de intensidad ópticos responde al campo magnético de la corriente que se quiere medir.

Historia de los FOCS

En 2005, ABB presentó un sensor de intensidad de fibra óptica de alto rendimiento para mediciones de CC de hasta 600 kA, especialmente para su utilización en el beneficio electrolítico de metales [1,2] → 1. La precisión del sensor está dentro del 0,1 por ciento en un intervalo del 1 al 120 por ciento de la intensidad nominal y en temperaturas de -40 a $+80$ °C. El sensor se utiliza actualmente en todo el mundo en plantas de aluminio, instalaciones de beneficio electrolítico de cobre, plantas de cloro e incluso instalaciones de investigación de fusión nuclear.

Recientemente, ABB ha desarrollado aún más el sensor con vistas a incorporarlo en subestaciones de alta tensión. Por su

1 Sensor de intensidad de fibra óptica para valores de CC elevados



pequeño tamaño y factor de forma flexible, un sensor de intensidad óptico no tiene por qué ser un dispositivo independiente, como un transformador de medida clásico. Se puede integrar en equipos primarios de alta tensión, como interruptores automáticos, con el consiguiente ahorro de espacio y coste de instalación. Otro aspecto importante de la nueva tecnología es su capacidad para la comunicación digital, mediante un bus de proceso óptico, con dispositivos de control y protección. El bus de proceso sustituye a un gran número de cables de cobre y proporciona una mayor flexibilidad en la configuración de una subestación.

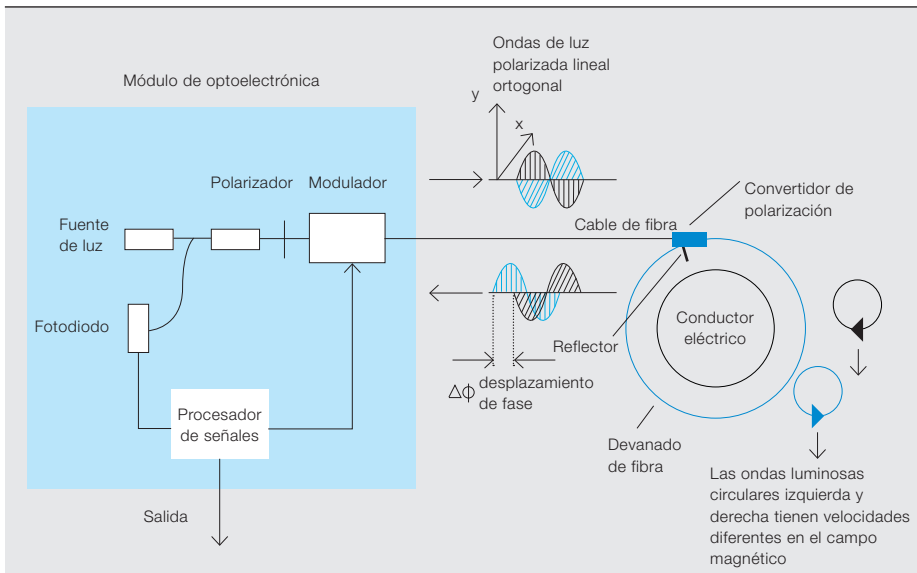
Cómo funciona

El FOCS aprovecha el efecto Faraday. El efecto Faraday se debe a que las ondas polarizadas circularmente a izquierdas y derechas se propagan a velocidades ligeramente diferentes cuando viajan en un medio sometido a un campo magnético. Para aprovechar el efecto, se descompone una onda polarizada linealmente en dos componentes polarizados circularmente que a su vez se emparejan en una fibra óptica que se expone a un campo magnético (producido, en el caso que nos ocupa, por la corriente que se desea medir). El desplazamiento de fase relativo

En la actualidad, las intensidades en equipos de alta tensión se miden con transformadores de intensidad (CT) voluminosos y pesados. Estos utilizan el principio de la inducción electromagnética para generar una pequeña corriente secundaria, normalmente de 1 A o 5 A de intensidad nominal, a partir de una corriente primaria, que a su vez sirve como entrada para relés de protección o contadores de energía. Estos transformadores han representado durante muchas décadas la tecnología más avanzada y funcionan de manera fiable en las condiciones exigentes propias de una subestación al aire libre. Pero, además de su tamaño y peso, presentan varios inconvenientes, el más importante de los cuales es que, como resultado de la saturación magnética y la limitada anchura de banda, la forma de onda de la corriente secundaria no suele ser una imagen fiel de la corriente primaria.

Hace más de 40 años se admitió que el efecto Faraday en las fibras ópticas podría ser la base de una nueva y mejor tecnología para la medición de intensidades. Pero sólo en los últimos veinte años la tecnología adecuada ha madurado lo suficiente para servir de base comercialmente atractiva para aplicaciones de FOCS. El notable progreso alcanzado en el mundo de

2 Sensor de intensidad de fibra óptica



entre los dos componentes producido por la diferencia de velocidades causada por el efecto Faraday hace rotar la orientación de la polarización lineal de la onda. Esto puede utilizarse para deducir la magnitud de la intensidad de la corriente.

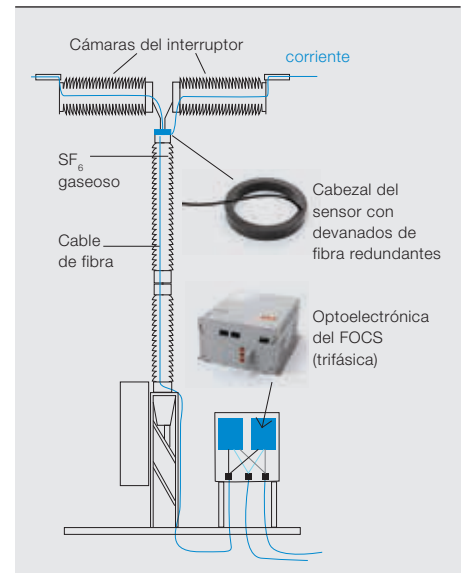
Los componentes principales del FOCS son un módulo optoelectrónico (OE) al potencial de tierra y una bobina de fibra de detección devanada en torno al conductor de corriente → 2. El módulo OE incluye una fuente luminosa de semiconductores y un circuito de detección en bucle cerrado con un polarizador de fibra óptica, un modulador de fase óptico y un procesador de señal digital. El módulo envía dos ondas luminosas con polarización lineal ortogonal a la bobina de fibra de detección. A la entrada de la bobina, un convertidor de polarización de fibra óptica transforma las ondas lineales en ondas luminosas polarizadas circularmente a izquierdas y derechas. Estas ondas viajan a diferentes velocidades a través de la fibra de detección en el campo magnético (producido por la corriente) como consecuencia del efecto Faraday, como ya se ha explicado anteriormente, y esto a su vez determina una diferencia de fase óptica. Las ondas se reflejan al final de la fibra y repiten su trayectoria óptica de vuelta al módulo optoelectrónico, donde interfieren en el polarizador. La señal que resulta de la interferencia depende de la diferencia de fases y se mide mediante un fotodiodo. El circuito de control en bucle cerrado invierte el desplazamiento de fase inducido por la

corriente por medio de un modulador de fases de forma que la diferencia de fase de las ondas cuando interfieren en el polarizador se mantiene siempre a cero. La señal de respuesta al modulador es básicamente una imagen de la corriente primaria, y la salida del sensor digital se deduce de esta señal. Una ventaja particular de este esquema de detección en bucle cerrado es que la señal es perfectamente proporcional a la corriente primaria en toda la gama de medición.

La diferencia de fase en el viaje de ida y vuelta de las dos ondas luminosas es proporcional al número de espiras de fibra y la integral de línea del campo magnético a lo largo de la trayectoria cerrada que describe la fibra de detección. Los parámetros geométricos, como el diámetro de la bobina o la posición del conductor dentro de la bobina de fibra, no afectan a la señal. Las intensidades fuera de la bobina no tienen ninguna influencia.

El funcionamiento de la fibra de detección en el modo de reflexión tiene la ventaja de que el sensor es inmune a las perturbaciones mecánicas. El extremo de la bobina reflejado intercambia los estados de polarización de las ondas luminosas. Como consecuencia, los cambios de fase provocados por las vibraciones se anulan entre sí a lo largo de la ida y vuelta de las ondas mientras los desplazamientos de fase magneto-ópticos no recíprocos se duplican. El concepto básico del sensor se inventó en ABB en 1992 y ha sido adoptado por otros.

3 Integración del FOCS en un interruptor de depósito activo



Mediante una adecuada selección del número de espiras de fibra, se puede optimizar el margen de medición para aplicaciones concretas. El sensor que aquí se describe tiene un campo de medición de ± 180 kA. El margen de trabajo de temperaturas del cabezal del sensor es de menos de -40°C a 105°C . El módulo OE está diseñado para trabajar en un armario de exterior calentado. Puede funcionar con tres bobinas de fibra para cubrir las tres fases que se encuentran normalmente en una instalación de alta tensión.

Ventajas del FOCS

Las ventajas específicas del FOCS son:

Precisión elevada

Dentro del ancho de banda determinado por la velocidad de transmisión de datos de salida, el sensor ofrece una imagen realista de la forma de onda de la intensidad primaria que no se ve afectada por la saturación magnética o la remanencia. Los contenidos de CC de una corriente quedan correctamente registrados. El sensor se dirige tanto a aplicaciones de protección como de medición.

Impacto ambiental reducido

El FOCS ahorra el aluminio, el cobre, los aislantes y el aceite de transformador de un CT convencional equiparable. Por ejemplo, un CT de 550 kV puede pesar unas 3,5 toneladas y llevar 500 kg de aceite.



Los FOCS también se han beneficiado del desarrollo de los giróscopos de fibra óptica.

Espacio potencialmente nulo

El sensor no tiene por qué ser un dispositivo separado, sino que puede integrarse en otros productos eléctricos como interruptores automáticos o aisladores → 3.

Seguridad de funcionamiento

Se evitan los riesgos por fallo catastrófico, por ejemplo, durante terremotos, o aspectos de seguridad debidos a un circuito secundario abierto. La electrónica está separada galvánicamente de la alta tensión.

Comunicación digital

Un bus de proceso de fibra óptica IEC 61850-9-2LE conecta el FOCS al control y a los dispositivos de protección a nivel de bahía y sustituye grandes cantidades de cable de cobre, hasta varias decenas de kilómetros por subestación. También proporciona mayor flexibilidad en la configuración o la reconfiguración posterior de una subestación. La velocidad de transmisión de datos de comunicación es de 4 o 4,8 kHz a frecuencias de línea de 50 o 60 Hz, respectivamente. Con otras opciones de interfaz son posibles mayores velocidades de

datos (por ejemplo, de hasta 100 kHz), que puedan ser de interés en otras aplicaciones.

FOCS en interruptores de depósito activo

El pequeño tamaño y la fácil adaptación de una bobina de fibra del sensor de intensidad permite integrar éste en otros productos eléctricos. Por ejemplo, se puede integrar un sistema FOCS trifásico redundante en un interruptor automático de doble cámara de ABB, como el HPL550B2 de 550 kV → 3-4. Cada uno de los tres anillos del cabezal del sensor que se muestran en la figura contiene dos bobinas de fibra y está montado en el extremo superior del polo correspondiente del interruptor. El recorrido de la corriente se modifica de tal manera que circule por las bobinas como se indica. Las dos conexiones de fibra a las bobinas son de un cable de protección especial adecuado para la atmósfera de gas del interruptor de depósito activo (LTB). El cable pasa a masa a través del volumen del gas y sale del polo del interruptor por un pasacables hermético. Los dos módulos OE trifásicos van montados en un armario cerca del interruptor o están unidos a su bastidor de apoyo. Conexiones redundantes IEC 61850-9-2LE unen los sensores a relés de protección tales como el REL670 de ABB en la carcasa de control → 5. La solución tiene muchas ventajas:

- Instalación en fábrica: La integración de los cabezales del sensor en el LTB y de los módulos de OE en su armario se hace en fábrica. El único trabajo de instalación sobre el terreno es configu-



rar el armario para los módulos OE y colocar los cables de fibra.

- El cabezal del sensor forma parte del polo LTB y no interfiere con el conjunto del LTB en el trabajo sobre el terreno. De hecho, sólo se necesitan cambios menores en los procedimientos de montaje del LTB.
- No hay necesidad de un aislador adicional para llevar la fibra de la alta tensión a masa.
- Ocupación de espacio nula: se elimina el espacio necesario para un CT convencional o un CT óptico separado. Esto reduce el tamaño de la subestación y ahorra costes de propiedad de terreno, especialmente cuando se combinan los sensores con interruptores automáticos de desconexión [3].
- Ya no se precisan los cimientos y estructuras de soporte para el CT.
- La colocación en el exterior de los módulos optoelectrónicos cerca del LTB reduce al mínimo la longitud del cable de fibra del sensor necesario.
- La transmisión de señales ópticas digitales de la electrónica del sensor a la función de control de la subestación a través de las conexiones redundantes del IEC 61850-9-2LE es inmune a las perturbaciones.

Se ha comprobado que el diseño del LTB con un FOCS integrado cumple las pruebas de tipo pertinentes según las normas IEC. Las pruebas realizadas incluían pruebas de alta tensión, pruebas T100 (comprobación del funcionamiento del interruptor automático con intensidades y tensiones elevadas), pruebas de subida de temperatura (aumento de la tempera-



tura con una intensidad de $4.000\text{ A}_{\text{ms}}$) y pruebas de resistencia mecánica que consisten en más de 10.000 operaciones de apertura y cierre del interruptor. Se verificó el correcto funcionamiento del sensor antes, durante y después de las pruebas. Otras pruebas confirmaron la inmunidad electromagnética del sensor.

Confirmación de la fiabilidad

La tecnología FOCS ya ha sido probada en el ambiente agresivo de la industria de beneficio electrolítico a lo largo de varios años. Pero las exigencias de fiabilidad en subestaciones de alta tensión son aún más estrictas: por ejemplo, no debe precisarse ningún mantenimiento especial ni recalibración durante toda su vida útil en la instalación. Por lo tanto, la fiabilidad de los FOCS y sus componentes se está comprobando mediante pruebas de envejecimiento acelerado y de comportamiento a largo plazo realizadas internamente. Funciones de autodiagnóstico supervisan continuamente el funcionamiento del sensor. Además, instalaciones precomerciales realizadas a pie de obra sirven para adquirir experiencia sobre la instalación y la puesta en marcha de la nueva tecnología y para probar su fiabilidad en las condiciones de la subestación.

Piloto tecnológico

Se ha hecho una instalación piloto de FOCS en colaboración con Svenska Kraftnat (red nacional sueca) en una subestación de 420 kV → 6-7. La instalación se compone de un LTB trifásico con un sistema FOCS trifásico redundante. Los dos equipos OE están montados en el cubículo de accionamiento del inte-

rruptor de la fase B. Dos conexiones IEC 61850-9-2 unen las unidades OE a dos relés digitales REL670 de ABB en la carcasa de control. Un CT con protección y núcleos de medición sirve de referencia. Una fuente de un impulso por segundo sincroniza el sistema. Los datos se registran a intervalos regulares para la comparación a largo plazo. La función de protección puede solicitar que se efectúen registros de perturbación. Además de comprobar las prestaciones y la fiabilidad del sensor en condiciones de campo, el piloto ha servido para verificar los procedimientos de montaje en fábrica, y la instalación y puesta en servicio sobre el terreno.

El sistema funciona sin incidentes desde abril de 2010. El comportamiento ha cumplido las especificaciones. Además, la superioridad de un FOCS sobre un CT convencional en el registro de corrientes de fallo transitorias ha sido obvia. Esto puede dar lugar al desarrollo en el futuro de funciones de protección y control más eficientes.

Mirando al futuro

La tecnología FOCS servirá como plataforma para otras aplicaciones de alta tensión. El diámetro variable del cabezal de detección permite que el sensor se adapte fácilmente a equipos de alta tensión tales como la aparamenta aislada en gas (GIS) o los interruptores automáticos del generador. Eligiendo adecuadamente el número de espiras de fibra, se puede conseguir asimismo una alta precisión a intensidades bajas, por ejemplo, en mediciones de corriente de secuencia cero. Unas funcio-



nes de protección y supervisión de subestaciones nuevas o mejoradas pueden ser la consecuencia de la respuesta rápida de los FOCS y su medición precisa tanto en CA como en CC transitoria.

Klaus Bohnert

ABB Corporate Research
Baden-Dattwil, Suiza
klaus.bohnert@ch.abb.com

Richard Thomas

ABB Power Products
Ludvika, Suecia
richard.thomas@se.abb.com

Michael Mendik

anteriormente ABB Power Products
Mt. Pleasant, PA, Estados Unidos
michael.mendik@sma-america.com

Referencias

- [1] K. Bohnert, P. Guggenbach, "Una revolución en la medición de alta corriente continua," *ABB Review* 1/2005, pp. 6-10.
- [2] K. Bohnert, et al., "Highly Accurate Fiber-Optic DC Current Sensor for the Electrowinning Industry," *IEEE Transactions on Industry Applications* vol. 43, no. 1, pp. 180-187, 2007.
- [3] L. Jing, et al., "Small footprint, high performance: Design of an air-insulated switchgear substation based on new technology," *ABB Review Special Report: Dancing with the dragon*, pp. 38-42.

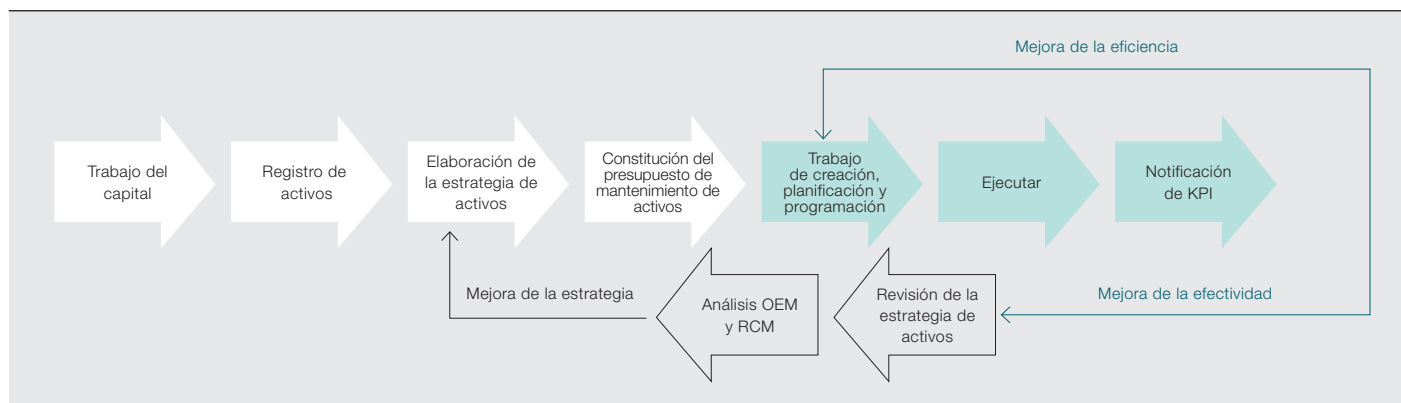


Imagen del estado de salud

Un enfoque integrado de la gestión del estado de los activos

KAREN SMILEY, SHAKEEL MAHATE, PAUL WOOD, PAUL BOWER, MARTIN NAEDELE – Los sectores que hacen un uso intensivo de activos se enfrentan a una presión creciente para mejorar la forma de utilizar y mantener los equipos. La gestión del estado de los activos está surgiendo como un proceso empresarial esencial debido al efecto muy considerable que las decisiones sobre activos tienen sobre la rentabilidad, el cumplimiento y la satisfacción de los clientes. Para orientar las decisiones más informadas y eliminar gastos inútiles, el

Asset Health Center, AHC, de ABB combina inteligencia empresarial y análisis de activos e incorpora conocimientos expertos de equipos industriales y relaciones verticales. ABB está potenciando sus conocimientos de transporte de energía para ayudar a una importante empresa eléctrica norteamericana a optimizar su gasto de capital y sus planes de explotación y mantenimiento. La nueva herramienta de Subject Matter Expert (SME) ampliará en mayor grado estos análisis y llevará la gestión de estado de activos a otras áreas.



Un activo es un recurso físico intensivo en capital con un ciclo de vida e, inevitablemente, con unos costes → 1. En los sectores que utilizan muchos activos, su adecuada gestión es esencial para el éxito. Debido a la preocupación creciente que causan factores como el envejecimiento de las infraestructuras, las presiones económicas, el marco regulador y la pérdida de cualificación de la plantilla por jubilación, las estrategias tradicionales de mantenimiento de activos basadas únicamente en acción-reacción o en programación ya no cumplen los objetivos comerciales de muchos de los clientes industriales de ABB. Las decisiones sobre activos afectan por lo general a muchos procesos de negocio, por lo que los responsables de la toma de decisiones deben considerar múltiples horizontes de planificación y comparar las ventajas y los inconvenientes de distintos objetivos. El análisis de activos basado en el conocimiento puede caracterizar el efecto de diversas opciones de decisión en térmi-

nos de su efecto sobre los indicadores fundamentales de rendimiento empresarial.

Sin embargo, el conocimiento de los activos está repartido a menudo por toda la organización y por sus proveedores de servicios y puede estar “almacenado” en las mesas o en los ordenadores de los ingenieros, en documentos de tratamiento de textos, hojas de cálculo, diagramas de flujo, etc. Captar este conocimiento y hacerlo utilizable en el análisis de activos de las empresas es un problema vital.

Múltiples fuentes de datos sobre activos

El análisis de activos puede combinar los registros tradicionales de estado con datos de explotación, metadatos de registro y datos procedentes de sensores, pruebas e inspecciones. A medida que los sistemas se vuelven más complejos y numerosos, crece el volumen de datos. Los datos de estado de los activos pueden ser inutilizables por estar perdidos en registros convencionales en papel o fuera de línea, o se pueden perder debido a un almacenamiento deficiente aunque estén en línea y actualizados. A menudo, los datos se almacenan en bases de datos de distintos proveedores y estos sistemas pueden incluso utilizar distintas formas de identificar de forma exclusiva un mismo activo.

Estos problemas de datos y análisis se pueden resolver mediante planificación detenida, instrumentación, intercambio de datos e innovación. En algunas zonas del mundo, las empresas eléctricas están impulsando con decisión la instalación en sus equipos de sensores de estado para aumentar la visibilidad de su comportamiento. Sin embargo, el procesamiento de datos y los análisis que utilizan los datos de los que ya dispone un cliente pueden impulsar la gestión del estado de los activos. Por ejemplo se pueden importar datos aislados o extraer datos de activos analizando y procesando registros fuera de línea.

Actuar sobre datos de activos

Además de la dificultad que supone recolectar e integrar todos los datos disponibles sobre activos, existe también el problema

El análisis de activos puede caracterizar el efecto de diversas opciones de decisión en términos de su efecto sobre los indicadores fundamentales de rendimiento empresarial.

de saber lo que se debe hacer en cada activo a lo largo de su ciclo de vida. El análisis de activos que aprovecha el conocimiento de los mismos permite a las empresas utilizar estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el estado de los activos. El mantenimiento correctivo puede, en algunos casos, ser la mejor opción, pero sin herramientas adecuadas

Imagen del título

El Asset Health Center de ABB ofrece a los clientes las informaciones prácticas necesarias para tomar y poner en práctica las decisiones más adecuadas para sus empresas sobre la explotación y el mantenimiento de activos.

Para obtener resultados óptimos, los clientes necesitan conocimientos prácticos sobre cómo pueden afectar a sus objetivos a lo largo del tiempo sus decisiones y planes sobre explotación y mantenimiento de activos.

2 Impulsores de la integración de activos (GTM Research, 2013) [1]

Tipo de impulsor	Impulsor	Motivo
Económico	Fiabilidad	Reducir el riesgo de multas legales
		Reducir las interrupciones del servicio no planificadas
		Reducir el efecto del cambio demográfico del personal
		Prolongar la vida útil de los activos y disminuir los tiempos de parada
	Eficiencia del personal	Apoyar la toma de decisiones de prioridades de mantenimiento Mejorar la programación de las cuadrillas de mantenimiento La automatización del proceso de análisis reduce los costes laborales
No económico	Control del riesgo	Reducir el riesgo de fallos catastróficos y los daños colaterales
	Optimizar el aprovechamiento de los activos	Mejorar el conocimiento del estado de los activos para promover la atención dinámica
	Cumplimiento e información	Acortar el tiempo de elaboración de informes del rendimiento Formalizar la evaluación, la vigilancia y la adquisición de activos
		La disminución del coste de las comunicaciones y los avances tecnológicos han hecho que la comunicación con sensores alejados y aislados sea más barata y más accesible.
	Potencia de adquisición y procesamiento de datos	El aumento del número de dispositivos digitales de vigilancia y control en sectores industriales y de servicios están creando una corriente enorme de datos que pueden procesarse a un coste cada vez menor gracias a la informática distribuida y a la disminución drástica del coste del hardware.
	Aumento de la integración empresarial	Los silos operativos continúan acercándose a medida que la integración entre sistemas y grupos dentro de las empresas que utilizan gran cantidad de activos también aumenta impulsada por la decisión de la organización de aprovechar datos de toda la empresa para mejorar la eficiencia.

e integradas entre sí, las empresas no pueden tomar las decisiones más eficaces sobre activos. Para obtener resultados óptimos, los clientes necesitan conocimientos prácticos sobre cómo pueden

La plataforma FocalPoint siempre ha proporcionado a los clientes análisis de datos y visualización específicos para el sector, por lo que supone una buena base para proporcionar análisis de activos a los sectores intensivos en activos a los que presta servicio ABB. El uso de las funcionalidades de la plataforma para integrar los datos procedentes de varios sistemas distintos ofrece una

En sectores intensivos en activos, la gestión adecuada de los mismos es esencial para el éxito de la empresa.

afectar a sus objetivos a lo largo del tiempo sus decisiones y planes sobre explotación y mantenimiento de activos. El Asset Health Center (AHC) de ABB se ha diseñado para superar las dificultades de proporcionar esos conocimientos vitales.

Asset Health Center

El objetivo del AHC es captar y agregar datos, crear conocimiento y prestar apoyo a la toma de decisiones para conseguir una amplia variedad de ventajas económicas y no económicas → 2. El AHC se basa en la plataforma FocalPoint de ABB de inteligencia empresarial (BI).

amplia visión de cada activo. En particular, reuniendo datos procedentes de sistemas informáticos tradicionales (como por ejemplo un programa de gestión de activos de la empresa o una herramienta de inspección móvil) y sistemas como SCADA o una red especializada de sensores y analizando estos datos de forma global, se abrirán nuevas posibilidades para evaluar los riesgos y justificar decisiones de mantenimiento o sustitución de activos.

El AHC combina la integración y el análisis de tecnologías de la información y de explotación mediante paneles, como en el monitor de activos → 3, y visualizaciones

3 El monitor de activos AHC proporciona informes fáciles de interpretar sobre el riesgo y las consecuencias del fallo en la cartera de activos, como esta hoja de transformadores.



específicas de los dominios para proporcionar información a los planificadores, a los responsables de la toma de decisiones y a los ejecutivos.

Ventajas del AHC

Los cuatro componentes del AHC se complementan entre sí → 4. Se incluyen como entradas para los análisis los datos maestros del activo, y se visualizan los resultados del rendimiento de los activos y datos sobre el diagnóstico de su estado. En base a los resultados de los análisis de apoyo a la decisión sobre el activo, se adoptan decisiones y se activan medidas de servicio, que a su vez conducen a información actualizada sobre el activo.

Dentro de su estructura analítica, el AHC realiza para cada activo el diagnóstico y analiza su importancia y los módulos de optimización. Los expertos en transformadores e interruptores en redes de transporte y distribución de energía de ABB han desarrollado los algoritmos que constituyen el núcleo de estos módulos.

Los datos de análisis de estado de activos se pueden utilizar en toda la empresa. De hecho, un enfoque integral para mejorar la gestión de activos complementa

las herramientas genéricas de inteligencia empresarial (BI) aprovechando el conocimiento de tales expertos en activos y en dominios.

Potenciar los conocimientos sobre activos en el análisis

Los expertos en la materia (SME) saben cómo se ensambla un sistema complejo, sus características y soluciones de compromiso, las decisiones clave del diseño técnico, los entornos en los que el activo puede operar y cómo las actualizaciones o acontecimientos de mantenimiento pueden influir en el buen estado de un activo o sistema. El conocimiento de los SME se aprovecha en muchos tipos de análisis de activos relevantes para el sector, por ejemplo:

- Estado de los activos: los modelos de rendimiento de los activos caracterizan su estado o condición. Esto incluye cuantificar la probabilidad de avería o disminución del rendimiento, identificar las causas probables de un determinado estado y recomendar medidas de mejora.
- Importancia de los activos: los modelos de criticidad de los activos describen la importancia de éstos caracterizando la repercusión de los cambios

en su estado sobre el rendimiento de la empresa industrial. Esto incluye el efecto en las operaciones, la consecuencia de las actividades de restauración y las interdependencias con otros activos.

- Apoyo a las decisiones sobre activos: los análisis de apoyo a las decisiones sobre activos combinan conocimientos y datos para orientar eficazmente las decisiones en este terreno.

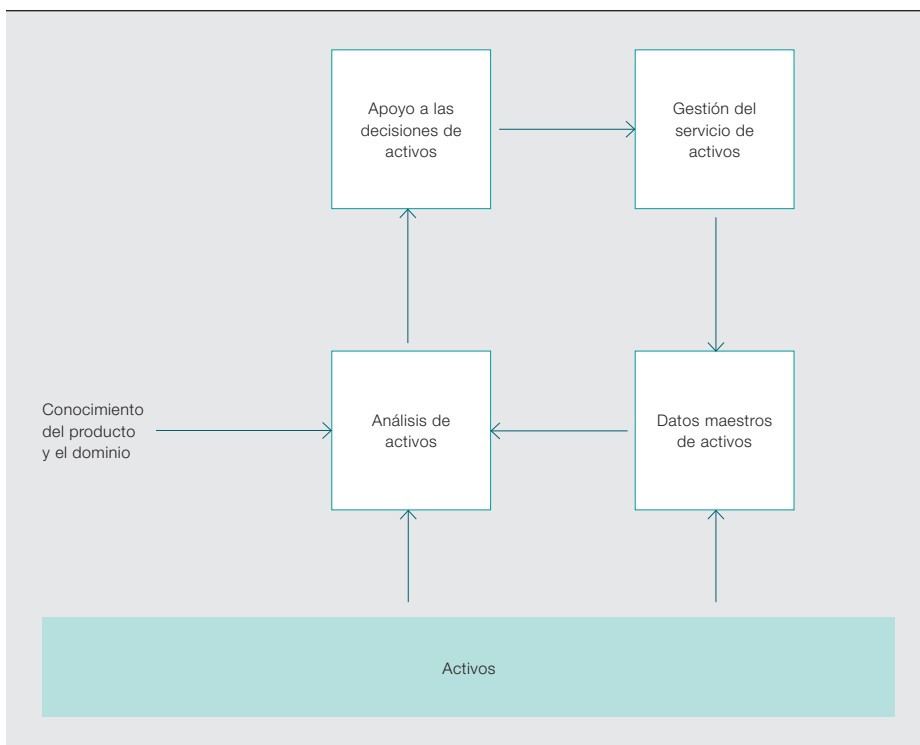
Por ejemplo, un análisis útil de apoyo a la decisión para una empresa regional de transporte de electricidad puede considerar el riesgo de sufrir un fallo total, combinando información de estado y de criticidad, para determinar los presupuestos óptimos de gastos totales de capital y los planes de explotación y mantenimiento para cada uno de los dos próximos años.

Agilización de la creación de análisis por expertos en activos

Es fundamental facilitar en lo posible que los expertos en activos transformen su conocimiento de los activos y del dominio en módulos ejecutables del sistema de software. Para ello hay tres acciones fundamentales:

La herramienta SME permite el análisis del activo a través de múltiples verticales industriales con una herramienta común de desarrollo y permite a los expertos de activos, de datos y de rendimiento concentrarse en lo que conocen mejor.

4 El Centro de Estado de Activos (AHC) de ABB integra todos los componentes necesarios para la gestión total de activos.



- Incluir conocimientos de los expertos de ABB en el software para toda la amplia variedad de equipos y sistemas que ofrece ABB.
- Captar modelos de rendimiento de activos del cliente para complementar el conocimiento de la materia de ABB (“programación de usuario final”).
- Permitir a terceros (por ejemplo, otros proveedores o consultores expertos) aportar módulos complejos de diagnóstico de activos a través de una interfaz de programación de aplicaciones (API).

La herramienta SME se creó para satisfacer estas tres necesidades y cumplir este objetivo. Admite análisis de activos en múltiples sectores industriales con una herramienta común de desarrollo y permite a los expertos en activos, en datos y en rendimiento concentrarse en lo que conocen mejor.

Liberar a los expertos en activos para que se centren en el conocimiento

La herramienta SME permite a los expertos en activos crear algoritmos sin necesidad de saber cómo se consiguen o se almacenan los datos, y los libera de la necesidad de comprender cómo funcionarán los algoritmos en un entorno empresarial. Los expertos en activos ahora pueden describir de forma natural sus conoci-

mientos utilizando editores visuales como diagramas de flujo, árboles de decisión y otras herramientas familiares.

A medida que un equipo de expertos colabora para construir un modelo de rendimiento de los activos, los dispositivos del modelo se almacenan en un repositorio en la nube, mientras que la herramienta de SME proporciona infraestructura para probar localmente el modelo analítico.

Ventajas de la herramienta SME

La herramienta SME permite que cualquiera con conocimientos de activos desarrolle rápidamente nuevos complementos de modelos analíticos. La interfaz visual de “arrastrar y soltar” ayuda a los expertos en activos a convertir rápidamente sus ideas y algoritmos en módulos de software de alto rendimiento. Las cajas de herramientas personalizadas proporcionan a SME un acceso fácil a los cálculos y las funciones de análisis de fiabilidad que son más relevantes para el análisis de activos. Además de permitir a los SME compartir de forma eficaz sus conocimientos, la herramienta de SME puede ampliarse con nuevos editores adaptados para simplificar los análisis de recursos para diferentes dominios.

Reuniendo datos de sistemas de TI y sistemas de TO tradicionales como SCADA y analizándolos de manera integral, se abrirán nuevas posibilidades para evaluar riesgos y soportar decisiones sobre mantenimiento o sustitución de activos.

La herramienta de SME y la interfaz de programación de aplicaciones (API) permiten a los clientes o a terceros, incluidos los proveedores de activos ajenos a ABB, aportar análisis que se pueden integrar sin problemas en la estructura de análisis de AHC. Este enfoque permite captar y difundir el conocimiento que puede propagarse por toda la organización.

Reutilización y extensiones a nuevos dominios

Los clientes iniciales de AHC de ABB son las empresas eléctricas, por lo que los primeros análisis de diagnóstico de recursos se orientaron a equipos de la red eléctrica. Una de las ventajas de la arquitectura de AHC es que la plataforma BI (inteligencia empresarial) y las herramientas SME son independientes del dominio. ABB tiene un conocimiento de dominio sólido en muchas verticales de sectores intensivos en activos, como el gas, el petróleo, el agua, la minería y la navegación. Esta oferta para el estado de los activos se extenderá a estos otros sectores a medida que los expertos en activos y dominios de ABB utilicen las herramientas SME para aportar sus conocimientos.

Internet para activos inteligentes

La idea de ABB para el futuro de la gestión del estado de los activos se basa en un sistema que integra información sobre el activo con los conocimientos de diagnóstico, la presentación de información práctica y el soporte para ejecutar dichas acciones. ABB puede, para este fin, integrar el diagnóstico de activos y los análisis desarrollados por expertos con su cartera de aplicaciones potentes y de eficacia probada que cubren:

- Gestión de activos de la empresa en sectores intensivos en capital
- Visualización y desglose de la información sobre activos

- Planificación de personal de servicio y soporte de tareas

El análisis, los paneles, la visualización y la posibilidad de formular preguntas y obtener respuestas valiosas son cosas necesarias, pero no suficientes. Los activos con sensores de estado y funciones de red serán cada vez más frecuentes, mientras que los diseños y conocimientos de activos seguirán evolucionando. El AHC soporta una solución de bucle cerrado que puede predecir el rendimiento de los activos y ayudar a optimizar la explotación y el mantenimiento, los gastos e inversiones de capital. El AHC impulsa el rendimiento de los activos y optimiza los resultados del negocio obteniendo continuamente información de una gran variedad de activos, sistemas y sensores inteligentes, que el motor avanzado de análisis procesa para obtener conocimientos aplicables.

La gestión del estado de los activos está emergiendo como un proceso empresarial cada vez más crítico porque afecta a la cuenta de resultados de los clientes. ABB está avanzando con un AHC integrado que combina inteligencia empresarial y análisis. Utilizando la herramienta SME para facilitar el desarrollo y la integración de los análisis, se pueden obtener conocimientos y aplicarlos para proporcionar una mejor orientación para tomar decisiones a sectores intensivos en activos ABB está ahora cumpliendo un contrato para ofrecer esta solución AHC al mayor propietario de equipos de transporte de Norteamérica. Facilitando la obtención y el uso de los conocimientos sobre una materia, se pueden aprovechar más conocimientos para mejorar aún más los análisis y para aplicar la solución a otras verticales.

Karen Smiley

Shakeel Mahate

ABB Corporate Research,
Sistemas de Software Industrial
Raleigh, NC, Estados Unidos
karen.smiley@us.abb.com
shakeel.mahate@us.abb.com

Paul Wood

Ventyx, una compañía de ABB
Sacramento, California, Estados Unidos
paul.wood@ventyx.abb.com

Paul Bower

Ventyx, una compañía de ABB
Atlanta, GA, Estados Unidos
paul.bower@ventyx.abb.com

Martin Naedele

ABB Power Systems,
automatización y comunicación
Baden, Suiza
martin.naedele@ch.abb.com

Referencia

- [1] GTM (GreenTech Media) Research (26 de julio de 2013). "Evaluating Asset Health: Prioritizing and Optimizing Asset Management." Available: <http://www.ventyx.com/~media/files/whitepapers/wp-assethealth-ventyx-gtm.ashx?download=1>

Lecturas recomendadas

"An Anatomy of Asset Management." (26 de julio de 2013). Disponible: <http://theiam.org/what-is-asset-management/anatomy-asset-management>

Ventyx. (26 de julio de 2013) "Asset Health." Available: <http://www.ventyx.com/en/ga/demand-asset-health.aspx>

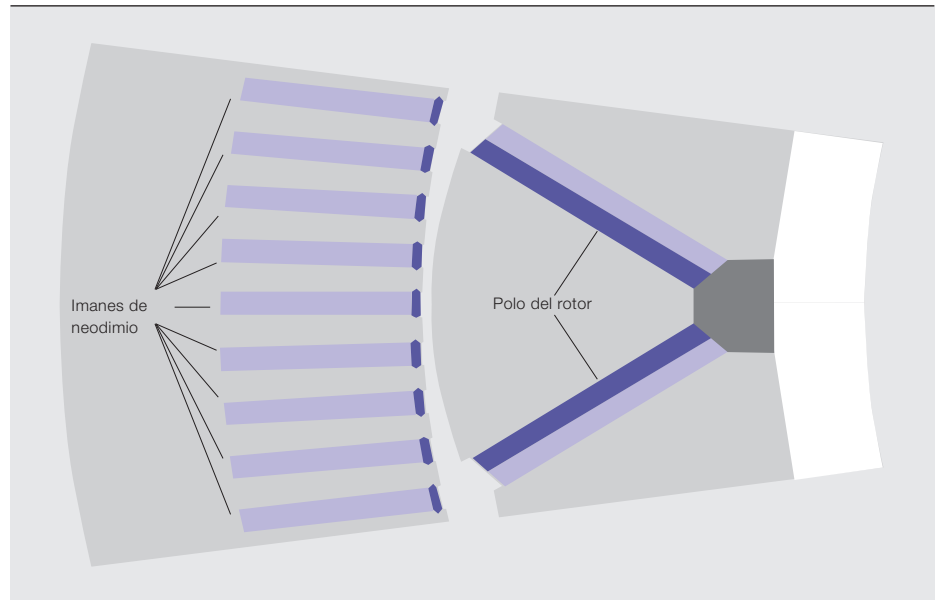
"Normas internacionales ISO 55000 de gestión de activos." (26 de julio de 2013). Disponible en: <http://www.assetmanagementstandards.com/>



Vientos de Cambio

Diseño y prueba
de la transmisión
de una turbina
eólica de 7 MW

ERKO LEPA, TOBIAS THURNHERR, ALEXANDER FAULSTICH – Se están instalando turbinas eólicas en todo el mundo a un ritmo frenético. Con la enorme inversión de capital que se está haciendo en este tipo de equipos, es esencial elegir la mejor tecnología. Hasta ahora, el mercado de transmisiones para turbinas eólicas ha estado dominado por generadores de inducción de alimentación doble, pero va aumentando la cuota de mercado de conceptos basados en la conversión total. De éstos, se puede mostrar que el tipo de media tensión (MV) y velocidad media ofrece las mejores características para aplicaciones de generación comercial. Los sistemas de media tensión proporcionan una solución de baja intensidad que reduce al mínimo las pérdidas en los cables, facilita el diseño del generador y permite el uso de un convertidor robusto de media tensión con una alta disponibilidad; la velocidad media permite una solución compacta, ligera y de rendimiento máximo en comparación con todas las demás opciones. Merece la pena diseñar con cuidado los componentes de una turbina eólica, como se ilustra aquí mediante el diseño y la prueba de integración de una unidad de 7 MW.



Los conceptos de transmisión eléctrica de alimentación doble y conversión total dominan actualmente en las turbinas eólicas para aplicaciones de generación comercial. Las diferencias principales entre ambos principios son el tipo y el tamaño del generador y la función del convertidor. El mercado ha estado dominado por el generador de inducción de alimentación doble, pero el diseño de conversión total está aumentando su cuota de mercado. Varios factores determinan este cambio, entre ellos el cumplimiento de los códigos de red y la generación optimizada con vientos de baja velocidad.

En el concepto de conversión total, el convertidor desconecta el generador y la transmisión mecánica de la red y toda la energía generada llega a la red pasando por el convertidor. Este se encarga de controlar el par y la velocidad del generador.

Hay tres variantes en el concepto de conversión total, cada uno de las cuales utiliza diferentes soluciones para la caja

reductora y el generador: de baja velocidad (o transmisión directa), de media velocidad y de alta-velocidad. En todos los casos se suelen utilizar generadores síncronos de imanes permanentes (PMSG) y generadores de inducción de jaula de ardilla (SCIG).

Conversión total de baja velocidad

El convertidor total de baja velocidad (LSFC), también conocido como de transmisión directa sin reductora, utiliza un generador de gran diámetro y baja velocidad (hasta 30 rpm). Se suelen utilizar generadores síncronos de imanes permanentes o de excitación independiente con un solo cojinete.

Conversión total de velocidad media

En el convertidor total de velocidad media (MSFC) se utiliza una reductora de una o de dos etapas con un generador compacto de imán permanente de velocidad media (MS PMG). La velocidad nominal del generador oscila entre 100 y 500 rpm. Este concepto ocasiona menos esfuerzos mecánicos debido a la menor velocidad y a la solución de reductora integrada. La reductora integrada contribuye a disminuir el tamaño total.

Conversión total de alta velocidad

El convertidor total de alta velocidad (HSFC) funciona a unas 1.000 a 2.000 rpm, es mecánicamente similar a la máquina de inducción de alimentación doble y utiliza una reductora normal de tres etapas. El tamaño total es pequeño.

Las ventajas principales son menor peso y menor tamaño del generador.

Elección de la transmisión

Como cada tipo de transmisión da lugar a pesos, tamaños y necesidades de mantenimiento de la turbina diferentes, la elección ha de ser cuidadosa y debe tener en cuenta todos los requisitos de la turbina, las homologaciones necesarias y las especificaciones del código de la red.

Elección de la tensión

El concepto de velocidad elegido no determina la tensión del sistema. Esta se elige en función de la potencia necesaria. Según una pauta aproximada, para generadores de hasta 3 MW, se escoge una tensión baja (por ejemplo, 690 V). Por encima de este valor, es aconsejable elegir una tensión media (por ejemplo, 3,3 kV), sobre todo para reducir la intensidad en el convertidor. Con una intensidad menor, las pérdidas en los cables son menores. Además, se simplifica el diseño y el aprovisionamiento de piezas.

Elección de la velocidad del generador

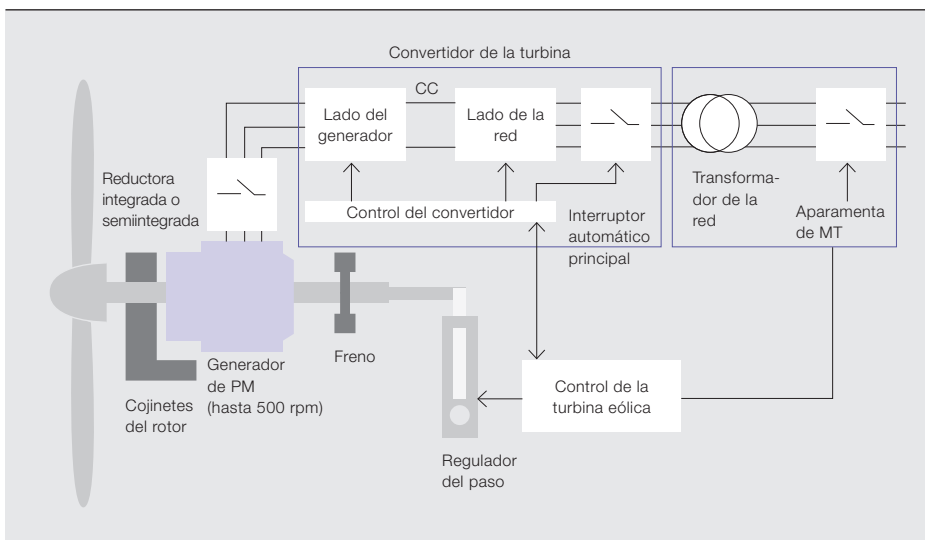
La elección de la velocidad de giro depende de las características particulares de los componentes de la transmisión: reductora, generador, convertidor y transformador.

Perspectiva de la inversión directa

Dependiendo del diseño, la potencia de la turbina, los requisitos de la red eléctrica y los precios de mercado de los materiales, el concepto de alta velocidad suele tener

Imagen del título

La elección de los componentes adecuados del sistema, como este generador refrigerado por agua de velocidad media e imanes permanentes, puede aportar ventajas enormes a lo largo de la vida útil de una turbina eólica. ¿Cuáles son los aspectos críticos del diseño?



Los PMSG de velocidad media proporcionan un rendimiento de más del 98 por ciento, el mayor de cualquier diseño de generador eólico comercial.

los costes de inversión directa más bajos. La transmisión directa suele ser la solución más costosa, y la de media velocidad es un poco más cara que la de alta velocidad. Pero los costes de mantenimiento, la disponibilidad y la distribución anual de vientos contribuyen también a los costes durante la vida útil, y sólo un análisis de todos los aspectos puede determinar la opción más beneficiosa.

Eficiencia de los distintos conceptos

Los cálculos indican que el concepto de velocidad media con un PMSG ofrece la máxima eficiencia en el punto nominal. De hecho, los PMSG de velocidad media proporcionan un rendimiento de más del 98 por ciento, el mayor de cualquier diseño de generador eólico comercial. El rendimiento es también alto para cargas parciales en condiciones de viento débil, lo que permite la mayor producción anual de kWh. Además, las reductoras se inte-

gran sin dificultad para obtener una solución compacta y la menor velocidad de giro significa menos desgaste de los componentes del tren de transmisión.

Elección del tipo de generador

El factor de potencia de un generador de inducción (IG) disminuye cuando aumenta el número de polos y se acorta el paso entre polos. Por lo tanto, los IG son competitivos con generadores síncronos (SG) cuando el número de polos es pequeño; por tanto, los IG son muy competitivos en aplicaciones de alta velocidad. En aplicaciones de velocidad media, el rendimiento de los IG es considerablemente menor. En general, cuanto mayor sea el diámetro del generador, mayor será su rendimiento. A medida que aumenta el número de polos de los SG, se puede aumentar el diámetro del espacio de aire y se dispone de más flexibilidad en el dimensionamiento de la frecuencia nominal.

Para máquinas de baja velocidad, las únicas opciones son el PMSG o el generador síncrono de excitación eléctrica de alta velocidad (EESG). Ambos proporcionan un rendimiento superior con vientos de hasta 8 m/s, aproximadamente del 0 al 40 por ciento de la potencia nominal de la turbina. Por encima de esto, hay otras opciones muy competitivas.

En un PMSG el rotor es más ligero, el rendimiento del generador es mayor y el tamaño de la máquina es menor, puesto que no hay sistema de excitación. Por lo tanto, los PMSG ofrecen las mayores ventajas técnicas en el terreno del accionamiento directo (DD).

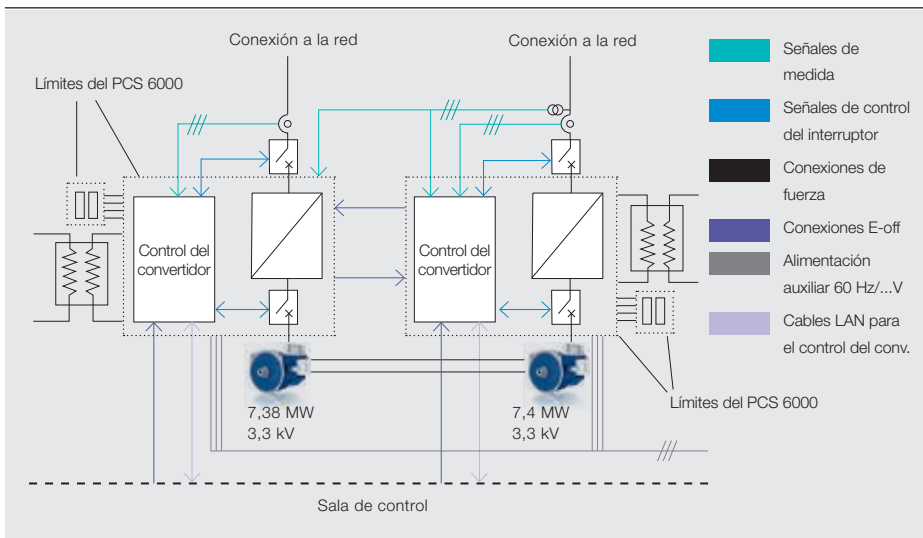


Diseño de un PMSG de velocidad media

Se ha diseñado y probado un PMSG y convertidor de velocidad media de 7 MW. Hay varios aspectos del diseño importantes:

- Debido a la distancia que hay entre el generador y el transformador y a la gran potencia de la turbina, se ha elegido un PMSG con un convertidor de media tensión.
- Los cálculos han demostrado que, desde el punto de vista de prestaciones y la fabricación, eran viables las soluciones de 14 a 20 polos. Los diseños con 16 y 18 polos eran muy similares, con diferencias insignificantes en pérdidas, factor de potencia, fuerza contraelectromotriz y masas de material activo. Las inductancias y el ángulo de carga eran algo menores en el diseño de 18 polos, que fue por tanto el elegido.
- Después de muchos cálculos, optimizaciones y análisis, se diseñó una configuración de polos del rotor de tipo en V → 1. Se eligieron imanes de neodimio con una elevada fuerza coercitiva

4 Configuración dorso contra dorso



intrínseca basándose en simulaciones de carga brusca y en condiciones de cortocircuito con distintas propiedades magnéticas y temperaturas.

- En la fase de diseño, es importante identificar frecuencias de resonancia potencialmente perjudiciales en la estructura mecánica y proporcionar suficiente amortiguación y rigidez para soportar las fuerzas que intervienen. Es igualmente importante que la estrategia de modulación del convertidor y la frecuencia de conmutación sean ajustables. Según la experiencia, una variación de unos 50 Hz en la frecuencia de conmutación desplazará la frecuencia de excitación del punto de resonancia y puede disminuir apreciablemente el ruido y las vibraciones.

Diseño del convertidor

El convertidor utilizado para el tren de transmisión eléctrico de la turbina eólica de 7 MW se basa en un tiristor de puerta integrada conmutada (IGCT) de media tensión con una topología de punto neutro fijo (NPC) de tres niveles. El IGCT combina las pérdidas reducidas de conducción y la fiabilidad de un tiristor con la capacidad de desconexión total. La tensión nominal del convertidor de 3,3 kV no sólo permite reducir el esfuerzo y las pérdidas en los cables en comparación con un convertidor de menor tensión de salida, sino también utilizar menos semiconductores y disminuir los puntos de fallo. El diseño modular del convertidor de la familia de productos PCS 6000 de ABB permite una disposición mecánica personalizada de los componentes del convertidor, independientemente de que el convertidor

se coloque en la torre, la góndola o un contenedor separado fuera de la turbina, con diferentes disposiciones posibles → 2-3.

Pruebas de integración

Para la prueba de integración, se acoplaron mecánicamente dos generadores y se conectaron ambos a la red mediante un convertidor de frecuencia → 4. Un PCS 6000 movía el generador conectado como un motor, o lo que se conoce como máquina motriz principal. Este accionaba a su vez el otro generador, que devolvía potencia generada a la red a través del otro convertidor. Con esta configuración de prueba, sólo había que compensar desde la red las pérdidas del sistema completo. La configuración permite que el generador trabaje a la potencia nominal, siempre que el convertidor de accionamiento pueda trabajar con la potencia nominal de la turbina y cubrir las pérdidas totales de la configuración.

El aumento de temperatura del generador fue el calculado, y las temperaturas finales de los componentes del convertidor permanecieron por debajo de los límites de los mismos. La tensión del generador sin carga fue menor que la calculada, y esto redujo el factor de potencia del generador. A pesar de ello, los valores principales del generador fueron los calculados. La prueba de cortocircuitos trifásicos tras una subida de temperatura demostró que los imanes del generador estaban protegidos contra la desmagnetización, como se había diseñado. Se midieron las vibraciones y el ruido emitido en el generador y los valores estuvieron muy por debajo de los

criterios de la IEC. El rendimiento del generador fue del 98,17 por ciento en el punto nominal y superó lo esperado en otros puntos de carga.

Se probaron distintas frecuencias de conmutación en toda la gama de velocidades en diferentes modos de modulación. Los mejores resultados se consiguieron con una frecuencia portadora de modulación de amplitud de pulso fija de 720 Hz o superior en toda la gama de velocidades, en el modo asíncrono. El modo asíncrono proporcionó resultados favorables porque la frecuencia de conmutación y sus bandas laterales no produjeron puntos de resonancia peligrosa en ninguna velocidad de giro.

La media tensión proporciona ventajas en las aplicaciones de turbinas eólicas de varios megavatios en comparación con los sistemas de baja tensión. Los sistemas de media tensión ofrecen una solución de intensidad baja que reduce al mínimo las pérdidas en el cableado, facilita el diseño del generador y permite el uso de un convertidor robusto de media tensión con un alto nivel de disponibilidad. El concepto de velocidad media con PMSG es una solución compacta de peso reducido y rendimiento máximo cerca del punto nominal, en comparación con todos los demás conceptos. Pruebas sucesivas del tren de transmisión eléctrico demostraron que el generador y el convertidor de ABB cumplen los requisitos del cliente y de la IEC. Las discrepancias entre los valores calculados y los medidos estaban dentro de los límites aceptables.

Esta combinación de velocidad media y media tensión tiene muchas ventajas importantes, no sólo para el cliente (el fabricante de la turbina) sino también para el explotador del parque eólico y el cliente final.

Erko Lepa

ABB Discrete Automation and Motion,
Motors and Generators
Helsinki, Finlandia
erko.lepa@ee.abb.com

Tobias Thurnherr

Alexander Faulstich
ABB Discrete Automation and Motion,
Power Conversion
Turgi, Suiza
tobias.thurnherr@ch.abb.com
alexander.faulstich@ch.abb.com



Novedades en los frenos

Productos de CC a pie de vía para mejorar la eficiencia de la tracción

MICHAL LODZINSKI – Aunque ferrocarriles y tranvías se encuentran entre los medios de transporte más eficientes, siguen consumiendo gran cantidad de electricidad, en especial durante la aceleración. La cantidad de energía necesaria para acelerar un vehículo que pesa cientos de toneladas, aunque solo sea hasta velocidades moderadas, es enorme, por lo que cualquier aumento de la eficiencia energética llevará aparejados importantes beneficios económicos. Las técnicas regenerativas, en las que la energía de frenado se reutiliza para la aceleración, son bien conocidas, pero su potencial dista de estar bien aprovechado. ABB ofrece una panoplia completa de soluciones de gestión de la energía que permiten una mejor utilización de la energía de frenado, lo que se traduce en unos sistemas de transporte urbano por raíl de mayor rendimiento energético.



Reciclando, o gestionando, el excedente de energía de frenado se puede reducir el consumo total de energía entre un 10 y un 30 por ciento, sin necesidad de invertir en vehículos nuevos o sistemas de control de red.

El rendimiento energético es importante en muchos sectores industriales, y la red urbana de transporte público por rail no es una excepción. Aunque el desplazamiento sobre raíles ya es mucho más eficiente energéticamente que la mayor parte de los demás métodos, mejorar el rendimiento energético es importante para las compañías de metro, ferrocarril ligero y tranvía, obligadas constantemente a reducir los costes de explotación y a ofrecer un transporte público sostenible. ABB ofrece una panoplia completa de productos para facilitarlos, especialmente productos dirigidos a administrar el exceso de energía de frenado.

Imagen del título

Se puede mejorar el rendimiento energético del transporte urbano sobre rail utilizando mejor la energía cinética que se pierde al frenar. ¿Cómo lo lleva a cabo ENVILINE™, la panoplia de productos de ABB?

Hasta un 80 por ciento de la energía total consumida en un sistema de transporte por rail se utiliza realmente para mover los trenes y el reciclado, o la administración, del exceso de energía de frenado puede reducir el consumo total hasta entre un 10 y un 30 por ciento, sin necesidad de invertir en nuevos vehículos o sistemas de control de red.

En la actualidad, muchos vehículos que circulan por rail reciclan la energía de frenado. Casi siempre, se puede emplear una pequeña parte de esta energía en alimentar cargas de a bordo y el resto se envía a la red eléctrica para su reutiliza-

ción por un vehículo próximo. Esta clase de trasvase de energía se denomina

El sistema de recuperación de energía (ERS) ENVILINE reduce los costes energéticos devolviendo a la red de CA la energía de frenado del vehículo.

receptividad natural. Si la energía no puede reciclarse de esta forma, la tensión de la red subirá y la energía excedente se disipará en resistencias montadas a bordo o a pie de vía.

Sin embargo, el reciclado o administración inteligentes del exceso de energía de frenado puede reducir el consumo global.



Los productos ENVILINETM de ABB ofrecen una forma de conseguirlo.

Sistema de recuperación de energía ENVILINE

El galardonado sistema de recuperación de energía (ERS) ENVILINE reduce los

Además, como el ERS tiene un funcionamiento bidireccional que admite la rectificación activa, puede apoyar a rectificadores ya instalados.

costes de electricidad devolviendo la energía de frenado del vehículo a la red de CA → 1-2.

Como ya se ha indicado, si no puede volverse a utilizar inmediatamente, la energía obtenida en el frenado a menudo se disipa en resistencias de frenado de a bordo y se pierde. Sin embargo, el ERS, situado a pie de vía, puede recuperar esta energía devolviéndola desde la red de tracción de CC a la red de CA, donde se emplea para alimentar sistemas auxiliares locales como

ABB recibió en la feria internacional Railtex 2013 un premio por su sistema de recuperación de energía ENVILINE para aplicaciones de tracción en CC, pues reduce el consumo de energía hasta un 30 por ciento y contribuye además a reducir la generación de calor en túneles subterráneos, por lo que contribuye al esfuerzo por “enfriar el tubo”.

Como novedad en 2013, en Railtex se presentaron premios para reconocer la excelencia en el sector ferroviario. El premio de ABB en la categoría de electrificación lo presentaron el antiguo jugador inglés de cricket Phil Tufnell y el presentador de BBC Radio Garry Richardson en una ceremonia celebrada el 1 de mayo de 2013 en Londres.

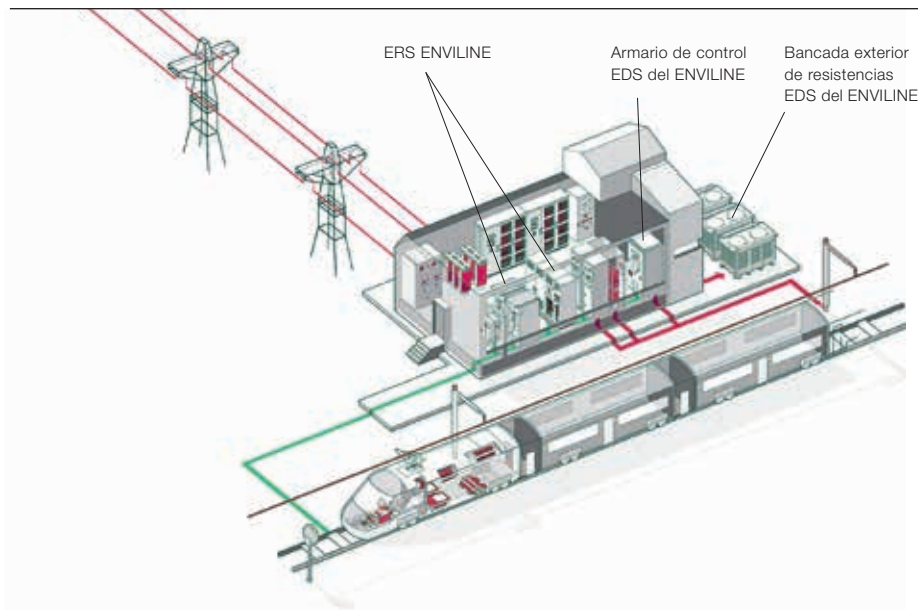
aire acondicionado, calefacción, ventilación, iluminación, etc. El ERS es un inversor basado en IGBT instalado en la subestación de CC y conectado en paralelo con los rectificadores de diodos existentes → 3-4.

Cuando no se utiliza para recuperar energía de los trenes, el ERS puede emplearse para atenuar la energía reactiva de la red. También puede proporcionar un filtrado activo para reducir el efecto de los armónicos. Estas funciones aprovechan la capacidad del inversor basado en IGBT para conformar la forma de onda de la corriente. Esto permite un control inde-

pendiente, tanto de la potencia activa como de la reactiva. El principio básico es que los inversores IGBT transforman la tensión de CC que llega del sistema de tracción en una salida sinusoidal.

Debido a la técnica de modulación de amplitud de impulsos empleada, la forma de onda de salida, que se modula a una frecuencia de varios kHz, no contiene armónicos.

Además, como el ERS tiene un funcionamiento bidireccional que admite la rectificación activa, puede apoyar a rectificadores ya instalados. Si hubiera necesidad de enviar más energía a los vehículos en movimiento, el ERS puede inyectarla utilizando el mismo transformador que se



Además de devolver energía a la red con el ERS, también se puede conservar con el sistema de almacenamiento de energía ENVILINE.

emplea para devolver la energía recuperada a la red de CA.

La gama de potencias del ERS va de 0,5 a 1 MW, y está previsto comercializar en breve unidades de hasta 2 MW. Puede sobrecargarse hasta un 225 por ciento durante un periodo breve y funciona con un rendimiento del 97,5 por ciento. Como ocupa poco espacio y es compatible con sistemas nuevos y en uso, el ERS es fácil de instalar y su arquitectura modular permite su ampliación para satisfacer cualquier crecimiento de la demanda. Los requisitos de mantenimiento mínimos y una larga vida útil significan que el ERS ahorra cantidades considerables de energía a lo largo de muchos años con poca intervención. El ERS puede reducir el consumo total de energía de un sistema de transporte por raíl entre un 10 y un 30 por ciento.

Sistema de almacenamiento de energía ENVILINE

La energía de frenado reciclada puede devolverse a la red con el ERS, pero también puede almacenarse con el sistema de almacenamiento de energía (ESS) ENVILINE → 4-6. Esto resulta especialmente útil para las autoridades de transporte por raíl que conectan sus subestaciones directamente a la compañía eléctrica local y que, por lo tanto, no pueden vender el excedente de energía a tarifas atractivas. El ESS también es de interés para los sistemas con dificultades de alimentación y calidad de la energía eléctrica. El ESS es el sistema más pequeño

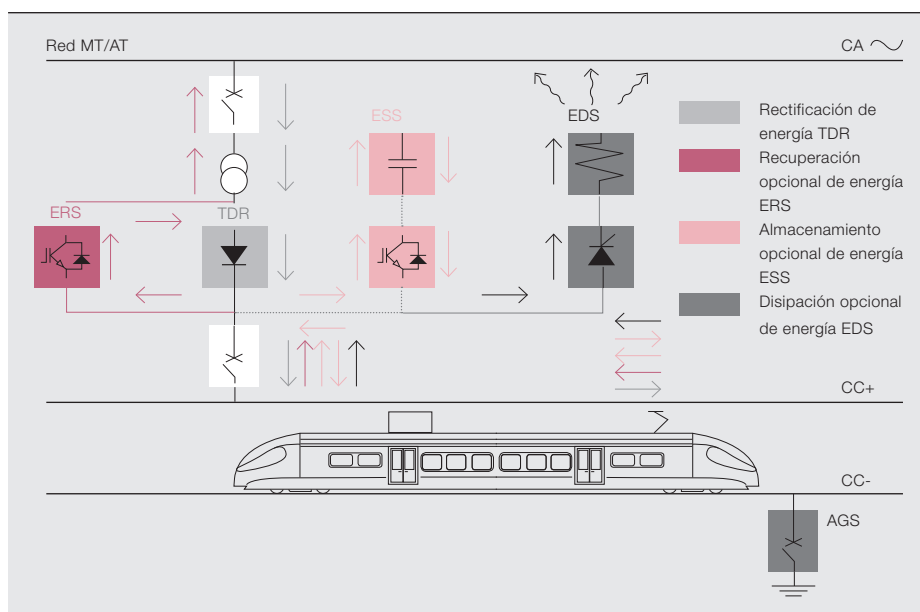
de almacenamiento de energía a pie de vía, pero también el más modular y flexible. Está equipado con supercondensadores, para almacenamiento de corta duración y recuperación del exceso de energía de frenado, o con baterías, cuando interesa la generación de ingresos o el suministro de energía para trabajos pesados. Al igual que el ERS, el ESS puede reducir el consumo total de energía de un sistema de transporte por raíl entre un 10 y un 30 por ciento.

Pero las ventajas del ESS van más lejos: Además de ayudar a reciclar energía, también se puede instalar para mantener la tensión en un punto en el que se producen grandes caídas; o para aumentar la capacidad de potencia de tracción durante la aceleración; y las penalizaciones o cargas de demanda asociadas con picos de demanda elevados pueden reducirse mediante un uso inteligente de la energía almacenada en el ESS.

El ESS es compatible con los sistemas de trenes actuales y se puede programar con flexibilidad para asegurar un funcionamiento óptimo en cada sitio. Su construcción modular permite dimensionar por separado la potencia y el almacenamiento. El funcionamiento se facilita aún más con la posibilidad de disponer de acceso remoto con notificaciones multilingües y por correo electrónico, medición de la energía, paneles de control y archivos de datos descargables. El ESS trabaja en líneas de 600 V y 750 V nominales y es

El ESS se puede instalar para mantener la tensión en puntos en los que se producen caídas acusadas.

4 Esquema del ENVILINE



ampliable a 4,5 MW y 60 MJ por línea. Para aplicaciones grandes admite configuraciones en paralelo.

Oportunidades más allá de la eficiencia energética

Además de ser el mejor método individual para mejorar la eficiencia energética, el ESS también puede convertirse en una fuente de alimentación para tracción no conectada a la red. Además del exceso de energía de frenado, se puede añadir más energía desde la línea eléctrica de tracción o de un pequeño rectificador, normalmente entre llegadas del tren. Estas combinaciones fuera de la red son menos costosas y de más rendimiento energético que el suministro de energía eléctrica de tracción por conexión con redes clásicas.

Cuando se combina con baterías que proporcionan mayores reservas de energía, el ESS también puede convertirse en un recurso de red inteligente capaz de proporcionar alimentación de emergencia o servicios de respuesta a la demanda para la compañía eléctrica local.

Modernización

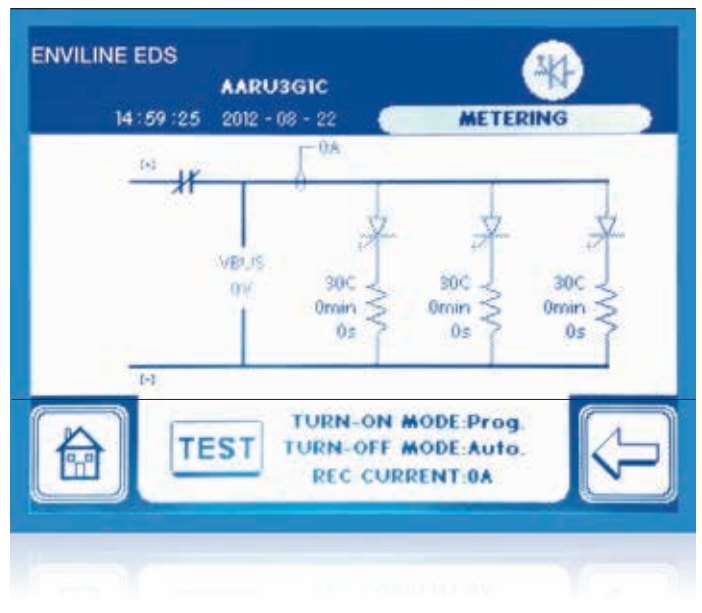
Una ventaja muy importante, tanto del ERS como del ESS, es que están diseñados para usar en obras de renovación. En los proyectos de remodelación, todos los accesorios y las conexiones están predefinidos. Esto plantea una dificultad mayor que la de colocar un equipo nuevo en una instalación nueva.

Ambos sistemas se basan en una arquitectura modular, lo que permite el aumento independiente de la potencia para cada sistema. Para conseguir el mejor rendimiento de la inversión, es preciso evaluar el exceso de energía disponible, estimar la potencia del sistema que se va a utilizar y elegir los puntos de conexión óptimos. Ambos productos son transparentes para el sistema existente, lo que significa que pueden aislarse sin interrumpir el funcionamiento normal.

Sistema de disipación de energía ENVILINE

En ciertos casos, parte de la energía regenerada no puede utilizarse y debe disiparse. Sin embargo, la instalación de resistencias de frenado en el vehículo con este fin añade peso y aumenta el trabajo de mantenimiento. El sistema de disipación de energía (EDS) ENVILINE es una solución de bajo coste para este problema en los sistemas de CC por vía. Al instalar EDS a pie de vía en lugar de resistencias a bordo, el explotador ferroviario puede reducir el peso y el consumo de energía del vehículo, eliminar la producción de calor en túneles o estaciones cerradas y desplegar una solución de fácil acceso y mantenimiento.

El EDS detecta la subida de tensión en la línea causada por la energía regenerada o en exceso y conecta una carga resistiva adecuada para mantener la tensión dentro de los límites seguros de funcionamiento, evitando la necesidad de utilizar (y gastar) los frenos mecánicos. El EDS



6 Armarios de baterías del ESS y del convertidor en una instalación de Filadelfia, PA, Estados Unidos



se compone de un armario de control de potencia interior y una batería exterior de resistencias. El sistema garantiza receptividad en la vía durante el frenado regenerativo mediante la disipación del exceso de energía que no se puede absorber por otras cargas de a bordo o por trenes próximos. El EDS es compatible con cualquier subestación eléctrica de tracción de CC nueva o ya instalada. También puede trabajar en coordinación con sistemas de almacenamiento y recuperación de energía a pie de vía para asegurar el reciclaje eficaz de la energía de frenado y que únicamente se produce disipación en las resistencias como último recurso. El armario controlador se puede montar directamente en la cadena de aparamenta de CC o por separado con otros equipos, como desconexiones negativas e interruptores automáticos de puesta a tierra.

La batería de resistencias se coloca fuera de la subestación, donde se puede disipar el calor de forma pasiva → 3. Esta solución

sin ventiladores no sólo es económica sino también sin ruidos, tanto desde el punto de vista acústico como de la EMC.

El EDS no sólo protege contra sobretensiones, sino que también mejora la calidad de la energía y la fiabilidad operativa. Además tiene otras ventajas:

- Menor coste que diseños basados en chopper
- Menores costes operativos y de mantenimiento que las unidades de a bordo
- Fácil mantenimiento con supervisión y acceso remoto
- Controles avanzados con capacidad de prueba a distancia y activación programable para asegurar un rendimiento óptimo y para evitar disparos falsos → 7
- Equilibrado temporal del funcionamiento del GTO y la resistencia para compartir el desgaste operativo y maximizar la esperanza de vida

La serie ENVILINE incluye otros productos, como el rectificador de diodos para

tracción (TDR) que se utiliza para convertir la CA en CC, utilizado usualmente en infraestructuras de transporte público urbano → 4.

La larga experiencia de ABB en sistemas de tracción significa que, al elegir la solución ENVILINE, los clientes recibirán un asesoramiento experto que cumpla exactamente sus requisitos, y les permita beneficiarse de una solución completa, flexible y de altas prestaciones que ahorrará costes y energía durante muchos años.

Para obtener más información sobre ENVILINE, consulte www.abb.com/enviline o diríjase por escrito a enviline@pl.abb.com.

Michał Łodziński

ABB Discrete Automation and Motion,
Power Control

Aleksandrow Łódzki, Polonia
michal.lodzinski@pl.abb.com

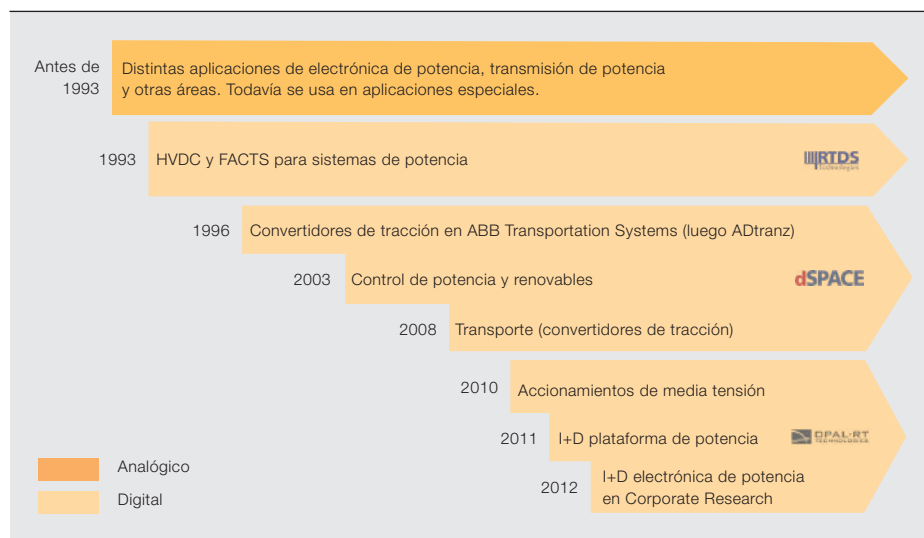


Más velocidad

Simulación en tiempo real de componentes de electrónica de potencia para aplicaciones ferroviarias y de otro tipo

ROXANA IONUTIU, SILVIA MASTELLONE, XINHUA KE, ERICH SCHEIBEN, NIKOLAOS OIKONOMOU, DIDIER COTTET, DANIEL STUMP – La simulación en tiempo real (RTS) digital ha revolucionado la cadena tecnológica de sistemas de control de electrónica de potencia salvando la distancia entre el desarrollo de conceptos avanzados de tecnología de control y el despliegue de productos funcionales. La aplicación más exigente de la RTS es posiblemente la electrónica de potencia, donde la simulación de sistemas conmutados complejos fuerza los límites de la tecnología actual. Durante muchos años, ABB ha sido pionera en herramientas de RTS cada vez más complejas para garantizar la fiabilidad y el bajo coste del producto y la prueba eficiente de la siguiente generación de sistemas de electrónica de potencia de altas prestaciones.

1 Historia de la RTS en ABB



Las herramientas de simulación han apoyado el desarrollo de sistemas de ingeniería desde principios de los años cincuenta, cuando empezaron a aparecer los ordenadores analógicos y digitales. La enorme capacidad de cálculo actual permite la simulación rápida de sistemas complejos. Es especialmente valiosa en la simulación de sistemas de control donde para verificar el funcionamiento del controlador a su velocidad de trabajo nominal, el modelo del ordenador debe operar a la misma velocidad que el sistema físico real, es decir, en tiempo real.

En la industria actual de la electrónica de potencia, la RTS es crítica para varias etapas de la cadena tecnológica que permiten la transformación de nuevos conceptos de control en productos funcionales de la electrónica de potencia.

Desde las primeras versiones analógicas, hechas por encargo, hasta las plataformas digitales de máxima calidad existentes actualmente en el comercio, ABB confía desde hace tiempo en la RTS para apoyar el progreso de sus tecnologías de control de la electrónica de potencia → 1. La RTS es esencial no sólo para el desarrollo de mejores conceptos de control, sino también para mejorar el software y la calidad del producto mediante pruebas en fases

iniciales que aprovechan el tiempo. La característica fundamental de los simuladores en tiempo real es la tecnología de “hardware-in-the-loop” (HIL) que permite que el software de control, ejecutado en la plataforma real de equipos de control (DSP, FPGA) se conecte a modelos de software que emulan los convertidores electrónicos de potencia y su entorno. El HIL permite al controlador trabajar como si estuviera controlando el sistema real con sus funciones completas.

Los modernos sistemas de electrónica de potencia, con su dinámica excepcionalmente rápida, representan un problema no trivial de simulación en tiempo real. Se requieren nuevas formas de abordar el diseño de modelos con estructura variable, utilizando pasos de tiempo de simulación limitados y asegurando un esfuerzo mínimo de cálculo.

En la actualidad, ABB utiliza la RTS ampliamente y está comprometida con el avance de esta tecnología para satisfacer la creciente demanda de cálculo, lidiar con la complejidad cada vez mayor de los sistemas y apoyar el avance de los algoritmos de control.

La cadena tecnológica

La cadena tecnológica es el proceso que regula la forma de mejorar los conceptos

tecnológicos de una generación a la siguiente. La RTS desempeña un papel crítico en la cadena tecnológica para los sistemas de convertidor de ABB.

Este proceso comienza con el conocimiento de la tecnología existente (generación k-1) y guía la formación de nuevas ideas, lo que da lugar a un mejor producto.

Dos criterios muy interdependientes (la satisfacción de restricciones temporales críticas y la obtención de modelos físicos precisos) se encuentran en el núcleo de una simulación en tiempo real.

Éstas deben ponerse en práctica, probarse y verificarse antes de que el concepto de control pueda formar parte de un producto en forma de generación k → 2.

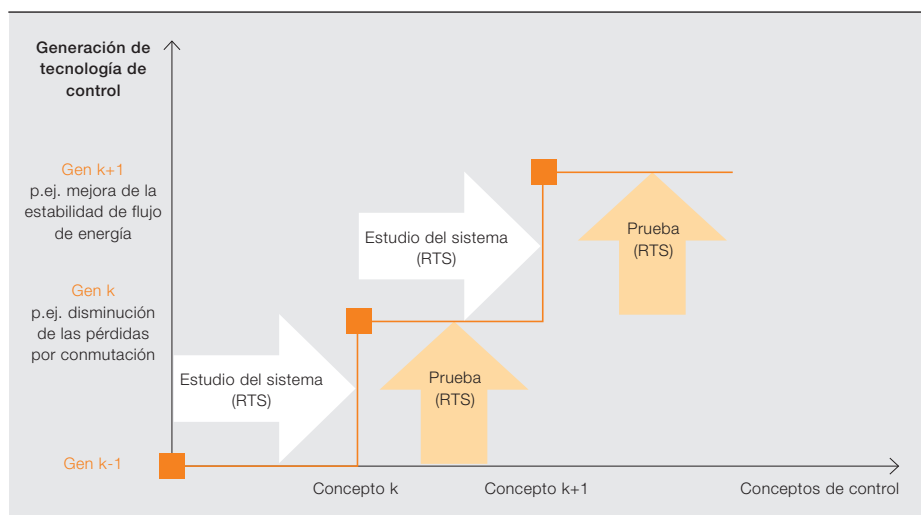
La RTS apoya la fase de formulación conceptual proporcionando un entorno en el que investigar y obtener una comprensión fundamental del comportamiento del sistema antes de definir un concepto de control.

Imagen del título

La simulación en tiempo real es una herramienta esencial para el desarrollo de los complejos sistemas de electrónica de potencia utilizados en muchas aplicaciones corrientes, como los trenes.

En la industria de la electrónica de potencia actual, la RTS es crítica para varias etapas de la cadena tecnológica que permiten la transferencia de nuevos conceptos de control a productos de electrónica de potencia funcionales.

2 La cadena tecnológica



Una vez que se ha desarrollado y puesto en práctica un concepto de control en el convertidor, hay que probarlo rigurosamente según normas definidas antes de que el producto pueda lanzarse realmente. Esta fase abarca varias etapas de pruebas en distintos entornos, desde la simulación offline a la simulación en tiempo real y finalmente en el propio sistema real. Normalmente, las simulaciones offline son insuficientes para reproducir el comportamiento del sistema en bucle cerrado con el software y el hardware de control real integrados, y son demasiado caras desde el punto de vista de cálculo para la precisión necesaria. Además, la prueba del software del convertidor en el sistema real puede ser cara (las pruebas diarias pueden costar hasta 60.000 dólares), necesitar tiempo e incluso ser prohibitiva debido a parámetros extremos tales como cortocircuitos, tensiones o intensidades excesivas, grandes cargas, altas velocidades, etc.

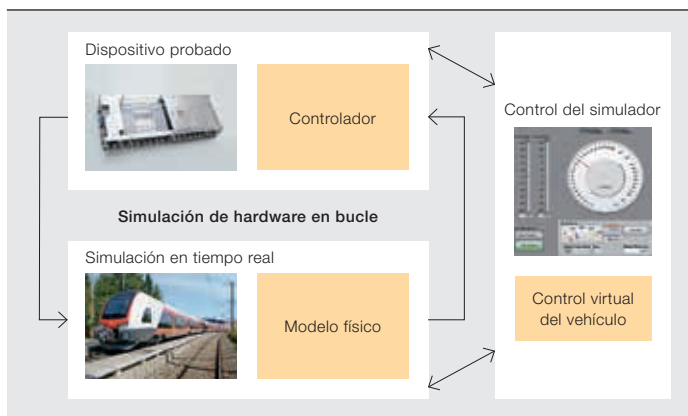
La simulación en tiempo real es la clave para hacer frente a la complejidad de los sistemas actuales. Compensa las limitaciones de las pruebas offline o sobre el terreno adoptando el potente concepto de la emulación en línea. La RTS reproduce la complejidad del sistema real en tiempo real a la vez que conserva las ventajas de una simulación: flexibilidad, rápida puesta en práctica, fácil depuración y amplia cobertura de las pruebas. Esto permite probar a fondo el software de control y mejorarlo durante las fases iniciales de desarrollo, con lo que se garantiza el software y la calidad del producto y se abrevia el proceso de puesta en servicio final en el sistema real.

Equipos especializados de técnicos trabajan constantemente para responder a las dificultades tecnológicas planteadas por los exigentes requisitos planteados a los sistemas RTS.

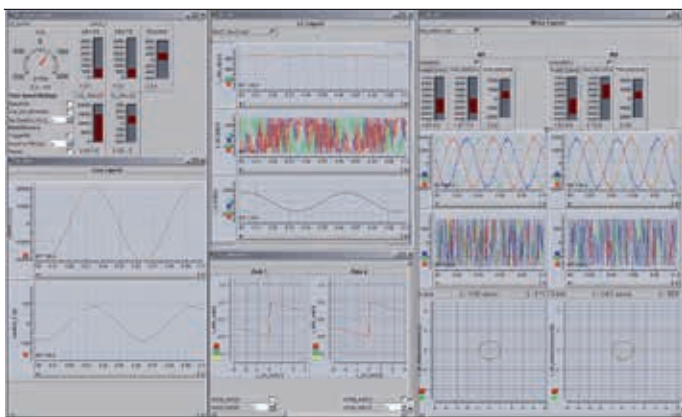
Dificultades de la simulación en tiempo real

Para garantizar un desarrollo y unas pruebas fiables del sistema de control, la RTS debe representar, con un alto grado de precisión, el entorno real en el que trabaja el controlador. Por ejemplo, en el caso de las aplicaciones de tracción, el controlador actúa en la electrónica de potencia del convertidor de tracción dentro del tren. La RTS emula este entorno utilizando configuraciones especiales de hardware y software, donde modelos matemáticos complejos, denominados colectivamente el "modelo físico", sustituyen al convertidor y al tren, mientras que el controlador permanece conectado en forma de bucle cerrado con este modelo físico → 3. Basándose en las entradas recibidas desde el controlador (por ejemplo, impulsos de conmutación para accionar los dispositivos semiconductores dentro del convertidor), el modelo físico calcula las salidas necesarias (tales como tensiones, intensidades y velocidad) y las devuelve al controlador para el siguiente ciclo de simulación. Se pueden ver, examinar y manipular los estados pertinentes del modelo físico mediante una interfaz de usuario → 4. La RTS de tracción tiene, además, una unidad de control virtual del vehículo en la que se fija el esfuerzo de tracción o la indicación de velocidad deseados de la misma forma que lo hace el conductor en el vehículo real → 3.

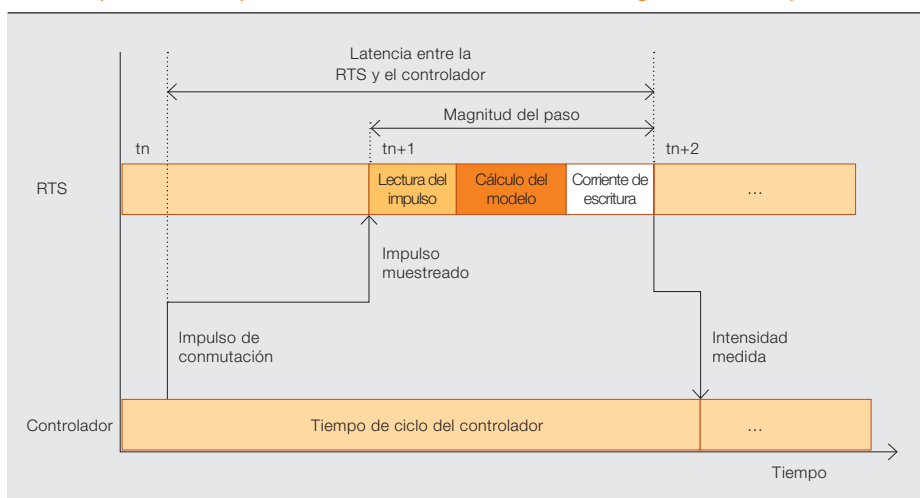
3 Configuración de RTS para simulación HIL con unidad de control virtual de vehículo



4 Interfaz de usuario de RTS para visualizar el estado de la planta en tiempo real y para interactuar directamente con el modelo físico



5 Entre el envío por el controlador de los impulsos de conmutación a RTS y la respuesta correspondiente, se produce como máximo un retraso de magnitud doble al paso de RTS.



Dentro del grupo ABB, se han desarrollado diversos simuladores en tiempo real en colaboración con varios proveedores de sistemas de RTS, cada uno de ellos especializado con un sector comercial particular → 1.

Los simuladores pueden variar en el tamaño, en los equipos usados o en las particularidades del modelo de planta, pero todos ellos se enfrentan a las mismas cuestiones fundamentales. En particular, dos criterios muy interdependientes (el cumplimiento de restricciones temporales críticas y la obtención de modelos físicos rápidos y precisos) se encuentran en el núcleo de una simulación en tiempo real.

Restricciones de sincronización críticas

Un requisito fundamental para un sistema de RTS es alcanzar la sincronización entre el tiempo real y el tiempo simulado. En otras palabras, los valores simulados de entradas, salidas y estados alcanzados en la RTS después de un cierto tiempo de simulación deben ser los mismos que los

que aparecen en el sistema real cuando haya pasado el mismo tiempo. La velocidad con la que el reloj de tiempo real alcanza esta sincronización viene determinada por el tamaño del paso de la RTS, cuya longitud debe elegirse cuidadosamente. Por otro lado, el tamaño del paso de la RTS tiene que ser lo menor posible para minimizar la latencia del sistema simulado, y lo suficientemente grande para permitir que la RTS complete las operaciones necesarias en un solo paso de simulación → 5.

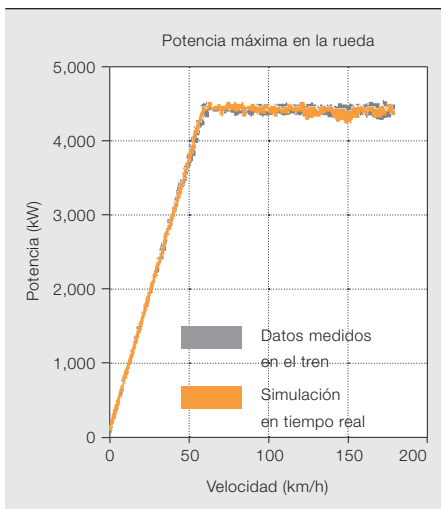
Modelos físicos rápidos y precisos

La conmutación de alta frecuencia (kHz) en la electrónica de potencia impone duraciones de ciclos del controlador del orden de 100 a 300 μ s. Estos, a su vez, imponen duraciones de ciclos de la RTS aún menores (menos de 60 μ s). Asegurar unas simulaciones rápidas y precisas con tamaños de paso del orden de microsegundos es especialmente difícil para los sistemas de electrónica de potencia en comparación con aplicaciones de dinámica más lenta

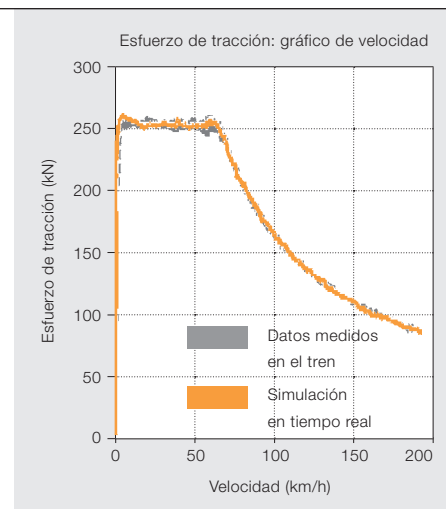
(por ejemplo en la automoción o la robótica, donde el tamaño del paso de la RTS puede llegar a los milisegundos).

Los sistemas de RTS de ABB ganan en esta carrera contra el tiempo gracias a las soluciones de hardware y software dedicadas ofrecidas por los proveedores, junto con la experiencia de ABB en la modelización y la simulación de circuitos de electrónica de potencia. Como por sí sólo un hardware rápido es insuficiente, los modelos físicos y las rutinas numéricas para resolverlos deben también optimizarse para conseguir la máxima eficiencia, un esfuerzo en el que ABB invierte importantes conocimientos técnicos.

Uno de los retos más difíciles es el procesamiento de los impulsos de conmutación recibidos desde el controlador y enviados a los dispositivos de conmutación del convertidor, por ejemplo, los IGBT. Para simularlos con precisión, hace falta una granularidad aún más fina que la duración del ciclo de la RTS, y esto se consigue



7a Simulación en tiempo real



7b Los resultados medidos en el tren coinciden muy exactamente con la simulación

El futuro requiere soluciones de simulación inteligentes que reduzcan el trabajo de modelización para sistemas conmutados cada vez más complejos, mientras que se satisface a la vez la velocidad y la precisión necesarias.

con una tecnología FPGA [1]. Para simular el convertidor en modo de rectificador, se modelizan asimismo eventos de conmutación internos causados por diodos autoconmutantes. Los cambios frecuentes en las posiciones de los conmutadores y la naturaleza no lineal de algunos de los componentes del modelo añaden complejidad a la tarea de modelización y simulación, puesto que hay que reconocer y resolver inmediatamente las distintas configuraciones de interruptores durante el tiempo de operación. Aunque estos problemas se pueden resolver en las simulaciones offline empleando algoritmos numéricos sofisticados de integración de tiempo, estos métodos son demasiado caros desde el punto de vista del cálculo para su uso en tiempo real, de donde la necesidad de soluciones de modelización y simulación especiales. Actualmente, dentro de ABB se pueden simular sistemas muy complejos de diferentes dominios de la electrónica de potencia en plataformas adecuadas en tiempo real → 1. Por ejemplo, se ha utilizado en una RTS de tracción una plataforma de simulación basada en dSPACE de ABB.

Vehículo en el laboratorio

La RTS en el grupo de productos de transporte proporciona configuraciones flexibles de hardware y software para aplicaciones ferroviarias que cubran potencias desde 100 kW a más de 6 MW, para CA monofásica o trifásica, para CC y para sistemas multisistema o diésel-eléctricos.

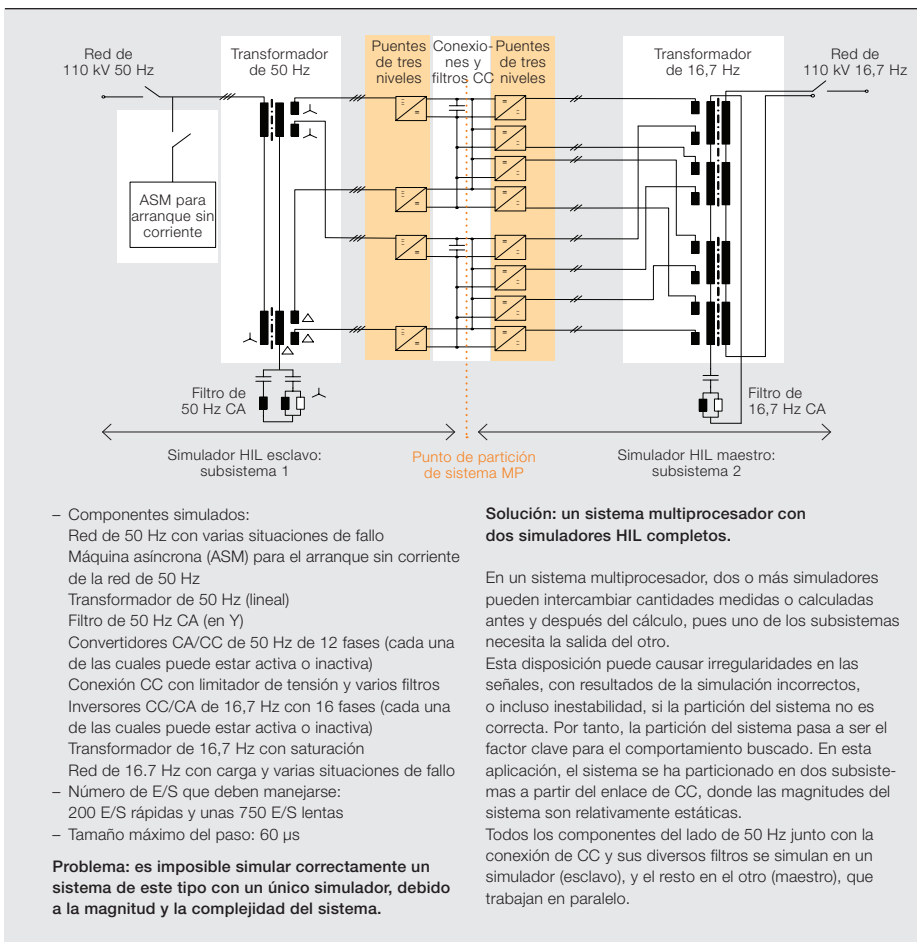
Los dominios de modelización de la RTS abarcan el suministro de energía a las

locomotoras (tendidos aéreos, pantógrafo e interruptor principal), transformador, convertidor de tracción (convertidor de línea, conexión de CC con filtro sintonizado, convertidor de motor), motor, diferencial, convertidor auxiliar, generador de motor diésel, almacenamiento de energía y contacto ruedas-rail. Los modelos físicos RTS se pueden configurar fácilmente y pueden satisfacer diversos requisitos de los clientes admitiendo distintos tipos de configuraciones de transformador, topologías de convertidor (de dos o tres niveles) o disposiciones de accionamiento del eje (eje simple o control en bogie), etc.

Uno de los proyectos que se ejecutan en la RTS incluye la unidad eléctrica múltiple FLIRT de piso bajo construida por la empresa Stadler Rail AG. ABB suministra los convertidores de tracción, los transformadores de tracción y los componentes de baja tensión para este producto → 6. El transformador y el convertidor son responsables de la conversión de la corriente de CA de frecuencia estática monofásica de la línea de suministro en la alimentación trifásica de frecuencia variable necesaria para el accionamiento de los motores y el giro de las ruedas. Para ello, se modeliza la cadena completa de conversión, desde la alimentación hasta el contacto rueda-rail, de modo que se puedan probar el software de control y el hardware en bucle cerrado como si se tratara del tren real.

Un parámetro importante de las prestaciones del tren es la evolución del esfuerzo de tracción en función de la velocidad. Esto caracteriza la potencia del tren. Para

8 Configuración de RTS con multiprocesador para un convertidor de frecuencia de ferrocarril: 100 kV/50 Hz trifásica a 110 kV/16,7 Hz monofásica



tancia las soluciones de simulación muy optimizadas que aprovechan la jerarquía de modelos y la importancia de la ganancia del paralelo. Mirando en esa dirección, el nuevo método de sistema de estados cuantizados (QSS) [2] podría revolucionar la naturaleza de la simulación discreta. En los métodos QSS, el tiempo ya no se discretiza, más bien, se cuantizan las variables de estado, permitiendo simular más eficientemente sistemas con frecuentes cambios topológicos, tales como los sistemas de electrónica de potencia, mediante un formalismo de sucesos discreto.

Sea en aplicaciones de producción o transporte de electricidad, energías renovables, accionamientos industriales o trenes eléctricos, la RTS para sistemas de electrónica de potencia seguirá extendiendo sus límites dentro de ABB, en estrecha colaboración con los proveedores de plataformas de simulación. La RTS aprovechará la mejora de las prestaciones de los ordenadores, los modelos más inteligentes y los algoritmos solucionadores más rápidos para permitir a la tecnología de control innovar rápidamente de una generación a la siguiente a lo largo de la cadena tecnológica.

Roxana Ionutiu

Erich Scheiben

Xinhua Ke

Daniel Stump

ABB Discrete Automation and Motion,

Power Conversion

Turgi, Suiza

roxana.ionutiu@ch.abb.com

erich.scheiben@ch.abb.com

xinhua.ke@ch.abb.com

daniel.stump@ch.abb.com

Silvia Mastellone

Nikolaos Oikonomou

Didier Cottet

ABB Corporate Research

Baden-Dattwil, Suiza

silvia.mastellone@ch.abb.com

nikolaos.oikonomou@ch.abb.com

didier.cottet@ch.abb.com

Referencias

- [1] P. Terwiesch et al., "Rail vehicle control system integration testing using digital hardware-in-the-loop simulation," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 7, no. 3, pp. 352, 362, May, 1999.
- [2] F. Bergero et al., "A Novel Parallelization Technique for DEVS Simulation of Continuous and Hybrid Systems," Simulation, en prensa, 2013.

el FLIRT se consigue un pico de potencia en la rueda de 4.500 kW con un esfuerzo de tracción máximo de 250 kN y una velocidad máxima de 200 km/h. Se puede simular el esfuerzo de tracción en función de la característica de velocidad en la RTS → 7. Hasta que se alcanza el pico de potencia de 4.500 kW en la rueda se aplica un esfuerzo de tracción máximo (constante) de 250 kN, tras lo cual éste disminuye mientras el tren acelera hasta alcanzar su velocidad máxima de 200 km/h, manteniendo la potencia constante. Las curvas obtenidas en la RTS concuerdan estrechamente con las que se obtienen a partir de las mediciones realizadas en el propio tren, demostrando la fiabilidad de la simulación RTS.

80 MW en el laboratorio

Otro proyecto difícil trataba de la simulación de un convertidor estático de frecuencia responsable del intercambio de energía entre la red trifásica nacional de 50 Hz y la red monofásica de 50 Hz del ferrocarril. La incorporación de un procesador paralelo para la RTS fue la solución para un problema de tan gran escala → 8.

La RTS en el futuro

En la actualidad, es indudable el impacto de la RTS sobre la innovación del control en la industria de la electrónica de potencia. No es sorprendente que haya una demanda de pruebas aún más eficientes y para escenarios de prueba más complejos, y es aquí donde la prueba automática de software (AST) representará un papel importante. La AST proporciona un entorno para ejecutar y registrar automáticamente y sin intervención del operario las pruebas de control de rutinas, lo que abrevia considerablemente la fase de pruebas de control y puesta en servicio.

Por lo que se refiere a la modelización de la RTS, el futuro exige soluciones inteligentes que reduzcan el esfuerzo de modelización para sistemas conmutados de complejidad creciente. Las técnicas actuales exigen un conocimiento considerable del comportamiento del sistema completo y un análisis matemático profundo para obtener modelos y simulaciones que cumplan las demandas de velocidad y precisión requeridas. A medida que los sistemas de electrónica de potencia se van haciendo más complejos, ganan impor-

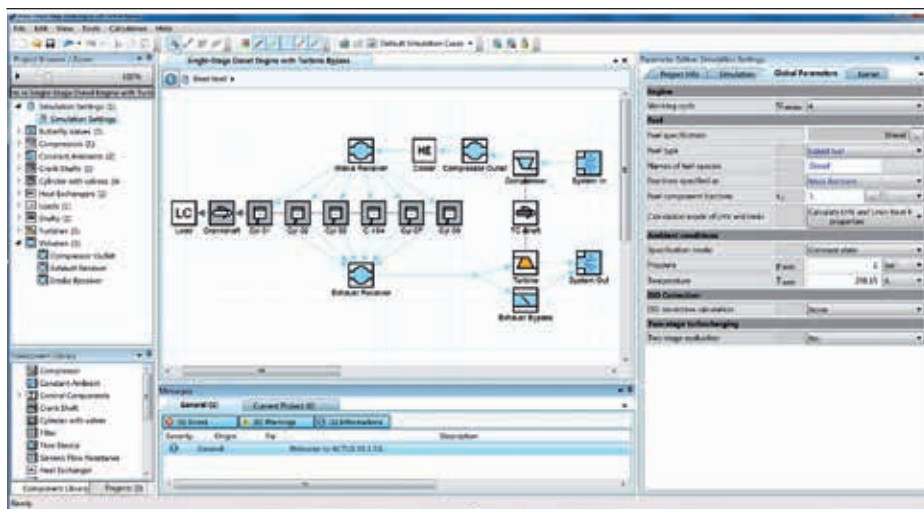


Turbocompresión

ACTUS es un nuevo software de simulación de ABB para grandes motores de combustión turboalimentados

THOMAS BÖHME, ROMAN MÖLLER, HERVÉ MARTIN – El rendimiento de los motores de combustión turboalimentados depende en gran medida del rendimiento del propio sistema de turbocompresión. La interacción entre el motor y el sistema de turbocompresión es compleja y la simulación es una herramienta esencial para comprender esta interacción y la mejor forma de coordinar los componentes del motor. En la actualidad, la mayoría de los fabricantes de motores llevan a cabo simulaciones para optimizar los diseños de sus sistemas. La gran mayoría de los fabricantes confían en herramientas comerciales de simulación, que a veces se complementan con desarrollos internos para tareas específicas. Si bien las herramientas comerciales actuales son generalmente de muy alta calidad y ofrecen una amplia gama de funcionalidades, ABB sigue confiando en el software interno de simulación para sus necesidades de simulación de motores. El uso de software interno permite a ABB personalizar completamente la simulación para satisfacer las necesidades específicas de la empresa como fabricante de turbocompresores para motores de combustión de gran diámetro. Estas necesidades van desde la elección de las especificaciones óptimas del turbocompresor en aplicaciones de ventas o de investigación para bancos de pruebas hasta el desarrollo de productos de turbocompresores o el desarrollo de conceptos de turbocompresión.

1 Editor gráfico de la interfaz de usuario de ACTUS que muestra un modelo de un motor de seis cilindros con un turbocompresor de una etapa y una válvula de derivación de la turbina.



La simulación de sistemas de motores con turbocompresor tiene una larga tradición en ABB. Los primeros cálculos digitales se realizaron en la década de 1960 con la introducción de los primeros ordenadores digitales [1,2]. Estas herramientas de cálculo se han ido mejorando y ampliando continuamente. A principios de la década de los ochenta del siglo pasado, los métodos de cálculo se combinaron en una única plataforma de simulación denominada SiSy (Sistema de simulación) que se ha ampliado continuamente desde entonces [3].

Después de más de 20 años de desarrollo de SiSy, cada vez era más difícil seguir ampliando el software por su diseño monolítico, y se decidió sustituirlo por una nueva herramienta de simulación basada en un diseño de software moderno y modular. La nueva herramienta de simulación se denominó ACTUS (siglas en inglés de “cálculo avanzado de sistemas de turbocompresión”). El software consta de dos partes: una moderna interfaz de usuario con un editor gráfico de topología para definir las simulaciones y un núcleo de simulación para realizar los cálculos.

Interfaz gráfica de usuario

En la interfaz gráfica de usuario, el motor se construye combinando componentes

de una biblioteca de elementos como tubos, válvulas, compresores, cilindros, ejes, etc. y definiendo su posible interacción a través de conexiones de fluidos, mecánicas, de calor o de señal → 1.

Una vez definida la topología, los parámetros de cada componente se especifican en el editor de parámetros (en el lado derecho de la figura). Un editor especial de casos de simulación permite definir varias simulaciones consecutivas, por ejemplo, con múltiples puntos de carga del motor dentro de una simulación. La interfaz de usuario también ofrece un cómodo acceso a una amplia base de datos con información detallada de rendimiento para todos los turbocompresores de ABB disponibles desde la década de 1970.

Núcleo de simulación

La segunda parte de ACTUS, el núcleo de simulación, resuelve las ecuaciones del modelo para el sistema y calcula los resultados. El principal objetivo de la simulación es predecir los aspectos más relevantes de todo el sistema del motor en lugar de centrarse en aspectos concretos y específicos. Aunque actualmente sería posible simular el intercambio de gases de un cilindro del motor con cálculos de dinámica de fluidos tridimensional, tal nivel de detalle no sería apropiado para un cálculo a nivel del sistema: el tiempo de cálculo

sería prohibitivo para su uso en optimización y, sobre todo, este cálculo exigiría conocimientos detallados de todas las

ACTUS consta de dos partes: una moderna interfaz de usuario con un editor gráfico de topología para definir las simulaciones y un núcleo de simulación para realizar los cálculos.

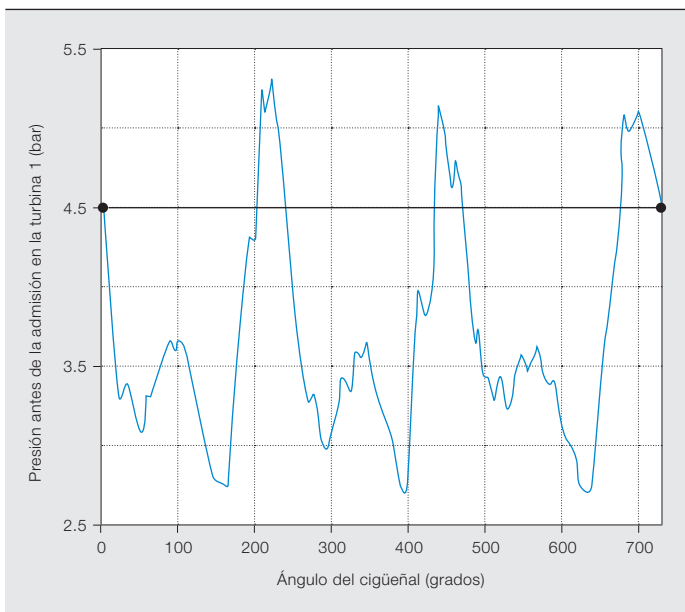
geometrías del motor, que no suelen estar a disposición de ABB.

Por tanto, los modelos utilizados en ACTUS son modelos simplificados que se derivan de los primeros principios físicos. La simulación de un motor turboalimentado gran número de dichos modelos simplificados procedentes de diversas disciplinas. Esto incluye modelos mecánicos para el cigüeñal, los ejes y los cojinetes del turbocompresor; modelos térmicos para la transferencia de calor; modelos químicos para las emisiones; y modelos termodinámicos para las propiedades del gas y para la compresión, la expansión, el caudal y el almacenamiento de fluidos.

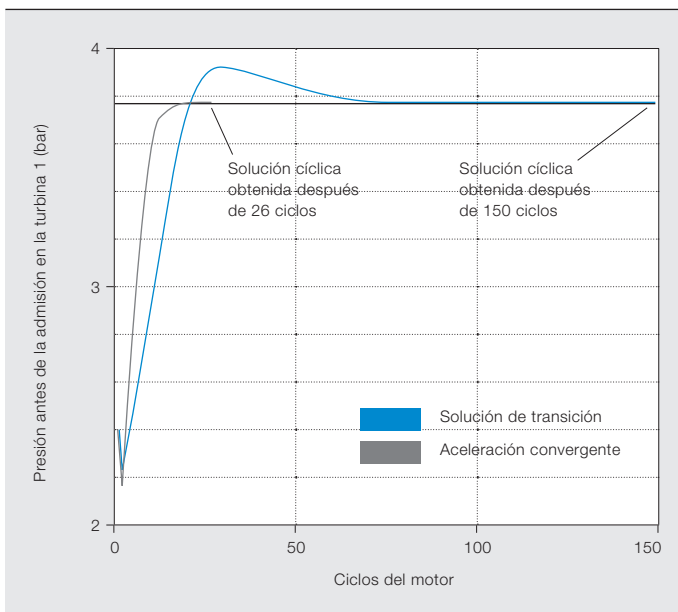
Imagen del título

Sólo el software de simulación creado internamente puede abordar la enorme complejidad de los turbocompresores para motores.

2 Presión antes de la admisión en la turbina 1 durante un ciclo del motor para un punto de trabajo estable (a plena carga).



3 Ventaja de la aceleración convergente: en lugar de necesitar 150 ciclos de cálculo en el modo de transición, la solución se obtuvo después de 26.



El departamento de ventas utiliza ACTUS para seleccionar las especificaciones óptimas de turbocompresión para un motor concreto, una tarea para la que la mayoría de los clientes confían en ABB.

Para procesos complejos, como la combustión en los cilindros, los modelos de primer principio físico se complementan habitualmente con extensiones empíricas del modelo. Estas proceden de la bibliografía o de colaboraciones de investigación, o se han desarrollado internamente en ABB.

Aceleración de convergencia de ACTUS

Ya que la mayoría de los sistemas de motores de gran diámetro funcionan con carga constante durante periodos prolongados, los puntos de trabajo a carga constante son los de mayor interés para la optimización del diseño. Debido a la naturaleza intrínsecamente inestable del proceso del motor de combustión, un punto de carga constante del motor no es un estado estable sino más bien una situación periódica, como se ve, por ejemplo, en la trayectoria de presión cerca de una entrada de turbina a lo largo de un ciclo del motor → 2.

La solución es periódica cuando todos los estados dinámicos dentro del sistema se igualan al estado inicial después del final del ciclo. El método más utilizado para determinar esta solución periódica es ejecutar una simulación transitoria lo suficientemente larga para que desaparezcan todas las perturbaciones iniciales. Debido a las altas inercias de rotación del turbocompresor y de los cigüeñales, normalmente son necesarios más de 100 ciclos del motor para obtener la solución cíclica. Para acelerar tales simulaciones, ACTUS

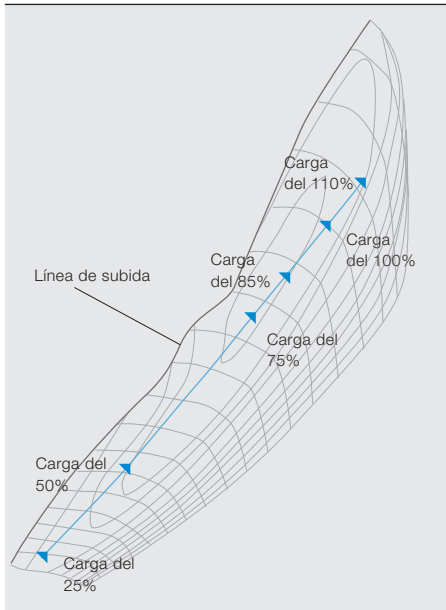
utiliza un método de optimización, llamado aceleración de convergencia, que reduce considerablemente el número de ciclos necesarios para obtener la solución cíclica → 3. Esto permite que unas condiciones estacionarias de funcionamiento para motores típicos se calculen en un PC corriente en cuestión de segundos.

ACTUS Match

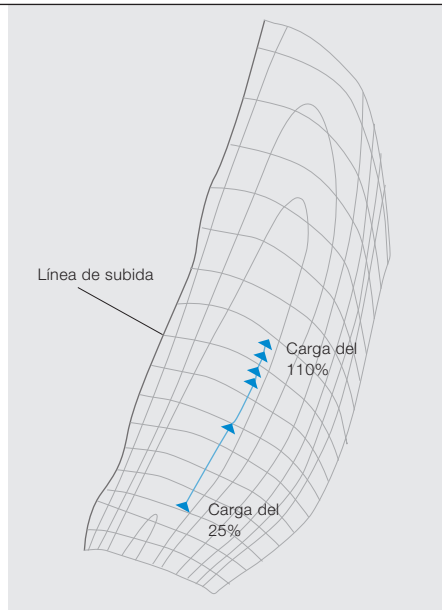
Esta aceleración de convergencia se une a una funcionalidad exclusiva denominada ACTUS Match. ACTUS Match permite calcular el conjunto de valores de entrada simulados que se traducirá en un determinado conjunto deseado de valores de salida simulados. Esto es útil, ya que las aplicaciones de diseño de sistemas a menudo necesitan determinar una configuración del sistema que produzca un resultado deseado. Por ejemplo, una tarea común en la alineación del turbocompresor es determinar el tamaño de la turbina preciso para que el motor funcione con una relación aire-combustible definida por el fabricante del motor y con una carga dada. Desde el punto de vista de la simulación, se trata de una tarea no trivial, dado que la relación aire-combustible resultante no suele ser un dato de partida de la simulación, sino un resultado que depende de la presión de carga del aire, que a su vez depende de la superficie efectiva de la turbina (tamaño).

Aquí, ACTUS Match permite determinar la turbina necesaria, teniendo en cuenta al mismo tiempo la cantidad de combustible

4 Líneas operativas típicas para un motor con turbocompresor de dos etapas para una aplicación de generación



4a Compresor de baja presión



4b Compresor de alta presión

requerida para conseguir la carga deseada del motor. ACTUS Match realiza esta tarea directamente y utilizando una cantidad de recursos un poco mayor que para una simulación convencional. La mayoría de las herramientas de simulación requieren el uso de un proceso de optimización externo para dichas aplicaciones, lo que da lugar a un aumento sustancial del tiempo de ejecución y de la complejidad para el usuario. Este elevado rendimiento de cálculo permite utilizar ACTUS de una manera muy eficiente para estudios de diseño y optimización.

Aplicación de ventas

ACTUS se presentó en 2012 y ahora se utiliza ampliamente en ABB. El software tiene más de 30 usuarios en los departamentos de ventas e investigación y en centros de ABB en todo el mundo.

Un uso típico dentro del departamento de ventas es seleccionar una especificación óptima de turbocompresor para un motor determinado (la mayoría de los clientes confían en ABB para ello). Se construye un modelo de simulación del motor comenzando con los datos más importantes y, si es posible, con mediciones de motores similares anteriores. A continuación se utiliza el modelo para determinar el turbocompresor más adecuado.

Para sistemas complejos de motores, como un motor con turbocompresor de dos etapas con una derivación como elemento de control, resulta una tarea

compleja. Normalmente, el fabricante del motor definirá antes las condiciones de funcionamiento deseadas para el motor. La tarea de ABB es entonces seleccionar un compresor y una configuración de turbina que optimicen la eficiencia de turbocompresión y, por tanto, la del motor. Al mismo tiempo, el diseño tiene que satisfacer algunas otras restricciones como una reserva dada de control para la derivación, una distancia mínima desde la línea de sobrecarga del compresor, unas velocidades máximas admisibles de rotación del turbocompresor y unas temperaturas máximas admisibles de la admisión de la turbina.

Aquí, la función ACTUS Match reduce el tiempo de producción necesario para las especificaciones de horas a minutos → 4.

Aplicaciones de investigación

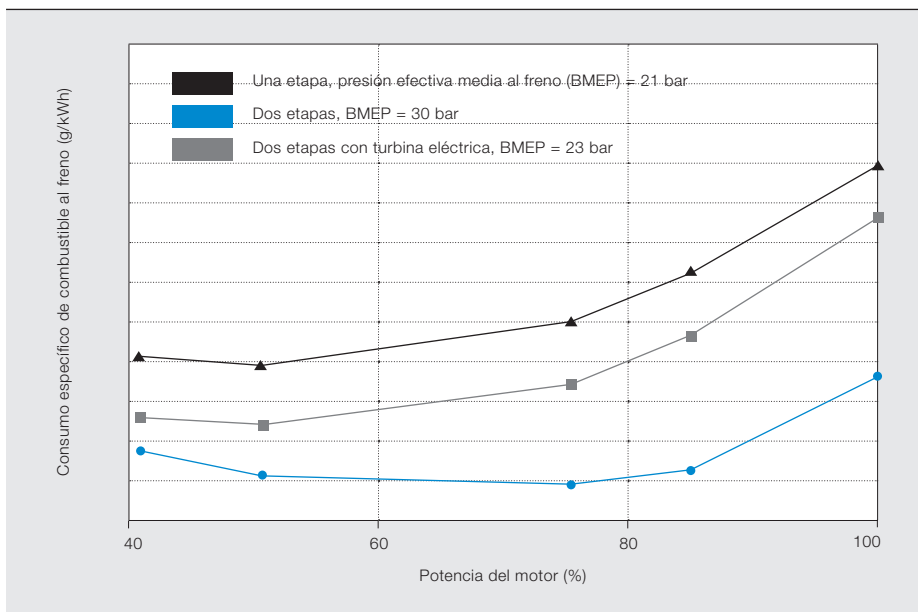
En la división de ingeniería de turbocompresión se utiliza ACTUS para investigar nuevos conceptos de turbocompresión y su impacto en el motor de combustión. Algunos de estos estudios se presentaron en el 27º Congreso Mundial del CIMAC en 2013 [4,5,6].

Una tendencia actual de la turbocompresión se orienta hacia la turbocompresión de dos etapas. Esto permite utilizar relaciones de presión considerablemente más altas. Mientras que las ventajas de la turbocompresión de dos etapas son bien conocidas para motores de combustión de cuatro tiempos, y varios fabricantes de

ACTUS también se utiliza en el desarrollo de productos para predecir los parámetros de diseño para la próxima generación de turbocompresores.

En la división de ingeniería de turbocompresión, se utiliza ACTUS para investigar nuevos conceptos de turbocompresión y su efecto en el motor de combustión.

5 Comparación de consumos del sistema para distintas topologías de turboalimentación en un motor de dos tiempos



motores ya ofrecen motores con turbocompresión de dos etapas, el potencial para grandes motores de dos tiempos no se conoce plenamente en la actualidad. Con objeto de adquirir dicho conocimiento, se hicieron estudios de simulación mostrando el potencial de ahorro total de combustible en distintas condiciones de carga [4] → 5.

En el caso de referencia (curva superior), el motor es de turbocompresión de una sola etapa y una presión efectiva media al freno de 21 bar, como es habitual en la actualidad. El estudio muestra que utilizando turbocompresión de dos etapas y aumentando la presión efectiva media al freno o utilizando una turbina eléctrica o un sistema de recuperación de calor residual, el consumo total de combustible del sistema se puede reducir sustancialmente. Debe señalarse que estos resultados son una predicción basada solamente en modelos de simulación que se han utilizado para analizar el potencial de futuras opciones de turbocompresión, mucho antes de que se pueda disponer de resultado experimental alguno.

Además de las aplicaciones descritas anteriormente, ACTUS también se utiliza en el desarrollo de productos para predecir los parámetros de diseño para la próxima generación de turbocompresores. ACTUS ofrece asimismo un modo de evaluar el rendimiento del turbocompresor en base a datos de medición y compararlo con los valores esperados. Reciente-

mente se ha ampliado ACTUS para utilizarlo para determinar las especificaciones para los nuevos bancos de pruebas de turbocompresores de dos etapas en las instalaciones de ABB. Dada la complejidad de las operaciones en dos etapas, los métodos de especificación anteriormente utilizados ya no eran adecuados.

Turbocompresión del futuro

El conocimiento detallado del proceso de turbocompresión y su mejora continua han sido siempre puntos fuertes de ABB. Parte de este conocimiento procede de la tradición de muchos años de simulaciones a nivel de sistema en motores de combustión de gran diámetro. La nueva herramienta de simulación ACTUS de ABB sigue esa tradición y proporciona una base moderna y sólida para las futuras necesidades de simulación.

Como herramienta interna de simulación, ACTUS permite simulaciones muy eficientes a nivel de sistema y está adaptado en gran medida a las necesidades específicas de ABB como desarrollador y fabricante de turbocompresores. Esto permite a ABB seguir prestando asistencia a sus clientes para determinar la solución óptima de turbocompresión para sus motores y configurar nuevos conceptos y soluciones de turbocompresión que les permitan mejorar aún más el rendimiento de sus motores y cumplir la futura legislación sobre emisiones.

Thomas Böhme

Roman Möller

Hervé Martin

ABB Process Automation, Turbocompresión
Baden, Suiza

thomas.boehme@ch.abb.com

roman.moeller@ch.abb.com

herve.martin@ch.abb.com

Referencias

- [1] E. Meier, "Zweistufige Aufladung," Brown Boveri Mitteilungen, vol. 52. Nº. 3. pág. 171–179. 1965.
- [2] M. Ryti, "Computing the gas-exchange process of pressure charged internal combustion engines," Proc. Inst. Mech. Engrs., vol. Vol. 182, pp. part 3L, Paper 11, 1967-68.
- [3] E. Codan y otros., "Das Programmpaket von ABB Turbo Systems AG für das Design und die Optimierung von Aufladesystemen," en Motorprozesssimulation und Aufladung, Berlin, 2005.
- [4] P. Schürmann y otros., "Contribution of turbocharging solutions towards improved fuel efficiency of two-stroke low-speed engines," en el Congreso de CIMAC, Shanghai, 2013.
- [5] C. Christen y D. Brand: "IMO Tier3: Gas & Dual Fuel Engines as Clean & Efficient Solutions," en el Congreso de CIMAC, Shanghai, 2013.
- [6] M. Kahi y otros., "Second Generation of Two-Stage Turbocharging Power2 Systems for Medium-Speed Gas & Diesel Engines," en el congreso de CIMAC, Shanghai, 2013.



Tren de modelos

Combinación de simulaciones electromagnéticas y mecánicas para mejorar el diseño de transmisiones

TIMO P. HOLOPAINEN, TOMMI RYYPÖ, GUNNAR PORSBY – La electricidad que llega a una máquina giratoria clásica, como una bomba o un compresor, recorre, en su camino desde la red hasta el aparato de destino, una cadena compleja de transmisiones mecánicas y eléctricas. Esta energía debe circular por todos los componentes de la cadena, y cada uno de ellos debe soportar la carga que le corresponda. Esta carga, incluyendo las fuerzas extremas producidas por los modos de resonancia o de fallo, se presenta como torsión en los componentes mecánicos.

La modelización mecánica simula este comportamiento. Aunque los efectos electromagnéticos, en forma de rigidez y amortiguación electromagnética, también pueden afectar al comportamiento vibratorio, ha sido difícil incorporar estos efectos a un análisis holístico de la transmisión. La simulación de los campos electromagnéticos de una máquina eléctrica es una actividad en la que ABB tiene una larga experiencia, que se combina ahora con técnicas de simulación mecánica para mejorar el análisis torsional de la transmisión.

1 Transmisión típica formada por un soplador (izquierda), un árbol (atraviesa la caja amarilla), una reductora (bajo el aislamiento acústico amarillo delantero) y un motor con refrigerante (derecha).



tes proceden de todos los componentes principales: la máquina movida, la reductora, el motor, etc. [1] → 1.

Análisis torsional de trenes de transmisión

El objetivo de un análisis torsional es predecir el comportamiento vibratorio de una transmisión. Esta información es necesaria para que no se presenten vibraciones perjudiciales en ninguna condición operativa. En el peor de los casos, los fallos en este análisis pueden provocar una interrupción imprevista del funcionamiento o un fallo catastrófico.

En la mayoría de los casos industriales, cada elemento del tren de transmisión lo diseña y fabrica un fabricante, y a menudo sin prestar la debida atención a los demás componentes. Esto plantea un problema para el integrador de sistemas, ya que una característica distintiva de la vibración de un tren de transmisión es la interacción entre sus componentes, lo que obliga a analizar en su conjunto las vibraciones torsionales del sistema. Es una práctica habitual del integrador de sistemas la preparación de un modelo torsional basándose en los datos suministrados por los fabricantes de cada componente.

Con este modelo, el integrador de sistemas, junto con los fabricantes, ajusta el diseño del tren de transmisión para satisfacer los requisitos de vibración torsional.

El modelo de torsión aplicado suele ser unidimensional. Se trata de una cuestión práctica, porque el modelo numérico completo de cada componente incluiría información que es superflua para el análisis de torsión. Además, el modelo completo podría revelar información confiden-

ABB ha respondido a las dificultades de la simulación de trenes de transmisión desarrollando modelos sencillos y portátiles que describen con precisión la interacción electromagnética.

cial sobre el producto. Por lo tanto, los modelos de componentes de transmisiones de torsión deben ser simples, portátiles y lo suficientemente precisos para el trabajo que se contempla, pero no excesivamente complicados → 2.

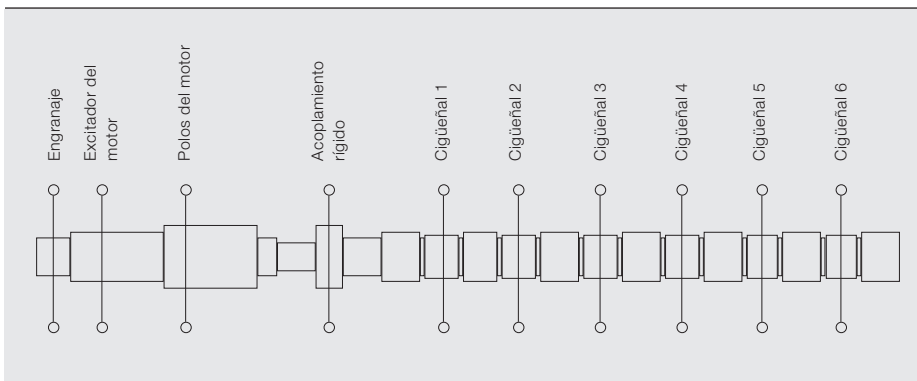
Tradicionalmente, la máquina eléctrica de una transmisión se modeliza basándose en las características de rigidez e inercia del rotor. Este tipo de modelo de rotor se

Una cadena de transmisión típica se compone de una máquina accionada (como un compresor o una bomba), una caja reductora opcional, un motor, un convertidor de frecuencia opcional y la red eléctrica. Estos componentes individuales se acoplan mecánica y eléctricamente y la energía necesaria para realizar el trabajo útil final, como, por ejemplo, la aceleración de un fluido en una bomba, circula por cada uno de ellos. Todos los componentes deben soportar este flujo de energía, que aparece en los componentes mecánicos en forma de par.

El par nominal, o asignado, es la base para el dimensionado del componente, pero se pueden presentar cargas extremas en condiciones de resonancia o de fallo. Las vibraciones de resonancia se producen cuando hay una excitación en alguna de las frecuencias naturales del sistema (por ejemplo, la frecuencia natural más baja de un tren de transmisión de gran tamaño está alrededor de 20 Hz). Las excitaciones armónicas contribuyen-

Imagen del título

Complementando los modelos mecánicos con el conocimiento de la simulación electromagnética puede mejorar la calidad del diseño de máquinas giratorias. ¿Cómo se pueden combinar dos mundos de modelización tan dispares?



La clave es el cálculo de coeficientes de resorte (rigidez torsional) y amortiguación electromagnéticos.

incorpora fácilmente al modelo del sistema. Los efectos electromagnéticos se desprecian normalmente, aunque puedan afectar al comportamiento vibratorio al introducir la rigidez y la amortiguación electromagnéticas. Una de las razones para despreciar estos efectos es la dificultad de incorporar la parte electromagnética del modelo del motor en el modelo de la transmisión [2].

Simulación de campos electromagnéticos

Para acomodar el comportamiento típico de los campos electromagnéticos de rotor y estátor, se suelen utilizar modelos numéricos bidimensionales para describir el comportamiento electromagnético de una máquina eléctrica → 3. La figura muestra una instantánea de las corrientes y los campos magnéticos típicos en un motor eléctrico durante su funcionamiento. En la parte superior izquierda de la figura se muestran la densidad de flujo magnético y las líneas de flujo. Las líneas del campo magnético discurren en el plano de la figura; las corrientes eléctricas de los devanados de rotor y estátor lo hacen en dirección perpendicular. El campo electromagnético gira alrededor del centro del eje. El rotor acompaña al campo giratorio, bien de forma síncrona, bien con un ligero retraso. Normalmente, los campos electromagnéticos, incluso en estado estacionario, se deben simular en el dominio temporal. La longitud máxima del paso de tiempo de simulación viene determinada por la precisión necesaria pero suele ser de unas decenas o centenares de microsegundos.

La simulación se dificulta a causa de la variación de la geometría de la separación entre el rotor/estátor producida por el giro de la máquina (la falta de linealidad producida por la saturación magnética del acero

componente también complica la cuestión). La tarea principal de las máquinas eléctricas (la conversión de energía eléctrica en energía mecánica) se lleva a cabo en el entrehierro o separación, por lo que es esencial un análisis matemático cuidadoso del comportamiento del campo electromagnético en el mismo para un cálculo preciso del par mecánico.

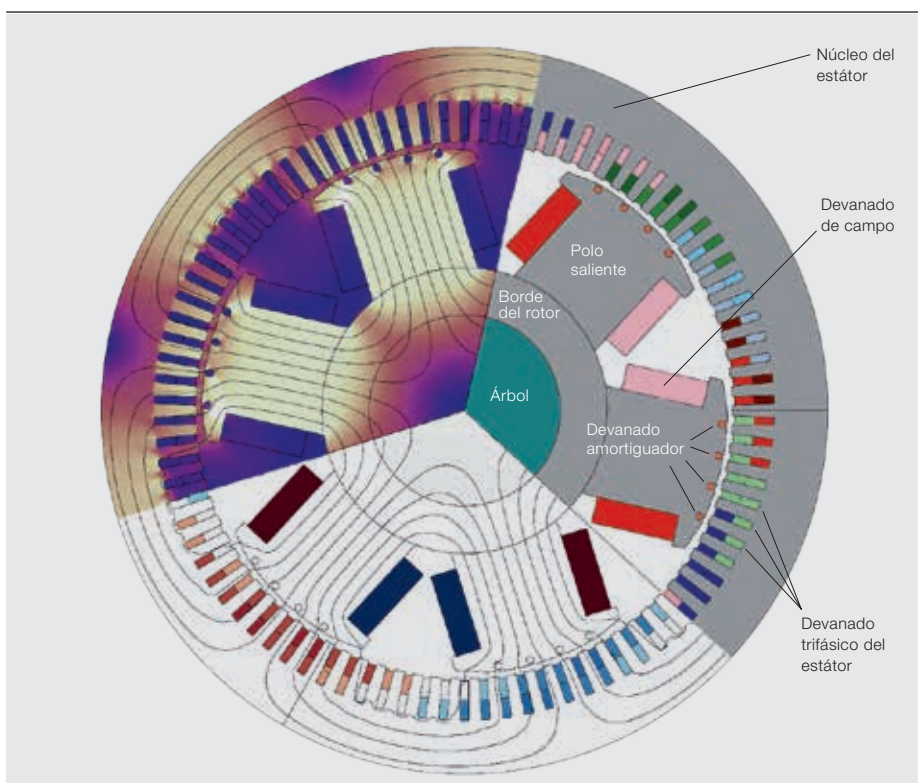
Análisis conjunto electromagnético y mecánico de la transmisión

Una forma de simular un sistema de torsión es hacer que el modelo mecánico de la transmisión forme parte del modelo del motor eléctrico. En este caso, el modelo del motor eléctrico utilizará una velocidad de giro variable del rotor (la que está determinada por el par motor, el par de carga y las ecuaciones del movimiento). Este tipo de simulación es relativamente sencillo siempre que el modelo mecánico del rotor de la transmisión sea sencillo y utilice elementos bien conocidos. Este tipo de modelo permite la simulación de diversas condiciones operativas, como la respuesta mecánica a excitaciones de torsión que se originan en la máquina accionada, la caja de engranajes, el motor eléctrico o el sistema de alimentación. Además, se pueden analizar sucesos transitorios, tales como cortocircuitos o puestas en marcha del sistema.

Este método es una forma excelente de evaluar los efectos electromecánicos sobre la dinámica torsional, y ABB lo ha utilizado con éxito en algunos casos especiales. Sin embargo, este tipo de simulación y análisis es demasiado laborioso desde el punto de vista del cálculo para usarlo en el diseño torsional estándar de la transmisión. Además, los integradores de sistemas o sus asesores no suelen tener acceso a las herramientas de simulación adecuadas.

Está surgiendo un consenso sobre modelos sencillos y comunes que describan con precisión los efectos electromagnéticos en las transmisiones, aunque la forma exacta de estos modelos todavía sigue abierta.

3 Sección de un motor síncrono de gran potencia de seis polos.



Modelos de rigidez y amortiguación electromagnéticas

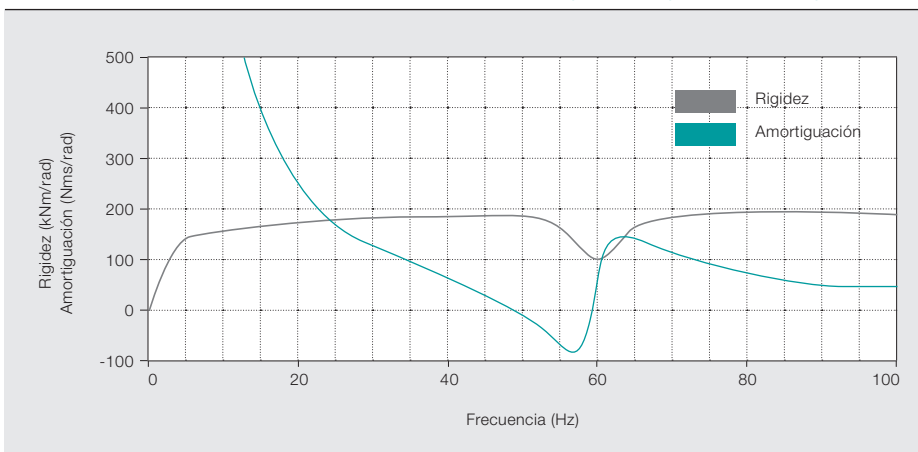
ABB ha respondido a las dificultades de la simulación de trenes de transmisión desarrollando modelos sencillos y portátiles que describen con precisión la interacción electromagnética [3]. La clave de estos modelos es el cálculo de los coeficientes de resorte (rigidez torsional) y amortiguación electromagnéticas → 4. Ambos coeficientes dependen de la frecuencia y pueden determinarse sin un modelo mecánico de la transmisión mediante la simulación del motor en la condición de funcionamiento estacionario. La rigidez torsional es la relación entre las amplitudes del par oscilante y el desplazamiento angular, y la amortiguación es la relación entre las amplitudes del par y la velocidad.

En principio, se pueden calcular estas relaciones de rigidez y amortiguación para una determinada frecuencia obligando a que el rotor oscile a esa frecuencia y calculando la oscilación del par en la misma frecuencia. En la práctica, esto se complica porque el estriado del rotor y el estator genera armónicos de par que pueden coincidir con la frecuencia que se investiga. Puede eliminarse esta interferencia calculando un análisis de referencia con los mismos parámetros exactamente pero sin la oscilación del rotor y “restándoselo”.

El único inconveniente de este método es la gran cantidad de cálculo necesario: se precisan dos simulaciones en el dominio del tiempo con post-procesado para obtener los coeficientes sólo para una frecuencia en una condición de funcionamiento determinada.

Una solución más eficaz es aplicar un método espectral que se base en la excitación por impulso. En este método, se excita el rotor mediante un impulso de giro forzado y se simula la respuesta del par. Después de calcular la diferencia entre los resultados de esta simulación y la solución de referencia, se pueden determinar los coeficientes de rigidez y amortiguación electromagnéticas para un margen de frecuencias. Este margen depende de los parámetros de los impulsos, pero cubre fácilmente el margen de frecuencias que interesa para el diseño torsional del tren de transmisión. Sorprendentemente, este método de impulsos se puede utilizar para un sistema no lineal y de tiempo-armónico: numerosas simulaciones muestran que el sistema parece ser lineal en relación con la amplitud de la excitación y, por tanto, los coeficientes calculados de rigidez y amortiguación describen el comportamiento durante una oscilación torsional arbitraria.

4 Rigidez torsional electromagnética y amortiguación, dependientes de la frecuencia de vibración, en un motor de inducción de 60 Hz/932 kW [3]. Nótese la amortiguación negativa entre 49,7 y 59,4 Hz.



De esta forma, el gran número de simulaciones que se precisaba anteriormente para determinar los coeficientes de rigidez y amortiguación se puede sustituir por sólo dos.

Los coeficientes de rigidez y amortiguación electromagnética así obtenidos se pueden incluir en el análisis de torsión de la transmisión. La dependencia de la fre-

Un modelo de circuito equivalente es un modelo analítico de motor descrito mediante un número limitado de parámetros (unos 10, en los modelos más sencillos). Estos modelos describen el comportamiento de una máquina eléctrica desde el punto de acceso de la tensión de alimentación hasta el par axial y la velocidad resultantes. Se establecieron para el análisis y el diseño eléctrico antes de la apari-

ción de los ordenadores, pero siguen siendo útiles como parte de un modelo torsional del tren de transmisión. La dificultad de utilizarlos aquí está relacionada con el acoplamiento del modelo de circuito equivalente con el modelo

mecánico de la transmisión. El anterior no es un componente estándar de un modelo de torsión característico y, por tanto, es difícil su inclusión sin disponer de acceso al código fuente o un conocimiento profundo. Sin embargo, es muy factible y este tipo de modelo de motor se usa frecuentemente como parte de un sistema de control del convertidor de frecuencia.

La precisión es otra dificultad intrínseca de los modelos de circuito equivalente, ya que fueron desarrollados durante los primeros años de las máquinas eléctricas cuando los parámetros del modelo se basaban en las dimensiones reales de los componentes críticos y los resultados experimentales. En la actualidad, se pueden aplicar modelos de simulación para determinar los parámetros del modelo. Este método combina la precisión de la

simulación y la sencillez y la portabilidad de los modelos de circuito equivalente.

Función del modelo

Los modelos de simulación de campos electromagnéticos actuales producen información precisa con poco esfuerzo, pero los efectos electromagnéticos solamente se incluyen ocasionalmente en el diseño de torsión de los sistemas de transmisión. La razón principal es, probablemente, la dificultad de incluir los efectos en un programa estándar de cálculo que se pueda poner a disposición de los integradores de sistemas.

Hay varias formas de combinar las partes mecánica y eléctrica de los modelos de torsión de transmisiones, pero está surgiendo un consenso entre modelos comunes y sencillos que describan con precisión los efectos electromagnéticos en los trenes de transmisión, aunque la forma exacta de estos modelos aún está abierta. ABB continúa trabajando en estrecha colaboración con los clientes y la comunidad de máquinas giratorias para afinar estos modelos. Este trabajo de desarrollo facilitará la inclusión habitual de los efectos electromagnéticos en el análisis de transmisiones y llevará a nuevos y mejores productos de trenes de transmisión.

Timo P. Holopainen

Tommi Ryyppö

ABB Motors and Generators
Helsinki, Finlandia
timo.holopainen@fi.abb.com
tommi.ryyppö@fi.abb.com

Gunnar Porsby

ABB Motors and Generators
Västerås, Suecia
gunnar.lf.porsby@se.abb.com

Referencias

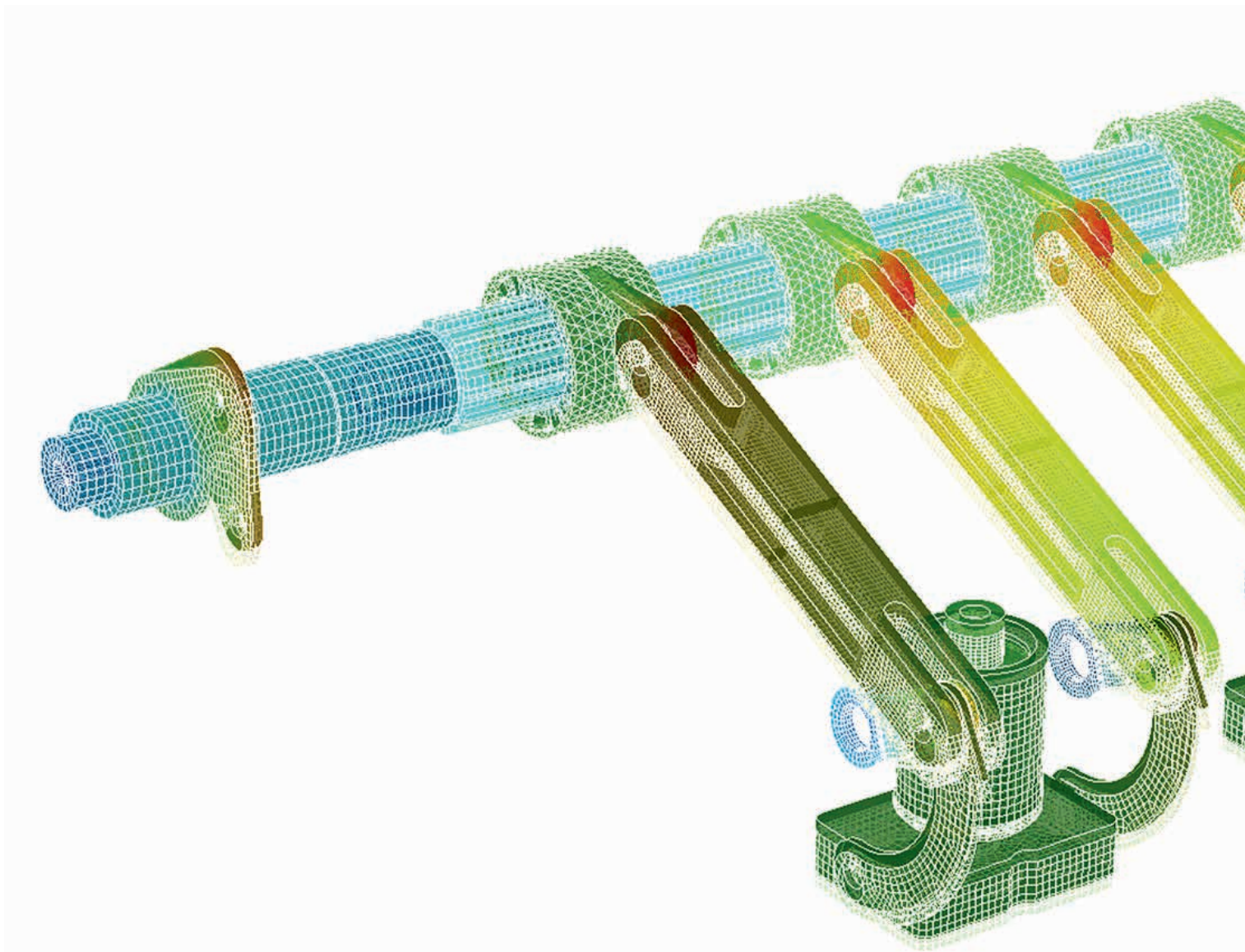
- [1] API 684, "API Standard Paragraphs – Rotor-dynamic Tutorial: Lateral Critical Speeds, Unbalance Response, Stability, Train Torsionals and Rotor Balancing," 2nd edition, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2005.
- [2] T. P. Holopainen, et al., "Electric motors and drives in torsional vibration analysis and design," in Proceedings of the Forty-Second Turbomachinery Symposium. Houston, TX, Estados Unidos, 2013. Se publicará en <http://turbolab.tamu.edu/proc/>
- [3] T. P. Holopainen, et al., "Electromechanical interaction in torsional vibrations of drive train systems including an electrical machine," in Proceedings of the 8th International Conference on Rotor Dynamics. Seúl, Corea, 12–15 de septiembre de 2010.

El gran número de simulaciones que se precisaba antes para determinar los coeficientes de rigidez y amortiguación se puede sustituir por sólo dos.

cuencia de estos parámetros puede complicar ligeramente su inclusión pero, en principio, todos los programas de análisis pueden manejar este tipo de dependencia. Es más inquietante el hecho de que los coeficientes se calculan para una sola condición operativa.

Modelo del circuito equivalente

Una solución más flexible, aunque ligeramente menos precisa, consiste en aplicar un modelo de circuito equivalente que se ocupe de los efectos electromagnéticos. En ABB, este método se ha utilizado en el análisis y el diseño de trenes de transmisión durante más de 20 años: a principios del decenio de 1990 se desarrolló con gran éxito un software propio sofisticado, Simulación de transitorios en máquinas (SMT), especialmente para sistemas que incorporan grandes motores síncronos.

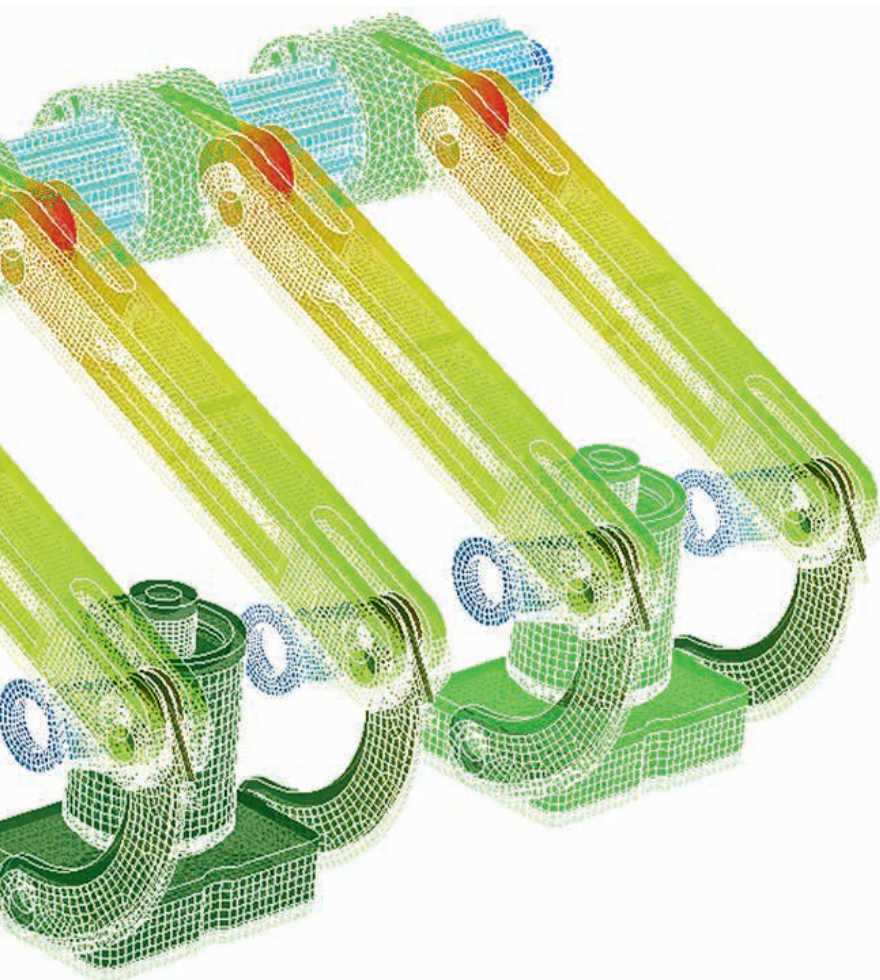


Matriz de modelos

Conceptos de simulación modularizada para el análisis y la optimización de interruptores

GRZEGORZ JUSZKIEWICZ, CHRISTIAN SIMONIDIS, GREGOR STENGEL, LUKASZ ZIOMKA, SAMI KOTILAINEN – Durante mucho tiempo se han utilizado herramientas de simulación por ordenador en el desarrollo de productos. Los ingenieros se enfrentan, cada vez más, a situaciones en las que hay que combinar simulaciones de distintas disciplinas físicas. El desarrollo de interruptores automáticos de media y alta tensión es un buen ejemplo de ello: durante las fases de diseño y pruebas hay que tener en cuenta todos los efectos mecánicos, de circulación de gases, tribológicos, hidráulicos y electromagnéticos, y, si es posible, deben simularse todos ellos de forma concertada con los demás.

Además, los interruptores accionados por bobina pueden controlarse electrónicamente, de modo que hay que introducir también el aspecto del control en el diseño y el análisis del producto. Tradicionalmente, cada dominio tenía una herramienta especial de simulación y expertos especializados que cooperaban e intercambiaban datos de simulación y conocimientos en las zonas de unión adecuadas. Pero la complejidad del diseño de los interruptores modernos exige organizar estos dominios de simulación dentro de una estructura que garantice la transferibilidad dinámica y en tiempo real, la transparencia y la posibilidad de reutilización, así como la existencia de bibliotecas de objetos de modelos e interfaces que sean fáciles de usar.



En el postprocesador, el usuario puede ver todos los resultados de campos predefinidos, mostrar u ocultar casos de componentes, crear secciones transversales y definir vistas personalizadas.

En el entorno actual de desarrollo multinacional, las herramientas de simulación son utilizadas en organizaciones diferentes por técnicos con distintos niveles de competencia. Además, hay que emplearlas de la forma más eficiente posible: aquella en que se puedan captar con facilidad las mejores prácticas y se automaticen o eliminen tareas de construcción de modelos repetitivas. Para ello, en ABB se emplean dos métodos principales en el diseño de interruptores automáticos.

Imagen del título

Con el fin de alcanzar una visión rápida de la compleja física del comportamiento de los interruptores, hay que organizar varias herramientas de simulación para que trabajen conjuntamente en una configuración estructurada que facilite el encadenamiento de herramientas y el intercambio de variables entre ellas durante la ejecución. Pero la interacción de herramientas que simulen dominios físicos completamente distintos es una cuestión complicada ¿cómo puede hacerse?

Herramientas y entorno

El primer método se confía al kit de herramientas de simulación para interruptores (BST), un conjunto de subrutinas definidas por el usuario incorporadas en la herramienta comercial de simulación multicuerpo MSC.ADAMS. Las subrutinas definen componentes de interruptor automático utilizados habitualmente, tales como mecanismos operativos, varillaje, amortiguadores, etc. Los componentes del BST son totalmente paramétricos, lo que permite ejecutar diversos estudios de diseño y son fácilmente accesibles desde la interfaz gráfica de usuario del MSC.ADAMS.

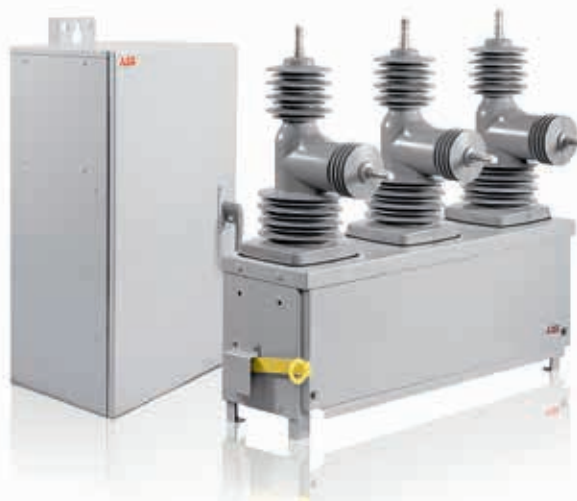
Un método algo diferente es el adoptado por las bibliotecas de interruptor incorporadas en la plataforma Dymola: un entorno comercial de modelización y simulación basado en el lenguaje abierto de modelización Modelica. Aquí se modeliza todo el comportamiento termodinámico de las cámaras del interruptor a partir de com-

En el entorno actual de desarrollo multinacional, las herramientas son utilizadas en organizaciones diferentes por técnicos con distintos niveles de competencia.

ponentes estándar y se almacena en una biblioteca central. De esta forma, todas las variantes del desarrollo están disponi-

Una alternativa al encadenado es el método de acoplamiento total. El acoplamiento responde a la necesidad de disponer de una interacción realista, en tiempo real y dinámica de los dominios físicos.

1 Componentes del reconector trifásico ABB Gridshield. La unidad de protección y control RER620 (abajo, derecha) forma parte del reconector.



bles durante el proyecto y, cuando se publica el diseño final, se guarda y queda disponible cuando sea necesario para los diversos usuarios externos. Los usuarios externos no pueden cambiar las variantes, y el cifrado del modelo protege la información confidencial. Este método ofrece las ventajas de un proceso de desarrollo rápido y asegura que una misma variante del producto está disponible para todos los usuarios.

A veces es necesario tener flexibilidad cuando se trabaja con los componentes (con piezas seleccionadas del conjunto completo) del sistema que se va a simular. En el caso de MSC. ADAMS o Dymola, la geometría del objeto componente está representada por una masa puntual ("masa agrupada") con momentos de inercia predefinidos, y los propios componentes se tratan como entidades rígidas. Simulaciones basadas en métodos de análisis de elementos finitos (FEA) ofrecen entonces cálculos precisos de esfuerzos, deformaciones y muchas otras variables para los componentes representados de forma discreta. Las interacciones entre los componentes pueden formularse en términos de elementos de conector y de comportamiento del contacto.

La modelización del contacto es de gran importancia ante interacciones complejas entre partes del conjunto: se pueden prever posibles colisiones entre componentes y evaluar la presión máxima de contacto.

ABAQUS es un ejemplo de paquete FEA comercial que puede ofrecer esta modelización flexible de sistemas multicuerpo. Puesto que ABAQUS representa el sistema en forma de elementos finitos, se precisa un esfuerzo extra del usuario para la generación de mallas, definición de relaciones entre componentes, asignación de materiales, caracterización de cargas y establecimiento de condiciones de contorno. Se puede utilizar el lenguaje de programación Python de código abierto para automatizar algunos de estos pasos. Además, se pueden definir funciones sofisticadas del modelo de elementos finitos mediante subrutinas del usuario. Además de esto, FEA también ofrece un método híbrido para la modelización de sistemas multicuerpo donde ciertos componentes están representados por cuerpos rígidos y otros por cuerpos flexibles. Esto puede hacer los tiempos de cálculo mucho menores que en el caso de la modelización de cuerpos totalmente flexibles.

Por tanto, disponemos de las herramientas y el entorno necesarios para simulaciones complejas. Queda la tarea de organizarlas de tal forma que herramientas de dominios físicos muy diferentes trabajen coordinadamente para conseguir los mejores resultados de la simulación.

Encadenamiento de herramientas y acoplamiento de modelos

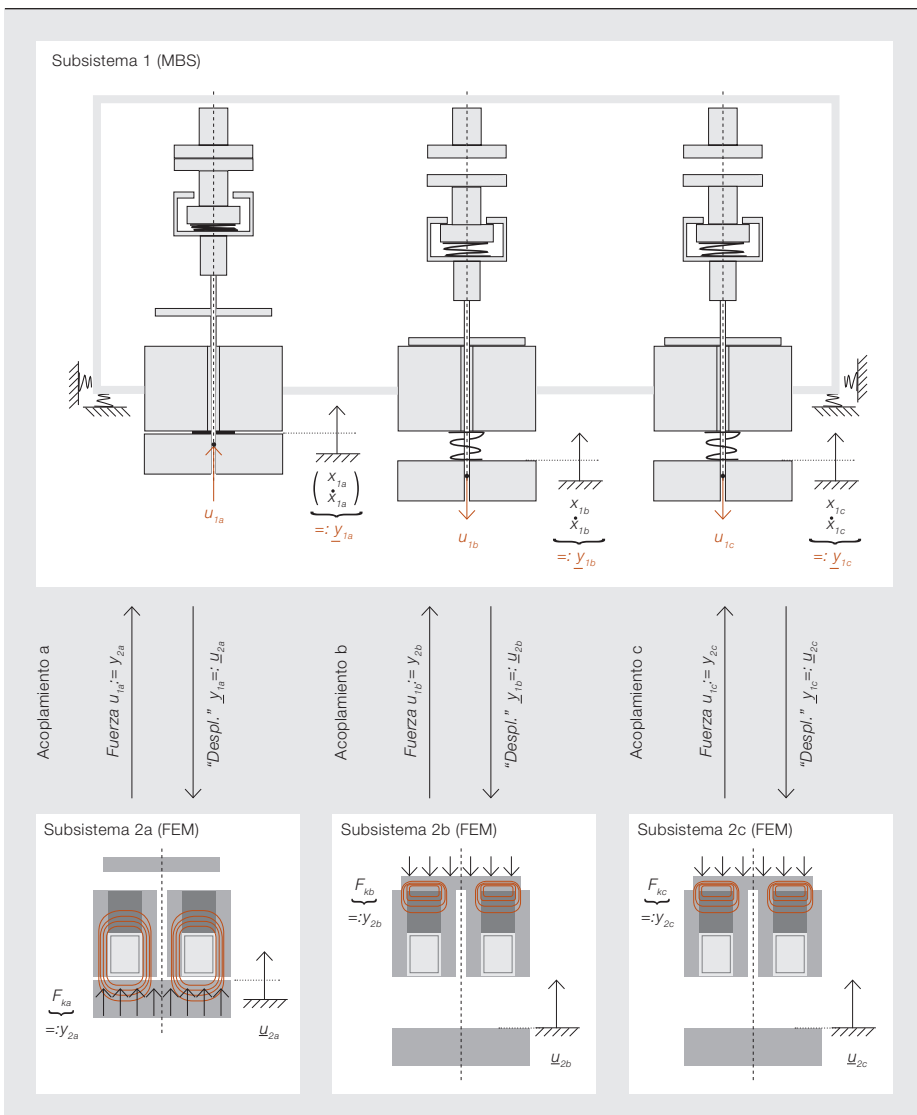
En el desarrollo del producto, a menudo se puede utilizar la salida de una simulación como entrada de otra. Esto se llama encadenamiento de herramientas. En el caso de simulaciones de mecanismos, los

resultados de los cálculos de cuerpos rígidos (por ejemplo, MSC.ADAMS) pueden pasarse a un paquete FEA (por ejemplo, ABAQUS) para examinar detalles concretos. Otro ejemplo es el uso de la salida de una simulación térmica como entrada de otra de dinámica de fluidos.

Una alternativa al encadenamiento es el acoplamiento completo. El acoplamiento responde a la necesidad de disponer de una interacción dinámica realista y en tiempo real de dominios físicos. Hay dos métodos dominantes de acoplamiento.

En el primero, se incorporan las ecuaciones físicas generales en una sola herramienta multifísica adecuada, empleando modelos realistas de fuerzas externas no lineales en lugar de simplificaciones tales como tablas de búsqueda.

En el segundo, se construyen submodelos monodisciplinarios en herramientas especializadas y se acoplan entre sí según un criterio matemático. Las ecuaciones de los submodelos correspondientes a cada dominio físico son resueltas por su integrador de tiempo y se intercambia la información relacionada con el estado de ambos sistemas en determinados momentos sincronizados. La denominada cosimulación permite calcular interacciones físicas complejas, facilita la reutilización de submodelos y concentra eficientemente el conocimiento de los expertos de determinados dominios físicos.



Durante el desarrollo del producto, a menudo se puede utilizar la salida de una simulación como entrada para otra. Esto se llama encadenamiento de herramientas.

Entorno de acoplamiento

ABB ha creado un entorno de simulación que utiliza rutinas de acoplamiento propias y comerciales para permitir la cosimulación entre los mundos de mecánica multicuerpo, mecánica estructural, dinámica de fluidos y electromagnetismo de transitorios. El análisis de la interacción de los efectos de la difusión magnética y la dinámica del mecanismo es una herramienta particular e importante, no muy habitual en las ofertas multifísicas actuales. Para compensar esta deficiencia, ABB ha desarrollado en unión con universidades un entorno adecuado que permite el acoplamiento de COMSOL (un paquete FEA adaptado para fenómenos acoplados) con MSC.ADAMS.

Cosimulación y diseño de interruptores

Se ha simulado un producto reciente accionado por bobina, el reconector Gridshield® de ABB, utilizando cosimula-

ción → 1. Este supuesto de simulación incluye varios subsistemas → 2. El análisis electromecánico llevado a cabo en el desarrollo de este producto proporciona un buen ejemplo de simulación acoplada.

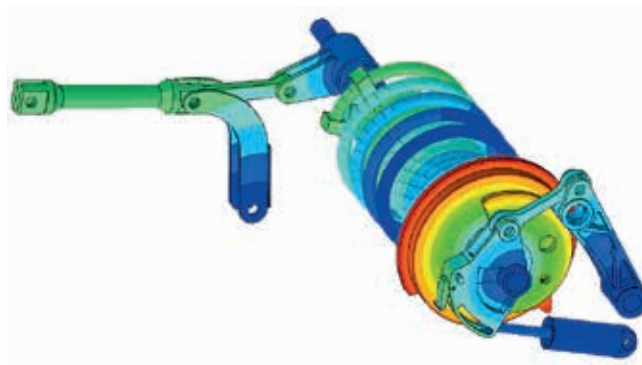
El primer paso de este análisis es evaluar la distribución de densidades de intensidad y fuerza de Lorentz. El segundo paso implica el cálculo de esfuerzos y desplazamientos de componentes sujetos a fuerzas de Lorentz.

Las fuerzas de Lorentz, las pérdidas de potencia y las densidades de intensidad se pueden calcular con Simulation Toolbox, un software interno de ABB. Para los esfuerzos y desplazamientos hay dos herramientas: el solucionador mecánico incluido en Simulation Toolbox o ABAQUS. Este último permite una simulación personalizada: se pueden añadir más salidas de campo, definir propiedades no lineales de

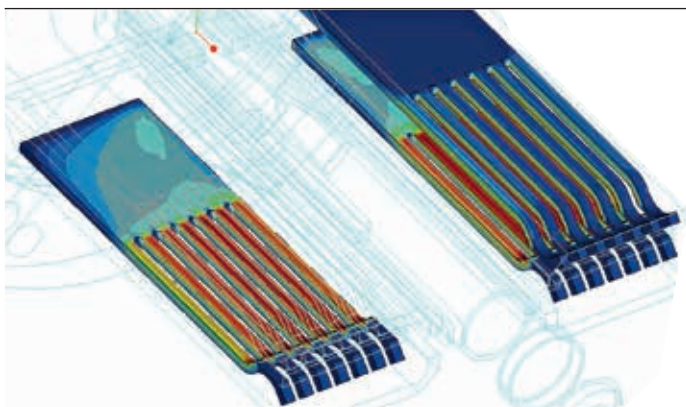
los materiales y realizar un análisis modal para comprobar modos propios y frecuencias naturales. Simulation Toolbox utiliza PTC Creo Simulate como preprocesador y postprocesador. PTC Creo Simulate permite construir prototipos virtuales en 3-D que admiten la prueba de propiedades estructurales y térmicas del diseño en fases iniciales del proceso. En el postprocesador, el usuario puede ver todos los resultados de campo predefinidos, mostrar u ocultar casos de componentes, crear secciones transversales, definir vistas personalizadas, etc.

Ejemplo: accionamiento de interruptores

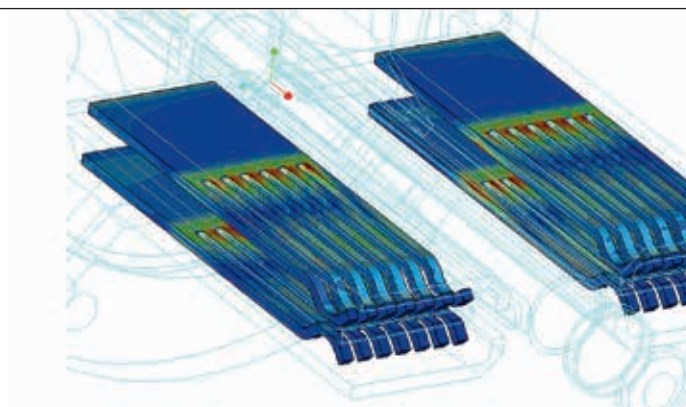
El accionamiento MSD1 está montado en un interruptor automático de alta tensión y es responsable de la apertura y el cierre de los contactos del interruptor → 3. La energía necesaria para abrir y cerrar el contacto se almacena en tres muelles. Se



5 Dedos de contacto del interruptor: fuerza de Lorentz y vista del campo de esfuerzo



5a Densidad de la fuerza de Lorentz



5b Distribución del campo de esfuerzo

utilizan dos de los muelles para cerrar el contacto y uno (el exterior) para abrirlo. Cuando se sueltan, la energía almacenada en los muelles produce el giro del eje principal del accionamiento. Este eje hace funcionar el mecanismo de contacto dentro del interruptor.

Se puede modelizar este aparato (o sus componentes) empleando varias herramientas distintas de simulación (como MSC.ADAMS, Dymola, ABAQUS). Además, se pueden acoplar estas herramientas: la salida de un solucionador se puede utilizar como entrada para otro. La salida de ABAQUS para un campo de desplazamiento calculado de esta forma se muestra en → 4.

Ejemplo: dedos de contacto del interruptor

Otro ejemplo de cosimulación es la simulación electromecánica de los componentes del interruptor. La idea era evaluar la densidad de la corriente y la fuerza de Lorentz. Las fuerzas evaluadas se pasaron a un código estructural de FE (elemento finito) para poder evaluar los esfuerzos y

los desplazamientos. Un ejemplo de densidad de corriente y distribución de campos de esfuerzos se muestra en → 5.

Marco futuro

Las modernas herramientas de simulación ofrecen una amplia gama de potentes métodos que se pueden utilizar para resolver los complejos problemas que se presentan durante el desarrollo de productos sofisticados. Las herramientas que simulan diversos regímenes físicos diferentes pueden acoplarse y encadenarse utilizando software y módulos enchufables desarrollados externa e internamente. Esta metodología sinérgica potencia la fortaleza de las herramientas individuales y proporciona una técnica de simulación que es mucho más que la suma de sus partes. Es importante tener en cuenta que este método modular de simulación produce resultados precisos y útiles dentro de un tiempo de cálculo razonable. Se sigue trabajando para aumentar la convergencia de estas herramientas de simulación y para integrarlas aún más en un marco coherente.

De esta forma, serán incluso de más fácil aplicación y los ingenieros con distintos grados de experiencia de diferentes organizaciones podrán aprovechar esta sinergia para crear productos todavía mejores.

Grzegorz Juszkievicz

Lukasz Ziomka

ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia
grzegorz.juszkievicz@pl.abb.com
lukasz.ziomka@pl.abb.com

Christian Simonidis

Gregor Stengel

ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania
christian.simonidis@de.abb.com
gregor.stengel@de.abb.com

Sami Kotilainen

ABB High Voltage Products
Baden, Suiza
sami.kotilainen@ch.abb.com



Enchufe inteligente para teléfonos inteligentes

Enchufe con conector USB integrado

SASCHA DEHLEN – La conexión USB se ha convertido con gran rapidez en un estándar mundial muy popular que apoyan numerosas empresas y organismos públicos. Tanto se ha generalizado este práctico conector, que un hogar típico dispone actualmente de numerosos dispositivos que lo necesitan para transferir datos y cargar baterías: teléfonos, teléfonos inteligentes, tabletas, reproductores MP-3, cámaras digitales y

dispositivos de navegación por satélite. Sin embargo, a la hora de recargar estos accesorios, surge un problema: ¿dónde está el cargador? Esto se complica con el dilema de determinar el electrodoméstico que se deberá desenchufar para conectar el cargador, cuando se ha encontrado. Estos problemas desaparecen con el enchufe SCHUKO® de Busch-Jaeger con conector USB integrado.

1 Enchufe SCHUKO con toma USB de Busch-Jaeger



2 Fuente de alimentación USB Busch-Jaeger



En muchos países, el enchufe SCHUKO en la pared simboliza el aspecto reconfortante y estable de la tecnología que ha permanecido sin cambios durante décadas, mientras que la tecnología que utiliza la electricidad que canaliza ha evolucionado a un ritmo vertiginoso. Podría parecer el típico producto maduro que permanecerá siempre al margen de la innovación, pero Busch-Jaeger le ha cambiado la cara combinándolo con el conector más popular de los últimos cincuenta años: el USB (bus en serie universal) → 1.

Esta galardonada innovación elimina la necesidad de disponer de transformadores individuales y cables USB conectados a los enchufes, pues la toma USB siempre es accesible.

Imagen del título

La innovación se hace más llamativa cuando afecta a cosas que llevan décadas sin cambiar. La incorporación de una toma de carga USB a un sencillo enchufe doméstico es buen ejemplo.

Ahora se puede cargar cómodamente cualquier dispositivo sin desenchufar ningún electrodoméstico. El enchufe SCHUKO USB para empotrar suministra una corriente de carga de hasta 700 mA e incluye protección infantil. Como el factor de forma es exactamente igual que el de cualquier enchufe SCHUKO actual, instalar la nueva toma USB es sencillo.

Otras dos innovaciones

La empresa ha desarrollado dos productos de carga USB que complementan el enchufe SCHUKO USB: una fuente de

Busch-Jaeger ha cambiado la cara del enchufe corriente combinándolo con el conector más popular de los últimos cincuenta años: el USB.

alimentación USB y una estación de carga USB. Las dos unidades van también empotradas.

La fuente de alimentación USB de Busch-Jaeger tiene dos conectores USB de carga → 2 Utiliza la tapa normal que de las tomas de teléfono TAE y el usuario puede configurar dos tomas de 700 mA o una de 1.400 mA, dependiendo de los requisitos de carga del dispositivo (algunas tabletas consumen mucho).

3 Estación de carga USB Busch-Jaeger



Con la estación de carga USB de Busch-Jaeger, la alimentación se entrega por medio un cable flexible con un conector micro-USB que proporciona hasta 1.400 mA. La conexión micro-USB ha sido elegida como el conector estándar más popular del mundo, y cumple además las normas de la UE. La estación de carga ofrece también un cómodo soporte para cargar el smartphone → 3. El soporte dispone de una superficie antideslizante para sujetar el teléfono en el caso de que vibre.

Galardones

El enchufe SCHUKO USB de Busch-Jaeger ha recibido varios premios internacionales: obtuvo el premio holandés Rexel Innovation Prize 2013 y el prestigioso premio ETOP Innovation Award, una distinción otorgada por el organizador de la exposición VNU Exhibitions Europe y la organización eléctrica holandesa "Federatie Elektrotechniek" en la feria Elektrotechniek 2013 de Utrecht.

Además, la toma SCHUKO USB obtuvo el premio Audience Choice Award en el pabellón de diseño de la feria IFA de Ber-

4 Enchufe SCHUKO con toma USB de Busch-Jaeger



El enchufe SCHUKO con toma USB de Busch-Jaeger recibió en septiembre de 2013 el premio Elección de la audiencia en el pabellón de diseño de la feria IFA.

lín en septiembre de 2013 → 4. La finalidad de este premio es mejorar la visibilidad del diseño y la facilidad de uso, tanto para los usuarios como para los fabricantes.

Hay que destacar un hecho inusual para un producto de ABB o Busch-Jaeger, que recuerda su gran atractivo: recientemente se pasó el primer anuncio del enchufe SCHUKO USB en la televisión nacional alemana en horario de máxima audiencia.

El propio conector USB no solo se está haciendo omnipresente, sino que su desarrollo continúa: está prevista una versión reversible (se optó por el diseño actual, no reversible, por motivos económicos), y la próxima generación de la interfaz USB podrá suministrar 100 W y sustituir a los cables de alimentación en algunas aplicaciones. Esto hará que la conectividad USB sea aún más frecuente en el ámbito doméstico y la integración de la tecnología USB en los electrodomésticos y la infraestructura del hogar dejará de ser solo una cuestión de comodidad para convertirse en una necesidad. El enchufe SCHUKO USB es el primer paso en esta dirección.

Como el factor de forma coincide exactamente con los enchufes SCHUKO normales, instalar la nueva toma USB es sencillo.

Sascha Dehlen

Busch-Jaeger Elektro GmbH,
miembro del Grupo ABB
Ludenscheid, Alemania
sascha.dehlen@de.abb.com





Jugador experto

El RPC PCS100 de ABB no se limita a compensar la potencia reactiva

SOPHIE BENSON-WARNER – Para algunos fabricantes, la interrupción o la degradación de la calidad de la alimentación eléctrica es una pesadilla. Sin embargo, para otros estas situaciones pueden anunciar una gran catástrofe que se traduzca en enormes costes de recuperación y tiempos prohibitivos de parada de la producción. El Reactive Power Conditioner (acondicionador de energía reactiva) de ABB está diseñado para aliviar los problemas más comunes de la tensión de alimentación causados por la energía reactiva, los armónicos, las cargas que cambian rápidamente, la caída de tensión, un mal factor de potencia, etc. En combinación con un sistema de alimentación ininterrumpida adecuado, el Reactive Power Conditioner puede proporcionar una solución completa para la calidad de la energía eléctrica en aplicaciones industriales, comerciales y renovables.

Imagen del título

Cuando es posible, lo mejor es evitar la degradación de la alimentación eléctrica. El Reactive Power Conditioner PCS100 de ABB ayuda a mantener un suministro de energía eléctrica de gran calidad para cargas críticas, como en esta estación de bombeo de agua.



En el hogar, puede resultar molesto que incidentes lejanos de la red eléctrica hagan que las luces parpadeen o incluso que los aparatos se apaguen temporalmente. En la industria, las consecuencias son mucho más graves. Si se interrumpe una línea de producción, hay que volver a ponerla en marcha y, para algunas industrias, esto es una operación compleja y muy costosa. Asimismo, las compañías de gas, agua y electricidad son muy dependientes de una fuente de alimentación estable, al igual

hornos de arco y transitorios rápidos procedentes de fuentes de generación incrustadas, como las fotovoltaicas. Lo mejor es invertir en los equipos adecuados y garantizar un suministro constante de energía limpia de alta calidad. El Reactive Power Conditioner (RPC) PCS100 de ABB aborda la mayoría de los problemas de calidad de la energía que se encuentran en la industria.

Protección de la electricidad

ABB dispone de una gama de productos de protección eléctrica, y el Reactive Power Conditioner (RPC) PCS100 es la última incorporación a esta cartera → 2.

El RPC PCS100 está certificado para aplicaciones desde 100 kVA a 2.000 kVA y utiliza la tecnología de inversor IGBT de alta velocidad para controlar el flujo de energía reactiva en la red de CA.

Diseñado especialmente para aplicaciones industriales y comerciales, el PCS100 responde instantáneamente a los incidentes de la calidad eléctrica y proporciona al mismo tiempo la corrección continua de la energía reactiva → 3. Los problemas eléctricos se manifiestan

que muchas otras organizaciones, como complejos de oficinas o sistemas de transporte (trenes, aeropuertos, etc.) y puertos → 1. En el mundo industrial, pueden autogenerarse incidentes eléctricos perjudiciales por equipos de soldadura,

como cuestiones de factor de potencia, de caídas de tensión generadas al conectar, de desequilibrios de tensión o de tensiones fuera de los valores requeridos por la normativa (un problema concreto de los motores de arranque directo en línea) y de



Si se dejan sin corregir, los problemas eléctricos pueden dar lugar a perjuicios económicos y mal funcionamiento de costosos equipos eléctricos.

armónicos. Si se dejan sin corregir, estos problemas pueden dar lugar a perjuicios económicos y mal funcionamiento de costosos equipos eléctricos. Aunque el papel principal del RPC PCS100 es el acondicionamiento de la corriente, inyectando corriente reactiva en el circuito para estabilizar la tensión, el RPC PCS100 puede proporcionar una solución muy rentable para estos problemas. Puesto que el RPC PCS100 acondiciona la corriente absorbida por la carga del cliente, se adapta bien a otros productos de la familia PCS100, como el sistema de alimentación ininterrumpida UPS-I PCS100 y el acondicionador de tensión activa (AVC) PCS100, que suministran energía eléctrica para cargas críticas y acondicionan la tensión, respectivamente [1].

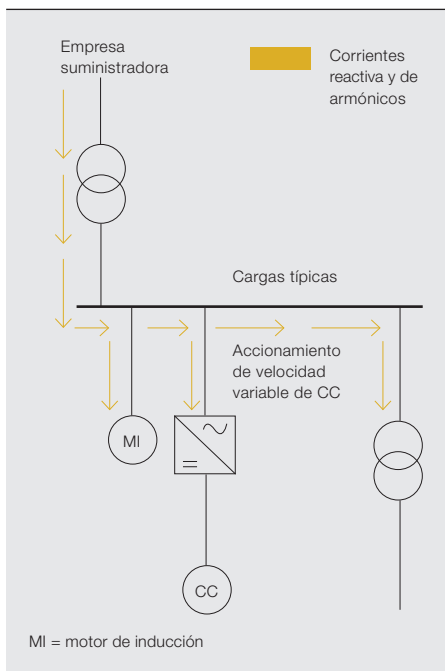
El RPC PCS100 está homologado para aplicaciones desde 100 kVA a 2.000 kVA y utiliza tecnología de inversores de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) de alta velocidad para controlar el flujo de energía reactiva a la red de CA. Inyectando corriente capacitiva o reactiva a distintas frecuencias y ángulos de fase, el RPC PCS100 proporciona de forma eficiente y fiable:

- Energía reactiva dinámica rápida
- Factor de potencia de uno
- Corrección del desequilibrio de la corriente
- Cancelación de armónicos

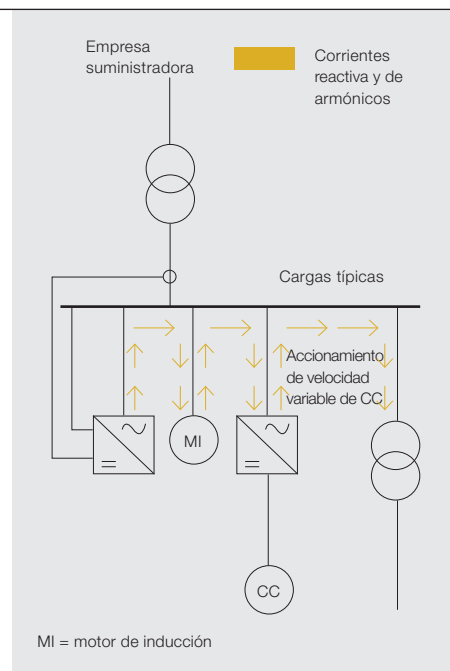
La tecnología de inversor empleada hace que la compensación sea continua, a diferencia de otras muchas soluciones. Esto minimiza las perturbaciones y asegura un acondicionamiento sin irregularidades de la energía eléctrica.

Los diseños redundantes modulares de alta fiabilidad facilitan la ampliación del sistema cuando crecen las necesidades de electricidad.

3 Esquema del RPC PCS100 de ABB



3a Sin RPC PCS100



3b Con RPC PCS100

Modularidad

Se ofrece una gama completa de armarios para el RPC PCS100. Todos son adecuados para una conexión directa a los suministros típicos de baja tensión (380 a 480 V) → 4. Hay aparatos desde 100 kVAr hasta varios MVar. Combinado con el UPS-I PCS100 y el AVC PCS100, el RPC PCS100 puede aplicarse a una gran variedad de situaciones, desde la alimentación de reserva para salas de ordenadores a los grandes centros de datos y la protección total de plantas industriales. El diseño redundante modular de alta fiabilidad hace que el sistema sea fácil de ampliar a medida que crecen las necesidades. Además, si uno de los módulos de alimentación falla, el sistema no salta, sino que continúa funcionando con menor capacidad. Puesto que la granularidad es pequeña, el fabricante puede conseguir una redundancia total a un coste muy bajo. Este nivel de fiabilidad con un coste tan bajo es único en el sector.

RPC más UPS

Puede crearse un paquete completo de aseguramiento del suministro eléctrico combinando el RPC PCS100 de ABB con un UPS-I PCS100 de ABB. Esto se ha hecho para un cliente con el fin de proteger su línea crítica de fabricación de películas de poliimida.

La tecnología de inversor empleada hace que la compensación sea continua, a diferencia de muchas otras soluciones. Esto minimiza las perturbaciones y asegura un acondicionamiento sin irregularidades de la energía eléctrica.

Los materiales de poliimida son ligeros, flexibles y resistentes al calor y los productos químicos. Se utilizan normalmente para placas de circuito impreso flexibles en dispositivos de telecomunicación, suspensiones inalámbricas para unidades de disco duro y unidades lectoras ópticas. El cliente de ABB es un proveedor crítico para el mundo electrónico, y un corte del suministro eléctrico en el proceso de fabricación daría lugar a importantes cos-



Puede crearse un paquete completo de aseguramiento del suministro eléctrico combinando el RPC PCS100 de ABB con un UPS-I PCS100 de ABB.

tes de recuperación y tiempos de inmovilización de la producción así como a perjuicios en la imagen de la compañía.

El paquete de protección de la energía eléctrica proporcionado por los dos productos PCS100 elimina cortes, bajadas y oscilaciones de tensión (mediante un UPS-I PCS100 de 1.050 kVA), aumentando al tiempo el factor de potencia de la carga por encima de 0,90 (por medio de un RPC PCS100 de 323 kVar). Además del control dinámico del factor de potencia, el RPC PCS100 ofrece también un filtrado de armónicos de bajo orden que mejora aún más la calidad eléctrica. Este concepto de valor añadido era un factor clave como protección de recursos esenciales para la producción continua.

Con esta solución llave en mano, si se produce un corte eléctrico, el UPS-I PCS100 desconecta la carga de la red de la compañía suministradora y alimenta la línea de fabricación a plena potencia durante 5 min. Simultáneamente, el RPC PCS100 proporciona un control del factor de potencia superior a 0,90. Las expectativas del cliente eran que, si se producía un corte de suministro eléctrico, el UPS-I suministraría energía eléctrica de

1.000 kVA a la carga. El UPS-I PCS100 de ABB puede ir más allá y suministrar 1.050 kVA para proteger la carga en caso de apagón.

El UPS-I PCS100 incluye un interruptor estático de alta velocidad, por lo que la transferencia al modo de estabilización de la energía se produce con gran rapidez. Tras efectuar nuevas evaluaciones, la empresa ha visto que ningún producto competidor podría ofrecer lo mismo. El factor decisivo final estaba relacionado con el rendimiento del sistema al poder ahorrar el fabricante una gran suma en los requisitos de acondicionamiento de aire gracias a las pocas pérdidas de calor del UPS-I PCS100. El propio RPC PCS100 de ABB tiene un rendimiento del 99 por ciento. También ocupa poco espacio y es, por tanto, una buena opción cuando el espacio es escaso o caro.

La arquitectura modular y ampliable del RPC PCS100 de ABB y su compatibilidad con los demás miembros de la familia de protección eléctrica de ABB, así como su éxito para combatir problemas usuales de la energía eléctrica industrial, se ha traducido ya en un éxito importante en diversas aplicaciones de protección energética.

Por ejemplo, un RPC de 100 kVar está ayudando a mejorar la calidad de la energía eléctrica que acciona los funiculares icónicos de Wellington. Este proyecto sobre el funicular de la capital de Nueva Zelanda incluye algunas primeras realizaciones de ABB. Además de ser el primer PCS100 instalado en Nueva Zelanda, es asimismo el primero en el sector del transporte público. Se trata también del producto PCS100 de menor ocupación de espacio jamás construido.

Sophie Benson-Warner

ABB Discrete Automation and Motion
Napier, Nueva Zelanda
sophie.benson-warner@nz.abb.com

Referencias

- [1] S. Benson-Warner, "Eliminación del tiempo de inmovilización: Mantener el suministro durante las inestabilidades de la red eléctrica", *ABB Review* 1/2012, págs. 27-29.





En armonía

La provechosa historia del desarrollo conjunto de rectificadores y semiconductores para alta potencia

SHRIPAD TAMBE, RAJESH PAI – Aunque la mayor parte de la energía eléctrica del mundo se genera, transmite y distribuye como corriente alterna, muchas aplicaciones a nivel de utilización necesitan corriente continua. Unas pocas de éstas son la electrólisis, la fabricación de acero, la tracción y los sopletes de plasma. La electrónica de potencia apoya estas aplicaciones de forma fiable, segura, económica y eficiente. El desarrollo de rectificadores de alta potencia (HPR) tiene una relación simbiótica con los avances en la tecnología de semiconductores, por lo que es aconsejable estudiar las dos cosas al mismo tiempo. Las tecnologías de HPR y de semiconductores de ABB han evolucionado a lo largo de muchos años y alcanzado impresionantes niveles de progreso tecnológico. Hoy en día potencias de centenares de megavatios, impensables hace unos decenios, son normales. En el número 2/2013, ABB Review repasó los 100 años de historia de la electrónica de potencia de la empresa examinando la tecnología y la fabricación de semiconductores. Como parte de la misma efemérides, el presente artículo utiliza un enfoque diferente: analiza el desarrollo de la electrónica de potencia desde la perspectiva del negocio de HPR en ABB.

Imagen del título

Los rectificadores de alta potencia han sido una parte importante de las plantas de fundición durante muchas décadas y siguen cumpliendo esta función en la actualidad. Esta imagen de 2008 muestra la fundición de cobre de Boliden (Suecia).

1 Rectificador de arco de mercurio



2 Rectificador de contacto



La trayectoria de invención e innovación que han seguido los semiconductores para aplicaciones de rectificadores de alta potencia en las últimas décadas, desde los orígenes de la tecnología hasta los dispositivos actuales, es notable. Este avance no solo se aprecia en las fichas de datos en valores de megavattios y kiloamperios, sino también en seguridad y fiabilidad, incluso en condiciones ambientales y de explotación extremas.

Los objetivos principales de la división de rectificadores de BBC/ABB ha sido siempre fabricar sistemas de rectificadores seguros y eficientes. La seguridad de los equipos y, sobre todo, la seguridad de las personas que trabajan con ellos, ha estado en el centro de todo el trabajo de desarrollo.

Orígenes de la electrónica de potencia

Aunque los avances en el campo de la electrónica de potencia en las cuatro últimas décadas se han producido en simbiosis con los avances en semiconductores de potencia, las empresas predecesoras de ABB ya trabajaban en la conversión de la electricidad mucho antes de que la tecnología de semiconductores se utilizara comercialmente o incluso se conociera¹.

Rectificadores de vapor de mercurio

Los primeros rectificadores, construidos hace unos cien años, utilizaban dispositivos de vapor de mercurio. Se basaban en la propiedad del vapor de mercurio de bloquear una polaridad de la corriente alterna → 1.

Rectificador de contacto

La conversión de corriente alterna a continua se consiguió con rectificadores de contacto. Esta tecnología admitía la conversión de corrientes del orden de varios kiloamperios → 2.

Nota a pie de página

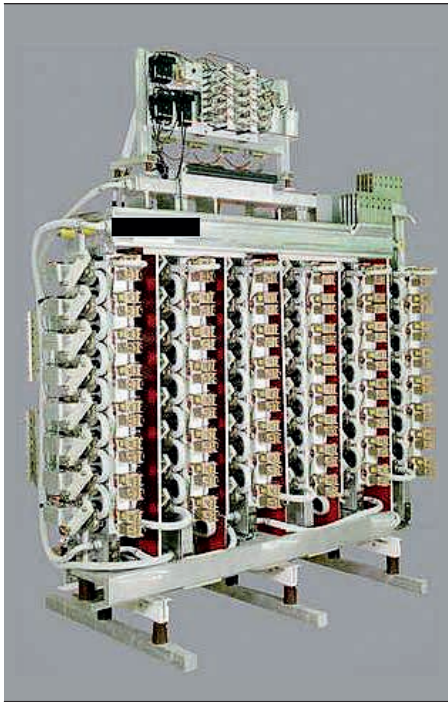
¹ Véase también "Del arco de mercurio al interruptor híbrido: 100 años de electrónica de potencia" en *ABB Review* 2/2013, páginas 70–78.

Entrada de semiconductores en los rectificadores

El desarrollo de semiconductores robustos y de alta potencia provocó un cambio revolucionario en la industria y creó oportunidades para numerosas aplicaciones nuevas.

La eliminación de los riesgos asociados con los rectificadores de arco de mercurio y el gran esfuerzo de mantenimiento que precisaban los rectificadores de contacto aceleraron la adopción de la nueva tecnología.

La facilidad de manejo, de disipación de calor y de conexión en serie o en paralelo de los semiconductores los ha convertido en parte indispensable de un sinfín de aplicaciones.



BBC desarrolló el primer rectificador de diodos en 1956. Este avance continuó con la introducción de tiristores en 1960. En la siguiente década, BBC desarrolló diodos con conexiones de rabillo (un cilindro de vidrio y de cerámica con pernos y fondo plano) para su uso en aplicaciones de rectificadores de alta potencia.

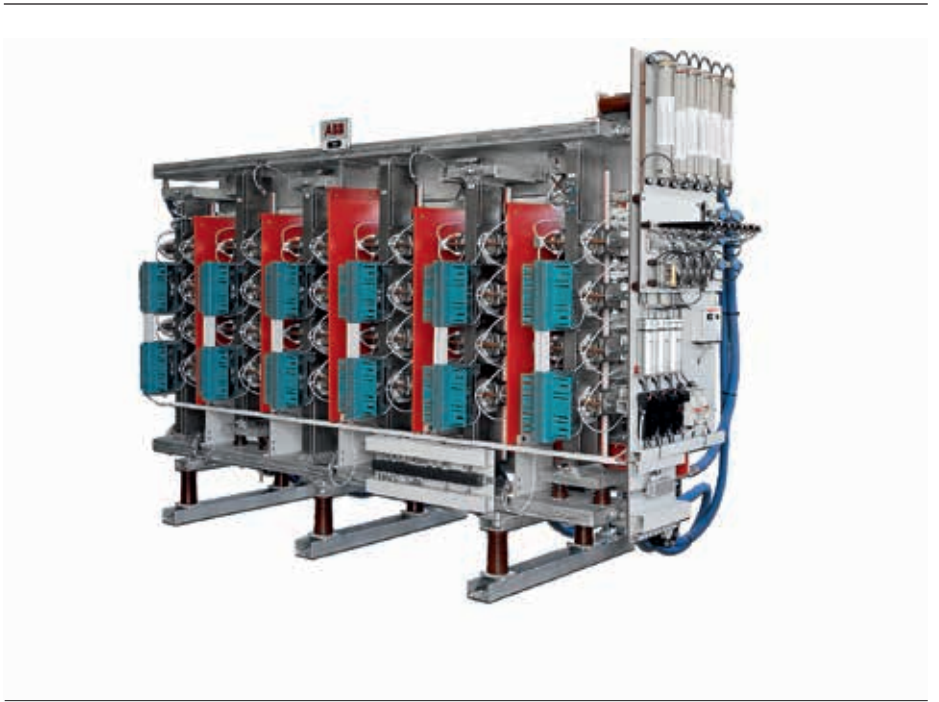
Los años setenta del siglo pasado vieron avances en la tecnología de obleas para la fabricación de semiconductores y el desarrollo consiguiente de diodos y tiristores de 2 y 3 pulgadas. Estas fueron las bases de un avance decisivo: El desarrollo por parte de BBC de su primera planta de rectificadores de diodos para intensidades de más de 100 kA en corriente continua → 3.

En la actualidad, ABB construye rectificadores de hasta 200 kA. Esto es posible gracias a los diodos y tiristores de 4 pulgadas → 4 que están disponibles con:

- diferentes tensiones de bloqueo
- protección incorporada frente a explosiones
- caída baja y uniforme de tensión (dispositivos disponibles en banda estrecha) para grandes rectificadores con 16 o más semiconductores en paralelo.

Función del medio refrigerante

A pesar de las numerosas ventajas de los semiconductores, la aparición de la construcción empaquetada demostró ser el



Una transferencia de calor mejor y más fiable contribuye a garantizar un ciclo de vida más largo del equipo de conversión de electricidad.

principal descubrimiento para la generalización de las aplicaciones de alta potencia. La principal ventaja de esta construcción es la eficacia de la disipación del calor del silicio (ya que el calor es la principal limitación del rendimiento del semiconductor y también la causa principal de fallos de funcionamiento).

El desarrollo de semiconductores de alta potencia y sus aplicaciones está intrínsecamente relacionado con el desarrollo de las metodologías de refrigeración de zona. Este recorrido empezó con los sistemas refrigerados por aire natural y pasó a utilizar sistemas refrigerados por aire forzado.

Cuando aumentaron las intensidades, se desarrollaron sistemas refrigerados por aceite. Cuando aumentaron aún más las

Los objetivos principales de la división de rectificadores de BBC/ABB han sido siempre construir sistemas rectificadores “seguros y eficientes”.

5 Herramienta RectiCal



RectiCal incorpora algoritmos, simulaciones y una base de datos de varios semiconductores y fusibles validados mediante ensayos de laboratorio y mediciones sobre el terreno. RectiCal ayuda a determinar:

- el tamaño del transformador
- el tamaño del rectificador, incluyendo:
 - tipos de semiconductores y fusibles
 - número de elementos en paralelo
 - capacidad de sobrecarga del rectificador
 - pérdidas del rectificador, es decir, pérdidas de los semiconductores y fusibles
 - sistema de refrigeración necesario

intensidades, las propiedades físicas del aceite se convirtieron en un problema cada vez más importante, especialmente su naturaleza inflamable y su viscosidad cambiante. Estas limitaciones físicas del aceite como medio de refrigeración desaparecieron con los sistemas refrigerados por agua y por agua desionizada. En la actualidad se pueden fabricar sistemas con una sola unidad de hasta 200 MW.

Semiconductores: “el corazón del rectificador”

El semiconductor es uno de los componentes esenciales de los actuales sistemas rectificadores de alta potencia. El emparejamiento del semiconductor (tiristor o diodo) y el fusible adecuado con la aplicación depende de varios factores:

- Aplicación del rectificador (fundición de aluminio, electrolisis de cobre o zinc, horno de arco eléctrico en corriente continua, etc.)
- Tensión e intensidad de salida del rectificador
- Condiciones ambientales
- Condiciones de la red, especialmente capacidad de cortocircuito
- Clase de servicio y valores de sobrecarga

Los ingenieros de ABB disponen de una herramienta de software propia llamada RectiCal para determinar el tamaño óptimo del rectificador, incluida la selección de semiconductores y fusibles → 5.

Ciclo de vida y eficiencia

Las decisiones de inversión se basan en la rentabilidad (ROI). Los gastos de explotación son muy importantes para la viabilidad económica. La mayoría de los procesos en los que se utilizan los rectificadores de ABB tienen una vida útil prolongada.

En consecuencia, las decisiones de compra no debe basarse únicamente en el coste inicial de adquisición, sino también en los costes durante el ciclo de vida.

La pérdida de energía (o eficiencia) es un factor importante para los gastos de explotación y para satisfacer preocupaciones y requisitos medioambientales.

La vida del equipo y el rendimiento del semiconductor pueden mejorar considerablemente mediante una adecuada selección de la refrigeración, los sistemas de montaje, la estabilidad del contacto entre las superficies que transfieren calor, la distribución de intensidades y la protección.

Desde hace más de 80 años, ABB trabaja para conseguir ciclos de vida útil más largos de los equipos y una eficiencia operativa elevada. La compañía ha identificado los siguientes factores decisivos por su repercusión en el ciclo de vida y la eficiencia de nuestros productos.

Montaje mecánico

El montaje mecánico que mantiene en su lugar los semiconductores junto con los sumideros de calor se ha diseñado para mantener un contacto de alta presión con objeto de garantizar un alto grado de disipación del calor. Una transferencia de calor mejor y más fiable ayuda a garantizar un ciclo de vida más largo del equipo de conversión de electricidad.

Distribución de intensidades

La optimización de los costes de un sistema de rectificadores requiere determinar con precisión el número necesario de semiconductores. Para ello debe resolverse de forma precisa la distribución de

La mayoría de los procesos en los que se utilizan rectificadores de ABB tienen ciclos de vida largos. En consecuencia, las decisiones de compra no debe basarse únicamente en el coste inicial de adquisición, sino también en los costes durante el ciclo de vida.

las intensidades a través del semiconductor. Este conocimiento del convertidor no solo optimiza el coste sino que también ayuda a entender mejor las pérdidas y facilita el diseño del sistema de refrigeración.

Protección

El riesgo de deterioro de los activos puede reducirse al mínimo implantando una protección fiable contra sobrecargas transitorias y aislando los semiconductores defectuosos. Esto se traduce en ciclos de vida más largos. Incluso en caso de fallo de un semiconductor, las estrategias de contención y redundancia logran limitar la incidencia a un problema mínimo para la planta, con frecuencia sin ningún daño para el resto del equipo.

Anillo de explosión

ABB ha patentado una tecnología que elimina cualquier clase de difusión de plasma en caso de avería del semiconductor. Numerosos incidentes que de otro modo supondrían un riesgo de deterioro de los activos se limitan a la ubicación del componente dañado. El anillo de explosión tiene un efecto significativo en la duración de la vida útil de los equipos.

OVP (protección frente a sobretensiones)

Una de las principales causas de fallo de un semiconductor es una tensión que supera los límites aceptables. Los transitorios de tensión perjudiciales a menudo se originan fuera del sistema del rectificador. Las herramientas de diseño de sistemas de ABB ofrecen una OVP muy eficaz que tiene en cuenta distintos aspectos de la red, del proceso y de los interruptores.

Pruebas de explosión de fusibles y semiconductores

El aislamiento seguro de los semiconductores defectuosos se logra quemando el fusible del elemento en serie antes de que el semiconductor llegue a un estado en el que pueda causar daños mecánicos a sí mismo y a lo que le rodea. Las demandas sobre los fusibles en dichas aplicaciones son elevadas. Deben ser eficaces y consumir una energía mínima y tener una resistencia mecánica suficiente para soportar el calor producido durante la avería. La capacidad de resistencia de las combinaciones de semiconductores y fusibles de ABB se prueba en las condiciones más exigentes en el laboratorio de potencia de ABB en Baden, Suiza.

Todos estos factores contribuyen a prolongar la vida útil y a mejorar las condiciones de funcionamiento, y por lo tanto ayudan a los clientes a aumentar la productividad.

Pérdidas y su importancia

Las pérdidas en los sistemas de rectificadores se generan principalmente en los semiconductores y fusibles. Las pérdidas en los fusibles suelen ser pérdidas de cobre, pero en el caso de los semiconductores la situación es distinta. Algunas pérdidas en los semiconductores son proporcionales a la intensidad, mientras que otras varían en función del cuadrado de la intensidad.

$$P = I_t \cdot V_t + I^2 R_t$$

I = intensidad a través del semiconductor

V_t = caída de tensión directa a través del semiconductor

R_t es la resistencia equivalente de conducción del semiconductor

Unas pérdidas menores se traducen en una eficiencia mayor, lo que significa unos gastos de explotación más bajos.

Rectificadores de alta tensión (2.000 VCC)

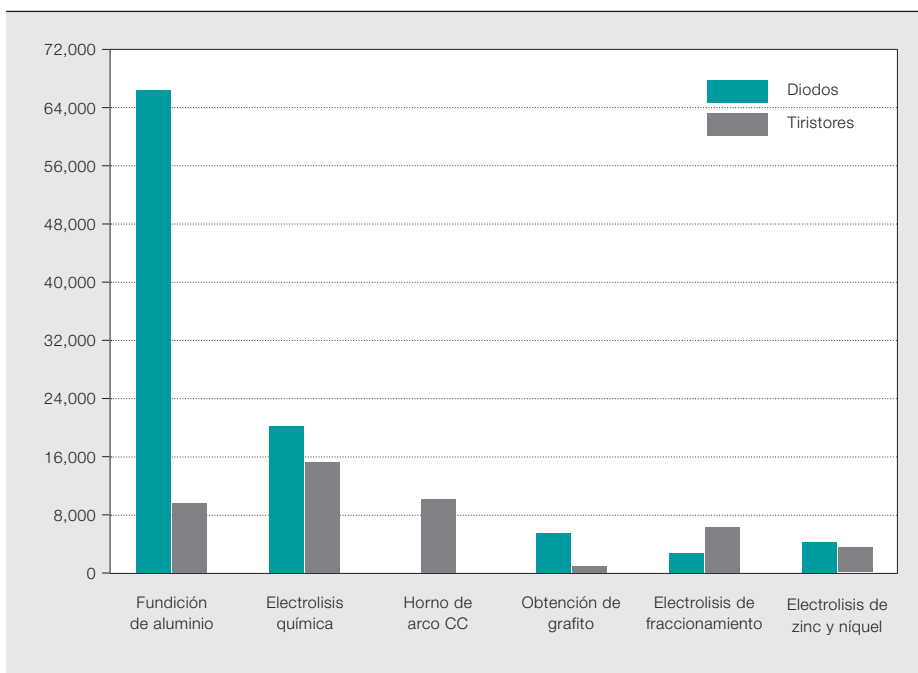
La economía impulsa la tecnología. Más eficiencia significa mayor viabilidad económica. Está demostrado que los sistemas de rectificadores con tensiones más altas son más eficientes que los que proporcionan la misma potencia con tensiones más bajas. La razón es que las principales pérdidas aumentan con el cuadrado de la intensidad y solo son proporcionales a la tensión. La fiable tecnología de semiconductores de ABB con su capacidad para trabajar cómodamente con tensiones más altas ha permitido desarrollar rectificadores de 2000 V en CC. Esto permitió a HPR ofrecer mejoras considerables en la eficiencia operativa trabajando a tensiones más altas.

Proyectos emblemáticos y cambio de tendencia

ABB es líder en tecnologías de electrónica de potencia en general y en sistemas de rectificadores en particular. En su trayectoria de desarrollo, ABB ha marcado muchos hitos. La historia de la electrónica de potencia se inició con rectificadores de arco de mercurio para aplicaciones de investigación e industriales entre 1913 y 1925. Las empresas predecesoras de ABB construyeron el primer enlace HVDC en 1939 y el primer enlace HVDC comercial en 1954. A finales de los años 50 del siglo pasado, las empresas que hoy constituyen ABB ayudaron a sentar las bases de los actuales semiconductores de diodos y tiristores.

El diodo es el semiconductor preferido en el sector del aluminio por su sencillez de control en comparación con los sistemas basados en tiristores.

6 Uso de semiconductores en varias aplicaciones HPR



En el camino del desarrollo de los semiconductores, BBC creó hacia 1960 rectificadores de contacto de una intensidad de hasta 6 kA, que se consideraban en esa época de alta intensidad. La capacidad de los rectificadores aumentó considerablemente entre 1967 y 1980 con la aparición de lo que ahora consideramos diodos de alta intensidad y de alta tensión. Entre 1970 y 1980 los convertidores para aplicaciones de más alta frecuencia (calentamiento y fusión de frecuencias medias) y para HVDC crearon su propio nicho de mercado. Estos son solo algunos de los logros seleccionados entre los innumerables hitos que abarcan muchos campos de aplicación. A lo largo de los años, ABB ha estado detrás de la mayor parte de los avances importantes en rectificadores para electrólisis de aluminio y hornos de arco de CC.

100 años de electrónica de potencia

El grupo de rectificadores de alta potencia (HPR) de ABB ha sido uno de los principales consumidores de semiconductores de potencia en ABB y se enorgullece de formar parte de la trayectoria centenaria de la compañía. Se utilizan semiconductores para aplicaciones de HPR desde la década de 1960, y la cantidad de semiconductores utilizados en distintas aplicaciones es muestra de su importancia en esta área de actividad → 6.

La fundición de aluminio es uno de los mayores usuarios por las siguientes razones:

- Grandes sistemas de rectificadores con gran número de semiconductores en paralelo
- Número de sistemas de rectificadores entregados y demanda de aluminio generalizada y creciente
- Requisitos de sobrecarga y redundancia

El diodo es el semiconductor preferido en el sector del aluminio por su sencillez de control en comparación con los sistemas basados en tiristores. El desarrollo de diodos de 2 a 4" y el aumento de las tensiones de bloqueo ayudó a consolidar su uso.

Los tiristores desempeñan un importante papel en la fabricación de rectificadores para cargas dinámicas muy altas, como los hornos de arco eléctrico de CC. Las aplicaciones de electrólisis distintas del aluminio, como las de cloro, cobre y zinc, utilizan principalmente sistemas de rectificadores basados en tiristores por razones de eficiencia y posibilidad de control.

Construidos para la seguridad

Además del rendimiento y la fiabilidad, el funcionamiento seguro siempre ha estado en la vanguardia de las prioridades de las actividades de ABB en la electrónica de potencia. Esto incluye la seguridad de las personas que trabajan con los equipos o cerca de ellos, así como la protección de éstos y de las instalaciones próximas. Los

rectificadores de alta potencia están diseñados para satisfacer las demandas de fiabilidad y seguridad elevadas, y cuando fallan, para fallar con la máxima seguridad posible.

Una tecnología que funciona

Los componentes semiconductores (diodos o tiristores) desempeñan un papel fundamental en la fabricación de rectificadores de alta potencia eficientes, robustos y fiables. A medida que la tecnología de procesos ha ido avanzando a lo largo de los años, se han desarrollado semiconductores para satisfacer los requisitos cada vez más exigentes de los rectificadores. La disponibilidad de discos de mayor tamaño (4 y 5") con mayores tensiones de bloqueo (de 4,2 kV y 6,5 kV) hace posible alcanzar densidades de potencia muy altas.

Shripad Tambe

Rajesh Pai

ABB Switzerland Ltd, Rectificadores de alta potencia.

Turgi, Suiza

shripad.tambe@ch.abb.com

rajesh.pai@ch.abb.com

Lecturas recomendadas

S. Tambe, C. Winter and S. Dhreshwar, "Rectifiers for Higher Voltages in Aluminum Smelters -Challenges and Solutions", Metal Bulletin, 2007, Mumbai, India.

Consejo de redacción

Claes Ryttoft

Director de Tecnología
I+D y tecnología del Grupo

Clarissa Haller

Responsable de comunicaciones corporativas

Ron Popper

Jefe de Responsabilidad empresarial

Eero Jaaskela

Jefe de gestión de cuentas del grupo

Andreas Moglestue

Jefe de redacción de la *ABB Review*

Editorial

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

ABB Technology Ltd.

ABB Review

Affolternstrasse 44

CH-8050 Zurich

Suiza

abb.review@ch.abb.com

ABB Review se publica cuatro veces al año en

inglés, francés, alemán, español y chino.

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/abbrevreview

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 © 2014

ABB Technology Ltd.

Zurich, Suiza

Impresión

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH

AT-6850 Dornbirn/Austria

Diseño

DAVILLA AG

Zurich, 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

www.abb.com/abbrevreview



Fig. 32. Transport of a large three-phase oil-immersed transformer in 1908.

occasion. Inasmuch as one single drop of water greatly impairs the insulation of a transformer, however, due attention had always to be paid to its drying. Originally the transformers were heated over an open fire or by

transformers no good, but they were dried by utilizing railway

Due to the decrease in the drying process

up to 50 kV in the with electrodes 5 m adays, due to better methods, values of attained. In addition the oil attention is a deaeration. This only the last traces of a obviating the forma glow discharge, a cable manufacture fo

VIII. TRANSPORT

The time is not large power transform dismantled for transport and re-drying process

Due to the decrease in the drying process



Vista previa 2|14

100 años de historia

En julio de 1914, la compañía predecesora de ABB, BBC, publicó la primera edición de la *BBC Review*. En 1988 se cambió el nombre a *ABB Review*, y la revista puede enorgullecerse de haberse mantenido en producción ininterrumpida durante sus cien años de existencia, lo que hace de ella una de las organizaciones más antiguas de la actual empresa.

En su número 2/2014, *ABB Review* se sumergirá en sus archivos para descubrir un tesoro de innovación que va desde ideas curiosas y pintorescas hasta el origen de muchas de las tecnologías y líneas de producto que forman la columna vertebral de la actual actividad de ABB.

Con ocasión de su aniversario, *ABB Review* quiere también recabar las opiniones de sus lectores. Los lectores que quieran compartir recuerdos o ideas para el aniversario están invitados a ponerse en contacto con el redactor jefe en andreas.moglestue@ch.abb.com.

ABB Review no es la única parte la empresa que este año reflexiona sobre su historia. La primera conexión comercial HVDC se completó hace 60 años, y hace 40 se lanzó el primer robot ABB. *ABB Review* celebrará también estos aniversarios.

ABB Review en tabletas

Ya hay una versión de *ABB Review* para tabletas. Puede verla en <http://www.abb.com/abbrevreview>

Manténgase informado...

¿Alguna vez se ha perdido un número de *ABB Review*? Ahora le proponemos una forma sencilla de recibir un aviso cada vez que se publique un nuevo número (o un informe especial) de *ABB Review*. Puede suscribirse a los avisos por correo electrónico en www.abb.com/abbrevreview





Al alcance de sus dedos.
Cuando la necesite,
cuando quiera.

Consulte la nueva ABB Review con montones de funciones útiles. Accesible inmediatamente en cuatro idiomas, con funciones interactivas para tablets y smartphones, con funciones de búsqueda de la totalidad del contenido y galerías de imágenes, películas y animaciones. Bájesela de la app store que prefiera.
<http://www.abb.com/abbreview>

