

ABB

4 | 16
es

review

Cargar un autobús en 15 segundos 8

Una larga tradición en los ferrocarriles eléctricos 16

El túnel ferroviario más largo del mundo 35

Servicio a distancia en el mar 44

La revista técnica
corporativa

Transporte



125

YEARS SERVING
THE WORLD FROM
SWITZERLAND
www.abb.com

Power and productivity
for a better world™



El transporte y sus infraestructuras forman una de las aplicaciones de la tecnología más visibles y tangibles. La cubierta ilustra la entrada al túnel de base del San Gotardo, inaugurado este año. La foto de esta página corresponde al autobús eléctrico TOSA. Los dos proyectos se describen en artículos de este número de ABB Review.



El transporte, a examen

- 6 Las ciudades toman el mando**
Justificación de la electrificación del transporte urbano público
- 8 Cargado en un instante**
Optimización de las baterías para un autobús de carga ultrarrápida
- 13 Parque ecológico**
El parque nacional de Krka, en Croacia, es el primero del mundo con cargadores CC/AC rápidos ABB Terra 53
- 16 Historia de la electrificación**
Una larga tradición en la ingeniería de los ferrocarriles eléctricos
- 25 Programa de adelgazamiento**
El transformador de tracción Effilight® de ABB reduce el peso y las pérdidas y requiere un 70% menos de aceite
- 30 Eficiencia que escala montañas**
Reducción del consumo energético de los trenes Allegra
- 35 Potencia máxima**
Aparata de media tensión ZX0 de ABB y protección de cables de PMA para el túnel de base del San Gotardo
- 40 Romper récords**
ABB suministrará potencia, propulsión y automatización al rompehielos más avanzado del mundo
- 44 Mejora del servicio marino a distancia**
Una idea para la nueva generación del portal de clientes y servicios de ABB

Evento

- 50 Connect. Collaborate. Outperform.**
Automation & Power World vuelve a Houston en marzo de 2017

Simulación

- 51 Profeta de pérdidas**
Predicción de pérdidas por dispersión en transformadores de potencia y optimización del apantallamiento del depósito con MEF

Conmutación y seguridad

- 57 Protección del viento**
Conmutación en baja tensión y estrategias de protección de turbinas eólicas
- 63 Guardián del arco**
Las medidas de prevención de la descarga de arcos aumentan la seguridad
- 67 La conmutación se renueva**
Avances recientes de las tecnologías de IGCT para la electrónica de alta potencia

Servicio y productividad

- 72 Grid4EU**
Los cimientos para el desarrollo de las redes eléctricas del futuro
- 79 Robótica en la nube**
Los robots inteligentes aprovechan el Internet de las cosas, los servicios y las personas desde la periferia hasta la nube
- 84 Un futuro combinado**
Microrredes con integración de energías renovables

Índice

- 90 Índice de 2016**
Resumen del año

Transporte



Bazmi Husain

Estimado lector:

Según las previsiones, la parte de la población mundial que vive en ciudades pasará del 54 por ciento en 2014 al 66 por ciento en 2050. El crecimiento imparable de los centros urbanos plantea muchos problemas sociales y ambientales. El del transporte no es el menor. Con el aumento de la población y la prosperidad hay cada vez más vehículos que compiten por un espacio limitado y que contribuyen a la contaminación. A escala local, las emisiones de los vehículos son perjudiciales para la salud humana y para la calidad de vida. A escala global, el transporte contribuye a aproximadamente la cuarta parte de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono. Los gobiernos son cada vez más conscientes de estos problemas e implantan medidas para que el transporte sea más ecológico.

Junto a la contaminación, el transporte causa congestión. Además de causar incomodidad, la congestión lastra la economía, pues obliga a mucha gente a pasar un tiempo improductivo y altera la distribución de bienes.

Por fortuna, hay muchas formas de afrontar estos problemas, desde los coches híbridos o eléctricos hasta los ferrocarriles metropolitanos de gran capacidad.

La electrificación y la eficiencia energética del transporte son componentes esenciales de la cartera de ABB, aunque las capacidades de la empresa van mucho más allá de estos aspectos.

ABB, por ejemplo, está en primera línea de la digitalización, que permite que activos y sistemas compartan datos, trabajen de manera más eficiente y puedan diagnosticarse y repararse a distancia.

Otros campos en los que la presencia de la empresa es quizá menos conocida son el transporte marítimo, las ofertas de servicio y la carga de vehículos eléctricos. Esta última categoría incluye la carga ultrarrápida de autobuses eléctricos. Esta tecnología consiste en la conexión automática y la recarga de las baterías del autobús en algunas de las paradas de la línea; de este modo se reduce el peso de las baterías y el sistema resulta más competitivo. Después de una serie de pruebas satisfactorias, ABB acaba de firmar un contrato para entregar el primer autobús comercial de carga ultrarrápida a la ciudad suiza de Ginebra.

Confío en que este número de ABB Review le haga más consciente de estos problemas y estimule su interés por el transporte eléctrico y por la participación de ABB en su constante desarrollo.

Bazmi Husain
Director de Tecnología
Grupo ABB





Las ciudades toman el mando

Justificación de la electrificación del transporte público urbano

TIMOTHY PATEY, RETO FLUECKIGER, ALESSANDRO ZANARINI, JAN POLAND, DAVID SEGBERS, PHILIPPE NOISSETTE, BRUCE WARNER – El desarrollo sostenible de las ciudades es vital para el futuro del planeta. Según las previsiones de las Naciones Unidas, el porcentaje de personas que viven en ciudades pasará del 54 % en 2014 al 66 % en 2050 [1]. Se prevé que la población mundial alcanzará la cifra de 9700 millones durante el mismo período. Y esta población demandará movilidad. El transporte urbano ya causa mucha contaminación y atascos. Solo mejorar la sostenibilidad de la infraestructura de transporte puede garantizar la protección de la ecología, la economía y la calidad de vida de las ciudades del futuro.

A escala local, el deseo de muchas ciudades de un aire más limpio es también un cambio motivador. La Unión Europea ha promovido un aire más limpio en las ciudades endureciendo las normas de emisiones de partículas de 0,648 g/km en 1992 (Euro I) a 0,018 g/km en 2013 (Euro VI) para los vehículos en tránsito [6]. Esta tendencia ha mejorado la calidad del aire durante los últimos 20 años y seguirá haciéndolo en los próximos años. Pero para que el transporte público alcance cero emisiones de partículas, hace falta la electrificación total del sistema.

Desde una perspectiva global, esta iniciativa de electrificación total del transporte público contribuirá a la mitigación del cambio climático (suponiendo que la red eléctrica disponga de una parte importante de energía renovable en su mix).

El aumento de la urbanización y la población y el tráfico hacen que este movimiento combinado de neutralidad en relación con el carbono y limpieza del aire sea cada vez más urgente. En la actualidad, las ciudades apuestan por el metro, el tranvía y los autobuses eléctricos frente a las autopistas.

El futuro de TOSA

La ciudad de Ginebra (Suiza) ha dado un paso importante hacia la electrificación total de su red de transporte público. La línea "TOSA", ya en funcionamiento, es totalmente eléctrica a pesar de no contar con tendido aéreo. Para recargar las baterías en puntos intermedios de la ruta se emplea la carga "ultrarrápida" o de oportunidad [7]; así se reduce el peso y espacio de las baterías. Además, se acorta el tiempo de recarga al final del trayecto, una ventaja importante en hora punta. La recarga ultrarrápida se realiza de forma segura en solo 15 o 20 segundos, mientras el autobús se detiene para que suban y bajen los viajeros.

La ausencia de tendido aéreo no solo mejora la estética, sino que además ahorra costes de instalación y da flexibilidad a las rutas en caso de obras. También se logran ahorros de mantenimiento, que representan una buena parte de los costes de explotación con infraestructura de tendido aéreo. El autobús TOSA, y en particular sus baterías, se comentan en el siguiente artículo de este número de ABB Review.

Con la tecnología TOSA, los autobuses diésel se pueden sustituir por vehículos eléctricos sin necesidad de tendidos aéreos. La tecnología ya es viable, como demuestra la ciudad de Ginebra.

TOSA es solo un ejemplo de lo mucho que ABB puede ofrecer. La empresa ofrece electrificación de sistemas de transporte público, tanto a bordo de los vehículos como fuera de ellos, en la infraestructura de recarga. El incremento de la electrificación, en cualquiera de sus formas, es esencial para reducir las emisiones y lograr la neutralidad de carbono en todas las modalidades de transporte. En este número de ABB Review se presentan muchos ejemplos.

Timothy Patey

Reto Flueckiger

Jan Poland

Alessandro Zanarini

ABB Corporate Research

Baden-Daettwil, Suiza

timothy.patey@ch.abb.com

reto.flueckiger@ch.abb.com

jan.poland@ch.abb.com

alessandro.zanarini@ch.abb.com

David Segbers

ABB Discrete Automation & Motion

Turgi, Suiza

david.segbers@ch.abb.com

Philippe Noisette

Bruce Warner

Redes eléctricas

Ginebra, Suiza

philippe.noisette@ch.abb.com

bruce.warner@ch.abb.com

Referencias

- [1] *World Population Prospects*, 2014, United Nations.
- [2] *Transport, Energy and CO₂: Moving toward Sustainability*, 2009, International Energy Agency.
- [3] *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Report of the Conference of the Parties on its Fifteenth Session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its Fifteenth Session. United Nations Climate Change Conf. Report 43*, 2009.
- [4] Meinshausen, M., et al., *Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C*. *Nature*, 2009. 458(7242): p. 1158–1162.
- [5] McGlade, C. and P. Ekins, *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 [deg]C*. *Nature*, 2015. 517(7533): p. 187–190.
- [6] *Exhaust emissions of transit buses*, 2015, EMBARQ.
- [7] *TOSA (Trolleybus Optimisation Systeme Alimentation) 2013*. 2016.

Actualmente, el transporte aporta casi un cuarto de las emisiones mundiales de CO₂ [2]. La mitigación del cambio climático está regulada por tratados, como el Protocolo de Kioto (1997), el Acuerdo de Copenhague (2009) y el Acuerdo de París (2016). Los responsables de la formulación de políticas han convenido que el aumento de la temperatura global media no debe superar en más de 2°C la temperatura global media de la era preindustrial [3]. En teoría, para garantizar una probabilidad del 50% de calentamiento global por debajo de este límite a finales del siglo XXI, las emisiones de CO₂ entre 2011 y 2050 deben limitarse a 1100 gigatoneladas [4].

El reto es enorme. Las emisiones de CO₂ atmosféricas potenciales procedentes de la combustión de las reservas de combustibles fósiles existentes sobrepasarían este límite más de tres veces [5]. Hacen falta medidas urgentes de mitigación del cambio climático.

Imagen del título

La electrificación de los sistemas de transporte contribuye a la limpieza del aire y a la reducción de las emisiones de carbono.



Cargado en un instante

Optimización de las baterías para un autobús de carga ultrarrápida

TIMOTHY PATEY, RETO FLUECKIGER, JAN POLAND, DAVID SEGBERS, STEFAN WICKI – Con seis líneas de trolebuses y cuatro de tranvías, el transporte en la ciudad suiza de Ginebra aprovecha al máximo la tracción eléctrica. En un paso más hacia un sistema de transporte neutro para el carbono, la ciudad ha anunciado que sustituirá los autobuses diésel de la línea 23 por otros eléctricos accionados por baterías.



Recarga rápida

La recarga instantánea de el autobús para un transporte limpio

El autobús TOSA de Ginebra, Suiza, es el primer autobús eléctrico de Europa que puede recargarse en un tiempo tan corto como 15 segundos durante la parada. Esto se logra gracias a una tecnología de recarga ultrarrápida que permite al autobús recibir una carga de 600 kW en solo 15 segundos durante la parada. Este sistema de recarga ultrarrápida permite que el autobús se conecte al punto de carga en menos de un segundo. Las baterías embarcadas reciben una carga de 600 kW que dura 15 segundos mientras el bus se encuentra en la parada. Otra recarga de cuatro a cinco minutos en la última parada cargará por completo las baterías.

El número 4/2013 de ABB Review presentaba un artículo sobre la demostración del autobús TOSA en la ciudad suiza de Ginebra. Tras la conclusión con éxito de la demostración, la empresa de transporte público de Ginebra, TPG, decidió convertir su ruta 23 a esta modalidad. En julio se confirmó el pedido de 12 autobuses TOSA y 13 estaciones de carga. El suministro de ABB incluye convertidores, motores y las estaciones de carga.

El número 4/2013 de ABB Review presentaba un artículo sobre la demostración del autobús TOSA en la ciudad suiza de Ginebra.

Tras la conclusión con éxito de la demostración, la empresa de transporte público de Ginebra, TPG, decidió convertir su ruta 23 a esta modalidad. En julio se confirmó el pedido de 12 autobuses TOSA y 13 estaciones de carga. El suministro de ABB incluye convertidores, motores y las estaciones de carga.

2 Parada de autobús con estación de recarga ultrarrápida. Las baterías del autobús reciben una recarga de 600 kW en 15 segundos durante la parada.



Recientemente, ABB obtuvo un pedido de más de 16 millones de dólares del operador de transporte público de Ginebra, Transports Publics Genevois (TPG), para suministrar tecnología de recarga ultrarrápida y electricidad para 12 autobuses TOSA (Trolleybus Optimisation Systeme Alimentation) totalmente eléctricos → 1. Su uso puede ahorrar hasta mil toneladas de dióxido de carbono al año (en comparación con los autobuses diésel actuales).

ABB instalará 13 estaciones de recarga ultrarrápida a lo largo de la ruta → 2, además de tres al final del trayecto y cuatro en los depósitos. La tecnología de conexión de recarga ultrarrápida empleada será la más rápida del mundo: el autobús se conectará al punto de carga en menos de un segundo. Las baterías embarcadas reciben una carga de 600 kW que dura 15 segundos mientras el bus se encuentra en la parada. Otra recarga de cuatro a cinco minutos en la última parada cargará por completo las baterías.

Imagen del título

Ginebra (Suiza) va a sustituir una línea de autobuses diésel por otros de baterías de recarga ultrarrápida. En esta imagen, el autobús está recibiendo su recarga de 15 segundos en una estación similar a las que se instalarán en 13 paradas intermedias de la línea 23.

Soluciones de ABB para la electrificación del transporte público

ABB ha desarrollado una plataforma modular para la tracción eléctrica de los

imanes permanentes refrigerados por agua y el extremadamente compacto convertidor de tracción y auxiliar BORD-LINE CC200 → 4. El convertidor acciona

ABB instalará 13 estaciones de recarga ultrarrápida a lo largo de la línea, además de tres al final del trayecto y cuatro en los depósitos.

autobuses urbanos → 3. Servirá para todas las aplicaciones de autobuses eléctricos, desde el tradicional trolebús hasta los autobuses con baterías de CC de recarga rápida o ultrarrápida. En su núcleo se hallan los eficientes motores ABB de

hasta dos motores de tracción y todos los consumidores auxiliares del autobús.

En un autobús de recarga ultrarrápida, el convertidor también gestiona ésta y la carga de oportunidad en las paradas y la recarga rápida de CC al final del trayecto. En un trolebús eléctrico, se complementa con un convertidor de entrada CC-CC con doble aislamiento. La adición de una batería a esta cadena cinemática completa un esquema que

3 Componentes tecnológicos principales del autobús TOSA

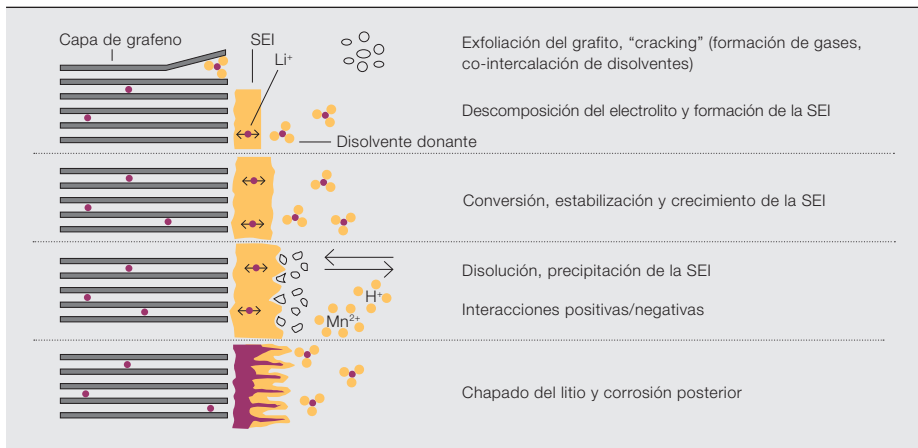


4 Convertidor de tracción y auxiliar BORDLINE CC200 de ABB



Como todos los usuarios de teléfonos móviles saben, la batería es esencial para que el dispositivo cumpla su función.

5 Mecanismos de la degradación física y química del grafito en una batería de iones de litio¹.



SEI es la interfaz de electrolito sólido formada como consecuencia de la descomposición del electrolito y las reacciones simultáneas correspondientes.

permite al autobús funcionar sin catenaria (tendido aéreo).

La carga importa

Como todos los usuarios de teléfonos móviles saben, la batería es esencial para que el dispositivo cumpla su función. Lo mismo ocurre en un tranvía o un autobús eléctrico. Pero la batería debe reemplazarse cada cierto tiempo. Un reto para los ingenieros de ABB es predecir cuándo deberá cambiarse y crear especificaciones que garanticen la disponibilidad de energía durante toda la vida útil del producto y del sistema.

Un modelo informado por experimentos

Una batería "muere" porque deja de suministrar la energía necesaria durante el período especificado. En particular, la disminución de la capacidad (Ah) y el aumento de la resistencia interna (Q) son

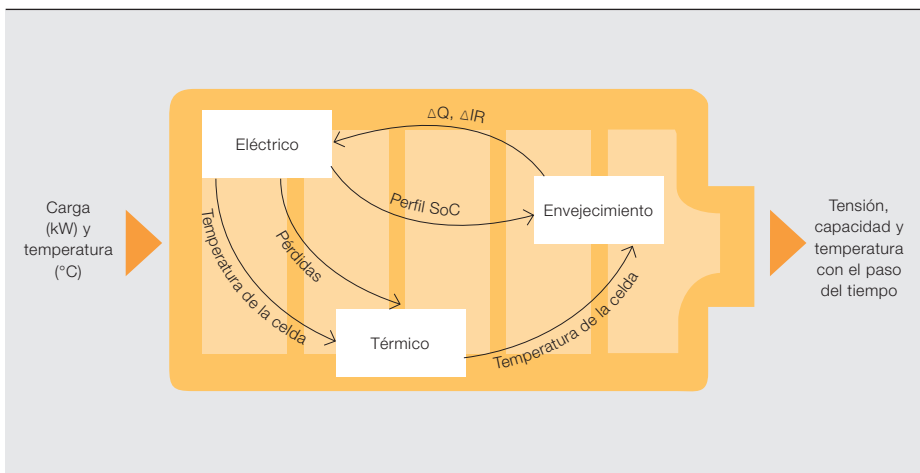
procesos simultáneos que menoscaban la capacidad de la batería para suministrar electricidad. Esto se debe a la descomposición química y mecánica de los materiales del interior de la batería (el ejemplo de la degradación del grafito se ilustra en → 5).

Para integrar baterías, es vital predecir su ritmo de degradación. Una forma de hacerlo es probando las baterías: las baterías se cargan y descargan en distintas condiciones para cuantificar la reducción de la capacidad y el aumento de la resistencia. Pero este método por sí solo no cubre todos los casos de uso del autobús eléctrico. Hay demasiadas variables: temperatura, estado de carga, grado de descarga/recarga e intensidad. Haría falta demasiado tiempo y un número ingente de experimentos para abarcar todos los casos de uso.

La solución para calcular la vida útil de la batería es elaborar un modelo basado en resultados experimentales y en el conocimiento esencial de los procesos físicos y químicos de la batería. Este enfoque es semiempírico, por cuanto se basa parcialmente en resultados empíricos/experimentales. Los modelos basados solo en la física no son adecuados, porque el gran número y la complejidad de las diversas interacciones físicas y químicas impiden realizar cálculos de forma eficaz. Es más eficiente realizar una serie de experimentos bien diseñados y usar los resultados para crear un modelo. La clave para construir un buen modelo es diseñar los experimentos adecuados.

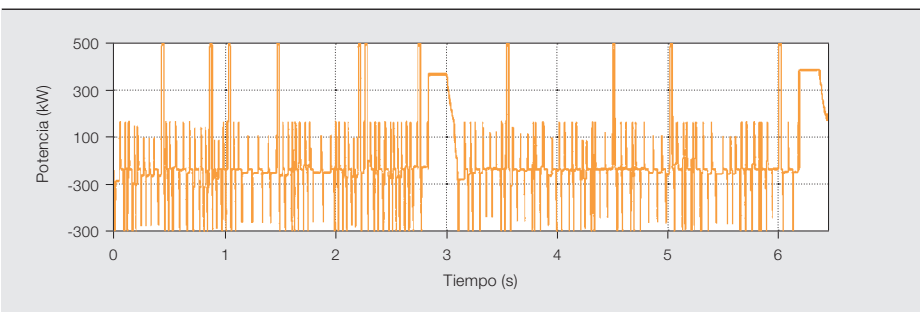
Nota a pie de página

¹ Vetter, J., et al., *Ageing mechanisms in lithium-ion batteries*. Journal of Power Sources, 2005. 147(1-2): p. 269-281.



Un concepto fundamental es la interacción de variables entre modelos: la variación de la capacidad (ΔQ) y la resistencia interna (ΔIR) modifica el modelo eléctrico, lo que hace variar el perfil del estado de carga (SoC) que modifica el modelo de envejecimiento.

7 Ejemplo de perfil de carga de una batería para un trayecto de 12 km con 13 secciones de carga rápida y 2 de carga de fin de trayecto



Para integrar baterías, es vital predecir su ritmo de degradación.

Paso 1: Diseñar los experimentos adecuados

En esta fase, la temperatura, la profundidad de la descarga, el estado de carga y la intensidad se modifican en una serie de pruebas. Se miden la disminución de la capacidad y el aumento de la resistencia. Esto permitirá predecir cómo ciertos eventos de carga/descarga de la batería afectarán a su envejecimiento con el tiempo y el uso.

Paso 2: Desarrollar un modelo eléctrico, térmico y de envejecimiento

La estructura eléctrica interna de una batería de iones de litio es compleja, pero la respuesta eléctrica se predice con una serie de componentes resistivos y capacitivos. El calor y la edad modifican estos componentes, como indican los modelos térmicos y de envejecimiento.

determina las temperaturas del núcleo y la pared de la celda de la batería durante el uso. Estas temperaturas son esenciales para la creación de modelos eléctricos y de envejecimiento precisos.

El modelo de envejecimiento se basa en los resultados de experimentos y la cuantificación de la pérdida de capacidad y el aumento de la resistencia esperados tras muchos ciclos de carga y descarga.

El modelo resultante combina submodelos eléctricos, térmicos y de envejecimiento. La interacción de estos submodelos permite predecir el cambio en la capacidad y la resistencia en determinadas condiciones de carga y temperatura a lo largo del tiempo → 6.

Dado que los autobuses eléctricos son aplicaciones eléctricas, el efecto Joule (i^2R) es el tipo dominante de pérdida de energía y

La clave para construir un buen modelo es diseñar los experimentos adecuados.

Paso 3: Verificar el modelo

Los experimentos a nivel de celda conforman y verifican el modelo utilizando perfiles de carga realistas. Se trata de un proceso iterativo que debe refinarse.

Paso 4: Aplicar el modelo

Una vez generado y verificado el modelo, se convierte en una herramienta importante para el análisis de supuestos. La temperatura, la tensión, la energía y la potencia máximas de la batería afectan al dimensionamiento del sistema de baterías. Aunque este proceso no determina el tamaño de la batería, sí indica a los responsables y diseñadores cómo afectan al rendimiento del autobús algunas variaciones clave del tamaño y la refrigeración de la batería.

Análisis de escenarios

El siguiente análisis de escenarios considera un autobús articulado de 25 toneladas con una capacidad máxima para 80 pasajeros. Trece estaciones de recarga ultrarrápida distribuidas por la ruta de 12 km suministran una potencia de 600 kW durante 20 segundos. La recarga de final de trayecto es de 400 kW y durante cuatro a cinco minutos. En → 7 se muestra un perfil de consumo típico del autobús.

Los requisitos básicos de la batería de este autobús eléctrico son:

- vida útil de 10 años;
- tensión de carga mínima de 600 V (para garantizar una potencia suficiente para el motor y los sistemas auxiliares y para adaptarse a la infraestructura de recarga);

8 Tres posibles diseños de batería para un trayecto urbano de 12 km (con carga rápida)

Criterio de diseño	"Energía reducida"	"Refrigeración intensa"	"Energía abundante"
Química de la celda	LTO	LTO	LTO
Máxima velocidad C permitida (continua)	6	6	6
Máxima velocidad C permitida (durante 20 s)	8	8	8
Celdas en serie / en paralelo	314 / 4	314 / 4	375 / 4
Contenido de energía [kWh]	58	58	69
Tensión mínima [V]	630	630	750
Potencia nominal cont. [kW]	400	400	480
Potencia nominal 20 s [kW]	580	580	690
Peso de la batería con sistema de refrigeración [kg]	~1600	~1600	~2000
Temperatura del refrigerante [°C]	25°C	15°C (activo)	25°C

La velocidad C es la tasa de descarga de la batería; 1 corresponde a la descarga total en 1 hora, y 10 a 1/10 de 1 hora (6 minutos).

9 Resumen del cálculo del modelo para los tres posibles diseños de batería para un trayecto urbano de 12 km (con carga rápida). BOL = inicio de la vida, EOL = final de la vida

	"Energía reducida"		"Refrigeración intensa"		"Energía abundante"	
	BOL	EOL	BOL	EOL	BOL	EOL
EOL		6 y	-	12 y	-	10 y
Capacidad	100%	83%	100%	80%	100%	80
Resistencia	100%	200%	100%	170%	100%	185%
Contenido de energía	58 kWh	48 kWh	58 kWh	46 kWh	69 kWh	55 kWh
Margen de tensiones	690 - 850 V	590 - 850 V	690 - 850 V	630 - 850 V	840 - 1010 V	770 - 1010 V
Velocidad C terminal (continua)	5.3	6.2	5.3	6	5.4	5.6
Velocidad C "flash" (20 segundos)	8	8.5	8	8.3	6.8	7
Temperatura máxima de celda de núcleo	57 °C	86 °C	43 °C	58 °C	44 °C	57 °C
Rendimiento de la batería	90%	80%	90%	85%	92%	86%

- temperatura de celda máx. de 60 °C (el electrolito se evapora a más de 80 °C);
- potencia de recarga de 600 kW durante 20 segundos (para permitir recargas rápidas) y de 400 kW durante 5 minutos;
- una energía de 46 kWh (para completar un trayecto en una dirección, con reserva para circunstancias excepcionales).

Los parámetros para tres supuestos de configuración se recogen en → 8.

Los tres supuestos se analizaron con el modelo térmico, eléctrico y de envejecimiento para predecir las propiedades de vida útil y de final de la vida (EOL). Aquí, el EOL se define como el 80% de la capacidad inicial o el 200% de la resistencia inicial. Los resultados del análisis del modelo se muestran en → 8.

Para el caso de la "energía reducida", la recarga ultrarrápida de la batería a 600 kW no sería posible al final de la vida, ya que se supera el límite de potencia (con un límite de velocidad C de 8). Podría utilizarse el autobús durante un tiempo recargando la batería al final del trayecto, pero el aumento de la resistencia sería excesivo (210%), lo que daría lugar a una temperatura insegura ($T > 80^{\circ}\text{C}$ en el interior de la celda) y a una tensión mínima inferior a 600 V, insuficiente para accionar el motor y los sistemas auxiliares.

En el caso de "refrigeración intensa", la batería se prestaría a la recarga solo al final del trayecto. Pero la recarga ultrarrápida de 580 kW supera los límites de la batería. No obstante, la temperatura inferior del refrigerante basta para mantener intervalos de tensión y temperatura aceptables durante los 12 años de vida útil de la batería. Es una demos-

tración clara de que la temperatura de la batería es importante para la vida útil del sistema.

La batería de "energía abundante" es la única de las tres que cumple los requisitos de recarga ultrarrápida y al final del trayecto. Para la recarga ultrarrápida, las celdas adicionales en serie son esenciales para elevar la tensión y reducir la intensidad para cumplir los requisitos de potencia durante la vida útil de la batería. Además, esta configuración (375s4p) garantizaría un intervalo de temperatura seguro durante los 10 años de vida útil exigidos.

El uso del modelo de batería en estos tres casos no es más que un medio para demostrar el efecto del diseño de la batería sobre la fiabilidad del sistema al final de la vida útil. Se realizarían más iteraciones de diseño para encontrar la solución óptima y se mitigarían todos los riesgos mediante análisis del sistema.

Además, el modelo de batería informa al operador del transporte público sobre el impacto que tiene la recarga ultrarrápida o la recarga al final del trayecto en el diseño de la batería. Las empresas de transporte conocen sus ciudades y sus necesidades, y son las que mejor pueden decidir qué recarga resulta más adecuada. El modelo de batería es una herramienta de apoyo que indica las consecuencias de la elección del sistema para el diseño de la batería.

Timothy Patey

Reto Flueckiger

Jan Poland

ABB Corporate Research

Baden-Daettwil, Suiza

timothy.patey@ch.abb.com

reto.flueckiger@ch.abb.com

jan.poland@ch.abb.com

David Segbers

Stefan Wicki

Discrete Automation & Motion

Turgi, Suiza

david.segbers@ch.abb.com

stefan.wicki@ch.abb.com



Parque ecológico

El parque nacional de Krka, en Croacia, es el primero del mundo con cargadores CC/AC rápidos ABB Terra 53

ALEKSANDAR RADOSAVLJEVIC, MERSIHA VELIC HAJDARHODZIC, MICHELLE KIENER – El parque nacional de Krka, en el condado Šibenik-Knin de Croacia, es un fenómeno natural famoso por las siete cascadas del río Krka. En su territorio hay muchos monumentos históricos y culturales, como los restos de la central hidroeléctrica de Jaruga, la instalación de generación eléctrica más antigua del mundo, construida en 1895. Fue el primer sistema eléctrico de corriente alterna (CA) de Croacia,

el primero de Europa y el segundo del mundo, pues entró en servicio solo dos días después de la central de CA de las cataratas del Niágara. Para preservar su carácter y su patrimonio, el parque nacional de Krka ha invertido en cinco vehículos eléctricos y cuatro estaciones de carga rápida de CC de ABB: Terra 53 CJG. La primera unidad ya está instalada y funciona a diario en Lozovac, cerca de la ciudad de Šibenik y la central hidroeléctrica de Jaruga.



El parque nacional de Krka alberga numerosas plantas endémicas, formas geomorfológicas y especies animales y abarca una superficie total de 109 km². Mantener y preservar las rarezas naturales es difícil, y los administradores del parque realizan esfuerzos constantes para mantener el alto grado de conservación de estos tesoros naturales. Un aspecto de este trabajo es la iniciativa de usar vehículos eléctricos e híbridos dentro del parque e instalar estaciones de recarga rápida de CC. La primera estación de carga ya está en marcha en Lozovac → 1. La siguiente estación se instalará como parte del nuevo centro de información de Laskovica sobre las cascadas de Roški Slap, y las estaciones restantes se situarán estratégicamente en puntos del interior del parque.

Un parque aún más ecológico

La misión del PN de Krka incluye la reducción de las emisiones de CO₂, del ruido, del consumo de combustible y de los costes de mantenimiento. Para que los visitantes se sientan parte de las iniciativas de protección del medio ambiente, podrán usar las estaciones de carga

para sus coches eléctricos. Las estaciones están configuradas para recargar dos coches a la vez durante media hora a hora y media, dependiendo de la capacidad de la batería. Los cargadores de ABB están equipados con servicios conectados a Internet y permiten a los usuarios conectarse fácilmente a distintos sistemas de software y plataformas de pago. La conectividad admite también complementos de vigilancia, mante-

“Este es un gran paso hacia la conservación de la naturaleza y estamos especialmente orgullosos de que la Institución Pública del Parque Nacional de Krka se uniera al proyecto Green Line, que brinda a las zonas protegidas la oportunidad de servir de modelo para la introducción y la generalización de los vehículos eléctricos. Esperamos que el proyecto siga desarrollándose para que cada vez sean más los ciudadanos que se conviertan en contribuyentes directos a la protección ambiental comprado coches eléctricos”, recaló Kresimir Sakic, director de la Institución Pública del Parque Nacional de Krka.

La infraestructura de carga de vehículos eléctricos es una estación modular multinorma de 50 kW Terra DC 53 con una, dos o tres tomas de carga rápida.

nimiento y funcionalidad a distancia. La temperatura de trabajo de las estaciones de recarga oscila entre -35 °C y +50 °C.

Green Line

La iniciativa forma parte del programa “Green Line”, presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y Protección de la Naturaleza y la Fundación de Protección Ambiental y Eficiencia Energética, destinada a centros públicos de gestión de zonas protegidas, parques nacionales y parques naturales.

La infraestructura de carga de vehículos eléctricos es una estación modular multinorma de 50 kW Terra DC 53 con una, dos o tres tomas de carga rápida. El diseño flexible permite la carga multiprotocolo, con protocolos de CA CSS, CHAdeMO y de carga rápida, para satisfacer las necesidades de cada cliente. Las estaciones están diseñadas para la carga ultrarrápida y son ideales para usar en gasolineras y áreas urbanas con mucho tráfico.

Imagen del título

El parque nacional de Krka está en el condado de Sibenik-Knin y abarca una superficie de 109 km²



La primera

La primera estación empezó a funcionar en septiembre de 2016 y es especial porque es la primera estación de carga rápida de vehículos eléctricos ABB instalada en un parque nacional. Además, el PN de Krka es uno de los primeros parques europeos en instalar estaciones de carga de coches eléctricos.

La zona es famosa por sus primicias. El parque está cerca de la ciudad de Šibenik, que fue la primera del mundo con farolas eléctricas. En 1895, algunas viviendas de la ciudad se electrificaron y se instalaron 340 farolas, gracias a la cercana central hidroeléctrica de Jaruža → 2. Aún más notable es que el lugar de nacimiento de Nikola Tesla, Smiljan, se encuentre solo a 100 km al norte del parque.

La estación de carga rápida de coches eléctricos de ABB es especial porque es la primera del mundo instalada en un parque nacional.

Nos preguntamos que pensaría Tesla de estas nuevas instalaciones de CC. Sería estupendo que pudiera contemplar el panorama general y apreciar el trabajo realizado para conservar un parque natural, así como el entorno más amplio. En el PN de Krka no se roba protagonis-

mo a las corrientes. Fue una de las motivaciones para crear una infraestructura sostenible, en la que el murmullo silencioso del motor de un VE no impide escuchar los melodiosos sonidos de la naturaleza.

Los autores agradecen la atención dispensada por el equipo del PN de Krka, en especial: Kresimir Sakic, Josko Baljikas y Katia Zupan.

Aleksandar Radosavljevic

Mersiha Velic Hajdarhodzic

ABB EV Charging Infrastructure

Zagreb, Croacia

aleksandar.radosavljevic@hr.abb.com

mersiha.velic@hr.abb.com

Michelle Kiener

ABB Review

Baden-Daettwil, Suiza

michelle.kiener@ch.abb.com



Perspectiva histórica

Historia de la electrificación

Una larga tradición en la ingeniería de los ferrocarriles eléctricos

NORBERT LANG – Puede sorprender que, mucho antes de la globalización, en varios países del mundo occidental se produjeran avances técnicos en paralelo, a pesar de las diferencias de condiciones y mentalidades. Esto es indiscutible para el desarrollo de la electrificación y de los vehículos ferroviarios. Los distintos países han tenido motivos distintos para electrificar los ferrocarriles, como disponer de grandes yacimientos de carbón o de abundantes recursos hidroeléctricos. Pero aun así, muchas innovaciones notables se produjeron de forma simultánea, aunque independiente.

pañía fabricó locomotoras de vapor y para ferrocarriles de montaña y, durante muchas décadas, suministró los componentes mecánicos (carrocería, chasis y mecanismos de rodadura) de prácticamente todas las locomotoras eléctricas suizas. Los dos hijos de Brown, Charles E. L. y Sidney Brown, también fabricaron material para locomotoras eléctricas (Charles Brown sería más tarde cofundador de BBC). Los dos hijos diseñaron juntos la primera locomotora eléctrica para la línea de 40 km Burgdorf-Thun → **imagen del título**. Era una locomotora para mercancías con dos velocidades fijas (17,5 y 35 km/h) accionada por CA trifásica de 40 Hz. La transmisión empleaba engranajes de dientes rectos y los cambios de marcha había que hacerlos con la máquina parada. Dos grandes motores de inducción accionaban los dos ejes mediante un árbol intermedio y bielas de conexión. La ley limitaba la tensión de la catenaria a un máximo de 750 V.

En 1903, CIEM (Compagnie de l'Industrie Electrique et Mecanique), predecesora de ABB Secheron, electrificó el ferrocarril de vía estrecha de St-Georges-de-Commieres a La Mure en Francia empleando corriente continua a la tensión excepcionalmente alta para la época de 2400 V con un sistema de doble cable aéreo de contacto. Casi simultáneamente, pero de forma independiente, Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) y BBC iniciaron un proyecto de electrificación sin precedentes en la red de los Ferrocarriles Federales Suizos (SBB).

MFO: corriente alterna monofásica

Entre 1905 y 1909, MFO probó una electrificación monofásica de 15 kV/15 Hz en una sección del antiguo ferrocarril suizo "National-bahn" entre Zúrich-Seebach y Wettingen (actualmente parte de la red suburbana de Zúrich). La primera locomotora estaba equipada con un convertidor rotativo y motores de tracción de CC → 3. En 1905 se añadió una segunda locomotora → 4. Utilizaba la misma disposición de ejes (B'B'), pero ambos bogies tenían un motor monofásico de 180 kW con devanados en serie alimentado directamente desde el cambiador de tomas del transformador. (El cambiador de tomas se convirtió en los años siguientes en el método habitual de control de las locomotoras de CA, y así se mantuvo hasta la llegada de la electrónica de potencia.) Los ejes se accionaban

1 Primeros hitos

- 1890: Una compañía antecesora de ABB Sécheron en Ginebra suministra los primeros tranvías eléctricos de Francia a la ciudad de Clermont Ferrand.
- 1892: Se instala el primer tren de cremallera eléctrico del mundo en el Mont Salève, cerca de Ginebra, con 500 V de CC.
- 1894: Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) suministra los primeros tranvías eléctricos de Zurich.
- 1896: BBC construye tranvías eléctricos para la ciudad suiza de Lugano. La compañía sueca ASEA, antecesora de ABB, fundada en 1883, inicia sus actividades en la tracción eléctrica con tranvías.
- 1898: BBC equipa los ferrocarriles de montaña Stansstaad-Engelberg y Zermatt-Gornergrat y el Jungfrauabahn a la cima del Jungfrauoch a 3500 m sobre el nivel del mar.
- 1901: ASEA suministra tranvías electrificados a la ciudad de Estocolmo.

con un engranaje reductor, un árbol intermedio y bielas de conexión. La velocidad máxima era de 60 km/h. Los motores utilizaban un estator de polos salientes y conmutación con desplaza-

El vehículo de tracción eléctrica, en cierto modo la forma más armoniosa y más bella de ingeniería eléctrica y mecánica, presenta siempre problemas de diseño nuevos y muy interesantes de resolver.

Karl Sachs

miento de fase. Esta locomotora funcionó tan bien que se adaptó del mismo modo la locomotora anterior. Entre diciembre de 1907 y 1909, todos los trenes regulares de esta línea tuvieron tracción eléctrica. Como no se podían aprobar cables de contacto aéreos centrados sobre la vía por la elevada tensión, se

Para la mayoría de los fabricantes, la tecnología de la electrificación nació con los tranvías.

En 1890, una predecesora de las actividades de ABB en Secheron, Suiza, suministró los primeros tranvías eléctricos de Francia a Clermont-Ferrand → 1. Pronto les siguieron los primeros ferrocarriles eléctricos de cremallera de montaña del mundo. En 1898, otra predecesora de ABB, BBC, equipó varios ferrocarriles de montaña, entre ellos el mundialmente famoso Jungfrauabahn que trepa hasta el Jungfrauoch, a 3500 m de altitud, con un sistema trifásico de 40 Hz (posteriormente de 50 Hz).

Aunque los sistemas de transporte locales y los ferrocarriles de montaña han experimentado también un enorme avance técnico desde aquellos primeros años, este artículo se centrará en los progresos de los ferrocarriles de vía ancha.

Electrificación con distintos sistemas eléctricos

Es un hecho poco conocido que fue Charles Brown sénior (1827-1905), cuyo nombre persiste en una de las B de ABB, quien fundó SLM → 2 en 1871. La com-

Imagen del título

La primera locomotora eléctrica para la línea de 40 km Burgdorf-Thun (1899).

3 Locomotora experimental MFO n.º 1 con convertidor rotativo y motores de tracción de CC



4 Locomotora experimental MFO n.º 2 con motores de tracción monofásicos



Walter Boveri, se opuso al funcionamiento de las redes de servicios y ferroviarias a distintas frecuencias. Entre otras cosas, su intervención llevó a alcanzar el compromiso de utilizar $16\frac{2}{3}$ Hz para los ferrocarriles.

2 Abreviaturas de las compañías ferroviarias y de fabricación

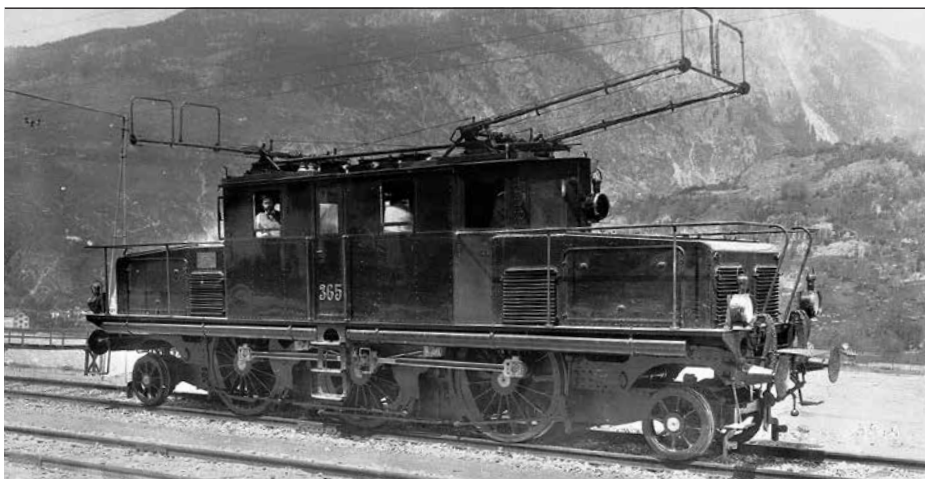
ASEA	Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, Västerås, Suecia (1983–1987). En 1988, ASEA y BBC se fusionaron para formar ABB.
BBC	Brown, Boveri & Cie. AG, Baden, Suiza (1891–1987)
BLS	Bern-Lötschberg-Simplon Railway, Spiez, Suiza.
CIEM	Compañía de la Industria Eléctrica y Mecánica
DB	Deutsche Bahn AG (Ferrocarriles Alemanes)
MFO	Maschinenfabrik Oerlikon AG (1876–1967). Adquirida por BBC.
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen (Ferrocarriles Federales Austriacos).
SAAS	Sociedad Anónima de Talleres de Sécheron, Ginebra, Suiza (1918–1969). Adquirida por BBC.
SBB	Schweizerische Bundesbahnen (Ferrocarriles Federales Suizos).
SLM	Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik, Winterthur, Suiza (Talleres de Locomotoras y Máquinas Suizas, est. 1871). Adquirida por Adtranz en 1998.
SJ	Statens Järnvägar (Ferrocarriles Estatales Suecos; se convirtió en sociedad anónima en 1981).

montaron lateralmente sobre postes de madera. Según lo acordado antes del inicio de la prueba, la electrificación se eliminó después de terminarla y se devolvió la línea a su funcionamiento con vapor (acabó por electrificarse en 1942). Pero la experiencia adquirida había de tener consecuencias de largo alcance.

BBC: alimentación eléctrica para el túnel del Simplón

A finales de 1905, BBC decidió electrificar por su cuenta y riesgo los 20 km de túnel de vía única del Simplón bajo los Alpes entre Brig (Suiza) e Iselle (Italia), que estaba entonces a punto de terminarse. Un argumento importante a favor de la electrificación era el riesgo que el monóxido de carbono de las locomotoras a vapor representaba para los pasajeros en caso de avería dentro del largo túnel. Pero solo quedaban seis meses hasta la inauguración del túnel. La electrificación se llevó a cabo con un corrien-

te trifásica a $16\frac{2}{3}$ Hz y 3 kV suministrada desde dos estaciones eléctricas especiales situadas una a cada extremo del túnel. El mismo sistema eléctrico se adoptó también en el ferrocarril de Valtellina en el norte de Italia, en las líneas del Brenner y el Giovi y en la línea que recorría la Riviera italiana. El parque inicial comprendía dos locomotoras de tipo Ae 3/5 (1'C 1') → 5 y dos Ae 4/4 (0-D-0), todas con motores de inducción. La velocidad se controlaba conmutando los polos del estator. Los motores de baja velocidad colocados en posición baja accionaban los ejes por medio de bielas de varias piezas. Las locomotoras registraban valores nominales de 780 kW y 1.200 kW hora respectivamente y una velocidad máxima de 75 km/h. Hasta que se terminaron de construir todas las locomotoras, se alquilaron tres de diseño similar al ferrocarril de Valtelina.



Ya entonces se observó que los motores asíncronos de CA ofrecían varias ventajas para las aplicaciones de tracción, entre ellas la solidez y un mantenimiento más sencillo gracias a la ausencia de conmutador. Pero tenía los inconvenientes de la brusca regulación de la velocidad como consecuencia de la conmutación de los polos y la línea aérea de doble cable trifásica, que aumentaba la complejidad de los cambios de vía. En consecuencia, los motores trifásicos siguieron siendo relativamente raros en aplicaciones de tracción hasta épocas recientes, en que los convertidores electrónicos de potencia han logrado mitigar sus inconvenientes sin comprometer sus ventajas.

En 1908, SBB se hizo cargo de la instalación. En 1919 se añadieron otras dos locomotoras y se prolongó la electrificación hasta Sion. En 1921 terminó la perforación de un segundo túnel. La era trifásica del Simplón concluyó en 1930, cuando se transformó la línea al tipo estándar monofásico de 15 kV/16 2/3 Hz → 6.

Electrificación del ferrocarril de Lotschberg

Con pendientes del 2,2 al 2,7 por ciento y curvas de 300 m de radio, el ferrocarril de Thun a Brig vía Spiez, operado por BLS y terminado en 1913, tiene un claro carácter de montaña. La decisión de electrificar el túnel de doble vía de Lotschberg se adoptó desde el principio. Ya en 1910, BLS se decidió a favor del sistema de 15 kV/15 Hz de la prueba de Seebach–Wettingen. La frecuencia se elevó más tarde a 16 2/3 Hz. Por tanto, el BLS abrió el camino, no solo para la electrificación posterior del ferrocarril del Gotardo,

sino también para la electrificación de los ferrocarriles de Alemania, Austria y Suecia, que adoptaron todos este sistema.

En 1910, MFO y SLM suministraron conjuntamente a BLS un prototipo de locomotora de 1250 kW con una configuración de ejes C-C → 7. Tras el éxito de las pruebas, BLS solicitó varias locomotoras Be 5/7 (1'E1') de 1800 kW, y la primera se entregó en 1913. En 1930, SAAS suministró a BLS la primera de seis locomotoras Ae 6/8 (1'Co)(Co1') que empleaban la ya demostrada transmisión con eje único hueco. Estas máquinas arrastraron pesados trenes de pasajeros y mercancías hasta bien pasada la Segunda Guerra Mundial.

Funcionamiento eléctrico en la línea del Gotardo

A la vista de la escasez de carbón durante la Primera Guerra Mundial, SBB decidió en 1916 electrificar el ferrocarril del Gotardo con el sistema ya probado en la línea de Lotschberg. SBB solicitó a la industria suiza de maquinaria y eléctrica la entrega de prototipos de locomotoras que más tarde podrían convertirse en pedidos. Para garantizar el suministro eléctrico a la línea, empezó inmediatamente la construcción de tres centrales hidroeléctricas de alta presión (Amsteg, Ritom y Barberine).

Walter Boveri, cofundador de BBC, se opuso enérgicamente al funcionamiento de las redes nacionales de servicios y ferroviarias a frecuencias distintas. Entre otras cosas, su intervención llevó a alcanzar el compromiso de utilizar 16 2/3 Hz (= 50 Hz → 3) para los ferrocarriles.

En 1904 se constituyó la "Schweizerische Studienkommission für den elektrischen Bahnbetrieb" (Comisión Suiza para el Estudio de los Trenes Eléctricos) para "estudiar y clarificar los requisitos previos técnicos y financieros para la introducción de un servicio eléctrico en las líneas férreas suizas". Se investigaron distintos sistemas de electrificación de líneas férreas en estudios detallados, considerando las experiencias recientes. Los resultados y las conclusiones se publicaron de forma regular. En 1912, la comisión determinó que un sistema de corriente monofásica con una línea aérea de 15 kV y aproximadamente 15 Hz constituía el sistema preferible para la electrificación de las principales líneas suizas.

Boveri sugirió asimismo la instalación en las locomotoras de rectificadores de arco de mercurio, una tecnología que ya se había probado en aplicaciones industriales. Pero aún no había llegado el momento para la tecnología de los convertidores en los vehículos ferroviarios, pues los voluminosos recipientes de mercurio difícilmente habrían soportado las duras condiciones de trabajo.

La electrificación de la línea del Gotardo progresó tan deprisa que casi no hubo tiempo para ensayar las locomotoras de prueba. Había que hacer los pedidos rápidamente. BBC/SLM suministró 40 locomotoras para trenes de pasajeros (1'B)(B1') y MFO/SLM 50 para mercancías (1'C)(C1'). Ambos tipos estaban equipados con cuatro motores montados en chasis que movían los ejes mediante un árbol intermedio y bielas. Con una potencia nominal de 1500 y 1800 kW hora y velocidades máximas de 75 y 65 km/h, respectivamente, estas locomotoras cumplieron las expectativas y prestaron servicio durante mucho tiempo. De hecho, estas locomotoras del Gotardo se convirtieron en iconos de los trenes suizos. Esto es especialmente cierto para la versión de mercancías de 20 m de longitud con chasis articulado, las llamadas "cocodrilos", que prestaron servicio durante casi 60 años. Este tipo se ha copiado en varias formas en distintos países, y sigue siendo un "must" en todo ferrocarril que se precie.

Aportaciones de Secheron

En 1921/22, Secheron, empresa predecesora de ABB, suministró seis locomotoras Be 4/7 (1'Bo 1') (Bo') para los

La electrificación de los ferrocarriles estatales suecos empezó antes de la Primera Guerra Mundial.

7 Locomotora de pruebas para el ferrocarril de Lotschberg, 1910



ferrocarriles del Gotardo. Estaban equipadas con cuatro ejes movidos individualmente por transmisiones con eje hueco Westinghouse → 9. A pesar de sus buenas cualidades operativas no se encargaron más unidades, ya que SBB desconfiaba inicialmente del motor de eje único. Para rutas menos montañosas, SBB solicitó 26 locomotoras de pasajeros Ae 3/5 1'Co 1') con una transmisión con eje hueco idéntica y una velocidad máxima de 90 km/h. Estas máquinas, que pesaban 81 toneladas, eran considerablemente más ligeras que las de otros tipos. Luego les siguieron diez unidades similares con una disposición de ruedas 2'Co 1' (Ae 3/6 III). Más tarde estos tres tipos serían conocidos como las máquinas de Secheron y se utilizaron principalmente en la Suiza occidental. Las últimas seguían funcionando todavía a principios de la década de 1980, principalmente en los trenes de transporte de coches de los túneles del Gotardo y Lotschberg.

Actividades de ASEA en el sector ferroviario

Como en Suiza, la electrificación de los ferrocarriles estatales suecos empezó antes de la Primera Guerra Mundial. De 1911 a 1914 se electrificó el llamado ferrocarril Malmbanan o "línea minera", de 120 km. Su objetivo principal era transportar mena de magnetita desde las minas de Kiruna al puerto de Narvik (Noruega), que permanece libre de hielo todo el año

gracias a la Corriente del Golfo. Suecia tiene enormes recursos hidroeléctricos. La central de Porjus suministra electricidad para esta línea de ferrocarril, que funciona con corriente monofásica de 15 kV a 16 2/3 Hz (inicialmente 15 Hz).

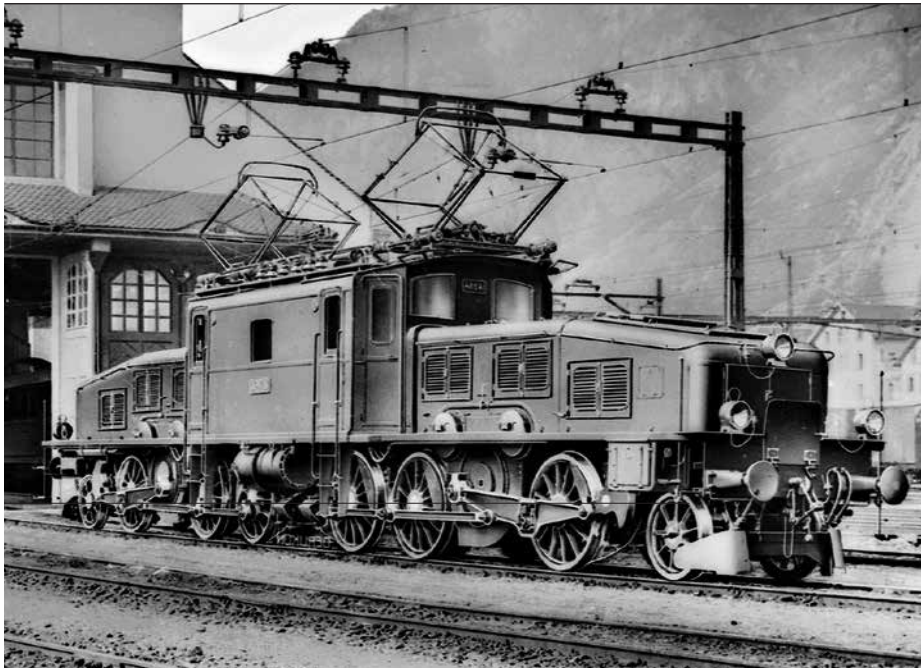
En 1920, la electrificación se había prolongado hasta Lulea pasando por Gellivare, en el Golfo de Botnia. La sección noruega de la línea se electrificó en 1923. Las montañas que se atraviesan son de altura media, y las pendientes, del 1,0 al 1,2 por ciento, son considerablemente menores que las de los ferrocarriles de montaña suizos. Sin embargo, los pesados trenes de mineral exigían mucho de las locomotoras. ASEA suministró el equipo eléctrico para 12 locomotoras articuladas de 1.200 kW (1'C)(C1') con accionamiento por bielas laterales, así como para dos locomotoras exprés similares de 600 kW (2' B 2'). Luego se añadieron locomotoras de 10.650 kW y cuatro ejes para servicios rápidos de mercancías, que se utilizaron casi siempre por parejas. En 1925 se electrificó la línea SJ de 460 km entre Estocolmo y Gotemburgo, y ASEA suministró las locomotoras 1'C1' de 1200 kW.

Accionamiento de eje único

Después de entregar el servicio eléctrico en la línea del Gotardo, SBB extendió su electrificación ferroviaria a las llanuras y a las montañas del Jura. En 1927 ya había un servicio eléctrico continuo desde el lago Constanza en el este hasta el lago Ginebra en el oeste. BBC/SLM desarrolló las locomotoras para trenes de pasajeros Ae 3/6 II (2'Co1') que llevaban un nuevo accionamiento de eje único. Este concepto de tracción, que recibió el nombre de su inventor Buchli, consistía en una junta universal de doble palanca

Las locomotoras "Cocodrilo" se convirtieron en un icono entre los trenes suizos.

dispuesta en un solo plano que actuaba entre el motor montado en el chasis y el eje de tracción con muelles → 10. En SBB entraron en servicio 114 locomotoras de este tipo. El diseño fue tan bueno que el límite de velocidad inicial de 90 km/h pudo elevarse a 110 km/h. Este tipo cosechó un rotundo éxito en la industria suiza y recibió pedidos para exportar y acuerdos de licencia para locomotoras similares en Alemania, Checoslovaquia, Francia, España y Japón. En total, se han construido alrededor de un millar de vehículos con transmisión Buchli.



Desde el punto de vista del diseño, un motor de corriente alterna monofásico es, en gran medida, idéntico a uno de CC. Pero el control de la velocidad y la potencia es más sencillo con CC.

Pronto, otros trenes internacionales mayores y más pesados de las líneas del Gotardo y el Simplón requirieron locomotoras más potentes. Entre 1927 y 1934 se construyeron 127 locomotoras Ae 4/7 (2'Do1') desarrolladas a partir del tipo descrito anteriormente y con la misma transmisión Buchli de BBC. A pesar de que un famoso crítico del diseño suizo afirmaba que estas máquinas tenían "cara de mono", fueron un rasgo característico en las líneas de SBB durante muchas décadas. Algunas siguieron en servicio hasta los años noventa del siglo XX.

Tendencias de posguerra: locomotoras con bogies

La mayoría de locomotoras descritas hasta ahora presentaban combinaciones de ejes portantes y ejes motores, una característica heredada del diseño de las locomotoras de vapor. Pero en 1944 BBC/SLM rompió con esta tradición y entregó a BLS la primera locomotora con bogies Ae 4/4 (Bo'Bo') de altas prestaciones con todos los ejes motores. Estas máquinas de 3000 kW alcanzaban una velocidad máxima de 120 km/h. A partir de ese momento, prácticamente todas las compañías ferroviarias se decantaron por las locomotoras con bogies. En 1946, SBB recibió la primera de 32 locomotoras exprés ligeras Re 4/4, a las que siguieron 174 Re 4/4 II mucho más potentes para trenes expresos. Estas últimas siguen en servicio. Con un peso de 81 toneladas y una potencia nominal de 4000 kW, alcanzan 140 km/h.

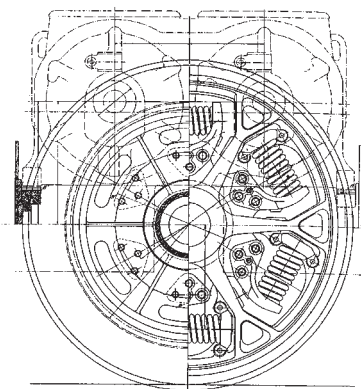
También ASEA se decidió a desarrollar locomotoras con bogies. La primera Bo'Bo' tipo Ra se presentó en 1955 → 11. Con sus paneles laterales remachados, las ventanas de ojo de buey y la "cara de niño", la máquina era un reflejo de las tendencias de diseño estadounidenses. Como sus equivalentes suizas, estaba equipada con dos motores de tracción por bogie. Gracias a su peso de solo 60 toneladas, alcanzaba una velocidad de 150 km/h. Estas locomotoras resultaron muy eficaces y funcionaron hasta la década de los 80. En 1962 se presentaron las primeras locomotoras de rectificador tipo Rb, seguidas en 1967 por las de tiristores del tipo Rc. Estas últimas también se entregaron a Austria (tipo 1043) y Estados Unidos (tipo AEM-7, construidas bajo licencia por General Motors).

De la tecnología de rectificador a la de convertidor

Desde el punto de vista del diseño, un motor de corriente alterna monofásico es, en gran medida, idéntico a uno de CC. Pero el control de la velocidad y la potencia es más sencillo con CC. Aunque algunos países decidieron electrificar sus líneas principales con CC a una tensión de 1500 V o 3000 V, otros prefirieron adquirir locomotoras con rectificadores a bordo que convertían la alimentación de CA en CC. Uno de los inconvenientes de la electrificación con CC es que la tensión de la línea debe ser relativamente baja, ya que no se pueden utili-

En la actualidad, ABB cuenta con acuerdos estratégicos con varios agentes importantes del mercado de material móvil y suministra componentes de vanguardia para una amplia variedad de usos.

9 Tracción con eje único hueco de Sécheron (Sécheron)

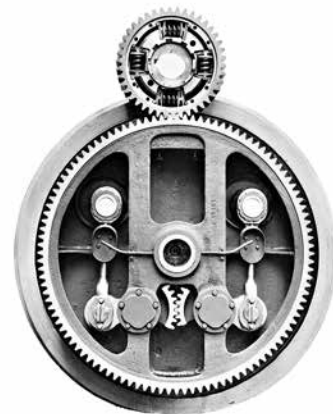


Los muelles ayudan a desacoplar los movimientos del eje y el motor y reducen el desgaste de la vía.

zar transformadores. Esto provoca mayores pérdidas de conducción que exigen más subestaciones. Por tanto, los fabricantes buscaron durante mucho tiempo formas de combinar la tracción en CC con electrificación en CA (véase la primera locomotora Seebach-Wettingen de MFO ya descrita). Hasta que no se desarrollaron los tubos de mercurio de ánodo simple al vacío (los llamados ignitrones o excitrones) no se construyeron locomotoras de rectificador en un número apreciable (principalmente en los Estados Unidos y en algunos países del bloque oriental).

La revolución de los semiconductores en la electrónica cambió todo esto, y los componentes de estado sólido pronto se abrieron camino hasta las locomotoras. Entre 1965 y 1983, BLS adquirió 35 locomotoras Re 4/4, de la serie 161 → 12. Los motores de tracción no se alimentaban con CA monofásica, sino con CC con rectificación de media onda suavizada por una reactancia. El rectificador de diodos de estado sólido refrigerado por aceite se alimentaba desde el cambiador de tomas del transformador. Estas locomotoras tenían dos motores de tracción por cada bogie, conectados en paralelo para reducir el riesgo de deslizamiento en pendientes pronunciadas. Las locomotoras tienen una potencia nominal de casi 5 MW por hora y han demostrado su extraordinaria capacidad. Se modificó una máquina con convertidores basados en tiristores y se probó con éxito en Austria en la línea de Semmering. Como resultado, OBB encargó a ABB en Viena

10 Mecanismo de eje único Buchli fabricado por BBC (BBC 12395)



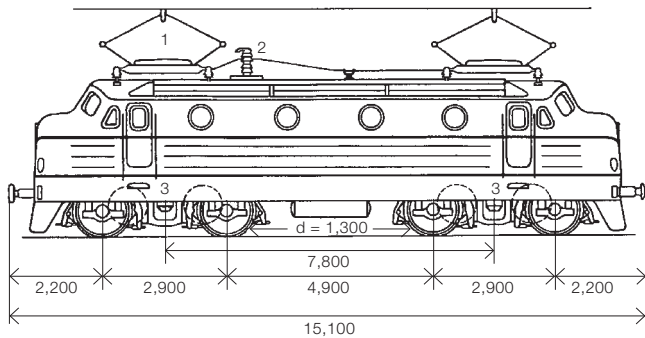
El árbol motor va unido al piñón superior y el eje al inferior.

216 locomotoras de un diseño similar (tipo 1044).

La combinación de convertidores de frecuencia y motores asíncronos demostró ser especialmente ventajosa. Ha permitido aplicar un concepto de accionamiento esencialmente uniforme y prácticamente independiente del tipo de corriente suministrada por la catenaria. Se abrió así el camino a cierta normalización y también ha facilitado la construcción de locomotoras capaces de trabajar con distintas tensiones y frecuencias para trenes internacionales. Además, el uso de sólidos motores trifásicos de inducción ha ahorrado costes de mantenimiento gracias a la ausencia de conmutadores y ha ofrecido al tiempo una mayor densidad de energía que ha permitido utilizar motores más pequeños o más potentes. Ejemplos de locomotoras de BBC y ABB que emplean este sistema son las E120 de DB, la Re 4/4 de Bodensee-Toggenburg y los ferrocarriles Sihltal (Suiza), la Re 450 y Re 460 de SBB y la Re 465 de BLS.

Trenes de alta velocidad

Entre 1989 y 1992, los ferrocarriles alemanes (DB) pusieron en servicio 60 trenes ICE (tren interurbano rápido) basados en la tecnología del E120. ABB participó en su desarrollo. Los trenes constaban de dos coches automotores con motores de inducción trifásicos controlados por convertidor y de 11 a 14 coches intermedios de pasajeros. Durante un prueba en la línea de alta velocidad recién terminada entre Hamburgo y



Frankfurt, uno de estos trenes alcanzó una velocidad de 280 km/h.

En 1990, ABB suministró el primero de los 20 trenes de alta velocidad basculantes X2000 a SJ para el servicio rápido entre Estocolmo y Gotemburgo. Emplean convertidores GTO y motores de inducción y alcanzan 200 km/h. Este tipo se está usando ahora en otras líneas de Suiza, lo que permite acortar la duración de los viajes hasta un 30%.

La normalización del negocio del ferrocarril

Ningún producto de la industria mecánica o eléctrica gozó de tanto prestigio entre el gran público como los vehículos ferroviarios, y aunque se exportaban, las administraciones preferían generalmente comprar a proveedores nacionales. Esto empezó a cambiar a finales de los años 80 y durante los 90 del siglo XX. En particular, la prefabricación de componentes acortó los plazos de entrega. Además, los subgrupos prefabricados permiten llevar a cabo el montaje final casi en cualquier sitio. Para la industria, este cambio, combinado con la liberalización de los mercados, se ha traducido en la transición desde la fabricación completa para un mercado local hasta la entrega de componentes para un mercado mundial.

La actividad ferroviaria de ABB en la actualidad

Después de la fusión de ASEA y BBC para formar ABB, las correspondientes actividades de sistemas de transporte se combinaron en una empresa independiente dentro del Grupo ABB. En 1996,

ABB y Daimler Benz fusionaron sus actividades ferroviarias bajo el nombre ABB Daimler-Benz Transportation (Adtranz). Adtranz adquirió además en 1998 las empresas suizas SLM y Schindler Wagon. En 1999, ABB vendió su participación en Adtranz a DaimlerChrysler, que más tarde vendería su división ferroviaria a Bombardier. Por tanto, en la actualidad ABB ya no construye locomotoras completas, pero continúa suministrando componentes de altas prestaciones para aplicaciones de tracción exigentes.

Desde 2002, ABB mantiene una estrecha colaboración estratégica con Stadler Rail. Stadler es un fabricante de material móvil que opera internacionalmente surgido de una pequeña empresa suiza que fabricaba originalmente tractores diésel y eléctricos de baterías para obras ferroviarias y líneas industriales. La empresa es actualmente un importante proveedor internacional de trenes de pasajeros para los servicios de cercanías e intercity. Asimismo, suministra tranvías, metros y otros tipos de trenes a clientes de todo el mundo. En los últimos años, ABB ha desarrollado nuevos componentes para distintas tensiones y frecuencias de catenaria, así como para aplicaciones de tracción diésel-eléctricas. ABB suministra transformadores, convertidores de tracción, sistemas de a bordo de alimentación eléctrica y cargadores de baterías utilizados en los trenes Stadler.

En la actualidad, ABB cuenta con acuerdos estratégicos con varios agentes importantes del mercado de material móvil y suministra componentes de vanguardia para una amplia variedad de



usos que cumplen las exigencias más estrictas. Inspirada en el espíritu de sus fundadores, ABB se mantiene al frente del desarrollo de soluciones innovadoras para un mercado en constante evolución.

Este artículo se publicó originalmente en ABB Review 2/2010 y fue actualizado por personal de ABB Review para este aniversario.

Norbert Lang

Archivero
ABB Suiza
nl@norbertlang.ch

Lecturas recomendadas

- Bugli, Ralph W. (ed.). (1983) Electrifying Experience. A Brief Account of The ASEA Group of Sweden 1883–1983.
- Haut, F. J. G. (1972) Die Geschichte der elektrischen Triebfahrzeuge. Vol. 1.
- Huber-Stockar, E. (1928) Die Elektrifikation der Schweizer Bundesbahnen
- Machefert-Tassin, et al. (1980) Histoire de la traction électrique, 2 vols.
- Sachs, K. (1973) Elektrische Triebfahrzeuge. 3 vols.
- Schneeberger, H. (1995) Die elektrischen und Dieseltriebfahrzeuge der SBB, Vol. I: Baujahre 1904–1955.
- Teich, W. (1987) BBC-Drehstrom-Antriebstechnik für Schienenfahrzeuge, Mannheim.
- (1988–2016) ABB Review.
- (1924–1987) ASEA Journal (ed. ing.).
- (1914–1987) BBC Mitteilungen
- (1928–1943, 1950–1987) BBC Nachrichten
- (1921–1970) Bulletin Oerlikon.
- (1929–1972) Bulletin Secheron



Programa de adelgazamiento

El transformador de tracción Efflight® de ABB reduce el peso y las pérdidas y requiere un 70% menos de aceite

TOUFANN CHAUDHURI, MARIE-AZELINE FAEDY, STEPHANE ISLER, MICHELLE KIENER – Viajar por Europa en tren ya es más rápido que hacerlo en avión [1]; el año pasado, un tren japonés alcanzó 601 km/h en una vía de pruebas, recorriendo 1,77 km en 10,8 segundos y estableciendo así un nuevo récord mundial. Aunque los récords de velocidad copan grandes titulares y despiertan la admiración pública, los diseñadores y los innovadores conceden la misma importancia al peso. El nuevo transformador de tracción Efflight de ABB es hasta un 20% más ligero que un transformador de tracción convencional. También es hasta un 50% más eficiente cuando el peso ahorrado se reinvierte en más material de núcleo y devanado, lo que reduce notablemente los costes energéticos para el operador. El nuevo transformador de tracción Efflight de ABB es hasta un 20% más ligero que un transformador de tracción convencional. Cuando una famosa adelgaza, la noticia viaja más rápido que un tren. El reto para Efflight es que la noticia de la pérdida de peso del transformador de tracción se difunda igual de rápido.

Imagen del título

Efflight se presentó al mercado en InnoTrans, en Alemania, en septiembre de 2016.

Los transformadores de tracción ocupan un espacio muy valioso y añaden peso al tren, por lo que la opción de reducir su tamaño y su peso es muy atractiva. Pero las limitaciones que imponen las leyes de la física también son importantes. El núcleo del transformador debe tener ciertas dimensiones para acomodar el campo magnético. Además, las restricciones de peso restan eficiencia a los transformadores de tracción, porque la cantidad de cobre y hierro debe limitarse. En los trenes clásicos tirados por locomotoras, un transformador pesado no es necesariamente un inconveniente, ya que contribuye a la adherencia: la fuerza máxima que la locomotora puede aplicar para tirar de un tren sin perder la adherencia a los carriles está limitada por su propio peso. Pero los trenes de pasajeros modernos suelen componerse de varias unidades con el material de tracción no concentrado en la locomotora, sino distribuido a lo largo del tren en los propios coches de pasajeros [2]. Esto aporta ventajas considerables en términos de adhesión y aceleración, pero también requiere una conside-

ración detenida del tamaño y la ubicación de los transformadores. En los coches de pasajeros, el espacio debe maximizarse y el ruido reducirse al mínimo.

Optimización de tecnología probada

Efflight se introdujo en el mercado a principios de 2016 → 1 y el lanzamiento público tuvo lugar en septiembre de 2016 en InnoTrans → Imagen del título. El principal elemento tecnológico diferenciador entre Efflight y un transformador de tracción clásico es que en este último, la parte activa está totalmente sumergida en aceite. Esto significa que el volumen de aceite dista mucho de ser

ABB ha desarrollado un concepto de transformador híbrido con un depósito de aceite pequeño alrededor del devanado y el núcleo al aire.

el ideal y todo el conjunto sufre las limitaciones propias de un gran depósito de aceite. ABB ha desarrollado para Efflight un concepto de transformador híbrido con un depósito de aceite pequeño alrededor del devanado y el núcleo al aire.

El tiempo transcurrido desde la idea hasta la fase de pruebas fue de unos tres años.



El peso importa

El peso es un aspecto esencial para los transformadores de tracción. El peso máximo admisible lo impone el fabricante del tren, que a su vez debe atenerse a la limitación de carga por eje prescrita por los operadores de infraestructuras ferroviarias. Si se supera el peso, el tren no se puede homologar y, por lo tanto, no puede funcionar.

Fue el deseo de reducir el peso de los equipos lo que impulsó el desarrollo de lo que se convertiría en Effilight. Los transformadores de tracción aislados en aceite de ABB tienen un récord de vida útil, con más de 40.000 unidades en servicio. Basándose en esta experiencia, los investigadores de ABB empezaron a hacer cálculos sobre cómo reducir el peso. Tras mucho debate e investigación, una idea empezó a tomar forma: ¿y si solo se sumergen en aceite las piezas que lo necesitan? Así empezó a desarrollarse la idea de un cambio de diseño radical. Lo primero era pensar el modo de separar la parte activa del transformador del núcleo.

El tiempo transcurrido desde la idea hasta la fase de pruebas fue de unos tres años. Al principio se construyeron prototipos pequeños, y a medida que iban haciéndose retoques, se construyeron y probaron otros mayores. Las principales dificultades eran la integración mecánica, las limitaciones dieléctricas y los problemas del campo magnético.

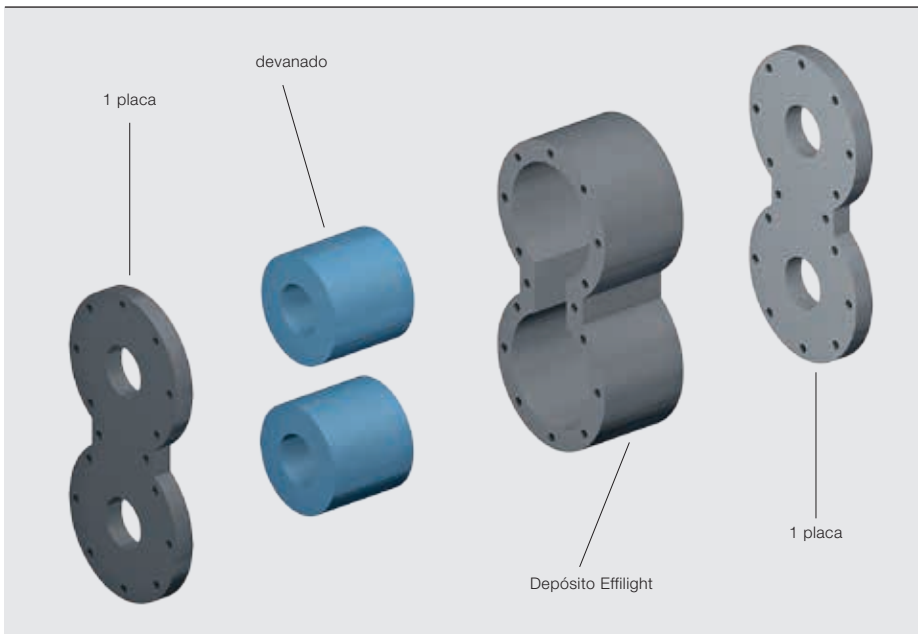
Las principales dificultades eran la integración mecánica, las limitaciones dieléctricas y los problemas del campo magnético.

Se realizaron pruebas completas, incluidas dos de choques y vibraciones, seguidas de pruebas ambientales realizadas a lo largo de varios meses. El prototipo de transformador se sometió a frecuentes encendidos rápidos y calentamientos diarios y funcionó extremadamente bien. Gracias al ahorro de peso, también pudo incrementarse la eficiencia del transformador, porque se añadió más cobre para reducir la resistencia del devanado. Las pérdidas del transformador pueden reducirse a la mitad manteniendo el mismo peso.

Sellado hermético

Effilight es un ejemplo típico de una solución o producto que, una vez concebido, sorprende por su carácter obvio. Ese momento en que se piensa “¿cómo no se le había ocurrido a nadie hasta ahora?”. La respuesta es que, como suele ocurrir, la tecnología tenía que evolucionar para dar forma a las ideas. Una vez

2 Vista ampliada del sellado completo de la celda y la protección de fugas



Ahora que solo los devanados están sumergidos en aceite, con fines de refrigeración y dieléctricos, el volumen de aceite se puede reducir hasta un 70% en comparación con el transformador clásico.

3 Prototipo de estudio Efflight: parámetros y ahorros

Parámetros	Prototipo 1,1 MVA – 15 kV	Transformador de base 1,1 MVA – 15 kV	Ahorros
Peso total	3150 kg	3450 kg	- 9%
Pérdidas (75°C)	57,2 kW	84,5 kW)	- 33%
Peso del aceite	200 kg	573 kg	- 65%
Longitud	1944 m	1995 m	-
Anchura	2500 m	2524 m	-
Altura	851 mm	834 mm	-

concebida la idea de eliminar el núcleo, el reto estaba en cómo materializarla. Un aspecto clave que debía resolverse era

en el depósito”, en el que la celda quedara aislada por separado dentro de otro cerramiento → 2. Las juntas tóricas garan-

tizan la hermeticidad utilizando una solución probada.

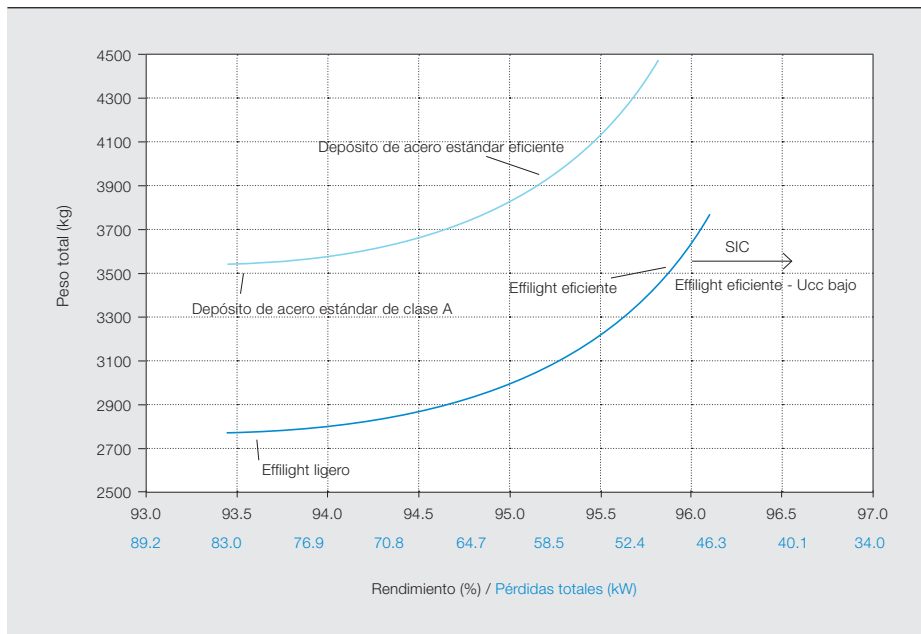
Se realizaron pruebas completas, incluidas dos de choques y vibraciones, seguidas de pruebas ambientales realizadas a lo largo de varios meses.

construir una “celda” (cerramiento de la parte activa) totalmente sellada e inmune a las fugas con un núcleo externo. La respuesta fue una suerte de “depósito

ción con el transformador clásico. El nuevo enfoque supone una reducción de hasta un 20% del peso. El ahorro de peso permite incorporar devanados más pesa-

Ahora que solo los devanados están sumergidos en aceite, con fines de refrigeración y dieléctricos, el volumen de aceite se puede reducir hasta un 70% en compara-

4 Compromiso entre peso y rendimiento



Los devanados de la “parte activa” y el cerramiento no requieren rediseño para adaptarse a distintas posiciones de montaje, ya sea en el techo, bajo el bastidor o en una sala de máquinas.

dos con cableado de cobre más grueso que incrementa un 50% la eficiencia energética del transformador y reduce las pérdidas eléctricas a la mitad → 3.

Un sitio para cada cosa...

Para transformadores de alta potencia, la cantidad de aceite no es tan importante como la cantidad de cobre y acero utilizada, lo que significa que hay casos en los que Effilight no ofrece una ventaja de reducción de peso significativa. La ventaja plena de Effilight se consigue con las potencias más bajas. Ello se debe al factor de llenado (la relación entre el peso del cobre y el acero y el peso total del transformador), que tiende a disminuir con la potencia → 4-5.

... y cada cosa en su sitio

El prototipo se ha construido y probado para montaje en el techo, pero el transformador de tracción Effilight tiene un diseño modular. Esto significa que los devanados de la “parte activa” y el cerramiento no requieren rediseño para adaptarse a distintas posiciones de montaje, ya sea en el techo, bajo el bastidor o en una sala de máquinas → 6-7. Naturalmente, esto aporta economías de escala y ventajas de repetición a los fabricantes de trenes y un mantenimiento más sencillo para los operadores. Esto significa que un mismo transformador admite distintos equipos y reduce costes de formación gracias al uso del mismo tipo en toda la flota.

5 Ventajas de Effilight

Potencia	15 kV / 16,7 Hz	25 kV / 50 Hz
1,0 MVA	Hasta -20%	-
2,0 MVA	-10 a -15%	- 20%
3,0 MVA	Hasta -10%	- 15%
4,0 MVA	-	Hasta -10%

5a Ventaja media de peso

Potencia	15 kV / 16,7 Hz	25 kV / 50 Hz
1,0 MVA	Hasta +50%	-
2,0 MVA	+20 a +30%	Hasta +50%
3,0 MVA	Hasta +20%	+20 a +40%
4,0 MVA	-	Hasta +20%

5b Ventaja media en el rendimiento

Las funciones de mantenimiento y protección son las mismas para Effilight y para los transformadores clásicos, lo que significa que un transformador puede sustituirse por un Effilight sin que ello afecte a los procesos y sistemas de mantenimiento y protección actuales.

Futuro encarrilado

Actualmente, más de la mitad de los trenes del mundo están accionados por transformadores de tracción de ABB, y la mayoría de los fabricantes de trenes y operadores ferroviarios confía en ellos.

Un transformador puede sustituirse por un Effilight sin que ello afecte a los procesos y sistemas de mantenimiento y protección actuales.

Effilight es el miembro más reciente de esta ilustre familia. El diseño de Effilight incluye aislamiento en aceite y cumple la garantía esperada de un transformador de ABB: una vida útil de 40 años. Lograr una reducción notable de peso con la tecnología Effilight permite a ABB proporcionar a sus clientes un nuevo

6 Efflight es apto para todas las distintas posiciones de montaje



7 Transformadores de tracción eficientes: comparación de tecnologías y aplicación

Parámetros	Clásico	Efflight®
Variante ligera		✓
Opción de 25 kV	✓	✓
Posibilidad de refrigeración aerodinámica		✓
Montado en techo	✓	✓
Montado en sala de máquinas	✓	✓
Montaje bajo el piso	✓	✓
Vida útil	40 años	40 años

grado de libertad: elegir entre reducción del peso y aumento de la eficiencia energética. Es posible adaptar la solución a necesidades específicas para plataformas de trenes concretas: por ejemplo reducir el peso un 10% y aumentar la eficiencia entre un 20 y un 30%. Efflight se encuentra en sus inicios, pero su futuro es más que brillante. A pesar de su ligereza, se considera un peso pesado en términos de vida útil, eficiencia y rendimiento.

Toufann Chaudhuri

Marie-Azeline Faedy

Stephane Isler

ABB Sécheron SA

Ginebra, Suiza

toufann.chaudhuri@ch.abb.com

marie-azeline.faedy@ch.abb.com

stephane.isler@ch.abb.com

Michelle Kiener

ABB Review

Baden-Daettwil, Suiza

michelle.kiener@ch.abb.com

Referencias

- [1] "It's Quicker to Travel by Train Than Plane in Europe Right Now", Condé Nast Traveler, 2016. [Online]. Available: <http://www.cntraveler.com/stories/2016-04-11/its-quicker-to-travel-by-train-than-plane-in-europe-right-now>. [Accessed: 30- Aug- 2016].
- [2] M. Claessens *et al.*, "Traction transformation: A power-electronic traction transformer (PETT)" *ABB Review* 1/2012, pp. 11-17.

Eficiencia que escala montañas

Reducción del consumo energético de los trenes Allegra

BEAT GUGGISBERG, THOMAS HUGGENBERGER, HARALD HEPP – Los ferrocarriles son una de las formas de transporte más eficientes, pero esto no es motivo para no mejorar su eficiencia aún más. Y un proyecto reciente centrado en los trenes Allegra de RhB (Rhaetische Bahn) de Suiza ya lo ha hecho.

Imagen del título

Un tren Allegra en el ferrocarril de Albula, Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO.







La red ferroviaria de RhB (Rhaetische Bahn) cubre 384 km por los Alpes del sureste de Suiza. El ferrocarril tiene parada en lugares tan turísticos como Davos, Klosters y Saint Moritz, y transporta unos 10 millones de pasajeros al año. Algunas partes del recorrido, con impresionantes secuencias de túneles zigzagueantes y elegantes viaductos, han sido declaradas Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO → [Imagen del título](#). Además de fomentar el turismo, el sistema de RhB garantiza el tráfico local y transporta mercancías durante todo el año. En algunos lugares, en los que las carreteras suelen cerrarse por las nevadas, el ferrocarril es el único medio de transporte viable.

En 2010 RhB empezó a modernizar su flota introduciendo una nueva familia de trenes de varias unidades de la marca Allegra. Estos 20 trenes, suministrados por Stadler, incorporaban material eléctrico compacto de ABB, incluidos convertidores y transformadores de tracción → 2. Las unidades Allegra se diseñaron para cumplir requisitos muy estrictos, impuestos tanto por las cerradas curvas, las pronunciadas pendientes y las complicadas condiciones climáticas → 1 de la red de RhB como por los largos y pesados trenes que deben arrastrar.

Como suele ocurrir en el mundo de la ingeniería, los requisitos de potencia se concibieron para cumplir las condiciones operativas más duras. La demanda máxima de potencia de tracción se produce cuando un tren pesado debe ascender una pendiente. Pero la mayor parte del tiempo, las unidades trabajan en condiciones menos duras (cargas más ligeras, terreno llano). La eficiencia en estas condiciones puede ser subóptima. Se lanzó un proyecto para investigar e implementar formas de mejorar la eficiencia energética global.

Motores

La potencia entregada por los motores de tracción es el producto del flujo magnético y la corriente generadora de par del estator. Ambos factores contribuyen a las pérdidas. Dado que las pérdidas dependientes de la corriente dominan en las aplicaciones de alta potencia, el motor suele trabajar al flujo máximo y la corriente se utiliza para controlar la potencia. Pero en aplicaciones de potencia más baja puede ser más eficaz operar a un flujo menor. Cada pareja de valores de velocidad/par tiene un dependiente óptimo en los parámetros del motor.

Enlace de CC

Normalmente, para variar la potencia de un convertidor de tracción, la tensión del enlace de CC se mantiene lo más constante posible y se modifica la intensidad de la salida. Como la tensión total del enlace de CC solo es necesaria a máxima potencia, es aceptable que esta tensión baje cuando se opera a menor potencia. Se identificaron los valores óptimos para distintos escenarios, incluida la potencia, el esfuerzo de tracción y las variaciones en la tensión de la catenaria. Estos cálculos no tienen en cuenta el convertidor aislado, sino las pérdidas en el transformador y los motores resultantes de los patrones de conmutación del convertidor.

Se lanzó un proyecto para investigar e implementar formas de mejorar la eficiencia energética global.

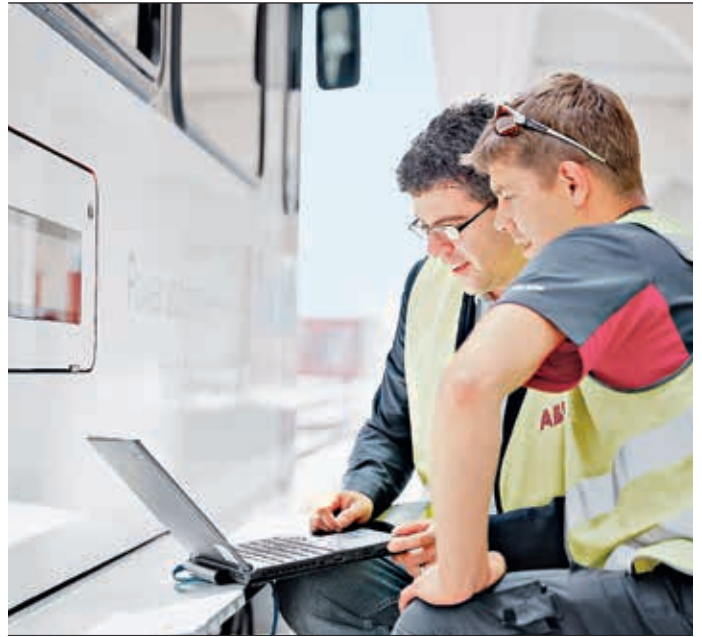
Desconexión de los motores de tracción

Cuando un tren tiene que operar a alta potencia, se necesitan todos los motores de tracción. Pero cuando hace falta menos potencia, es más eficaz usar menos motores (y los inversores asociados) de forma selectiva y desconectar el resto.

2 Uno de los trenes Allegra se pintó especialmente para conmemorar el 125 aniversario de ABB en Suiza.



3 Los cambios en el software se implementaron entre septiembre de 2014 y septiembre de 2015.



Con tantas curvas es preciso mantener el buen comportamiento dinámico de la unidad, por lo que los dos ejes de un bogie siempre deben ejercer las mismas fuerzas de tracción o frenado. Por lo tanto, la optimización del control se implementa por bogie, no por eje.

Implementación

La implementación del software afectaba tanto al sistema de control del vehículo como al PEC (controlador electrónico de potencia, por sus siglas en inglés) que controla bogies individuales y los convertidores de tracción asociados.

Además de mejorar el aprovechamiento de la energía de tracción, se tuvieron en cuenta los efectos sobre la adherencia, que se optimizaron debidamente.

Electrificación CC

La mayor parte del sistema de RhB está electrificado a 11 kV / 16,7 Hz. Pero la línea de 62 km de Saint Moritz a Tirano (línea Bernina) está electrificada a 1.000 V CC. Aunque algunas unidades Allegra están diseñadas para operar solo en líneas de CA, otras están equipadas para tensión doble. Las medidas descritas en este artículo son, en general, para el modo CA. Las mejoras conseguidas en el modo CC son más modestas. En el modo CC, la tensión del enlace de CC no se puede optimizar del modo descrito, ya que se alimenta directamente de la catenaria.

Los cálculos demuestran que una conversión de esta sección a CC no mejoraría el balance energético. Las pendientes más pronunciadas de la línea Bernina (hasta un 7%) obligan a las unidades a funcionar a potencia máxima, y dejan menos margen para la optimización.

Ahorro

Los cambios de software se implementaron y probaron entre septiembre de 2014 y septiembre de 2015 → 3.

Las modificaciones del software han generado un ahorro energético de 950 MW/h al año para el conjunto de las 20 unidades. Esto supone alrededor del 2% del consumo de electricidad total de RhB. Una señal tangible de que las medidas están generando mayor eficiencia es la reducción de la temperatura del motor en funcionamiento.

Además de la electricidad ahorrada, las condiciones operativas más favorables para los componentes y los materiales, incluidos los convertidores, los motores, los semiconductores y el aislamiento, deben prolongar sus vidas operativas y su fiabilidad.

Este artículo se basa en "Reduktion des Traktionsenergiebedarfs der Allegra-Triebwagen der RhB" de Markus Meyer, Andreas Heck, German Walch y Matthias Muri, Schweizer Eisenbahn Revue 2/16.

Las modificaciones del software implementadas han generado un ahorro energético de 950 MW/h al año.

Beat Guggisberg

Thomas Huggenberger

Harald Hepp

ABB Discrete Automation and Motion
Turgi, Suiza

beat.guggisberg@ch.abb.com

thomas.huggenberger@ch.abb.com

harald.hepp@ch.abb.com





Potencia máxima

Aparamenta de media tensión ZX0 de ABB y protección de cables de PMA para el túnel de base del San Gotardo

ANDREAS BEINAT, FELIX INGOLD – Iniciado en 1993 con sondeos geológicos preliminares, el túnel de base de San Gotardo, el túnel ferroviario más largo del mundo, se abrió en junio de 2016, un año antes de lo previsto. La contribución de ABB a este monumental proyecto de construcción adoptó varias formas: 800 unidades de aparamenta de media tensión (MT) que alimentan la infraestructura del túnel y muchos kilómetros de robusta protección de cables de PMA para el sistema de iluminación del túnel.

Imagen del título

El túnel de base de San Gotardo, valorado en más de 10.000 millones de dólares y con dos túneles paralelos de 57 km de longitud cada uno, se basa en una infraestructura inteligente y fiable para garantizar un funcionamiento seguro.



Tras 20 años de construcción, el túnel ferroviario más largo del mundo se inauguró en junio de 2016. Además de aumentar la capacidad de transporte de mercancías por el corredor Róterdam-Basilea-Génova, incluye servicios regulares de pasajeros que reducen sustancialmente el tiempo de viaje entre el norte y el sur de Suiza. Hasta 250 trenes al día utilizarán el túnel cuando estén funcionando todos los servicios → 3. Es un logro de la ingeniería profesional y la eficiencia de los participantes en el proyecto que el túnel empezara a funcionar un año antes de lo previsto en 2008.

En aquel momento, Balfour Beatty Rail contrató a ABB para suministrar la aparamenta de MT necesaria para alimentar la infraestructura del túnel de base de San Gotardo. Esta tecnología de 50 Hz suministra alimentación a sistemas como el aire acondicionado, la ventilación, la iluminación, la señalización, las comunicaciones y la seguridad. Balfour Beatty Rail pertenece al consorcio Transtec, elegido por el constructor del túnel, Alp-Transit Gotthard AG, para instalar la infraestructura ferroviaria.

ABB entregó este gran pedido en solo seis años. La entrega de 875 unidades de aparamenta de MT fue celebrada en el lugar de instalación, en Schattdorf, Suiza, en agosto de 2014, por representantes de Balfour Beatty Rail y de ABB.

Adaptación a las condiciones del lugar

Cada 325 m, los túneles gemelos se comunican por un pasadizo → 2. Estos pasadizos son también salidas de emergencia, y uno de cada dos dispone de alimentación eléctrica. Para suministrar esta potencia, ABB entregó aparamenta aislada en gas (GIS) ZX0, que hubo de adaptarse a las complicadas condiciones del lugar.

Los túneles ferroviarios plantean un sinfín de problemas, entre ellos el fino polvo procedente de la abrasión de las vías.

GIS ZX0

Dada la importancia de la aparamenta y los interruptores automáticos para garantizar un funcionamiento seguro y flexible, ABB tuvo que asegurarse de que su aparamenta se adaptara a las condiciones especiales del complejo del túnel. La GIS ZX0 era la solución ideal para el túnel de base de San Gotardo, ya que tiene una estructura modular y com-

pacta que suministra y distribuye energía sin interrupción y con el máximo nivel de disponibilidad. Con la ZX0, ABB ha suministrado aparamenta fiable, con poco mantenimiento y fácil de configurar y accionar.

El aislamiento en gas de la ZX0 aporta muchas ventajas. Ofrece el máximo nivel de seguridad para los empleados del

La aparamenta de MT de ABB suministra alimentación a sistemas como el aire acondicionado, la ventilación, la iluminación, la señalización, las comunicaciones y la seguridad.

ferrocarril, ya que todas las partes activas están totalmente aisladas, lo que significa que es imposible el contacto inadvertido, y la aparamenta se puede manipular con seguridad durante la instalación y la puesta en servicio. No es necesario manipular el gas durante la instalación, porque todos los componentes de MT están dentro de un depósito sellado, protegidos de influencias externas, y no requieren mantenimiento. Esto reduce al mínimo los accidentes y el peligro para la vida humana.



Photo: Alp Transit Gotthard Ltd.

El cerramiento hermético protege todos los componentes del envejecimiento, reduciendo así el coste total de propiedad y convirtiendo la ZX0 en una solución rentable.

Pruebas intensivas

Debido a los retos especiales que debían afrontarse en el túnel de base de San Gotardo, se adoptaron medidas para mejorar la integridad de la ZX0. Por ejemplo, ABB diseñó el cubículo de control local que acompaña a la ZX0 con arreglo a la clasificación de protección IP65 y lo hizo hermético al polvo y resistente a los chorros de agua. El diseño también resiste las variaciones de temperatura provocadas por los trenes.

Como los pasadizos entre túneles también se usan como salidas de emergencia, los requisitos de protección frente a fallos por arco y la resistencia a los arcos son mucho más estrictos que para áreas de acceso restringido. Por lo tanto, la ZX0 incluye un sistema especial de liberación de presión para eliminar todos los riesgos para la seguridad humana.

Supervisión apropiada

Para proteger, controlar, medir y supervisar la red del sistema del túnel completo, ABB suministró 500 unidades del alimentador REF542plus. El REF542plus garantiza un suministro de energía estable e ininterrumpido mediante la detección de cualquier fallo y la transmisión inmediata del tipo de fallo y su ubicación al sistema de control del túnel.

El alimentador también ofrece servicios a distancia, con acceso a programas almacenados y datos de protección por Ethernet LAN. El REF542plus puede ejecutar protección a distancia en modo multifase, de manera que todas las partes defectuosas de la red puedan apagarse individualmente. Para facilitar el uso, el acceso a distancia se hace con un explorador web normal; el operador pueden iniciar sesión en el alimentador desde cualquier lugar y en cualquier momento, con las medidas de seguridad adecuadas.

La función SMS de la nueva versión de REF542plus ofrece a los operadores aún más libertad de movimiento. Si el REF542plus registra un incidente, puede enviar un mensaje de texto (SMS) al teléfono móvil del operador. Seguidamente, este podrá iniciar sesión en Internet, acceder al REF542plus, analizar el fallo a distancia y buscar una solución.

Para reducir la aparición de averías en una red de distribución eléctrica, es necesario analizar la frecuencia con que se producen. Para ello, el REF542plus emplea tecnología GPS (sistema de posicionamiento global) de una forma innovadora. En lugar de usar el GPS como herramienta de geolocali-

La GIS ZX0 era la solución ideal para el túnel de base de San Gotardo, porque es modular y compacta.

zación, el REF542 aprovecha la señal horaria precisa del GPS para sincronizar continuamente su propio reloj. Si se produce un fallo, se estampa un sello de tiempo con una precisión inferior a la milésima de segundo y se envía a un punto central para su análisis. Estos sellos de tiempo ayudan a evaluar las causas de los fallos.

Alcance del suministro

ABB no solo ha suministrado aparataje para el túnel de la base de San Gotardo. La empresa también entregó la fuente de alimentación y los sistemas de accionamiento para el sistema de ventilación más potente del mundo, con un valor nominal de 15,6 MW. ABB también suministró el propio sistema de control de la ventilación, formado por unidades de activación y control para los ventila-

Todas las partes activas están totalmente aisladas, lo que significa que es imposible el contacto inadvertido y la aparataje se puede manipular con seguridad.

dores y los sensores del túnel y detección de incendios. Un administrador de escenarios proporciona el control de los pasos del aire para diversos eventos predeterminados.



Alpiq Burkhalter Bahntechnik necesitaba una solución de protección de cables flexible, fácil de instalar y completamente cerrada capaz de soportar las condiciones ambientales del túnel.

Requisitos estrictos

Todos los equipos del túnel descritos dependen por completo de un suministro eléctrico fiable. Pero dentro de estos túneles tan largos y profundos, prevalecen condiciones climáticas excepcionales. La temperatura del aire puede superar los 40 °C, mientras que los procedimientos regulares de lavado a presión media contribuyen a una humedad relativa de hasta el 70%. Además, se requieren excelentes características de seguridad frente a incendios para todos los productos usados en la infraestructura del túnel. Muchos de los productos disponibles actualmente en el mercado no cumplen las estrictas normas de fiabilidad y seguridad exigidas.

Alpiq Burkhalter Bahntechnik AG, un socio del consorcio Trans-tec Gotthard, consultó a PMA (un miembro del Grupo ABB y uno de los líderes del mercado de protección de cables de máxima calidad) en relación con un sistema de protección de cables completo con características excepcionales de seguridad frente a incendios (inflamabilidad, densidad del humo y toxicidad) y alta protección frente a la penetración (IP68 y IP69K) para soportar el proceso de limpieza con chorro de media presión.

Aunque Alpiq Burkhalter Bahntechnik había utilizado sistemas de protección de cables de PMA para otros proyectos de túnel, el de base de San Gotardo presentaba dificultades nuevas y la empresa necesitaba una solución flexible, fácil de instalar y totalmente cerrada capaz de soportar las condiciones ambientales del túnel.

Protección de poliamida

La poliamida de alta calidad especialmente formulada ofrece una resistencia excepcional a los rayos ultravioleta (UV), a la intemperie y a los impactos. Los productos de poliamida cuentan con magníficas propiedades de seguridad frente a

ABB diseñó el cubículo de control local que acompaña a la ZX0 con arreglo a la clasificación de protección IP65 y lo hizo hermético al polvo y resistente a los chorros de agua.

incendios, como baja inflamabilidad, emisión de humo/gas y toxicidad en caso de incendio, todas ellas especialmente importantes para este proyecto.



Los sistemas de protección de cables de poliamida de PMA poseen una alta resistencia mecánica y una gran flexibilidad. Son resistentes a la corrosión y a la penetración de agua y polvo.

Primero se montaron productos de PMA en pequeñas instalaciones debajo de puentes y en túneles para probarlos. Los resultados fueron tan convincentes que Alpiq Burkalter Bahntechnik eligió productos de PMA para este famoso proyecto.

Se pidió a ABB que suministrara 21 km de tubos VAMLT con más de 21.000 empalmes BVNZ de alivio de la tensión y abrazaderas de fijación BFH-0 para el sistema de iluminación de los túneles ferroviarios de 57 km de longitud. Más de 10.000 luces de emergencia y 450 sistemas de iluminación de salidas de

emergencia se equiparon posteriormente con productos de protección de cables de PMA → 3-6.

Un sistema sólido

Los sistemas de protección de cables de poliamida de PMA poseen propiedades de alta resistencia mecánica a la compresión y a impactos de alta energía, combinadas con una gran flexibilidad. Están protegidos frente a la corrosión y la penetración de agua y polvo, una cualidad importante en el túnel de base de San Gotardo. Han demostrado una alta resistencia a diversas influencias ambientales, como agentes químicos (especialmente limpiadores) y rayos UV, son inmunes a ataques de roedores y tienen un amplio intervalo de temperaturas de funcionamiento. Los sistemas de protección de cables de PMA tienen una larga vida útil y están respaldados por un excelente servicio de atención al cliente.

El ámbito de este proyecto de prestigio internacional presentaba retos tecnológicos únicos, y, por ello es una referencia mundial excelente para los productos de ABB.



Andreas Beinat

ABB Medium Voltage Products
Baden, Suiza
andreas.beinat@ch.abb.com

Felix Ingold

ABB Electrification Products
Uster, Suiza
felix.ingold@ch.abb.com

Lecturas recomendadas

R. Jenni et al., "Suiza en tren: Suministro eléctrico para la tracción de las principales iniciativas ferroviarias del país," ABB Review 2/2010, págs. 31-34.

Romper récorde

ABB suministrará potencia, propulsión y automatización al rompehielos más avanzado del mundo

ANTHONY BYATT – Para extraer la máxima potencia de motores marinos como los usados en los rompehielos se incorporan turbocompresores. ABB cuenta con un amplio abanico de soluciones de turbocompresor para buques y va a suministrar el nuevo turbocompresor Power 2 800-M para el rompehielos más avanzado del mundo que los astilleros Vyborg de Rusia tienen previsto construir.

Imagen del título

El turbocompresor Power2 de ABB cubre las necesidades de potencia de los rompehielos.





Todas estas características hacen que el rompehielos sea mucho más pesado que cualquier otro barco de tamaño similar.

Asimismo, debido a la inmensa fuerza y la impredecible naturaleza del hielo, los rompehielos afrontan un sinfín de peligros potenciales. Por ejemplo, bajo el hielo pueden salir chorros de agua caliente y aire a presión para ayudar a romperlo o puede bombearse rápidamente agua de lastre alrededor de la embarcación para ayudar a romper el hielo.

Obviamente, los rompehielos tienen que tener motores potentes.

Para extraer la máxima potencia de motores marinos como los usados en los rompehielos, se incorporan turbocompresores. ABB cuenta con un amplio abanico de soluciones de turbocompresor para buques y va a suministrar turbocompresores para el rompehielos más avanzado del mundo que los astilleros Vyborg de Rusia tienen previsto construir. ABB también suministrará potencia y automatización a la embarcación.

El motor principal incorporará un Power2 800-M, el sistema de turbocompresor bifásico más avanzado del sector, que ofrece un magnífico rendimiento y gran eficiencia.

Power2 800-M

Power2 es un sistema de turbocompresor bifásico especial de ABB. Power2 800-M, la segunda generación de Power2, es el turbocompresor más compacto de su clase. El espacio es un factor muy importante en la sala de máquinas de un

Cuando John Franklin buscaba el Paso del Noroeste a mediados del siglo XIX, no podía imaginar la gran cantidad de hielo marino polar que desaparecería en los 150 años siguientes. Ahora, grandes transatlánticos surcan las rutas oceánicas por el norte de Canadá y Rusia. Estas rutas marítimas acortan a la mitad el tiempo necesario para viajar entre el Océano Atlántico y el Pacífico y permanecen libres de nieve durante mucho tiempo, lo que permite prolongar la temporada de navegación.

Este aumento de la presencia de barcos incrementa a su vez la necesidad de rompehielos. Dada la naturaleza de su trabajo, los rompehielos deben tener una estructura sólida: el hielo grueso no suele romperse a golpes, sino levantando el barco por encima del hielo para quebrarlo desde arriba. No es fácil levantar un rompehielos, porque está reforzado con cuernas muy pesadas y robustas para protegerlo de la presión del hielo → 1. Además, el casco de un rompehielos difiere de uno normal en grosor, forma y material: la proa, la popa y la línea de flotación están reforzadas con acero grueso especialmente elegido por su comportamiento a bajas temperaturas y la forma del casco está diseñada para ayudar a la embarcación a subir por encima del hielo antes de caer sobre él y romperlo.

El motor principal incorporará el Power2 800-M, el compresor bifásico más avanzado del sector.

barco, y por ello ABB ha diseñado un turbocompresor que ocupa un espacio mínimo: este turbocompresor bifásico es un 20% más compacto que uno convencional. El ahorro de espacio es especialmente importante en un rompehielos, ya



que el casco de la embarcación es extremadamente fuerte y deja menos espacio interior del que quedaría en una embarcación normal del mismo tamaño.

El cartucho extraíble del Power2 800-M permite realizar las tareas de mantenimiento en solo dos pasos, en lugar de los seis anteriores, lo que facilita esta operación y limita los períodos de inactividad y los gastos de reparación.

En el motor del rompehielos, el Power2 800-M mejorará la eficiencia del combustible y la flexibilidad de funcionamiento. Con unas emisiones de NOx hasta un 60% menores, el Power2 800-M también reduce notablemente las descargas a la atmósfera, un aspecto importante para el funcionamiento en el limpio entorno del Ártico.

Con etapas de baja y alta presión, el Power2 800-M proporciona una relación de compresión del aire mayor, de hasta 12, frente a ocho en la generación anterior. Un turbocompresor monofásico opera al 65 o 70% de la eficiencia; Power2 800-M supera el 75% y es el único sistema del sector con esta capacidad.

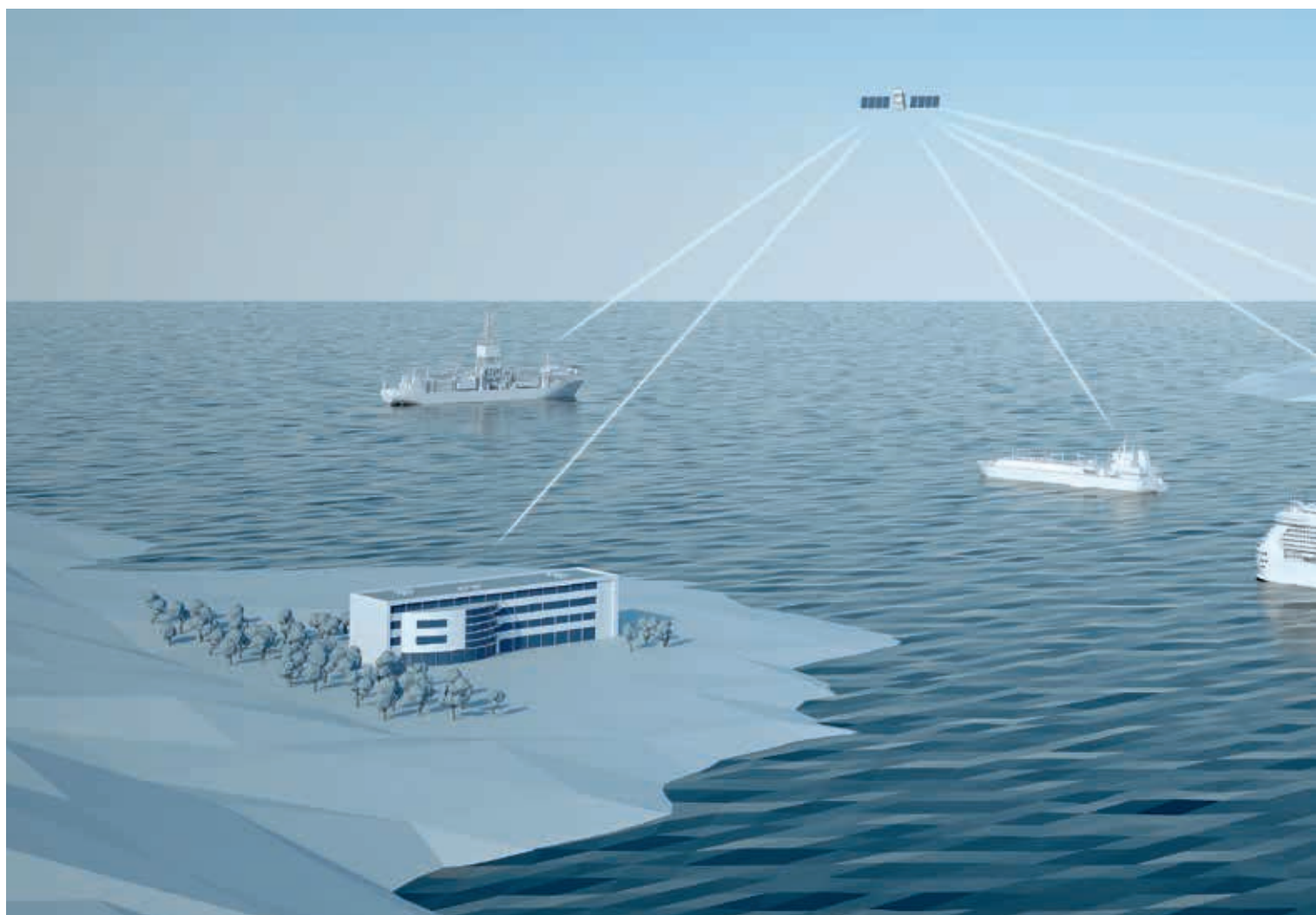
El Power2 800-M responde a la necesidad de nueva tecnología de motores marinos para ofrecer un rendimiento

coherente con las opciones de combustible marino convencionales y más novedosas. Esta aplicación demostrará los avances en la eficiencia y la densidad de potencia para motores de cuatro tiempos que operan en un amplio intervalo de perfiles de carga y que deben cumplir los requisitos de los órganos que regulan las emisiones. Cuando el rompehielos esté construido y se haya puesto en servicio y funcionamiento en aguas portuarias repletas de hielo, las capacidades de Power2 800-M demostrarán su incalculable valor para mantenerlas libres de hielo.

Anthony Byatt
Autor externo

Contacto en ABB para obtener más información:
Magdalena Okopska
magdalena.okopska@ch.abb.com

Power2 800-M es el turbocompresor más compacto de su clase.



Mejora del servicio marino a distancia

Una idea para la nueva generación del portal de clientes y servicios de ABB

MARIA RALPH, VERONIKA DOMOVA, PETRA BJÖRNDAL, ELINA VARTIAINEN, GORANKA ZORIC, RICHARD WINDISCHHOFER, CHRISHOPHER GANZ – El nivel de automatización, supervisión y control a distancia ha aumentado sin parar durante las últimas décadas en sectores clave. Los sectores militar, de servicios públicos, nuclear, ferroviario, del petróleo y el gas, aviación, espacial, las autoridades portuarias, las autoridades viarias y los servicios de urgencias son usuarios intensivos de tecnologías a distancia y centros operativos para gestionar sus operaciones, activos y servicios de urgencias. Esta tendencia sectorial confirma lo que el

fundador del Foro Económico Mundial, Klaus Schwab, [1] denominó recientemente la IV Revolución Industrial, estrechamente relacionada con las tres leyes de Zuboff [2]: 1) todo lo que se puede automatizar, se automatizará, 2) todo lo que se puede digitalizar, se digitalizará, y 3) cada tecnología que se pueda utilizar para la gestión, el control y la supervisión se utilizará para la gestión, el control y la supervisión. ABB se está basando en este concepto operativo para desarrollar soluciones más inteligentes que ayuden de forma efectiva a sus clientes marinos conectados a distancia.



ABB se está basando en este concepto operativo para desarrollar soluciones más inteligentes que ayuden de forma efectiva a sus clientes marinos conectados a distancia.

Tradicionalmente, las actividades de diagnóstico y resolución de problemas para clientes marinos las han venido realizando los ingenieros de ABB sobre el terreno. Pero con la introducción de sensores avanzados, servicios en la nube y tecnología de comunicaciones vía satélite, las herramientas remotas de servicio y asistencia de diagnóstico y resolución de problemas, con una presencia muy esporádica en la pasada década, se están convirtiendo en práctica habitual. Los ingenieros de ABB están en posición de ofrecer a los clientes marinos una resolución de problemas más puntual debido en gran medida a la capacidad de conectarse a distancia con los equipos del cliente a bordo y recopilar datos de los sensores instalados. El resultado es que los ingenieros de ABB pueden prestar asistencia no a uno, sino a varios clientes a la vez, pues no tienen que des-

Los técnicos de ABB pueden prestar asistencia a muchos clientes a la vez, pues no necesitan desplazarse.

plazarse. El personal técnico del cliente también participa en el proceso de resolución. De hecho, cuando se presenta un problema, se forma de inmediato un equipo virtual de expertos para compartir información relevante y enmendar la situación. Esto permite a los clientes marinos recuperar la normalidad antes que en el pasado.

Prestar esta asistencia remota a los clientes exige cambios en las prácticas laborales y una mejora de las herramien-

tas de los técnicos. Algunos de los cambios necesarios para ofrecer una asistencia eficaz son: contar con técnicos que tengan acceso rápido y sencillo a colegas en todo el mundo, mejorar la visualización de los datos del cliente para que los técnicos cuenten con una visión completa del problema y garantizar la disponibilidad del material relevante. A tal fin, ABB Marine ha desarrollado un portal de flotas basado en la nube. Este portal dota a los técnicos que trabajan a distancia de un método más efectivo para analizar la información importante necesaria para diagnosticar y resolver los problemas de los clientes. Proporciona la información esencial necesaria para obtener una visión general de una situación individual, así como una flota de activos que ayuda a establecer el contexto y a resolver antes los problemas del cliente.

Necesidades de los clientes y de los proveedores

En cualquier tipo de función de apoyo, el tiempo es un factor crítico. La capacidad

Imagen del título

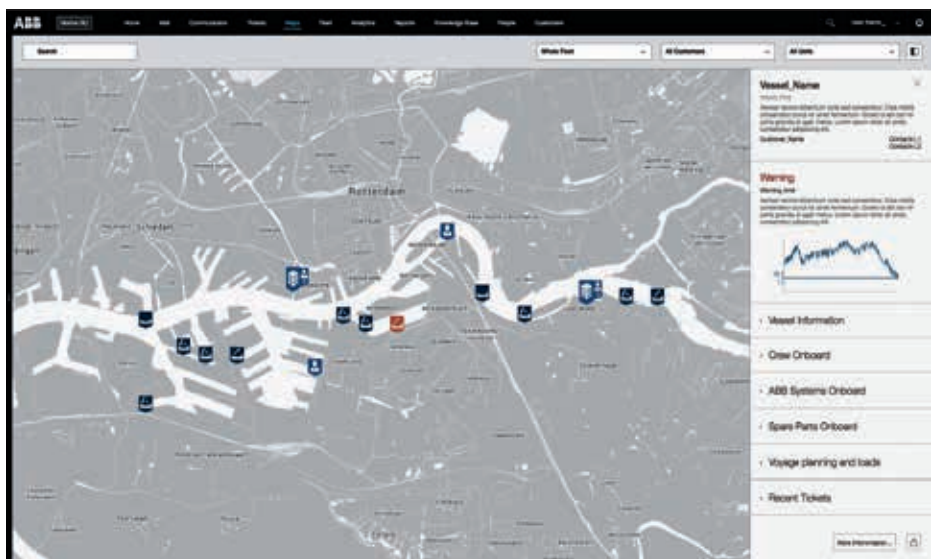
Conectividad a distancia de la costa al barco.

El personal técnico del cliente también participa en el proceso de resolución.

1 La herramienta Cuadro de mando



2 La herramienta Mapa



de diagnosticar y resolver de forma eficiente los problemas con los equipos de los clientes es la prioridad para los técnicos de asistencia de ABB. Por ello, las herramientas usadas para realizar su tarea deben ser lo más eficaces posible.

El diseño de soluciones de asistencia efectivas requiere un conocimiento profundo del trabajo de los técnicos de asistencia. Para conocer a fondo las prácticas laborales y evaluar los objetivos, las necesidades y las inquietudes se utilizan métodos de entrevista y observación. A su vez, esta información proporciona las consideraciones de diseño fundamentales para la creación de la nueva solución HMI (interacción hombre-máquina). El prototipo desarrollado tenía en cuenta las siguientes conclusiones de las entrevistas y observaciones:

- Definición del contexto para la resolución de problemas:
 - 1) Para entender todas las soluciones posibles, los técnicos de asistencia a distancia deben recopilar tanta información relevante sobre el problema como les sea posible.
 - 2) No existe ningún método sencillo que permita a los miembros del personal técnico transferir rápidamente información contextual, como vídeo o imágenes, al técnico de asistencia a distancia encargado del caso.
 - 3) Tampoco existe una forma fácil de que el técnico de asistencia a distancia ofrezca sugerencias al personal técnico que se encuentra a bordo.
- La información está desperdigada. No toda la información necesaria para diagnosticar y solucionar un problema

3 Detalles de la flota

The screenshot displays a web interface for fleet management. It features two main data tables. The top table, titled 'Vessel Details', lists various vessels with columns for Name, Location, Status, and other attributes. The bottom table, titled 'Vessel Port', provides a more detailed view of vessel movements, including columns for Vessel Name, Company, Vessel ID, Port Name, and various dates (Arrival, Departure, etc.).

La herramienta proporciona información para el restablecimiento, incluida la ubicación de centros de asistencia locales, puertos y aeropuertos.

4 Análisis de detalles de la flota

This screenshot shows a detailed view of a specific vessel. The interface includes a header with the vessel's name and a search bar. Below this, there are several sections: a main information panel with fields for Vessel Name, Vessel Key, Vessel Company, and Vessel Status; a 'Vessel Data' section with a diagram of the vessel and associated technical specifications; and a 'Vessel Port' section with a table of port-related data. The layout is clean and organized, with clear labels and data points.

se encuentra en un lugar fácilmente accesible. Por ello, los técnicos gastan mucho tiempo buscando material relevante.

- Puede resultar complicado localizar a un técnico de campo local debidamente cualificado y cerca del barco del cliente y coordinarse con él para que se presente en el barco y repare el hardware.

Conceptos de diseño

En base a estas necesidades identificadas, se desarrolló un nuevo prototipo de portal de coordinación de flotas y servicios formado por cuatro componentes: Cuadro de mando, Mapa, Detalles de la flota y Análisis. El prototipo se desarrolló con tecnologías web modernas, como HTML5, JavaScript, Angular JS, D3.js, bootstrap, CSS, Google Maps y API abierta.

La herramienta Cuadro de mando permite a los técnicos personalizar su vista con arreglo a la información que es importante para ellos → 1. La información del cuadro de mando se puede reorganizar para adaptarse al usuario, de manera que se puede añadir o eliminar información. Los técnicos también pueden filtrar la información mostrada en esta vista con arreglo a un determinado cliente o barco.

La herramienta Mapa ofrece a los usuarios un mapa interactivo que les permite desplazarse y ampliar, además de filtrar la información → 2. Se muestran las ubicaciones de los barcos, codificados por colores para indicar los que tienen problemas (los que tienen alarmas activas) en color rojo. Esto permite a los técnicos mantenerse informados del estado de todos los barcos que están bajo su responsabilidad en cualquier momento.

La capacidad de diagnosticar y resolver de forma eficiente los problemas con los equipos de los clientes es la prioridad para los técnicos de asistencia de ABB.

5 La herramienta Análisis



Aplicando el zoom al barco, el técnico puede consultar una vista de mapa más detallada con la ruta marcada. Esta misma función presenta información adicional del barco, como la ubicación de centros de asistencia locales (dónde están los técnicos de campo locales) y de puertos y aeropuertos, así como una visualización diurna/nocturna para indicar a qué hora funciona el barco.

La herramienta Flota ofrece a los técnicos información más detallada de los barcos que se encuentran bajo su supervisión. Los barcos se pueden agrupar (filtrar o clasificar) en determinadas categorías que se pueden filtrar aún más, como barcos con alarmas activas. Al seleccionar un barco de esta lista, el técnico accede a una página de información más detallada sobre dicho barco, como los sistemas embarcados, el historial de mantenimiento de los equipos, la ruta prevista y los repuestos que lleva a bordo → 3, 4.

Por último, la herramienta Análisis ofrece a los técnicos un espacio de trabajo personalizable en el que pueden organizar la información del modo que más les convenga. Los técnicos pueden añadir o eliminar información y agregar notas en pantalla. Este espacio de trabajo también se puede usar para colaborar con otros técnicos de servicio a distancia y obtener ayuda sobre los casos. El concepto analítico dota a los técnicos de una herramienta para explorar los datos, utilizando la concordancia de patrones y el etiquetado de datos para detectar similitudes y relaciones entre señales

clave. Esta capacidad les permite realizar una comparación de datos mejor y, por lo tanto, tomar decisiones mejor informadas → 5.

Beneficios para la gestión de la producción

El prototipo desarrollado ofrece a los técnicos de asistencia a distancia información general sobre el estado de los barcos que se encuentran bajo su supervisión. La provisión de la información correcta en un formato intuitivo y fácil de entender permite a los técnicos conocer de manera más rápida y eficaz el estado del barco y sus problemas. Disponer de un método para identificar eficazmente los problemas con los barcos de los clientes y la asistencia adecuada para entender el problema permite a los técnicos usar sus capacidades avanzadas para resolver a tiempo las dificultades del cliente.

Adiós problemas

La solución de ABB proporciona a los técnicos de asistencia a distancia información en un formato más intuitivo y fácil de entender y les ayuda a tomar mejores decisiones. La solución demuestra el firme compromiso de ABB con la creación de soluciones especializadas de máxima calidad y con la mejora de los procesos para lograr una asistencia líder en el sector.

Maria Ralph

Veronika Domova

Petra Björndal

Elina Vartiainen

Goranka Zoric

ABB Corporate Research

Västerås, Suecia

maria.ralph@se.abb.com

veronika.domova@se.abb.com

petra.bjorndal@se.abb.com

elina.vartiainen@se.abb.com

goranka.zoric@se.abb.com

Richard Windischhofer

ABB Marine and Ports

Billingstad, Noruega

richard.windischhofer@fi.abb.com

Christopher Ganz

ABB Group Technology Management

Zúrich, Suiza

christopher.ganz@ch.abb.com

Referencias

- [1] K. Schwab. (January 14, 2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond* [Online]. Disponible en <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- [2] *In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power* (1988), Shoshana Zuboff



Automation & Power World 2017

Connect. Collaborate. Outperform.

Marzo 13-16, 2017 | George R. Brown Convention Center | Houston, Texas

Anote la cita en su agenda y únase a miles de profesionales del sector en el evento de educación y tecnología Automation & Power World. El registro en el Congreso es gratuito para clientes de ABB y profesionales del sector. Para obtener más información, visite www.abb.com/apw

Connect. Collaborate. Outperform.

Automation & Power World vuelve a Houston en marzo de 2017

STEPHANIE JONES – Desde 2009, ABB Automation & Power World reúne a los profesionales de los sectores de servicios públicos, industria, transporte e infraestructuras para celebrar el extraordinario evento de educación y colaboración de la empresa en Norteamérica. En 2017, el acto se celebrará en el George R. Brown Convention Center de Houston, Texas, del 13 al 16 de marzo.

Automation & Power World ofrece cuatro días de formación y la oportunidad de establecer contactos y de presenciar el abanico más amplio de tecnologías de una empresa en un único lugar → 1. Juntos, miles de clientes, expertos técnicos de ABB, líderes del sector, socios de gestión y de negocio de ABB analizarán la forma de triunfar en un entorno empresarial en constante evolución.

Los asistentes pueden elegir entre cientos de talleres educativos, charlas diarias de líderes del sector, debates de expertos y cursos de formación práctica para crear una experiencia de aprendizaje personalizada. Los talleres se centran en temas para ayudar a alcanzar los objetivos empresariales, y los imparten expertos técnicos, usuarios finales y especialistas del sector.

El Technology & Solution Center albergará el catálogo más grande de productos, soluciones y servicios de ABB de Norteamérica. Los visitantes tendrán acceso práctico al software y la tecnología de energía y automatización más modernos. Además, los expertos de ABB se pondrán a disposición de los visitantes para explicar lo expuesto, responder preguntas y compartir ideas.

La conferencia también ofrece oportunidades de colaboración. Desde mesas redondas de expertos hasta sesiones plenarias específicas y eventos diarios para establecer contactos, los asistentes pueden reunirse con especialistas de su propia industria y con personas que ostentan responsabilidades similares en otros sectores para intercambiar información sobre lo que ha funcionado y lo que no en casos parecidos.

La experiencia de Automation & Power World no tiene precio, y la inscripción, tampoco. Esta es gratuita para clientes de ABB y otros profesionales del sector. Así que reserve en su agenda los días 13–16 de marzo de 2017 y visite el sitio web del evento para conocer todos los detalles y registrarse: <http://new.abb.com/apw>.

1 La oportunidad de presenciar el abanico más amplio de tecnologías de ABB en un único lugar



Stephanie Jones
ABB Inc.
Houston, TX, Estados Unidos
stephanie.m.jones@us.abb.com



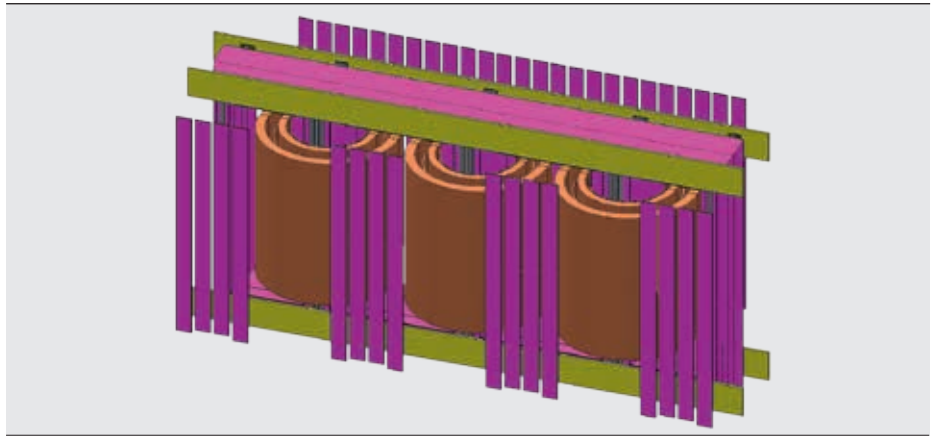
Profeta de pérdidas

Predicción de pérdidas por dispersión en transformadores de potencia y optimización del apantallamiento del depósito con MEF

JANUSZ DUC, BERTRAND POULIN, MIGUEL AGUIRRE, PEDRO GUTIERREZ – La optimización del apantallamiento del depósito es un aspecto exigente del diseño debido a la necesidad de reducir las pérdidas por dispersión en las partes metálicas de los transformadores de potencia expuestas a campos magnéticos. Los métodos de simulación actuales permiten evaluar diseños más atrevidos que de otra forma no se habrían considerado. Se aplica la metodología de elementos finitos (MEF) para calcular las pérdidas y la distribución de temperaturas en diversas configuraciones de apantallamiento de transformadores investigadas. La ventaja de la simulación por ordenador no se limita al ahorro de costes y tiempo por unidad de transformador, sino que también contribuye a mejorar el conocimiento de los fenómenos físicos durante el funcionamiento. Los resultados obtenidos con simulaciones 3-D se ajustan mucho a los valores medidos. ABB puede aplicar esta experiencia, reforzada por una mayor confianza en la metodología, al diseño de dispositivos futuros.

El MEF es una herramienta sofisticada muy empleada en ingeniería.

1 Modelo de simulación de transformador (no se muestran las paredes del depósito)



Los transformadores de potencia son componentes importantes de una red eléctrica [1]. El trabajo fiable y eficiente de los transformadores tiene un impacto económico considerable en el transporte y la distribución [2] y se ha dedicado mucho esfuerzo optimizar su diseño [3].

En el caso de los transformadores, el aumento del rendimiento suele reducir las pérdidas. Las pérdidas de carga en los transformadores se producen en los conductores y las partes magnéticas. En los devanados y las barras de distribución hay dos componentes de pérdidas: resistivas y corrientes

parásitas. Las partes metálicas de los transformadores expuestas a campos magnéticos, como el depósito y las estructuras de sujeción del núcleo, causan también pérdidas por dispersión [4].

El procedimiento descrito aquí lo utilizan usualmente los técnicos de las fábricas de ABB en la fabricación de grandes transformadores de potencia en baño de aceite.

Se pueden determinar eficientemente soluciones prácticas por el método de elementos finitos (MEF). Los parámetros de la simulación se determinan estadísticamente basándose en docenas de transformadores de potencia pequeños, medianos y grandes probados por ABB en todo el mundo. Los científicos de ABB han desarrollado una biblioteca de materiales dedicada a dichos cálculos aplicando medidas de laboratorio. La

metodología proporciona la máxima precisión frente a otras herramientas y métodos analíticos de estimación de pérdidas por dispersión.

Simulaciones electromagnéticas

El MEF es una herramienta sofisticada muy empleada en ingeniería. Se usa en el desarrollo de nuevos productos y en el perfeccionamiento de los ya existentes para verificar un diseño propuesto y adaptarlo a las especificaciones del

El MEF precisa la creación de un modelo discreto de un aparato con las propiedades adecuadas de los materiales.

cliente [5]. El método precisa la creación de un modelo discreto de un aparato con las propiedades adecuadas de los materiales.

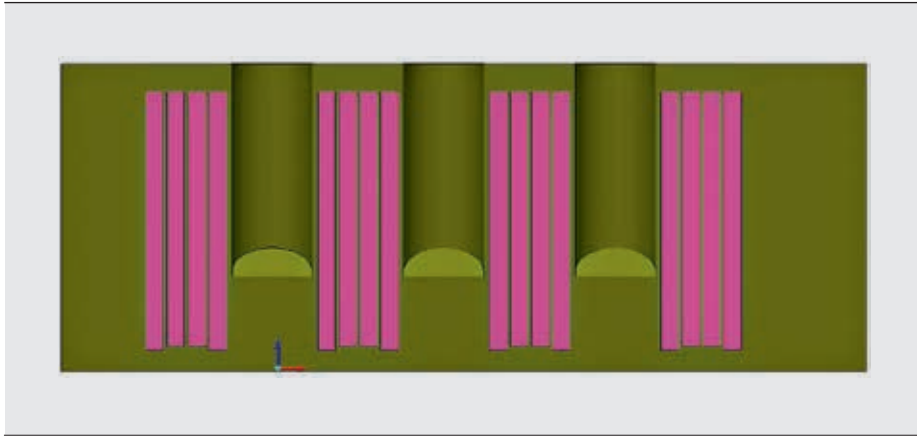
El software de simulación calcula la distribución básica del campo electromagnético resolviendo las ecuaciones de Maxwell en una región finita del espacio con las condiciones de contorno adecuadas. Las simulaciones aquí descritas se efectuaron con un paquete de software de MEF comercial.

Efecto pelicular

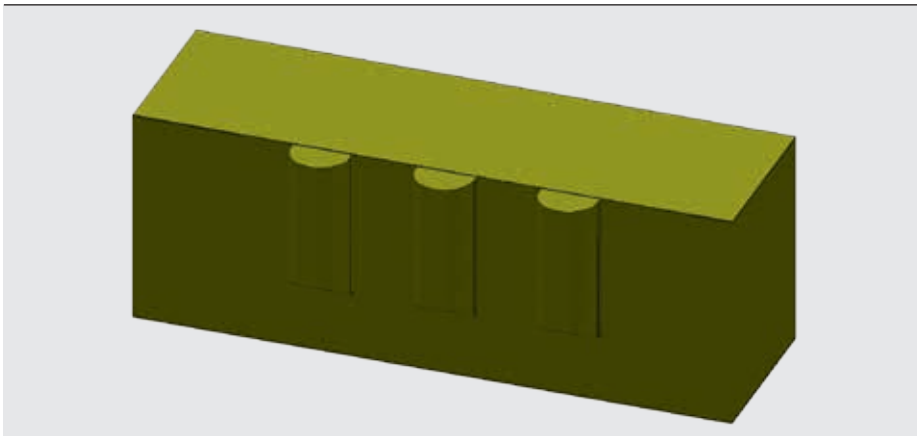
El grosor de las placas de acero es mucho mayor que la profundidad a la que penetrarán los campos magnéticos. Para representar adecuadamente en un modelo numérico la pequeña penetración del campo magnético, debe utilizarse un número enorme de pequeños elementos

Imagen del título

Transformador 502 MVA listo y montado (depósito, bornas, conservador y sistema de refrigeración) en la sala de ensayos de la factoría de ABB en Córdoba, España.



La condición de contorno de la impedancia superficial permite calcular las pérdidas por dispersión en los transformadores con un número de elementos finitos muy reducido.



en la proximidad de una superficie de cada componente de material magnético. Esto exige una potencia de cálculo que supera ampliamente las capacidades de las estaciones de trabajo modernas.

Se ha incorporado una solución para esta limitación en muchos paquetes de software de MEF. En una primera aproximación, puede afirmarse que todas las corrientes parásitas, que son pérdidas, se generan cerca de la superficie de los materiales conductores magnéticos. Por lo tanto, se puede tratar el fenómeno como una condición de contorno más que como un cálculo de volumen.

Condición de contorno de impedancia superficial

La condición de contorno de impedancia superficial (SIBC) es un caso particular de una condición de contorno aproximada general correspondiente a cantidades electromagnéticas en una interfaz conductor/dieléctrico. Permite el cálculo de las pérdidas por dispersión en transformadores con un número relativamente bajo de elementos finitos [6].

Se asignaron las condiciones de contorno de impedancia superficial a los componentes magnéticos y conductores de los transformadores como placas de ensamble, depósitos y abrazaderas.

Simulaciones electromagnéticas de transformadores de potencia

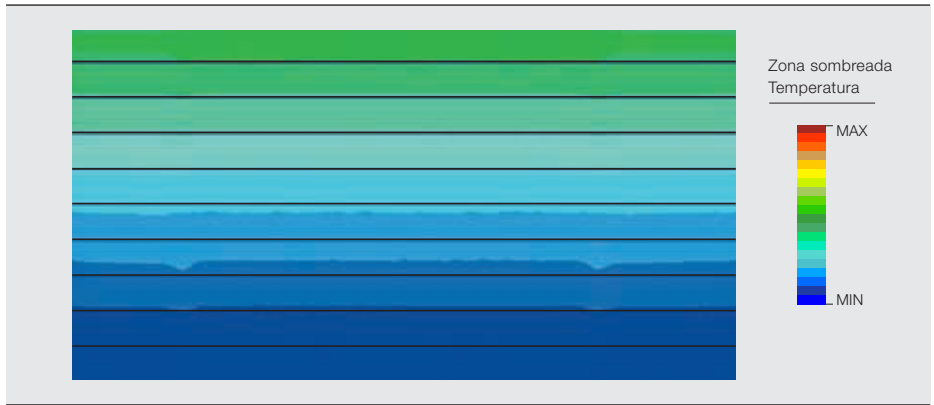
Se empleó en esta investigación un autotransformador trifásico MVA de 380/110/13,8 kV, fabricado por ABB. Los resultados corresponden a las pérdidas por dispersión y la distribución de temperaturas de la unidad. Para la simulación se creó un modelo simplificado en 3-D solo con los componentes principales del transformador. El modelo incluye un núcleo, devanados, placas de ensamble, abrazaderas, un depósito y apantallamientos magnéticos en las paredes de alta (AT) y baja (BT) tensión → 1.

Apantallamiento magnético

A plena intensidad, los devanados del transformador producen grandes cantidades de flujo parásito y pérdidas que se traducen en subidas de temperatura en las partes metálicas. Para evitar el sobre-

A lo largo del proyecto se llevaron a cabo simulaciones magnetotérmicas acopladas. Este tipo de cálculos es muy útil para el análisis de máquinas eléctricas como transformadores y motores.

4 Temperaturas en la pared BT del tanque del modelo original de transformador investigado



5 Pérdidas por dispersión para el diseño original del transformador investigado

Elemento	Pérdidas relativas [%]
Núcleo	41.1
Abrazaderas	19.1
Placas de ensamble	4.2
Depósito (pared de AT)	25.6 (16.2)
Shunts	10.0
Total	100.0

calentamiento, se montan derivaciones magnéticas en las paredes del depósito → 2. Las derivaciones son elementos laminados de acero ferromagnético que conducen el flujo de los extremos del devanado del transformador y se comportan como apantallamientos.

componentes estructurales obtenidas en el modelo presentado.

Cálculos de la distribución de temperaturas

A lo largo del proyecto se llevaron a cabo simulaciones magnetotérmicas acopla-

En este caso particular, el depósito presenta tres abombamientos en la pared de AT → 3 para hacer sitio a las tres bornas de AT. Aquí solo se considera la optimización para las derivaciones en la pared de AT, porque no se han detectado puntos calientes en el lado de BT → 4.

Las temperaturas más altas obtenidas para el diseño inicial se observan en las regiones bajo los abombamientos de la pared de AT.

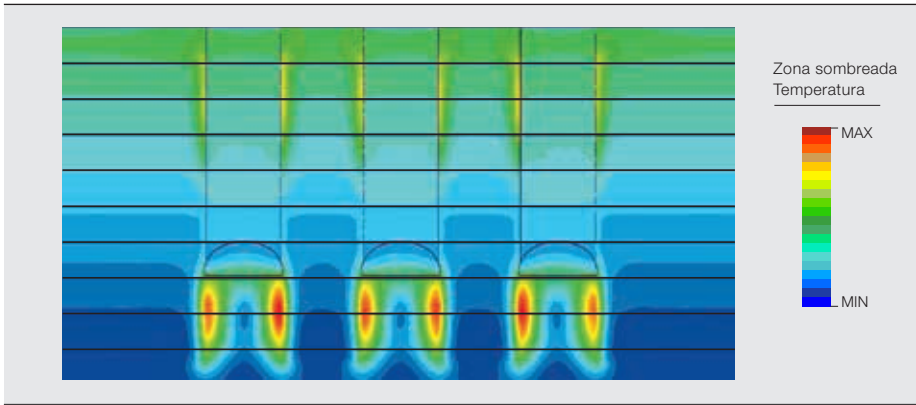
Cálculos de las pérdidas por dispersión

Se efectuaron cálculos preliminares para una sola frecuencia de 60 Hz con el diseño inicial del apantallamiento → 2. La distribución porcentual de las pérdidas por dispersión se ilustra en → 5. Las pérdidas generadas en la pared de AT del depósito son de cerca del 16 por ciento de las pérdidas totales por dispersión en los

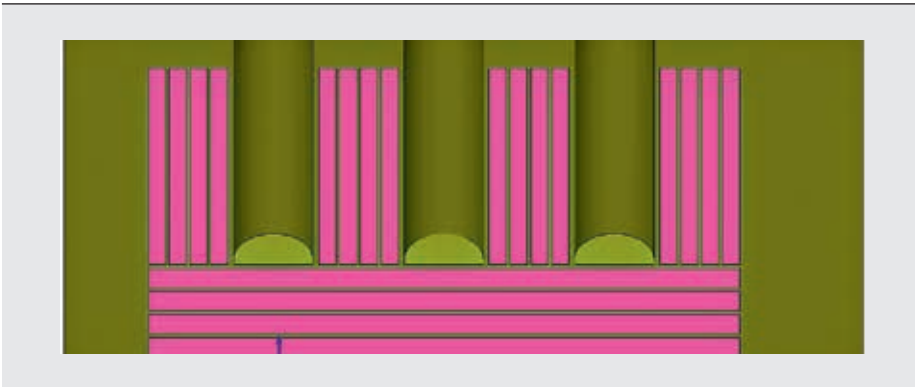
das. Este tipo de cálculos es muy útil para el análisis de máquinas eléctricas como transformadores y motores.

Para evaluar la temperatura de los componentes deben definirse valores apropiados de los coeficientes de transferencia de calor convectiva entre los componentes y su entorno para cada superficie de interés del modelo. Se admitió una distribución lineal de la temperatura del aceite para las superficies internas del depósito (valor mínimo de temperatura

6 Temperaturas de la pared AT del tanque para el diseño original de transformador investigado



7 Apantallamiento magnético del depósito en el lado de AT para el diseño óptimo



8 Pérdidas por dispersión para el diseño óptimo del transformador investigado

Elemento	Pérdidas relativas [%]
Núcleo	41.2
Abrazaderas	18.9
Placas de ensamble	3.6
Depósito (pared de AT)	17.4 (7.8)
Shunts	7.6
Total	88.7

del aceite en la parte inferior y máximo en la superior). Se definió como constante la temperatura del aire por encima de la altura del depósito, con una distribución uniforme.

Las temperaturas más altas obtenidas para el diseño inicial se observan en las regiones bajo los abombamientos de la pared de AT → 6. Los resultados obtenidos muestran que estas regiones deben estar protegidas cuando las subidas de temperatura superan el límite admisible. Pero los valores máximos de distribución de temperaturas para la pared de BT son aceptables → 4.

Optimización del apantallamiento del depósito

La optimización del apantallamiento magnético era un proceso dirigido por técnicos experimentados. Se calcularon varias disposiciones posibles de las derivaciones para seleccionar la versión que protegiera mejor la pared con unas pérdidas mínimas. Se acortaron las derivaciones verticales y se introdujeron otras horizontales para proteger zonas donde se preveían puntos calientes → 7.

Los resultados obtenidos para el diseño final del apantallamiento magnético se presentan en → 8 (pérdidas por dispersión totales supuestas para el diseño ori-

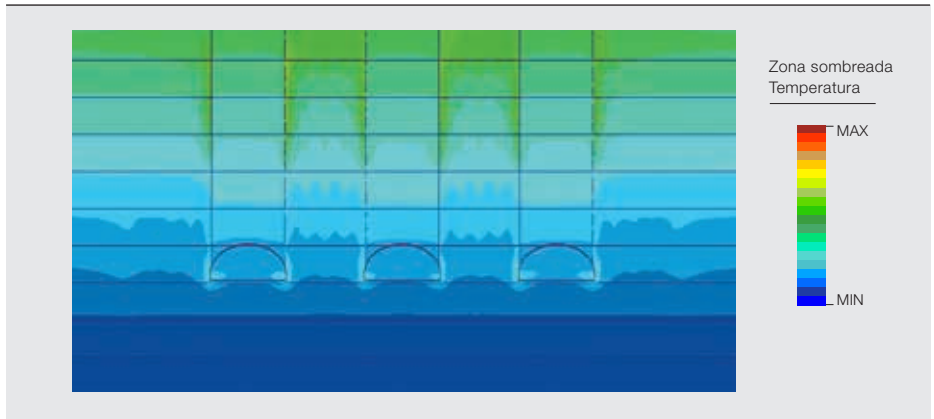
Las pérdidas totales por dispersión disminuyeron en un 11,3 por ciento. Las pérdidas en las propias derivaciones también disminuyeron en cerca del 24 por ciento.

ginal del 100 por ciento). Las pérdidas totales por dispersión disminuyeron en un 11,3 por ciento. La mayor reducción se observó en la pared de AT (52 por ciento). Las pérdidas en las propias derivaciones también disminuyeron en cerca del 24 por ciento.

Los cambios de diseño tienen un impacto importante en la temperatura alcanzada en el depósito del transformador. Como se ilustra en → 9, las temperaturas más altas están cerca de los bordes verticales de los abombamientos de la parte superior del depósito. Se eliminaron los puntos calientes previamente observados.

Las simulaciones electromagnéticas de transformadores de potencia han demostrado que son una herramienta muy potente aplicable en las fases de desarrollo y diseño.

9 Temperaturas de la pared AT del tanque para el modelo óptimo de transformador investigado



Resultados de las pruebas

Durante las pruebas finales de aceptación, las pérdidas de carga estaban dentro del 1 por ciento de las pérdidas estimadas por la herramienta interna de ABB. Las pérdidas por dispersión finales medidas (la diferencia entre las pérdidas de carga medidas y las pérdidas estimadas en el devanado) fueron un 5 por ciento mayores que las calculadas por el análisis MEF.

La prueba de aumento de temperatura confirmó las temperaturas en el depósito previstas por el análisis de 3-D. En la prueba no se detectó una presencia excesiva de gases en el aceite, lo que indica que no se produjo sobrecalentamiento local dentro del depósito.

Potencia para el simulador

Las simulaciones electromagnéticas de transformadores de potencia han demostrado que son una herramienta muy potente aplicable en las fases de desarrollo y diseño. Se pudieron comparar distintas soluciones de apantallamiento con software de MEF y modelos numéricos adecuados. Se predijeron con precisión las pérdidas por dispersión, dentro de la incertidumbre de las mediciones.

La metodología aplicada en la optimización de las derivaciones del depósito es práctica, barata y de fácil seguimiento.

El análisis magnetotérmico acoplado proporciona una información importante sobre el comportamiento electromagnético y térmico de los transformadores.

En conclusión, es probable que ningún ingeniero se hubiera atrevido jamás a utilizar esta configuración de apantallamiento sin el conocimiento proporcionado por

las simulaciones 3-D. Por lo tanto, el método aporta muchas ventajas por la oportunidad de simular distintas soluciones y se traduce en mejores diseños con menos pérdidas por dispersión y mayor eficiencia.

Janusz Duc

ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia
janusz.duc@pl.abb.com

Bertrand Poulin

ABB Transformers
Varennes, Canadá
bertrand.f.poulin@ca.abb.com

Miguel Aguirre

Pedro Gutierrez
ABB Transformers
Córdoba, España
miguel.aguirre@es.abb.com
pedro-antonio.gutierrez@es.abb.com

Referencias

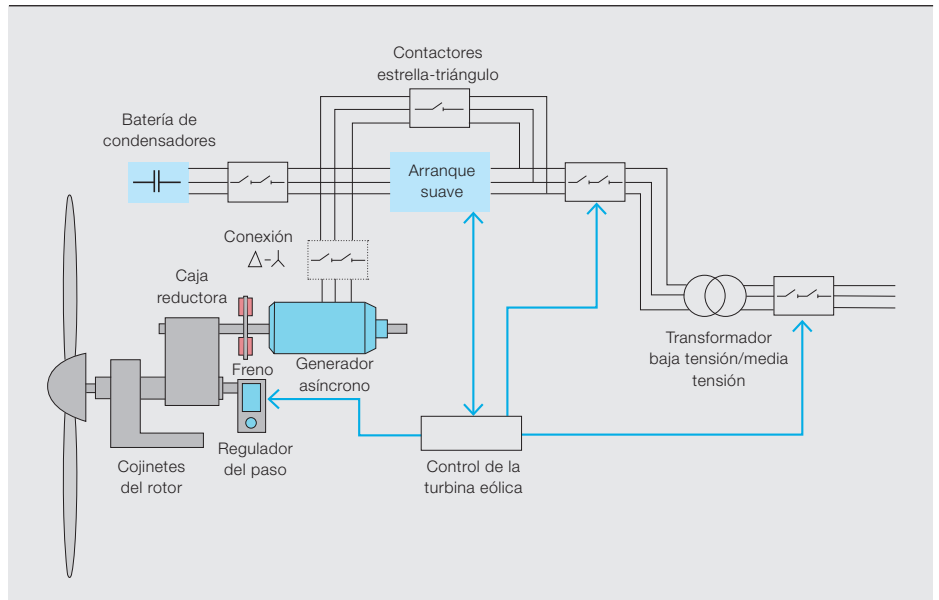
- [1] S. Magdaleno-Adame, *et al.*, "Hot spots mitigation on tank wall of a power transformer using electromagnetic shields," in *Proceedings ICEM*, pp. 2235–2238, 2014.
- [2] J. Turowski, "Zjawiska elektrodinamiczne w ciałach ferromagnetycznych," in *Elektrodynamika techniczna*, 3rd ed. Warszawa, Poland, pp. 375, 2014.
- [3] N. Takahashi, *et al.*, "Optimal design of tank shield model of transformer," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 36, no. 4, pp. 1089–1093, 2000.
- [4] D. Szary, *et al.*, "Imagen perfecta: Simulación electromagnética de transformadores," *ABB Review* 3/2013, pp. 39–43.
- [5] K. Preis, *et al.*, "Thermal – electromagnetic coupling in the finite-element simulation of power transformer," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, no. 4, pp. 999–1002, 2006.
- [6] Y. Higuchi and M. Koizumi, "Integral equation method with surface impedance model for 3-D eddy current analysis in transformers," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 36, no. 4, pp. 774–779, 2000.



Protección del viento

Conmutación en baja tensión y estrategias de protección de turbinas eólicas

ANTONIO FIDIGATTI, PAOLO BARONCELLI, MARCO CARMINATI, ENRICO RAGAINI – Hay varios diseños de turbinas eólicas, cada uno con su propio comportamiento eléctrico que precisa un enfoque único de conmutación y protección. Una revisión de los tres diseños de turbina más comunes revela los factores importantes que hay que tener en cuenta al elegir los componentes de conmutación y protección.



Actualmente hay más de 150.000 turbinas eólicas instaladas por todo el mundo. Más del 90 por ciento generan energía eléctrica a baja tensión (≤ 1.000 V).

Protección y control de turbinas eólicas

Los sistemas eléctricos de protección y control, críticos para mantener funcionando con seguridad las turbinas eólicas, presentan requisitos contrapuestos de rendimiento de la conversión, continuidad de la producción, desconexión por fallos, restricciones climáticas y mecánicas, tamaño y necesidad de reducir el efecto de las averías en el reducido espacio de la góndola.

Rendimiento de la conversión

El viento cambia rápidamente de velocidad y dirección o cesa por completo, por lo que la configuración mecánica y eléctrica de la turbina debe ser capaz de adaptarse con igual rapidez. Esto ocasiona la intervención frecuente de los

actuadores de control (por ejemplo, para ajustar el paso), con la consiguiente sucesión de conexiones y desconexiones del circuito eléctrico y el riesgo de sobrecalentamiento de los componentes.

Continuidad de la generación

La continuidad de la generación eléctrica exige una gran fiabilidad durante toda la vida de la turbina eólica. La dificultad de la intervención hace aún más deseable una fiabilidad elevada. Una buena estrategia es utilizar los componentes sólo para su función principal (interruptores automáticos para protección, contactores para conmutación, etc.) en vez de exprimir funciones secundarias. También se imponen tolerancias generosas.

Comportamiento de desconexión por avería

La necesidad de garantizar un comportamiento lineal durante las perturbaciones de la red ha llevado a definir códigos de red obligatorios. En muchos casos, el control del flujo de energía reactiva en condiciones de servicio estándar y anómalas exige numerosas operaciones de los dispositivos de conexión de las baterías de condensadores y los filtros.

Restricciones climáticas y mecánicas

Una turbina eólica está expuesta a importantes esfuerzos derivados del entorno: las vibraciones tienen amplitudes de varios milímetros y las condiciones térmicas van desde -25 °C cuando las funciones de calentamiento y descongelación están apagadas durante la inactividad hasta $+50$ °C cuando funcionan los

componentes de disipación de energía en condiciones de sobrecarga. Para calcular la vida útil hay que tener en cuenta los efectos de este entorno operativo y los debidos a conmutación frecuente, atmósfera salina, humedad, contaminación, etc.

Compacidad

Otras restricciones mecánicas son los requisitos de compacidad y poco peso debido a la limitación de espacio de la góndola y a la necesidad de minimizar los esfuerzos mecánicos sobre la estructura. Estos factores exigen soluciones de compromiso con el sobredimensionamiento requerido por el alto rendimiento y la continuidad del servicio.

Averías en la góndola

Las averías en la góndola son una cuestión especialmente crítica: el sistema de protección y control, además de prevenir y limitar los efectos catastróficos de averías en el reducido espacio disponible, debe asegurar que los transitorios eléctricos no dañen el valioso sistema mecánico (que representa cerca del 80 por ciento del coste de la turbina). Esto se traduce en requisitos que a veces se contraponen entre sí:

- Evitar disparos de seguridad no deseados, pero también sobretensiones peligrosas.
- Actuar rápidamente para reducir los esfuerzos y deformaciones mecánicas en la transmisión y el peligro de incendio.

Imagen del título

Un factor crítico para cualquier turbina eólica es la elección de los dispositivos de conmutación y protección. ¿Cómo influye el diseño de la turbina en esta elección?

2 Requisitos para dispositivos de conmutación/protección con FSIG

	Circuito de alimentación principal	Circuito de alimentación auxiliar
Corriente de carga (A)	≤ 1.800	≤ 320
Tensión (V)	≤ 690	≤ 690
Frecuencia (Hz)	50-60	50-60
Corriente de cortocircuito prospectiva (kA)	≤ 35 a 690 V	
Tipo de clasificación de carga según [2]	Resistiva	Transformador o motor de inducción
Presencia de sobreintensidad de conexión	No	Sí
Duración (años)	20	20
Número de operaciones mecánicas con aislamiento eléctrico de las fuentes de tensión (mantenimiento o fuera de servicio)	100-1.000	< 1.000
Número de operaciones mecánicas de conexión/desconexión generador-red o de reconfiguración (u operaciones eléctricas de baja intensidad)	10.000-100.000	No aplicable
Número de operaciones eléctricas	<100 (disparos o paradas de emergencia)	<100 (disparos o paradas de emergencia)
Protección contra sobrecarga y cortocircuito	Sí	Sí
Solución óptima	Interruptor automático más contactor	Interruptor automático

Una buena estrategia es utilizar los componentes sólo para su función principal en vez de aprovecharlos para funciones secundarias.

- Detectar la pequeña contribución de la corriente de cortocircuito del generador.
- Identificar correctamente los alimentadores defectuosos en los circuitos auxiliares después de una avería eléctrica no crítica a fin de aumentar la disponibilidad de la generación de electricidad.
- Limitar la energía de la avería (y la rapidez del disparo a baja intensidad) para proteger componentes débiles como el sistema de escobillas.
- Aislar las secciones defectuosas de forma segura.
- Aislar de forma segura durante el mantenimiento al tiempo que se proporciona la energía que necesitan los sistemas auxiliares.

Las características fundamentales para los componentes de control y protección son, en orden de importancia:

- elevada fiabilidad de la conmutación
- mantenimiento reducido
- tamaño y peso reducidos
- coste

Estos cuatro requisitos suelen ser incompatibles entre sí y hay que buscar compromisos de protección y conmutación. Pueden explorarse estrategias de compromiso óptimas examinando las tres tecnologías principales de las turbinas eólicas:

- Un generador asíncrono conectado directamente a la red: generador de inducción de velocidad fija (FSIG)
- Un generador asíncrono con el rotor excitado a una frecuencia variable conectado directamente a la red: generador de inducción de velocidad doble (DFIG)
- Un generador de imán permanente síncrono (o asíncrono) conectado a la red a través de un convertidor de frecuencia de escala total (FSFC)

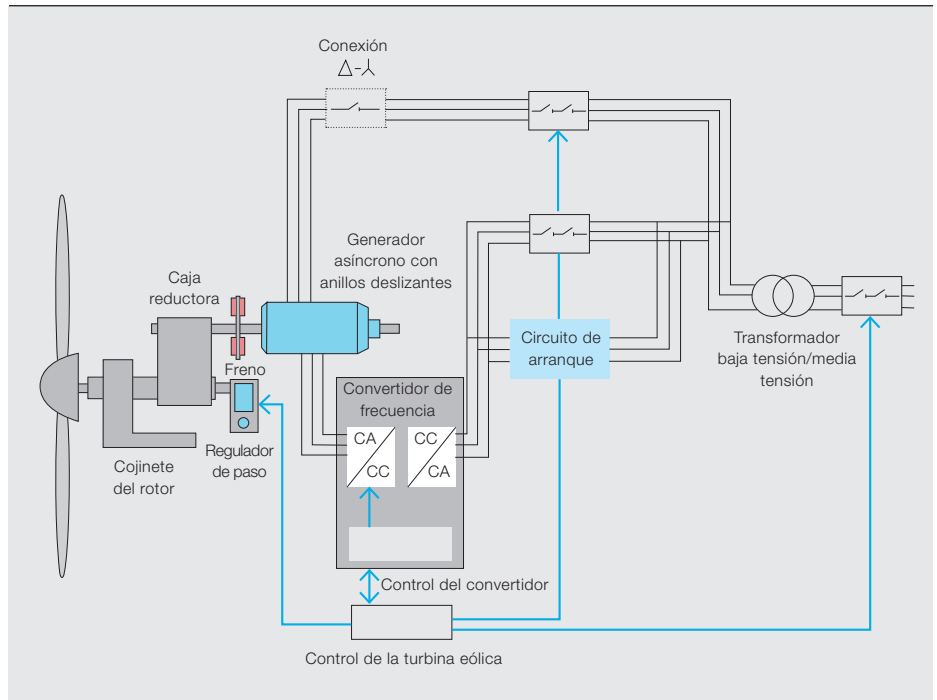
Generador de inducción de velocidad fija

En la configuración FSIG, con un generador asíncrono sin escobillas conectado directamente a la red, solo son posibles desviaciones muy limitadas de la velocidad de sincronismo. Por tanto, la energía reactiva la suministran baterías de condensadores de conmutación relativamente frecuente [1]. Las fases de puesta en marcha del generador se controlan con un arrancador suave con contactores conectados en paralelo, que se cierran cuando se alcanza el estado estacionario. Se suele emplear una conexión estrella-triángulo al devanado (o devanados) del generador para un control adecuado de los distintos regímenes de viento. Asimismo, el generador puede tener varios polos para ampliar el margen de trabajo → 1-2. Esta configuración eléctrica es simple y muy eficiente, pero:

- El margen reducido de velocidad de producción es inadecuado en zonas de viento variable.
- Debe soportarse un estado de sobrecarga prolongado, por lo que hay que sobredimensionar los componentes del circuito principal.

Para el cálculo de la vida útil hay que considerar los efectos de envejecimiento de este entorno operativo y los debidos a conmutación frecuente, atmósfera salina, humedad, contaminación, etc.

3 Diagrama simplificado de turbina eólica con un DFIG



- El control de pasos de los condensadores basado en contactores puede causar efectos de sobretensión; en muchos de esos casos la interacción con el arranque suave es problemática.
- El sistema no puede seguir las perturbaciones rápidas de la red sin desconexión.

Por lo tanto, esta configuración sólo es adecuada para turbinas eólicas pequeñas o medianas instaladas en una red con baja penetración de la generación eólica (<5 por ciento).

Generador de inducción de alimentación doble

Esta configuración emplea un generador de inducción de anillos deslizantes con el circuito del rotor alimentado a frecuencia variable → 3-4. Admite mayores variaciones de la velocidad de giro del sistema que el método FSIG, pues la frecuencia de excitación del rotor permite desplazamientos respecto a la velocidad de sincronismo que deben compensarse [1]. Generalmente, el circuito de excitación, en el que la energía eléctrica puede fluir en ambas direcciones (método europeo), se dimensiona al 20 al 30 por ciento del circuito principal. Se utiliza el convertidor para controlar la velocidad del generador y el factor de potencia, lo que permite un mayor margen de velocidad para la generación y suministrar energía reactiva para apoyar la red. En ciertos casos, la

conexión estrella-triángulo al generador se utiliza para un control adecuado de distintos regímenes de viento con valores de intensidad en el rotor optimizados por lo que se refiere a la vida de los sistemas de anillos deslizantes y escobillas. Las ventajas frente a las turbinas de velocidad constante son:

- El funcionamiento a velocidad variable aumenta la producción de kilowatios-hora.
- El uso de un pequeño convertidor, dimensionado hasta un tercio de la potencia nominal, permite suministrar energía reactiva a la red en condiciones normales y no normales con un buen control de tensión y factor de potencia.
- El rendimiento total del sistema es alto.

Por otro lado, hay que tener en cuenta ciertos inconvenientes:

- La conexión directa entre la red y el generador traslada perturbaciones de la red a la cadena de accionamiento mecánico y limita la capacidad del sistema para permanecer conectado.
- El rotor de escobillas de anillo deslizante es un punto débil que necesita mucho mantenimiento.

Convertidor de frecuencia de escala total

El diseño FSFC admite grandes variaciones de la velocidad de giro, pues las

4 Requisitos para dispositivos de conmutación y protección con DFIG

	Circuito de alimentación principal	Circuito de excitación principal	Circuito de arranque
Corriente de carga (A)	≤ 4.000	≤ 630	≤ 5
Tensión (V)	≤ 1.000	≤ 690	≤ 690
Frecuencia (Hz)	50-60	50-60	50-60
Corriente de cortocircuito prospectiva (kA)	≤30 a 1.000 V	≤50 a 690 V	≤50 a 690 V
Tipo de clasificación de carga según [2]	Resistiva	Motor de inducción	Motor de inducción
Presencia de sobreintensidad de conexión	No	No	Sí
Duración (años)	20	20	20
Número de operaciones mecánicas (u operaciones eléctricas de baja intensidad) con aislamiento eléctrico de las fuentes de tensión (mantenimiento o fuera de servicio)	100-1.000	< 1.000	No aplicable
Número de operaciones mecánicas de conexión/desconexión generador-red o de reconfiguración (u operaciones eléctricas de baja intensidad) con aislamiento eléctrico de las fuentes de tensión	10.000-100.000	1.000-10.000	No aplicable
Número de operaciones eléctricas	<100 (disparos o paradas de emergencia)	<100 (disparos o paradas de emergencia)	<10.000 (inserción de circuito de excitación)
Protección contra sobrecarga y cortocircuito	Sí	Sí	Sí
Solución óptima	Interruptor si <1 operación/día o interruptor automático más contactores si más de eso*	Interruptor coordinado con contactor en paralelo con el circuito de arranque	Interruptor automático más contactor

* Los generadores de las turbinas eólicas giran más tiempo a regímenes bajos que a regímenes altos, lo que se traduce en una conexión y desconexión frecuentes, usualmente a 2.000-5.000 ciclos por año (dependiendo del tipo de generador de turbina eólica), lo que hace que los contactores sean la mejor solución técnica

variaciones de frecuencia se compensan con un accionamiento colocado entre el generador y la red [1]. En el concepto de convertidor total, éste desacopla el generador y la transmisión mecánica de la red → 5-6. Toda la energía eléctrica generada fluye a la red a través del convertidor. Éste se encarga de controlar el par y la velocidad del generador. Hay tres configuraciones principales de convertidor total: velocidad alta, media y baja. Utilizan distintas soluciones de caja reductora y generador. Las ventajas de un diseño FSFC frente a las turbinas de velocidad constante son:

- No hay conexión eléctrica directa entre el generador y la red. Esto reduce los golpes mecánicos sobre la turbina durante las averías de la red y mejora el cumplimiento del código de red.
- Admite un abanico amplio de velocidades con mayor suministro de energía anual.
- Control total de la energía activa, con producción total de energía reactiva.

En la configuración FSFC se suelen emplear los interruptores automáticos para muchos fines:

- Para desconectar y aislar de forma segura con fines de funcionamiento normal o de mantenimiento.
- Para proteger: en una avería que afecte al inversor o a las secciones entre el generador y el inversor (por

ejemplo, la sección de conexión de los cables), el interruptor automático es el único dispositivo capaz de detectar de forma segura el cortocircuito y desconectar de la fuente de energía. Esto requiere desconexiones de protección (unidades de disparo) diseñadas específicamente para actuar a frecuencia variable que puedan trabajar en las condiciones ambientales especificadas.

- El interruptor automático proporciona redundancia para la desconexión del generador.

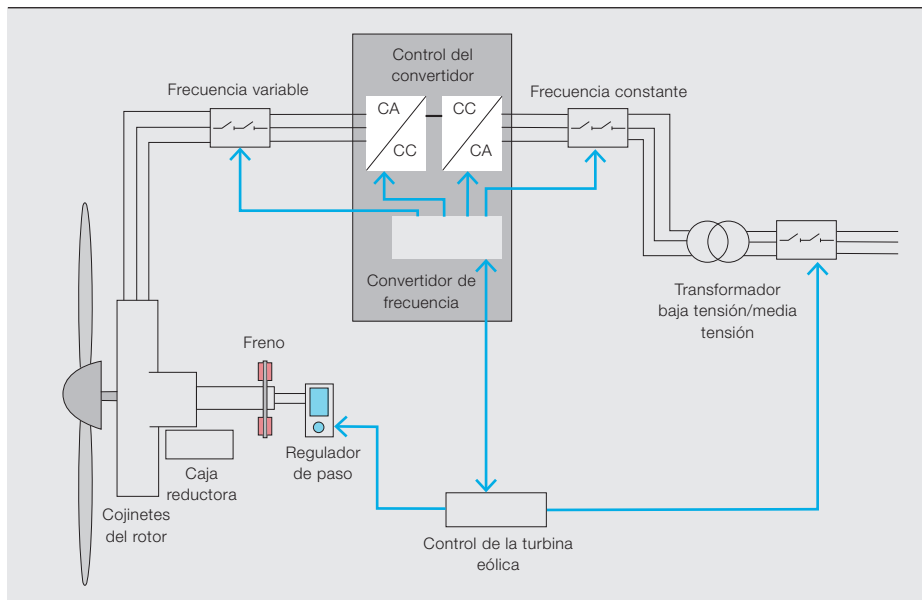
Noticia de última hora

La elección de componentes de conmutación y protección adecuada para un determinado diseño de turbina eólica es esencial para un funcionamiento suave y para minimizar los efectos de las averías.

La protección de las turbinas eólicas y de otros generadores de renovables es un campo de investigación y desarrollo activo en el que ABB está fuertemente implicada. En los últimos años, ABB ha presentado una serie de soluciones que protegen plantas de frecuencia variable en los sectores eólico, minihidroeléctrico, de olas y tracción; son ejemplo destacado los interruptores automáticos Tmax VF y Emax VF que trabajan en el margen de 1 a 200 Hz.

Los equipos deben ser compactos y ligeros debido a las limitaciones de espacio y a la necesidad de minimizar los esfuerzos mecánicos sobre la estructura.

5 Diagrama simplificado de turbina eólica con un FSFC



6 Requisitos para dispositivos de conmutación/protección con FSFC

	Circuito de alimentación principal en el lado de frecuencia variable	Circuito de alimentación principal en el lado de la red	Circuito auxiliar principal
Corriente de carga (A)	≤ 5.000 o $n \times 700-1.600$	≤ 5.000 o $n \times 700-1.600$	≤ 250
Tensión (V)	≤ 1.000	≤ 690	≤ 690
Frecuencia (Hz)	1-16, 30-80, 40-140	50-60	50-60
Corriente de cortocircuito prospectiva (kA)	$\leq 15 @ 1.000 \text{ V}^*$	$\leq 50 @ 690 \text{ V}$	
Tipo de clasificación de carga según [2]	Resistiva	Resistiva	Motor de inducción
Presencia de sobreintensidad de conexión	No	No	Sí
Duración (años)	20	20	20
Número de operaciones mecánicas (u operaciones eléctricas de baja intensidad) con aislamiento eléctrico de las fuentes de tensión (mantenimiento o fuera de servicio)	100-1.000	< 1.000	< 1.000
Número de operaciones mecánicas de conexión/desconexión generador-red o de reconfiguración (u operaciones eléctricas de baja intensidad) con aislamiento eléctrico de las fuentes de tensión	No disponible (en general, el generador permanece conectado al accionamiento)	1.000 - 100.000 (según las estrategias de control)	No aplicable
Número de operaciones eléctricas	< 100 (disparos o paradas de emergencia)	< 100 (disparos o paradas de emergencia)	> 100 (disparos o paradas de emergencia)
Protección contra sobrecarga o cortocircuito	Sí	Sí	Sí
Solución óptima	Interruptor automático si se requiriera protección para cables de conexión o conmutador de inversor. Seccionador y sistema de protección externo, en su caso.	Interruptor automático si < 1 operación/día o interruptor automático más contactor si más de eso	Interruptor automático

* Dependiendo de la potencia y la configuración de la planta

Las mayores ventajas de esta nueva gama de interruptores automáticos para aplicaciones de frecuencia variable son: compatibilidad con todo tipo de generadores, incluso en condiciones de velocidad excesiva, gracias a la alta tensión nominal de los interruptores automáticos (hasta 1000 V); normalización del diseño de cuadros de distribución con independencia del mercado final; y optimización de la gestión de stocks gracias al marchio doble IEC/UL de los interruptores automáticos. Esta nueva familia de unidades de disparo, unida a sensores de corriente optimizados, asegura una protección de alta precisión para un margen de frecuencias amplio. La mejora de las cámaras de arcos y los contactos garantiza una elevada capacidad de interrupción en todo el margen de frecuencias con un tamaño igual al de los interruptores automáticos estándar.

El desarrollo de dispositivos de protección y conmutación continua, por ejemplo, para aprovechar las posibilidades de Internet y de la nube y optimizar a distancia el control de la energía eléctrica en cualquier momento y desde cualquier parte.

Este artículo se basa en el siguiente documento de IEEE: A. Fidigatti, P. Baroncelli, M. Carminati y E. Ragaini, "Selection of low voltage switching and protection devices in wind power generators", Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), © 2011 IEEE, Orlando, FL, 2011, pp. 1-5.

Antonio Fidigatti

Paolo Baroncelli

Marco Carminati

Enrico Ragaini

ABB Electrification Products

Bérgamo, Italia

antonio.fidigatti@it.abb.com

paolo.baroncelli@it.abb.com

marco.carminati@it.abb.com

enrico.ragaini@it.abb.com

Referencias

- [1] *Wind Power Plants, ABB Technical Application Paper No. 13*, document number 1SDC007112G0201 in the ABB Library.
- [2] *Low-voltage switchgear and control gear – Part 1: General rules*, IEC Standard 60947-1, 2014.



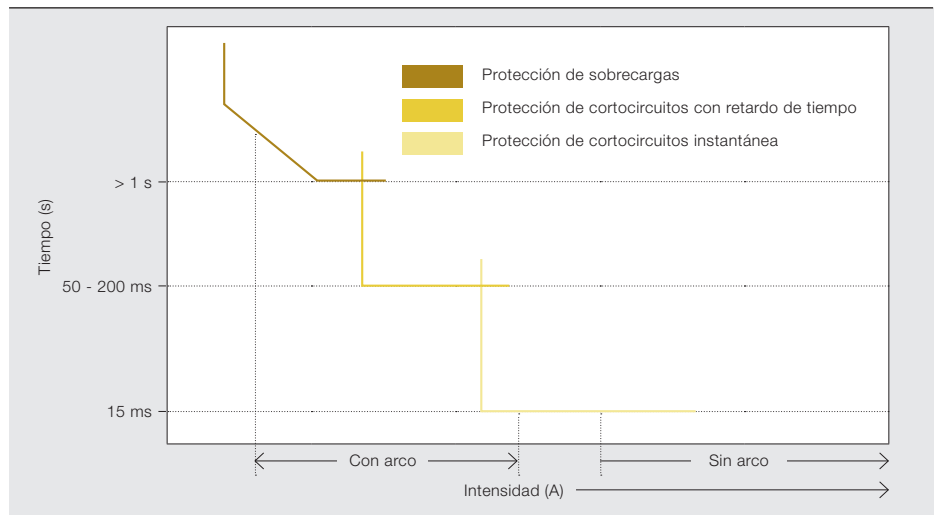
Guardián del arco

Las medidas de prevención de la descarga de arcos aumentan la seguridad

PAVLO TKACHENKO, ANDREAS VON LAKO – Una descarga de arco es uno de los incidentes más graves que pueden ocurrir en una instalación eléctrica. La temperatura de una descarga de arco llega hasta 20.000 °C y la energía y la metralla producidas en la explosión causan muertes, lesiones y daños graves. Las medidas normales contra cortocircuitos pueden ser demasiado lentas frente a episodios de arco como estos. ABB ha presentado una nueva versión de su probado sistema Arc Guard System™

de 110 a 240 V de CA/CC, que lleva más de 35 años protegiendo a las personas y a los equipos eléctricos frente a las peligrosas descargas de arco. Con el TVOC-2-48, el sistema Arc Guard System funciona ahora para equipos de 24 a 48 V de CC. Además de la protección de arcos de Arc Guard, las pruebas rigurosas ajustadas al informe técnico IEC 61641 garantizan aún mejor la seguridad de los armarios eléctricos de ABB sometidos a condiciones de formación de arcos internos.

1 Los métodos usuales de protección contra cortocircuitos son demasiado lentos para impedir los arcos



Aunque infrecuente, una descarga de arco es un suceso extremadamente grave e impresionante. La descarga de arco es el efecto del calor y la luz emitidos por un arco debido a una avería en un equipo eléctrico. La mayoría de las descargas de arco se deben a errores humanos: materiales conductores que se dejan inadvertidamente durante la fabricación, la instalación o el mantenimiento; fallos de los materiales o de la mano de obra; falta de aplicación de medidas que eviten la entrada de ratones, serpientes, etc.; montajes inadecuados para la aplicación que causan sobrecalentamiento y arcos; malas condiciones de trabajo; maniobras incorrectas; o falta de mantenimiento.

Imagen del título

El sistema Arc Guard System TVOC-2-48 de ABB amplía la protección frente a arcos a sistemas de 24 a 48 V CC. La seguridad de los armarios eléctricos se refuerza cumpliendo las directrices del informe técnico IEC 61641.

Un arco produce ruidos ensordecedores de más de 160 dB; el límite de la OSHA (Agencia de Salud y Seguridad en el Trabajo de EE.UU.) es de 115 dB durante un máximo de 15 minutos. El cobre se expande con un factor de 67.000:1 cuando pasa de sólido a vapor (el agua: 40.000:1) y el metal fundido y la metralla producidos por el arco pueden alcanzar velocidades de 1600 km/h. Se produce una intensa radiación de alta energía de hasta 20.000 °C que vaporiza los materiales cercanos. Esta radiación puede también ser absorbida por los objetos metálicos usados por las personas cercanas, que se calientan y provocan quemaduras graves.

Hasta un 65 por ciento de los incidentes de arco en la aparcamentada se producen cuando un operario está trabajando en los equipos.

Como los hospitales suelen clasificar las muertes y lesiones graves como debidas a quemaduras, es difícil hacer estadísticas de accidentes por descarga de arco. Pero un solo incidente de descarga de arco ya es excesivo.

En los incidentes que culminan en una descarga de arco, los métodos usuales de protección de cortocircuitos son insuficientes. Esto se debe a que el propio

arco se comporta como una resistencia que limita la sobrecorriente. En muchos casos, esto causará un retardo y hará que el disparo de la protección de la carga llegue demasiado tarde → 1.

Arc Guard

Hace mucho que ABB es consciente del riesgo de accidentes por formación de arcos y hace casi 40 años que desarrolló su sistema Arc Guard, un producto que reduce drásticamente los daños por formación de arco desconectando rápida-

Arc Guard utiliza sensores de luz que detectan el inicio de la descarga del arco y envían una señal por un cable de fibra óptica directamente al mecanismo de disparo del interruptor.

mente la aparcamentada tras un fallo de arco con ayuda del interruptor instalado. El último sistema de ABB, Arc Guard System TVOC-2-48, amplía el margen de aplicación del producto de 110 a 240 V de CA/CC a la gama de 24 a 48 V de CC.

Arc Guard emplea sensores de luz que detectan el inicio de la descarga del arco → 2. Una vez detectada, se envía una señal al mecanismo de disparo del interruptor. El tiempo total transcurrido desde la detección a la señal de disparo enviada es menor de 1 ms y, con un inte-



El nuevo sistema de ABB, Arc Guard System TVOC-2-48, amplía el margen de aplicación del producto de 110 a 240 V de CA/CC a la gama de 24 a 48 V de CC.

ruptor moderno, la secuencia completa de desconexión puede reducirse a menos de 50 ms.

Se utiliza la comunicación por fibra óptica, no sólo por su velocidad, sino también porque es inmune a las posibles EMI, especialmente en el caso de avería eléctrica. Esto significa también que se pueden actualizar los cables sin temor a interferencias o problemas de seguridad por conductividad eléctrica.

Se pueden conectar hasta 10 sensores de luz a un sistema Arc Guard System TVOC-2. Asimismo, pueden conectarse dos unidades de ampliación con otros 10 sensores cada una y las unidades TVOC-2 pueden compartir la corriente de detección de información. Los sensores se calibran para que presenten igual sensibilidad luminosa y su posición no es crítica, ya que sus lentes de ojo de pez cubren un ángulo muy abierto. Además, el sistema es muy fácil de instalar.

Para evitar falsos disparos debidos a flashes de cámaras o a la luz del sol, se puede combinar el monitor de arco con un sensor de corriente para que se active solo cuando se registre también una sobrecorriente.

El sistema Arc Guard mantiene la seguridad de las personas incluso cuando esté abierta la puerta del armario, y una clasificación de seguridad funcional SIL-2 hace del TVOC-2 uno de los productos de atenuación de arcos más fiables del mercado.

Como se reducen el coste por inmovilización y los daños, algunas aseguradoras recomiendan el uso de estos sistemas y los tienen en cuenta al fijar las primas del seguro. Asimismo, muchos países tienen leyes de protección contra accidentes por arco y disposiciones como la directiva de baja tensión de la

ABB reconoce desde hace mucho el riesgo de los accidentes por arco, y hace casi 40 años que desarrolló su Arc Guard System.

Unión Europea estipulan que hay que adoptar medidas de prevención de daños debidos, por ejemplo, al calentamiento excesivo ocasionado por descargas de arco.

System pro E power

La serie de normas IEC 61439 fija las reglas y los requisitos de interfaces, condiciones de servicio, construcción, prestaciones y verificación de aparataje de baja tensión y dispositivos de control. El objetivo principal de estas normas es el funcionamiento seguro en condiciones operativas normales y anormales, como sobretensiones, sobrecargas o corrientes de cortocircuito. Pero no se han

Se utiliza la comunicación por fibra óptica, no sólo por su velocidad, sino también porque es inmune a las posibles EMI, especialmente en el caso de avería eléctrica.

establecido requisitos sobre averías por arco en el interior del conjunto.

En vez de ello, los fabricantes buscan apoyo en el informe técnico 61641 de la IEC, cuyo título oficial es “Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault”. No es una norma sino un informe técnico y no se trata de una prueba obligatoria.

La solución para aparamenta System pro E power de ABB y el sistema Arc Guard System reducen al mínimo el riesgo de formación de arcos.

Los criterios que utiliza para evaluar la protección proporcionada por el conjunto son:

1. Durante un incidente de formación de arco, las puertas y tapas cerradas correctamente no se abren y permanecen en su lugar y proporcionan un nivel mínimo de protección que cumple los requisitos de IP1X de la IEC 60529. Este criterio minimiza el riesgo de lesiones graves en las personas por impacto de puertas, tapas, etc. y asegura un nivel mínimo de protección frente al contacto accidental con partes activas peligrosas.
2. No saldrá despedido ningún componente que tenga una masa de más de

60 g, excepto los que se desprendan y caigan entre el conjunto y los indicadores. Esto minimiza el peligro debido a la proyección de objetos.

3. El arco no produce perforaciones en las partes exteriores de la carcasa por debajo de 2 m, en los lados declarados accesibles, como consecuencia del fuego u otros efectos. Esto minimiza el peligro de lesiones graves por combustión directa desde el arco.
4. Los indicadores no entrarán en combustión (se excluyen de esta evaluación las pinturas o etiquetas de los indicadores).
5. El circuito de protección para la parte accesible de la carcasa sigue siendo efectivo según IEC 61439-2.
6. El montaje es capaz de mantener el arco dentro del área definida en que se inició, y no se produce propagación a otras áreas del montaje. Son aceptables los efectos producidos por gases calientes y formación de hollín en unidades cercanas distintas de la sometida a prueba, siempre que la limpieza sea la única reparación necesaria.
7. Tras la resolución de la avería, o tras el aislamiento o desmontaje de las unidades funcionales afectadas en la zona definida, es posible el funcionamiento en emergencia del resto del equipo. Esto se verificará mediante una prueba de dieléctrico según IEC 61439-2:2011, 10.9.2, pero con una tensión de ensayo 1,5 veces la tensión nominal durante 1 minuto. Se acepta la deformación de puertas y tapas de la unidad sometida a prueba y de las cercanas siempre que la unidad pueda repararse para que proporcione un nivel mínimo de protección según IPXXB de la IEC 60529. Excepto la zona probada

de acuerdo con lo declarado por el fabricante, todas las demás unidades deben permanecer totalmente operativas, tanto mecánica como eléctricamente, y continuar en el mismo estado que antes de la prueba.

Se consigue la protección personal cuando se cumplen los criterios 1 a 5 anteriores; se consigue la protección personal y del conjunto cuando se cumplen los criterios 1 a 6; y se consigue la protección personal y del conjunto con capacidad operativa limitada cuando se cumplen los criterios 1 a 7.

System pro E power es la solución de ABB para aparamenta de distribución principal. Con una intensidad nominal de hasta 6300 A y una corriente de cortocircuito de hasta 120 kA, el System pro E power cumple los requisitos de prueba del informe técnico IEC 61641. En la terminología oficial del informe técnico IEC 61641, el sistema System pro E power de ABB ofrece una clasificación de arco B: en las condiciones de formación de arcos, se cumplen los criterios 1 a 6. La incorporación del TVOC-2 Arc Guard permite cumplir todos los criterios, incluido el 7.

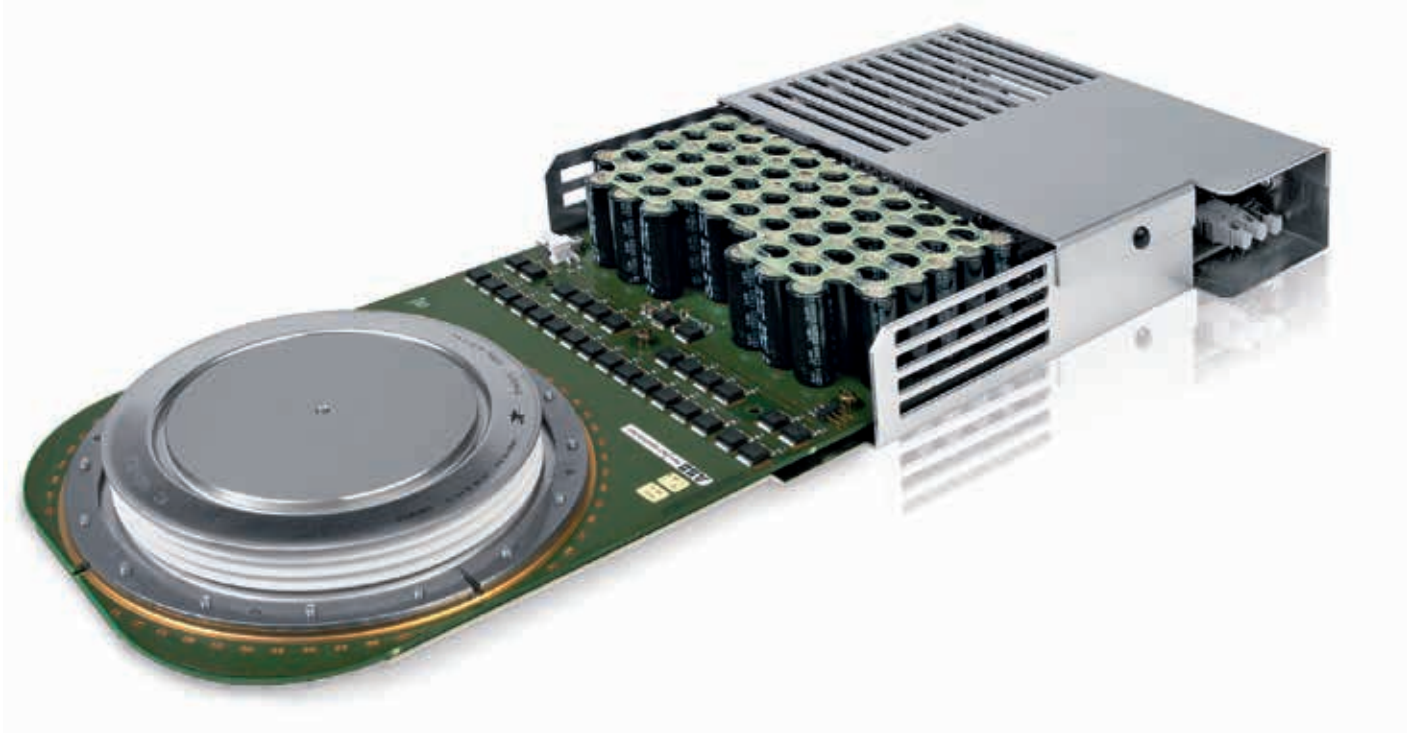
Las descargas de arco plantean un grave peligro para el personal y los equipos en instalaciones eléctricas. No obstante, utilizando una solución de aparamenta bien diseñada y probada, como System pro E power de ABB, y un producto de atenuación del arco rápido y eficaz tal como Arc Guard System, el peligro de la descarga del arco se reduce al mínimo.

Pavlo Tkachenko

ABB Electrification Products
Bérgamo, Italia
pavlo.tkachenko@it.abb.com

Andreas von Lako

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

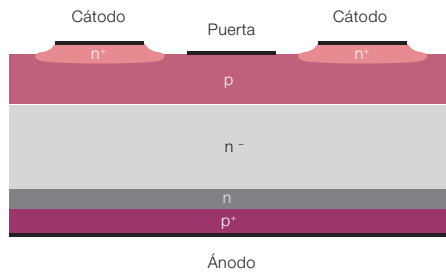


La conmutación se renueva

Avances recientes de las tecnologías de IGCT para la electrónica de alta potencia

UMAMAHESWARA VEMULAPATI, MUNAF RAHIMO, MARTIN ARNOLD, TOBIAS WIKSTRÖM, JAN VOBECKY, BJÖRN BACKLUND, THOMAS STIASNY – A mediados de los 90, ABB presentó un nuevo miembro de la familia de electrónica de potencia: el tiristor conmutado de puerta integrada (IGCT). Como el tiristor de apagado por puerta (GTO) del que deriva, el IGCT es un conmutador semiconductor totalmente controlable que admite las elevadas intensidades y tensiones propias de la electrónica de alta potencia. El IGCT supera al GTO en tiempo de apagado, tamaño, grado de integración, densidad de potencia, etc., y esta superioridad lo ha convertido en el dispositivo de elección para accionamientos industriales de media tensión (MVD). También ha encontrado hueco en otras muchas aplicaciones, como conversión de energía eólica, STATCOM e interconexiones. La tecnología IGCT ha realizado rápidos progresos a lo largo del último decenio.

1 Dispositivo IGCT



1a Corte esquemático de un IGCT asimétrico



1b Vista en planta de una oblea IGCT de 91 mm



1c La oblea IGCT en un paquete hermético con su unidad de puerta integrada

En muchos aspectos, un IGCT es similar a un GTO. Como el GTO, el IGCT es básicamente un interruptor que se enciende y se apaga con una señal de puerta. No obstante, los IGCT presentan ventajas sobre los GTO: soportan mayores velocidades de subida de tensión (por lo que no necesitan circuito amortiguador); las pérdidas de conducción son menores; los tiempos de apagado son más breves y controlables; el tamaño de la celda en la oblea de silicio es menor; y la conexión de puerta sólida utilizada en los IGCT genera una inductancia menor. Además, el circuito de accionamiento del IGCT se integra en el paquete [1] → 1.

En el último par de decenios, los IGCT aparecen por doquier en la electrónica de alta potencia y se encuentran ahora para valores de tensión que van desde 4,5 kV a 6,5 kV y en tres tipos principales: asimétrico, conducción inversa (RC-IGCT) y simétrico o de bloqueo inverso (RB-IGCT).

– Los IGCT asimétricos no pueden bloquear tensiones inversas de más de algunas decenas de voltios. En

consecuencia, se utilizan cuando no se vayan a producir esas tensiones –por ejemplo, en una fuente de alimentación conmutada– o se equipan con un diodo antiparalelo adecuado para conducir corrientes en el sentido inverso. Los IGCT asimétricos tienen el mayor nivel de potencia para un tamaño de la oblea dado.

- Los RC-IGCT tienen un diodo integrado en la misma oblea GCT para conducir corrientes en sentido inverso, pero utilizan un área de oblea que, de otra forma, se podría utilizar para la función de conmutación.
- Los IGCT simétricos pueden bloquear tensiones inversas, pero solo conducen corrientes en el sentido directo.

El diseño de encapsulado hermético del IGCT ha demostrado durante años la fiabilidad sobre el terreno de la protección del semiconductor de potencia y capacidad de ciclos de carga. Al estar formado por unas pocas capas de materiales bien diseñados no hay problemas de vacíos de soldadura o despegado de uniones, como pasa con otras tecnologías.

Tendencias de rendimiento de los IGCT

En los últimos diez años, la tecnología IGCT ha experimentado avances importantes, especialmente en la disminución de las pérdidas por conducción y el aumento

de la densidad de potencia → 2. Los aumentos de potencia son consecuencia de las menores pérdidas y/o las mayores temperaturas operativas, gracias sobre todo a la mayor área de funcionamiento seguro (SOA) del dispositivo, que permite una mayor intensidad de apagado. La potencia absoluta se ha incrementado aumentando el tamaño de la oblea desde 91 mm de diámetro hasta 150 mm y aplicando conceptos de integración que proporcionan una funcionalidad total con una sola oblea en vez de emplear dos dispositivos (IGCT y diodo).

Mayores márgenes: tecnología de alta potencia

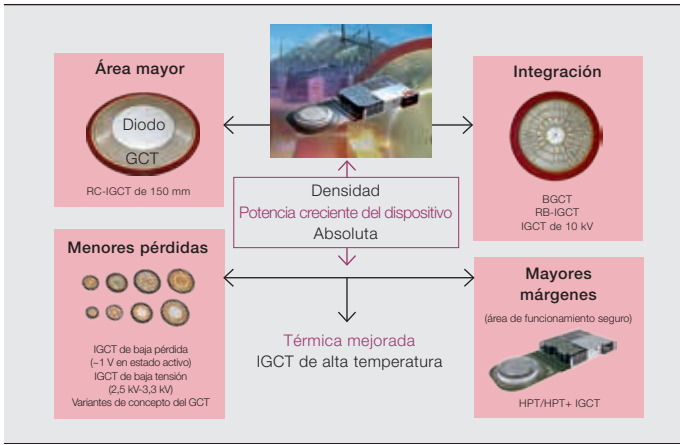
El principal factor limitador de los IGCT clásicos es la capacidad de intensidad de corriente de apagado máxima controlable, no las pérdidas o las limitaciones térmicas. Por lo tanto, la introducción de la plataforma de tecnología de alta potencia (HPT) [2] se ha recibido como un paso adelante en la mejora de las prestaciones de SOA de IGCT al tiempo que sirve de base para el desarrollo futuro.

Un HPT-IGCT proporciona un aumento de la intensidad máxima de apagado de hasta un 40 por ciento a 125 °C. Los HPT-IGCT incorporan un diseño avanzado con una base p corrugada –frente a la unión de base p uniforme estándar– que asegura un funcionamiento en avalancha dinámica uniforme con mayor homogeneidad en todo el diámetro de la oblea durante el apagado del dispositivo → 3. El HPT se ha probado en productos IGCT con tensiones nominales de hasta 6,5 kV. En las pruebas, los HPT-IGCT de 4,5 kV, 91 mm, han apagado intensidades de más de 5 kA y soportado condiciones extremas con una gran inductancia parásita.

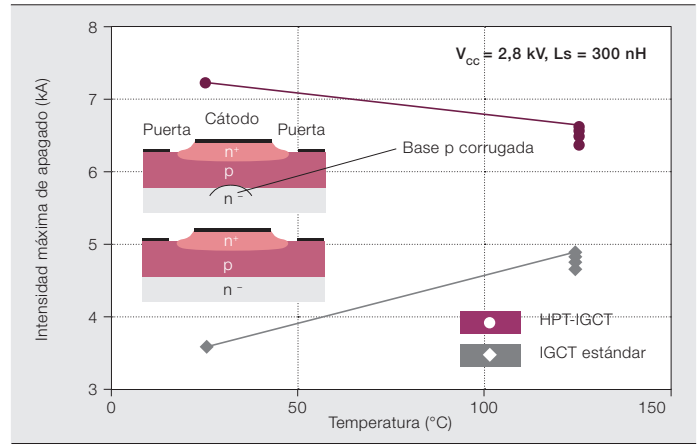
Imagen del título

La invención del IGCT ha cambiado las reglas de la electrónica de potencia. La figura ilustra un IGCT de ABB con unidad de puerta.

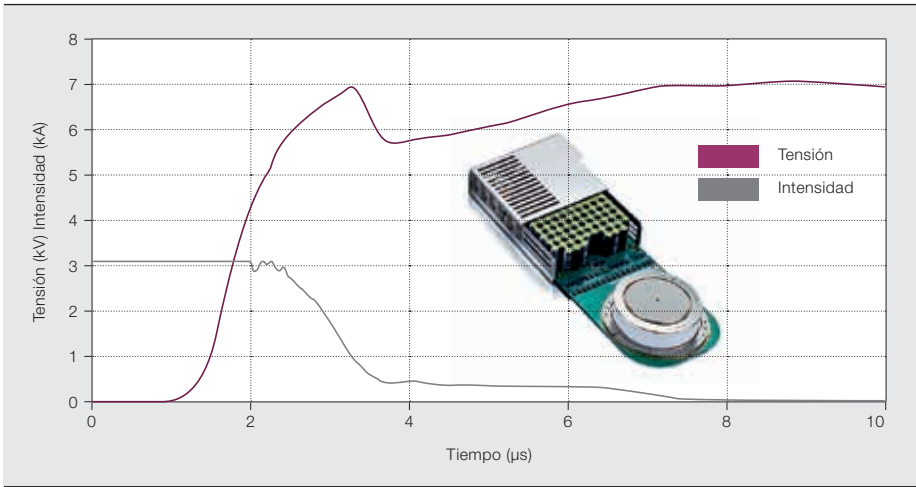
2 Líneas de desarrollo de IGCT para conseguir menores pérdidas y/o mayores capacidades de potencia



3 Resultados experimentales de la intensidad de apagado de HPT-IGCT máxima controlable frente a un IGCT estándar



4 IGCT de 91 mm, 10 kV y sus formas de onda de apagado a 3,3 kA, 5,5 kV y 125 °C



Integración: RB-IGCT

En ciertos casos –como con un interruptor de CC de estado sólido, en aplicaciones de CA o en inversores de fuente de corriente (CSI)– hace falta un dispositivo de conmutación simétrico con bloqueo. Aunque puede lograrse con un IGCT asimétrico conectado en serie con un diodo rápido, la solución preferida es un IGCT simétrico en una sola oblea. Como el rendimiento necesario y ciertos modos de funcionamiento son distintos que en otros IGCT, hay que optimizar el diseño del dispositivo para lograr el bloqueo inverso con pérdidas bajas y un comportamiento de conmutación sólido. Se han desarrollado RB-IGCT de 6,5 kV para aplicaciones CSI y de 2,5 kV para interruptores bidireccionales para CC. Se ha presentado un RB-IGCT de 2,5 kV, 91 mm, con una caída de tensión en estado de activado de solo 0,9 V para la intensidad nominal (1 kA) a 125 °C y una capacidad controlable máxima de corriente de apagado de hasta 6,8 kA a 1,6 kV, 125 °C [3].

Integración: valores nominales de alta tensión (10 kV IGCT)

Se podría hacer un inversor de tres niveles sin conexión en serie para tensiones de línea entre 6 y 6,9 kV si se dispusiera de IGCT con una tensión nominal entre 8,5 y 10 kV. Un dispositivo así tiene un diseño mecánico simple, menor complejidad de control y alta fiabilidad en comparación con la conexión en serie de dos dispositivos de 4,5 o 5,5 kV para tensiones de línea de 6 a 6,9 kV. Para demostrar la viabilidad de esta solución se han fabricado dispositivos para 10 kV con la plataforma HPT y se ha probado que el concepto funciona [4] → 4.

Mejores prestaciones térmicas: IGCT de alta temperatura (HPT+)

Una forma de aumentar la potencia de salida de un diseño de convertidor es aumentar la temperatura nominal del semiconductor de potencia empleado. En funcionamiento continuo, la capacidad del sistema de refrigeración puede limitar dicho aumento. Pero aumentar la

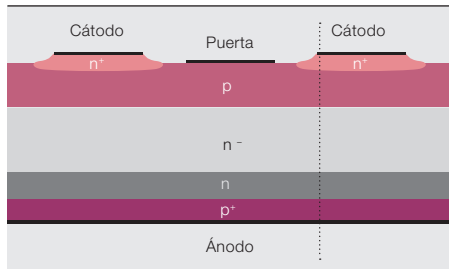
En los últimos diez años, la tecnología IGCT ha experimentado avances importantes, especialmente en la disminución de las pérdidas por conducción y el aumento de la densidad de potencia.

temperatura puede ser una opción válida en funcionamiento intermitente de alta potencia, y se puede lograr mejorando el HPT-IGCT. Por consiguiente, el perfil de dopado de una base p corrugada se ha optimizado para permitir un SOA completo para toda la gama de temperaturas hasta 140 °C. También se han mejorado las conexiones internas, como la metalización de la oblea, para aumentar la resistencia termomecánica al desgaste. Se ha iniciado la verificación de estas mejoras, y los primeros resultados parecen prometedores. Asimismo, la denominada tecnología HPT+ presenta una curva tecnológica claramente mejorada en comparación con la HPT-IGCT debido a su diseño optimizado de base p corrugada [5].

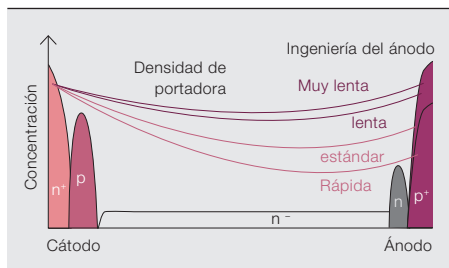
Pérdidas de conducción reducidas: hacia un IGCT de 3,3 kV, estado de activado de 1 V

En los últimos años se ha observado una tendencia clara a emplear topologías multinivel en muchas aplicaciones de electrónica de potencia. Estos produc-

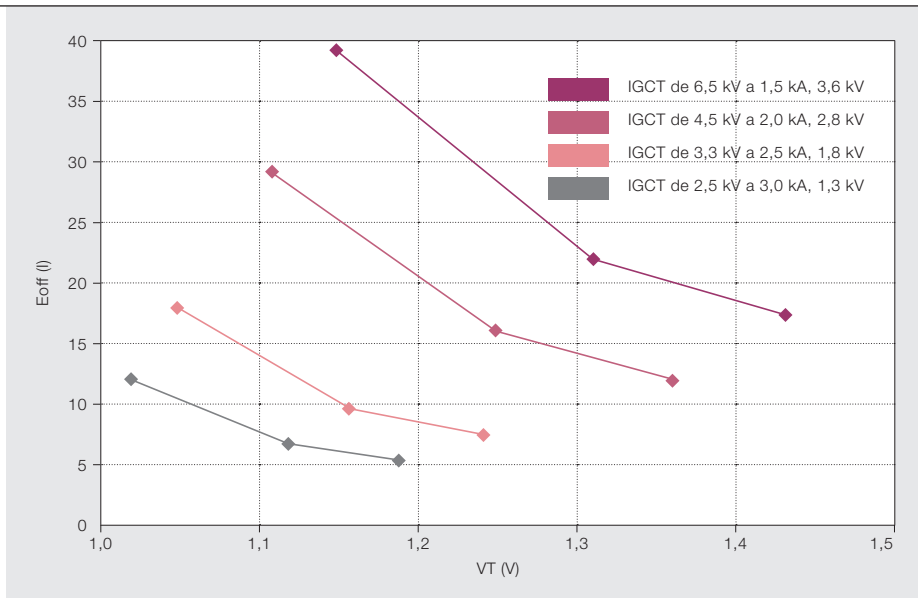
5 Ingeniería anódica del IGCT



5a Estructura del IGCT



5b Dopado del IGCT y perfiles de portadora del ánodo a lo largo de la sección a'-a



5c Curvas de tecnología de distintos IGCT de 91 mm de distintas clases de tensión a 125°C obtenidos con ingeniería de ánodos

Los aumentos de potencia son consecuencia de las menores pérdidas y/o las mayores temperaturas operativas, gracias sobre todo a la mayor SOA, que permite una mayor intensidad de apagado.

tos suelen trabajar con frecuencias de conmutación bastante bajas pero deben ser capaces de intensidades o rendimientos elevados. Por sus propiedades intrínsecas de tiristor de baja pérdida en conducción y función de conmutación dura, el IGCT está predestinado para estas aplicaciones. Por lo tanto, hay que continuar la optimización para lograr tensiones en estado activo muy bajas (~1 V) mediante ingeniería del ánodo y mantener el buen rendimiento general → 5.

Como en un sistema multinivel hay cierta libertad para elegir la tensión del dispositivo, se han llevado a cabo diversas simulaciones y experimentos para una amplia gama de clases de tensión a fin de determinar qué prestaciones se pueden conseguir [6]. Los resultados se resumen en → 5 y dan a los diseñadores de convertidores multinivel la posibilidad de ver cómo optimizar los sistemas con respecto al mínimo total de pérdidas de inversor para una topología y unos valores de tensión e intensidad dados.

Además, se han fabricado los primeros prototipos de RC-IGCT de 3,3 kV para verificar los resultados de la simulación. Se han realizado tres ensayos distintos de inyección del ánodo (A1, A2 y A3) para verificar la posibilidad de que los RC-IGCT de 3,3 kV logren pérdidas de conducción bajas a las mayores intensidades con pérdidas de conmutación razonables [7].

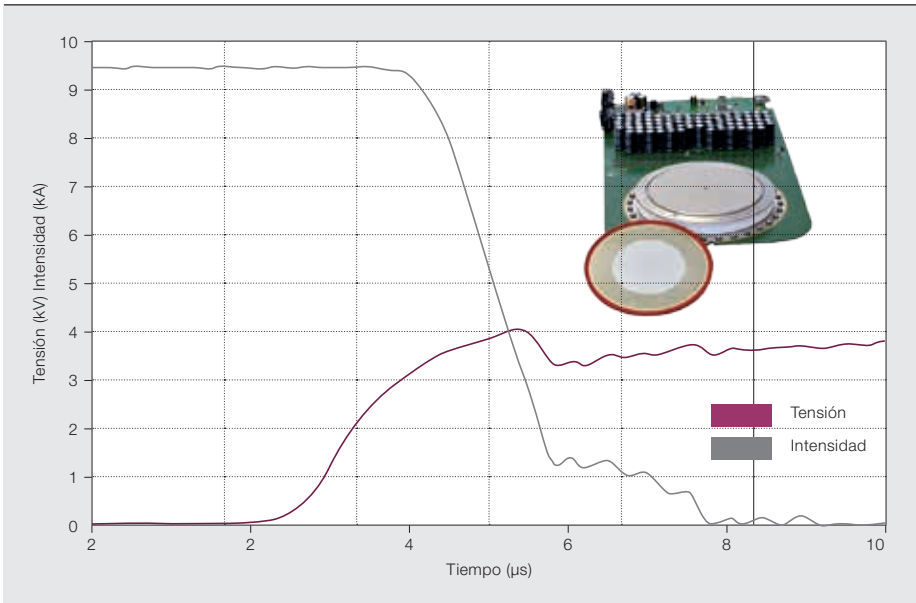
Área mayor: RC-IGCT de 150 mm

La búsqueda de potencias cada vez mayores obliga a utilizar diámetros de silicio mayores. Frente a la tecnología anterior, el HPT es más escalable y permite diseñar dispositivos de tamaño de oblea superior al estándar de 91 mm. Hace poco se han fabricado los primeros prototipos de RC-IGCT de 4,5 kV, 150 mm, basados en tecnología HPT+. Con estos dispositivos se podrán hacer inversores de tres niveles de hasta unos 20 MW sin necesidad de conexiones en serie o en paralelo de semiconductores de potencia [8] → 6.

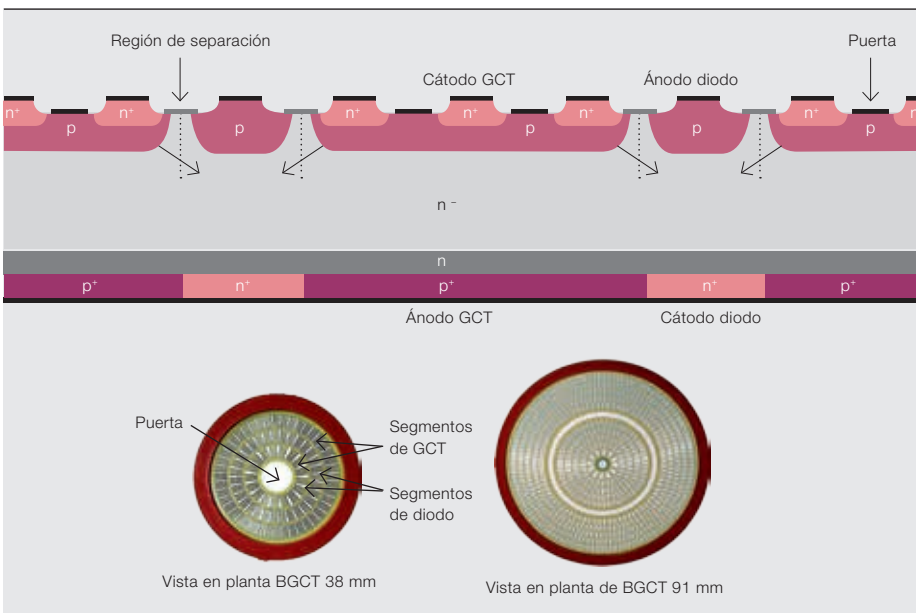
Tendencia futura: integración total con tiristor bimodal de puerta conmutada

El RC-IGCT convencional mejora la integración de componentes en términos de proceso y reducción de componentes del sistema, lo que también mejora la fiabilidad. Como ya se ha explicado, en un RC-IGCT el GCT y el diodo se integran en una sola oblea, pero están totalmente separados entre sí como se muestra en → 2. En consecuencia, la utilización en el RC-IGCT del área de silicio está limitada a la región GCT cuando se trabaja en modo GCT y a la región del diodo cuando se hace en el modo de diodo. Por lo tanto, se ha desarrollado un nuevo concepto de dispositivo totalmente integrado (integración interdigitada) que da lugar al tiristor bimodal de puerta conmutada (BGCT), que integra el IGCT y el diodo en una sola estructura con el mis-

6 RC-IGCT de 150 mm, 4,5 kV y formas de onda de apagado a 9,5 kA, 2,8 kV y 125 °C



7 Corte esquemático del BGCT y prototipos fabricados de 38 mm y 91 mm, 4,5 kV



mo volumen de silicio en los dos modos de GCT y diodo [9] → 7. Cada segmento se comporta como cátodo de GCT o como ánodo de diodo.

Esta integración interdigitada mejora el uso de las áreas de diodo y GCT y la distribución térmica, logra una recuperación inversa más suave y una corriente de pérdida menor que en los RC-IGCT clásicos. El concepto BGCT se ha demostrado experimentalmente con prototipos de 38 mm, 4,5 kV y de 91 mm, 4,5 kV [10], y los resultados confirman las posibles ventajas del BGCT sobre el RC-IGCT convencional.

Esta revisión de tecnologías IGCT recientes con prestaciones y funciones mejoradas da una idea de la prometedora tecnología IGCT. Los diseñadores de sistemas de electrónica de potencia se asoman a un futuro apasionante de nuevas mejoras, con la perspectiva de dispositivos con mayores temperaturas de trabajo, incluso con mejor bloqueo inverso y funciones de conducción inversa, menores pérdidas producidas por un estado activado de 1 V, una gama más amplia de tensiones y mayores áreas de 150 mm o más.

Umamaheswara Vemulapati

ABB Corporate Research
Baden-Dattwil, Suiza
umamaheswara.vemulapati@ch.abb.com

Munaf Rahimo

Tobias Wikström
Jan Vobecky
Björn Backlund
Thomas Stiasny
ABB Semiconductors
Lenzburg, Suiza
munaf.rahimo@ch.abb.com

tobias.wikstroem@ch.abb.com

jan.vobecky@ch.abb.com

bjoern.backlund@ch.abb.com

thomas.stiasny@ch.abb.com

Martin Arnold – antiguo empleado de ABB

Referencias

- [1] Klaka, S., *et al.*, "The Integrated Gate Commutated Thyristor: A new high efficiency, high power switch for series or snubberless operation," Proceedings PCIM Europe, Nürnberg, 1997.
- [2] Wikström, T., *et al.*, "The Corrugated P-Base IGCT – a New Benchmark for Large Area SQA Scaling," Proceedings ISPSD, Jeju, Korea, 2007, pp. 29–32.
- [3] Vemulapati, U., *et al.*, "Reverse blocking IGCT optimised for 1 kV DC bi-directional solid state circuit breaker," IET Power Electronics, Vol. 8, Issue. 12, 2015, pp. 2308–2314.
- [4] Nistor, I., *et al.*, "10 kV HPT IGCT rated at 3200A, a new milestone in high power semiconductors," Proceedings PCIM Europe, Stuttgart, Germany, 2010, pp. 467–471.
- [5] Arnold, M., *et al.*, "High temperature operation of HPT+ IGCTs," Proceedings PCIM Europe, Nürnberg, Germany, 2011.
- [6] Rahimo, M., *et al.*, "Optimization of High-Voltage IGCTs towards 1V On-State Losses," Proceedings PCIM Europe, Nürnberg, Germany, 2013, pp. 613–620.
- [7] Vemulapati, U., *et al.*, "3.3 kV RC-IGCTs optimized for multilevel topologies," Proceedings PCIM Europe, Nürnberg, Germany, 2014, pp. 362–69.
- [8] Wikström, T., *et al.*, "The 150 mm RC IGCT: a device for the highest power requirements," Proceedings ISPSD, Waikoloa, HI, 2014, pp. 91–94.
- [9] Vemulapati, *et al.*, "The concept of Bi-mode Gate-Commutated Thyristor – a new type of reverse-conducting IGCT," Proceedings ISPSD, Bruges, 2012, pp. 29–32.
- [10] Stiasny, T., *et al.*, "Experimental results of a large area (91 mm) 4.5 kV 'Bi-mode Gate Commutated Thyristor' (BGCT)," Proc. PCIM Europe, Nürnberg, Germany, 2016.



Grid4EU

Los cimientos para el desarrollo de las redes eléctricas del futuro

GUNNAR BJÖRKMAN, PETER NOGLIK, ERIK HAMRIN, JIRI NEDOMLEL – Grid4EU fue un proyecto innovador de redes inteligentes propuesto por un grupo de seis operadores de sistemas de distribución (DSO) europeos y ejecutado en estrecha colaboración con minoristas, fabricantes y organizaciones de investigación en el campo de la electricidad.

En marcha desde noviembre de 2011 hasta enero de 2016, el proyecto adoptó un método sistemático para probar, a tamaño real, algunos conceptos y tecnologías innovadores. Su finalidad era señalar y ayudar a superar algunas de las barreras técnicas, económicas, sociales, ambientales y normativas que dificultan el despliegue de redes inteligentes.



La penetración creciente de las energías renovables en la red de distribución de Europa durante las últimas décadas dificulta cada vez más el mantenimiento de la estabilidad y la fiabilidad de la red. La Comisión Europea (CE) tiene el objetivo para 2030 de satisfacer con renovables al menos el 40 por ciento de la demanda continental de electricidad. Para conseguir esa meta ambiciosa, los DSO deberán hacer cambios importantes en la forma de gestionar sus redes.

Consciente de esto, la CE reunió a seis DSO importantes junto a 21 firmas especializadas en tecnología y socios académicos bajo la cobertura del proyecto Grid4EU. Ha sido el mayor proyecto de red inteligente financiado por la CE hasta hoy, y ABB ha desempeñado un papel importante como proveedor de equipos y desarrollador de sistemas. Grid4EU es la abreviatura de “demostración a gran

escala de soluciones avanzadas de redes inteligentes con un amplio potencial de replicabilidad y escalabilidad” y su objetivo final era probar el potencial de las redes inteligentes en Europa y sentar las bases para el desarrollo a gran escala de la tecnología correspondiente.

Durante el proyecto, cada uno de los seis DSO trabajó con asociados para evaluar el comportamiento en la práctica de distintas tecnologías de redes inteligentes en una diversidad de climas, topologías de red, densidades de población y condiciones legales, y también de aspectos como la capacidad de ampliación y duplicación y la rentabilidad.

El proyecto adoptó un método sistémico para probar, en la práctica y a tamaño real, cómo pueden los DSO controlar dinámicamente la oferta y la demanda de electricidad. Este control es crucial para la integración de grandes cantidades de energías renovables y permite que los consumidores se conviertan en participantes activos en sus elecciones energéticas. En último término, las soluciones probadas deben aumentar el rendimiento, la fiabilidad, la flexibilidad y la resistencia de las redes → 1.

Se estructuró el proyecto para tener en cuenta las limitaciones siguientes:

- Redes formadas por activos y equipos de larga duración que no pueden desmontarse o actualizarse fácilmente.
- En Europa, los contextos técnico, económico, social y legal para las redes de distribución varían mucho de un país a otro.

La CE reunió a seis DSO junto a 21 firmas de tecnología y socios académicos bajo la cobertura del proyecto Grid4EU.

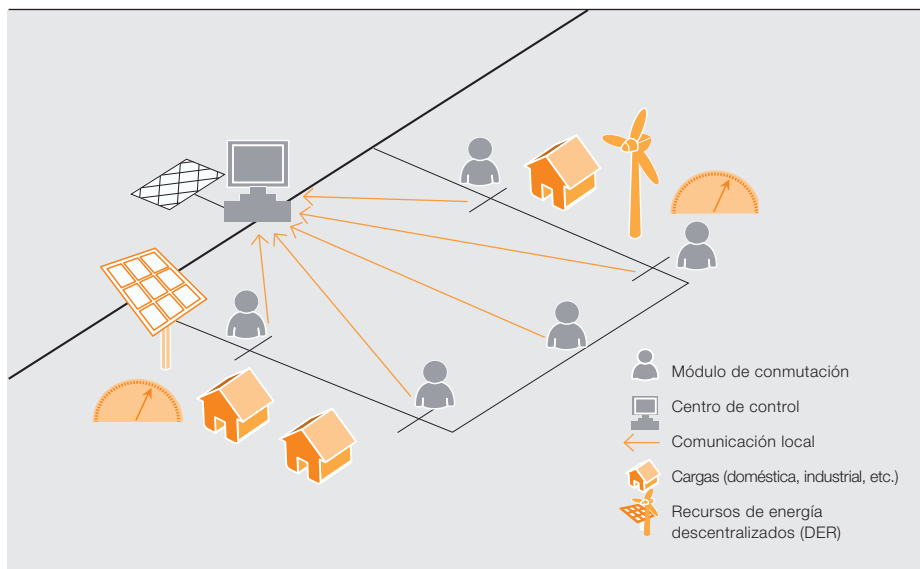
A continuación se presenta una descripción técnica de los tres demostradores en que ha participado ABB. Además, se acometieron otros tres demostradores bajo la dirección de Iberdrola, ENEL y ERDF en los que se incorporaron otros aspectos tecnológicos. Además, el proyecto incluía varios paquetes de trabajo general para investigar aspectos como escalabilidad, replicabilidad y rentabilidad. Para más información y detalles de las demostraciones de ABB y de los paquetes de trabajos generales, puede consultar el sitio de Internet Grid4EU (www.grid4eu.eu) y el Informe Final de Grid4EU.

Imagen del título

El proyecto Grid4EU ayudó a que los participantes conocieran mejor las dificultades asociadas con la evolución futura de la red eléctrica europea.

El proyecto adoptó un método sistémico para probar, en la práctica y a tamaño real, cómo pueden los operadores del sistema controlar dinámicamente la oferta y la demanda de electricidad.

2 Topografía del proyecto



Demostrador 1

El demostrador 1 parte del supuesto de que al aumentar la automatización en la red de media tensión (MT), ésta podría reconfigurarse a sí misma para optimizar las operaciones.

El Demostrador 1 fue dirigido por RWE Deutschland AG con la ayuda de ABB y de la Universidad Técnica de Dortmund (TU Dortmund). Los objetivos eran:

- Mejorar la automatización de la red de MT y permitir al mismo tiempo el crecimiento de los recursos de energía distribuida (DER).
- Mejorar la fiabilidad de la red mediante la recuperación más rápida de los cortes evitando al mismo tiempo las sobrecargas y manteniendo la estabilidad de la tensión.
- Reducir las pérdidas en la red

El Demostrador 1 se situó en Reken, una pequeña ciudad de Renania del Norte-Westfalia seleccionada porque la generación renovable supera la carga máxima en cerca de un 20 por ciento y se prevé que continúe creciendo. Asimismo, había muy poca supervisión o automatización instalada. Esto hacía de Reken un escenario típico para los problemas abordados por muchos operadores de red de Europa.

La idea básica del proyecto era ampliar el nivel de automatización de las redes de MT basándose en un sistema multimódulos (MMS) que actuara de forma autónoma. En este esquema, los módulos descentralizados proporcionan valores

medidos y una predicción de la situación de carga para las siguientes (pocas) horas. Algunos de estos módulos están equipados con apartamentas. El módulo central, en subestaciones primarias, recoge todos los datos necesarios y genera acciones de conmutación para mover el punto de seccionamiento a fin de cumplir los objetivos. La posibilidad de conmutación autónoma permite la reconfiguración dinámica de la topología, que es un nuevo concepto de explotación → 2.

En esta demostración, ABB era responsable de desarrollar los equipos secundarios y proporcionar comunicaciones seguras. Como componente básico se utilizó la familia de unidades terminales remotas (RTU) RTU540 apoyada por las unidades de medición 560CVD11 y 560CVD03 → 3.

Estos módulos se incorporaron a varios tipos de subestación secundaria, empezando por una nueva estación compacta sobre una estación visitable con armarios especiales que contienen la apartamenta → 4. El correspondiente centro de control ligero, en las subestaciones primarias, está formado por cinco RTU560CMU05 en configuración de rack.

El software para el MMS lo creó la TU Dortmund con el apoyo de ABB. Para maximizar la flexibilidad todo el software se programó con un controlador lógico programable (PLC). Un aspecto importante del desarrollo era que había que probar la funcionalidad antes de llevar a cabo las pruebas sobre el terreno. Por lo



Los primeros resultados mostraron que el MMS puede demorar la ampliación de la red de Reken de tres a cuatro años como mínimo y reducir las pérdidas en un 28 por ciento.

tanto, se estableció una simulación de hardware en bucle con el mismo número de módulos reales conectados a una simulación de la red completa.

Los primeros resultados mostraron que el MMS puede demorar la ampliación de la red de Reken de tres a cuatro años como mínimo y reducir las pérdidas en un 28 por ciento. Gracias a estos resultados positivos, RWE está considerando una segunda instalación del MMS.

Demostrador 2

El objetivo principal del Demostrador 2, dirigido por Vattenfall, era mejorar el control de una red de baja tensión (BT). Para ello, la solución emplea la Plataforma MicroSCADA de ABB con el ABB DMS600 y el ABB SYS600 Historian. Este conjunto de software recoge y presenta datos de las RTU situadas en subestaciones secundarias y de dispositivos de medida inteligentes en las instalaciones de los clientes.

Combinando esta información, el sistema aporta funciones como informes sobre la calidad de la energía eléctrica, detección de cortes de suministro y evaluación de pérdidas, tanto técnicas como no técnicas. El sistema permite también incluir en el DMS600 notificaciones de mediciones del cliente; de este modo, los operadores obtienen información instantánea de incidentes en el emplazamiento del cliente. Las RTU se comunican con módems GPRS incorporados y utilizan el protocolo IEC 60870-5-104 para enviar datos al centro de control.

Durante la demostración, se remodelaron más de 100 estaciones con los armarios de RTU de ABB. Se han proyectado para que sean resistentes, baratos y de fácil instalación. En este contexto, “fácil” significa que se construye un tipo de armario para que se adapte a distintos tipos de subestaciones. Se diseñó especialmente una gama de armarios compactos de RTU como parte del proyecto.

Para un operador que controle redes de BT, es importante que toda la información presentada tenga sentido y sea fácil de captar. En el Demostrador 2, los operadores del DSO se implicaron en el proceso de identificación de la función que tuviera el mayor interés para ellos → 5. Entre estas funciones, es notable la de detección de cortes de suministro que proporciona datos sobre el estado de estaciones, grupos e incluso fases individuales de los grupos de una subestación → 6. También se entrega una función para comparar la energía facturada y la suministrada y una estructura básica para la evaluación de datos de calidad de la energía.

Con el Demostrador 2, los participantes demostraron que es posible desarrollar y entregar herramientas rentables para el control de redes de BT. Los análisis de rentabilidad realizados por el DSO muestran que el sistema ayuda activamente a reducir entre el 5 y el 12 por ciento los valores del índice de duración media de las interrupciones del sistema (SAIDI).



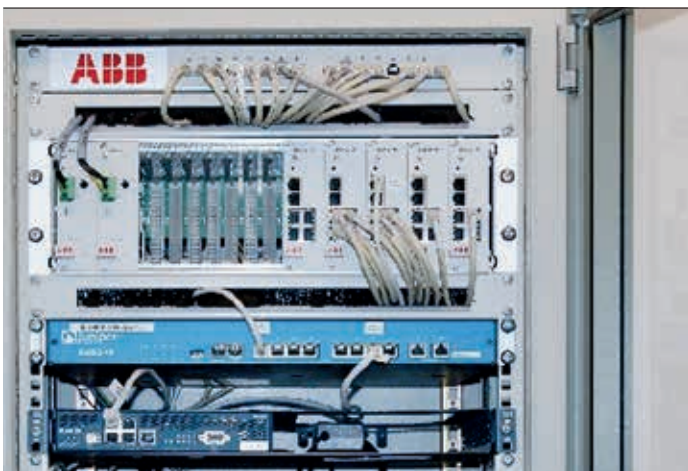
4a Nueva subestación compacta inteligente



4b Solución con armario especial con nueva aparatama e "inteligencia" añadida a la subestación existente



4c Sustitución de aparatama existente en una subestación visitable



4d RTU principal en la subestación primaria

Con el Demostrador 2, los participantes demostraron que es posible desarrollar y entregar herramientas rentables para el control de redes de BT.

Los resultados obtenidos en el Demostrador 2 formarán la base para la participación de ABB en el próximo proyecto de red inteligente, Upgrid, y contribuirá a la cartera de automatización de redes de ABB en Suecia.

Demostrador 5

El demostrador 5, dirigido por CEZ Distribuce de la República Checa, se diseñó e implantó para demostrar la gestión del "funcionamiento en isla", la medición de la calidad de la energía y los fallos en las redes de MT y BT. El demostrador 5 examinó asimismo la influencia de la carga de vehículos eléctricos en una red de distribución. Esto se hizo principalmente instalando dispositivos controlados a distancia, introduciendo infraestructura de comunicación rápida y modificando el sistema SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) para apoyar el funcionamiento automático. El equilibrio entre la alimentación y el consumo de energía durante el funcionamiento en isla

y el paso de/a dicho funcionamiento se llevó a cabo con un sistema automático.

La gestión automatizada de fallos de MT minimiza el impacto sobre los clientes con nuevos equipos instalados en transformadores de distribución (DT), en particular seis unidades en Vrchlaf equipadas con interruptores automáticos, RTU e IED (puntos de desconexión). Otros DT de "no desconexión" están equipados con seccionadores de carga, RTU e indicadores de fallo de corriente en los alimentadores de salida de MT. El nivel de automatización en MT requería la implantación de rutas y lógica de comunicaciones en la SCADA local. En total, 27 DT nuevamente reconstruidos se equiparon con componentes que habilitan las funciones de la Demostración 5.

Las funciones incorporadas reducen al mínimo el número de clientes afectados por los fallos. En teoría, las nuevas funciones eliminarán por completo los cor-

5 La interfaz de eventos permite recorrer las alarmas de medidas y clasificar eventos

Code	LV customer code	LV network	State	Time Stamp
UPF73599115013691847	2259932	<S5000075	Meter down	2015-11-09 21:46:4
UPF73599115014105909	72493181	<S5000085	Meter down	2015-11-09 21:55:3
UPF73599114971957874	70303073	<S5000014	Meter down	2015-11-09 22:01:2
UPF73599114971958475	70303073	<S5000014	Meter down	2015-11-09 22:04:3
UPF73599115013649844	72494950	<S5000010	Overcurrent phase 1	2015-11-09 22:12:0
UPF73599114971888959	72494959	<S5000038	Overcurrent phase 2	2015-11-09 22:33:0
UPF73599114971957981	70303073	<S5000014	Meter down	2015-11-09 22:36:3
UPF73599115014105145	72501750	<S5000017	Meter down	2015-11-09 22:36:3
UPF73599114971910985	72228362	<S5000010	Overcurrent phase 1	2015-11-09 22:40:2
UPF73599115013399999	72497238	<S5000032	Overcurrent phase 1	2015-11-09 22:45:2
UPF73599115013660315	72494073	<S5000073	Overcurrent phase 3	2015-11-09 23:15:3
UPF73599114972173625	75634105	<S5000038	Overcurrent phase 3	2015-11-09 23:24:2
UPF73599115013580175	22711018	<S5000064	Meter down	2015-11-09 23:50:1
UPF73599115014236457	22711018	<S5000064	Meter down	2015-11-09 23:51:5
UPF73599115013660802	72493969	<S5000073	Overcurrent phase 3	2015-11-09 23:58:11
UPF73599114972141900	74819495	<S5000058	Meter down	2015-11-09 23:58:4
UPF73599114971958452	70303073	<S5000014	Meter down	2015-11-10 00:00:3
UPF73599115014127237	72493156	<S5000017	Overcurrent phase 2	2015-11-10 00:14:4
UPF73599115014130695	72493154	<S5000015	Overcurrent phase 3	2015-11-10 00:21:2
UPF73599115013777005	72504450	<S5000013	Device tampering	2015-11-10 00:25:11
UPF73599115013992215	72496006	<S5000132	Overcurrent phase 1	2015-11-10 00:29:4
UPF73599114971864090	71704430	<S5000075	Meter down	2015-11-10 00:39:5
UPF73599115013880629	22809309	<S5000070	Phase loss phase 2	2015-11-10 02:33:4
UPF73599114972141900	74819495	<S5000058	Meter down	2015-11-10 02:53:9
UPF73599114972141909	74819495	<S5000058	Meter down	2015-11-10 04:02:5

tes de suministro y reducirán sustancialmente el tiempo de localización y aislamiento de averías. La reducción del tiempo de localización y aislamiento de averías, según las pruebas de simulación basadas en 18 meses de datos de fallos, llegó al 85 por ciento.

La función de “puesta en isla” se seleccionó como solución para zonas proclives a fallos como consecuencia de condiciones climáticas o geográficas. Se comprobó la “puesta en isla” en el nivel de 10 kV y, tras la unificación de la red, también en la red de MT de 35 kV en la zona urbana de Vrchlaf. El suministro de electricidad durante el “funcionamiento en isla” se encomendó a una unidad CHP (calor y electricidad combinadas) de 1,56 MW de capacidad instalada dentro del área de la “isla”. El objetivo de la “puesta en isla” era probar la capacidad de una red predefinida para desconectarse de la red de MT circundante en el caso de fallo en el nivel de tensión más alto y para mantener un funcionamiento equilibrado en la “isla”. Las condiciones para un “funcionamiento en isla” correcto son: conexión de una generación de capacidad suficiente, adaptación de ajustes de protección, existencia de una infraestructura de comunicaciones y despliegue de equipos de automatización. Los equipos deben poder acometer tres tareas:

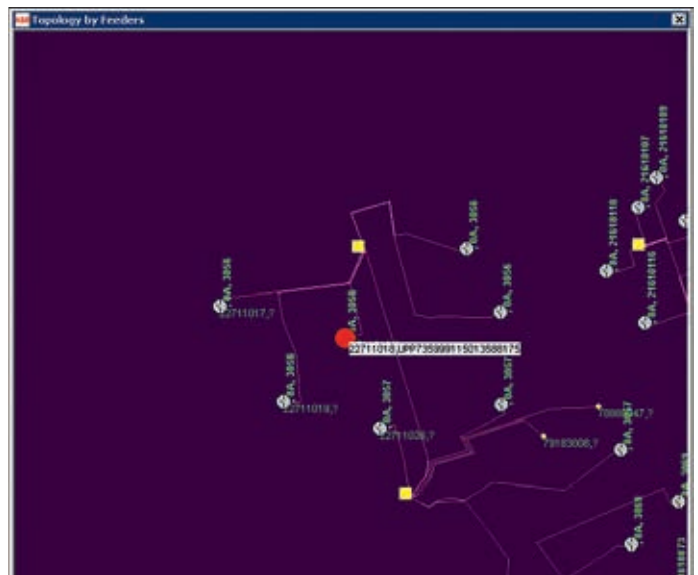
- Desconectar el área predefinida (isla)
- Equilibrar la producción y el consumo de energía en la “isla” durante el fallo.
- Volver a conectar el área aislada a la red de MT normal.

Se comprobó con éxito el “funcionamiento en isla” mediante dos pruebas funcionales, la primera de ellas en junio de 2014 en el nivel de tensión de 10 kV y la segunda en junio de 2015 en el nivel de tensión de 35 kV (tras la reconstrucción de la red y la unificación de tensiones en Vrchlaf).

El proyecto Grid4EU ha demostrado en instalaciones reales que la tecnología de redes inteligentes está disponible y puede funcionar con muchas redes y condiciones climáticas distintas en toda Europa. Además, el proyecto no solo se centró en nuevas funciones de redes inteligentes, sino también en el despliegue a mayor escala. Pero el proyecto ha mostrado también que siguen sin resolverse muchas dificultades de escalabilidad, replicabilidad y rentabilidad. En la discusión en el acto final celebrado en París de enero de 2016, los directores generales de los DSO participantes declararon que “es el momento de ser valientes e invertir en la red inteligente. Las mayores dificultades que se nos presentan son las económicas y la actitud del personal implicado. Pero superaremos estas dificultades y las inversiones deben empezar y empezarán.”

El trabajo se caracterizó por una cooperación muy buena entre los DSO y los otros participantes. Este podría haber sido uno de los objetivos de la CE cuando inició Grid4EU. Para ABB, las inversiones efectuadas en el dominio de las redes inteligentes y las relaciones esta-

6 Vista por DMS600 de equipos de medida individuales del cliente, con un evento indicado por un punto rojo



blecidas dentro del proyecto aportarán mayores volúmenes de negocio. ABB ha obtenido ya pedidos directamente relacionados con su participación en el proyecto.

Este trabajo está cofinanciado por la Comisión Europea dentro del 7º Programa Marco (PM7) dentro del proyecto Grid4EU (acuerdo de subvención No ENER/FP7/268206).

Gunnar Björkman

Antiguo empleado de ABB y coordinador de ABB en Grid4EU

Peter Noglik

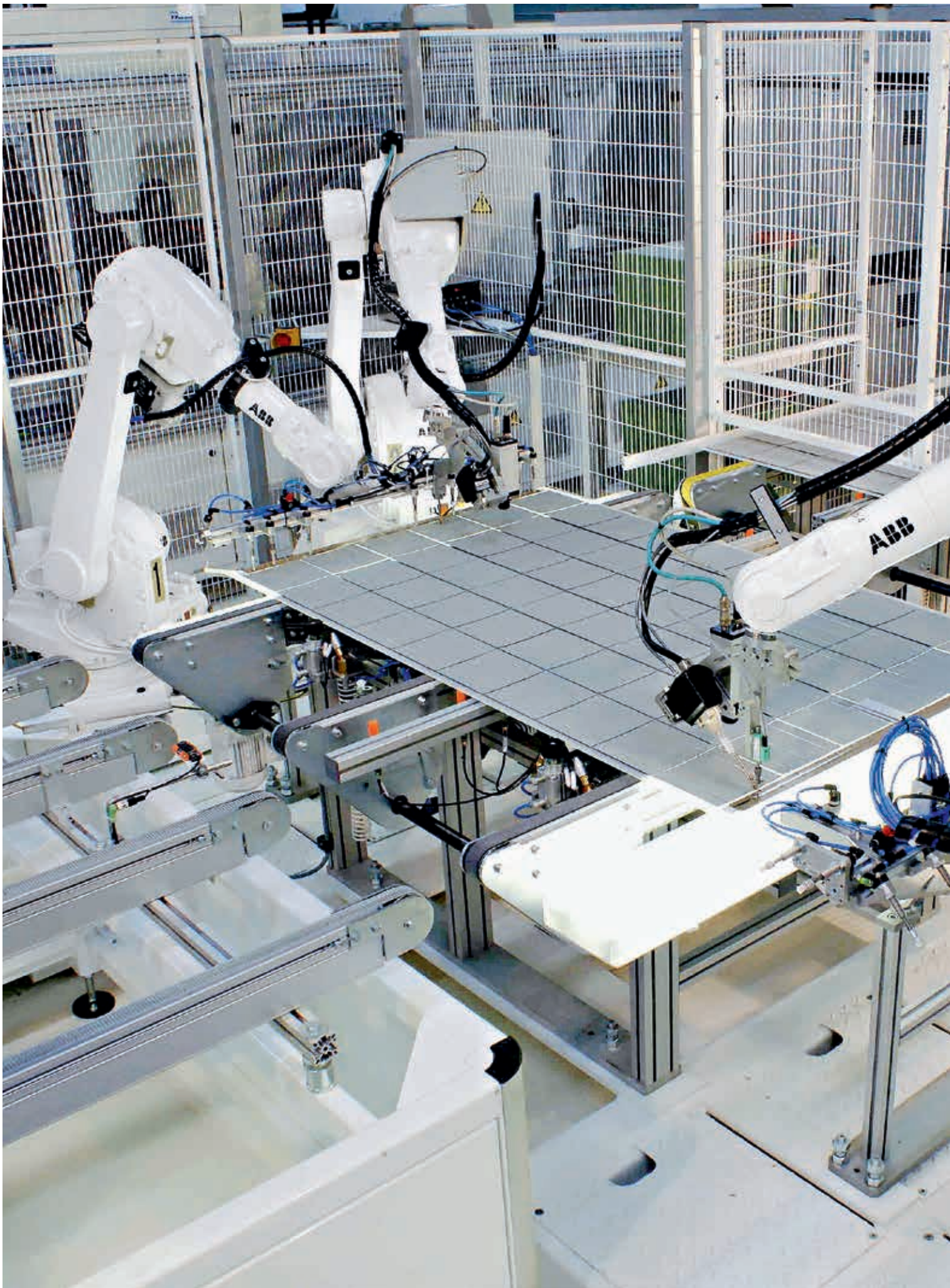
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania
peter.noglik@de.abb.com

Erik Hamrin

ABB Grid Automation
Västerås, Suecia
erik.hamrin@se.abb.com

Jiri Nedomlel

ABB Grid Automation
Trutnov, República Checa
jiri.nedomlel@cz.abb.com





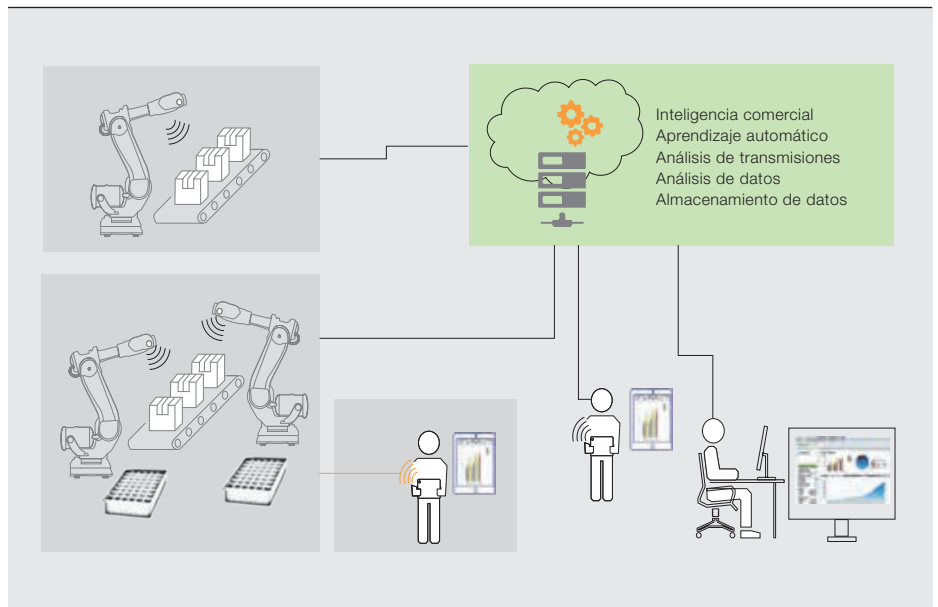
Robótica en la nube

Los robots inteligentes aprovechan el Internet de las cosas, los servicios y las personas desde la periferia hasta la nube

HONGYU PEI-BREIVOLD, KRISTIAN SANDSTRÖM, LARISA RIZVANOVIC, MARKO LEHTOLA, SAAD AZHAR, ROGER KULLÄNG, MAGNUS LARSSON – Pocos dudan de que, en un futuro próximo, la robótica cambiará fundamentalmente los sistemas de producción e incrementará enormemente su nivel de automatización. Para materializar esta transformación, debe reducirse mucho el esfuerzo humano necesario para configurar tareas automáticas. En otras palabras: los robots tendrán que aprender a resolver los problemas y adaptarse a entornos dinámicos. Este gran avance puede realizarse explotando el Internet de las cosas, los servicios y las personas (IoTSP, por sus siglas en inglés). El IoTSP facilita la creación de tecnologías y modelos de negocio novedosos que convierten en realidad la propagación de datos a gran escala, el análisis de corrientes y el aprendizaje automático.

Imagen del título

El IoTSP permitirá usar los robots para una variedad de tareas mucho más amplia.



Según las previsiones, el uso de la robótica en los ámbitos de fabricación y automatización aumentará sustancialmente en un futuro próximo y este crecimiento impulsará la expansión del mercado de los robots industriales [1]. Estas expectativas indican que los robots industriales podrán utilizarse en muchos más escenarios de automatización.

En la actualidad, los robots industriales repiten incansablemente tareas complejas con una precisión elevada: soldadura, pintura, producción de automóviles y determinados tipos de montaje. Pero hay muchos otros escenarios de fabricación o montaje que podrían beneficiarse de la automatización robótica y que resultan difíciles de automatizar. Esto puede deberse, por ejemplo, a que las tiradas de producción son cortas o a que los entornos no están bien controlados. En muchos de estos casos, los humanos desempeñan ahora un papel importante. Para que el uso de robots se extienda a estos escenarios, los robots tienen que ser más flexibles, fáciles de programar y autónomos. Además, los robots tienen que usar de un modo más inteligente la información facilitada por los humanos y por el entorno, y transmitir información a los humanos de una forma más inteligente. Pueden hacerlo analizando infor-

mación conocida, extrayendo conocimientos de ella y poniendo esos conocimientos al alcance de no expertos.

Importancia del IoT y las tecnologías basadas en la nube

Con el Internet de las cosas (IoT) y las tecnologías basadas en la nube ya es posible trasladar grandes cantidades de datos de sensores y otra información de dispositivos a centros de datos. En el centro de datos, se puede aplicar el análisis de corrientes para procesar la información del dispositivo en tiempo real con fines de filtrado, selección y agrupación.

La información procesada puede remitirse a distintos servicios basados en la nube, como herramientas de inteligencia comercial (BI), que convierten los datos brutos en tablas y gráficos y ofrecen información instantánea sobre situaciones de producción. La información también puede ser utilizada por paquetes de aprendizaje automático para realizar predicciones, para la optimización de procesos o el mantenimiento predictivo, por ejemplo. Muchos de estos servicios rentables y ampliables que pueden analizar grandes cantidades de datos en centros de datos ya están disponibles.

Por supuesto, es esencial que este análisis se realice de una forma segura y garantizando la integridad de los datos. Además, también deben mantenerse elevados niveles de fiabilidad y disponibilidad.

Incrementando las capacidades del robot con tecnologías de nube y el IoT y la ubicación de la mayor parte del almacenamiento, el análisis y la computación a gran escala en centros de datos, es muy probable cumplir los requisitos futuros de inteligencia robótica sin incremento del coste ni del tamaño físico de los controladores.

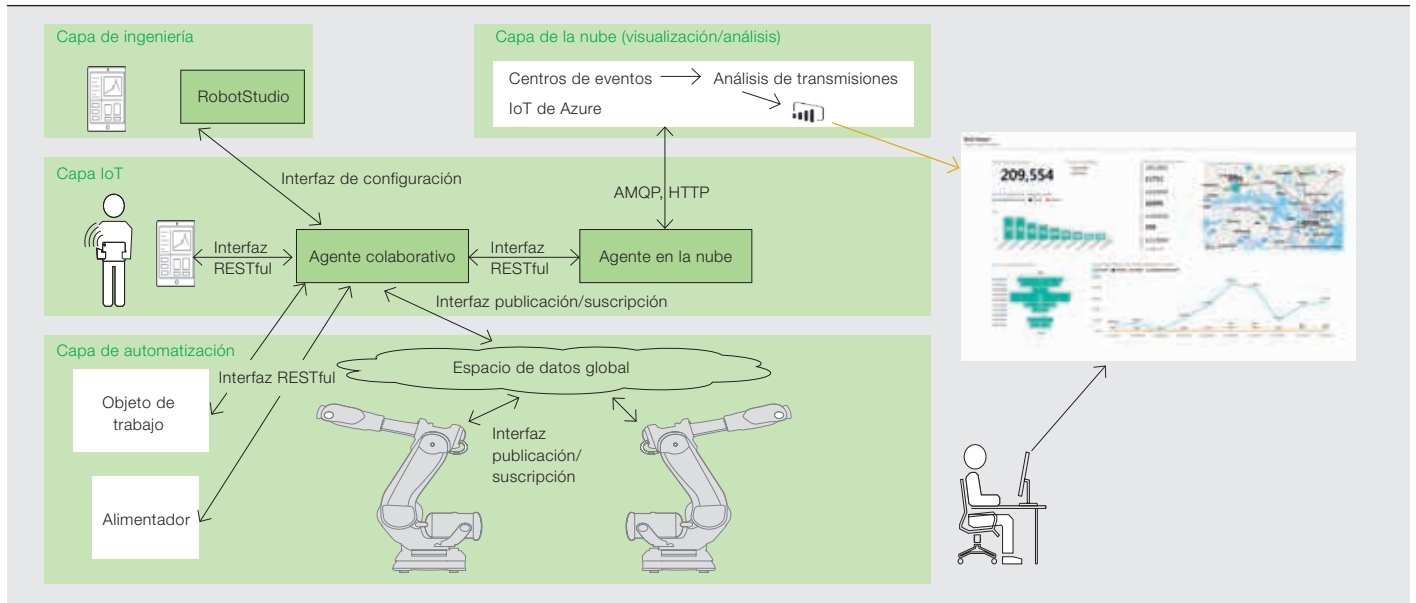
Ejemplo de motivación

Las formas en las que el IoTSP puede contribuir a la mejora del rendimiento operativo en escenarios de producción robótica pueden ilustrarse con el siguiente

Hay muchos escenarios de fabricación o montaje que podrían beneficiarse de la automatización robótica pero que son difíciles de automatizar.

te ejemplo: en una unidad de montaje de piezas pequeñas, dos robots trabajan en colaboración. Las piezas pequeñas se presentan en dos alimentadores distintos. Los robots toman piezas de sus respectivos alimentadores, las montan y colocan el conjunto en una cinta trans-

2 Plataforma de colaboración escalable: arquitectura del sistema



Para que el uso de robots se extienda a escenarios más complicados, los robots tienen que ser más flexibles, fáciles de programar y autónomos.

portadora. Un operador o un jefe de producción puede usar un dispositivo móvil para supervisar el estado de la producción y obtener información sobre los dispositivos de la unidad de producción en cualquier momento y desde cualquier lugar. Los KPI (indicadores clave del rendimiento) del dispositivo también se pueden consultar para tomar decisiones de mantenimiento.

En caso de cambio súbito, como la ralentización de un alimentador por un problema de suministro de las piezas de montaje, los robots, los alimentadores y la cinta transportadora intercambian la información para adaptar el ritmo de trabajo y acomodarse a las nuevas circunstancias. Se informa al operador de la situación a través de su dispositivo móvil. Si el rendimiento operativo se encuentra dentro de determinados límites de tolerancia, puede decidir no inte-

rrumpir los procesos de producción. O, si hay un alimentador defectuoso, puede comprobar los KPI de los dispositivos y descubrir que un técnico de mantenimiento está a punto de sustituir varias piezas de ese alimentador. Esto significa que el sistema puede funcionar así hasta que se realice el mantenimiento y evitar una interrupción de la producción que resultaría muy costosa.

Estrategias para la solución

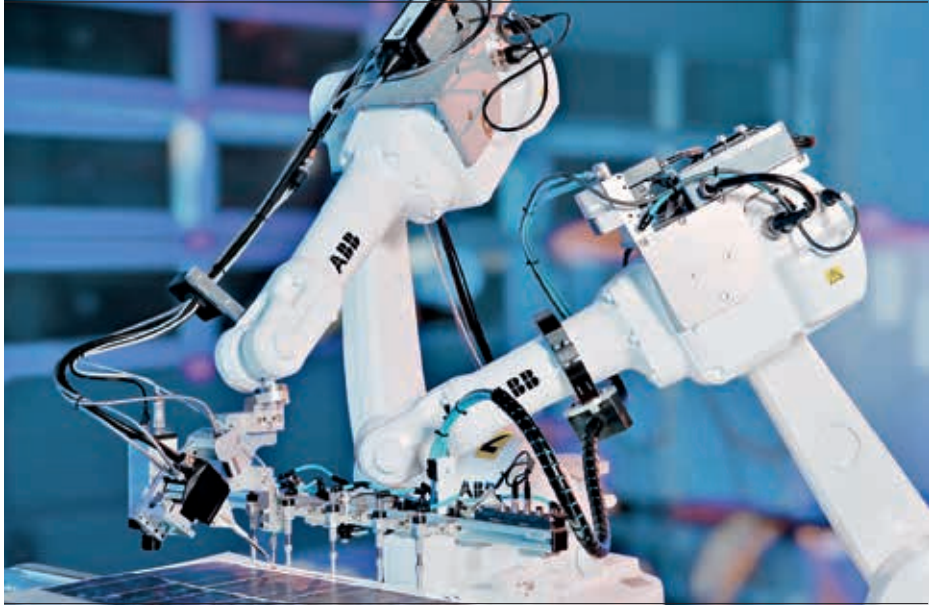
El escenario que acabamos de describir implica control robótico industrial, redes de sensores y actuadores que demandan una conducta temporal predecible y en tiempo real del sistema de control del robot. Otro requisito es un conjunto de características de servicio inteligentes que puedan implantarse con tecnologías IoT para mejorar el rendimiento operativo en la fábrica. Una forma de materializar todos estos requisitos es:

- Propiciar el intercambio de datos entre robots conectados y otros dispositivos de una unidad de producción.
- Utilizar aplicaciones robóticas en tiempo real con latencia baja y predecible en la periferia de la red o en los controladores del robot.
- Conectarse a un centro de datos remoto para obtener capacidades de análisis de datos y BI a gran escala.

Así pueden ofrecerse a los clientes soluciones de servicio añadidas basadas en la nube, como acceso sencillo y visualización de datos de producción en la

El uso de tecnología IoT para conectar cosas, servicios y personas cambiará la vida cotidiana de los usuarios y propiciará operaciones industriales inteligentes.

3 La plataforma facilita la configuración de grupos de robots



nube. Además, con infraestructuras basadas en la nube capaces de proporcionar recursos de computación y almacenamiento elásticos, se pueden desarrollar nuevos servicios centralizados de robótica inteligente sobre BI y análisis de datos → 1. Ejemplos de estos son el aprendizaje automático y el análisis avanzado de grandes conjuntos de datos de robots recopilados durante los ciclos de funcionamiento.

Concepto de punto a punto y solución técnica

Para hacer realidad la estrategia descrita, ABB ha diseñado una plataforma de colaboración ampliable que permite compartir información entre robots industriales conectados, otros dispositivos industriales de una unidad de producción y personas → 2. La plataforma, una vez convertida en un producto final, ofrecerá facilidad de uso para la configuración, p. ej., del descubrimiento, la conexión para la colaboración y la prestación de servicios con robots → 3.

En la capa de automatización de la plataforma, el intercambio de datos entre robots en tiempo real es posible gracias a la tecnología de middleware de tipo publicar-suscribir, como el marco DDS (servicio de distribución de datos). Un dispositivo publica información sobre un

tema y otros dispositivos interesados se pueden suscribir para recibirla. No es necesario que los dispositivos suscriptores sepan de dónde procede la información, porque también se proporcionan datos contextuales que indican a estos dispositivos qué hacer con ella.

Los dispositivos intercambian información en un espacio de datos global virtual. Los robots y el alimentador citados en el ejemplo anterior podrían, por ejemplo, intercambiar información (posición actual, velocidad, etc.) a través de este espacio de datos global.

No todos los dispositivos de una unidad de producción son aptos para participar en un marco de tipo publicar/suscribir.

El IoTSP está ofreciendo una forma nueva de agilizar los negocios y el ritmo de la innovación.

Esto puede deberse, por ejemplo, a limitaciones de accesibilidad de dispositivos de terceros o potencia de computación finita. Pero estos dispositivos pueden interactuar con robots y con otros dispositivos a través de una interfaz RESTful ligera, proporcionada por un agente colaborativo en la capa del IoT. Las interfaces RESTful se basan en REST (transferencia de estado representacional), una arquitectura web que requiere menos ancho de banda que otras archi-

La capa de la nube propuesta en la arquitectura permite ampliar las oportunidades de servicio mediante la conexión de dispositivos de la unidad de producción, o la propia unidad de producción, a la nube.

estructuras equivalentes y que simplifica la conexión de diversos clientes. El agente colaborativo se puede instalar en cualquier dispositivo (incluido el controlador del robot) en el que se pueda instalar el marco de tipo publicar/suscribir. La interfaz RESTful también se emplea en los dispositivos móviles utilizados para supervisar unidades de producción y en agentes en la nube. El agente en la nube, instalado en un controlador de robot o en cualquier otro dispositivo de la unidad de producción, emplea AMPQ (protocolo avanzado de cola de mensajes) y HTTP como interfaz para enviar datos a la capa de la nube o interactuar con ella.

La capa de la nube propuesta en la arquitectura permite ampliar las oportunidades de servicio mediante la conexión de dispositivos de la unidad de producción, o la propia unidad de producción, a la nube. Para esta plataforma de colaboración de robots concreta se utiliza Microsoft Azure IoT Suite [2], que ofrece una amplia gama de capacidades, como recopilación de datos de dispositivos, análisis de transmisiones, aprendizaje automático, almacenamiento y presentación de datos. En concreto, ABB ha utilizado Azure IoT Suite para prestar un servicio de visualización y supervisión de datos de producción. La solución consiste en un cliente IoT, un centro de eventos, análisis de transmisiones y Power BI (una solución de BI de autoservicio). El agente en la nube envía datos del robot al centro de eventos. El servicio de análisis de transmisiones consume

esos datos y permite ejecutar la lógica de procesamiento de corrientes (en un sencillo lenguaje similar a SQL). Los resultados de este procesamiento se envían a Power BI, que lleva a cabo la supervisión y la visualización de los datos de producción.

En la capa de ingeniería, se distinguen dos tipos de aplicaciones: Aplicaciones de configuración simplificadas basadas en la web y aplicaciones basadas en RobotStudio para la configuración avanzada de los robots y el resto de la producción.

Visión de futuro

El uso de tecnología IoT para conectar cosas, servicios y personas cambiará la vida cotidiana de los usuarios y propiciará operaciones industriales inteligentes. Imagine que las piezas pequeñas del escenario de ejemplo descrito anteriormente llevan etiquetas inteligentes que permiten la transmisión de determinada información, como dibujos CAD, descripciones e instrucciones de manipulación, a los robots y los operadores mediante comunicación inalámbrica. La difusión de esta información podría, por ejemplo, permitir el ajuste de las pinzas del robot en caso de que haya cambios en los tipos de piezas pequeñas. Actualmente, esta tarea es manual y se realiza fuera de la línea.

La idea central del IoTSP es obtener información sobre dispositivos y el entorno, analizar los datos del mundo físico y virtual para optimizar las operaciones y prestar servicios mejores a los usuarios.

Gracias a la prestación de nuevos servicios y experiencias de software para el cliente final basados en información extraída de varios dispositivos conectados, el IoTSP está creando una forma nueva de agilizar los negocios y el ritmo de la innovación.

Hongyu Pei-Breivold

Kristian Sandström

Larisa Rizvanovic

Marko Lehtola

Saad Azhar

ABB Corporate Research

Västerås, Suecia

hongyu.pei-breivold@se.abb.com

kristian.sandstrom@se.abb.com

larisa.rizvanovic@se.abb.com

marko.lehtola@se.abb.com

saad.azhar@se.abb.com

Roger Kulläng

Magnus Larsson

ABB Robotics

Västerås, Suecia

roger.kullang@se.abb.com

magnus.larsson@se.abb.com

Referencias

- [1] Modern Materials Handling staff, *Industrial robotics market expected to reach \$41 billion By 2020*, Available: http://www.mmh.com/article/industrial_robotics_market_expected_to_reach_41_billion_by_2020
- [2] *Microsoft Azure IoT Suite*, <https://www.microsoft.com/en-us/server-cloud/internet-of-things/azure-iot-suite.aspx>



Un futuro combinado

Microrredes con integración de energías renovables

CRAIG BLIZARD, ZOHEIR RABIA – Las soluciones híbridas fotovoltaica-diésel (PVD) representan un segmento fundamental del mercado claramente influido por la reducción de los costes de fabricación de la energía fotovoltaica (PV). En respuesta a las recientes caídas de los precios del módulo PV y los aumentos del precio del diésel con el paso del tiempo, las soluciones híbridas PV diésel empiezan a ganar aceptación en todo el mundo como alternativa económicamente atractiva a la ampliación de redes y sistemas de minirredes que solo funcionan con diésel.



El alto coste de una fuerte dependencia del combustible diésel en países del África subsahariana, Latinoamérica y el sudeste de Asia, así como su lejanía geográfica, distribución insular y topografía son factores importantes que hacen que las soluciones PVD sean ideales para clientes de esos lugares.

La solución PVD de ABB, que incluye automatización de PVD e inversores solares, puede configurarse como una fuente adicional de energía que maximiza el ahorro de combustible y reduce los costes del tiempo de explotación. Los actuales bajos costes de los sistemas PV son un beneficio añadido que acortan la amortización de la inversión.

Imagen del título

El sistema híbrido fotovoltaico-diésel de ABB es ideal para la generación fiable de electricidad en lugares aislados.

La solución energética PVD proporciona a los clientes una alternativa convincente al empleo único de miniredes basadas en combustible diésel. Por todo el mundo hay decenas de gigavatios (GW) de potencia en microrredes basadas sólo en diésel que podrían remodelarse inte-

Microrredes

Las microrredes combinan recursos de energía distribuidos y cargas que pueden aplicarse de forma controlada y coordinada, bien sea conectados a una red eléctrica principal o en modo de "isla", donde ni extraen energía de la red

principal ni la suministran. Las microrredes son una clasificación general de pequeñas redes eléctricas, autosuficientes que suministran a los clientes.

El concepto de microrred no es nuevo, pero el reconocimiento de su im-

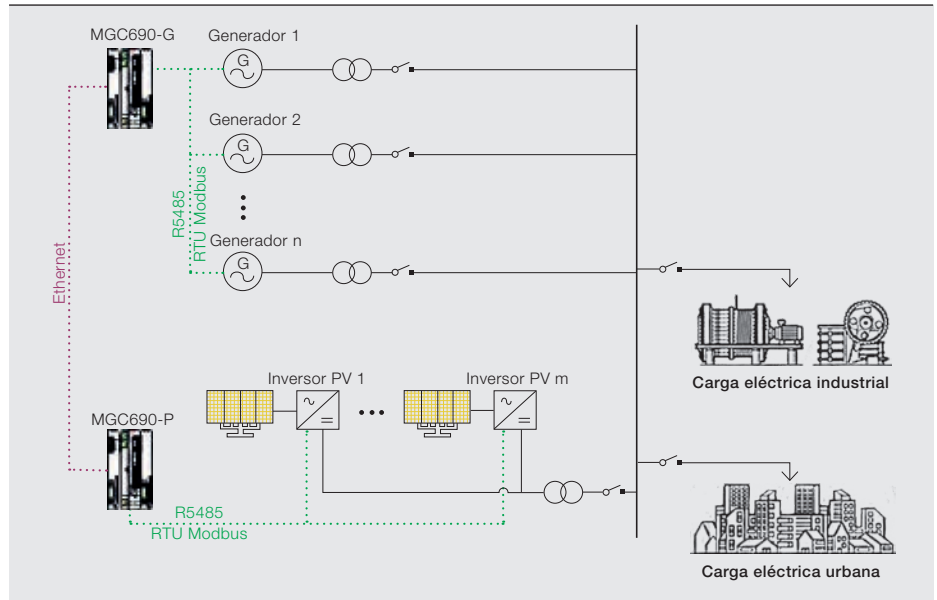
Empleando el conocimiento y las ventajas del sistema MicroGrid Plus, se ha diseñado PVD 1.0, orientado a la rentabilidad además de a la sencillez de la ingeniería.

portancia comercial es reciente. Durante la era de la industrialización, las redes centralizadas que atendían a gran número de consumidores desde una fuente eléctrica primaria única tuvieron más sentido económico que las microrredes. Para los municipios, colegios y otras

grandes tecnologías de energías renovables, como PVD. Este mercado de miniredes de diésel, ya existente, representa un enorme potencial económico para los años próximos.

Una penetración solar máxima de alrededor del 30–50 por ciento es usualmente alcanzable, y equivale a una energía renovable neta y una compensación con combustible de hasta el 15 por ciento a lo largo de un año.

1 Diseño de planta híbrida conceptualizado para municipios e industrias comerciales



entidades no era en general viable construir y gestionar sus propias centrales eléctricas y redes de distribución pequeñas. Las microrredes no eran una solución rentable para las necesidades diarias. La dependencia de fuentes como los generadores diésel se consideró admisible en situaciones críticas, como los cortes de suministro. Pero actualmente las microrredes orientadas a la integración y la gestión eficaz de recursos renovables están ganando importancia. Su potencial como solución comercial sensible a las necesidades energéticas diarias puede ser ventajoso en circunstancias muy diversas.

Experiencia de ABB en microrredes

ABB ha acumulado más de 25 años de conocimientos y experiencia en microrredes y ha ejecutado con éxito más de 30 proyectos. El compromiso de ABB con las microrredes se ha puesto de manifiesto por medio de investigación y desarrollo, inversiones e innovación de productos. Este trabajo se ha aplicado al campo de la automatización de centrales para tecnologías de generación de energía clásicas y modernas, así como a tecnologías de sistemas eléctricos como estabilización de redes y almacenamiento de energía.

Fotovoltaico y diésel

La línea de productos MicroGrid Plus de ABB es una plataforma de automatización especial diseñada para gestionar sistemas de generación de electricidad caracterizados por distintas combinaciones de tecnologías clásicas y renova-

bles, como diésel, gas, geotérmica, hidráulica, eólica, solar y de almacenamiento de energía. Las microrredes se pueden controlar eficazmente incorporando la línea de productos Microgrid Plus. El resultado es el equilibrio definitivo de calidad y seguridad de la energía eléctrica, al tiempo que se asegura una utilización ideal de la energía renovable.

El PVD de ABB es la más reciente incorporación al abanico de productos de automatización. ABB ha creado el PVD específicamente para la automatización de soluciones de centrales híbridas con PV solar y generadores de combustible fósil. PVD, orientado a la rentabilidad y a la sencillez de la ingeniería, se ha diseñado empleando el conocimiento y las ventajas del sistema MicroGrid Plus. Esta filosofía de diseño ha culminado en la reducción del número de componentes y en un modelo de entrega del proyecto simplificado drásticamente.

Como la minimización de costes ocupa el primer plano del diseño de PVD, el usuario final puede desplegar una solución de automatización total prefabricada. Bibliotecas prediseñadas, un coste de puesta en servicio mínimo y un número reducido de componentes hacen innecesarias las aptitudes especializadas y los costes añadidos para desarrollo de ingeniería.

En cuanto al rendimiento, PVD se ha diseñado teniendo presentes tecnologías de renovables de penetración media. Se suelen conseguir penetracio-



nes máximas de energía solar de alrededor de 30–50 por ciento. Esto corresponde a una energía renovable neta y compensaciones con combustible de hasta un 15 por ciento a lo largo de un año, un importante beneficio.

Además, PVD ofrece un método de despliegue y configuración uniforme para sistemas de control con uno a 16 gene-

Equipados con una completa protección eléctrica y mecánica, los inversores centrales están diseñados para una larga y fiable vida de al menos 20 años de servicio.

radores y uno a 32 inversores para admitir diversas configuraciones de central de forma fácil y eficaz y satisface varias necesidades del cliente → 1.

Inversores ABB

En una aplicación de PVD se pueden utilizar tanto inversores centrales como de cadena, y ABB ha desarrollado productos para controlar los generadores solares. Se han combinado dos tipos de



inversores ABB con el PVD: el inversor trifásico de cadena (TRIO) para inversores de cadena y los inversores de la clase PVS para inversores centrales. Ambos inversores han sido probados y verificados en mapas de interfaz con PVD.

Se han seleccionado estos inversores entre toda la gama de productos y servicios que ofrece ABB para la generación, el transporte y la distribución de energía solar en sistemas de panel solar conectado a la red y en sistemas híbridos y trabajan en toda la cadena de valor solar.

Inversores de cadena ABB

Los TRIO 20.0 y 27.6 forman parte de la familia TRIO de inversores que representan la solución más eficiente tanto para aplicaciones PV comerciales como para soluciones de captación de energía PV de gran tamaño montadas en tierra → 2. Estos inversores de cadena están idealmente adecuados para industrias pequeñas y medias, hoteles y centros turísticos y edificios y locales comerciales situados en zonas aisladas.

Además, la alta fiabilidad de TRIO, gracias a la refrigeración por convección natural y el índice de protección ambiental IP65, lo hace resistente a condiciones ambientales extremas y, por lo tanto, ideal para su uso en exteriores.

Además de su demostrada fiabilidad, su elevado rendimiento (hasta el 98,2 por ciento) y la amplia gama de tensiones de entrada, los inversores TRIO son atractivos para lugares aislados por la flexibilidad de su configuración de diseño, que les permite adaptarse a distintas disposiciones de parques solares. Los inversores TRIO ofrecen también dos dispositivos independientes de seguimiento del

punto de máxima potencia (MPPT) que garantizan una entrega de energía óptima desde dos hileras parciales caracterizadas por orientaciones distintas. Además, esta solución de inversores ofrece a los clientes una instalación rápida gracias al cuadro de conexiones fácilmente desmontable.

Se han enviado a todo el mundo inversores TRIO con una potencia acumulada de unos 4 GW, y ahora son una herramienta valiosa para atender las necesidades de energía de clientes de comunidades aisladas.

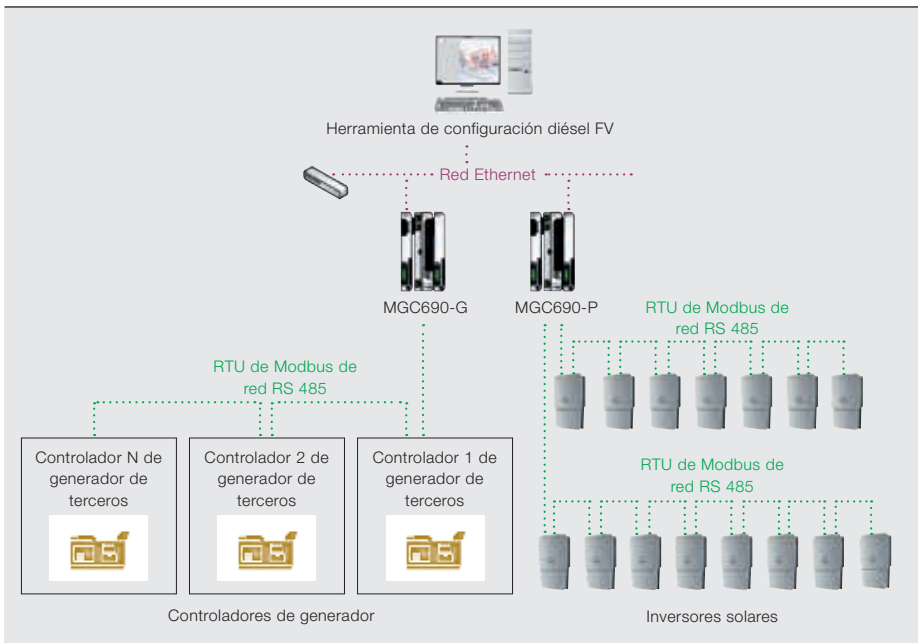
Inversores centrales de ABB

Para centrales de varios megavatios, especialmente en los segmentos de la minería y la industria pesada, los inversores centrales son muy apreciados por los integradores de sistemas y los usuarios finales, que necesitan inversores solares de altas prestaciones para centrales PV a escala de compañía eléctrica y una rentabilidad máxima de la inversión a lo largo de la vida útil de una central eléctrica.

El inversor central PVS 800 incluye componentes probados y tiene un largo registro de excelencia de prestaciones en aplicaciones exigentes y entornos difíciles → 3. Equipados con una completa protección eléctrica y mecánica, los inversores están diseñados para una larga y fiable vida de al menos 20 años de servicio.

Además, los inversores centrales de ABB ofrecen excelentes resultados totales basados en eficiencia elevada, consumo de energía auxiliar reducido, fiabilidad verificada y la organización de servicio de ABB con experiencia por todo el mundo. Hay inversores de 100 kW a 1000 kW y están optimizados para su uso en centrales eléctricas PV de varios megavatios.

4 La red del sistema de control de ABB es una solución de automatización total



Solución PVD empaquetada

PVD se compone de controladores dedicados empaquetados en un kit completo diseñado para facilitar su integración en instalaciones industriales nuevas o ya desarrolladas → 4. Los controladores se han clasificado de acuerdo con dos funciones distintas: el controlador G (o generador) responsable de la automatización de generadores de combustible fósil y el controlador P (o PV) responsable del control de generadores PV.

Para la configuración del emplazamiento y las labores de puesta en servicio se ha incluido una herramienta específica como componente fundamental del paquete → 5. La herramienta permite al usuario llevar a cabo funciones básicas como la fijación de parámetros y el cambio de modo del controlador. Además, el usuario puede efectuar comprobaciones de estado del sistema de alto nivel en tiempo real y ver indicadores del rendimiento fundamentales sin necesidad de instalar un paquete especial de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Y si el cliente precisa un sistema SCADA, el PVD puede configurarse fácilmente con una solución SCADA adaptada a sus necesidades.

En su interior, la solución PVD utiliza controladores MGC690 con hardware y software de control resistente y fiable que cumple los requisitos exigentes de la automatización total de la planta. Los

sistemas de microrred basados en MGC690 incorporan empaquetado en carril DIN de alta densidad, arquitectura de sistema flexible, altas prestaciones, control en tiempo real y comunicaciones de red rápidas basadas en Ethernet.

Para facilitar las comunicaciones entre dispositivos dentro del PVD, los mensajes entre el generador y los controladores PV se transmiten mediante una conexión Ethernet reservada de 100 MB. Esta configuración reduce la necesidad de interacción con las comunicaciones locales existentes o su interrupción. Las comunicaciones descendentes entre los controladores y el territorio están servidas por enlaces reservados Modbus RTU preterminados en el controlador.

La arquitectura de sistema integrado de calidad industrial del controlador MGC690 permite a la solución PVD ejecutar toda la lógica de automatización de la planta en menos de 100 ms. El bajo consumo de energía y el amplio margen de temperaturas de funcionamiento permite instalar el MGC690 en lugares cerrados sin necesidad de ventiladores, persianas, filtros de aire u otros equipos de refrigeración forzada. Esto elimina el mantenimiento de los sistemas de refrigeración y reduce sustancialmente los costes de explotación del equipo del sistema de control, lo que es especialmente ventajoso para clientes con microrredes.

5 Componentes clave empaquetados para una automatización óptima



La solución PVD de ABB con el controlador PVD y la posibilidad de elección de inversores solares centrales o de cadena es una alternativa fiable, eficiente y rentable para minirredes y ampliaciones de red que solo trabajan con combustibles fósiles. El diseño y la flexibilidad de la configuración hacen de estos dos productos soluciones muy adecuadas para industrias pequeñas o medianas, zonas aisladas o centrales eléctricas de industriales. El MGC690 y el PVD proporcionan a los clientes las ventajas de un control rápido, preciso e ininterrumpido de sus sistemas de microrredes y permiten un suministro eléctrico estable y fiable. Esto, junto con el bajo precio de la energía fotovoltaica, el ahorro de combustible y los bajos costes de explotación para la implantación de una solución PVD aseguran la amortización rápida de la inversión y el valor para los clientes.

Craig Blizzard

ABB Power Grids and Grid Automation
Product Group Microgrids & Distributed Generation,
Business Unit
Génova, Italia
craig.blizzard@it.abb.com

Zoheir Rabia

ABB Discrete Automation and Motion
Terranuova Bracciolini, Italia
zoheir.rabia@it.abb.com

Consejo de redacción

Bazmi Husain

Director de Tecnología
I+D y tecnología del Grupo

Ron Popper

Jefe de Responsabilidad Corporativa

Christoph Sieder

Responsable de Comunicaciones Corporativas

Ernst Scholtz

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

Andreas Moglestue

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

Editorial

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

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

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

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

Editorial y copyright © 2016
ABB Technology Ltd.
Zúrich, Suiza

Impresión

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn/Austria

Diseño

DAVILLA AG
Zúrich, Suiza

Cláusula de exención de responsabilidad

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

ISSN: 1013-3119

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



Avance 1117

Innovación

Un hito tecnológico alcanza su máximo efecto cuando permite hacer cosas que antes no podían hacerse o cuando mejora la eficiencia de lo que ya podía hacerse. Esto puede significar obtener un resultado igual o mejor con más facilidad, menos recursos, menos costes o mejorando la seguridad o el efecto sobre el ambiente o el flujo de información.

El primer número de ABB Review de 2017 estará dedicado a las innovaciones recientes y en marcha de la empresa, hitos que mejorarán la actividad, la facilidad, el equilibrio ambiental o la seguridad de la empresa o de sus clientes. Desde la detección de fugas en conducciones hasta los sensores inalámbricos para la automatización del hogar o desde el SF₆, la nueva alternativa más ecológica para aparata aislada en gas, hasta una nueva serie de robots.

Lea sobre estas y otras cosas en ABB Review 1/17.



Edición para tablet

ABB Review también en su tablet. La encontrará en <http://www.abb.com/abbreviewapp>



Manténgase informado

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

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

Innovación



- 6 Lo más destacado en innovación**
Las mayores innovaciones de ABB para 2016
- 12 Una pequeña maravilla**
Transformadores de tensión de servicio para necesidades de poca potencia
- 18 Un amigo elástico**
El concepto de depósito elástico de ABB para transformadores reduce el riesgo de rotura
- 23 Proteger y sobrevivir**
Análisis de la protección de fallos en microrredes de CC de baja tensión con generadores fotovoltaicos
- 30 Prueba de accionamientos**
El nuevo laboratorio de prueba de ABB permite a los clientes optimizar combinaciones motor-accionamiento
- 34 Fuerza impulsora**
Los motores eléctricos sin tierras raras y ultraeficientes ofrecen soluciones sostenibles y fiables
- 41 Sin torsión**
Amortiguar las oscilaciones torsionales en la unión entre accionamiento y sistema mecánico
- 49 Visionario**
La visualización 3D mejora las operaciones de producción
- 53 Optimizar la producción de pasta ya no es "pulp fiction"**
Producción constante de pasta de papel de calidad con un proceso de control avanzado
- 60 Descubrimientos alarmantes**
Mejorar la efectividad del operador con asistencia durante el ciclo de vida de las alarmas
- 65 De papel a formato digital**
Proyecto de investigación para la extracción de descripciones orientadas a objetos a partir de esquemas de tuberías e instrumentación
- 70 Nuestros lectores han hablado**
Resultados de nuestra encuesta a los lectores

Comida y bebida



- 6 Una elección saludable**
La colaboración entre ABB y la industria alimentaria es cada vez más estrecha
- 9 Comestible y digital**
La importancia del internet de las cosas, los servicios y las personas para la industria alimentaria
- 14 Mezcla y MES**
Un sistema de ejecución de fabricación de ABB aumenta la productividad de DSM Nutritional Products
- 17 Mezclar sabores**
Industry 4.0 basado en IoTSP permite que Automation Builder virtualice rápidamente procesos de producción discretos y maquinaria en la industria alimentaria y fuera de ella.
- 20 Una inversión segura**
Componentes con seguridad alimentaria en aplicaciones de lavado
- 24 Paletización para el paladar**
Elección del robot IRB 460 de ABB para trabajos de apilado
- 28 Un ingrediente llamado innovación**
Innovaciones para la industria alimentaria
- 30 Historias de pesca**
Servicios de explotación y mantenimiento de ABB para Marine Harvest
- 34 Una receta para triunfar**
Medición simultánea del caudal másico y la densidad en la industria alimentaria
- 37 Más de lo mismo**
Un sabor constante es esencial en cualquier proceso de destilación o fermentación
- 40 Suero seguro**
Instrumentación fiable y precisa para la industria láctea
- 45 Energía alimentaria**
El robusto UPS PowerLine DPA mantiene en funcionamiento las instalaciones de producción de comida y bebida
- 50 Revuelto, no agitado**
Los accionamientos con armónicos ultrabajos mantienen estas perturbaciones alejadas de la comida y la bebida
- 52 125 años**
ABB celebra 125 años en Suiza
- 55 Semiconductores de potencia**
Pasado y presente de los semiconductores de potencia en ABB
- 61 Integración de TI y TO**
Potenciar la integración de la tecnología operativa con Decathlon Services
- 68 AirPlus™**
Una alternativa al SF₆ como medio de aislamiento y conmutación en aparataje eléctrica
- 73 Amortiguar la resonancia**
Métodos de control avanzado garantizan el funcionamiento estable de convertidores de baja tensión conectados a red

Dos aniversarios



- 7 Ciento veinticinco años y un centenario**
ABB celebra los ciento veinticinco años de existencia en Suiza y los cien años de investigación corporativa
- 13 Brainforce one**
El primer Centro de Investigación Corporativa de ABB cumple cien años
- 16 Ideas en acción**
Los motores eléctricos representan un ámbito en el que abundan las innovaciones de ABB
- 17 Accionamientos digitales de velocidad variable**
- 19 Arrancadores suaves**
- 21 La vanguardia del desarrollo de los motores**
- 23 Un enlace directo**
Tecnología HVDC para un mejor transporte de energía eléctrica
- 24 Transporte eficiente de electricidad con HVDC Light®**
- 27 Seccionador ultrarrápido para interruptores de HVDC híbridos**
- 29 Tecnología sofisticada de cable extruido de HVDC**
- 31 Transformación y cambio**
La ciencia del aislamiento de los transformadores y los innovadores cambiadores de tomas para las aplicaciones de alta potencia
- 32 OLTC basados en vacío**
- 35 Investigación fundamental sobre transformadores convertidores de UHVDC**
- 38 Microrredes**
Las microrredes reducen los costes y las emisiones, y aumentan la fiabilidad
- 41 Robot bio**
La vida y las etapas del robot industrial eléctrico
- 45 Una historia emocionante**
La innovación sostenida resume la historia de los productos electromagnéticos de ABB
- 49 El sentido del mineral**
Mining 2.0 – Soluciones de automatización para la industria de la minería
- 55 Una nueva solución HVDC compacta para la energía eólica**
Plataformas eólicas marinas HVDC: el peso reducido a la mitad y las plataformas de CA eliminadas
- 57 Ahorro local**
El almacenamiento de energía facilita el acceso a la energía solar en los hogares
- 62 El valor de los sistemas de almacenamiento**
Caso práctico a gran escala de una microrred conectada a red con baterías/diésel

Transporte



- 6 Las ciudades toman el mando**
Justificación de la electrificación del transporte urbano público
- 8 Cargado en un instante**
Optimización de las baterías para un autobús de carga ultrarrápida
- 13 Parque ecológico**
El parque nacional de Krka, en Croacia, es el primero del mundo con cargadores CC/AC rápidos ABB Terra 53
- 16 Historia de la electrificación**
Una larga tradición en la ingeniería de los ferrocarriles eléctricos
- 25 Programa de adelgazamiento**
El transformador de tracción Effilight® de ABB reduce el peso y las pérdidas y requiere un 70% menos de aceite
- 30 Eficiencia que escala montañas**
Reducción del consumo energético de los trenes Allegra
- 35 Potencia máxima**
Aparata de media tensión ZX0 de ABB y protección de cables de PMA para el túnel de base del San Gotardo
- 40 Romper récords**
ABB suministrará potencia, propulsión y automatización al rompehielos más avanzado del mundo
- 44 Mejora del servicio marino a distancia**
Una idea para la nueva generación del portal de clientes y servicios de ABB
- 50 Connect. Collaborate. Outperform.**
Automation & Power World vuelve a Houston en marzo de 2017
- 51 Profeta de pérdidas**
Predicción de pérdidas por dispersión en transformadores de potencia y optimización del apantallamiento del depósito con MEF
- 57 Protección del viento**
Comutación en baja tensión y estrategias de protección de turbinas eólicas
- 63 Guardián del arco**
Las medidas de prevención de la descarga de arcos aumentan la seguridad
- 67 La conmutación se renueva**
Avances recientes de las tecnologías de IGCT para la electrónica de alta potencia
- 72 Grid4EU**
Los cimientos para el desarrollo de las redes eléctricas del futuro
- 79 Robótica en la nube**
Los robots inteligentes aprovechan el Internet de las cosas, los servicios y las personas desde la periferia hasta la nube
- 84 Un futuro combinado**
Microrredes con integración de energías renovables
- 90 Índice de 2016**
Resumen del año



Socio principal



Nuestra aportación al futuro: ideas claras bien encarriladas.

A gran profundidad bajo los Alpes suizos, el túnel de 57 km, el más largo del mundo, está a punto de terminarse. A finales de este año, 260 trenes de mercancías y 65 de pasajeros atravesarán cada día el túnel base del San Gotardo a velocidades de hasta 250 km/h y acortarán drásticamente el tiempo necesario para cruzar los Alpes. Expertos de ABB han desarrollado para esta gran obra de ingeniería infraestructuras, equipos eficientes de distribución eléctrica y el mayor sistema de ventilación jamás construido.

